

# Modelamiento y simulación de cloro residual en agua potable, para determinar la calidad microbiológica del agua del centro poblado Marona

*por* Dagoberto Cordova Peña

---

**Fecha de entrega:** 05-oct-2023 09:59a.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2183393228

**Nombre del archivo:** INFORME\_FINAL\_DE\_TESIS.docx (94.26M)

**Total de palabras:** 18008

**Total de caracteres:** 90870



Esta obra está bajo una [Licencia  
Creative Commons Atribución -  
4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Vea una copia de esta licencia en  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>



Obra publicada con autorización del autor



**1**  
FACULTAD DE ECOLOGÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA

Tesis

**Modelamiento y simulación de cloro residual en  
agua potable, para determinar  
la calidad microbiológica del agua del centro  
poblado Marona**

Para optar el título profesional de Ingeniero Sanitario

**Autor:**

Dagoberto Cordova Peña  
<https://orcid.org/0009-0009-9515-948X>

**1**

**Asesor:**

Ing. **6**. Sc. Marcos Aquiles Ayala Díaz **CÓDIGO N° 6054521**  
<https://orcid.org/0000-0001-6391-7981>

Moyobamba, Perú

2023



**FACULTAD DE ECOLOGÍA**  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA

Tesis

**1**  
**Modelamiento y simulación de cloro residual en  
agua potable, para determinar  
la calidad microbiológica del agua del centro  
poblado Marona**

**3**  
Para optar el título profesional de Ingeniero Sanitario

Presentado por

Dagoberto Cordova Peña

Sustentado y aprobado el día 19 de julio del 2023 por los jurados:

\_\_\_\_\_  
**Presidente de Jurado**  
Lic. Dr. Fabian Centurion Tapia

\_\_\_\_\_  
**3 Secretario de Jurado**  
Ing. M.Sc. Mirtha Felicita  
Valverde Vera

\_\_\_\_\_  
**Vocal de Jurado**  
Ing. M.Sc. Alfonso Rojas Bardález

\_\_\_\_\_  
**Asesor**  
Ing. M.Sc. Marcos Aquiles Ayala  
Díaz

Moyobamba, Perú

2023

## Declaratoria de Autenticidad

**Dagoberto Cordova Peña**, con DNI N° 47549345 bachiller de la Escuela profesional de Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín, autor de la tesis titulada: **Modelamiento y simulación de cloro residual en agua potable, para determinar la calidad microbiológica del agua del Centro Poblado Marona.**

Declaramos bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de nuestra autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencia de las fuentes bibliográficas consultadas, siguiendo las normas APA actuales
3. Toda información que contiene la tesis no ha sido plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumimos bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, someténdome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 18 de Septiembre de 2023.

---

**Dagoberto Cordova Peña**  
DNI N° 47549345



## Ficha de identificación

<p><b>Título del proyecto</b></p> <p>Modelamiento y simulación de cloro residual en agua potable, para determinar la calidad microbiológica del agua del centro poblado de marona</p>	<p><b>Area de investigación:</b></p> <p><b>Línea de investigación:</b> Estrategias de Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) y Sistemas Constructivos Convencionales y No Convencionales para el Desarrollo Sostenible.</p> <p><b>Sublínea de investigación:</b></p> <p><b>Grupo de investigación</b> (indicar resolución):</p> <p><b>Tipo de investigación:</b></p> <p>Básica <input type="checkbox"/>, Aplicada <input checked="" type="checkbox"/>, Desarrollo experimental <input type="checkbox"/></p>
<p><b>Autor:</b></p> <p>Dagoberto Cordova Peña</p>	<p>Facultad de Ecología</p> <p>Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria</p> <p><a href="https://orcid.org/0009-0009-9515-948X">https://orcid.org/0009-0009-9515-948X</a></p>
<p><b>Asesor:</b></p> <p>Ing. M.Sc. Marcos Aquiles Ayala Díaz</p>	<p><b>Dependencia local de soporte:</b></p> <p>Facultad de Ecología</p> <p>Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria</p> <p>Unidad o Laboratorio Ingeniería Sanitaria</p> <p><a href="https://orcid.org/0000-0001-6391-7981">https://orcid.org/0000-0001-6391-7981</a></p>

## **Dedicatoria**

*A Dios por darme la sabiduría y salud, e iluminar mi camino en todo momento.*

*A mi amado hijo, Erick José Cordova Baldera quien es el motor y motivo para salir adelante.*

*A mis amados padres, Benancio y Rosa que sin su apoyo y consejos no podría haber llegado a estas instancias de mi vida, