

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**



TESIS:

**“VARIACIÓN DEL CLORO RESIDUAL LIBRE EN LA RED DE  
DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE  
CAJABAMBA, CAJAMARCA 2024”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
**INGENIERO HIDRÁULICO**

AUTOR:

**Bach. JUAN CARLOS WENCESLAO SANDOVAL ESPINOZA**

ASESOR:

**Dr. Ing. GASPAR VIRILO MÉNDEZ CRUZ**

CAJAMARCA - PERÚ

**2026**

## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

### - FACULTAD DE INGENIERÍA -

- Investigador:** JUAN CARLOS WENCESLAO SANDOVAL ESPINOZA  
**DNI:** 70462531  
**Escuela Profesional:** Ingeniería Hidráulica
- Asesor:** Gaspar Virilo Méndez Cruz  
**Facultad:** Ingeniería
- Grado académico o título profesional**  
 Bachiller       Título profesional       Segunda especialidad  
 Maestro       Doctor
- Tipo de Investigación:**  
 Tesis       Trabajo de investigación       Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:**  
VARIACIÓN DEL CLORO RESIDUAL LIBRE EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE CAJABAMBA, CAJAMARCA-2024
- Fecha de evaluación:** 04/02/2026
- Software antiplagio:**  TURNITIN       URKUND (OURIGINAL) (\*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 19 %
- Código Documento: Oid:** 3117:552820057
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**  
 APROBADO     PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: Cajamarca, 04 de febrero de 2026



**FIRMA DEL ASESOR**  
**Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz**

**DNI: 26631950**



Firmado digitalmente por:  
BAZAN DIAZ Laura Sofia  
FAU 20148258601 soft  
Motivo: En señal de  
conformidad  
Fecha: 04/02/2026 15:23:45-0500

**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI**



## SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

### ACTA N° 0073-2026

**TITULO** : *VARIACIÓN DEL CLORO RESIDUAL LIBRE EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE CAJABAMBA, CAJAMARCA - 2024*

**ASESOR** : *Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.*

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Art. 035 del Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, da a conocer que, a los **seis días del mes de marzo de 2026**, siendo las quince horas con treinta minutos (03:30 p.m.) en la Sala de Audiovisuales (Edificio 1A - Segundo Piso), de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional de Cajamarca, se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.  
Vocal : Dr. Ing. Luis Vásquez Ramírez,  
Secretario : M.Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis *VARIACIÓN DEL CLORO RESIDUAL LIBRE EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE CAJABAMBA, CAJAMARCA - 2024*, presentado por el Bachiller en Ingeniería Hidráulica *JUAN CARLOS WENCESLAO SANDOVAL ESPINOZA*, asesorado por el Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz, para la obtención del Título Profesional.

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante, debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : *07* ..... PTS.  
EVALUACIÓN PÚBLICA : *11* ..... PTS.  
EVALUACIÓN FINAL : *18* ..... PTS. *Dieciocho* (En letras)

En consecuencia, se lo declara *Aprobado* ..... con el calificativo de *Dieciocho (18)* ..... acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las *17:00* ..... horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

*Huamán*  
Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.  
Presidente

*Vásquez*  
Dr. Ing. Luis Vásquez Ramírez.  
Vocal

*Longa*  
M.Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez.  
Secretario

*Virilo*  
Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.  
Asesor

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco la infinita bondad de nuestro Dios Padre Todopoderoso, quien me acompaña día a día; sé que bajo su camino y sus palabras las cosas tarde que temprano van a suceder conforme a su voluntad.

Manifiesto también mi infinito agradecimiento y gratitud hacia mis padres, quienes son mis mejores amigos, confidentes y están en los momentos necesarios cuando solicito su apoyo; estoy totalmente seguro de que sin su apoyo no hubiese hecho posible este significativo logro.

También quiero agradecer a mi esposa e hijo; desde que han entrado en mi vida, me han llenado de dicha y felicidad y me inspiran día a día a ser mejor y saber que, pase lo que pase, siempre habrá un motivo por el que luchar.

Y es necesario agradecer también a mis maestros, quienes con su sabiduría, inteligencia y experiencia me compartieron sus enseñanzas, las cuales ahora son como llaves que en el camino de la vida me permiten ir abriendo puertas y descubriendo nuevos conocimientos en base a lo que ya me compartieron en las aulas y poder abirme nuevos caminos para seguir creciendo profesional y laboralmente día a día.

## DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada a las personas más importantes en mi vida, me refiero a mi padre, el profesor Juan Sandoval, más conocido como “Cachito”, y mi madre, la emblemática maestra Ruth Espinoza, quienes siempre me apoyaron y creyeron en mí para cumplir mis sueños y, a pesar de las dificultades económicas que pudimos haber tenido como familia, nunca descuidaron mi educación y entendieron que la sabiduría es la mejor herencia que se puede dejar.

A la mejor Obstetra, mi amada esposa Jessica Mabel, quien con su inteligencia y disciplina en su trabajo hace que cada tertulia que tenemos sea entretenida de inicio a fin; aprender de ella es gratificante y admirable, que no hay pregunta que no tenga respuesta para ella; a mi adorado hijo Mateito, quien con su inocencia me da muestras de cariño y afecto, y se siente en ese pequeño hombrecito que el amor es grande y que tenemos que cultivarlo día a día; me basta una sola de sus palabras para saber que tenemos motivos por los cuales seguir adelante.

A mis familiares, compañeros y amigos, quienes de alguna manera me han mostrado sus muestras de apoyo desinteresado e incondicional; gracias a ellos también es que este sueño de ser Ingeniero Hidráulico se está volviendo realidad.

## RESUMEN

La presente tesis ha tenido como objetivo estimar la variación de cloro residual libre en la red de distribución de agua potable en la ciudad de Cajabamba-Cajamarca en el año 2024. El muestreo se realizó en dos etapas, con la finalidad de tener un mejor diagnóstico: la primera se llevó a cabo los días 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14 de noviembre, con un total de 663 muestras recolectadas en 17 puntos; la segunda etapa se efectuó los días 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29 y 30 de noviembre, recolectándose 663 muestras en otros 17 puntos (incluyendo el reservorio de la primera etapa), sumando en total 33 puntos de muestreo; dichos puntos han sido ubicados considerando la representatividad, probable riesgo sanitario, accesibilidad y distancia desde el reservorio. Los puntos de muestreo incluyeron: el reservorio, dieciocho viviendas familiares, tres bodegas, una avícola, una tienda, un cementerio, un complejo deportivo, dos puntos en una ladrillera, un taller de motos, un taller de autos, dos restaurantes y una ferretería. En la primera etapa, el 97.13 % de las 663 muestras, está en el rango de los LMP de cloro residual libre ( $>0.5$  ppm), mientras que en la segunda etapa el 98.34 % de las 663 muestras también estuvo en el rango de los LMP, conforme a lo establecido en el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA. Estos resultados evidencian que el agua distribuida a la población cajabambina presenta una buena calidad sanitaria en términos de desinfección, esto es debido a que el sistema de cloración utilizado es por la inyección de cloro gas antes de almacenarse en el reservorio, haciendo que al reservorio ingrese agua clorada asegurando una mezcla homogénea; y que, el decaimiento de cloro residual va disminuyendo con la distancia, pero esto no significa que hay una relación directa entre distancia y decaimiento en la red de distribución, esto es por las condiciones que el agua atraviesa hasta llegar a cada conexión, como el material y desgaste de las tuberías, las variaciones de consumo vinculados a la demanda de cada vivienda o por desperdicios, averías o mal uso del agua en su trayecto. Tampoco hay una relación directa entre decaimiento y presión del agua en la red distribución; esto se concluye visto que, para conexiones de igual desnivel respecto al reservorio, el cloro residual presenta valores diferentes.

**Palabras claves:** Agua potable, desinfección, decaimiento de cloro residual.

## ABSTRACT

The objective of this thesis was to estimate the variation of free residual chlorine in the drinking water distribution network in the city of Cajabamba-Cajamarca in the year 2024. Sampling was carried out in two stages, in order to have a better diagnosis: the first was carried out on the days 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 and 14 of November, with a total of 663 samples collected at 17 points; the second stage was carried out on the days 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29 and 30 of November, collecting 663 samples at another 17 points (including the reservoir of the first stage), adding up to a total of 33 sampling points; These sampling points were selected based on representativeness, potential health risks, accessibility, and distance from the reservoir. The sampling points included: the reservoir, eighteen family homes, three warehouses, a poultry farm, a store, a cemetery, a sports complex, two points at a brickyard, a motorcycle repair shop, an auto repair shop, two restaurants, and a hardware store. In the first phase, 97.13% of the 663 samples were within the permissible limits (PLL) for residual free chlorine ( $>0.5$  ppm), while in the second phase, 98.34% of the 663 samples were also within the PLL range, as established in Supreme Decree No. 031-2010-SA. These results demonstrate that the water distributed to the population of Cajabamba has good sanitary quality in terms of disinfection. This is because the chlorination system used involves injecting chlorine gas before the water is stored in the reservoir, ensuring that chlorinated water enters the reservoir and guaranteeing a homogeneous mixture. While the decay of residual chlorine decreases with distance, this does not imply a direct relationship between distance and decay in the distribution network. This is due to the conditions the water encounters before reaching each connection, such as the material and wear of the pipes, variations in consumption linked to the demand of each household, or water waste, leaks, or misuse along its route. There is also no direct relationship between decay and water pressure in the distribution network. This conclusion is drawn from the fact that, for connections with the same elevation difference relative to the reservoir, the residual chlorine levels vary.

**Keywords:** Drinking water, disinfection, residual chlorine decay.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO .....	I
DEDICATORIA.....	II
RESUMEN .....	III
ABSTRACT .....	IV
I. INTRODUCCIÓN.....	1
<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4.1. Objetivo General.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4.2. Objetivos Específicos .....</b>	<b>3</b>
II. MARCO TEÓRICO .....	4
<b>2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.1. Internacionales .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.2. Nacionales .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.3. Locales.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2. BASES TEÓRICAS .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.1. Sistema de abastecimiento de agua .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.2. Componentes hidráulicos del sistema de abastecimiento.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.3. Agua potable.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.4. Calidad de agua.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.5. Desinfección.....</b>	<b>10</b>

2.2.6. Límites máximos permisibles.....	10
2.2.7. Cloro.....	14
2.2.8. Dosis de cloro.....	16
2.2.9. Electrólisis.....	18
2.2.10. Control y mantenimiento .....	18
<b>3.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>20</b>
3.1.1. Ubicación del área de estudio. ....	20
3.1.2. Ubicación Política y geográfica de la zona de estudio .....	20
3.1.3. Vías de acceso.....	22
3.1.4. Características Generales .....	22
<b>3.2. Características urbanísticas.....</b>	<b>22</b>
3.2.1. Contexto urbano .....	22
3.2.2. Estructura y forma urbana.....	22
3.2.3. Zonificación.....	23
3.2.4. Instituciones gubernamentales, administrativas, religiosas y culturales. ....	23
3.2.5. Vista Satelital .....	24
<b>3.3. MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS .....</b>	<b>26</b>
3.3.1. Para la fase de campo.....	26
3.3.2. Para la fase de gabinete.....	27
<b>3.4. PROCEDIMIENTO .....</b>	<b>28</b>
3.4.1. Recopilación de información en campo .....	28

<b>3.4.2. Ubicación de los puntos de muestreo</b> .....	28
<b>3.4.3. Toma de datos en los puntos de muestreo</b> .....	30
<b>3.4.4. Trabajo de Gabinete</b> .....	34
<b>IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	35
<b>4.1. Presentación de resultados</b> .....	35
<b>4.1.1. Sistema de agua potable Cajabamba</b> .....	35
<b>4.1.2. Sistema de cloración</b> .....	35
<b>4.1.3. Datos de muestreo en campo</b> .....	38
<b>4.2.1. Distribución de las muestras en la zona de estudio</b> .....	75
<b>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	85
<b>5.1. Conclusiones</b> .....	85
<b>5.2. Recomendaciones</b> .....	86
<b>VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	88
<b>6.1. Bibliografía</b> .....	88
<b>6.2. Linkografía</b> .....	89
<b>VII. ANEXOS</b> .....	90

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Captación de agua.....	6
Figura N°2: Líneas de conducción por gravedad .....	7
Figura N°3: Tratamiento de agua .....	7
Figura N°4: Reservorios .....	8
Figura N°5: Líneas de distribución.....	9

Figura N°6: Conexiones domiciliarias .....	9
Figura N°7: Clorador a gas por inyección directa .....	15
Figura N°8: Clorador a gas por inyección directa .....	15
Figura N°9: Limpieza externa del reservorio .....	19
Figura N°10: Toma de muestra de agua .....	19
Figura N°11: Ubicación de la provincia de Cajabamba .....	21
Figura N°12: Ubicación del distrito de Cajabamba.....	21
Figura N°13: Vista satelital (Google Earth) de la ciudad de Cajabamba .....	24
Figura N°14: Fotografía con dron de la ciudad de Cajabamba .....	25
Figura N°15: Fotografía panorámica de la ciudad de Cajabamba.....	26
Figura N°16: Equipo de muestreo del cloro residual libre .....	27
Figura N°17: Programas y equipos utilizados .....	28
Figura N°18: Enjuague del tubo comparador .....	30
Figura N°19: llenado de la muestra en el tubo comparador .....	31
Figura N°20: Agregar el reactivo DPD 1R en la muestra .....	32
Figura N°21: Lectura de resultados .....	33
Figura N°22: Lectura de parámetros de calidad del agua.....	34
Figura N°23: Visita a la PTAP. ....	36
Figura N°24: Visita al reservorio. ....	36
Figura N°25: Visita la caseta de cloración. ....	36
Figura N°26: Red de distribución del agua potable de la ciudad de Cajabamba ....	37
Figura N°27: Puntos de muestreo en la red de agua potable .....	38
Figura N°28: Distribución del cloro residual libre en la red de agua potable .....	78
Figura N°29: % de Incidencia de CRL con valores menores a 0.5 .....	81
Figura N°30: Punto número 1- muestreo de cloro residual libre (1.29 mg/l).....	90
Figura N°31: Punto número 2- muestreo de cloro residual libre (0.65 mg/l).....	90
Figura N°32: Punto número 3- muestreo de cloro residual libre (0.65 mg/l).....	91

Figura N°33: Punto número 4- muestreo de cloro residual libre (0.65 mg/l).....	91
Figura N°34: Punto número 5- muestreo de cloro residual libre (0.61 mg/l).....	92
Figura N°35: Punto número 6- muestreo de cloro residual libre (0.65 mg/l).....	92
Figura N°36: Punto número 7- muestreo de cloro residual libre (0.59 mg/l).....	93
Figura N°37: Punto número 8- muestreo de cloro residual libre (0.56 mg/l).....	93
Figura N°38: Punto número 9- muestreo de cloro residual libre (0.56 mg/l).....	94
Figura N°39: Punto número 10- muestreo de cloro residual libre (0.61 mg/l).....	94
Figura N°40: Punto número 11- muestreo de cloro residual libre (0.58 mg/l).....	95
Figura N°41: Punto número 12- muestreo de cloro residual libre (0.58 mg/l).....	95
Figura N°42: Punto número 13- muestreo de cloro residual libre (0.55 mg/l).....	96
Figura N°43: Punto número 14- muestreo de cloro residual libre (0.51 mg/l).....	96
Figura N°44: Punto número 15- muestreo de cloro residual libre (0.55 mg/l).....	97
Figura N°45: Punto número 16- muestreo de cloro residual libre (0.57 mg/l).....	97
Figura N°46: Punto número 17- muestreo de cloro residual libre (0.59 mg/l).....	98
Figura N°47: Punto número 18- muestreo de cloro residual libre (0.58 mg/l).....	98
Figura N°48: Punto número 19- muestreo de cloro residual libre (0.56 mg/l).....	99
Figura N°49: Punto número 20- muestreo de cloro residual libre (0.59 mg/l).....	99
Figura N°50: Punto número 21- muestreo de cloro residual libre (0.58 mg/l).....	100
Figura N°51: Punto número 22- muestreo de cloro residual libre (0.54 mg/l).....	100
Figura N°52: Punto número 23- muestreo de cloro residual libre (0.55 mg/l).....	101
Figura N°53: Punto número 24- muestreo de cloro residual libre (0.54 mg/l).....	101
Figura N°54: Punto número 25- muestreo de cloro residual libre (0.55 mg/l).....	102
Figura N°55: Punto número 26- muestreo de cloro residual libre (0.64 mg/l).....	102
Figura N°56: Punto número 27- muestreo de cloro residual libre (0.58 mg/l).....	103
Figura N°57: Punto número 28- muestreo de cloro residual libre (0.56 mg/l).....	103
Figura N°58: Punto número 29- muestreo de cloro residual libre (0.56 mg/l).....	104
Figura N°59: Punto número 30- muestreo de cloro residual libre (0.57 mg/l).....	104

Figura N°60: Punto número 31- muestreo de cloro residual libre (0.56 mg/l).....	105
Figura N°61: Punto número 32- muestreo de cloro residual libre (0.56 mg/l).....	105
Figura N°62: Punto número 33- muestreo de cloro residual libre (0.55 mg/l).....	106

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: L.M.P. de parámetros microbiológicos y parasitológicos .....	10
Tabla N°2: L.M.P. de calidad organoléptica .....	11
Tabla N°3: L.M.P. de parámetros químicos Inorgánicos .....	11
Tabla N°4: L.M.P. de parámetros Orgánicos .....	12
Tabla N°5: Ubicación Política.....	20
Tabla N°6: Ubicación Geográfica .....	20
Tabla N°7: Ubicación UTM de los puntos de muestreo-Primera etapa .....	29
Tabla N°8: Ubicación UTM de los puntos de muestreo-Segunda etapa.....	29
Tabla N°9: Procesamiento de la información de campo .....	39
Tabla N°10: Promedio del cloro residual libre en la primera etapa .....	76
Tabla N°11: Promedio del cloro residual libre en la segunda etapa.....	76
Tabla N°12: Rango del cloro residual por tipo de punto muestreado .....	80
Tabla N°13: Valores de la calidad del agua potable en la ciudad de Cajabamba ...	84

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfico N°1: Cantidades relativas de HOCL y OCl <sup>-</sup> en función del pH.....	14
Gráfico N°2: Estudio de demanda de cloro .....	16
Gráfica N°3: Distribución de muestreos por tipo .....	39
Gráfica N°4: Análisis del cloro residual en el punto N°1 .....	40
Gráfica N°5: Análisis del cloro residual en el punto N°2 .....	41
Gráfica N°6: Análisis del cloro residual en el punto N°3 .....	42

Gráfica N°7: Análisis del cloro residual en el punto N°4 .....	43
Gráfica N°8: Análisis del cloro residual en el punto N°5 .....	44
Gráfica N°9: Análisis del cloro residual en el punto N°6 .....	45
Gráfica N°10: Análisis del cloro residual en el punto N°7 .....	46
Gráfica N°11: Análisis del cloro residual en el punto N°8 .....	47
Gráfica N°12: Análisis del cloro residual en el punto N°9 .....	48
Gráfica N°13: Análisis del cloro residual en el punto N°10 .....	49
Gráfica N°14: Análisis del cloro residual en el punto N°11 .....	50
Gráfica N°15: Análisis del cloro residual en el punto N°12 .....	51
Gráfica N°16: Análisis del cloro residual en el punto N°13 .....	52
Gráfica N°17: Análisis del cloro residual en el punto N°14 .....	53
Gráfica N°18: Análisis del cloro residual en el punto N°15 .....	54
Gráfica N°19: Análisis del cloro residual en el punto N°16 .....	55
Gráfica N°20: Análisis del cloro residual en el punto N°17 .....	56
Gráfica N°21: Análisis del cloro residual en los puntos de la primera etapa .....	57
Gráfica N°22: Análisis del cloro residual en el punto N°1 .....	58
Gráfica N°23: Análisis del cloro residual en el punto N°18 .....	59
Gráfica N°24: Análisis del cloro residual en el punto N°19 .....	60
Gráfica N°25: Análisis del cloro residual en el punto N°20 .....	61
Gráfica N°26: Análisis del cloro residual en el punto N°21 .....	62
Gráfica N°27: Análisis del cloro residual en el punto N°22 .....	63
Gráfica N°28: Análisis del cloro residual en el punto N°23 .....	64
Gráfica N°29: Análisis del cloro residual en el punto N°24 .....	65
Gráfica N°30: Análisis del cloro residual en el punto N°25 .....	66
Gráfica N°31: Análisis del cloro residual en el punto N°26 .....	67
Gráfica N°32: Análisis del cloro residual en el punto N°27 .....	68
Gráfica N°33: Análisis del cloro residual en el punto N°28 .....	69

Gráfica N°34: Análisis del cloro residual en el punto N°29 .....	70
Gráfica N°35: Análisis del cloro residual en el punto N°30 .....	71
Gráfica N°36: Análisis del cloro residual en el punto N°31 .....	72
Gráfica N°37: Análisis del cloro residual en el punto N°32 .....	73
Gráfica N°38: Análisis del cloro residual en el punto N°33 .....	74
Gráfica N°39: Análisis del cloro residual en los puntos de la segunda etapa .....	75
Gráfica N°40: Datos promedios del cloro residual libre en cada punto .....	79
Gráfica N°41: Valor promedio por tipo de punto muestreado .....	80

## Definición de términos básicos

En el desarrollo del presente trabajo se han utilizado los siguientes términos:

- **Agua potable:** Agua que cumple con los criterios físicos, químicos y microbiológicos establecidos por normas nacionales e internacionales (OMS, 2017).
- **Cloro:** Elemento químico perteneciente al grupo de los halógenos, ampliamente utilizado como agente desinfectante en el tratamiento de agua potable (Metcalf, 2014).
- **Cloro residual libre:** El cloro residual libre es la fracción de cloro presente en el agua después del proceso de desinfección que permanece disponible en forma de ácido hipocloroso (HOCl) e ión hipoclorito ( $\text{OCl}^-$ ) (WEF, 2017).
- **Sistema de distribución de agua potable:** Es el conjunto de tuberías, válvulas, reservorios y accesorios destinados a transportar el agua tratada desde la planta de tratamiento hasta los usuarios finales, manteniendo la calidad del agua, incluido el cloro residual libre. (AWWA, 2012).
- **Tubería:** Es el elemento estructural del sistema de distribución destinado a conducir el agua potable. Puede estar fabricada de materiales como PVC, hierro dúctil o acero, los cuales afectan la demanda de cloro debido a reacciones químicas con las paredes internas. (Walski, 2003).
- **Ciudad:** Es el asentamiento humano con una alta concentración poblacional, infraestructura urbana y sistemas organizados de servicios básicos, entre ellos el abastecimiento de agua potable. (ONU, 2016).
- **Topografía:** Es la descripción de las características físicas del terreno, incluyendo elevaciones, pendientes y depresiones. (Mays, 2011).
- **Tiempo de retención:** Es el período durante el cual el agua permanece en el sistema de distribución antes de ser consumida. A mayores tiempos de retención, mayor es la degradación del cloro residual libre. (Rossman, 2000).
- **Demanda de agua:** Es el volumen requerido por la población para satisfacer sus necesidades domésticas, comerciales e institucionales. (AWWA, 2012).
- **Límites máximos permisibles:** Son los valores máximos admisibles de los parámetros representativos de la calidad del agua (MINSa, 2010).

## I. INTRODUCCIÓN

La investigación titulada: “Variación del cloro residual libre en la red de distribución de agua potable de la ciudad de Cajabamba, Cajamarca 2024” tuvo como objetivo evaluar los niveles de cloro residual libre presentes desde reservorio hasta los consumidores en las redes de distribución de agua potable de la ciudad. El reservorio, ubicado en Quillorco, cuenta con una capacidad de almacenamiento de 1500 m<sup>3</sup> y alimenta una red de distribución conformada por tuberías de PVC con diámetros de 200 mm, 160 mm, 110 mm y 90 mm, las cuales abastecen a un total de 4105 conexiones domiciliarias.

El estudio comprendió un total de 33 puntos de muestreo, seleccionados en función de su representatividad, nivel de riesgo sanitario, accesibilidad y distancia desde el reservorio. Las muestras de cloro residual libre fueron recolectadas en dos etapas. La primera etapa incluyó 17 puntos muestreados durante los días 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13 de noviembre, tomándose tres muestras diarias en cada punto (mañana, mediodía y tarde), lo que dio un total de 663 muestras. La segunda etapa, también con 17 puntos (incluido el reservorio de la primera etapa), se llevó a cabo los días 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29 y 30 de noviembre, aplicando el mismo esquema de tres muestras por día, alcanzando así 663 muestras. En conjunto, se obtuvieron 1326 muestras en todo el proceso.

Los puntos de muestreo incluyeron el reservorio, dieciocho viviendas particulares, tres bodegas, una avícola, una tienda, un cementerio, un complejo deportivo, dos puntos en una ladrillera, un taller de motos, un taller de autos, dos restaurantes y una ferretería. El valor del cloro residual libre registrado en el 97.29% de las 1326 muestras varió entre 0.5 mg/l y 1.2 mg/l, estando en el rango de los LMP (>0.5 mg/L) establecido por el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA, valor adoptado cuando el Perú fue azotado por la epidemia del cólera en el año 1991. Sin embargo, se identificaron 36 muestras con un valor de 0.40 y 0.50 mg/L, lo que representa el 2.71% del total. Estos resultados permiten concluir que la población de Cajabamba está siendo abastecida con agua clorada de manera general, aunque se evidencian puntos específicos con concentraciones por debajo del valor permitido; sin embargo, según el artículo N.º 66 (Control de desinfectantes) del D.S. N.º 031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y, el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l, reafirmando que el sistema de agua potable administrado por USAPAN sí brinda agua potable a sus consumidores.

## **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En nuestro país, durante el año 2023, el Ministerio de Salud ha reportado 87 510 casos de enfermedades diarreicas agudas en todo el país, siendo Lima, Piura y Arequipa los departamentos de mayor incidencia; en Cajamarca los casos fueron de 2113. (Ministerio de Salud, 2023). Además, según la última Encuesta Demográfica y de Salud Familiar 2022, realizada por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), en el Perú la prevalencia de diarrea en niños menores de cinco años alcanzó un 11.7%. Siendo la posible causa la calidad del agua que se consume.

Actualmente, en la ciudad de Cajabamba, quien se encarga de administrar, operar y mantener los servicios de agua y alcantarillado es la Unidad de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado (USAPAN) de la Municipalidad Provincial de Cajabamba (MPC) y lo detalla en el artículo 113°, inciso b), de su Reglamento de Organización y Funciones (ROF). El proceso de potabilización del agua se realiza primero pasando por una planta de tratamiento de agua potable y culmina con la añadidura de cloro gas; sin embargo, para asegurar si se realiza una adecuada cloración, no existe una data o información comprobada y fehaciente que acredite que se brinda un agua potable en base a los parámetros establecidos por el MINSA, y que como consecuencia la población consuma un agua apta para el consumo humano.

Por tal motivo, la presente tesis tiene como propósito determinar la variación del cloro residual en la red de distribución de agua potable en la ciudad de Cajabamba, y así determinar la posible existencia de puntos críticos que no estén dentro de los límites máximos permisibles (LMP) de acuerdo al D.S. N.º 031-2010-SA; esto beneficiará a los consumidores de la ciudad de Cajabamba, ya que se comprobará la calidad de agua que consumen, dándose la probabilidad de realizar mejoras en caso de que no se cumpliera con los LMP.

La desinfección del agua significa la extracción, desactivación o eliminación de los microorganismos patógenos que están presentes en el agua. Si estos microorganismos no son eliminados el agua no es potable y por lo tanto no apta para consumo humano ya que es susceptible de causar enfermedades. (Lenntech, BV. 2007).

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuál es la variación de cloro residual libre en la red de distribución de agua potable de la ciudad de Cajabamba en el año 2024?

## **1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

El agua es fundamental para la vida y tiene un rol esencial en el desarrollo biológico de las personas. Sin embargo, cuando no cumple con los estándares sanitarios necesarios para el consumo humano, puede convertirse en un agente de contaminación que pone en peligro la salud de toda una población. En este contexto, resulta indispensable evaluar la variación del cloro residual en la red de distribución de agua potable de la ciudad de Cajabamba. Este análisis permitirá determinar si el cloro residual presente en el agua que llega a los consumidores se encuentra dentro de los límites establecidos por el MINSA, garantizando así la eliminación o inhibición de organismos patógenos y asegurando una buena calidad del agua para la población. Además, también será posible identificar las causas detrás de las fluctuaciones en los niveles de cloro residual. Es relevante tener en cuenta que el suministro y la gestión del agua potable en esta localidad están bajo la responsabilidad de la Unidad de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado (USAPAN) de la Municipalidad Provincial de Cajabamba. Por tanto, la presente investigación busca analizar las muestras para verificar si los resultados obtenidos están dentro del rango permitido por la normativa de Calidad de Agua para Consumo Humano (D.S. N.º 031-2010-SA). En caso contrario, se procederá a identificar puntos críticos, analizar las posibles causas y proponer soluciones para optimizar dichos aspectos y garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad.

## **1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1. Objetivo General**

- Estimar la variación del cloro residual libre en la red de distribución de agua potable en la ciudad de Cajabamba, 2024.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Caracterizar desde el punto de vista urbanístico la ciudad de Cajabamba.
- Identificar los prestadores de servicio existentes en la ciudad de Cajabamba.

- Describir la red de distribución de agua potable de la ciudad de Cajabamba, 2024.
- Describir el proceso de desinfección que se realiza en el sistema de agua potable de la ciudad de Cajabamba, 2024.
- Ubicar los puntos en las zonas de muestreo de cloro residual libre en la red de distribución de agua potable de la ciudad de Cajabamba, 2024.
- Medir el nivel de cloro residual libre en los puntos de muestreo de la red de distribución de agua potable de la ciudad de Cajabamba, 2024.
- Zonificar las áreas de variación del cloro residual libre en la red de distribución de agua potable de la ciudad de Cajabamba, 2024.

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS**

#### **2.1.1. Internacionales**

En la investigación titulada: “Determinación de la concentración del cloro residual libre mediante técnicas electroquímicas”. Tuvo como objetivo determinar las concentraciones de cloro residual mediante un sensor ORP, para determinar la calidad del agua para el consumo humano; el sensor midió la capacidad de oxidación relacionando también factores de pH y temperatura, teniendo como modelo una curva de calibración basada en el reactivo DPD mediante espectrometría. Se ha determinado que las técnicas electroquímicas son las más idóneas y económicas para sistemas de agua potable. (Ordóñez & Quiroz, 2021)

#### **2.1.2. Nacionales**

En la investigación titulada: “Evaluación del cloro residual en la red de distribución de agua en el barrio Santa Ana-Huancavelica, 2021”. Tuvo como objetivo determinar las concentraciones de cloro residual en el sistema de agua, se ha tomado una muestra de 180 viviendas en el barrio Santa Ana. En el reservorio se obtuvo un promedio de 1.78 mg/l, llegando al primer lote con 1.66 mg/l y al último lote con un valor de 1.09 mg/l. De esta manera se concluye que los valores obtenidos superan los límites máximos permisibles que son perjudiciales para la salud de las personas en el barrio Santa Ana. (Estrada & Taipe, 2021)

### 2.1.3. Locales

En la investigación titulada: “Determinación del decaimiento de cloro residual en la red de distribución de agua potable de la ciudad de San Miguel, Cajamarca 2022”. Tuvo como objetivo determinar el decaimiento del cloro residual mediante el método de DPD; se determinaron las zonas críticas de la ciudad donde el cloro esté por debajo del LMP. Se tomaron 1350 muestras distribuidas en un rango de 37 puntos de muestreo. Los resultados arrojaron valores sobre los 0.5 mg/l; de esta manera, la ciudad de San Miguel cumple con valores del LMP. (Cueva, 2023)

En la investigación titulada “Variación del cloro residual libre en la red de distribución de agua potable de la ciudad de Baños del Inca – 2023”, se tuvo como objetivo realizar un diagnóstico general del sistema de distribución, con la finalidad de identificar las zonas críticas de la ciudad. El estudio se desarrolló en cinco sectores, considerando una base de datos correspondiente a 40 puntos de muestreo. Los resultados evidenciaron que los sectores 1, 2 y 3 cumplen con los Límites Máximos Permitidos (LMP) establecidos en la normativa peruana D.S. N.º 031-2010-SA, mientras que los sectores 4 y 5 no cumplen con los parámetros exigidos. En consecuencia, los hallazgos en los sectores 4 y 5 requieren atención inmediata por parte de las autoridades competentes, debido al riesgo sanitario asociado. (Calua, 2024)

En la investigación titulada “Decaimiento del cloro residual en la red de distribución de agua potable de la ciudad de Celendín-Cajamarca”, se monitorearon inicialmente 58 puntos de muestreo distribuidos en dos sectores (alto y bajo), con 232 muestras, de las cuales el 95 % cumplió con el valor mínimo de 0.5 mg/L. Posteriormente, se evaluaron 16 puntos finales, con 384 muestras, registrándose un 94 % de cumplimiento según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. No obstante, el punto N.º 16 (barrio Chacapampa) presentó valores inferiores a 0.5 mg/L, atribuibles a condiciones operativas de la red y a la discontinuidad del servicio. Se concluye que el decaimiento del cloro residual en la red es aceptable y que el agua distribuida cumple, en general, con la normativa vigente. (Tarrillo, 2024)

## 2.2. BASES TEÓRICAS

### 2.2.1. Sistema de abastecimiento de agua

Un sistema de abastecimiento de agua para consumo humano es el conjunto de componentes hidráulicos e instalaciones físicas que son accionadas por procesos operativos, administrativos y equipos necesarios desde la captación hasta el suministro del agua mediante conexión domiciliaria (Rodríguez Ruíz, 2001).

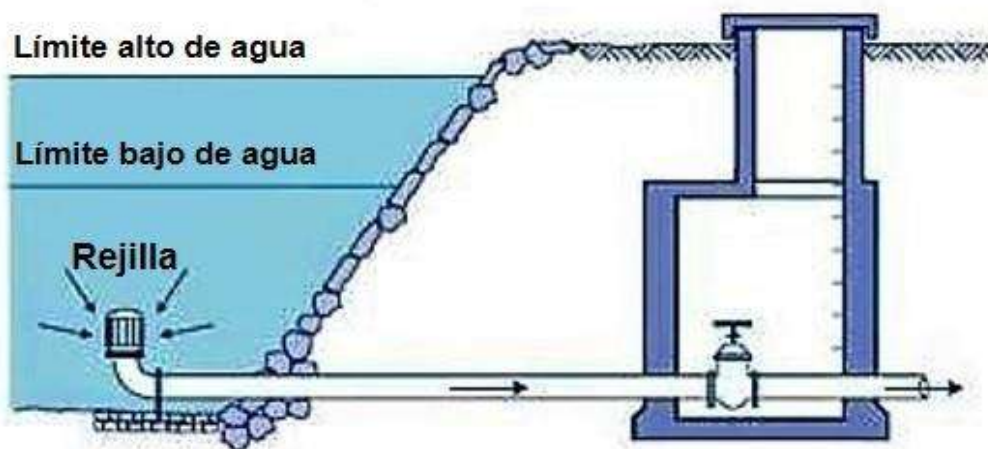
### 2.2.2. Componentes hidráulicos del sistema de abastecimiento

El sistema de agua potable es una red integrada de componentes diseñados para captar, tratar, almacenar, distribuir y conexiones domiciliarias.

#### a. Captación de agua

Son estructuras que sirven para captar agua y suministrar de forma continua a una población. Existen 2 tipos de fuentes como son las captaciones en fuentes superficiales como ríos, lagos y embalses. Mientras que la otra es de origen subterráneo como pozos y manantiales. (Rodríguez Ruíz, 2001).

Figura N°1: Captación de agua

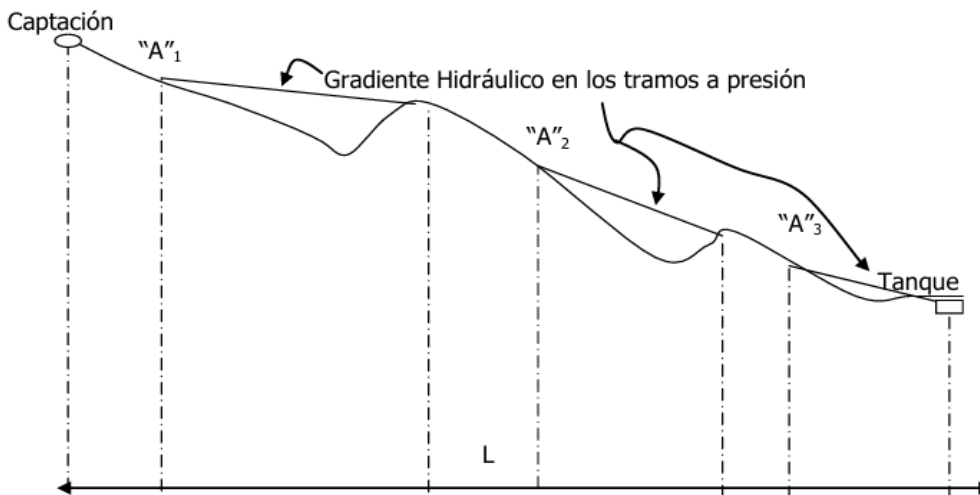


**Fuente:** (Smet & Wijk, 2002)

#### b. Sistema de conducción del agua

Es un conjunto integrado de tuberías, accesorios y estaciones de bombeo cuyo principal objetivo es transportar el agua, desde la fuente de abastecimiento (captación) hasta el lugar donde se encuentra el reservorio. Cuando la captación se ubica en un nivel topográfico superior al tanque de almacenamiento, la conducción será por gravedad; si la captación se encuentra por debajo del reservorio, entonces se aplicará bombeo. Cuando las condiciones lo ameritan se realizará una combinación de ambas (Aguero Pittman, 1997).

Figura N°2: Líneas de conducción por gravedad

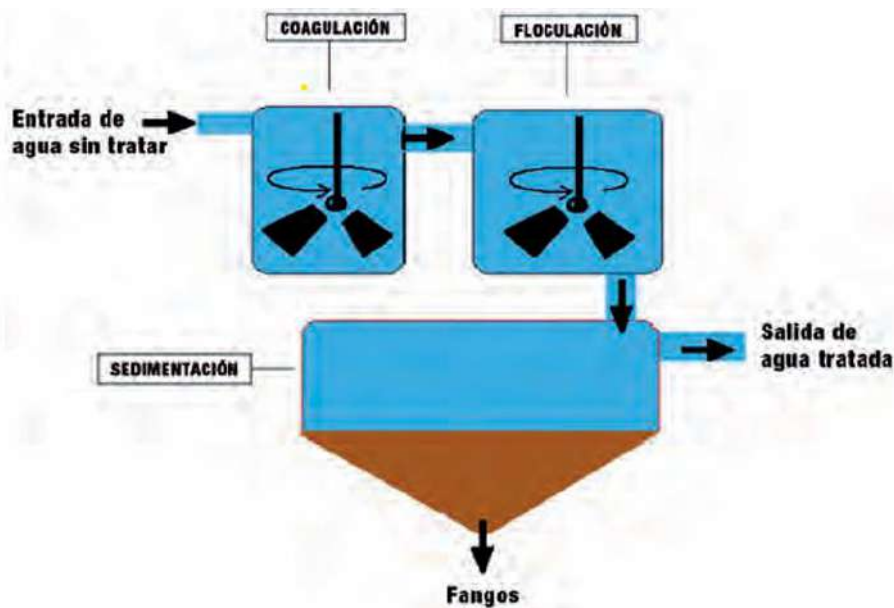


(Rodríguez Ruíz, 2001)

### c. Tratamiento del agua

La potabilización del agua tiene por objetivo eliminar los microorganismos nocivos para la salud humana, además para que sea satisfactoria para el consumo, el agua deberá carecer de coloración, sabor y turbiedad. El tratamiento del agua se lleva empleando una serie de instalaciones, cuyo conjunto tiene el nombre de “planta potabilizadora”, dicha planta se diseña para el gasto máximo diario, bajo estudios en la interpretación de los análisis físicos, químicos, bacteriológicos y otros. Dentro de los tipos de tratamiento del agua se tiene por aeración, coagulación y/o mezclado, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. (Ramírez Quirós, 2005).

Figura N°3: Tratamiento de agua



(Alvarez Guisasaola, 2009)

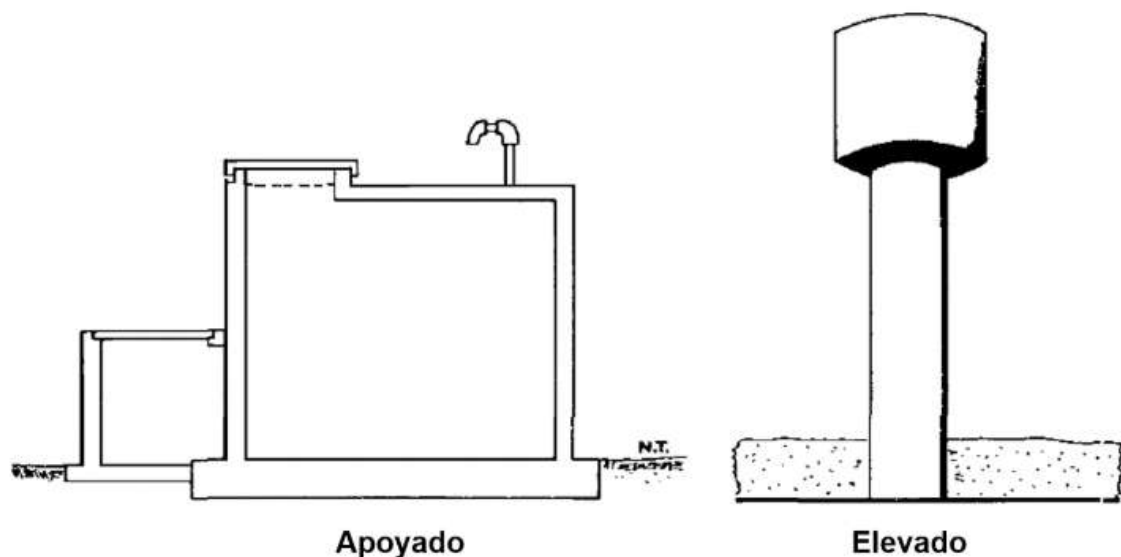
#### d. Almacenamiento de agua

El agua captada en la captación no mantiene un régimen requerido para el consumo de las poblaciones, es por ello donde se modifica el régimen de la fuente para adecuarlo a los de la demanda viene a ser el tanque o reservorio. Con los tanques se logra también una presión específica del agua para la distribución, así para mantener el fluido continuo en los usuarios. Se pueden clasificar en tanques superficiales, elevados.

Los tanques superficiales se construyen sobre el terreno, la ubicación está supeditada a la topografía de la región, condicionándose a que la presión en la red de distribución esté comprendida entre 1 a 5 kg/cm<sup>2</sup>. Los tanques superficiales tienen las siguientes capacidades típicas: 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 800, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 4000 y 5000 m<sup>3</sup> con alturas de entre 2.5, 3 y 4m

Los tanques elevados se utilizan en lugares donde la carga máxima existente no es suficiente para hacer funcionar con eficacia la red de distribución. La altura de la torre podrá ser de entre 10, 15 y 20m como máximo, en función a la elevación del terreno en el lugar en que se elija su construcción y las presiones que se necesiten en la red de distribución. Los volúmenes típicos en tanques elevados son de 20, 40, 60, 80, 100, 20, 160, 200, 240, 300, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1600, 2000, 3000, 4000, 6000, 8000 y 1000 m<sup>3</sup> (Ramírez Quirós, 2005).

Figura N°4: Reservorios

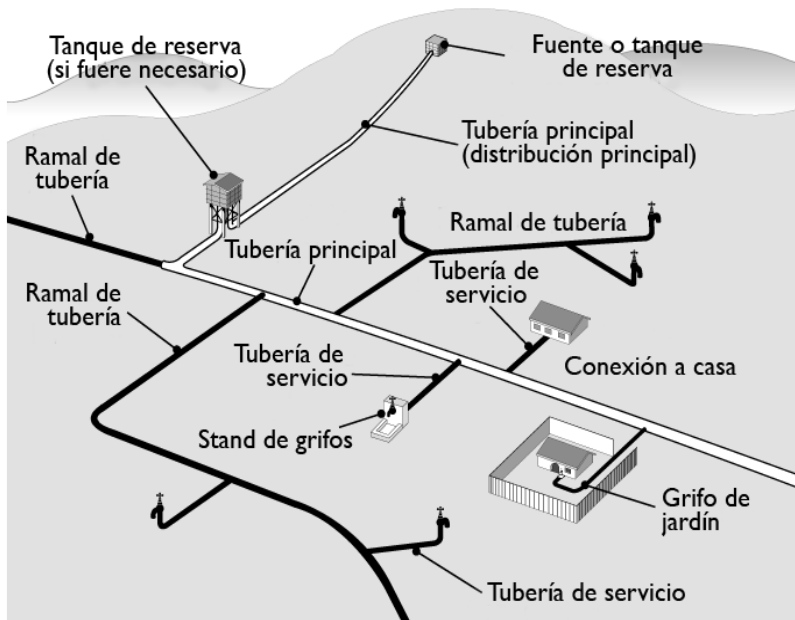


(Aguero Pittman, 1997)

### e. Distribución de agua

Es un conjunto de tuberías que tienen como fin proporcionar agua a los usuarios, la distribución inicia en el tanque de regularización y va en tuberías con diferentes diámetros enterrados en propiedad pública (Jiménez Cisneros, 2001).

Figura N°5: Líneas de distribución

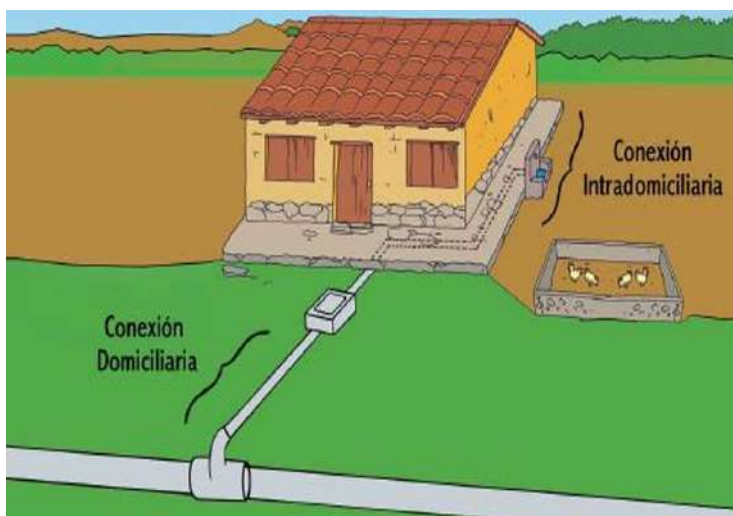


Fuente: (Aguirre Morales, 2015)

### f. Conexiones domiciliarias

Es la instalación que permite llevar el agua potable desde la red pública de distribución hasta el interior de una vivienda, centro comercial, entidades públicas, etc.

Figura N°6: Conexiones domiciliarias



Fuente: (Aguero Pittman, 1997)

### 2.2.3. Agua potable

“El agua potable es aquella que cumple con los requerimientos de las normas y reglamentos nacionales sobre calidad del agua para consumo humano”. Atiende a los siguientes requisitos: Libre de microorganismos que causan enfermedades, libre de compuestos nocivos a la salud, aceptable para consumo, con bajo contenido de color, gusto y olor aceptables, sin compuestos que causen corrosión o incrustaciones en las instalaciones sanitarias. (Valdez, 1994).

### 2.2.4. Calidad de agua

(Programa Nacional de Agua y Saneamiento Rural, 2011) propone la estimación de la calidad del agua suministrada a la población de manera indirecta, utilizando como indicador la existencia y valor de cloro residual en el agua. Según D.S. N° 031-2010- SA, en caso de usar cloro o solución clorada como desinfectante, las muestras tomadas en cualquier punto de la red de distribución no deberán contener menos de 0.5 mg/L de cloro residual libre en el noventa por ciento (90%) del total de muestras tomadas durante un mes. Del diez por ciento (10%) restante, ninguna debe contener menos de 0.3 mg/L y la turbiedad deberá ser menor de 5 unidades nefelométricas de turbiedad. (CONAGUA, 2024).

### 2.2.5. Desinfección

La desinfección del agua con cloro 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 otros” (Valdez, 1994).

### 2.2.6. Límites máximos permisibles

Los límites máximos permisibles son los valores máximos admisibles de los parámetros representativos de la calidad del agua (MINSA, 2010). Por lo tanto, una adecuada gestión de la calidad de agua para consumo humano debe tener la finalidad de conceder a la población un recurso que cumpla con los Límites Máximos Permisibles establecidos en el D.S. 031-2010-SA. (DIGESA, 2010).

Tabla N°1: L.M.P. de parámetros microbiológicos y parasitológicos

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Bacterias Coliformes Totales.	UFC/100 mL a 35°C	0 (*)
2. E. Coli	UFC/100 mL a 44	5°C
3. Bacterias Coliformes Termotolerantes o Fecales.	UFC/100 mL a 44	5°C

4. Bacterias Heterotróficas	UFC/mL a 35°C	500
5. Huevos y larvas de Helminthos, quistes y coquistes de protozoarios patógenos.	N° org/L	0
6. Virus	UFC / mL	0
7. Organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos en todos sus estadios evolutivos	N° org/L	0

Fuente: (DIGESA, 2010)

Tabla N°2: L.M.P. de calidad organoléptica

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Olor	—	Aceptable
2. Sabor	—	Aceptable
3. Color	UCV escala Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
6. Conductividad (25°C)	µmho/cm	1 500
7. Sólidos totales disueltos	mgL <sup>-1</sup>	1 000
8. Cloruros	mg Cl <sup>-</sup> L <sup>-1</sup>	250
9. Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> L <sup>-1</sup>	250
10. Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup>	500
11. Amoniacó	mg N L <sup>-1</sup>	1,5
12. Hierro	mg Fe L <sup>-1</sup>	0,3
13. Manganeseo	mg Mn L <sup>-1</sup>	0,4
14. Aluminio	mg Al L <sup>-1</sup>	0,2
15. Cobre	mg Cu L <sup>-1</sup>	2,0
16. Zinc	mg Zn L <sup>-1</sup>	3,0
17. Sodio	mg Na L <sup>-1</sup>	200

Fuente: (DIGESA, 2010)

Tabla N°3: L.M.P. de parámetros químicos Inorgánicos

Parámetros Inorgánicos	Unidad de medida	L.M.P.
1. Antimonio	mg Sb L <sup>-1</sup>	0.02
2. Arsénico	mg As L <sup>-1</sup>	0.01
3. Bario	mg Ba L <sup>-1</sup>	0.7
4. Boro	mg B L <sup>-1</sup>	1.5
5. Cadmio	mg Cd L <sup>-1</sup>	0.003
6. Cianuro	mg CN <sup>-</sup> L <sup>-1</sup>	0.07
7. Cloro	mg L <sup>-1</sup>	5
8. Clorito	mg L <sup>-1</sup>	0.7
9. Clorato	mg L <sup>-1</sup>	0.7
10. Cromo total	mg Cr L <sup>-1</sup>	0.05
11. Flúor	mg F <sup>-</sup> L <sup>-1</sup>	1
12. Mercurio	mg Hg L <sup>-1</sup>	0.001
13. Niquel	mg Ni L <sup>-1</sup>	0.02

14. Nitratos	mg NO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup>	50
15. Nitritos	mg NO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	3.00 Exposición corta
		0.20 exposición larga
16. Plomo	mg Pb L <sup>-1</sup>	0.01
17. Selenio	mg Se L <sup>-1</sup>	0.01
18. Molibdeno	mg Mo L <sup>-1</sup>	0.07
19. Uranio	mg U L <sup>-1</sup>	0.015

Fuente: (DIGESA, 2010)

Tabla N°4: L.M.P. de parámetros Orgánicos

Parámetros Orgánicos	Unidad de medida	L.M.P.
1. Trihalometanos totales		1
2. Hidrocarburo disuelto o emulsionado; aceite mineral	mgL <sup>-1</sup>	0.01
3. Aceites y grasas	mgL <sup>-1</sup>	0.5
4. Alacloro	mgL <sup>-1</sup>	0.02
5. Aldicarb	mgL <sup>-1</sup>	0.01
6. Aldrin y dieldrín	mgL <sup>-1</sup>	0.00003
7. Benceno	mgL <sup>-1</sup>	0.01
8. Clordano (total de isómeros)	mgL <sup>-1</sup>	0.0002
9. DDT (total de isómeros)	mgL <sup>-1</sup>	0.001
10. Endrin	mgL <sup>-1</sup>	0.0006
11. Gamma HCH (lindano)	mgL <sup>-1</sup>	0.002
12. Hexaclorobenceno	mgL <sup>-1</sup>	0.001
13. Heptacloro y Heptacloro epóxido	mgL <sup>-1</sup>	0.00003
14. Metoxicloro	mgL <sup>-1</sup>	0.02
15. Pentaclorofenol	mgL <sup>-1</sup>	0.009
16. 2, 4-D	mgL <sup>-1</sup>	0.03
17. Acrilamida	mgL <sup>-1</sup>	0.0005
18. Epiclorhidrina	mgL <sup>-1</sup>	0.0004
19. Cloruro de vinilo	mgL <sup>-1</sup>	0.0003
20. Benzopireno	mgL <sup>-1</sup>	0.0007
21. 1,2-dicloroetano	mgL <sup>-1</sup>	0.03
22. Tetracloroetano	mgL <sup>-1</sup>	0.04
23. Monocloramina	mgL <sup>-1</sup>	3
24. Tricloroetano	mgL <sup>-1</sup>	0.07
25. Tetracloruro de carbono	mgL <sup>-1</sup>	0.004
26. Fidato de di (2-etilhexilo)	mgL <sup>-1</sup>	0.008
27. 1, 2- Diclorobenceno	mgL <sup>-1</sup>	1
28. 1,4- Diclorobenceno	mgL <sup>-1</sup>	0.3
29. 1, 1- Dicloroetano	mgL <sup>-1</sup>	0.03
30. 1, 2- Dicloroetano	mgL <sup>-1</sup>	0.05
31. Diclorometano	mgL <sup>-1</sup>	0.02
32. Ácido edáfico (EDTA)	mgL <sup>-1</sup>	0.6
33. Etilbenceno	mgL <sup>-1</sup>	0.3

34. Hexaclorobutadieno	mgL <sup>-1</sup>	0.0006
35. Ácido Nitrilotriacético	mgL <sup>-1</sup>	0.2
36. Estireno	mgL <sup>-1</sup>	0.02
37. Tolueno	mgL <sup>-1</sup>	0.7
38. Xileno	mgL <sup>-1</sup>	0.5
39. Atrazina	mgL <sup>-1</sup>	0.002
40. Carbofurano	mgL <sup>-1</sup>	0.007
41. Clortoluron	mgL <sup>-1</sup>	0.03
42. Cianazina	mgL <sup>-1</sup>	0.0006
43. 2, 4- DB	mgL <sup>-1</sup>	0.09
44. 1, 2- Dibromo-3- Cloropropano	mgL <sup>-1</sup>	0.001
45. 1, 2- Dibromoetano	mgL <sup>-1</sup>	0.0004
46. 1, 2- Dicloropropano (1,2-DCP)	mgL <sup>-1</sup>	0.04
47. 1, 3- Dicloropropeno	mgL <sup>-1</sup>	0.02
48. Diclorprop	mgL <sup>-1</sup>	0.1
49. Dimetoato	mgL <sup>-1</sup>	0.006
50. Fenoprop	mgL <sup>-1</sup>	0.009
51. Isoproturon	mgL <sup>-1</sup>	0.009
52. MCPA	mgL <sup>-1</sup>	0.002
53. Mecoprop	mgL <sup>-1</sup>	0.01
54. Metolacloro	mgL <sup>-1</sup>	0.01
55. Molinato	mgL <sup>-1</sup>	0.006
56. Pendimetalina	mgL <sup>-1</sup>	0.02
57. Simazina	mgL <sup>-1</sup>	0.002
58. 2,4,5-T	mgL <sup>-1</sup>	0.009
59. Terbutilazina	mgL <sup>-1</sup>	0.007
60. Trifluralina	mgL <sup>-1</sup>	0.02
61. Clorpirifos	mgL <sup>-1</sup>	0.03
62. Piriproxifeno	mgL <sup>-1</sup>	0.3
63. Microcystin-LR	mgL <sup>-1</sup>	0.001
64. Bromato	mgL <sup>-1</sup>	0.01
65. Bromodiclorometano	mgL <sup>-1</sup>	0.06
66. Bromoformo	mgL <sup>-1</sup>	0.1
67. Hidrato de cloral (tricloroacetaldehído)	mgL <sup>-1</sup>	0.01
68. Cloroformo	mgL <sup>-1</sup>	0.2
69. Cloruro de cianógeno (como CN)	mgL <sup>-1</sup>	0.07
70. Dibromo acetónitrilo	mgL <sup>-1</sup>	0.07
71. Dibromoclorometano	mgL <sup>-1</sup>	0.1
72. Dicloroacetato	mgL <sup>-1</sup>	0.05
73. Dicloro acetónitrilo	mgL <sup>-1</sup>	0.02
74. Formaldehído	mgL <sup>-1</sup>	0.9
75. Monocloroacetato	mgL <sup>-1</sup>	0.02
76. Tricloroacetato	mgL <sup>-1</sup>	0.2
77. 2, 4, 6-Triclorofenol	mgL <sup>-1</sup>	0.2

Fuente: (DIGESA, 2010)

### 2.2.7. Cloro

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 más utilizado a nivel mundial con un 87% de los procesos.

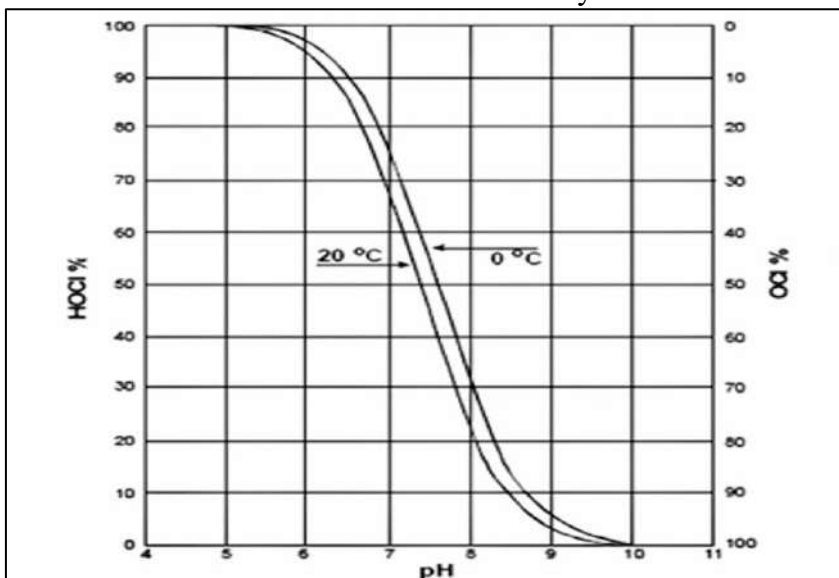
La acción desinfectante se produce por su capacidad de afectar la pared celular de los microorganismos y destruir su sistema enzimático, provocando la eliminación de este. Los agentes desinfectantes son el ácido hipocloroso (HOCL) y el ion hipoclorito ( $\text{OCl}^-$ ), en tal sentido el ácido hipocloroso se disocia en iones hidrógeno e iones hipoclorito:



Una característica del cloro es que este disminuye el pH del agua a causa de los iones hidrógeno que se producen en la reacción con el agua.

La desinfección se vuelve más eficiente con niveles de pH bajos debido a que favorece la formación de ácido hipocloroso, siendo un agente 80 veces más eficaz que el ion hipoclorito. En conclusión, el ion hipoclorito predomina en un  $\text{pH} > 7.5$  y el ácido hipocloroso predomina en un  $\text{pH} < 7.5$  (Alvarez Guisasola, 2009).

Gráfico N°1: Cantidades relativas de HOCL y  $\text{OCl}^-$  en función del pH

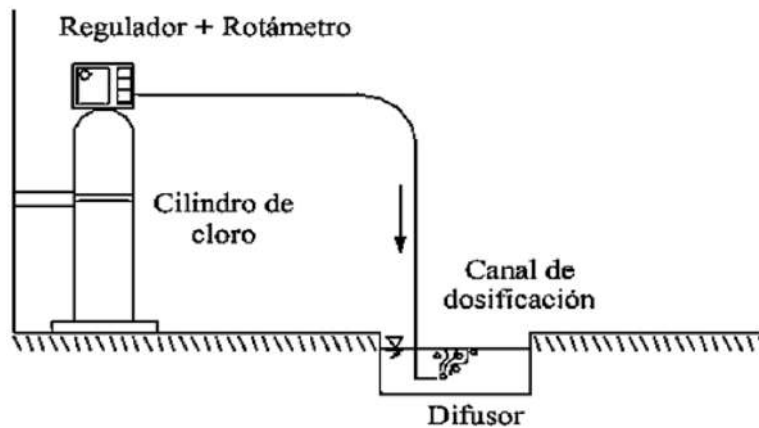


Fuente: (Alvarez Guisasola, 2009)

### a. Sistema de cloración con gas por inyección directa

Esta metodología se utiliza balones de cloro gas por 68 kg como insumo, y funciona parecido a un balón de gas de cocina, donde se aprovecha la presión interna del balón para inyectar cloro directamente a la tubería de ingreso, en tal sentido no requiere energía eléctrica (Sánchez Barrionuevo, 2024).

Figura N°7: Clorador a gas por inyección directa

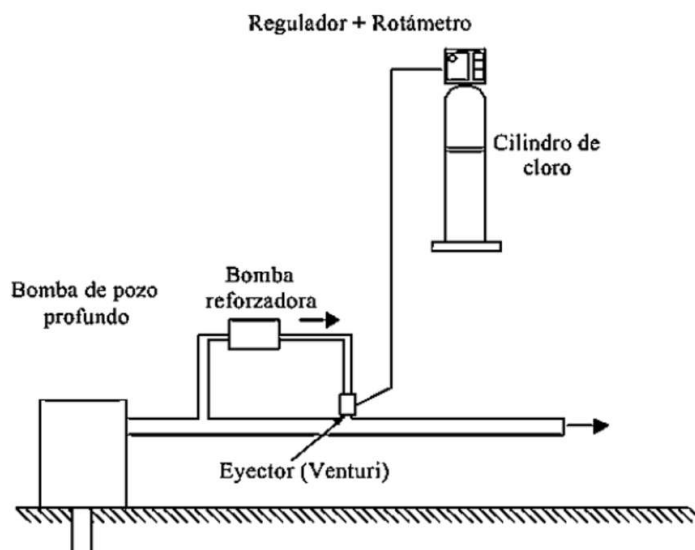


Fuente: (PROAGUA, 2017)

### b. Sistema de cloración por gas por inyección al vacío

Esta metodología usa balones de cloro gas por 68kg, funcionando con ayuda de un eyector (Venturi), donde se genera un vacío y succiona el gas del cilindro. En consecuencia, para lograr el vacío se adiciona dos bombas tipo booster para aumentar la caída de presión y activar el inyector (PROAGUA, 2017).

Figura N°8: Clorador a gas por inyección directa



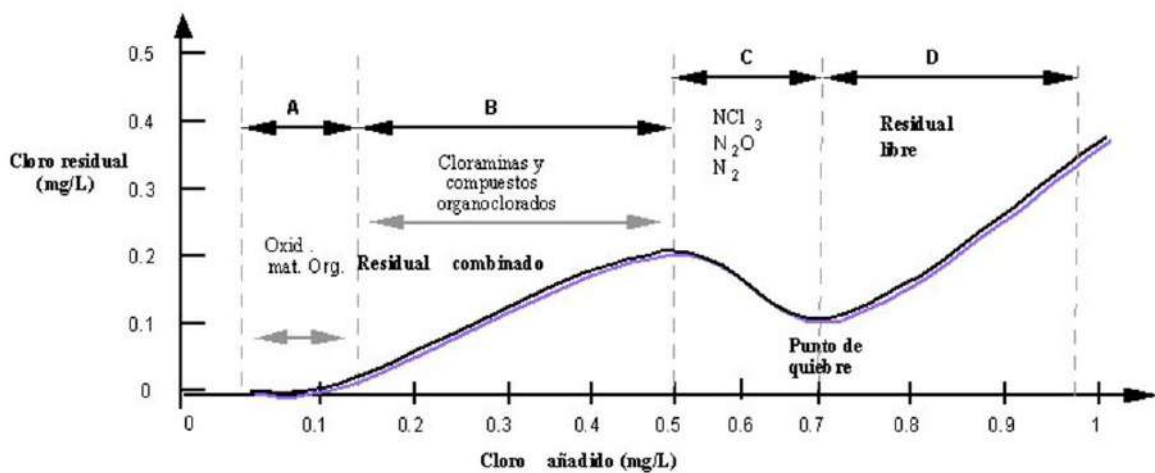
Fuente: (PROAGUA, 2017)

### 2.2.8. Dosis de cloro

La dosis del desinfectante depende del tipo de agua a clorar. Deberá determinarse antes de poner en funcionamiento el sistema de agua potable. La determinación exacta requiere de un laboratorio y personal especializado. Se recomienda determinar la dosis de cloro por lo menos dos veces al año, según varíe las características fisicoquímicas del agua a desinfectar.

En Perú, la norma establece la obligatoriedad de al menos 0,50 mg/L de cloro residual libre en el agua que será abastecida como potable. Por tanto, la dosis de cloro será:  $\text{Dosis cloro (mg/L)} = \text{Demanda de cloro (mg/L)} + 0,50 \text{ mg/L}$ . (PROAGUA, 2017).

Gráfico N°2: Estudio de demanda de cloro



Fuente: (Sánchez Barrionuevo, 2024)

En la etapa A, el cloro añadido reacciona con las sustancias con facilidad de oxidación como el  $Fe^{++}$ ,  $Mn^{++}$ ,  $NO_2$ ,  $NH_3$  y la materia orgánica reacciona con el cloro reduciendo la mayor parte de ion cloruro. En la etapa B el cloro continúa reaccionando con el amoníaco para formar cloraminas y otros compuestos orgánicos (cloro residual combinado). En la etapa C al seguir aumentando la dosis de cloro, un porcentaje de las cloraminas se convierte en tricloruro de nitrógeno, mientras que las restantes se oxidan a óxido nitroso y nitrógeno ( $N_2$ ), de esta manera reduciéndose el cloro a ion cloruro hasta llegar al punto crítico. Finalmente, en la etapa D, el cloro libre disponible (cloro sin reaccionar) aumenta progresivamente.

Cuando la desinfección se realiza a través de la cloración, el tiempo de contacto entre el cloro y el agua no debe de ser inferior a 30 minutos, tratando de mantener un pH menor a 8. Los operarios tendrán un instrumental adecuado para la medición de cloro residual libre en las redes de distribución de agua potable. (Alvarez Guisasola, 2009).

**a. Hipoclorito**

**- Hipoclorito Sódico**

Cuando se introduce en el agua el hipoclorito sódico (NaOCL), al entrar en contacto se genera el ácido hipocloroso (HOCL) mediante la siguiente reacción:



**- Hipoclorito cálcico**

La reacción que se da cuando el hipoclorito de calcio (Ca (OCL))<sub>2</sub> entra en contacto con el agua es la siguiente:



**- Cloro gaseoso**

El cloro gaseoso se hidroliza en el agua de forma casi completa para formar ácido hipocloroso mediante la siguiente reacción:

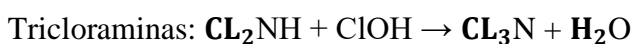
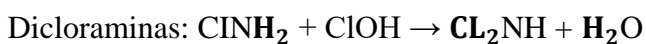
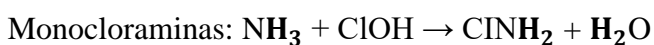


**- Dióxido de cloro**

Es un gas soluble en agua de color verde amarillo, tiene un gran poder biocida se basa en ser capaz de atravesar las paredes celulares de las bacterias destruyéndolas, mientras que sobre los virus el efecto incluye su adsorción y penetración en la capa proteica de la cápside viral y su reacción con el ARN. El dióxido de cloro es un desinfectante más potente que el cloro, pero tiene menor efecto microbiano que el ozono (Sánchez Barrionuevo, 2024).

**- Cloraminas**

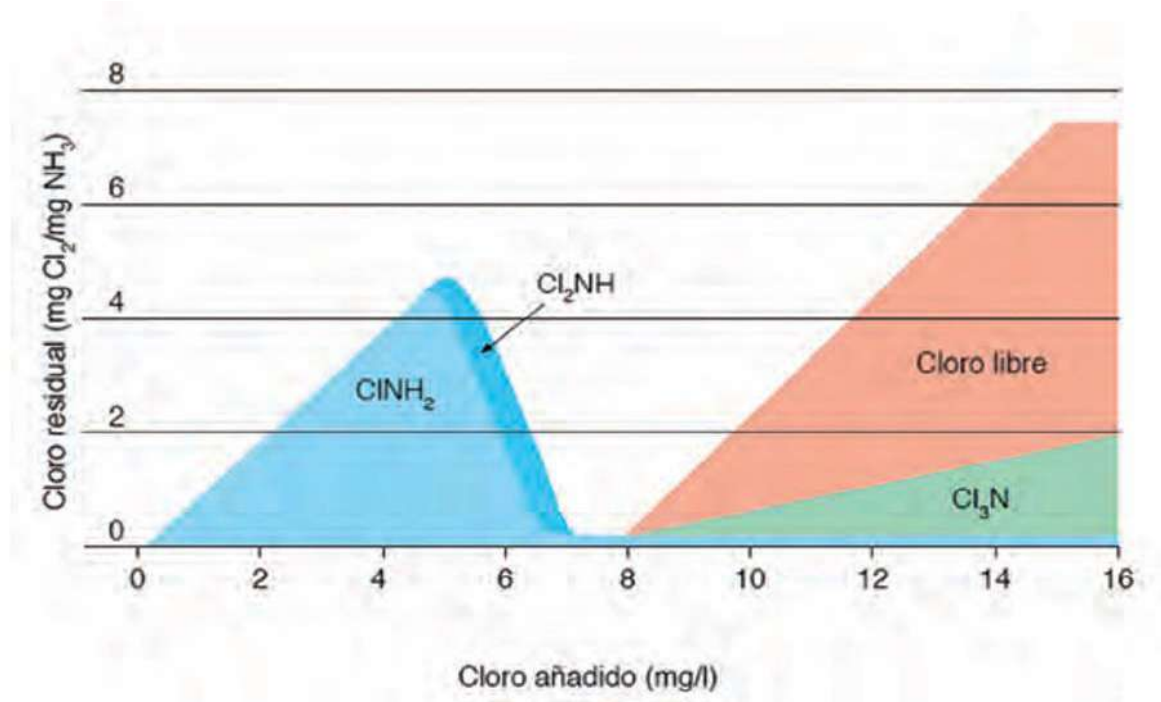
Cuando sucede el proceso de cloraminación se mezcla cloro con amoniac dando lugar a las cloraminas, compuestos orgánicos con efectos desinfectantes, como son más estables que el cloro libre resultan muy efectivas en la desinfección secundaria en las redes de las tuberías. Existen 3 tipos de cloraminas, como son: monocloraminas (CINH<sub>2</sub>), dicloraminas (CL<sub>2</sub>NH) y tricloraminas (CL<sub>3</sub>N), sus reacciones son las siguientes:



Hay que tener en cuenta que la velocidad de reacción de cada cloramina se ve afectada por el pH y la temperatura del agua, así como también por la proporción de cloro y amoníaco.

Las cloraminas se emplean como desinfección secundaria, tras la desinfección primaria se tiene que comprobar que después de satisfacer la demanda de cloro en el agua, quede cloro residual libre. La evolución de las cloraminas viene escrita en el siguiente gráfico:

Gráfica N°2: Formación de cloraminas



Fuente: (Romero Rojas, 1999)

### 2.2.9. Electrólisis

El cloro también se puede generar mediante el proceso de electrólisis de la sal común (NaCl), dicho procedimiento consiste en aplicar una corriente eléctrica a una disolución de cloruro sódico, permitiendo separar sus iones. Dicha electrólisis se produce en una celda con 2 electrodos, uno negativo y otro positivo, que mediante la aplicación de una corriente son capaces de separar los iones (Romero Rojas, 1999).

### 2.2.10. Control y mantenimiento

Se debe controlar ciertos aspectos para que los procesos de desinfección se desarrollen correctamente y los equipos utilizados funcionen de manera adecuada:

- La mezcla de cloro con el agua debe de ser rápida y uniforme
- El tiempo que debe tener contacto el cloro tiene que ser suficiente, para que se

garantice la desinfección completa.

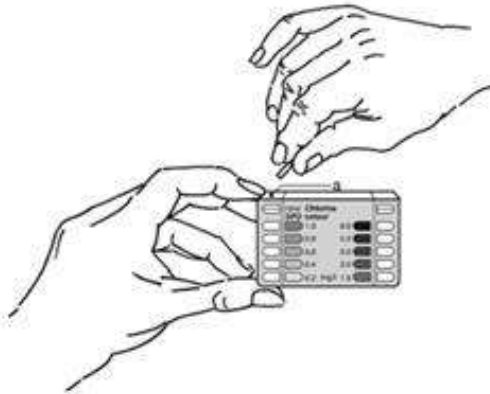
- El pH debe controlarse durante todo el proceso, ajustándose por debajo de 8, debido con valores altos disminuye la efectividad.
- Se debe controlar la turbidez del agua, ya que puede proteger a los virus y bacterias de la acción del desinfectante.
- Control de los subproductos de la cloración, como de los trihalometanos que no estén presentes en el agua tratada en una concentración mayor a la permitida en la norma.

Figura N°9: Limpieza externa del reservorio



Fuente: (MDI, 2023)

Figura N°10: Toma de muestra de agua



Fuente: (MDI, 2023)

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN

##### 3.1.1. Ubicación del área de estudio.

Está investigación fue realizada en la provincia de Cajabamba y departamento de Cajamarca, las redes de distribución del agua potable abarcan un área aproximada a 235 hectáreas.

##### 3.1.2. Ubicación Política y geográfica de la zona de estudio

Los límites de la provincia de Cajabamba son los siguientes:

- Norte: Con la provincia de San Marcos (río Crisnejas y río Cajamarquino)
- Este: Con la provincia de Bolívar (río Marañón)
- Sur: Con la provincia de Sánchez Carrión (río Negro y río Chusgón)
- Oeste: Con la provincia del Gran Chimú)

Los límites del distrito de Cajabamba son los siguientes:

- Norte: Con el Distrito de Pampa Grande.
- Este: Con el Distrito de Santa Mónica.
- Sur: Con el Distrito de Quingray Cruz.
- Oeste: Con el Distrito de Callash.

Tabla N°5: Ubicación Política

Ubicación política de la zona de estudio	
Región	Cajamarca
Provincia	Cajabamba
Distrito	Cajabamba

La provincia de Cajabamba con respecto a su Latitud está entre los paralelos 7°40'10" y 7°7'30" de latitud Sur del departamento de Cajamarca. Mientras en su longitud esta entre los meridianos 78°20'05" y 77°42'35" de longitud Oeste de Greenwich.

Tabla N°6: Ubicación Geográfica

Ubicación en coordenadas UTM WGS 84 Zona 17S del centro de la Ciudad	
Este	825949
Norte	9156196
Altitud	2650

Figura N°11: Ubicación de la provincia de Cajabamba

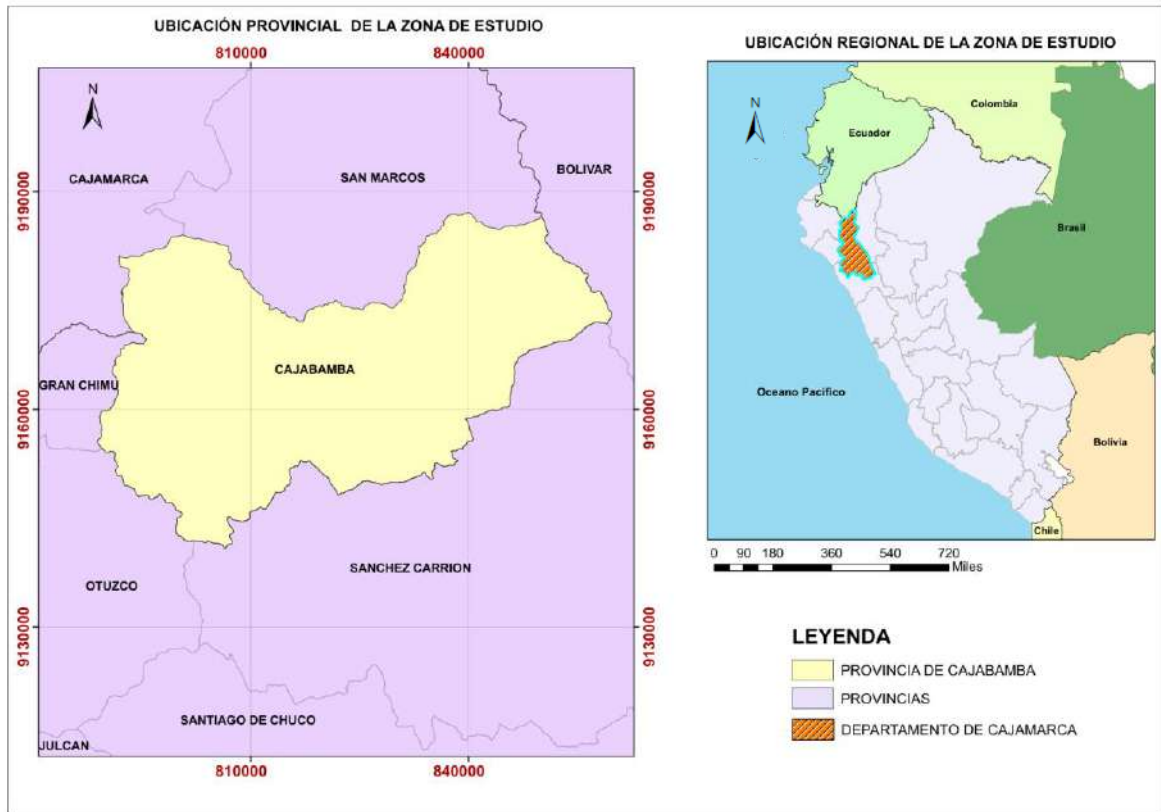
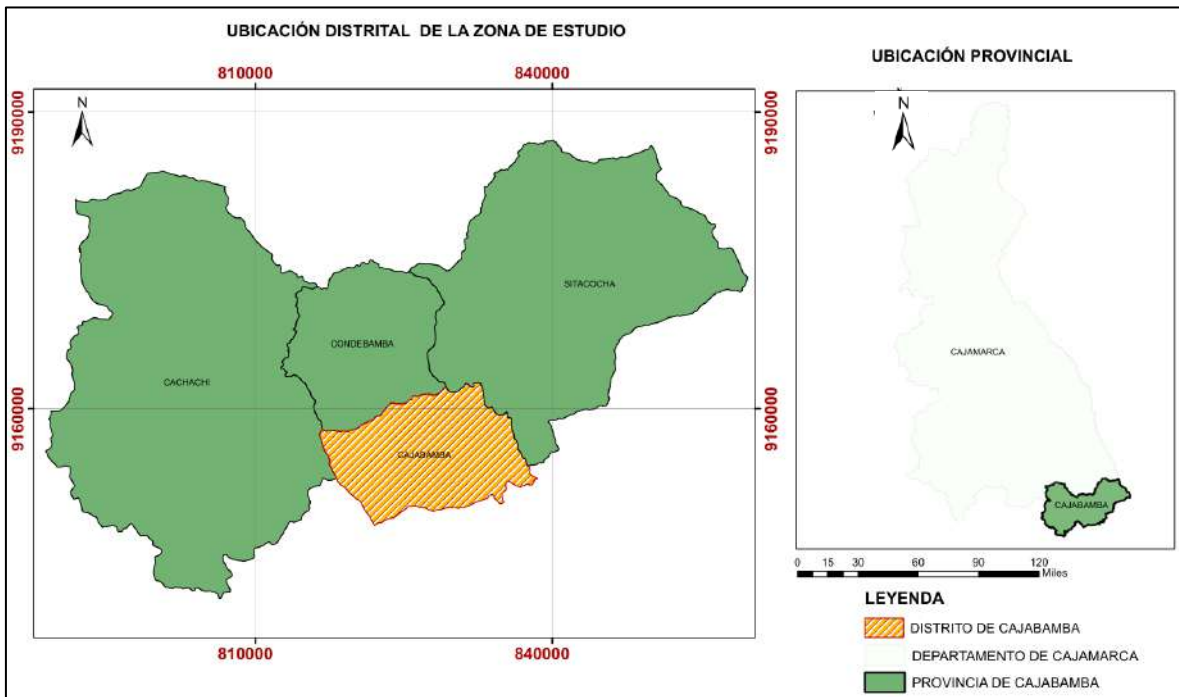


Figura N°12: Ubicación del distrito de Cajabamba



### **3.1.3. Vías de acceso**

Si se toma como punto de partida la capital del departamento de Cajamarca, se tiene 1 acceso a la provincia de Cajabamba. Tomando la 8B, se llega a Llacanora en un tiempo estimado de 29 min para sus 12.1 km; luego se dirige al distrito de Namora tomando la 3N recorriendo una distancia de 31.1 km en un tiempo estimado de 55 minutos aproximados; luego se sigue por la 3N hasta llegar al distrito de Matara, que tiene 12.7km en un tiempo de 19 minutos aproximados, una vez en Matara, se dirige a la provincia de San Marcos a una distancia de 21.3 km y un tiempo aproximado de 31 minutos. Finalmente, desde la ciudad de San Marcos se sigue 1 hora con 30 minutos aproximadamente para llegar a la provincia de Cajabamba, recorriendo 120.9 km.

### **3.1.4. Características Generales**

#### **Topografía**

La topografía de la localidad es accidentada con pendientes irregulares entre el 2% y 15%.

#### **Actividades económicas**

La ciudad de Cajabamba tiene como principal fuente de economía el comercio, siendo el Jr. Miguel Grau, donde se concentra más la zona comercial.

#### **Servicios básicos**

La ciudad de Cajabamba cuenta con los servicios de agua y desagüe, servicio eléctrico, telefonía móvil, servicio de cable y diferentes centros comerciales.

## **3.2. Características urbanísticas**

### **3.2.1. Contexto urbano**

Su posición geográfica en un valle interandino ha influido en su crecimiento urbano, condicionado por el relieve accidentado y las quebradas circundantes, lo que ha determinado la configuración y densidad de sus áreas urbanas.

### **3.2.2. Estructura y forma urbana**

La ciudad sigue un patrón de damero o cuadrícula tradicional, característico de muchas

ciudades coloniales en el Perú, con calles principales y secundarias que conforman manzanas regulares.

### **3.2.3. Zonificación**

Predomina el uso residencial de baja densidad unifamiliar y multifamiliar, aunque con tendencias de consolidación de vivienda en expansión urbana organizada.

La zonificación urbana contempla áreas dedicadas a actividades comerciales, de servicios y zonas destinadas al desarrollo económico e industrial de carácter liviano, integradas a la estructura urbana para facilitar el acceso y movilidad.

### **3.2.4. Instituciones gubernamentales, administrativas, religiosas y culturales.**

En la ciudad de Cajabamba existen diferentes instituciones y espacios públicos que están al servicio de la población, dentro de los principales se encuentran:

- Municipalidad Provincial de Cajabamba.
- Unidad de Gestión Educativa Local (UGEL) Cajabamba
- Parroquia San Nicolás de Tolentino.
- Plaza de Armas de Cajabamba.
- Red Integral de Salud Cajabamba.
- Centro Médico ESSALUD Cajabamba
- Centro Médico Municipal.
- Nuevo Hospital De Apoyo Cajabamba.
- Centro de salud primaria.
- Estadio “Germán Contreras Jara”
- Plaza de toros “German Contreras Jara”
- Camal Municipal Cajabamba.
- Comisaría de Cajabamba (Policía Nacional).
- Instituciones Educativas urbanas.
- Instituto de educación Superior Pedagógico “Antenor Orrego”
- Instituto de Educación Superior Tecnológico Público “José Arnaldo Sabogal Diéguez”
- Coliseo Cerrado “José Gálvez”
- Complejos deportivos.

- Planta de tratamiento de agua potables (PTAP).
- Dos plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR).
- Cementerio “Santa Ana”.
- Museo Yachayhuasi.
- Sala Natividad.
- Grifos y estaciones de servicio, hoteles, lavanderías, farmacias, talleres, bodegas, restaurants.

### 3.2.5. Vista Satelital

Figura N°13: Vista satelital (Google Earth) de la ciudad de Cajabamba



Figura N°14: Fotografía con dron de la ciudad de Cajabamba

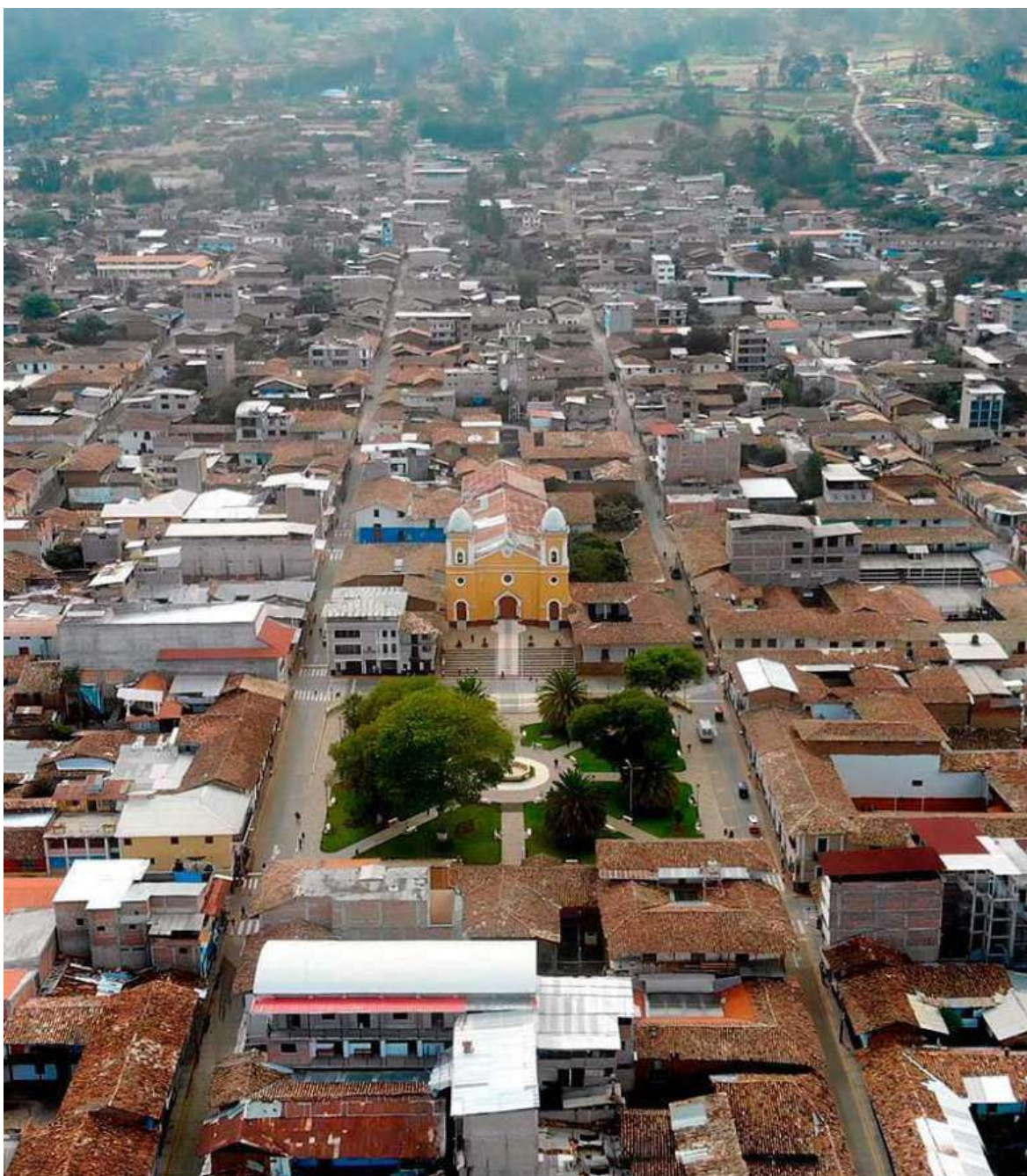


Figura N°15: Fotografía panorámica de la ciudad de Cajabamba



### **3.3. MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS**

Para el desarrollo de la presente investigación se ha utilizado una serie de materiales, equipos y programas computacionales que se detallan a continuación:

#### **3.3.1. Para la fase de campo**

- Un GPS Navegador
- Una Cámara fotográfica
- Equipo EPP
- 1 par de guantes
- Libreta de campo
- Planos de la red de distribución
- Kit Pool MGR PM-3
- Celdas de medición (Tubos de ensayo incluidos en el Kit)
- Tabletas DPD N°1 (Para el cloro libre)
- Agua para analizar (Muestra)
- Manual del kit (para referencia de color comparativo)

Figura N°16: Equipo de muestreo del cloro residual libre



### 3.3.2. Para la fase de gabinete

- Una laptop HP Core i7
- Microsoft Excel
- Microsoft Word
- Power Point
- AutoCAD Civil 3D 2025
- ArcMap 10.8
- Escalímetro
- Lapiceros
- Impresora
- Google Earth Pro

Figura N°17: Programas y equipos utilizados



### 3.4. PROCEDIMIENTO

En la presente investigación se ha realizado una serie de pasos escalonados, que han ido desde la recolección de la información existente en la municipalidad provincial de Cajabamba, toma de muestras en los puntos seleccionados, procesamiento de la información y redacción del informe de la investigación.

#### 3.4.1. Recopilación de información en campo

Como punto de partida, se ha sacado toda la información de la Unidad de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado (USAPAN) de la Municipalidad Provincial de Cajabamba, en la cual ha consistido en la obtención de planos del sistema de agua potable, reservorios, válvulas, fuentes de abastecimiento y sistema de cloración (tipo de cloro usado), registros anteriores de cloro residual, protocolos de dosificación, interrupciones del servicio y la normativa aplicable con respecto a los límites permitidos de cloro residual, así como los protocolos de monitoreo exigidos por la autoridad de salud.

#### 3.4.2. Ubicación de los puntos de muestreo

Los puntos de monitoreo de cloro residual en un sistema de agua potable deben seguir criterios técnicos y normativos para garantizar una cobertura representativa de la red de agua potable y asegurar la calidad. A continuación, se detalla:

### - Criterios generales de ubicación

Los puntos de monitoreo se seleccionan en función de la representatividad (cubrir diferentes zonas de la red), riesgo sanitario (hospitales, zonas altamente pobladas), accesibilidad (facilidad para tomar las muestras) y distancia desde la planta (evaluar a lo largo de la red)

### - Ubicaciones específicas recomendadas

El punto de monitoreo debe darse en la salida de la planta de tratamiento para verificar la dosificación inicial, puntos en los extremos de la red para confirmar que llegue el cloro residual y, por último, en las zonas de baja presión o estancamiento.

### - Factores que influyen en la ubicación

Se tiene en cuenta el tiempo de recorrido del agua, donde es probable que los puntos lejanos a la planta puedan tener menos cloro. Otro es el material de las tuberías; por ejemplo, el acero o hierro generan mayor demanda del cloro a comparación con el PVC.

Tabla N°7: Ubicación UTM de los puntos de muestreo-Primera etapa

<b>PUNTOS DE MUESTREO - PRIMERA ETAPA</b>				
<b>N°</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>Altitud (msnm)</b>	<b>Descripción</b>
1	826920	9156688	2767	Reservorio
2	826410	9156031	2683	Vivienda familiar
3	826420	9156105	2689	Vivienda familiar
4	826451	9156262	2704	Bodega
5	826413	9156356	2705	Bodega
6	826541	9156387	2718	Complejo deportivo
7	826413	9156654	2716	Vivienda familiar
8	826292	9156559	2703	Vivienda familiar
9	826082	9156646	2683	Vivienda familiar
10	825978	9156606	2674	Vivienda familiar
11	825831	9156966	2666	Vivienda familiar
12	825719	9156979	2658	Ladrillera
13	825661	9156910	2652	Taller de carros
14	825502	9156771	2635	Taller de motos
15	825635	9156801	2646	Ferretería
16	825474	9156727	2631	Vivienda familiar
17	825301	9156550	2619	Vivienda familiar

Tabla N°8: Ubicación UTM de los puntos de muestreo-Segunda etapa

<b>PUNTOS DE MUESTREO - SEGUNDA ETAPA</b>				
<b>N°</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>Altitud (msnm)</b>	<b>Descripción</b>
1	826920	9156688	2767	Reservorio

18	825035	9156320	2603	Vivienda familiar
19	824937	9156180	2599	Vivienda familiar
20	825209	9156159	2608	Vivienda familiar
21	825362	9156185	2615	Vivienda familiar
22	825128	9156028	2601	Tienda de ropa
23	825196	9155885	2603	Cementerio
24	825538	9156069	2626	Restaurante
25	825626	9155985	2630	Restaurante
26	825612	9155742	2619	Vivienda familiar
27	825829	9155870	2639	Vivienda familiar
28	825976	9155833	2644	Ladrillera
29	826366	9155806	2665	Vivienda familiar
30	825669	9156382	2645	Vivienda familiar
31	825924	9156389	2668	Avícola
32	826112	9156101	2671	Bodega
33	826261	9155477	2652	Vivienda familiar

### 3.4.3. Toma de datos en los puntos de muestreo

En el muestreo del cloro residual en los puntos seleccionados, ha sido utilizado el Kit Pool MGR PM-3 que es un kit colorimétrico comúnmente utilizado para pruebas de cloro libre y total. Dentro de los pasos se tienen los siguientes:

#### - Enjuagar el tubo

El tubo comparador se lava con la misma muestra de agua que se va a analizar para evitar contaminación cruzada.

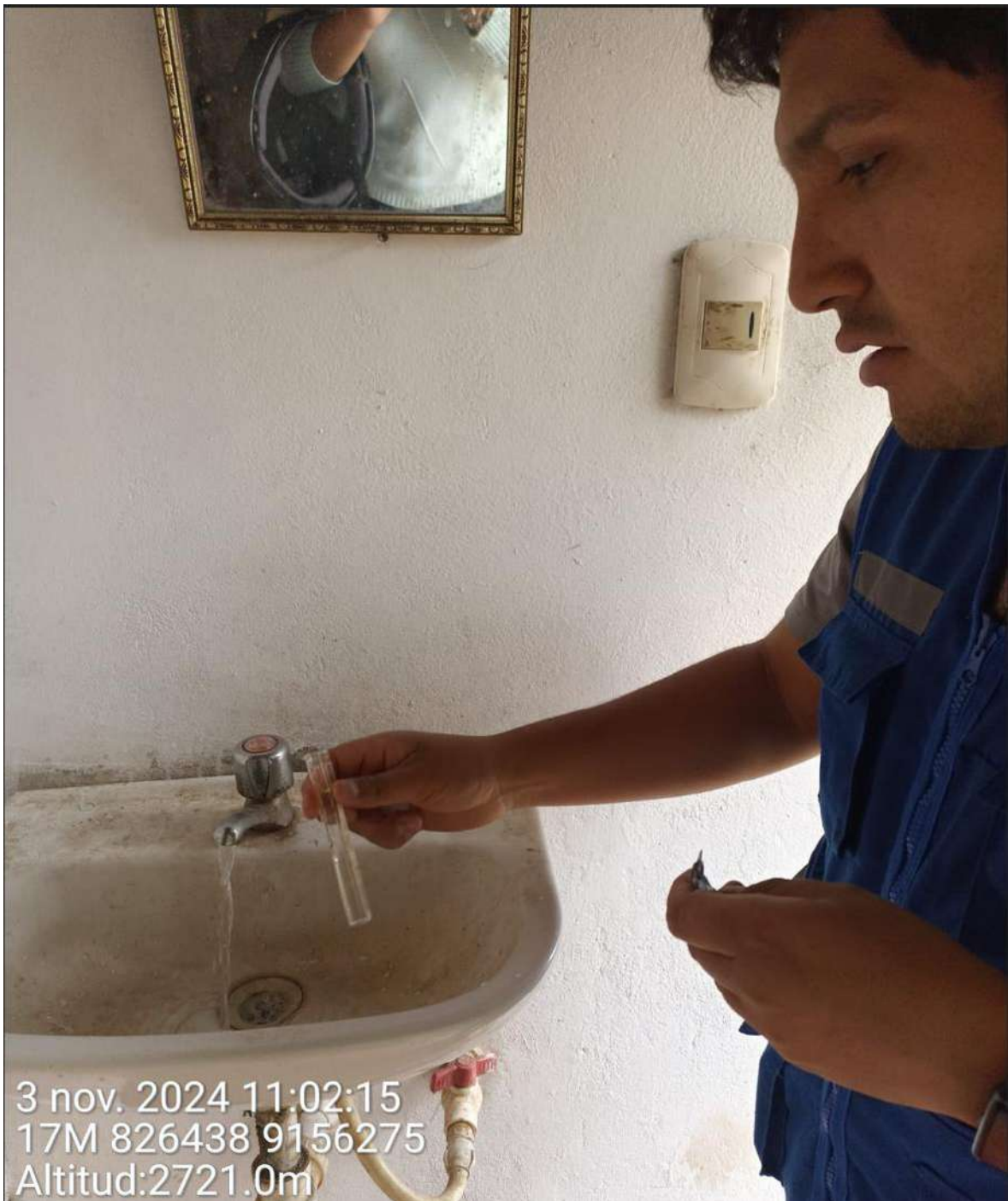
Figura N°18: Enjuague del tubo comparador



**- Llenado del tubo**

El llenado del tubo comparador hasta la línea de nivel (10ml) con la muestra de agua potable.

Figura N°19: llenado de la muestra en el tubo comparador



**- Agregar el reactivo DPD N°1**

Se añade una tabla DPD N°1 al tubo de la muestra, luego se cierra el tubo y se agita suavemente hasta que el reactivo se disuelva por completo y, después de 30 segundos se desarrolla el color en el agua (indicando o no la presencia de cloro libre).

Figura N°20: Agregar el reactivo DPD 1R en la muestra



**- Lectura del resultado**

Se coloca el tubo en el comparador de colores de kid, luego se compara el color desarrollado con la escala incluida y finalmente se anota el valor del cloro libre (mg/l o ppm).

Figura N°21: Lectura de resultados



**- Limpieza**

Se enjuaga el tubo comparador con agua destilada después de cada uso para evitar contaminación.

Figura N°22: Lectura de parámetros de calidad del agua



Se han medido los parámetros de la calidad del agua como pH, sales totales y conductividad hidráulica, por su relación e incidencia con el cloro residual libre.

#### **3.4.4. Trabajo de Gabinete**

En esta fase de la investigación, se han seguido las siguientes actividades escalonadas para el tratamiento de la información.

##### **- Organización y validación de la información**

En este paso, la data obtenida en campo se ingresa en una base de datos (Excel), para dar paso a la verificación de errores en las muestras, como datos atípicos, omisiones e inconsistencias y finalmente el control de calidad de los datos, revisando que haya procedimientos según los protocolos de muestreo (conservación, tiempo de análisis y puntos representativos).

##### **- Procesamiento estadístico de los datos**

Se han realizado los cálculos estadísticos descriptivos como la media, mediana, máximo, mínimo y desviación estándar; se ha evaluado la frecuencia de cumplimiento como porcentajes de muestras que cumplen con los valores permitidos por la norma peruana y también la identificación de los puntos críticos donde se hayan detectado niveles fuera del rango permitido.

- **Representación de los resultados**

Se han generado tablas resumen de los puntos de muestreo, con fecha y resultados; además, los gráficos como histogramas y series temporales; así como los mapas temáticos del cloro residual para visualizar tendencias espaciales.

- **Evaluación de los resultados con la normativa peruana**

Los resultados han sido en función del reglamento de la calidad del agua para consumo humano D.S. N° 0.31-2010-SA y las normas sobre muestreo de agua NTP ISO 5667.

- **Elaboración del informe técnico**

La redacción ha sido siguiendo al reglamento por la Facultad de Ingeniería de esta casa superior de estudios.

## **IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **4.1. Presentación de resultados**

#### **4.1.1. Sistema de agua potable Cajabamba**

El sistema de agua potable cuenta con 2 captaciones, una de nombre “La Shita”, ubicada a los 2900 m.s.n.m. y a 2.5 km de la ciudad de Cajabamba (Caserío Purubamba), con un caudal de 18 l/s en el periodo lluvioso y 6 l/s en el periodo de estiaje. La segunda captación tiene como fuente a la laguna “Quengococha” la cual está ubicada a los 3600 m.s.n.m. a 18 km de la ciudad de Cajabamba (Comunidad de Migma), con un caudal de 20 l/s en la época de lluvias y 10 l/s en el periodo de estiaje. Con respecto a la línea de conducción, la que viene del manantial La Shita tiene una longitud aproximada de 2.7 km, construida en PVC de clase 7.5 de 6”, contando con un total de 7 cámaras rompe presión de tipo 6; y la línea de conducción que viene desde la laguna Quengococha tiene aproximadamente 18.6 km; está construida con PVC clase 7.5 con un diámetro de 6”, manteniendo una antigüedad de 14 años y contando con un total de 14 cámaras de rompe presión de tipo 6. El sistema de agua potable cuenta con una planta de tratamiento que consiste en un sistema de filtro lento.

#### **4.1.2. Sistema de cloración**

Mantiene 2 sistemas de cloración, uno a través de cloro gas y el otro a cloración por goteo; el primero es el que se usa regularmente y el segundo se usa en casos de emergencia para no interrumpir la inyección de cloro. Ambos sistemas están de ingresar el agua al reservorio.

Figura N°23: Visita a la PTAP.



Figura N°24: Visita al reservorio.



Figura N°25: Visita la caseta de cloración.



Con respecto al almacenamiento, el reservorio tiene una capacidad de 1500 m<sup>3</sup>, el cual está ubicado en el caserío de Quillorco, teniendo una antigüedad de 20 años y estructuralmente es de concreto armado, de forma cilíndrica con techo de forma de cúpula. Finalmente, el sistema de agua potable de Cajabamba tiene una población urbana de 18750 habitantes con un total de 4105 conexiones domiciliarias.

Figura N°26: Red de distribución del agua potable de la ciudad de Cajabamba



### 4.1.3. Datos de muestreo en campo

#### a. Ubicación geográfica de los puntos muestreados

En esta investigación se analizaron 33 puntos distribuidos en dos etapas. En la primera etapa se evaluaron 17 puntos, con un total de 663 muestras recolectadas. En la segunda etapa se analizaron otros 17 puntos, incluyendo nuevamente el reservorio evaluado en la primera etapa, con un total adicional de 663 muestras.

Los puntos de muestreo fueron seleccionados estratégicamente en viviendas familiares, espacios públicos, fábricas y granjas, considerando zonas de alta densidad poblacional, fácil acceso, extremos de la red de distribución y áreas con baja presión.

Figura N°27: Puntos de muestreo en la red de agua potable

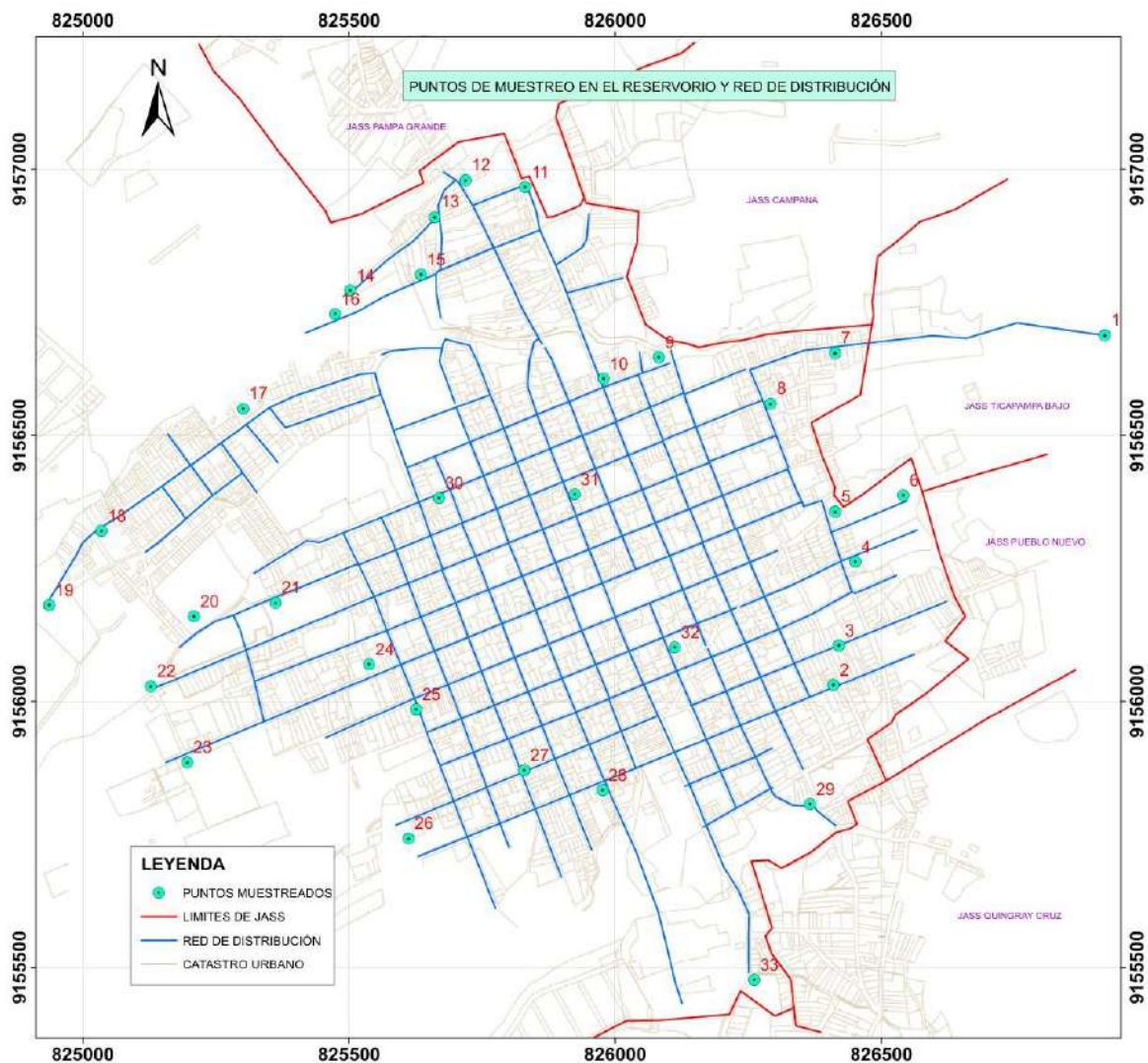


Tabla N°9: Procesamiento de la información de campo

N°	Descripción del punto de muestreo	Cantidad
1	Reservorio	1
2	Bodega	3
3	Vivienda familiar	18
4	Avícola	1
5	Tienda	1
6	Cementerio	1
7	Complejo deportivo	1
8	Ladrillera	2
9	Taller de carros	1
10	Taller de motos	1
11	Restaurante	2
12	Ferretería	1

Gráfica N°3: Distribución de muestreos por tipo



Del gráfico anterior se observa la distribución de los puntos de muestreo según el tipo de ubicación. La mayor concentración se encuentra en viviendas familiares (18), seguidas por bodegas (3), restaurantes (2) y ladrilleras (2). Asimismo, se incluyeron puntos representativos como el reservorio, una avícola, una tienda, un cementerio, un complejo deportivo, un taller de carros, un taller de motos y una ferretería, cada uno con una representatividad.

Estos puntos fueron seleccionados estratégicamente por su relevancia dentro de la ciudad de Cajabamba, cumpliendo con todos los criterios metodológicos establecidos en el estudio.

**b. Muestreo: Primera etapa**

**- Punto N°1**

Ubicación del punto de muestreo: Se han recopilado 39 muestras en la primera etapa en diferentes fechas en el RESERVORIO, en las siguientes coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 S:

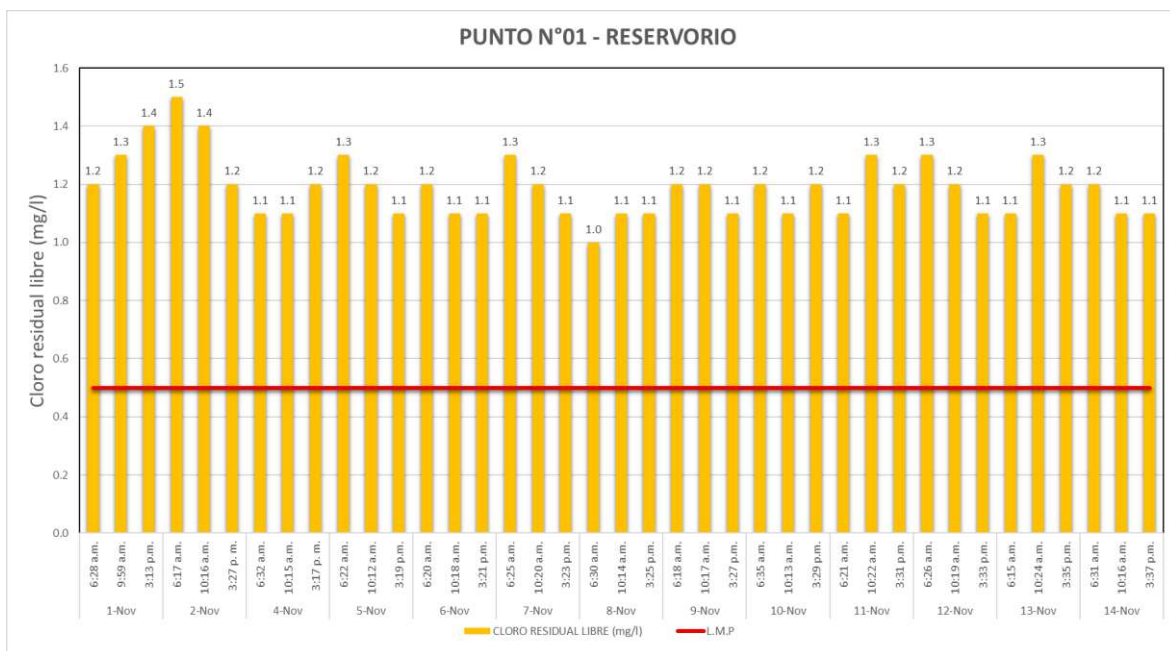
E: 826920

N: 9156688

Z: 2767 m.s.n.m

Interpretación de resultados: En la gráfica N°04 se observa un valor mínimo de 1.0 mg/l (registrado el 8 de noviembre) y un valor máximo de 1.50 mg/l (registrado el 2 de noviembre), en las cuales el promedio de las 39 muestras es de 1.19 mg/l, resultado que está por encima de 0.50 mg/l. Las muestras han sido tomadas los días 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14 de noviembre con 3 muestras diarias (en la mañana, medio día y la tarde). Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del DS N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En conclusión, cumple el punto N°1.

Gráfica N°4: Análisis del cloro residual en el punto N°1



- **Punto N°2**

Ubicación del punto de muestreo: Se han recopilado 39 muestras en diferentes fechas en una VIVIENDA FAMILIAR, en las siguientes coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 S:

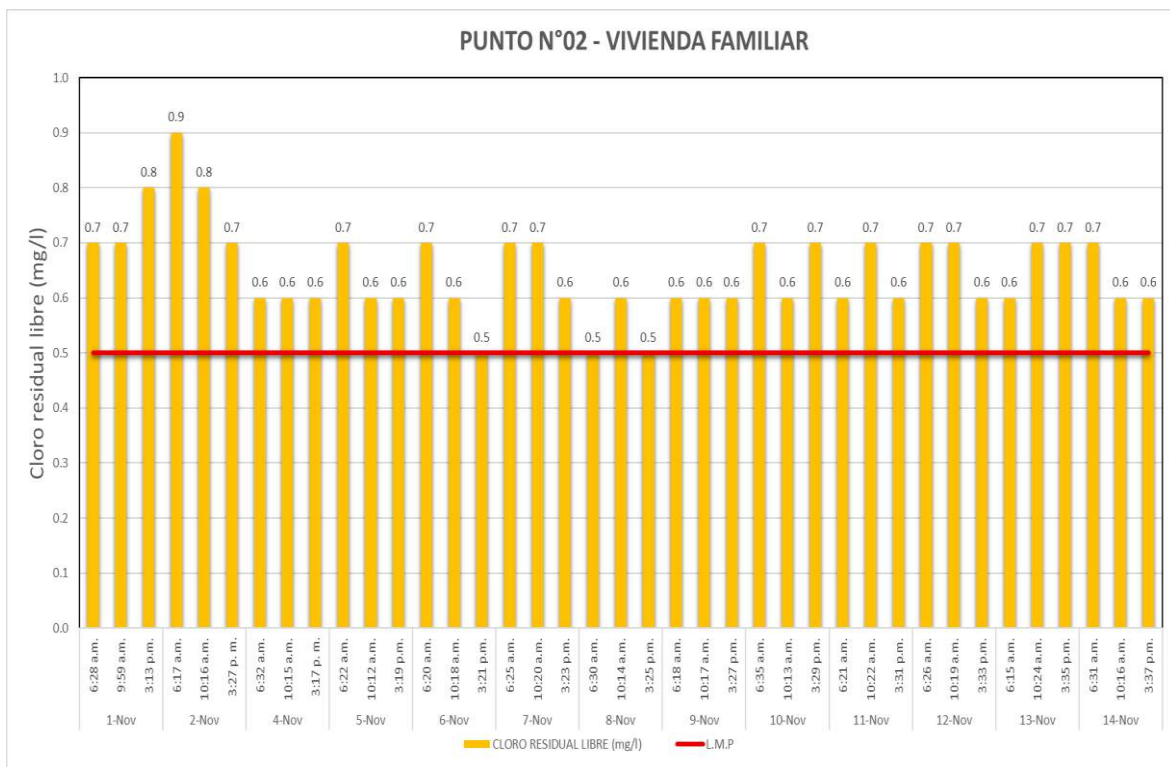
E: 826410

N: 9156031

Z: 2683 m.s.n.m

Interpretación de resultados: En la gráfica N°05 se observa un valor mínimo de 0.50 mg/l (registrado el 6 y 8 de noviembre) y un valor máximo de 0.9 mg/l (registrado el 2 de noviembre), en las cuales el promedio de las 39 muestras es de 0.65 mg/l, resultado que está por encima de 0.50 mg/l. Las muestras han sido tomadas los días 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14 de noviembre con 3 muestras diarias (en la mañana, medio día y la tarde). Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del DS N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En conclusión, cumple el punto N°10.

Gráfica N°5: Análisis del cloro residual en el punto N°2



- **Punto N°3**

Ubicación del punto de muestreo: Se han recopilado 39 muestras en diferentes fechas en una VIVIENDA FAMILIAR, en las siguientes coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 S:

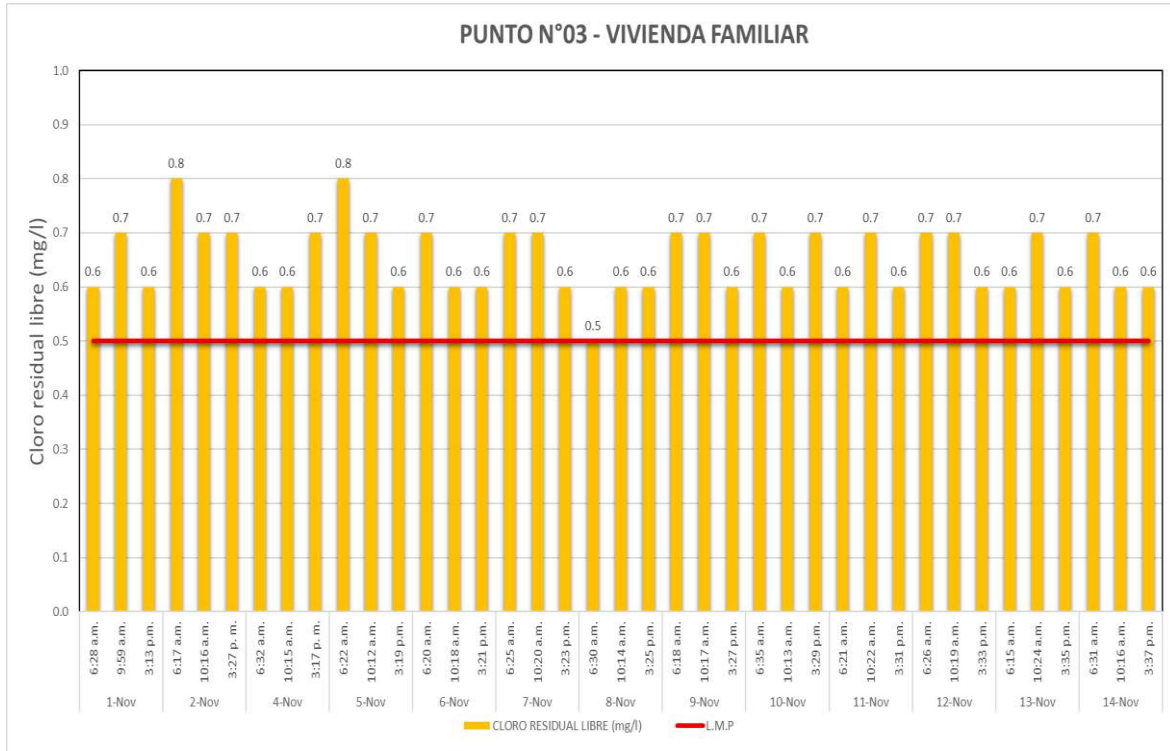
E: 826420

N: 9156105

Z: 2689 m.s.n.m

Interpretación de resultados: En la gráfica N°06 se observa un valor mínimo de 0.50 mg/l (registrado el 8 de noviembre) y un valor máximo de 0.80 mg/l (registrado el 2 y 5 de noviembre), en las cuales el promedio de las 39 muestras es de 0.65 mg/l, resultado que está por encima de 0.50 mg/l. Las muestras han sido tomadas los días 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14 de noviembre con 3 muestras diarias (en la mañana, medio día y la tarde). Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del DS N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En conclusión, cumple el punto N°3.

Gráfica N°6: Análisis del cloro residual en el punto N°3



- **Punto N°4**

Ubicación del punto de muestreo: Se han recopilado 39 muestras en diferentes fechas en una BODEGA, en las siguientes coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 S:

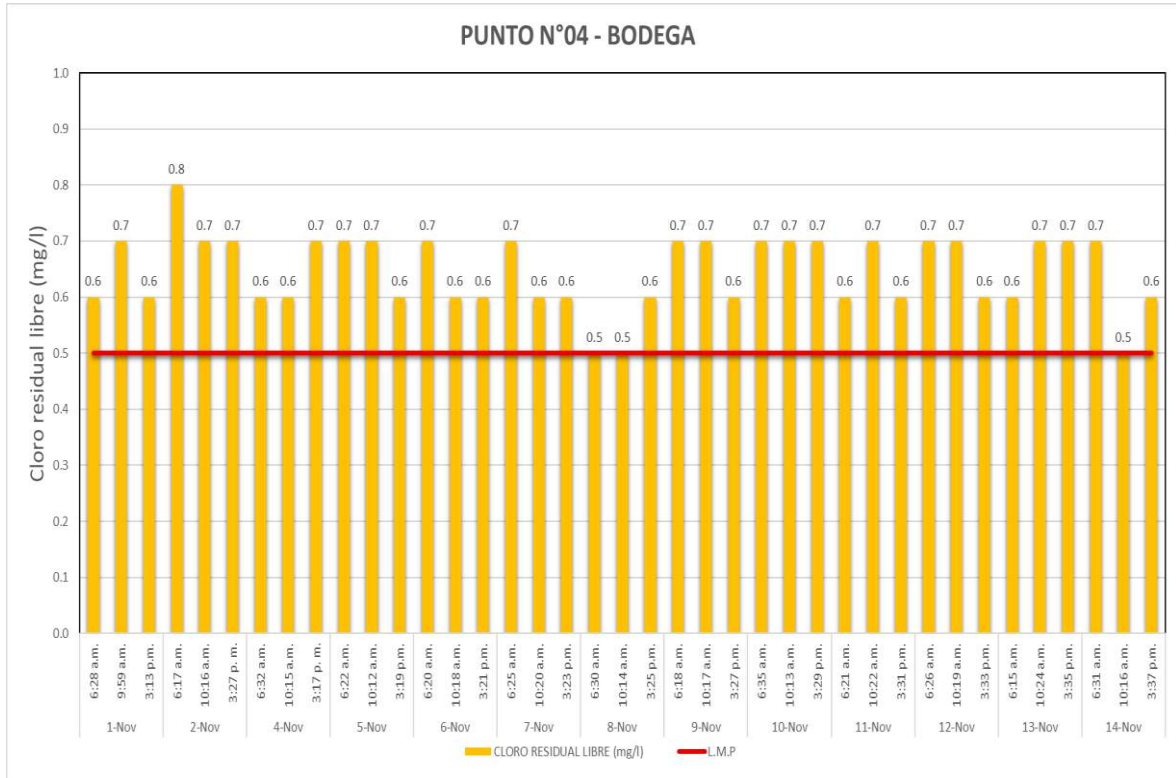
E: 826451

N: 9156262

Z: 2704 m.s.n.m

Interpretación de resultados: En la gráfica N°07 se observa un valor mínimo de 0.50 mg/l (registrado el 8 y 14 de noviembre) y un valor máximo de 0.8 mg/l (registrado el 2 de noviembre), en las cuales el promedio de las 39 muestras es de 0.65 mg/l, resultado que está por encima de 0.50 mg/l. Las muestras han sido tomadas los días 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14 de noviembre con 3 muestras diarias (en la mañana, medio día y la tarde). Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del DS N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En conclusión, cumple el punto N°4.

Gráfica N°7: Análisis del cloro residual en el punto N°4



- **Punto N°5**

Ubicación del punto de muestreo: Se han recopilado 39 muestras en diferentes fechas en una BODEGA, en las siguientes coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 S:

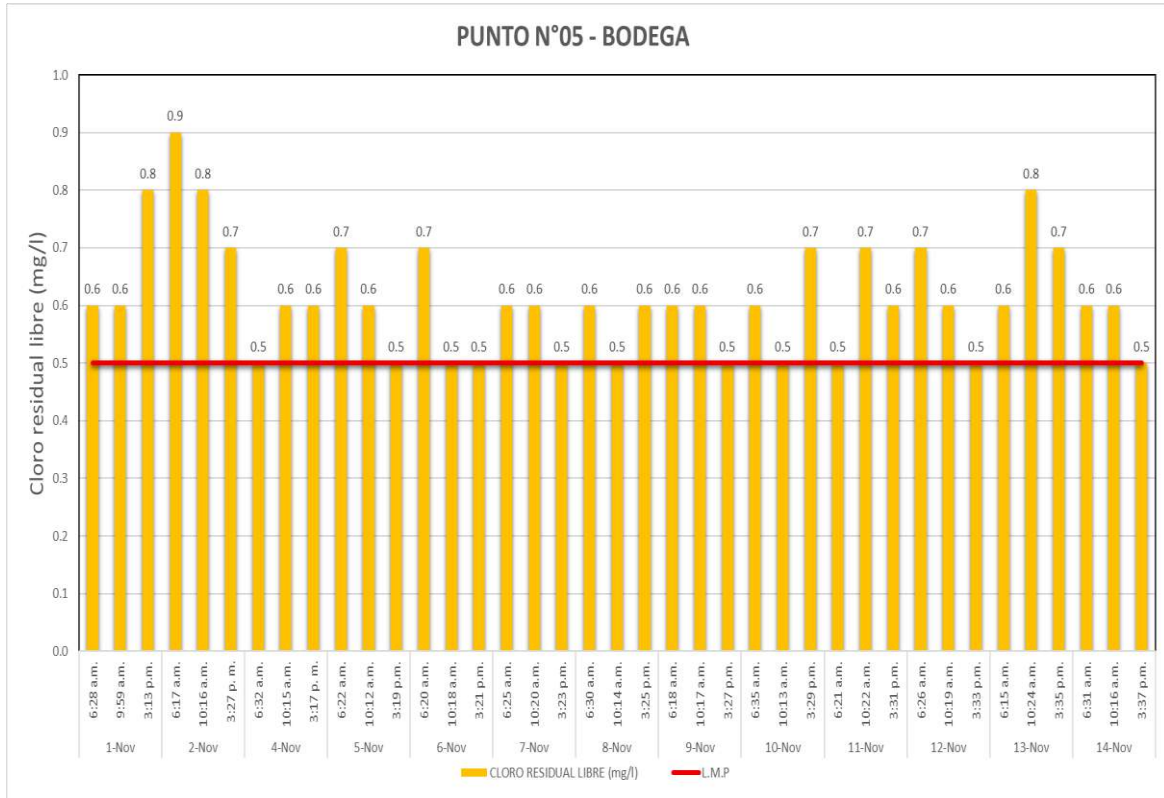
E: 826413

N: 9156356

Z: 2705 m.s.n.m

Interpretación de resultados: En la gráfica N°08 se observa un valor mínimo de 0.50 mg/l (registrado el 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12 y 14 de noviembre) y un valor máximo de 0.9 mg/l (registrado el 2 de noviembre), en las cuales el promedio de las 39 muestras es de 0.61 mg/l, resultado que está por encima de 0.50 mg/. Las muestras han sido tomadas los días 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14 de noviembre con 3 muestras diarias (en la mañana, medio día y la tarde). Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del DS N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En conclusión, cumple el punto N°5.

Gráfica N°8: Análisis del cloro residual en el punto N°5



- **Punto N°6**

Ubicación del punto de muestreo: Se han recopilado 39 muestras en diferentes fechas en un COMPLEJO DEPORTIVO, en las siguientes coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 S:

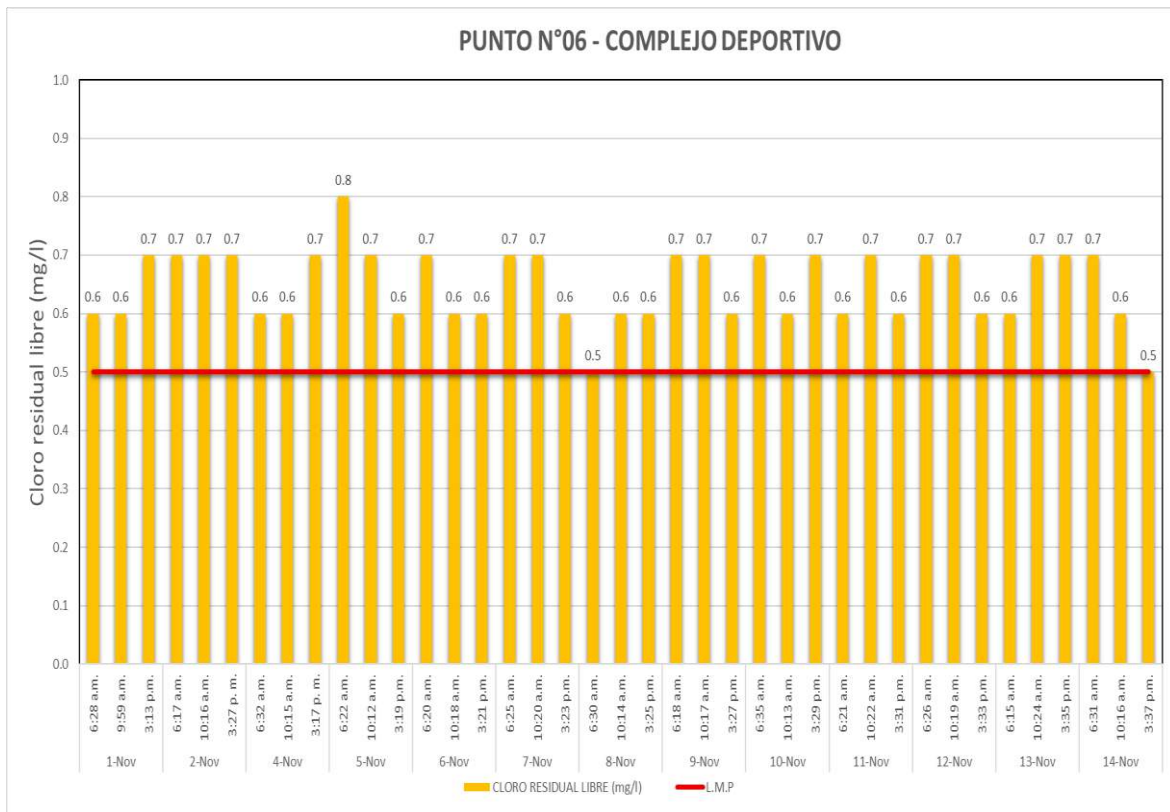
E: 826541

N: 9156387

Z: 2718 m.s.n.m

Interpretación de resultados: En la gráfica N°09 se observa un valor mínimo de 0.50 mg/l (registrado el 8 y 14 de noviembre) y un valor máximo de 0.80 mg/l (registrado el 2 de noviembre), en las cuales el promedio de las 39 muestras es de 0.65 mg/l, resultado que está por encima de 0.50 mg/l. Las muestras han sido tomadas los días 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14 de noviembre con 3 muestras diarias (en la mañana, medio día y la tarde). Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del DS N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En conclusión, cumple el punto N°6.

Gráfica N°9: Análisis del cloro residual en el punto N°6



- **Punto N°7**

Ubicación del punto de muestreo: Se han recopilado 39 muestras en diferentes fechas en un VIVIENDA FAMILIAR, en las siguientes coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 S:

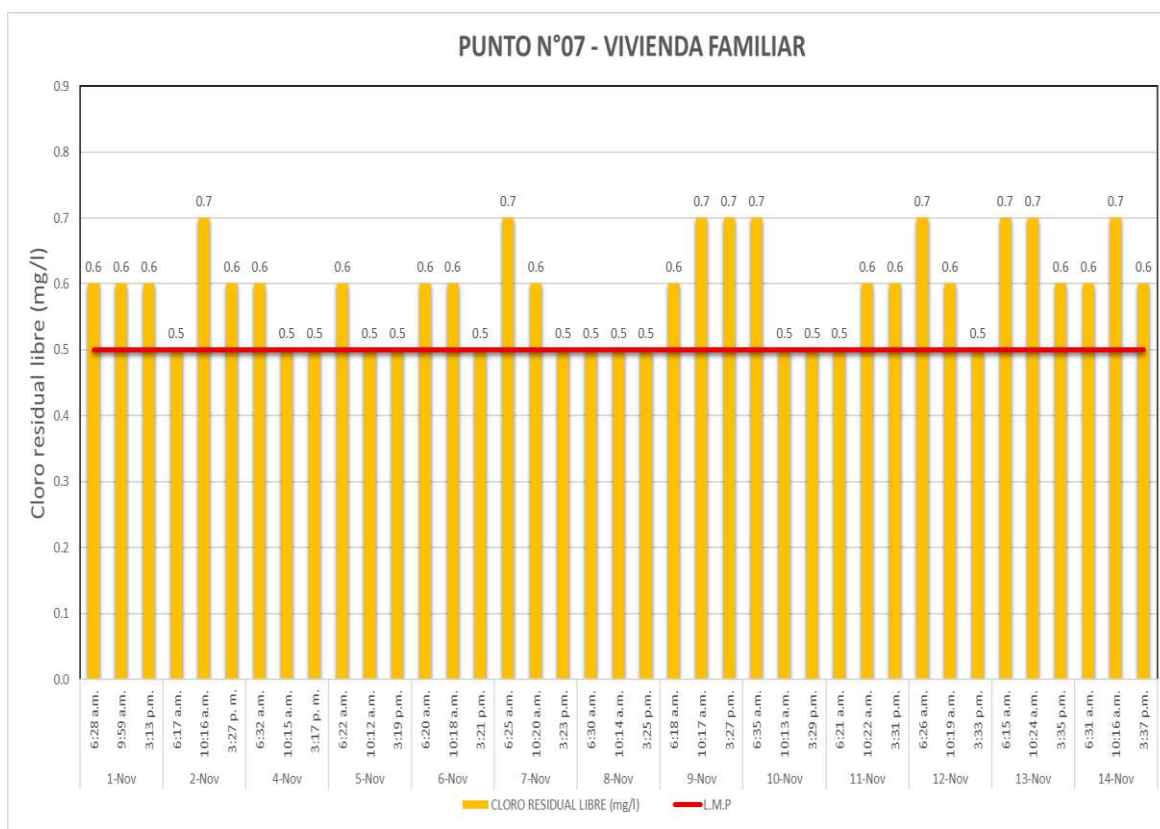
E: 826413

N: 9156654

Z: 2716 m.s.n.m

Interpretación de resultados: En la gráfica N°10 se observa un valor mínimo de 0.50 mg/l (registrado el 2, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11 y 12 de noviembre) y un valor máximo de 0.70 mg/l (registrado el 2, 7, 9, 10, 12, 13 y 14 de noviembre), en las cuales el promedio de las 39 muestras es de 0.59 mg/l, resultado que está por encima de 0.50 mg/l. Las muestras han sido tomadas los días 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14 de noviembre con 3 muestras diarias (en la mañana, medio día y la tarde). Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del DS N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En conclusión, cumple el punto N°7.

Gráfica N°10: Análisis del cloro residual en el punto N°7



- **Punto N°8**

Ubicación del punto de muestreo: Se han recopilado 39 muestras en diferentes fechas en un VIVIENDA FAMILIAR, en las siguientes coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 S:

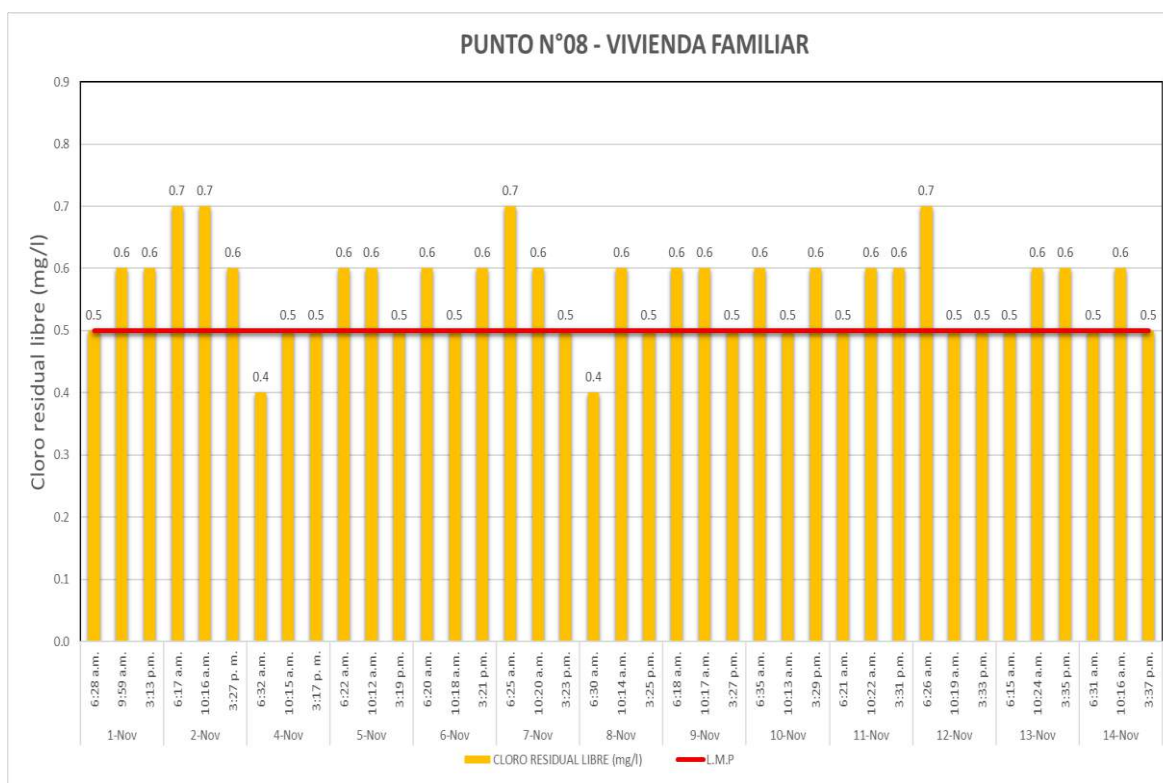
E: 826292

N: 9156559

Z: 2703 m.s.n.m

Interpretación de resultados: En la gráfica N°11 se observa un valor mínimo de 0.40 mg/l (registrado el 4 y 8 de noviembre) y un valor máximo de 0.70 mg/l (registrado el 2, 7 y 12 de noviembre), en las cuales el promedio de las 39 muestras es de 0.56 mg/l, resultado que está por encima de 0.50 mg/l. Las muestras han sido tomadas los días 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14 de noviembre con 3 muestras diarias (en la mañana, medio día y la tarde). Dichos valores (0.4 mg/l) por debajo de la norma peruana representa el 5.12 % del total de las muestras. Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del DS N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En conclusión, cumple el punto N°8.

Gráfica N°11: Análisis del cloro residual en el punto N°8



- **Punto N°9**

Ubicación del punto de muestreo: Se han recopilado 39 muestras en diferentes fechas en un VIVIENDA FAMILIAR, en las siguientes coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 S:

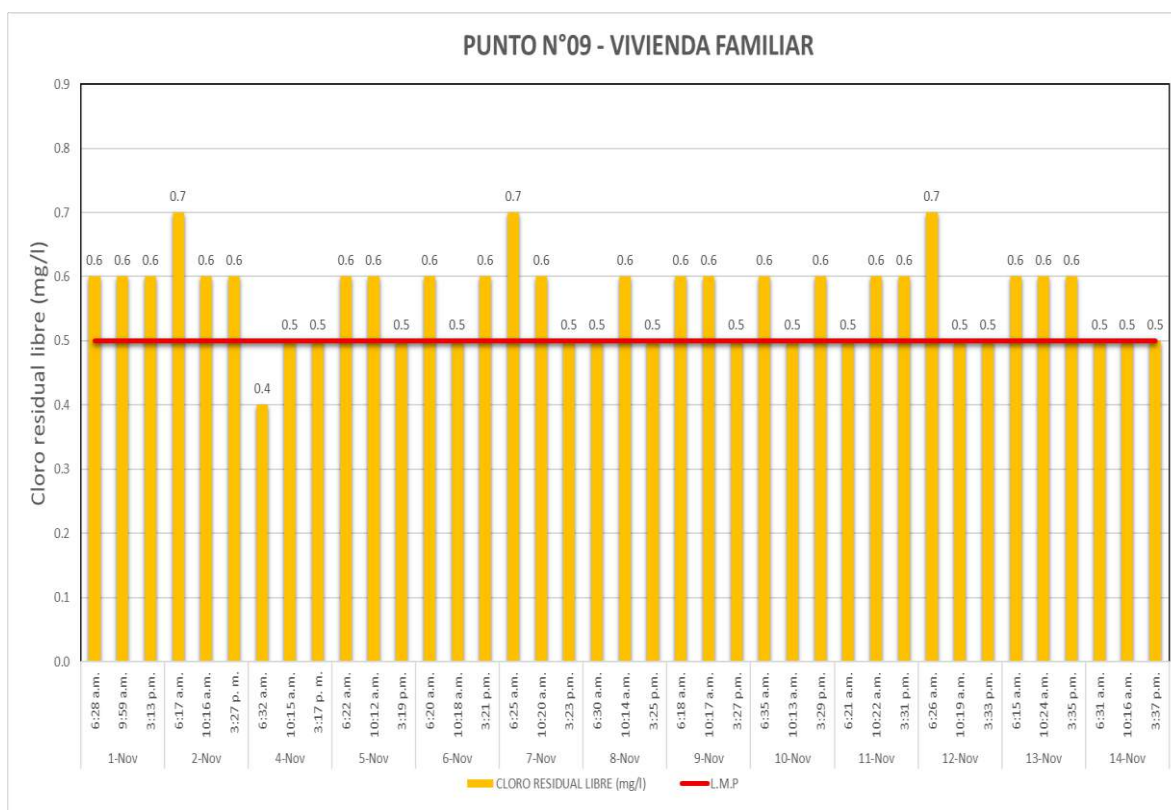
E: 826082

N: 9156646

Z: 2683 m.s.n.m

Interpretación de resultados: En la gráfica N°12 se observa un valor mínimo de 0.40 mg/l (registrado el 4 de noviembre) y un valor máximo de 0.70 mg/l (registrado el 2, 7 y 12 de noviembre), en las cuales el promedio de las 39 muestras es de 0.56 mg/l, resultado que está por encima de 0.50 mg/l. Las muestras han sido tomadas los días 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14 de noviembre con 3 muestras diarias (en la mañana, medio día y la tarde). Dicho valor (0.4 mg/l) por debajo de la norma peruana representa el 2.56 % del total de las muestras. Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del DS N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En conclusión, cumple el punto N°9.

Gráfica N°12: Análisis del cloro residual en el punto N°9



- **Punto N°10**

Ubicación del punto de muestreo: Se han recopilado 39 muestras en diferentes fechas en una VIVIENDA FAMILIAR en las siguientes coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 S:

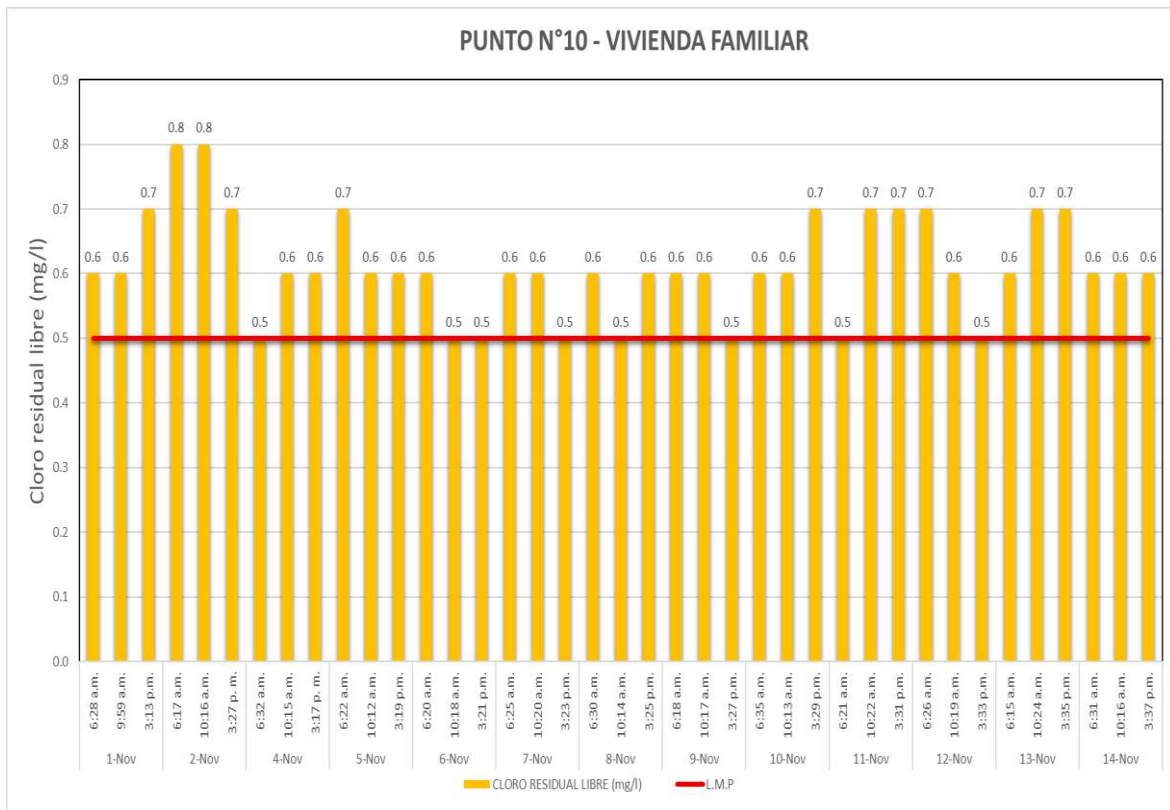
E: 825978

N: 9156606

Z: 2674 m.s.n.m

Interpretación de resultados: En la gráfica N°13 se observa un valor mínimo de 0.50 mg/l (registrado el 4, 6, 7, 8, 9, 11 y 12 de noviembre) y un valor máximo de 0.80 mg/l (registrado el 2 de noviembre), en las cuales el promedio de las 39 muestras es de 0.61 mg/l, resultado que está por encima de 0.50 mg/l. Las muestras han sido tomadas los días 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14 de noviembre con 3 muestras diarias (en la mañana, medio día y la tarde). Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del DS N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En conclusión, cumple el punto N°10.

Gráfica N°13: Análisis del cloro residual en el punto N°10



- **Punto N°11**

Ubicación del punto de muestreo: Se han recopilado 39 muestras en diferentes fechas en una VIVIENDA FAMILIAR en las siguientes coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 S:

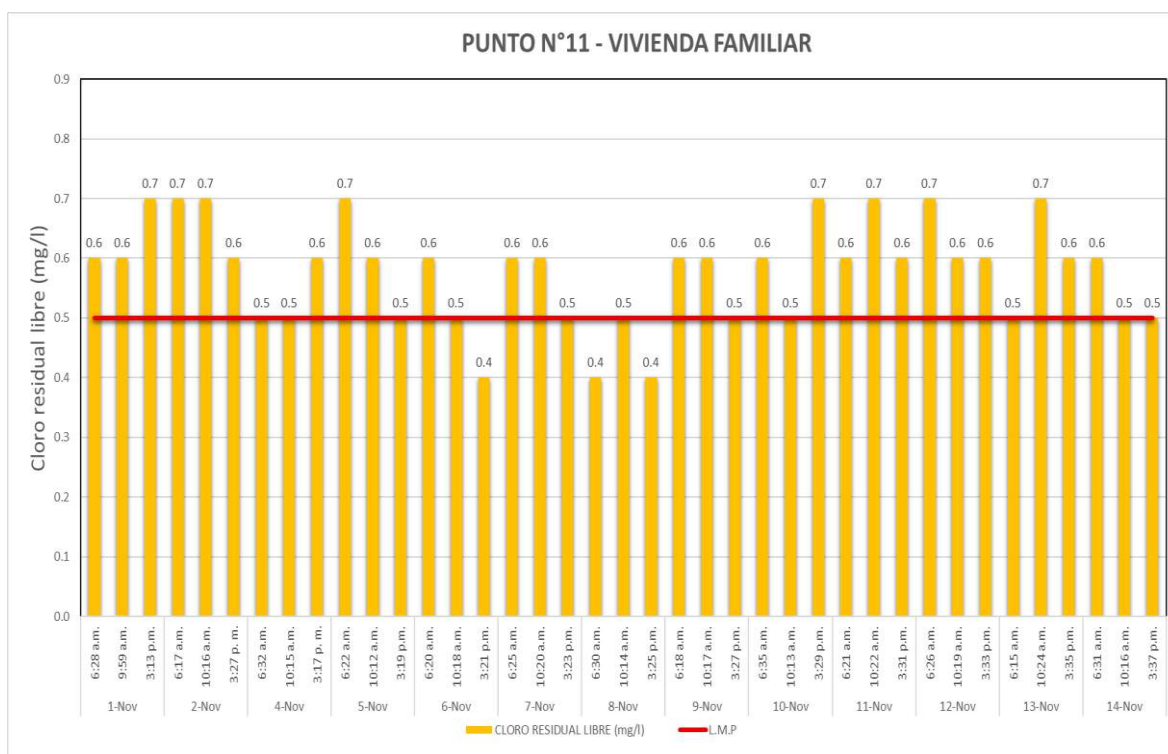
E: 825831

N: 9156966

Z: 2666 m.s.n.m

Interpretación de resultados: En la gráfica N°14 se observa un valor mínimo de 0.40 mg/l (registrado el 6 y 8 de noviembre) y un valor máximo de 0.70 mg/l (registrado el 1, 2, 5, 10, 11, 12 y 13 de noviembre), en las cuales el promedio de las 39 muestras es de 0.58 mg/l, resultado que está por encima de 0.50 mg/l. Las muestras han sido tomadas los días 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14 de noviembre con 3 muestras diarias (en la mañana, medio día y la tarde). Dichos valores (0.4 mg/l) por debajo de la norma peruana representa el 7.69 % del total de las muestras. Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del DS N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En conclusión, cumple el punto N°11.

Gráfica N°14: Análisis del cloro residual en el punto N°11



- **Punto N°12**

Ubicación del punto de muestreo: Se han recopilado 39 muestras en diferentes fechas en una LADRILLERA, en las siguientes coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 S:

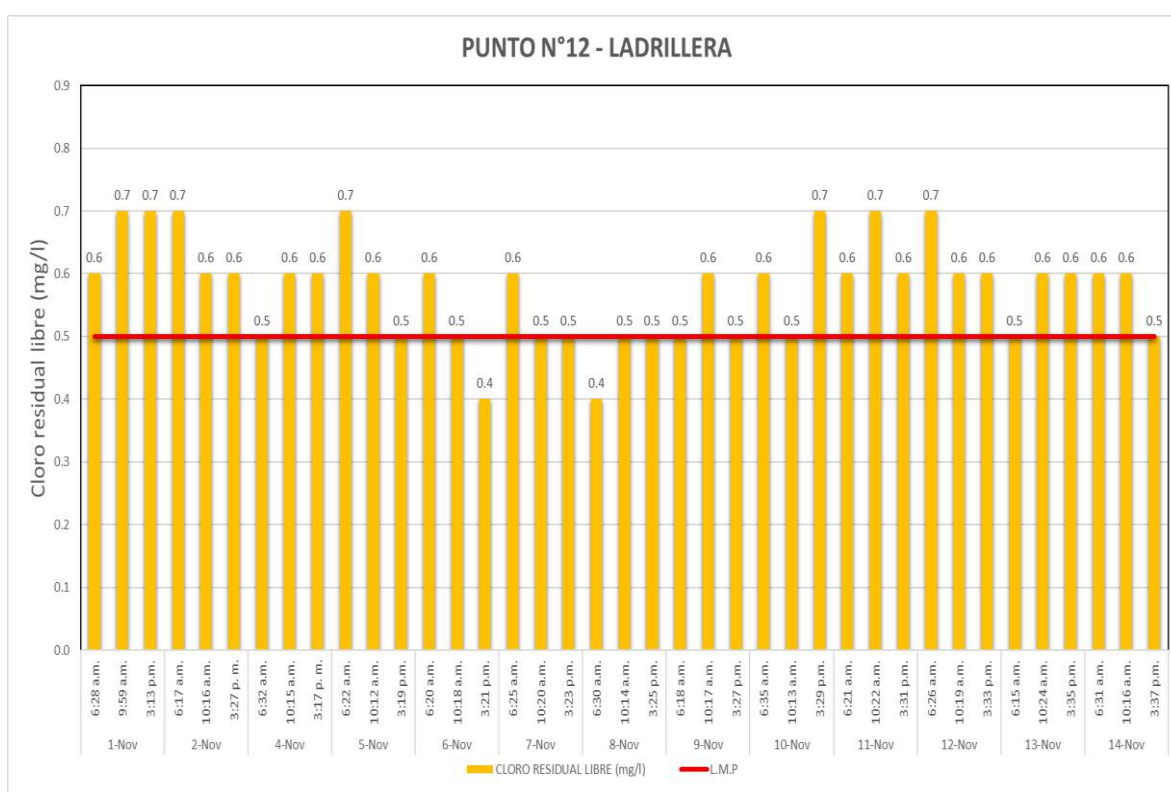
E: 825719

N: 9156979

Z: 2658 m.s.n.m

Interpretación de resultados: En la gráfica N°15 se observa un valor mínimo de 0.40 mg/l (registrado el 6 y 8 de noviembre) y un valor máximo de 0.70 mg/l (registrado el 1, 2, 5, 10, 11 Y 12 de noviembre), en las cuales el promedio de las 39 muestras es de 0.58 mg/l, resultado que está por encima de 0.50 mg/l. Las muestras han sido tomadas los días 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14 de noviembre con 3 muestras diarias (en la mañana, medio día y la tarde). Dichos valores (0.4 mg/l) por debajo de la norma peruana representa el 5.12 % del total de las muestras. Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del DS N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En conclusión, cumple el punto N°12.

Gráfica N°15: Análisis del cloro residual en el punto N°12



- **Punto N°13**

Ubicación del punto de muestreo: Se han recopilado 39 muestras en diferentes fechas en un TALLER DE CARROS, en las siguientes coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 S:

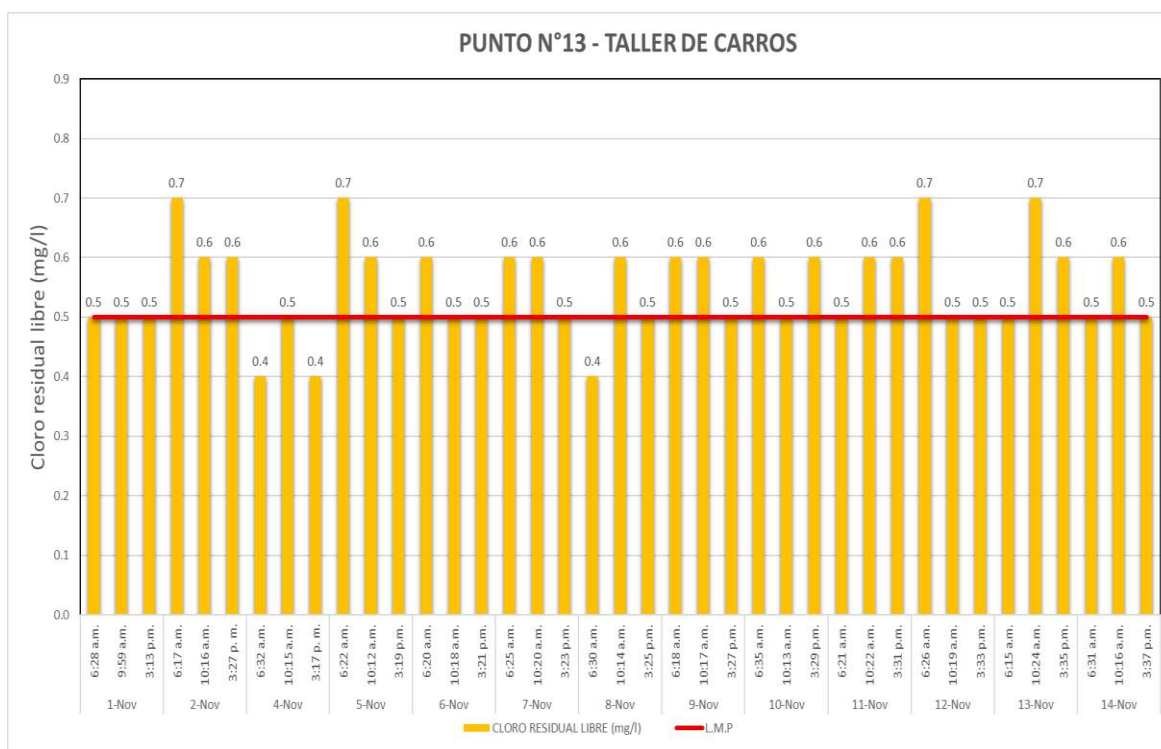
E: 825661

N: 9156910

Z: 2652 m.s.n.m

Interpretación de resultados: En la gráfica N°16 se observa un valor mínimo de 0.40 mg/l (registrado el 4 y 8 de noviembre) y un valor máximo de 0.70 mg/l (registrado el 2, 5, 12 y 13 de noviembre), en las cuales el promedio de las 39 muestras es de 0.55 mg/l, resultado que está por encima de 0.50 mg/l. Las muestras han sido tomadas los días 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14 de noviembre con 3 muestras diarias (en la mañana, medio día y la tarde). Dichos valores (0.4 mg/l) por debajo de la norma peruana representa el 7.69 % del total de las muestras. Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del DS N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En conclusión, cumple el punto N°13.

Gráfica N°16: Análisis del cloro residual en el punto N°13



- **Punto N°14**

Ubicación del punto de muestreo: Se han recopilado 39 muestras en diferentes fechas en un TALLER DE MOTOS, en las siguientes coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 S:

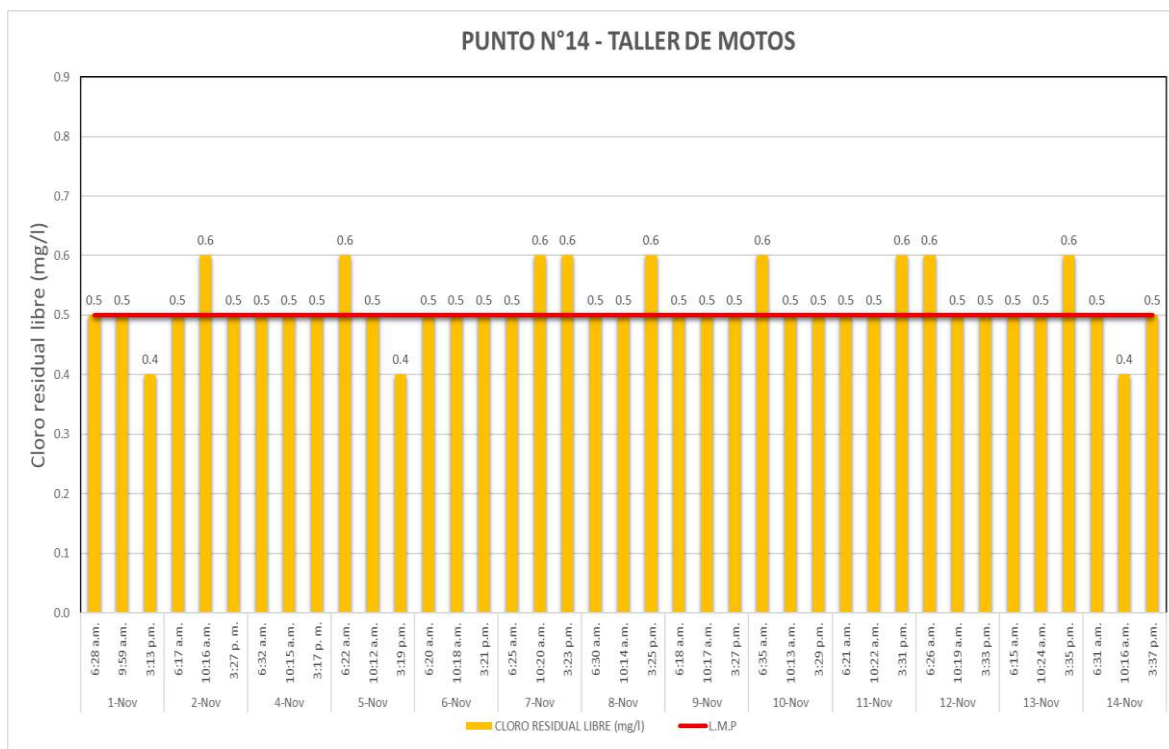
E: 825502

N: 9156771

Z: 2635 m.s.n.m

Interpretación de resultados: En la gráfica N°17 se observa un valor mínimo de 0.40 mg/l (registrado el 1, 5 Y 14 de noviembre) y un valor máximo de 0.60 mg/l (registrado el 2, 5, 7, 8, 10, 11, 12 y 13 de noviembre), en las cuales el promedio de las 39 muestras es de 0.51 mg/l, resultado que está por encima de 0.50 mg/l. Las muestras han sido tomadas los días 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14 de noviembre con 3 muestras diarias (en la mañana, medio día y la tarde). Dichos valores (0.4 mg/l) por debajo de la norma peruana representa el 7.69 % del total de las muestras. Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del DS N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En conclusión, cumple el punto N°14.

Gráfica N°17: Análisis del cloro residual en el punto N°14



- **Punto N°15**

Ubicación del punto de muestreo: Se han recopilado 39 muestras en diferentes fechas en una FERRETERÍA, en las siguientes coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 S:

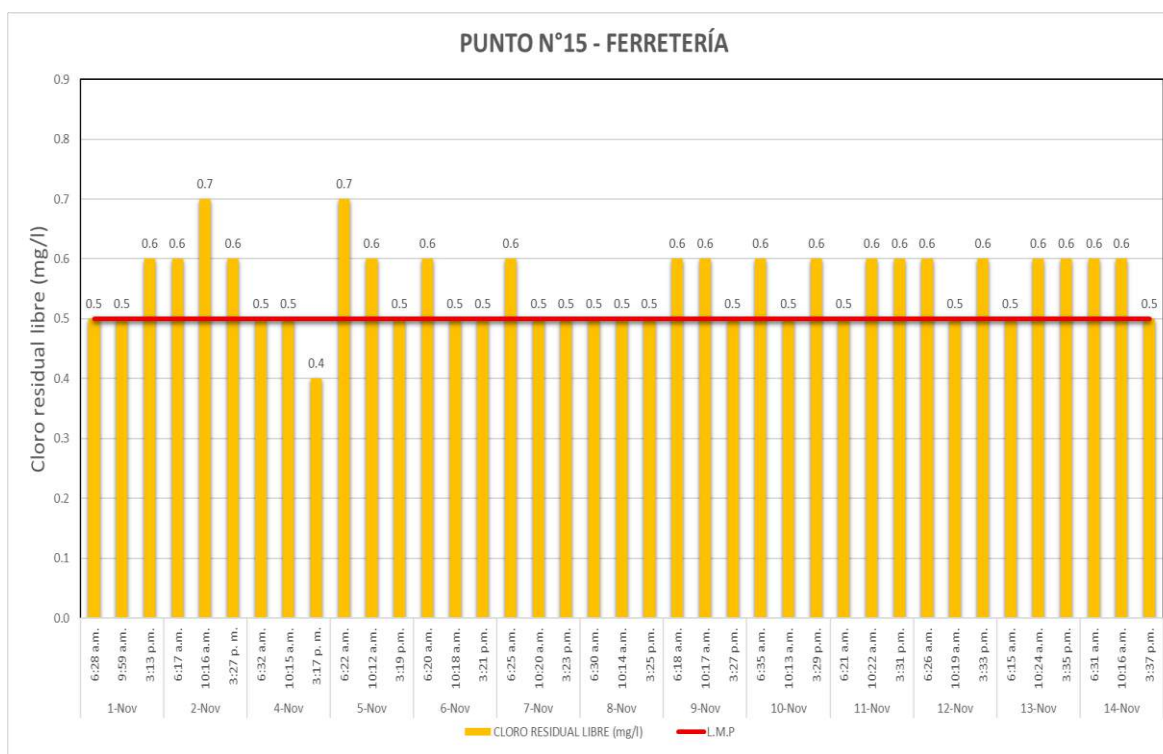
E: 825635

N: 9156801

Z: 2646 m.s.n.m

Interpretación de resultados: En la gráfica N°18 se observa un valor mínimo de 0.40 mg/l (registrado el 4 de noviembre) y un valor máximo de 0.70 mg/l (registrado el 2 y 5 de noviembre), en las cuales el promedio de las 39 muestras es de 0.55 mg/l, resultado que está por encima de 0.50 mg/l. Las muestras han sido tomadas los días 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14 de noviembre con 3 muestras diarias (en la mañana, medio día y la tarde). Dicho valor (0.4 mg/l) por debajo de la norma peruana representa el 2.56 % del total de las muestras. Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del DS N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En conclusión, cumple el punto N°15.

Gráfica N°18: Análisis del cloro residual en el punto N°15



- **Punto N°16**

Ubicación del punto de muestreo: Se han recopilado 11 muestras en diferentes fechas en una VIVIENDA FAMILIAR, en las siguientes coordenadas UTM WGS 84:

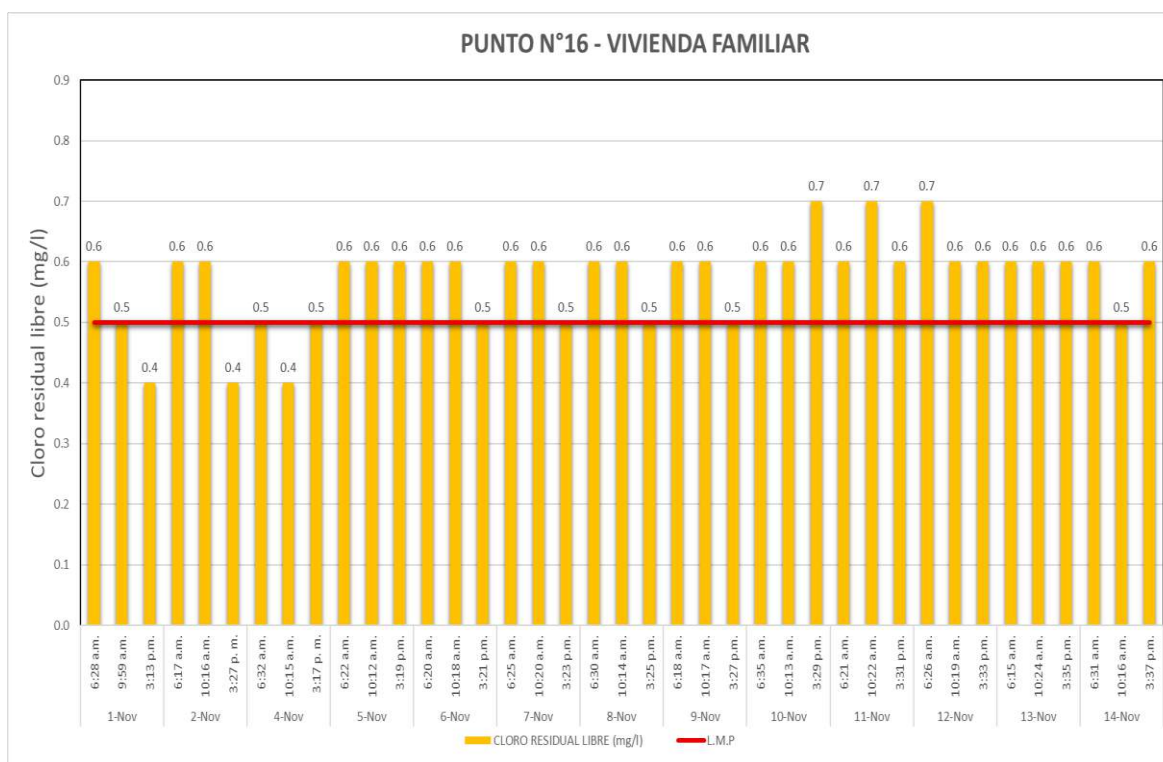
E: 825474

N: 9156727

Z: 2631 m.s.n.m

Interpretación de resultados: En la gráfica N°19 se observa un valor mínimo de 0.40 mg/l (registrado el 1, 2 y 4 de noviembre) y un valor máximo de 0.70 mg/l (registrado el 10, 11 y 12 de noviembre), en las cuales el promedio de las 39 muestras es de 0.57 mg/l, resultado que está por encima de 0.50 mg/l. Las muestras han sido tomadas los días 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14 de noviembre con 3 muestras diarias (en la mañana, medio día y la tarde). Dichos valores (0.4 mg/l) por debajo de la norma peruana representa el 7.69 % del total de las muestras. Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del DS N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En conclusión, cumple el punto N°16.

Gráfica N°19: Análisis del cloro residual en el punto N°16



### Punto N°17

Ubicación del punto de muestreo: Se han recopilado 11 muestras en diferentes fechas en una VIVIENDA FAMILIAR, en las siguientes coordenadas UTM WGS 84:

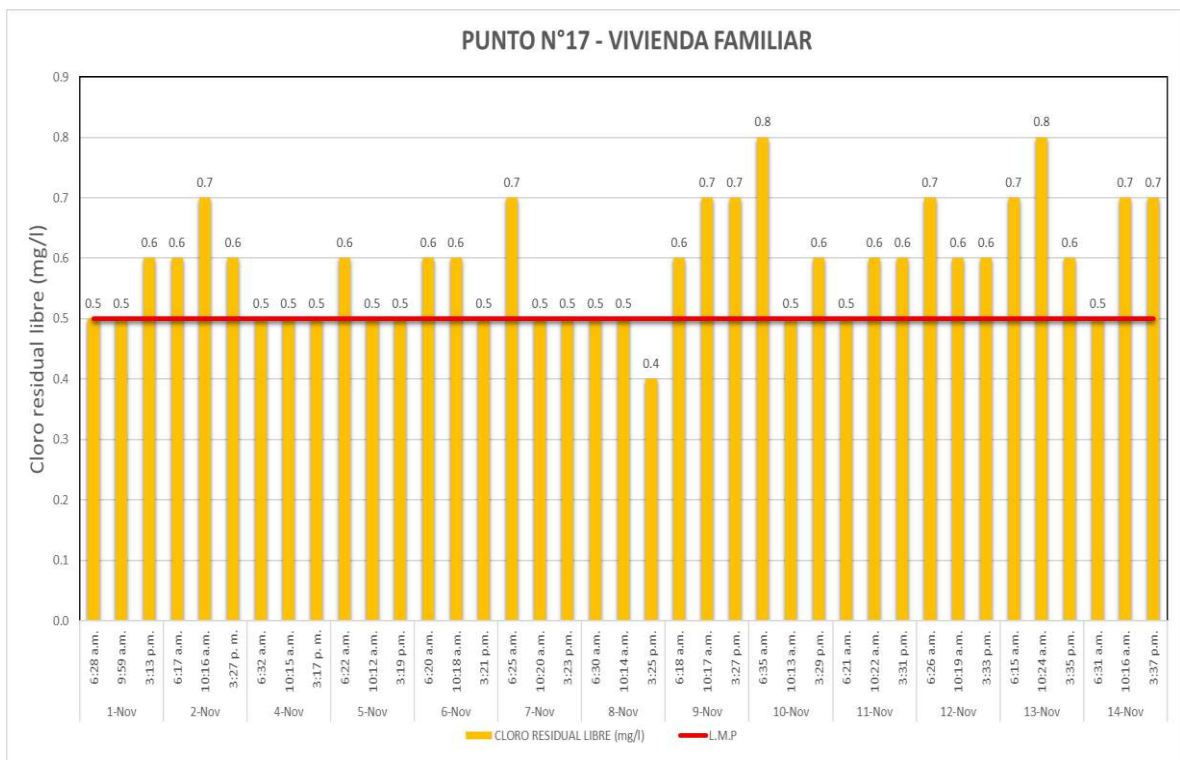
E: 825669

N: 9156382

Z: 2645 m.s.n.m

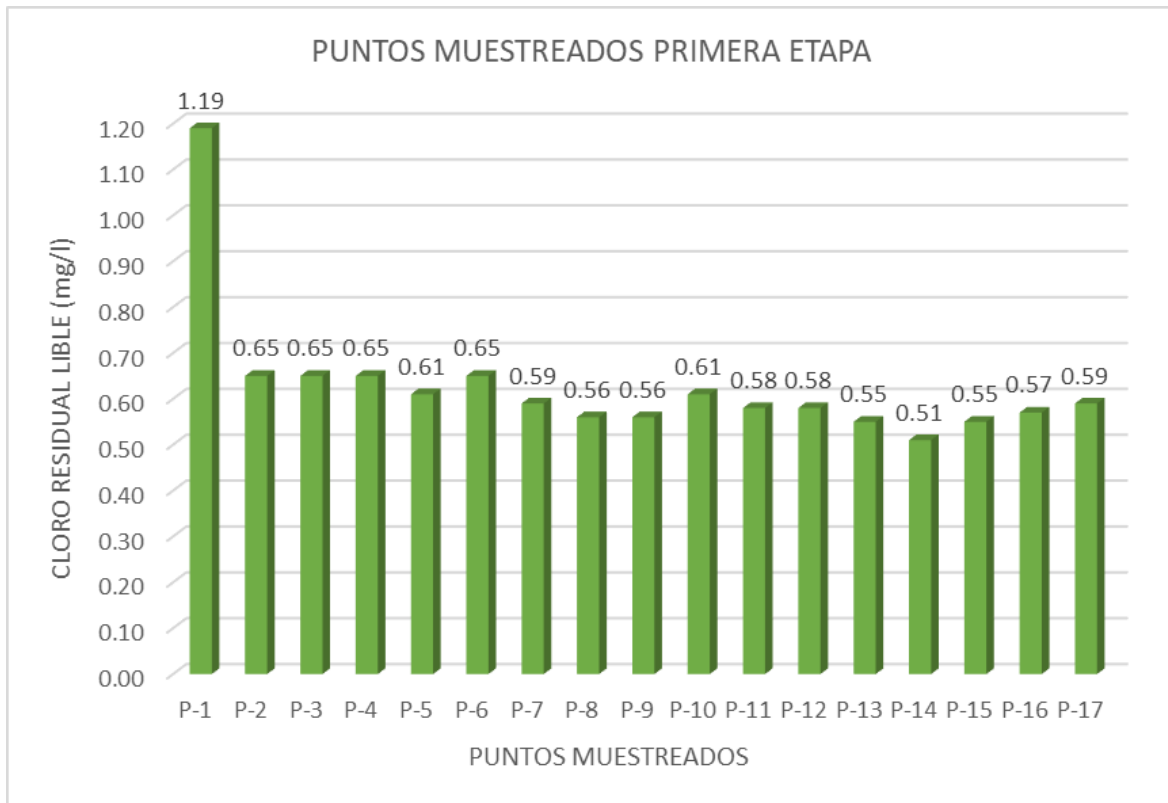
Interpretación de resultados: En la gráfica N°20 se observa un valor mínimo de 0.40 mg/l (registrado el 8 de noviembre) y un valor máximo de 0.80 mg/l (registrado el 10 y 13 de noviembre), en las cuales el promedio de las 39 muestras es de 0.59 mg/l, resultado que está por encima de 0.50 mg/l. Las muestras han sido tomadas los días 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14 de noviembre con 3 muestras diarias (en la mañana, medio día y la tarde). Dicho valor (0.4 mg/l) por debajo de la norma peruana representa el 2.56 % del total de las muestras. Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del DS N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En conclusión, cumple el punto N°17.

Gráfica N°20: Análisis del cloro residual en el punto N°17



## Promedio de los puntos muestreados de la primera etapa

Gráfica N°21: Análisis del cloro residual en los puntos de la primera etapa



Durante la primera etapa de muestreo en las redes de agua potable de la ciudad de Cajabamba, se analizaron un total de 663 muestras, de entre las cuales 19 (equivalen al 2.86%) presentaron valores por debajo del rango de los límites máximos permisibles, mientras que el 97.13 % cumplieron con los parámetros establecidos por la normativa vigente.

Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del D.S. N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En ese marco, los resultados obtenidos en esta investigación evidencian el cumplimiento de dicha normativa.

En conclusión, los resultados confirman que la población de Cajabamba consume agua potable de buena calidad, lo que contribuye a la protección de su salud.

**b. Muestreo: Segunda etapa**

**- Punto N°1**

Ubicación del punto de muestreo: Se han recopilado 39 muestras en diferentes fechas en el RESERVORIO, en las siguientes coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 Sur:

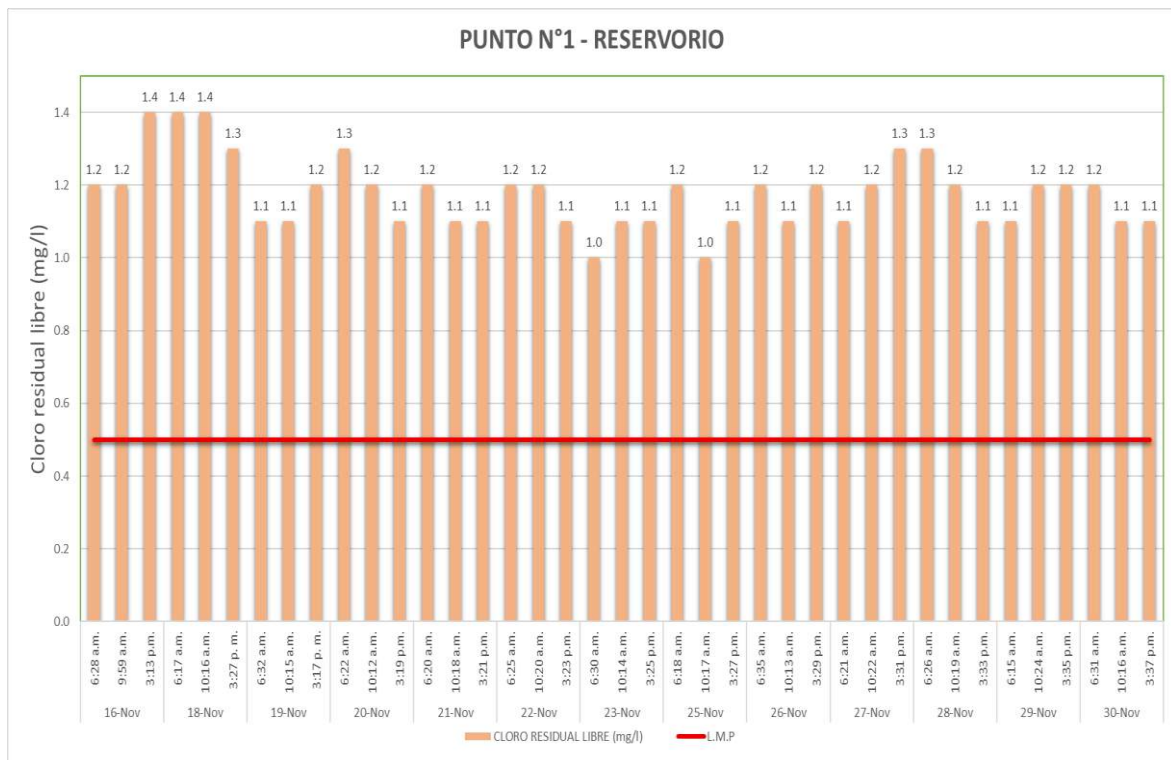
E: 826920

N: 9156688

Z: 2767 m.s.n.m

Interpretación de resultados: En la gráfica N°22 se observa un valor mínimo de 1.0 mg/l (registrado el 8 Y 9 de noviembre) y un valor máximo de 1.4 mg/l (registrado el 1 y 2 de noviembre), en las cuales el promedio de las 39 muestras es de 1.18 mg/l, resultado que está por encima de 0.50 mg/l. Las muestras han sido tomadas los días 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29 y 30 de noviembre con 3 muestras diarias (en la mañana, medio día y la tarde). Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del DS N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En conclusión, cumple el punto N°1.

Gráfica N°22: Análisis del cloro residual en el punto N°1



## Punto N°18

Ubicación del punto de muestreo: Se han recopilado 39 muestras en diferentes fechas en la VIVIENDA FAMILIAR, en las siguientes coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 Sur:

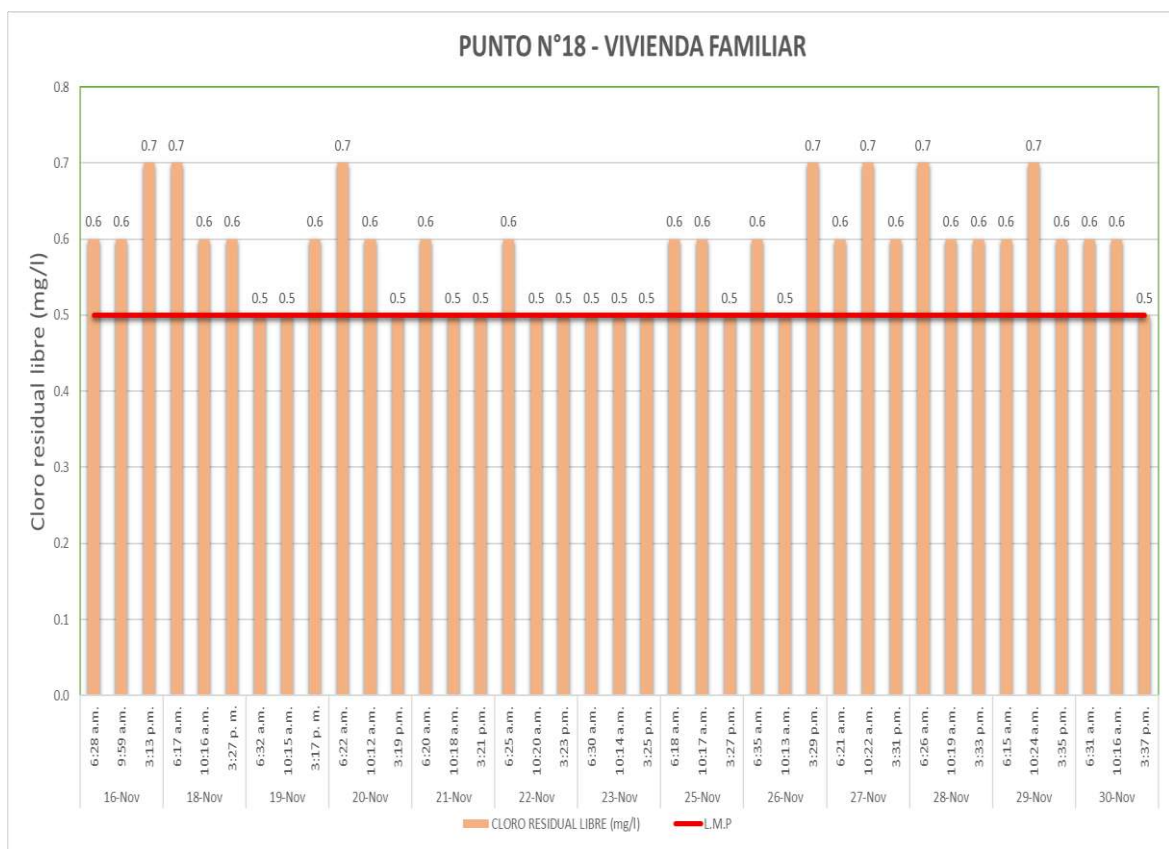
E: 825035

N: 9156320

Z: 2603 m.s.n.m

Interpretación de resultados: En la gráfica N°23 se observa un valor mínimo de 0.50 mg/l (registrado el 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 14 de noviembre) y un valor máximo de 0.7 mg/l (registrado el 26 y 29 de noviembre), en las cuales el promedio de las 39 muestras es de 0.58 mg/l, resultado que está por encima de 0.50 mg/l. Las muestras han sido tomadas los días 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29 y 30 de noviembre con 3 muestras diarias (en la mañana, medio día y la tarde). Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del DS N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En conclusión, cumple el punto N°18.

Gráfica N°23: Análisis del cloro residual en el punto N°18



- **Punto N°19**

Ubicación del punto de muestreo: Se han recopilado 39 muestras en diferentes fechas en una VIVIENDA FAMILIAR, en las siguientes coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 Sur:

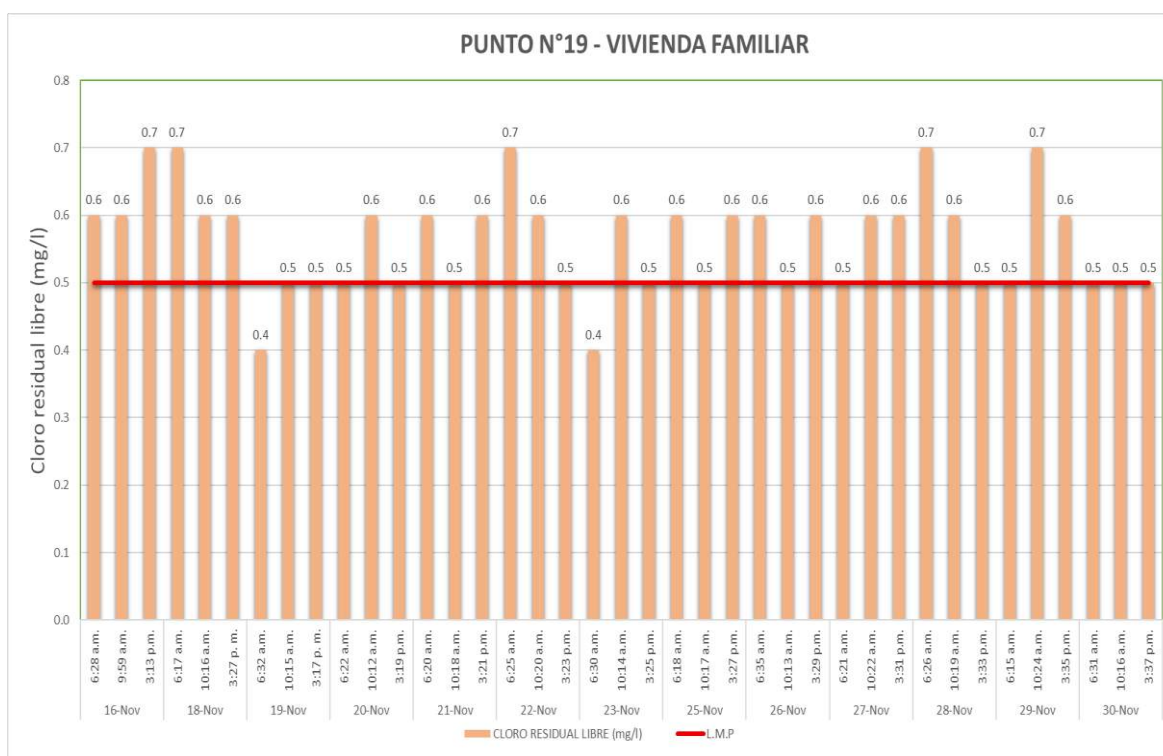
E: 824937

N: 9156180

Z: 2599 m.s.n.m

Interpretación de resultados: En la gráfica N°24 se observa un valor mínimo de 0.40 mg/l (registrado el 19 y 23 de noviembre) y un valor máximo de 0.70 mg/l (registrado el 16, 18, 22, 28 y 29 de noviembre), en las cuales el promedio de las 39 muestras es de 0.56 mg/l, resultado que está por encima de 0.50 mg/l (cumpliendo el rango de los LMP de la norma peruana). Las muestras han sido tomadas los días 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29 y 30 de noviembre con 3 muestras diarias (en la mañana, medio día y la tarde). Dichos valores (0.4 mg/l) por debajo de la norma peruana representa el 5.12 % del total de las muestras. Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del DS N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En conclusión, cumple el punto N°19.

Gráfica N°24: Análisis del cloro residual en el punto N°19



- **Punto N°20**

Ubicación del punto de muestreo: Se han recopilado 39 muestras en diferentes fechas en una VIVIENDA FAMILIAR, en las siguientes coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 Sur:

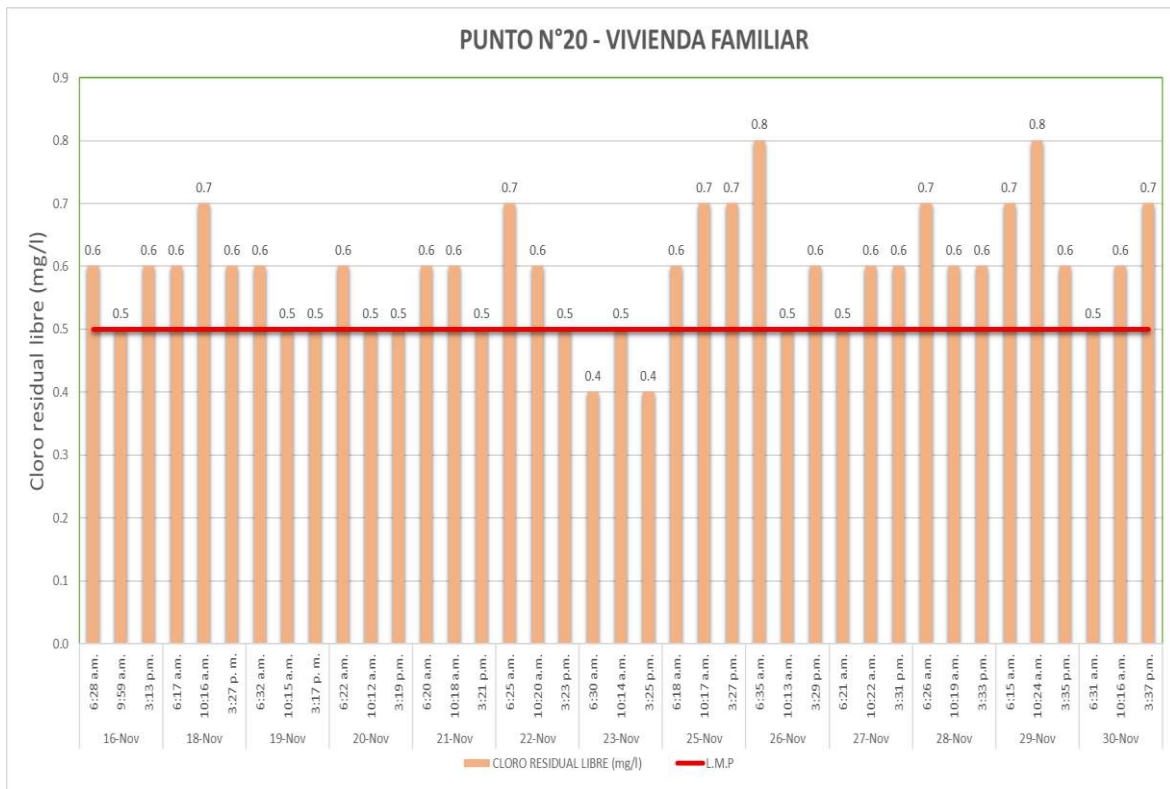
E: 825209

N: 9156159

Z: 2608 m.s.n.m

Interpretación de resultados: En la gráfica N°25 se observa un valor mínimo de 0.40 mg/l (registrado el 23 de noviembre) y un valor máximo de 0.8 mg/l (registrado el 26 y 29 de noviembre), en las cuales el promedio de las 39 muestras es de 0.59 mg/l, resultado que está por encima de 0.50 mg/l. Las muestras han sido tomadas los días 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29 y 30 de noviembre con 3 muestras diarias (en la mañana, medio día y la tarde). Dicho valor (0.4 mg/l) por debajo de la norma peruana representa el 5.12 % del total de las muestras. Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del DS N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En conclusión, cumple el punto N°20.

Gráfica N°25: Análisis del cloro residual en el punto N°20



- **Punto N°21**

Ubicación del punto de muestreo: Se han recopilado 39 muestras en diferentes fechas en una VIVIENDA FAMILIAR, en las siguientes coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 Sur:

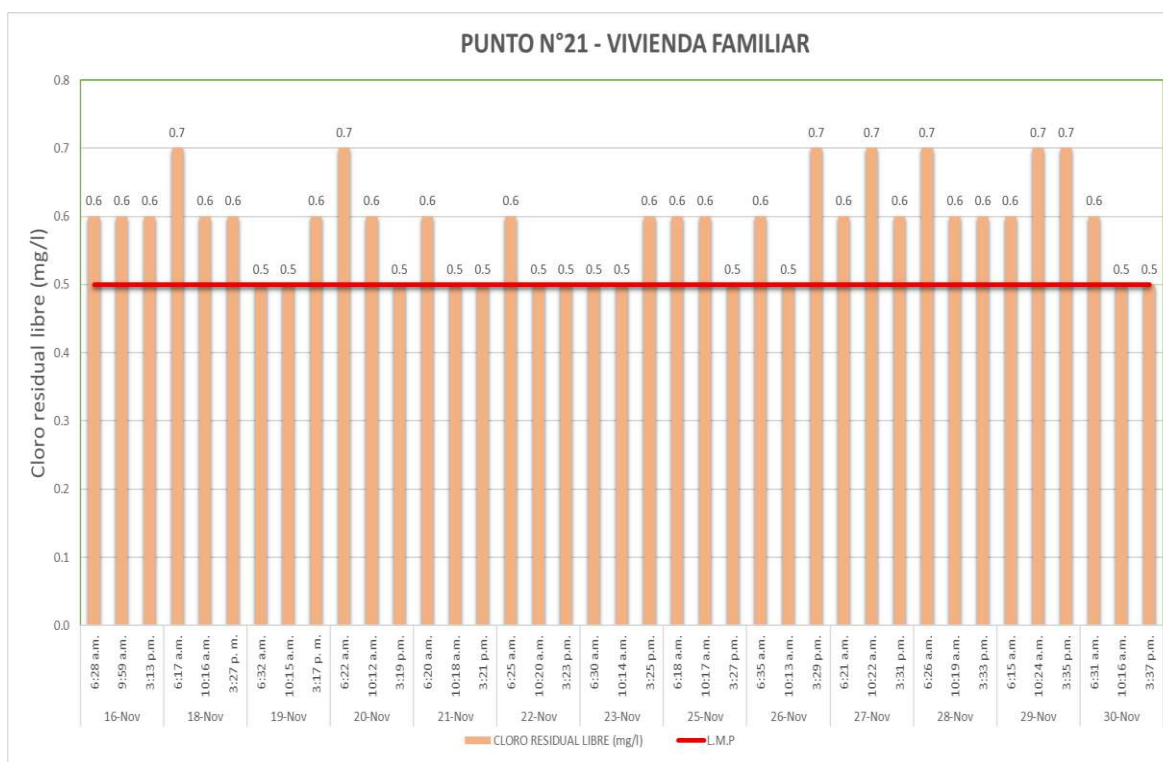
E: 825362

N: 9156185

Z: 2615 m.s.n.m

Interpretación de resultados: En la gráfica N°26 se observa un valor mínimo de 0.50 mg/l (registrado el 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26 y 30 de noviembre) y un valor máximo de 0.7 mg/l (registrado el 18, 20, 26, 27, 28 y 29 de noviembre), en las cuales el promedio de las 39 muestras es de 0.58 mg/l, resultado que está por encima de 0.50 mg/l. Las muestras han sido tomadas los días 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29 y 30 de noviembre con 3 muestras diarias (en la mañana, medio día y la tarde). Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del DS N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En conclusión, cumple el punto N°21.

Gráfica N°26: Análisis del cloro residual en el punto N°21



## Punto N°22

Ubicación del punto de muestreo: Se han recopilado 39 muestras en diferentes fechas en la TIENDA DE ROPA, en las siguientes coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 Sur:

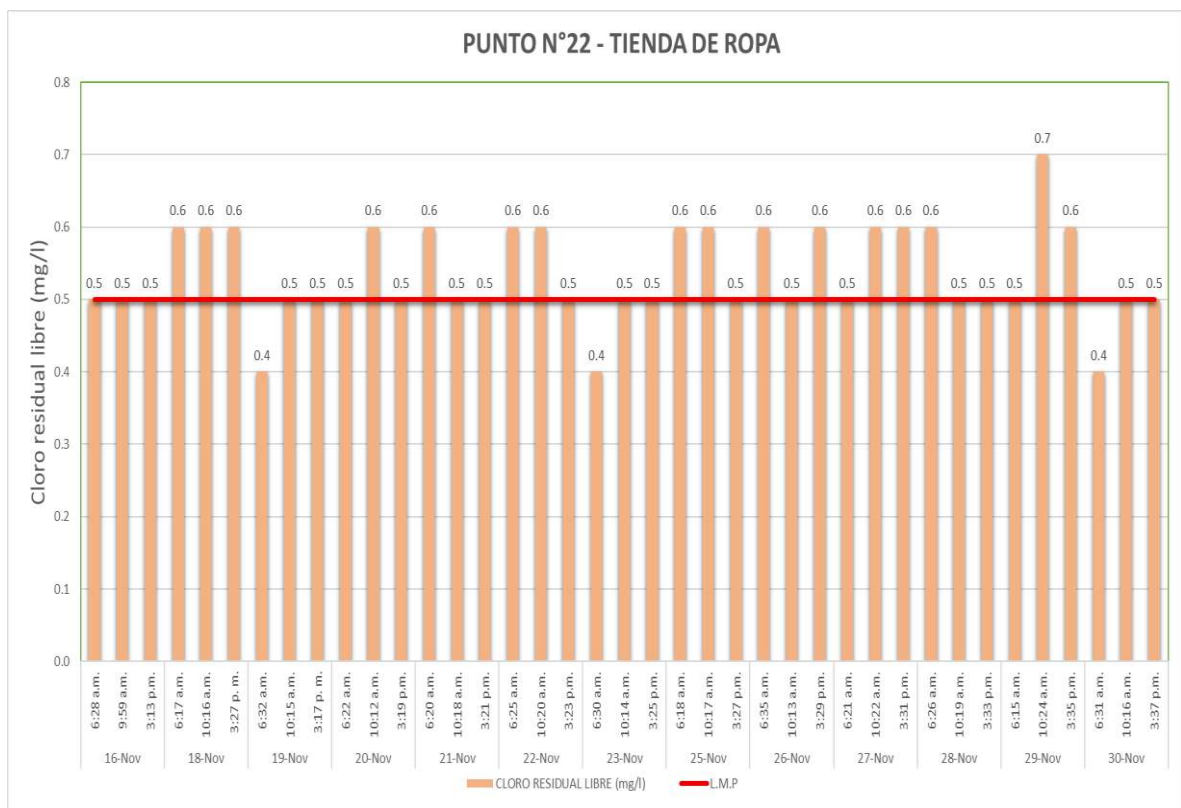
E: 825128

N: 9156028

Z: 2601 m.s.n.m

Interpretación de resultados: En la gráfica N°27 se observa un valor mínimo de 0.40 mg/l (registrado el 19, 23 Y 30 de noviembre) y un valor máximo de 0.7 mg/l (registrado el 29 de noviembre), en las cuales el promedio de las 39 muestras es de 0.54 mg/l, resultado que está por encima de 0.50 mg/l. Las muestras han sido tomadas los días 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29 y 30 de noviembre con 3 muestras diarias (en la mañana, medio día y la tarde). Dichos valores (0.4 mg/l) por debajo de la norma peruana representa el 7.69 % del total de las muestras. Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del DS N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En conclusión, cumple el punto N°22.

Gráfica N°27: Análisis del cloro residual en el punto N°22



- **Punto N°23**

Ubicación del punto de muestreo: Se han recopilado 39 muestras en diferentes fechas en un CEMENTERIO, en las siguientes coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 Sur:

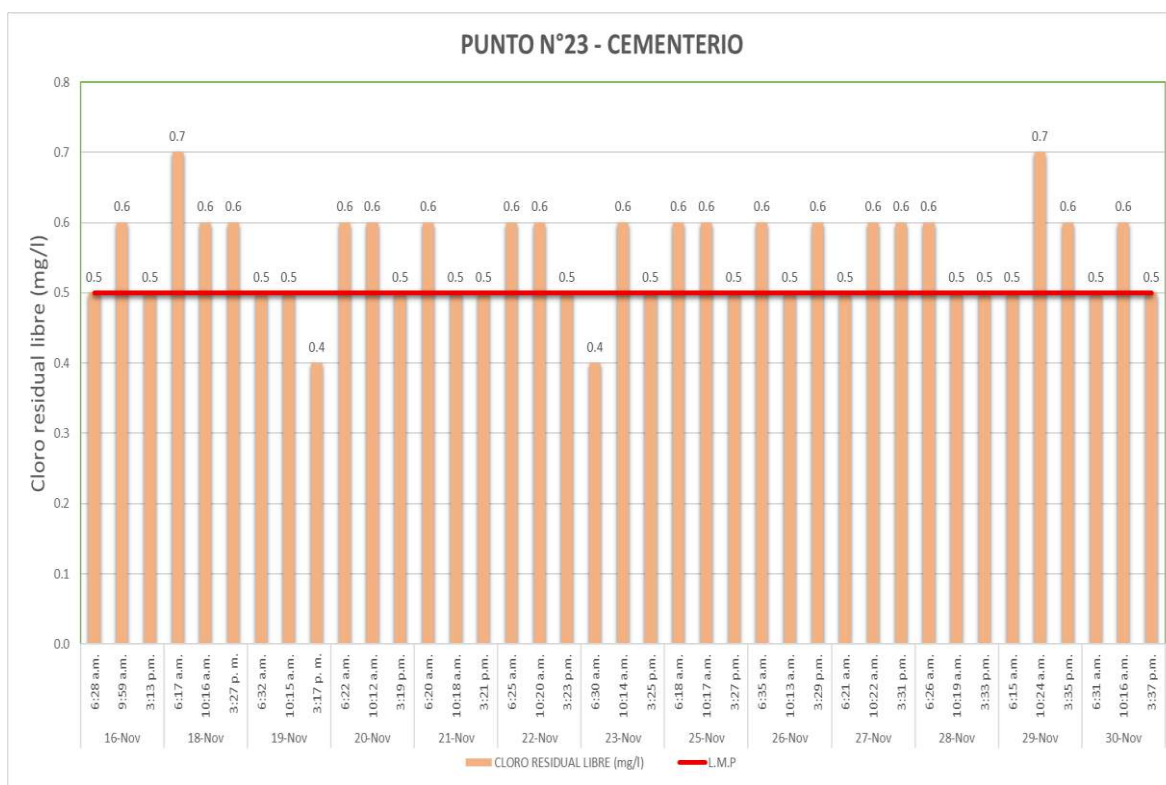
E: 825196

N: 9155885

Z: 2603 m.s.n.m

Interpretación de resultados: En la gráfica N°28 se observa un valor mínimo de 0.40 mg/l (registrado el 19 y 23 de noviembre) y un valor máximo de 0.7 mg/l (registrado el 18 y 29 de noviembre), en las cuales el promedio de las 39 muestras es de 0.55 mg/l, resultado que está por encima de 0.50 mg/. Las muestras han sido tomadas los días 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29 y 30 de noviembre con 3 muestras diarias (en la mañana, medio día y la tarde). Dichos valores (0.4 mg/l) por debajo de la norma peruana representa el 5.12 % del total de las muestras. Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del DS N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En conclusión, cumple el punto N°23.

Gráfica N°28: Análisis del cloro residual en el punto N°23



## - Punto N°24

Ubicación del punto de muestreo: Se han recopilado 39 muestras en diferentes fechas en un RESTAURANTE en las siguientes coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 Sur:

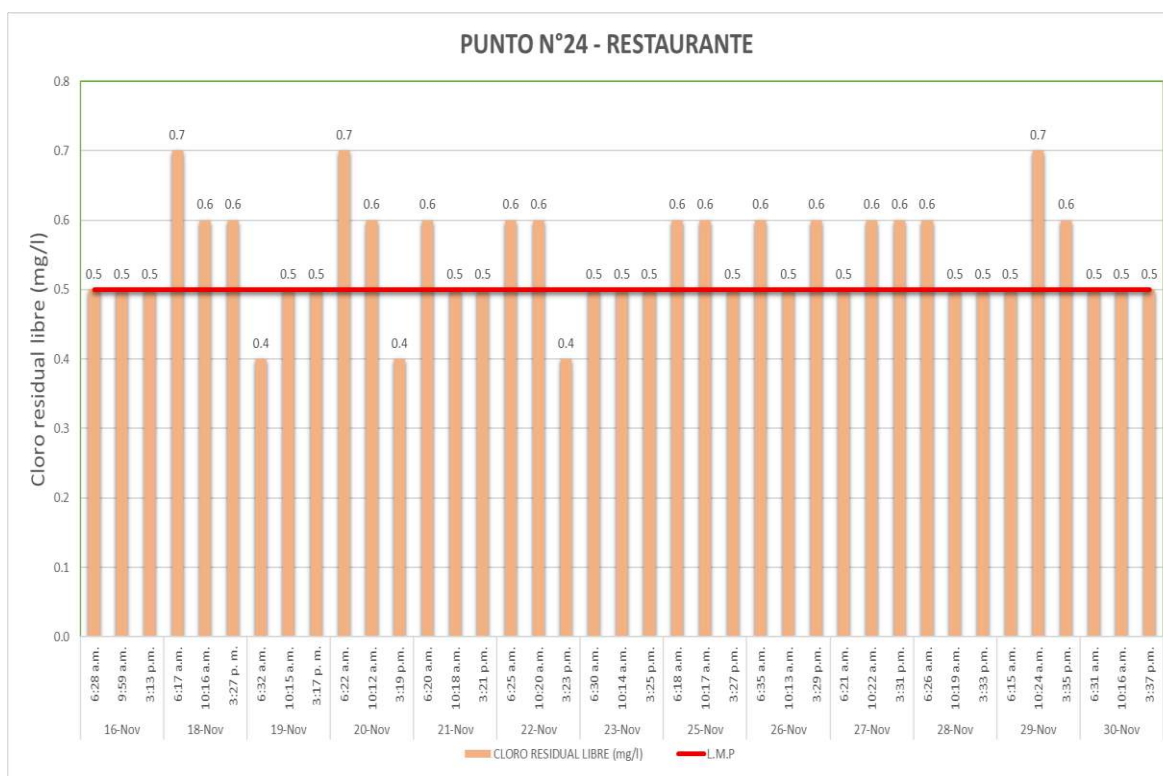
E: 825538

N: 9156069

Z: 2626 m.s.n.m

Interpretación de resultados: En la gráfica N°29 se observa un valor mínimo de 0.40 mg/l (registrado el 19, 20 y 22 de noviembre) y un valor máximo de 0.7 mg/l (registrado el 18, 20 y 29 de noviembre), en las cuales el promedio de las 39 muestras es de 0.54 mg/l, resultado que está por encima de 0.50 mg/l. Las muestras han sido tomadas los días 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29 y 30 de noviembre con 3 muestras diarias (en la mañana, medio día y la tarde). Dichos valores (0.4 mg/l) por debajo de la norma peruana representa el 7.69 % del total de las muestras. Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del DS N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En conclusión, cumple el punto N°24.

Gráfica N°29: Análisis del cloro residual en el punto N°24



- **Punto N°25**

Ubicación del punto de muestreo: Se han recopilado 39 muestras en diferentes fechas en un RESTAURANTE en las siguientes coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 Sur:

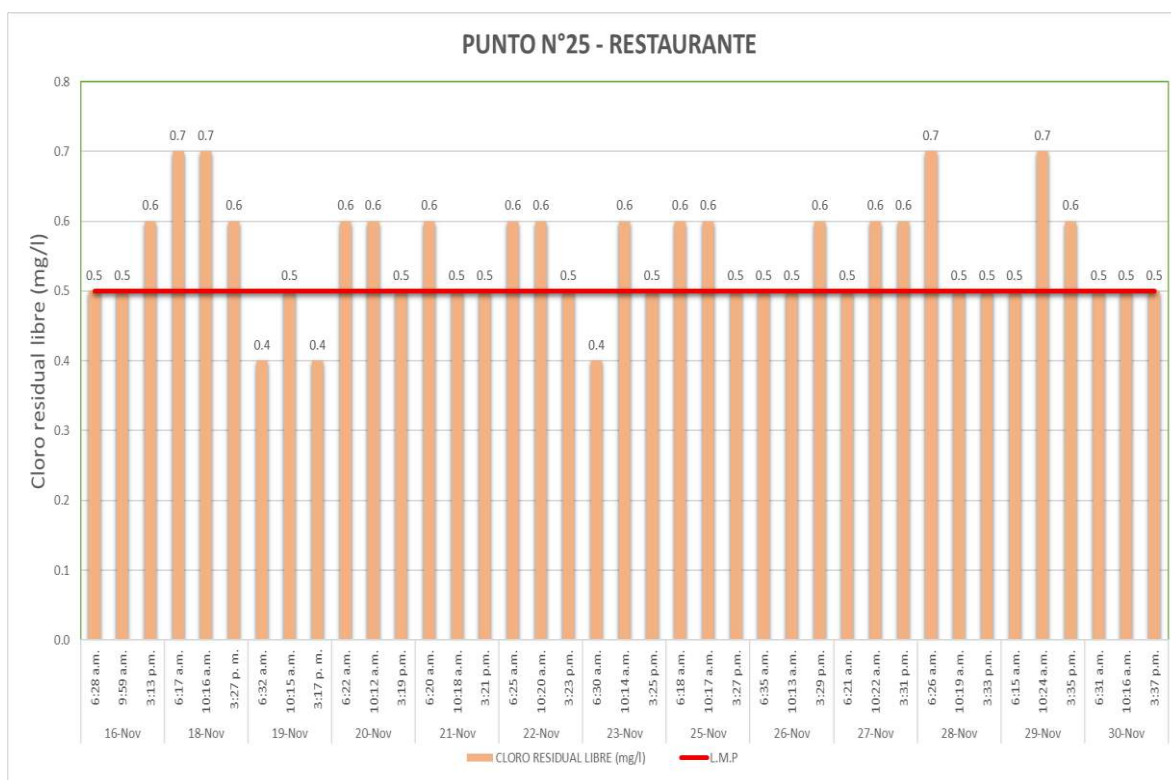
E: 825643

N: 9156798

Z: 2647 m.s.n.m

Interpretación de resultados: En la gráfica N°30 se observa un valor mínimo de 0.40 mg/l (registrado el 19 y 23 de noviembre) y un valor máximo de 0.7 mg/l (registrado el 18, 28 y 29 de noviembre), en las cuales el promedio de las 39 muestras es de 0.55 mg/l, resultado que está por encima de 0.50 mg/l. Las muestras han sido tomadas los días 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29 y 30 de noviembre con 3 muestras diarias (en la mañana, medio día y la tarde). Dichos valores (0.4 mg/l) por debajo de la norma peruana representa el 7.69 % del total de las muestras. Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del DS N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En conclusión, cumple el punto N°25.

Gráfica N°30: Análisis del cloro residual en el punto N°25



- **Punto N°26**

Ubicación del punto de muestreo: Se han recopilado 39 muestras en diferentes fechas en una VIVIENDA FAMILIAR en las siguientes coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 Sur:

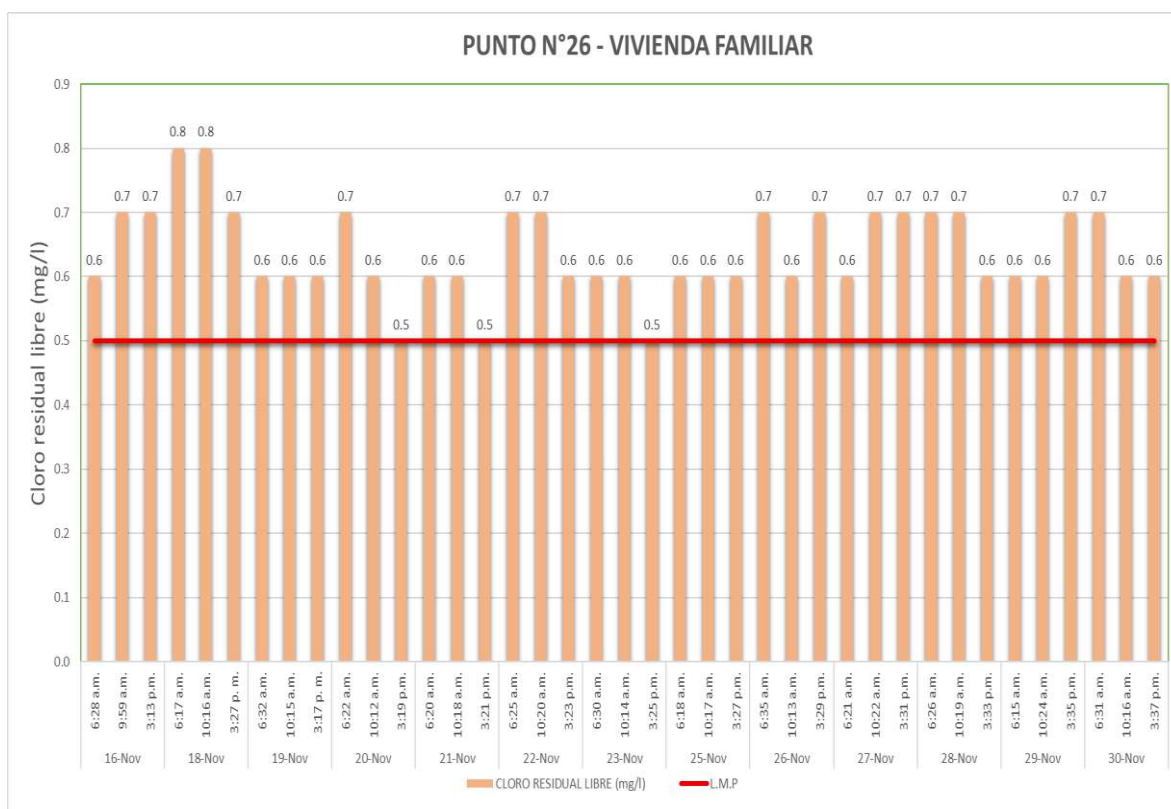
E: 825829

N: 9155870

Z: 2639 m.s.n.m

Interpretación de resultados: En la gráfica N°31 se observa un valor mínimo de 0.50 mg/l (registrado el 20, 21 y 23 de noviembre) y un valor máximo de 0.8 mg/l (registrado el 18 de noviembre), en las cuales el promedio de las 39 muestras es de 0.64 mg/l, resultado que está por encima de 0.50 mg/l. Las muestras han sido tomadas los días 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29 y 30 de noviembre con 3 muestras diarias (en la mañana, medio día y la tarde). Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del DS N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En conclusión, cumple el punto N°26.

Gráfica N°31: Análisis del cloro residual en el punto N°26



- **Punto N°27**

Ubicación del punto de muestreo: Se han recopilado 39 muestras en diferentes fechas en una VIVIENDA FAMILIAR en las siguientes coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 Sur:

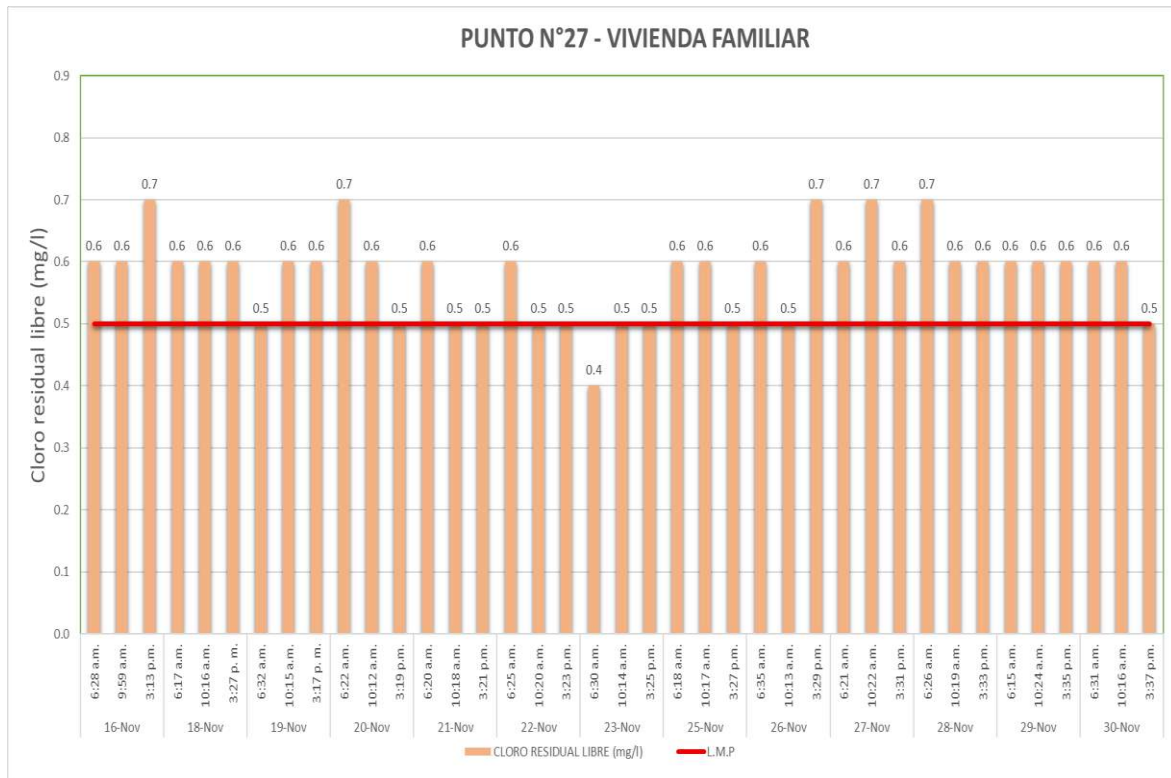
E: 825829

N: 9155870

Z: 2639 m.s.n.m

Interpretación de resultados: En la gráfica N°32 se observa un valor mínimo de 0.40 mg/l (registrado el 23 de noviembre) y un valor máximo de 0.7 mg/l (registrado el 16, 20, 26, 27 Y 28 de noviembre), en las cuales el promedio de las 39 muestras es de 0.58 mg/l, resultado que está por encima de 0.50 mg/l. Las muestras han sido tomadas los días 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29 y 30 de noviembre con 3 muestras diarias (en la mañana, medio día y la tarde). Dicho valor (0.4 mg/l) por debajo de la norma peruana representa el 2.56 % del total de las muestras. Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del DS N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En conclusión, cumple el punto N°27.

Gráfica N°32: Análisis del cloro residual en el punto N°27



- **Punto N°28**

Ubicación del punto de muestreo: Se han recopilado 39 muestras en diferentes fechas en una LADRILLERA, en las siguientes coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 Sur:

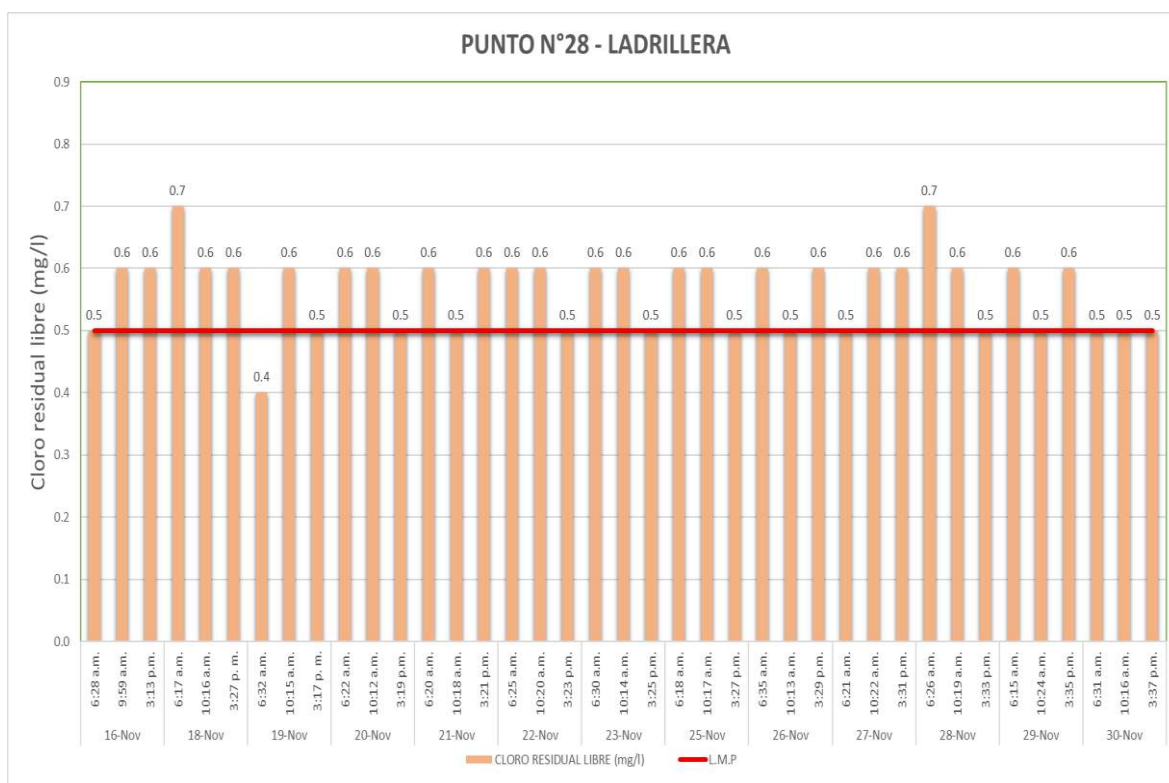
E: 825976

N: 9155833

Z: 2644 m.s.n.m

Interpretación de resultados: En la gráfica N°33 se observa un valor mínimo de 0.40 mg/l (registrado el 19 de noviembre) y un valor máximo de 0.7 mg/l (registrado el 18 y 28 de noviembre), en las cuales el promedio de las 39 muestras es de 0.56 mg/l, resultado que está por encima de 0.50 mg/l. Las muestras han sido tomadas los días 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29 y 30 de noviembre con 3 muestras diarias (en la mañana, medio día y la tarde). Dicho valor (0.4 mg/l) por debajo de la norma peruana representa el 2.56 % del total de las muestras. Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del DS N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En conclusión, cumple el punto N°28.

Gráfica N°33: Análisis del cloro residual en el punto N°28



- **Punto N°29**

Ubicación del punto de muestreo: Se han recopilado 39 muestras en diferentes fechas en una VIVIENDA FAMILIAR, en las siguientes coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 Sur:

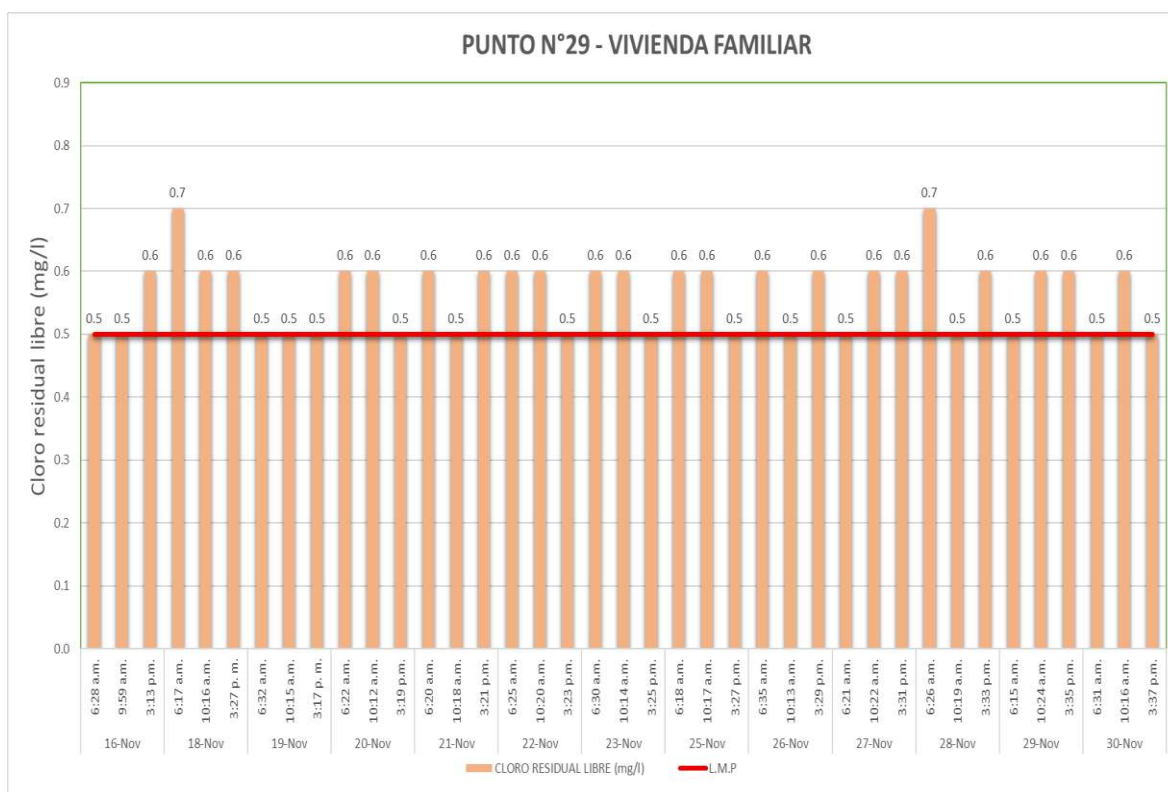
E: 826366

N: 9155806

Z: 2665 m.s.n.m

Interpretación de resultados: En la gráfica N°34 se observa un valor mínimo de 0.50 mg/l (registrado el 16, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29 Y 30 de noviembre) y un valor máximo de 0.7 mg/l (registrado el 18 y 28 de noviembre), en las cuales el promedio de las 39 muestras es de 0.56 mg/l, resultado que está por encima de 0.5 mg/l. Las muestras han sido tomadas los días 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29 y 30 de noviembre con 3 muestras diarias (en la mañana, medio día y la tarde). Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del DS N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En conclusión, cumple el punto N°29.

Gráfica N°34: Análisis del cloro residual en el punto N°29



### Punto N°30

Ubicación del punto de muestreo: Se han recopilado 39 muestras en diferentes fechas en una VIVIENDA FAMILIAR, en las siguientes coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 Sur:

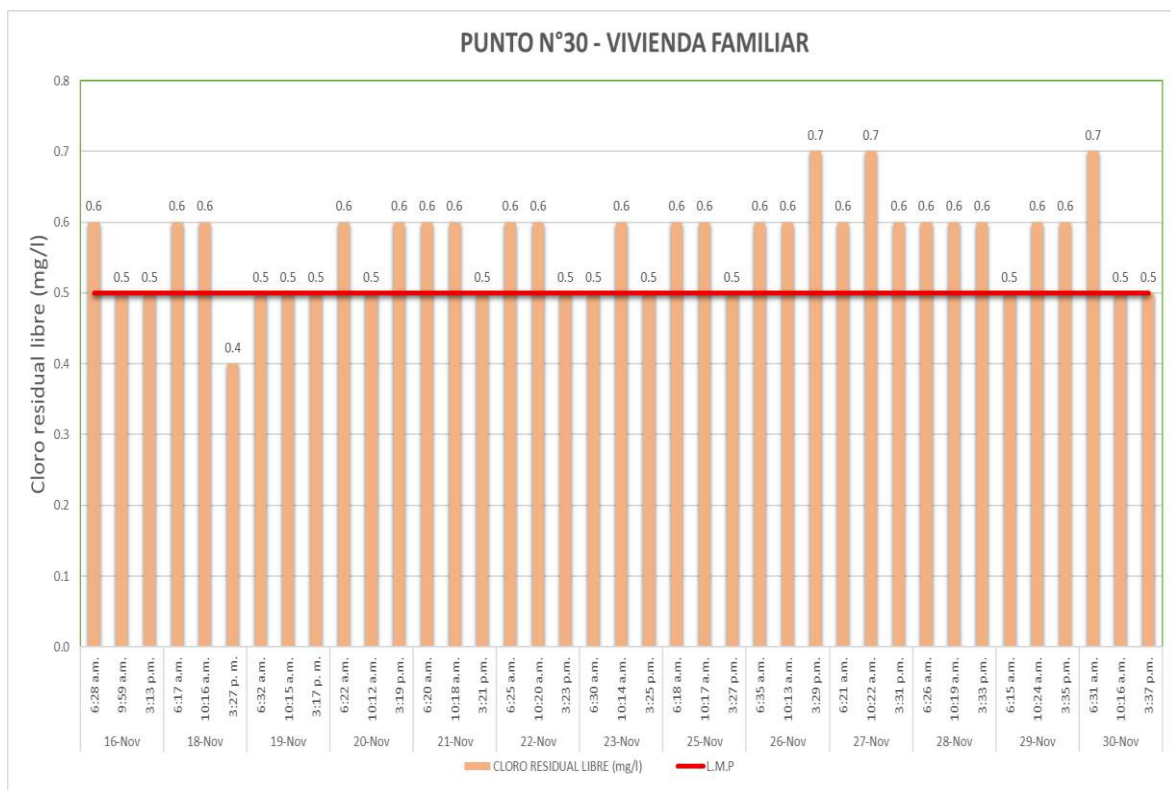
E: 825669

N: 9156382

Z: 2645 m.s.n.m

Interpretación de resultados: En la gráfica N°35 se observa un valor mínimo de 0.40 mg/l (registrado el 18 de noviembre) y un valor máximo de 0.7 mg/l (registrado el 26, 27 y 30 de noviembre), en las cuales el promedio de las 39 muestras es de 0.57 mg/l, resultado que está por encima de 0.50 mg/l. Las muestras han sido tomadas los días 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29 y 30 de noviembre con 3 muestras diarias (en la mañana, medio día y la tarde). Dicho valor (0.4 mg/l) por debajo de la norma peruana representa el 2.56 % del total de las muestras. Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del DS N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En conclusión, cumple el punto N°30.

Gráfica N°35: Análisis del cloro residual en el punto N°30



- **Punto N°31**

Ubicación del punto de muestreo: Se han recopilado 39 muestras en diferentes fechas en una AVÍCOLA, en las siguientes coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 Sur:

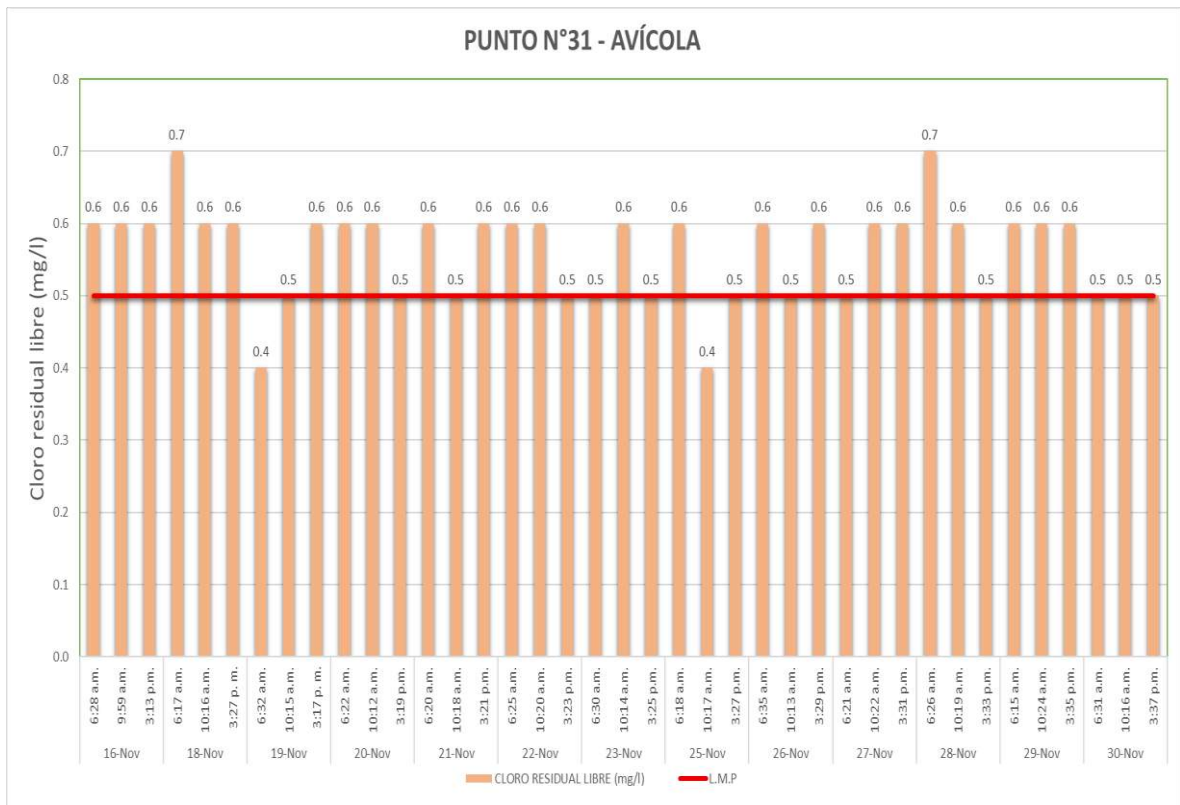
E: 825924

N: 9156389

Z: 2668 m.s.n.m

Interpretación de resultados: En la gráfica N°36 se observa un valor mínimo de 0.40 mg/l (registrado el 19 Y 25 de noviembre) y un valor máximo de 0.7 mg/l (registrado el 18 Y 28 de noviembre), en las cuales el promedio de las 39 muestras es de 0.56 mg/l, resultado que está por encima de 0.50 mg/l. Las muestras han sido tomadas los días 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29 y 30 de noviembre con 3 muestras diarias (en la mañana, medio día y la tarde). Dicho valor (0.4 mg/l) por debajo de la norma peruana representa el 5.12 % del total de las muestras. Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del DS N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En conclusión, cumple el punto N°31.

Gráfica N°36: Análisis del cloro residual en el punto N°31



## Punto N°32

Ubicación del punto de muestreo: Se han recopilado 39 muestras en diferentes fechas en una BODEGA, en las siguientes coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 Sur:

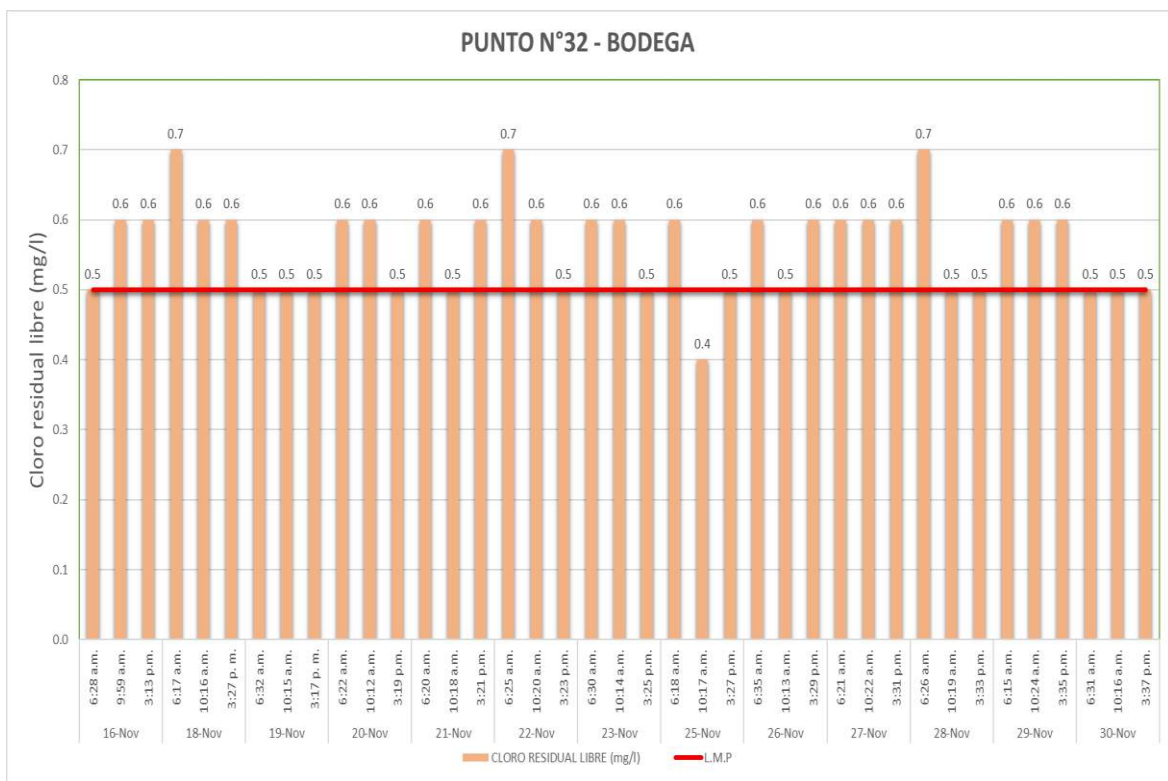
E: 826112

N: 9156101

Z: 2671 m.s.n.m

Interpretación de resultados: En la gráfica N°37 se observa un valor mínimo de 0.40 mg/l (registrado el 25 de noviembre) y un valor máximo de 0.7 mg/l (registrado el 18, 22 Y 28 de noviembre), en las cuales el promedio de las 39 muestras es de 0.56 mg/l, resultado que está por encima de 0.50 mg/l. Las muestras han sido tomadas los días 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29 y 30 de noviembre con 3 muestras diarias (en la mañana, medio día y la tarde). Dicho valor (0.4 mg/l) por debajo de la norma peruana representa el 2.56 % del total de las muestras. Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del DS N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En conclusión, cumple el punto N°32.

Gráfica N°37: Análisis del cloro residual en el punto N°32



### Punto N°33

Ubicación del punto de muestreo: Se han recopilado 39 muestras en diferentes fechas en una VIVIENDA FAMILIAR, en las siguientes coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 Sur:

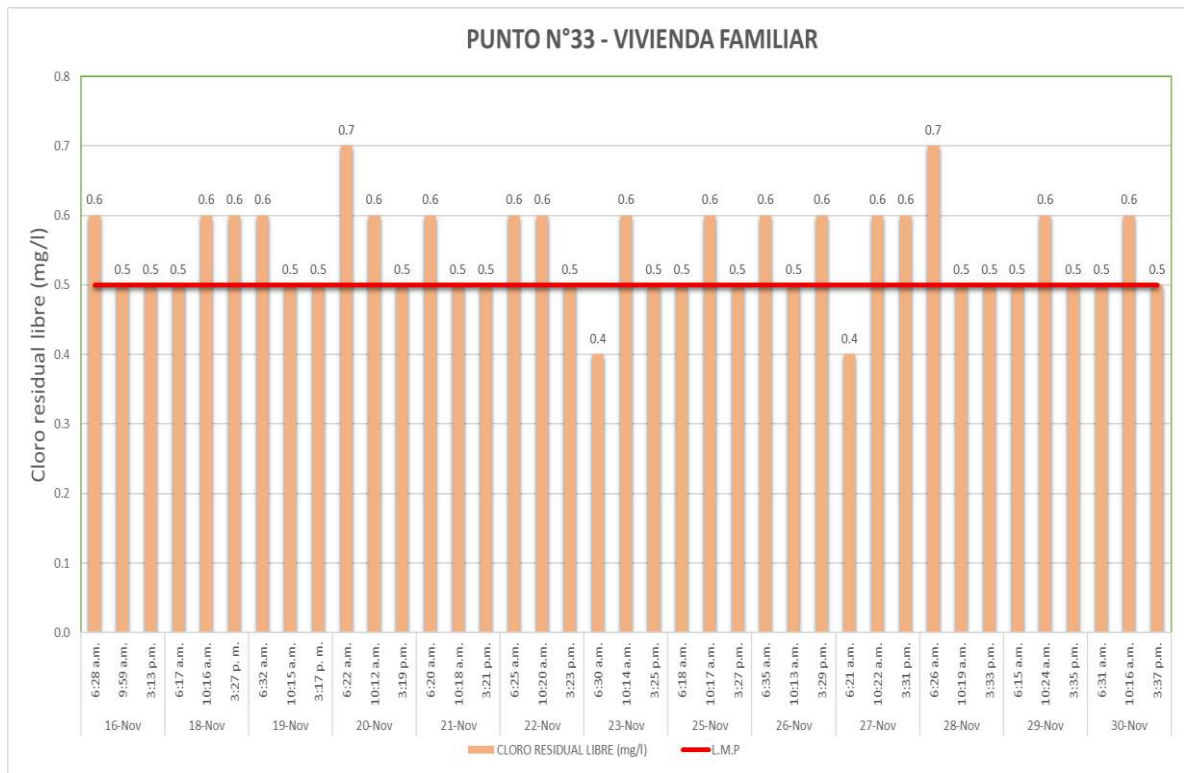
E: 826261

N: 9155477

Z: 2652 m.s.n.m

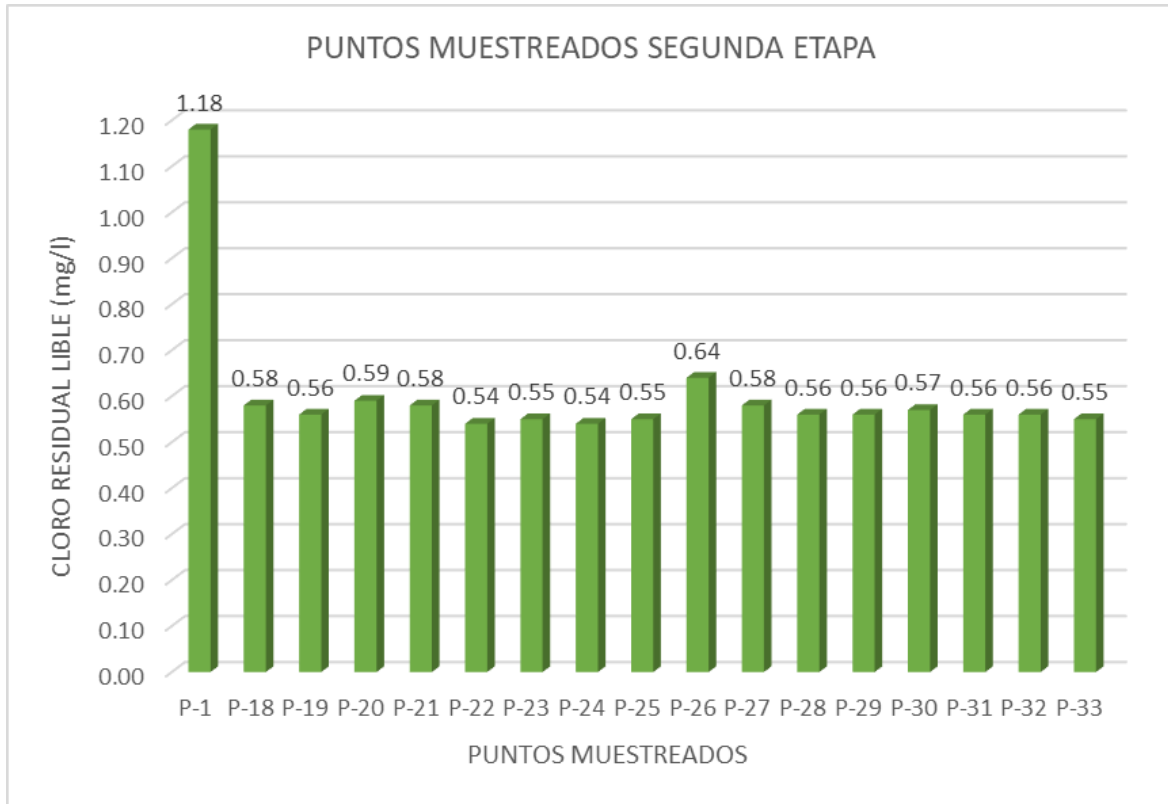
Interpretación de resultados: En la gráfica N°38 se observa un valor mínimo de 0.40 mg/l (registrado el 23 Y 27 de noviembre) y un valor máximo de 0.7 mg/l (registrado el 20 y 28 de noviembre), en las cuales el promedio de las 39 muestras es de 0.55 mg/l, resultado que está por encima de 0.50 mg/l. Las muestras han sido tomadas los días 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29 y 30 de noviembre con 3 muestras diarias (en la mañana, medio día y la tarde). Dicho valor (0.4 mg/l) por debajo de la norma peruana representa el 5.12 % del total de las muestras. Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del DS N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En conclusión, cumple el punto N°33.

Gráfica N°38: Análisis del cloro residual en el punto N°33



## Promedio de los puntos muestreados de la segunda etapa

Gráfica N°39: Análisis del cloro residual en los puntos de la segunda etapa



Durante la segunda etapa de muestreo en las redes de agua potable de la ciudad de Cajabamba, se analizaron un total de 663 muestras, de las cuales 17 (equivalen al 1.65%) presentaron valores por debajo del rango de los límites máximos permisibles, mientras que el 98.34 % cumplieron con los parámetros establecidos por la normativa vigente.

### 4.2. Interpretación de resultados

#### 4.2.1. Distribución de las muestras en la zona de estudio

A partir del plano de la red de distribución de agua potable proporcionado por la Municipalidad Provincial de Cajabamba, se seleccionaron 33 puntos representativos para evaluar los niveles de cloro residual. La selección de estos puntos abarcó estratégicamente los tramos iniciales, intermedios y finales de la red de distribución, con el objetivo de obtener una visión integral del comportamiento del cloro residual a lo largo del sistema. Entre los puntos seleccionados se incluyeron el reservorio, viviendas familiares, restaurantes, bodegas, un taller de motos, un taller de carros, una ferretería, una ladrillera y el cementerio.

En total, se evaluaron 33 ubicaciones dentro de la ciudad de Cajabamba, distribuidas en dos etapas, como se detalla a continuación:

Tabla N°10: Promedio del cloro residual libre en la primera etapa

<b>PUNTOS DE MUESTREO - PRIMERA ETAPA</b>						
<b>N°</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>Altitud (msnm)</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cloro Residual Libre (mg/l)</b>	<b>LMP</b>
1	826920	9156688	2767	Reservorio	1.19	0.5
2	826410	9156031	2683	Vivienda familiar	0.65	0.5
3	826420	9156105	2689	Vivienda familiar	0.65	0.5
4	826451	9156262	2704	Bodega	0.65	0.5
5	826413	9156356	2705	Bodega	0.61	0.5
6	826541	9156387	2718	Complejo deportivo	0.65	0.5
7	826413	9156654	2716	Vivienda familiar	0.59	0.5
8	826292	9156559	2703	Vivienda familiar	0.56	0.5
9	826082	9156646	2683	Vivienda familiar	0.56	0.5
10	825978	9156606	2674	Vivienda familiar	0.61	0.5
11	825831	9156966	2666	Vivienda familiar	0.58	0.5
12	825719	9156979	2658	Ladrillera	0.58	0.5
13	825661	9156910	2652	Taller de carros	0.55	0.5
14	825502	9156771	2635	Taller de motos	0.51	0.5
15	825635	9156801	2646	Ferretería	0.55	0.5
16	825474	9156727	2631	Vivienda familiar	0.57	0.5
17	825301	9156550	2619	Vivienda familiar	0.59	0.5

Tabla N°11: Promedio del cloro residual libre en la segunda etapa

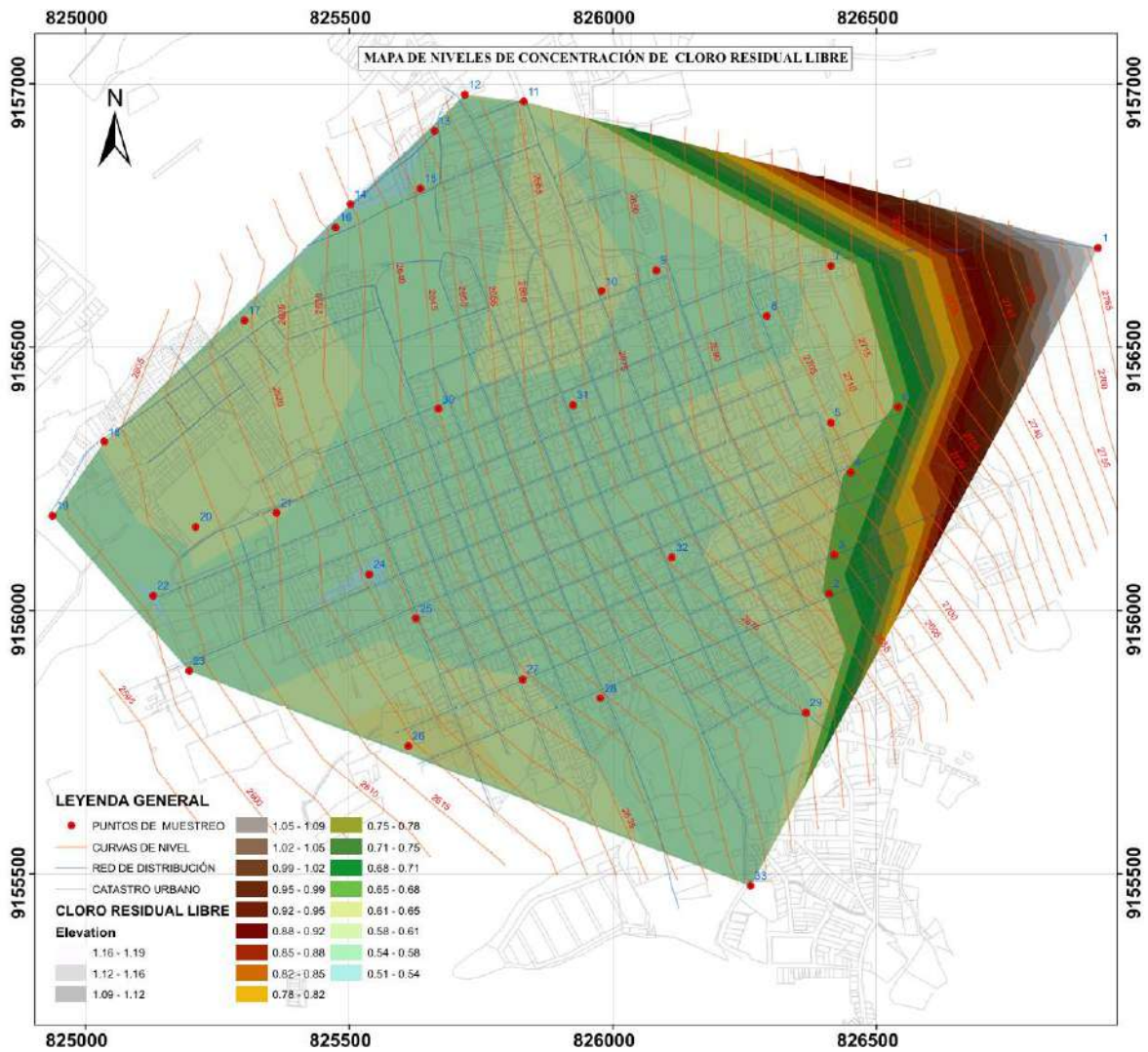
<b>PUNTOS DE MUESTREO - SEGUNDA ETAPA</b>						
<b>N°</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	<b>Altitud (msnm)</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cloro Residual Libre (mg/l)</b>	<b>LMP</b>
1	826920	9156688	2767	Reservorio	1.20	0.5
18	825035	9156320	2603	Vivienda familiar	0.58	0.5
19	824937	9156180	2599	Vivienda familiar	0.56	0.5
20	825209	9156159	2608	Vivienda familiar	0.59	0.5
21	825362	9156185	2615	Vivienda familiar	0.58	0.5

22	825128	9156028	2601	Tienda de ropa	0.54	0.5
23	825196	9155885	2603	Cementerio	0.55	0.5
24	825538	9156069	2626	Restaurante	0.54	0.5
25	825626	9155985	2630	Restaurante	0.55	0.5
26	825612	9155742	2619	Vivienda familiar	0.64	0.5
27	825829	9155870	2639	Vivienda familiar	0.58	0.5
28	825976	9155833	2644	Ladrillera	0.56	0.5
29	826366	9155806	2665	Vivienda familiar	0.56	0.5
30	825669	9156382	2645	Vivienda familiar	0.57	0.5
31	825924	9156389	2668	avícola	0.56	0.5
32	826112	9156101	2671	Bodega	0.56	0.5
33	826261	9155477	2652	Vivienda familiar	0.55	0.5

En la siguiente figura N°25, se muestran los puntos de muestreo realizados (marcados en color rojo) distribuidos en la ciudad de Cajabamba, junto con la interpolación espacial de los valores de cloro residual libre. Las tonalidades más oscuras indican concentraciones más altas de cloro, con un rango que varía entre 0.5 y 1.2 mg/L.

Los valores promedio de cloro residual registrados en la red de distribución de agua potable se encuentran dentro del rango establecido por los Límites Máximos Permisibles (L.M.P.) según el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA. En consecuencia, al mantenerse los niveles entre 0.5 mg/L y 1.5 mg/L, se garantiza una adecuada desinfección del agua, asegurando que esté libre de microorganismos patógenos como bacterias, virus y protozoarios.

Figura N°28: Distribución del cloro residual libre en la red de agua potable



Si bien la concentración de cloro residual libre en el reservorio tuvo un valor de 1.19 mg/l (en promedio), el muestreo realizado en la red de distribución en la ciudad de Cajabamba tuvo un máximo de 0.65 mg/l y un mínimo de 0.51 mg/l, cumpliéndose con el rango establecido en el D.S. N°031-2010-SA (0.5 – 1.5 mg/l).

Gráfica N°40: Datos promedios del cloro residual libre en cada punto

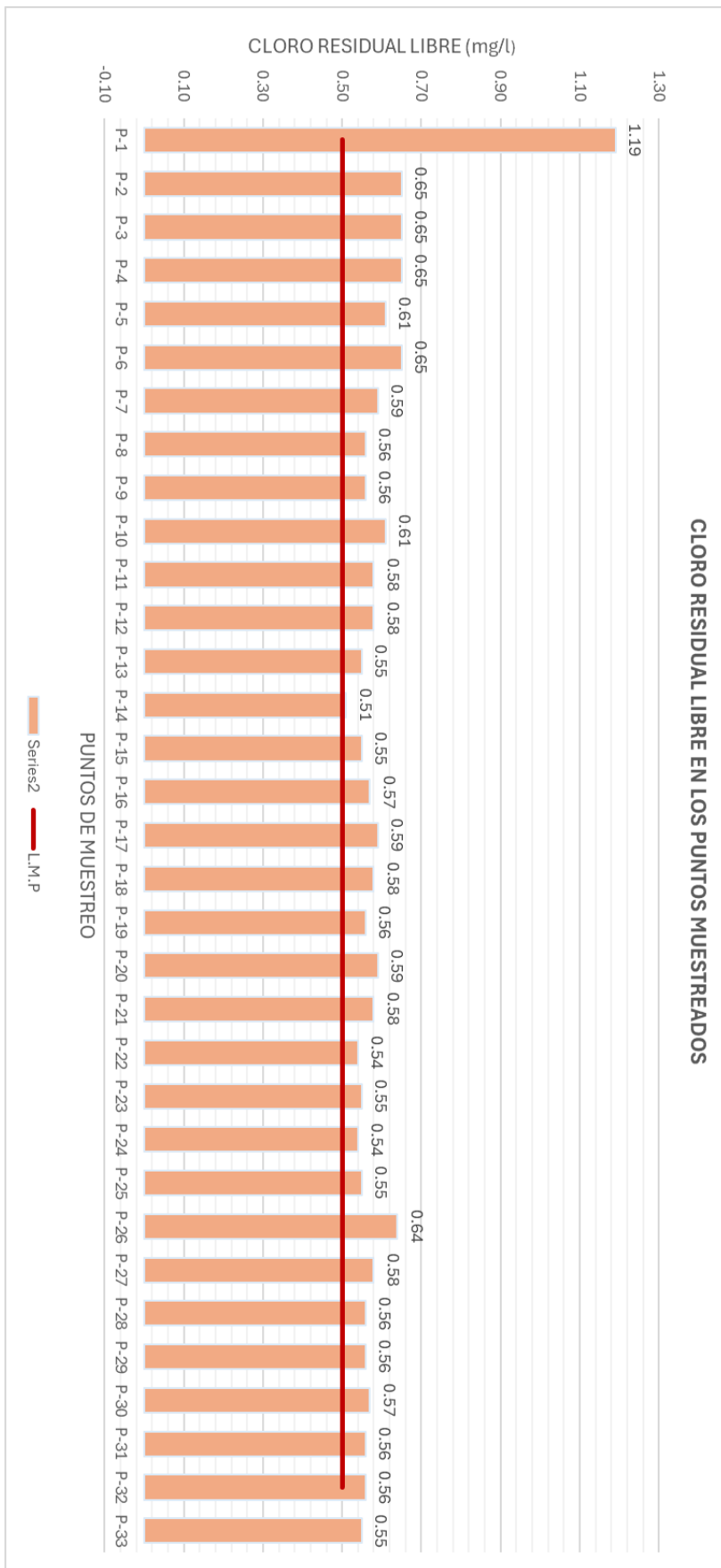
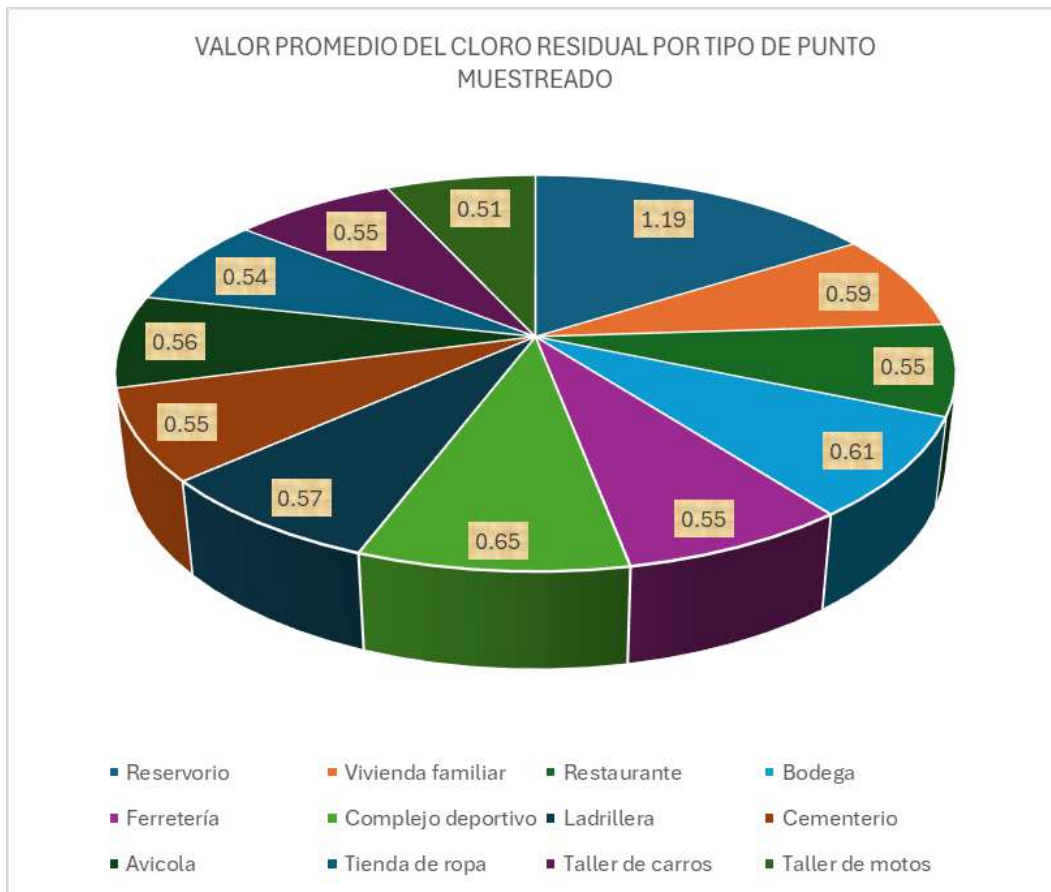


Tabla N°12: Rango del cloro residual por tipo de punto muestreado

Puntos de muestreo	Rango de valores del cloro residual libre
Reservorio	1.19
Vivienda familiar	0.59
Restaurante	0.55
Bodega	0.61
Ferretería	0.55
Complejo deportivo	0.65
Ladrillera	0.57
Cementerio	0.55
Avicola	0.56
Tienda de ropa	0.54
Taller de carros	0.55
Taller de motos	0.51

Gráfica N°41: Valor promedio por tipo de punto muestreado

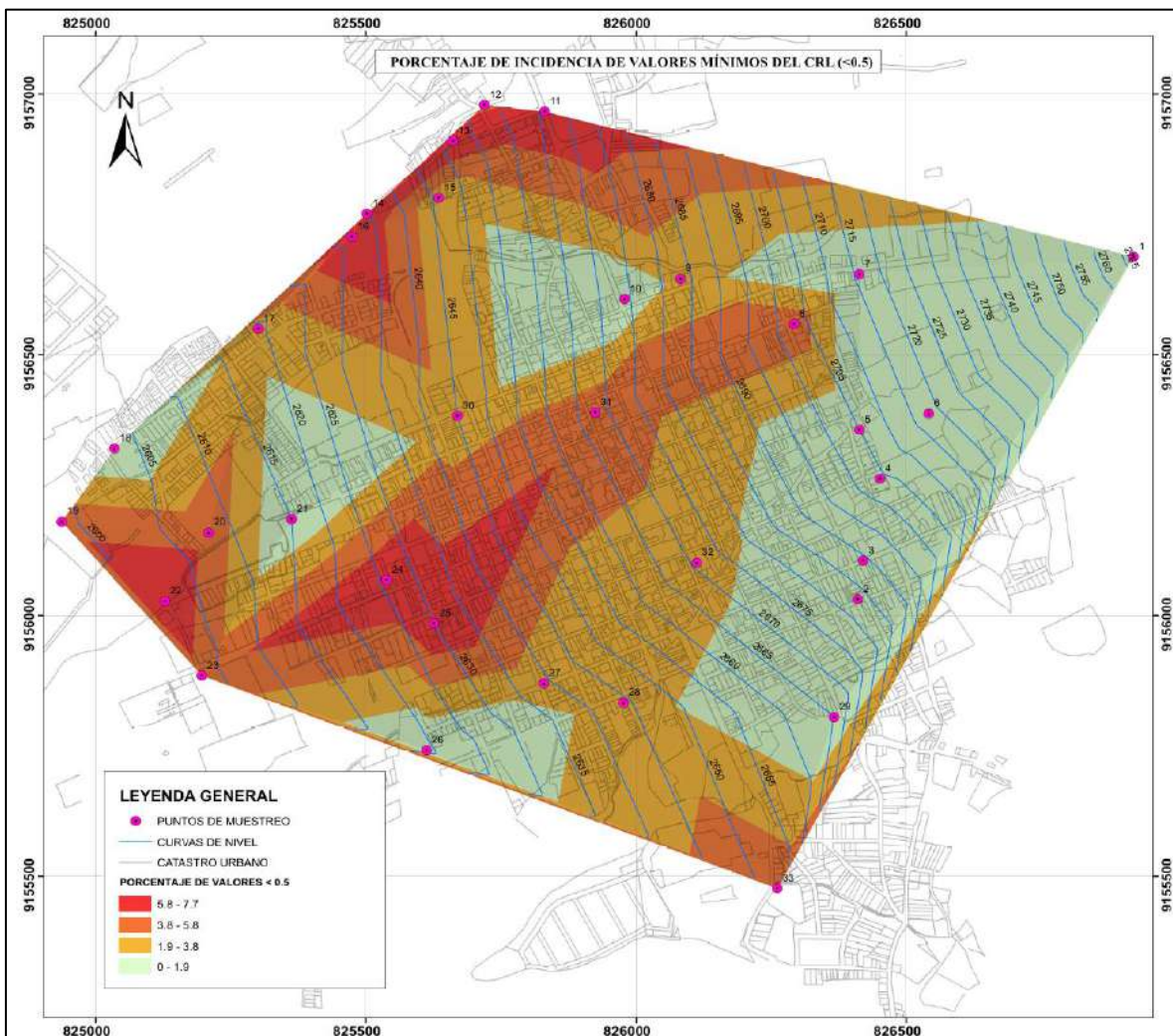


En las 33 muestras realizadas se tiene al reservorio con un valor promedio de 1.19, dieciocho viviendas familiares con un valor promedio de 0.59, dos restaurantes con un valor promedio

de 0.55, tres bodegas con un valor promedio de 0.61, una ferretería con un valor de 0.55, un complejo deportivo con un valor de 0.65, dos ladrilleras con un valor promedio de 0.57, el cementerio con un valor de 0.55, una avícola con un valor de 0.56, una tienda de ropa con un valor de 0.54, un taller de carros con un valor de 0.55 y un taller de motos con un valor de 0.51 mg/l de cloro residual libre.

Los resultados obtenidos muestran que la variación de la concentración de cloro residual no depende directamente de la distancia, dado que para las mismas distancias existen diferentes valores de cloro residual; si no, más que la distancia, son las condiciones que atraviesa el agua clorada en su recorrido, como por ejemplo el desgaste de la tubería, probables condiciones clandestinas, el uso no controlado del agua, los desperdicios y las variaciones de consumo, ya que no todas las conexiones tienen un consumo estándar.

Figura N°29: % de Incidencia de CRL con valores menores a 0.5



La tecnología empleada corresponde a un sistema de cloración con gas mediante inyección directa, el cual permite que el agua ingrese al reservorio ya clorada. En el interior del reservorio se garantiza una mezcla completamente homogénea, lo que facilita que el tiempo de contacto entre el cloro y el agua sea como mínimo de 30 minutos, asegurando que el agua cumpla con las condiciones de potabilidad desde su salida del reservorio. Este sistema presenta ventajas operativas y sanitarias frente a la cloración por goteo constante, la cual no siempre garantiza una desinfección uniforme.

Sin embargo, tal como se evidencia en la figura anterior, la concentración de cloro residual libre resultante es insuficiente para corregir los valores inferiores a 0.5 mg/l registrados en diversos puntos centrales y terminales de la red de distribución de la ciudad de Cajabamba. Desde el punto de vista hidráulico, el comportamiento del cloro residual en una red de distribución está directamente condicionado por la dinámica de circulación del agua dentro del sistema. Si bien el reservorio se encuentra ubicado a una cota elevada y proporciona presión adecuada, la hidráulica interna de la red, caracterizada por tiempos de residencia elevados, bajas velocidades de flujo y posibles ramales ciegos, puede generar disminuciones significativas del cloro residual en determinados sectores del sistema.

Tabla N°13: Porcentaje de valores en la muestra que dan menos de 0.5 mg/l

N°	Este	Norte	CRL<0.5	Descripción
1	826920	9156688	0%	Reservorio
2	826410	9156031	0%	Vivienda familiar
3	826420	9156105	0%	Vivienda familiar
4	826451	9156262	0%	Bodega
5	826413	9156356	0%	Bodega
6	826541	9156387	0%	Complejo deportivo
7	826413	9156654	0%	Vivienda familiar
8	826292	9156559	5.13%	Vivienda familiar
9	826082	9156646	2.56%	Vivienda familiar
10	825978	9156606	0%	Vivienda familiar
11	825831	9156966	7.69%	Vivienda familiar
12	825719	9156979	5.13%	Ladrillera
13	825661	9156910	7.69%	Taller de carros
14	825502	9156771	7.69%	Taller de motos
15	825635	9156801	2.56%	Ferretería
16	825474	9156727	7.69%	Vivienda familiar
17	825301	9156550	2.56%	Vivienda familiar
18	825035	9156320	0%	Vivienda familiar
19	824937	9156180	5.13%	Vivienda familiar
20	825209	9156159	5.13%	Vivienda familiar

21	825362	9156185	0%	Vivienda familiar
22	825128	9156028	7.69%	Tienda de ropa
23	825196	9155885	5.13%	Cementerio
24	825538	9156069	7.69%	Restaurante
25	825626	9155985	7.69%	Restaurante
26	825612	9155742	0%	Vivienda familiar
27	825829	9155870	2.56%	Vivienda familiar
28	825976	9155833	2.56%	Ladrillera
29	826366	9155806	0%	Vivienda familiar
30	825669	9156382	2.56%	Vivienda familiar
31	825924	9156389	5.13%	Avícola
32	826112	9156101	2.56%	Bodega
33	826261	9155477	5.13%	Vivienda familiar

De la tabla anterior se evidencia que, de las 33 muestras realizadas por punto de muestreo, se registran valores de cloro residual libre inferiores a 0.5 mg/l en distintos establecimientos. En el primer grupo, correspondiente a cuatro viviendas familiares, una ferretería, una ladrillera y una bodega, el 2.56 % del total de muestras presenta concentraciones por debajo del límite establecido. En el segundo grupo, conformado por cuatro viviendas familiares, una ladrillera, el cementerio y una avícola, el 5.13 % de las muestras se encuentra por debajo de 0.5 mg/l. Finalmente, en el tercer grupo, integrado por dos viviendas familiares, un taller de autos, un taller de motos, una tienda de ropa y dos restaurantes, el 7.69 % de las muestras registra valores inferiores a 0.5 mg/l de cloro residual libre. En consecuencia, los valores mencionados no cumplen con lo establecido en el Decreto Supremo N.º031-2010-SA, que regula la calidad del agua para consumo humano.

Según el artículo N°66 (Control de desinfectantes) del D.S. N°031-2010-SA, el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l. En ese marco, los resultados obtenidos en esta investigación evidencian el cumplimiento de dicha normativa.

En conclusión, los resultados confirman que la población de Cajabamba consume agua potable de buena calidad, lo que contribuye a la protección de su salud.

La eficiencia de la distribución uniforme de agua clorada en la red de distribución de la ciudad de Cajabamba coincide con lo señalado por Salazar en su investigación “DECAIMIENTO DEL CLORO RESIDUAL EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE CELENDÍN – CAJAMARCA” en el año 2023,

donde concluyó que en la ciudad de Celendín el suministro de la calidad del agua se considera aceptable, y haciendo la comparación con la ciudad de Cajabamba, ambas ciudades realizan el proceso de cloración con la inyección de cloro gas antes de entrar al reservorio, ocasionando una mezcla homogénea con tiempo de contacto mayor a 30 min.

Calua, en el año 2023, concluye que en Baños del Inca no todos los sectores están recibiendo agua clorada mayor a 0.5 ppm; con un porcentaje de 48.86, se puede concluir que para ciudades grandes con gran cantidad de población, lo más recomendable es un sistema de cloración por la inyección de cloro gas o la inyección de cloro en línea, como lo presenta Correa en su investigación “Decaimiento de cloro residual en la ciudad de San Miguel”, en el año 2022.

Como análisis adicional, se ha evaluado los parámetros de calidad del agua en la ciudad de Cajabamba:

Tabla N°14: Valores de la calidad del agua potable en la ciudad de Cajabamba

<b>PARÁMETRO</b>	<b>VALOR</b>
pH	7.20
Conductividad eléctrica	184 $\mu\text{s}/\text{cm}$
Sales totales	86 ppm

Del cuadro anterior se concluye:

- El valor del pH según la normativa peruana (DS N.º 031-2010-SA), se encuentra en el rango aceptable (6.5 – 8.5) para consumo humano.
- La conductividad eléctrica se encuentra por debajo de los 500  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , la cual es aceptable para la Organización Mundial de la Salud (OMS).
- Las sales totales muestran una concentración muy baja (minerales como calcio, sodio, cloruros, etc.), considerándose el agua de excelente calidad según la OMS.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

- La ciudad de Cajabamba se abastece de dos fuentes de captación. La primera, denominada La Shita, proporciona un caudal de 6 l/s en época de estiaje y 18 l/s en temporada de lluvias. La segunda captación se encuentra en la laguna Quengococha, con un caudal de 10 l/s en estiaje y 20 l/s durante el periodo lluvioso. El sistema cuenta con una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) y un reservorio con capacidad de almacenamiento de 1,500 m<sup>3</sup>. La red de distribución está compuesta por tuberías de PVC con diámetros nominales de 200 mm, 160 mm, 110 mm y 90 mm, abasteciendo un total de 4,105 conexiones domiciliarias.
- Se estableció un total de 33 puntos de muestreo, de la siguiente manera: en el reservorio, dieciocho en viviendas familiares, tres en bodegas, una en una avícola, una en una tienda, una en el cementerio, una en un complejo deportivo, dos en ladrilleras, una en un taller de motos, una en un taller de carros, dos en restaurantes y una en una ferretería. Las selecciones de estos puntos se han realizado considerando criterios de representatividad, riesgo sanitario, accesibilidad y distancia desde la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP).
- Los muestreos en los 33 puntos establecidos de la red de agua potable de la ciudad de Cajabamba se realizaron en dos etapas. La primera etapa se llevó a cabo los días 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14 de noviembre, durante la cual se tomaron 663 muestras en 17 puntos, obteniéndose que el 97.13 % de los resultados estuvieron en el rango de los LMP. La segunda etapa se realizó los días 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29 y 30 de noviembre, con un total de 663 muestras recolectadas en los 17 puntos restantes (incluido el reservorio de la primera etapa), obteniéndose que el 98.34 % de los resultados estuvieron en el rango de los LMP establecidos por el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA.
- Se realizó la zonificación del cloro residual libre en la ciudad de Cajabamba, dividiendo el área en 20 sectores, con intervalos de 0.035 mg/l, dentro de un rango que va desde 1.19 mg/l hasta 0.51 mg/l. El mapa correspondiente a la distribución espacial del cloro residual libre (Mapa N.º 04) se encuentra incluido en los anexos.

- La población de la ciudad de Cajabamba que está dentro de la red de distribución del sistema de agua potable abastecido por USAPAN presenta una buena calidad sanitaria en términos del suministro de agua clorada conforme a lo establecido en el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA, artículo N.º66 (Control de desinfectantes), donde indica que el 90% de las muestras deben estar sobre 0.5 mg/l y el 10% restante, ninguno debe estar por debajo de 0.3 mg/l.
- El consumo de agua potable en la ciudad de Cajabamba se asocia al proceso de cloración, el cual se realiza por la inyección directa de cloro gas antes de la entrada del reservorio, logrando que al reservorio ingrese una agua dosificada y clorada, haciendo que en el reservorio se tenga una mezcla homogénea en todo el volumen de agua almacenado, permitiendo que el tiempo de contacto entre el cloro-agua sea de más de 30 minutos y, como consecuencia, el cloro residual se disponga en la red de distribución con valores mayores a 0.5 ppm en más del 90% de la población.
- La variación del cloro residual disminuye mientras se va alejando del reservorio, pero no hay una relación directa entre distancia y decaimiento, visto que para mismas distancias en base al reservorio se presentan valores de cloro residual diferentes. Entonces, la variación del cloro residual se puede asociar con factores como calidad de las tuberías, el desgaste, las variaciones de consumo vinculadas a la demanda en cada conexión domiciliaria o por desperdicios del agua, o el uso no controlado por los usuarios.
- No hay una relación directa entre el decaimiento del cloro residual y la presión; esto se concluye visto que, para conexiones de igual desnivel en base al reservorio, el cloro residual presenta valores diferentes.
- Visto que en la ciudad de Cajabamba se brindó un agua potable el año 2024, la anemia, DCI, EDA'S, no están relacionadas directamente con el consumo de agua, sino por otros motivos alimenticios o de salubridad en los niños menores de 5 años.

## **5.2. Recomendaciones**

- Visto que cuando se analizan los valores de cloro residual menores a 0.5 ppm, hay un pequeño porcentaje de población que no está dentro de los LMP, para mejorar este indicador se recomienda aumentar la inyección de cloro gas levemente para

lograr la distribución de cloro residual mayor a 0.5 ppm.

- Se debería contar con un sistema de cloración alterno de doble recipiente para que, cuando se tenga que hacer el mantenimiento o la reposición de algún equipo en el sistema de inyección de cloro gas, el suministro de agua clorada no se vea interrumpido para garantizar el suministro de un agua clorada a toda la población cajabambina.
- El personal de USAPAN, quienes hacen la recarga de cloro y el monitoreo de cloro residual, deben contar con un cuaderno de ocurrencias y un cuaderno de monitoreo de cloro residual para que se tenga una data de evidencias y registros del cloro residual para asegurar que todos los días se está consumiendo un agua de calidad.
- La limpieza periódica del reservorio es fundamental para mantener niveles adecuados de cloro residual libre, ya que la acumulación de sedimentos, algas, bacterias y materia orgánica consume el cloro al reaccionar con él, reduciendo así su efectividad en la red de distribución.
- Las municipalidades deben seguir la normativa en el D.S. N°031-2010-SA y el RM N° 192-2023/MINSA, para brindar un mejor servicio de agua a la población.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### 6.1. Bibliografía

- Aguero Pittman, R. (1997). Agua potable para poblaciones rurales. Lima S.E.R.
- Aguirre Morales, F. (2015). Abastecimiento de agua para comunidades rurales. Machala UTMACH.
- Alvarez Guisasola, F. (2009). Manual de tratamiento del agua de consumo humano. León Gráficas Lafalpoo.
- CONAGUA. (2024). Diagnósticos con base en los indicadores y semáforo de la calidad del agua. México.
- DIGESA. (2010). Reglamento de la calidad del agua para consumo humano.
- Jiménez Cisneros, B. (2001). La contaminación ambiental en México. México-Limusa Noriega Editores.
- MDI. (2023). Manual de operación y mantenimiento en SAP. Amazonas.
- PROAGUA. (Junio de 2017). Manual para la cloración del agua en sistemas de abastecimiento de agua potable.
- Ramírez Quirós, F. (2005). Tratamiento de desinfección del agua potable. CanalEduca.
- Rodríguez Ruíz, P. (2001). Abastecimiento de agua. Oaxaca: Instituto Tecnológico de Oaxaca.
- Romero Rojas, J. (1999). Potabilización del agua. México: Alfaomega Grupo Editor.
- Sánchez Barrionuevo, L. (2024). Operaciones de comprobación de los sistemas de dosificación y de la calidad de aguadel agua. IC Editorial.
- Smet, & Wijk. (2002). Captaciones de río. Netherlands: IRC International and Sanitation Centro.
- Torres, J., Osorio, F., & Sánchez, M. (2010). Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes. Madrid. Díaz de Santos S.A.
- Valdez, E. (1994). Abastecimiento de agua potable. México-UNAM.

## 6.2. Linkografía

- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2011). Guías para la calidad del agua de consumo humano (4.ª ed.). <https://www.who.int/publications/i/item/9789241548151>
- Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos. (1999). Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual. <https://www.epa.gov/dwreginfo/alternative-disinfectants-and-oxidants-guidance-manual>
- Pérez-Vidal, A., & Escobar-Rivera, J. C. (2019). Desinfección del agua: tendencias y tecnologías emergentes. *Ingeniería y Competitividad*. <https://doi.org/10.25100/iyv.v21i2.7107>
- Sánchez, E., & Rodríguez, L. (2018). Control del cloro residual en redes de distribución de agua potable: Una revisión de estrategias. *Tecnología y Ciencias del Agua*. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-05-08>
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2020). Manual de operación y mantenimiento de sistemas de agua potable simplificados. <https://www.cdc.gov/healthywater/spanish/other/emergency/drinking/operacion-mantenimiento-sistemas-agua.html>
- Chereque Morán, W. (1989). Hidrología para estudiantes de ingeniería civil. Pontificia Universidad Católica del Perú. <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/28689>
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2021). Guías para la calidad del agua potable: cuarta edición, incorporando la primera adenda. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/55213>

## VII. ANEXOS

Figura N°30: Punto número 1- muestreo de cloro residual libre (1.29 mg/l)



Figura N°31: Punto número 2- muestreo de cloro residual libre (0.65 mg/l)



Figura N°32: Punto número 3- muestreo de cloro residual libre (0.65 mg/l)



Figura N°33: Punto número 4- muestreo de cloro residual libre (0.65 mg/l)



Figura N°34: Punto número 5- muestreo de cloro residual libre (0.61 mg/l)



Figura N°35: Punto número 6- muestreo de cloro residual libre (0.65 mg/l)



Figura N°36: Punto número 7- muestreo de cloro residual libre (0.59 mg/l)



Figura N°37: Punto número 8- muestreo de cloro residual libre (0.56 mg/l)



Figura N°38: Punto número 9- muestreo de cloro residual libre (0.56 mg/l)



Figura N°39: Punto número 10- muestreo de cloro residual libre (0.61 mg/l)



Figura N°40: Punto número 11- muestreo de cloro residual libre (0.58 mg/l)



Figura N°41: Punto número 12- muestreo de cloro residual libre (0.58 mg/l)



Figura N°42: Punto número 13- muestreo de cloro residual libre (0.55 mg/l)



Figura N°43: Punto número 14- muestreo de cloro residual libre (0.51 mg/l)



Figura N°44: Punto número 15- muestreo de cloro residual libre (0.55 mg/l)



Figura N°45: Punto número 16- muestreo de cloro residual libre (0.57 mg/l)



Figura N°46: Punto número 17- muestreo de cloro residual libre (0.59 mg/l)



Figura N°47: Punto número 18- muestreo de cloro residual libre (0.58 mg/l)



Figura N°48: Punto número 19- muestreo de cloro residual libre (0.56 mg/l)



Figura N°49: Punto número 20- muestreo de cloro residual libre (0.59 mg/l)



Figura N°50: Punto número 21- muestreo de cloro residual libre (0.58 mg/l)



Figura N°51: Punto número 22- muestreo de cloro residual libre (0.54 mg/l)



Figura N°52: Punto número 23- muestreo de cloro residual libre (0.55 mg/l)

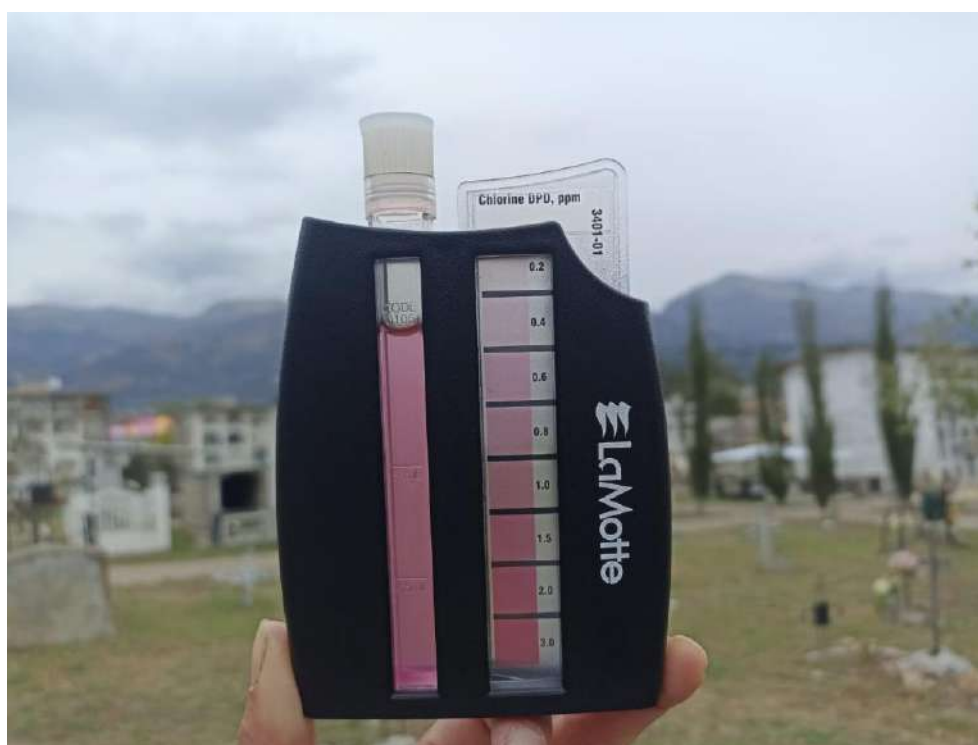


Figura N°53: Punto número 24- muestreo de cloro residual libre (0.54 mg/l)



Figura N°54: Punto número 25- muestreo de cloro residual libre (0.55 mg/l)



Figura N°55: Punto número 26- muestreo de cloro residual libre (0.64 mg/l)



Figura N°56: Punto número 27- muestreo de cloro residual libre (0.58 mg/l)



Figura N°57: Punto número 28- muestreo de cloro residual libre (0.56 mg/l)



Figura N°58: Punto número 29- muestreo de cloro residual libre (0.56 mg/l)



Figura N°59: Punto número 30- muestreo de cloro residual libre (0.57 mg/l)



Figura N°60: Punto número 31- muestreo de cloro residual libre (0.56 mg/l)



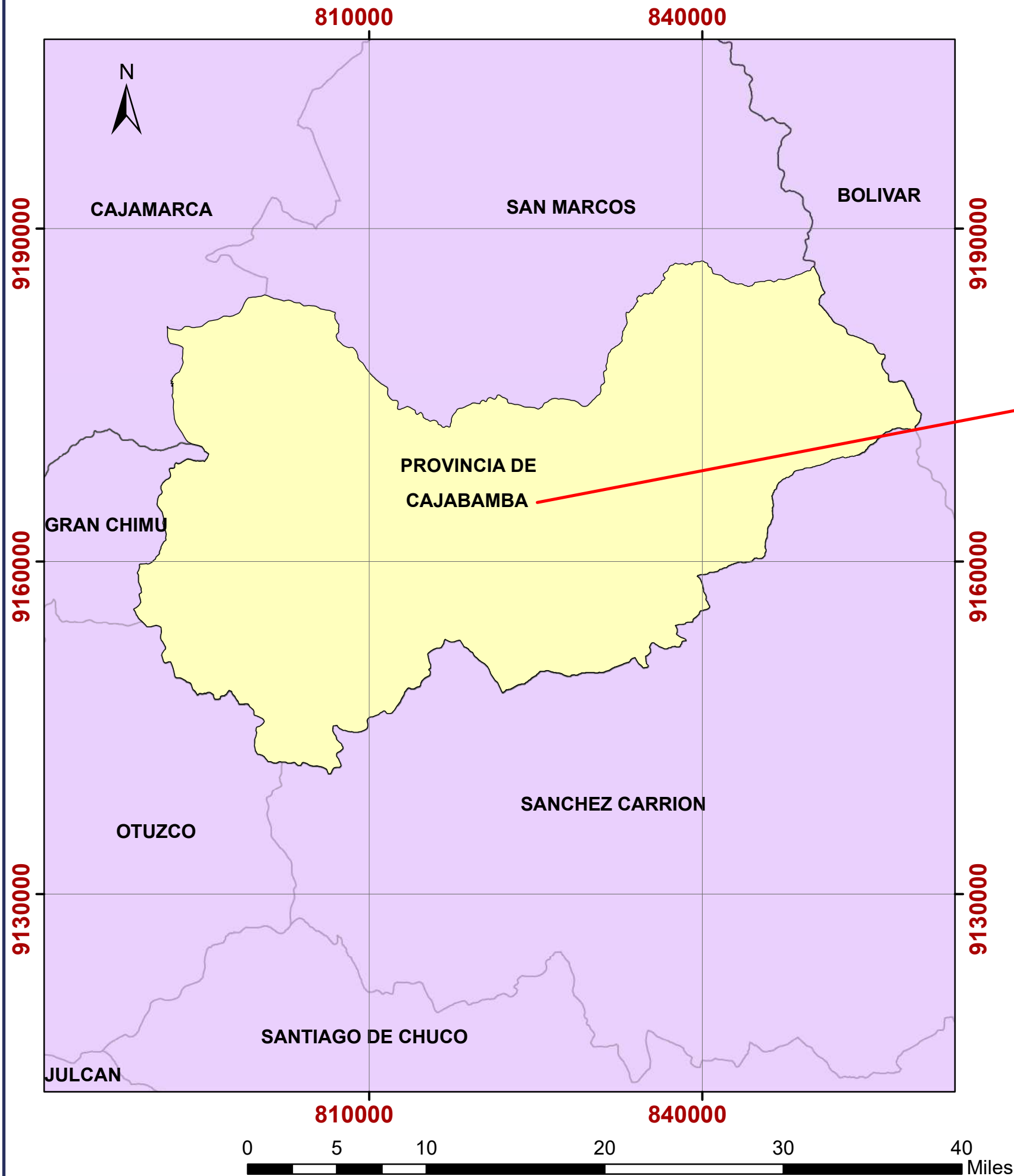
Figura N°61: Punto número 32- muestreo de cloro residual libre (0.56 mg/l)



Figura N°62: Punto número 33- muestreo de cloro residual libre (0.55 mg/l)



**UBICACIÓN PROVINCIAL DE LA ZONA DE ESTUDIO**




**UBICACIÓN REGIONAL DE LA ZONA DE ESTUDIO**



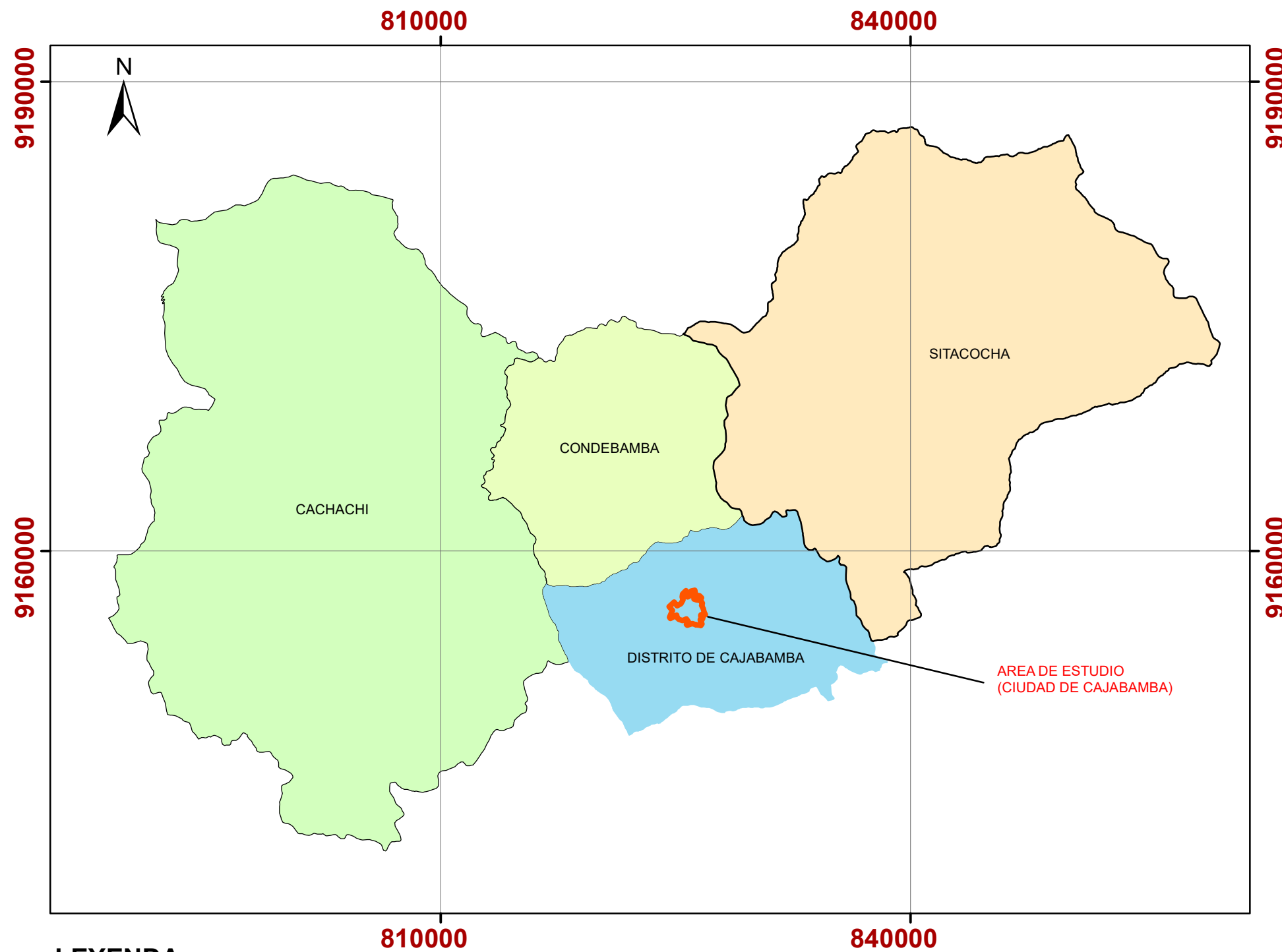
0 95 190 380 570 760 Miles

**LEYENDA**

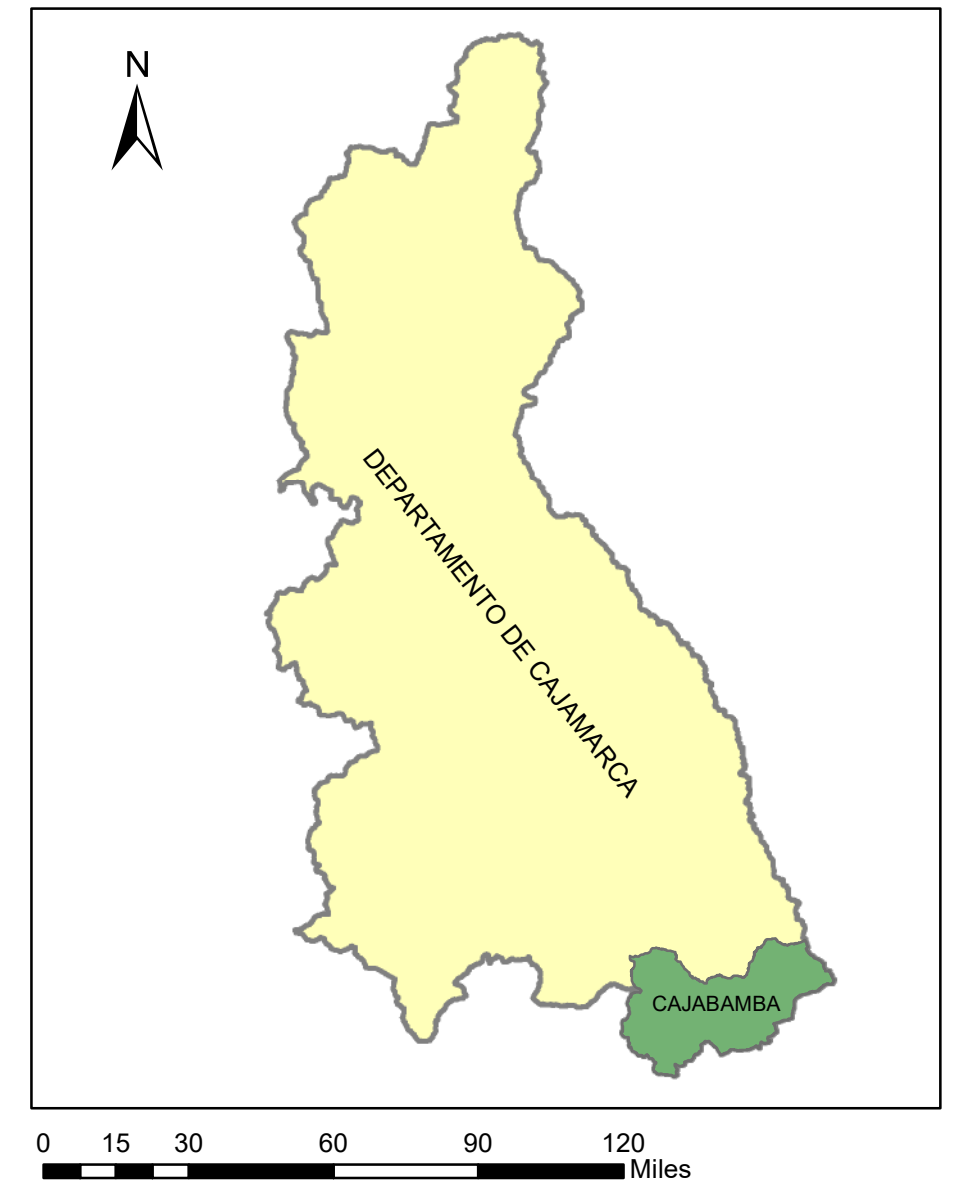
- PROVINCIA DE CAJABAMBA
- OTRAS PROVINCIAS
- DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> <b>ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA</b>		01
	TESIS: VARIACIÓN DEL CLORO RESIDUAL LIBRE EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE CAJABAMBA, CAJAMARCA 2024		
	MAPA DE UBICACIÓN REGIONAL Y PROVINCIAL TESIS: BACH. JUAN CARLOS SANDOVAL ESPINOZA		
	ASESOR: DR.ING. GASPAR MENDEZ CRUZ	ESCALA: INDICADA    FECHA: 04/ 06 / 2025	

### UBICACIÓN DISTRITAL DE LA ZONA DE ESTUDIO




### UBICACIÓN PROVINCIAL

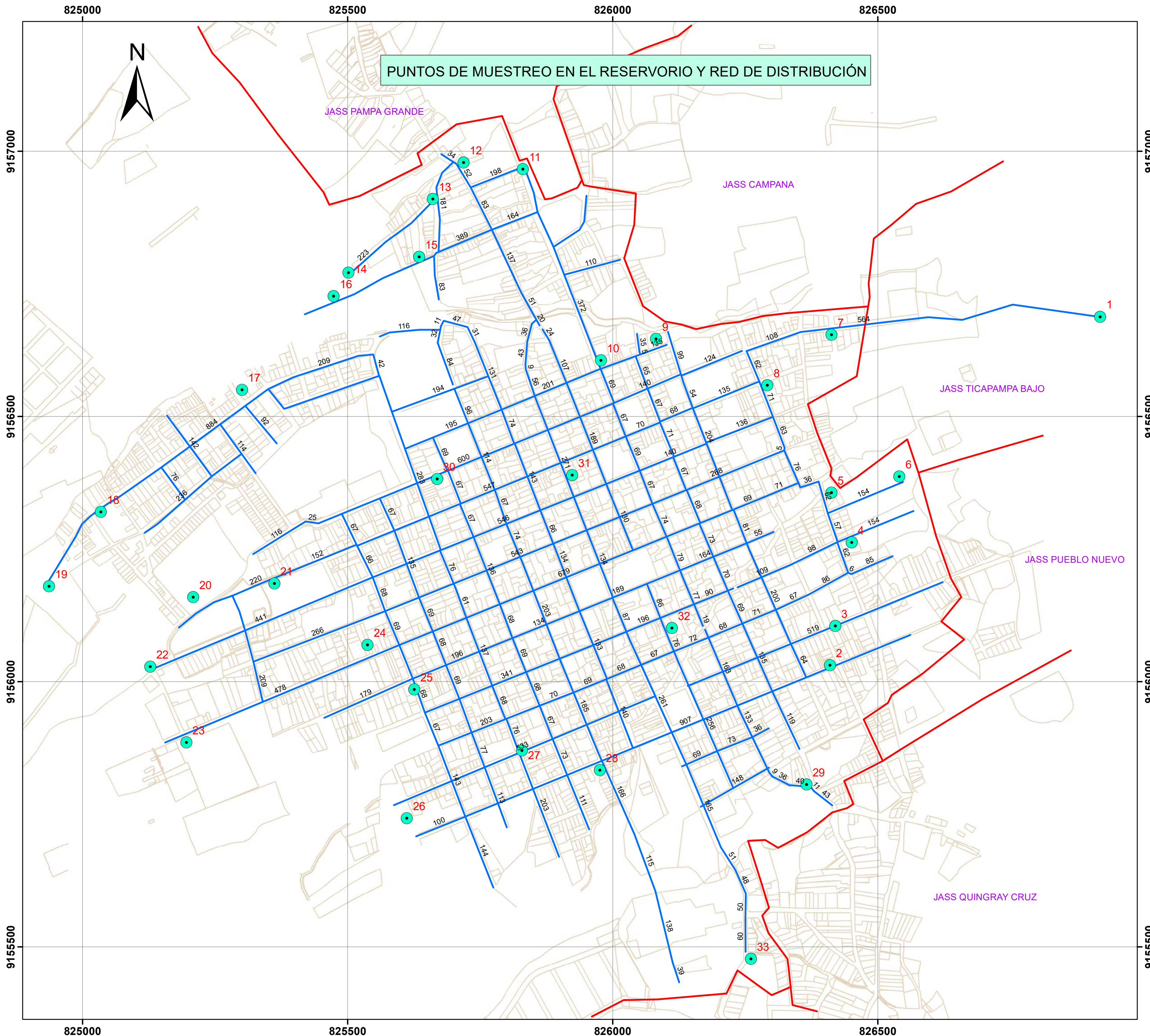


#### LEYENDA

- AREA DE ESTUDIO
- DISTRITO DE CAJABAMBA
- DISTRITO DE CACHACHI
- DISTRITO DE CONDEBAMBA
- DISTRITO DE SITACOCHA
- PROVINCIA DE CAJABAMBA
- DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> <b>ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA</b>	
	TESIS: VARIACIÓN DEL CLORO RESIDUAL LIBRE EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE CAJABAMBA, CAJAMARCA 2024	
	MAPA DE UBICACIÓN DISTRITAL	
	TESISISTA: BACH. JUAN CARLOS SANDOVAL ESPINOZA	
	ASESOR: DR.ING. GASPAR MENDEZ CRUZ	
ESCALA: INDICADA	FECHA: 05/ 06 / 2025	<h1 style="font-size: 48px; margin: 0;">02</h1>

PUNTOS DE MUESTREO EN EL RESERVORIO Y RED DE DISTRIBUCIÓN



PUNTOS DE MUESTREO - PRIMERA ETAPA						
N°	Este	Norte	Altitud (msnm)	Descripción	Cloro Residual Libre (mg/l)	Long. al reservorio (m)
1	826920	9156688	2767	Reservorio	1.19	0
2	826410	9156031	2683	Vivienda familiar	0.65	1482.2
3	826420	9156105	2689	Vivienda familiar	0.65	1446.4
4	826451	9156262	2704	Bodega	0.65	1131.9
5	826413	9156356	2705	Bodega	0.61	1024.8
6	826541	9156387	2718	Complejo deportivo	0.65	1202.3
7	826413	9156654	2716	Vivienda familiar	0.59	517.9
8	826292	9156559	2703	Vivienda familiar	0.56	759.9
9	826082	9156646	2683	Vivienda familiar	0.56	995.5
10	825978	9156606	2674	Vivienda familiar	0.61	1009.6
11	825831	9156966	2666	Vivienda familiar	0.58	1407.6
12	825719	9156979	2658	Ladrillera	0.58	1530.7
13	825661	9156910	2652	Taller de carros	0.55	1628.4
14	825502	9156771	2635	Taller de motos	0.51	1847.1
15	825635	9156801	2646	Ferretería	0.55	1764
16	825474	9156727	2631	Vivienda familiar	0.57	1636.2
17	825301	9156550	2619	Vivienda familiar	0.59	1942.8

PUNTOS DE MUESTREO - SEGUNDA ETAPA						
N°	Este	Norte	Altitud (msnm)	Descripción	Cloro Residual Libre (mg/l)	Long. al reservorio (m)
1	826920	9156688	2767	Reservorio	1.18	0
18	825035	9156320	2603	Vivienda familiar	0.58	2273.6
19	824937	9156180	2599	Vivienda familiar	0.56	2444.4
20	825209	9156159	2608	Vivienda familiar	0.59	1918.1
21	825362	9156185	2615	Vivienda familiar	0.58	1753.4
22	825128	9156028	2601	Tienda de ropa	0.54	2069.8
23	825196	9155885	2603	Cementerio	0.55	2187.6
24	825538	9156069	2626	Restaurante	0.54	1843.4
25	825626	9155985	2630	Restaurante	0.55	1858.3
26	825612	9155742	2619	Vivienda familiar	0.64	2153.5
27	825829	9155870	2639	Vivienda familiar	0.58	1912.2
28	825976	9155833	2644	Ladrillera	0.56	1856.5
29	826366	9155806	2665	Vivienda familiar	0.56	1793.2
30	825669	9156382	2645	Vivienda familiar	0.57	1328.8
31	825924	9156389	2668	Avícola	0.56	1209.2
32	826112	9156101	2671	Bodega	0.56	1487.3
33	826261	9155477	2652	Vivienda familiar	0.55	2158.1

N°	Descripción del punto de muestreo	Cantidad
1	Reservorio	1
2	Bodega	3
3	Vivienda familiar	18
4	Avícola	1
5	Tienda	1
6	Cementerio	1
7	Complejo deportivo	1
8	Ladrillera	2
9	Taller de carros	1
10	Taller de motos	1
11	Restaurante	2
12	Ferretería	1

**LEYENDA**

- PUNTOS MUESTREADOS
- LIMITES DE JASS
- RED DE DISTRIBUCIÓN
- CATASTRO URBANO

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**

TESIS: VARIACIÓN DEL CLORO RESIDUAL LIBRE EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE CAJABAMBA, CAJAMARCA 2024

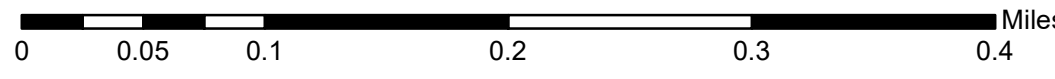
MAPA DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

TESISTA: BACH. JUAN CARLOS SANDOVAL ESPINOZA

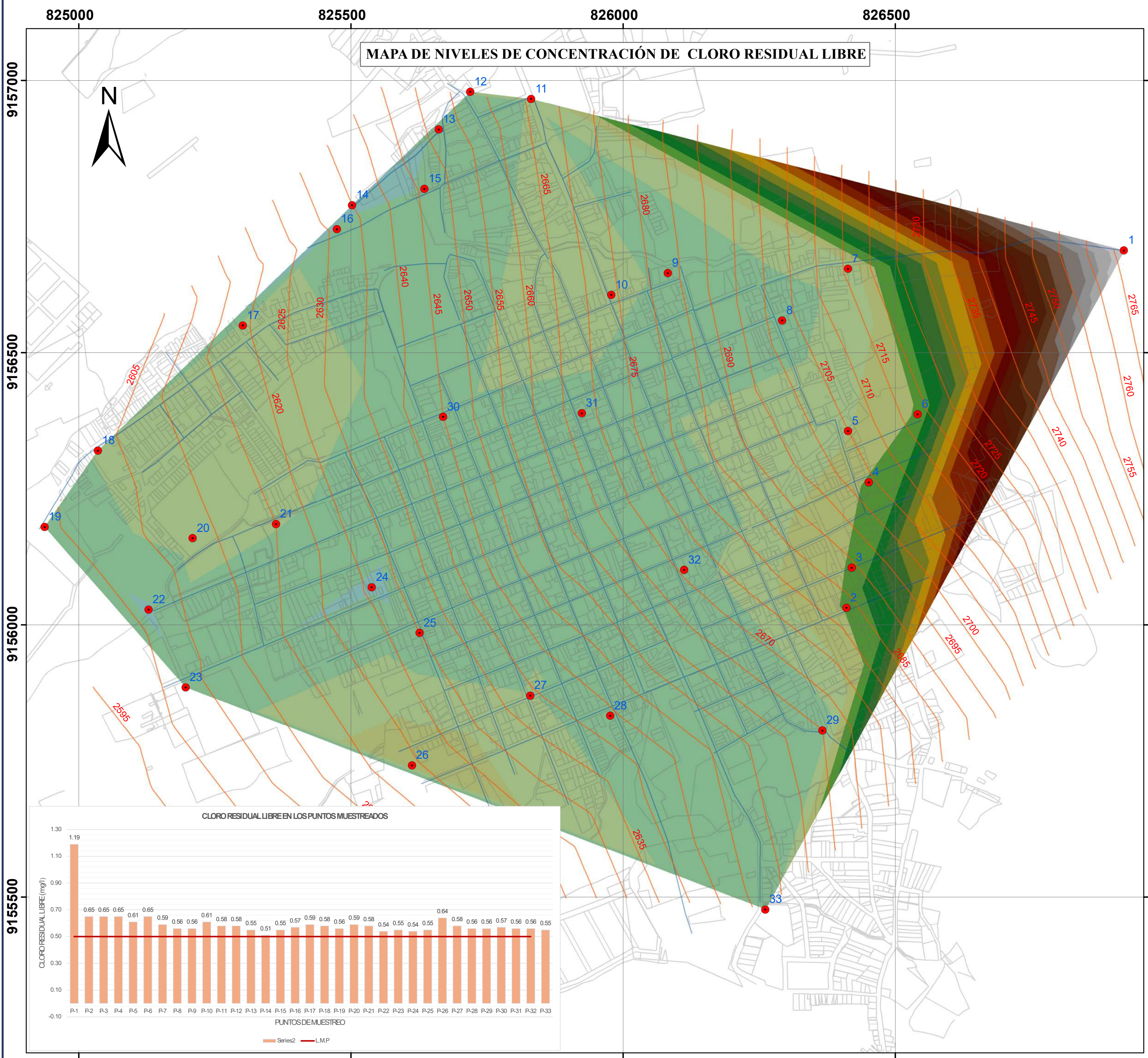
ASESOR: DR. ING. GASPAR MENDEZ CRUZ

ESCALA: 1/7000      FECHA: 06/ 06 / 2025

03



# MAPA DE NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE CLORO RESIDUAL LIBRE



PUNTOS DE MUESTREO - PRIMERA ETAPA						
N°	Este	Norte	Altitud (msnm)	Descripción	Cloro Residual Libre (mg/l)	LMP
1	826920	9156688	2767	Reservorio	1.19	0.5
2	826410	9156031	2683	Vivienda familiar	0.65	0.5
3	826420	9156105	2689	Vivienda familiar	0.65	0.5
4	826451	9156262	2704	Bodega	0.65	0.5
5	826413	9156356	2705	Bodega	0.61	0.5
6	826541	9156387	2718	Complejo deportivo	0.65	0.5
7	826413	9156654	2716	Vivienda familiar	0.59	0.5
8	826292	9156559	2703	Vivienda familiar	0.56	0.5
9	826082	9156646	2683	Vivienda familiar	0.56	0.5
10	825978	9156606	2674	Vivienda familiar	0.61	0.5
11	825831	9156966	2666	Vivienda familiar	0.58	0.5
12	825719	9156979	2658	Ladrillera	0.58	0.5
13	825661	9156910	2652	Taller de carros	0.55	0.5
14	825502	9156771	2635	Taller de motos	0.51	0.5
15	825635	9156801	2646	Ferretería	0.55	0.5
16	825474	9156727	2631	Vivienda familiar	0.57	0.5
17	825301	9156550	2619	Vivienda familiar	0.59	0.5

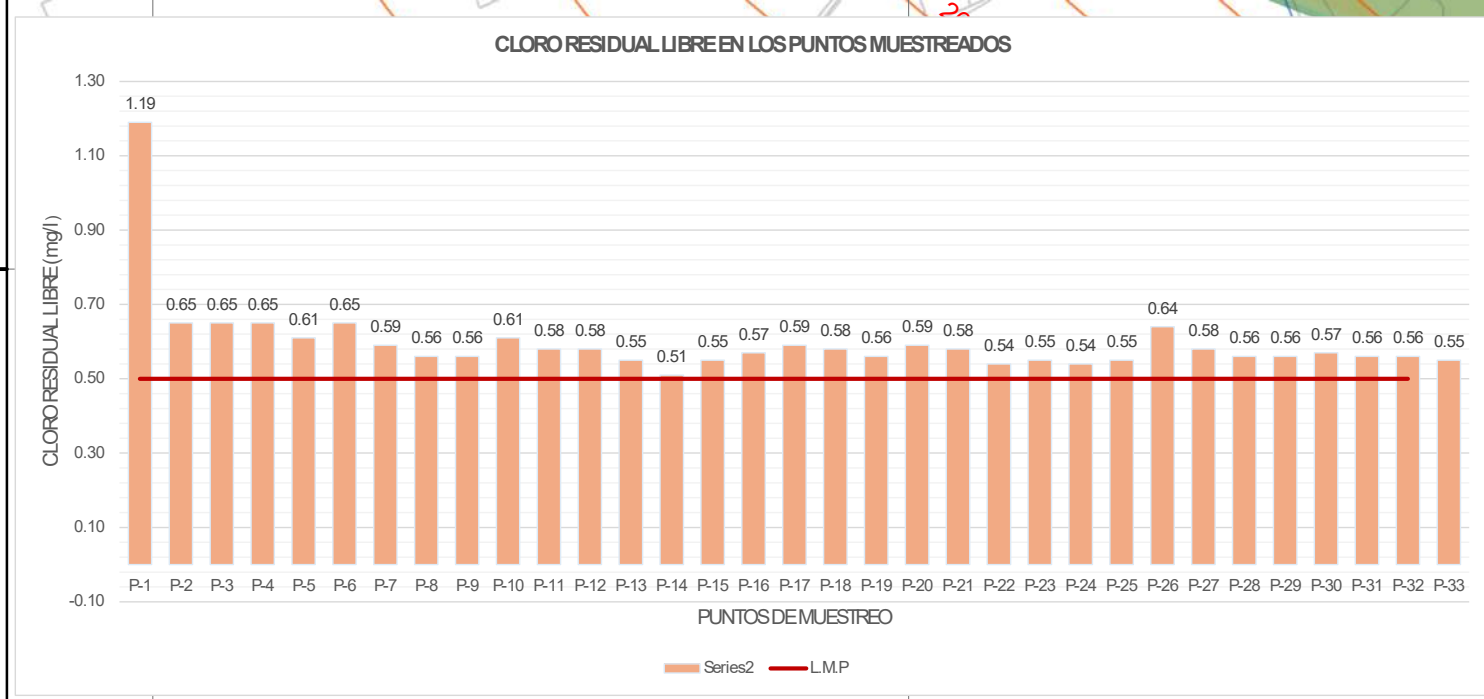
PUNTOS DE MUESTREO - SEGUNDA ETAPA						
N°	Este	Norte	Altitud (msnm)	Descripción	Cloro Residual Libre (mg/l)	LMP
1	826920	9156688	2767	Reservorio	1.18	0.5
18	825035	9156320	2603	Vivienda familiar	0.58	0.5
19	824937	9156180	2599	Vivienda familiar	0.56	0.5
20	825209	9156159	2608	Vivienda familiar	0.59	0.5
21	825362	9156185	2615	Vivienda familiar	0.58	0.5
22	825128	9156028	2601	Tienda de ropa	0.54	0.5
23	825196	9155885	2603	Cementerio	0.55	0.5
24	825538	9156069	2626	Restaurante	0.54	0.5
25	825626	9155985	2630	Restaurante	0.55	0.5
26	825612	9155742	2619	Vivienda familiar	0.64	0.5
27	825829	9155870	2639	Vivienda familiar	0.58	0.5
28	825976	9155833	2644	Ladrillera	0.56	0.5
29	826366	9155806	2665	Vivienda familiar	0.56	0.5
30	825669	9156382	2645	Vivienda familiar	0.57	0.5
31	825924	9156389	2668	Avicola	0.56	0.5
32	826112	9156101	2671	Bodega	0.56	0.5
33	826261	9155477	2652	Vivienda familiar	0.55	0.5

**LEYENDA GENERAL**

- PUNTOS DE MUESTREO
- CURVAS DE NIVEL
- RED DE DISTRIBUCIÓN
- CATASTRO URBANO

**COLOR RESIDUAL LIBRE**

1.05 - 1.09	0.75 - 0.78
1.02 - 1.05	0.71 - 0.75
0.99 - 1.02	0.68 - 0.71
0.95 - 0.99	0.65 - 0.68
0.92 - 0.95	0.61 - 0.65
0.88 - 0.92	0.58 - 0.61
1.16 - 1.19	0.54 - 0.58
1.12 - 1.16	0.51 - 0.54
1.09 - 1.12	0.78 - 0.82
0.85 - 0.88	
0.82 - 0.85	



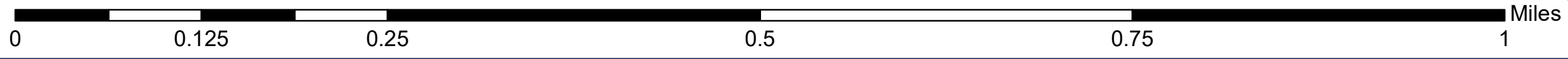
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**

TESIS: VARIACIÓN DEL CLORO RESIDUAL LIBRE EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE CAJABAMBA, CAJAMARCA 2024

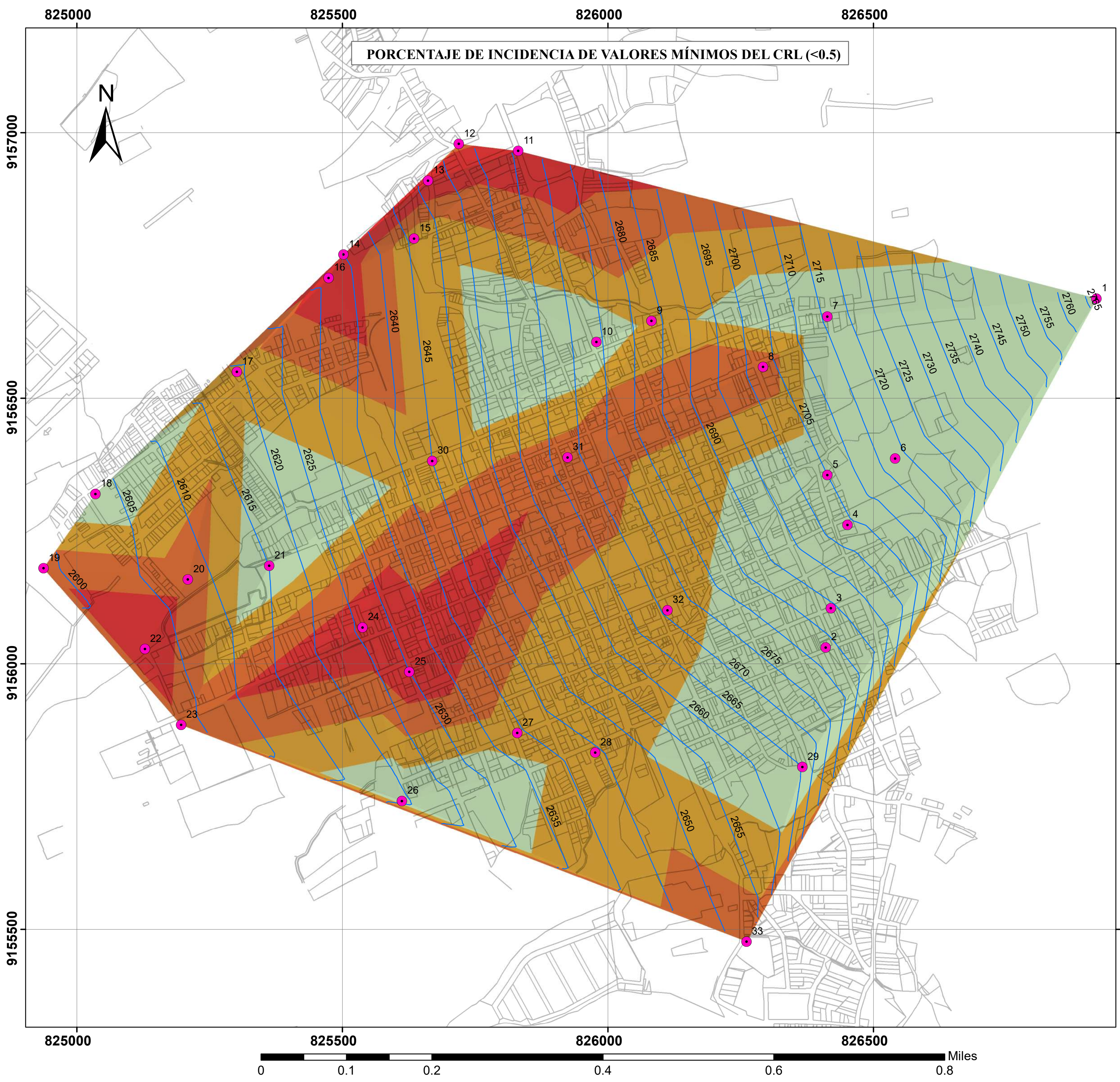
MAPA DE NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE CLORO RESIDUAL LIBRE  
 TESISISTA: BACH. JUAN CARLOS SANDOVAL ESPINOZA

ASESOR: DR. ING. GASPAR MENDEZ CRUZ

ESCALA: 1/7000 | FECHA: 06/06/2025



**PORCENTAJE DE INCIDENCIA DE VALORES MÍNIMOS DEL CRL (<0.5)**



Nº	Este	Norte	CRL<0.5	Descripción
1	826920	9156688	0%	Reservorio
2	826410	9156031	0%	Vivienda familiar
3	826420	9156105	0%	Vivienda familiar
4	826451	9156262	0%	Bodega
5	826413	9156356	0%	Bodega
6	826541	9156387	0%	Complejo deportivo
7	826413	9156654	0%	Vivienda familiar
8	826292	9156559	5.13%	Vivienda familiar
9	826082	9156646	2.56%	Vivienda familiar
10	825978	9156606	0%	Vivienda familiar
11	825831	9156966	7.69%	Vivienda familiar
12	825719	9156979	5.13%	Ladrillera
13	825661	9156910	7.69%	Taller de carros
14	825502	9156771	7.69%	Taller de motos
15	825635	9156801	2.56%	Ferretería
16	825474	9156727	7.69%	Vivienda familiar
17	825301	9156550	2.56%	Vivienda familiar
18	825035	9156320	0%	Vivienda familiar
19	824937	9156180	5.13%	Vivienda familiar
20	825209	9156159	5.13%	Vivienda familiar
21	825362	9156185	0%	Vivienda familiar
22	825128	9156028	7.69%	Tienda de ropa
23	825196	9155885	5.13%	Cementerio
24	825538	9156069	7.69%	Restaurante
25	825626	9155985	7.69%	Restaurante
26	825612	9155742	0%	Vivienda familiar
27	825829	9155870	2.56%	Vivienda familiar
28	825976	9155833	2.56%	Ladrillera
29	826366	9155806	0%	Vivienda familiar
30	825669	9156382	2.56%	Vivienda familiar
31	825924	9156389	5.13%	Avicola
32	826112	9156101	2.56%	Bodega
33	826261	9155477	5.13%	Vivienda familiar

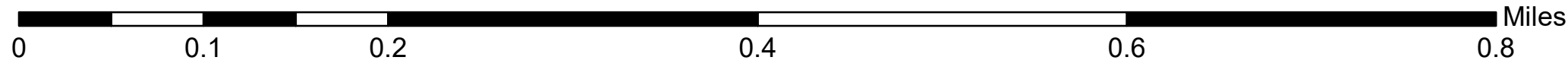
**LEYENDA GENERAL**

- PUNTOS DE MUESTREO
- CURVAS DE NIVEL
- CATASTRO URBANO

**% DE INCIDENCIA EN VALORES MENORES A 0.5**

- 5.8 - 7.7
- 3.8 - 5.8
- 1.9 - 3.8
- 0 - 1.9

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b>		<b>05</b>
	<b>ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA</b>		
	TESIS: VARIACIÓN DEL CLORO RESIDUAL LIBRE EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE CAJABAMBA, CAJAMARCA 2024 PORCENTAJE DE INCIDENCIA DE VALORES MÍNIMOS DEL CRL (<0.5) TESISISTA: BACH. JUAN CARLOS SANDOVAL ESPINOZA		
	ASESOR: DR. ING. GASPAR MENDEZ CRUZ		
ESCALA: 1/7000      FECHA: 06/ 06 / 2025			



MUESTREO PRIMERA ETAPA																																													
FECHA	1-Nov			2-Nov			4-Nov			5-Nov			6-Nov			7-Nov			8-Nov			9-Nov			10-Nov			11-Nov			12-Nov			13-Nov			14-Nov			MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO			
PUNTO																																													
Hora	6:20 a.m.	9:50 a.m.	3:02 p.m.	6:08 a.m.	10:05 a.m.	3:15 p.m.	6:25 a.m.	10:02 a.m.	3:07 p.m.	6:15 a.m.	10:00 a.m.	3:08 p.m.	6:12 a.m.	10:04 a.m.	3:09 p.m.	6:18 a.m.	10:07 a.m.	3:10 p.m.	6:22 a.m.	10:03 a.m.	3:11 p.m.	6:10 a.m.	10:06 a.m.	3:12 p.m.	6:27 a.m.	10:01 a.m.	3:13 p.m.	6:14 a.m.	10:08 a.m.	3:14 p.m.	6:19 a.m.	10:05 a.m.	3:15 p.m.	6:09 a.m.	10:09 a.m.	3:16 p.m.	6:23 a.m.	10:04 a.m.	3:17 p.m.	1.00	1.50	1.19			
1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.4	1.2	1.1	1.1	1.2	1.3	1.2	1.1	1.2	1.1	1.1	1.3	1.2	1.1	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.1	1.2	1.1	1.2	1.1	1.3	1.2	1.1	1.1	1.3	1.2	1.1	1.1	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1			
Hora	6:28 a.m.	9:59 a.m.	3:13 p.m.	6:17 a.m.	10:16 a.m.	3:27 p.m.	6:32 a.m.	10:15 a.m.	3:17 p.m.	6:22 a.m.	10:12 a.m.	3:19 p.m.	6:20 a.m.	10:18 a.m.	3:21 p.m.	6:25 a.m.	10:20 a.m.	3:23 p.m.	6:30 a.m.	10:14 a.m.	3:25 p.m.	6:18 a.m.	10:17 a.m.	3:27 p.m.	6:35 a.m.	10:13 a.m.	3:29 p.m.	6:21 a.m.	10:22 a.m.	3:31 p.m.	6:26 a.m.	10:19 a.m.	3:33 p.m.	6:15 a.m.	10:24 a.m.	3:35 p.m.	6:31 a.m.	10:16 a.m.	3:37 p.m.						
2	0.7	0.7	0.8	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6	0.6	0.7	0.6	0.5	0.7	0.7	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.50	0.90	0.65	
Hora	6:31 a.m.	10:15 a.m.	3:28 p.m.	6:26 a.m.	10:22 a.m.	3:39 p.m.	6:42 a.m.	10:24 a.m.	3:33 p.m.	6:35 a.m.	10:20 a.m.	3:33 p.m.	6:28 a.m.	10:26 a.m.	3:34 p.m.	6:38 a.m.	10:28 a.m.	3:35 p.m.	6:40 a.m.	10:23 a.m.	3:36 p.m.	6:25 a.m.	10:25 a.m.	3:37 p.m.	6:44 a.m.	10:21 a.m.	3:38 p.m.	6:30 a.m.	10:30 a.m.	3:39 p.m.	6:35 a.m.	10:27 a.m.	3:40 p.m.	6:22 a.m.	10:32 a.m.	3:41 p.m.	6:39 a.m.	10:24 a.m.	3:42 p.m.						
3	0.6	0.7	0.6	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.7	0.8	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.50	0.80	0.65		
Hora	6:42 a.m.	10:27 a.m.	3:37 p.m.	6:33 a.m.	10:34 a.m.	3:48 p.m.	6:50 a.m.	10:33 a.m.	3:39 p.m.	6:41 a.m.	10:30 a.m.	3:41 p.m.	6:37 a.m.	10:36 a.m.	3:43 p.m.	6:45 a.m.	10:38 a.m.	3:45 p.m.	6:48 a.m.	10:32 a.m.	3:47 p.m.	6:34 a.m.	10:35 a.m.	3:49 p.m.	6:52 a.m.	10:31 a.m.	3:51 p.m.	6:39 a.m.	10:40 a.m.	3:53 p.m.	6:44 a.m.	10:37 a.m.	3:55 p.m.	6:31 a.m.	10:42 a.m.	3:57 p.m.	6:47 a.m.	10:34 a.m.	3:59 p.m.						
4	0.6	0.7	0.6	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.50	0.80	0.65		
Hora	6:50 a.m.	10:33 a.m.	3:45 p.m.	6:47 a.m.	10:45 a.m.	3:59 p.m.	6:59 a.m.	10:49 a.m.	3:55 p.m.	6:48 a.m.	10:42 a.m.	3:53 p.m.	6:45 a.m.	10:48 a.m.	3:51 p.m.	6:53 a.m.	10:50 a.m.	3:49 p.m.	6:55 a.m.	10:44 a.m.	3:47 p.m.	6:42 a.m.	10:47 a.m.	3:45 p.m.	7:00 a.m.	10:43 a.m.	3:43 p.m.	6:47 a.m.	10:52 a.m.	3:41 p.m.	6:52 a.m.	10:49 a.m.	3:39 p.m.	6:40 a.m.	10:54 a.m.	3:37 p.m.	6:58 a.m.	10:46 a.m.	3:35 p.m.						
5	0.6	0.6	0.8	0.9	0.8	0.7	0.5	0.6	0.6	0.7	0.6	0.5	0.7	0.5	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.5	0.6	0.6	0.7	0.6	0.6	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.50	0.90	0.61		
Hora	6:57 a.m.	10:44 a.m.	3:56 p.m.	6:58 a.m.	10:57 a.m.	4:11 p.m.	7:05 a.m.	10:59 a.m.	4:06 p.m.	6:53 a.m.	10:53 a.m.	4:04 p.m.	6:52 a.m.	10:59 a.m.	4:02 p.m.	7:00 a.m.	11:01 a.m.	4:00 p.m.	7:03 a.m.	10:55 a.m.	3:58 p.m.	6:50 a.m.	10:58 a.m.	3:56 p.m.	7:08 a.m.	10:54 a.m.	3:54 p.m.	6:55 a.m.	11:03 a.m.	3:52 p.m.	7:01 a.m.	11:00 a.m.	3:50 p.m.	6:48 a.m.	11:05 a.m.	3:48 p.m.	7:05 a.m.	10:57 a.m.	3:46 p.m.						
6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.7	0.8	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6	0.5	0.50	0.80	0.65			
Hora	7:15 a.m.	10:58 a.m.	4:08 p.m.	7:09 a.m.	11:14 a.m.	4:19 p.m.	7:15 a.m.	11:21 a.m.	4:18 p.m.	7:05 a.m.	11:12 a.m.	4:15 p.m.	7:03 a.m.	11:18 a.m.	4:12 p.m.	7:12 a.m.	11:20 a.m.	4:09 p.m.	7:14 a.m.	11:14 a.m.	4:06 p.m.	7:00 a.m.	11:17 a.m.	4:03 p.m.	7:18 a.m.	11:13 a.m.	4:00 p.m.	7:06 a.m.	11:22 a.m.	3:57 p.m.	7:12 a.m.	11:19 a.m.	3:54 p.m.	6:59 a.m.	11:24 a.m.	3:51 p.m.	7:16 a.m.	11:16 a.m.	3:48 p.m.						
7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.7	0.6	0.6	0.5	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.50	0.70	0.59		
Hora	7:21 a.m.	11:21 a.m.	4:17 p.m.	7:30 a.m.	11:25 a.m.	4:28 p.m.	7:28 a.m.	11:34 a.m.	4:29 p.m.	7:11 a.m.	11:28 a.m.	4:25 p.m.	7:10 a.m.	11:34 a.m.	4:21 p.m.	7:20 a.m.	11:36 a.m.	4:17 p.m.	7:22 a.m.	11:30 a.m.	4:13 p.m.	7:08 a.m.	11:33 a.m.	4:09 p.m.	7:26 a.m.	11:29 a.m.	4:05 p.m.	7:14 a.m.	11:38 a.m.	4:01 p.m.	7:20 a.m.	11:35 a.m.	3:57 p.m.	7:06 a.m.	11:40 a.m.	3:53 p.m.	7:24 a.m.	11:32 a.m.	3:49 p.m.						
8	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5	0.6	0.7	0.6	0.5	0.4	0.6	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.40	0.70	0.56	
Hora	7:29 a.m.	11:35 a.m.	4:26 p.m.	7:44 a.m.	11:38 a.m.	4:42 p.m.	7:36 a.m.	11:42 a.m.	4:39 p.m.	7:23 a.m.	11:39 a.m.	4:36 p.m.	7:18 a.m.	11:45 a.m.	4:33 p.m.	7:30 a.m.	11:47 a.m.	4:30 p.m.	7:32 a.m.	11:41 a.m.	4:27 p.m.	7:16 a.m.	11:44 a.m.	4:24 p.m.	7:35 a.m.	11:40 a.m.	4:21 p.m.	7:22 a.m.	11:49 a.m.	4:18 p.m.	7:28 a.m.	11:46 a.m.	4:15 p.m.	7:14 a.m.	11:51 a.m.	4:12 p.m.	7:33 a.m.	11:43 a.m.	4:09 p.m.						
9	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6	0.6	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5	0.6	0.7	0.6	0.5	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.40	0.70	0.56	
Hora	7:36 a.m.	11:42 a.m.	4:35 p.m.	8:11 a.m.	11:49 a.m.	4:59 p.m.	7:44 a.m.	11:52 a.m.	4:52 p.m.	7:31 a.m.	11:48 a.m.	4:49 p.m.	7:25 a.m.	11:54 a.m.	4:46 p.m.	7:40 a.m.	11:56 a.m.	4:43 p.m.	7:42 a.m.	11:50 a.m.	4:40 p.m.	7:24 a.m.	11:53 a.m.	4:37 p.m.	7:44 a.m.	11:49 a.m.	4:34 p.m.	7:30 a.m.	11:58 a.m.	4:31 p.m.	7:36 a.m.	11:55 a.m.	4:28 p.m.	7:22 a.m.	12:00 p.m.	4:25 p.m.	7:42 a.m.	11:52 a.m.	4:22 p.m.						
10	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.7	0.5	0.6	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.5	0.6	0.7	0.5	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.50	0.80	0.61		
Hora	7:45 a.m.	11:58 a.m.	4:45 p.m.	8:20 a.m.	12:10 p.m.	5:08 p.m.	7:58 a.m.	12:07 p.m.	5:01 p.m.	7:42 a.m.	12:03 p.m.	4:58 p.m.	7:35 a.m.	12:09 p.m.	4:55 p.m.	7:50 a.m.	12:11 p.m.	4:52 p.m.	7:52 a.m.	12:05 p.m.	4:49 p.m.	7:32 a.m.	12:08 p.m.	4:46 p.m.	7:54 a.m.	12:04 p.m.	4:43 p.m.	7:40 a.m.	12:13 p.m.	4:40 p.m.	7:46 a.m.	12:10 p.m.	4:37 p.m.	7:30 a.m.	12:15 p.m.	4:34 p.m.	7:52 a.m.	12:07 p.m.	4:31 p.m.						
11	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.6	0.5	0.6	0.5	0.4	0.6	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5	0.6	0.5	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.7	0.6	0.6	0.5	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.40	0.70	0.58		
Hora	7:55 a.m.	12:15 p.m.	4:54 p.m.	8:31 a.m.	12:25 p.m.	5:16 p.m.	8:24 a.m.	12:18 p.m.	5:18 p.m.	7:54 a.m.	12:16 p.m.	5:20 p.m.	7:45 a.m.	12:22 p.m.	5:22 p.m.	8:02 a.m.	12:24 p.m.	5:24 p.m.	8:04 a.m.	12:18 p.m.	5:26 p.m.	7:42 a.m.	12:21 p.m.	5:28 p.m.	8:06 a.m.	12:17 p.m.	5:30 p.m.	7:50 a.m.	12:26 p.m.	5:32 p.m.	7:58 a.m.	12:23 p.m.	5:34 p.m.	7:40 a.m.	12:28 p.m.	5:36 p.m.	8:04 a.m.	12:20 p.m.	5:38 p.m.						
12	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.7	0.6	0.5	0.6	0.5	0.4	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.7	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.40	0.70	0.58		
Hora	8:14 a.m.	12:22 p.m.	5:04 p.m.	8:45 a.m.	12:38 p.m.	5:29 p.m.	8:34 a.m.	12:26 p.m.	5:29 p.m.	8:14 a.m.	12:24 p.m.	5:31 p.m.	8:00 a.m.	12:30 p.m.	5:33 p.m.	8:18 a.m.	12:32 p.m.	5:35 p.m.	8:20 a.m.	12:28 p.m.	5:37 p.m.	7:58 a.m.	12:29 p.m.	5:39 p.m.	8:22 a.m.	12:25 p.m.	5:41 p.m.	8:06 a.m.	12:34 p.m.	5:43 p.m.	8:14 a.m.	12:31 p.m.	5:45 p.m.	7:55 a.m.	12:36 p.m.	5:47 p.m.	8:20 a.m.	12:28 p.m.	5:49 p.m.						
13	0.5	0.5	0.5	0.7	0.6	0.6	0.4	0.5	0.4	0.7	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.4	0.6	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.40	0.70	0.55	
Hora	8:19 a.m.	12:37 p.m.	5:13 p.m.	9:01 a.m.	12:48 p.m.	5:37 p.m.	8:43 a.m.	12:37 p.m.	5:37 p.m.	8:21 a.m.	12:35 p.m.	5:40 p.m.	8:08 a.m.	12:41 p.m.	5:43 p.m.	8:26 a.m.	12:43 p.m.	5:46 p.m.	8:28 a.m.	12:37 p.m.	5:49 p.m.	8:06 a.m.	12:40 p.m.	5:52 p.m.	8:30 a.m.	12:36 p.m.	5:55 p.m.	8:14 a.m.	12:45 p.m.	5:58 p.m.	8:22 a.m.	12:42 p.m.	6:01 p.m.	8:04 a.m.	12:47 p.m.	6:04 p.m.	8:28 a.m.	12:39 p.m.	6:07 p.m.						
14	0.5	0.5	0.4	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5	0.40	0.60	0.52	
Hora	8:26 a.m.	12:44 p.m.	5:22 p.m.	9:12 a.m.	12:58 p.m.	5:48 p.m.	8:56 a.m.	12:44 p.m.	5:49 p.m.	8:36 a.m.	12:42 p.m.	5:52 p.m.	8:20 a.m.	12:48 p.m.	5:55 p.m.	8:38 a.m.	12:50 p.m.	5:58 p.m.	8:40 a.m.	12:44 p.m.	6:01 p.m.	8:16 a.m.	12:47 p.m.	6:04 p.m.	8:42 a.m.	12:43 p.m.	6:07 p.m.	8:24 a.m.	12:52 p.m.	6:10 p.m.	8:32 a.m.	12:49 p.m.	6:13 p.m.	8:12 a.m.	12:54 p.m.	6:16 p.m.</									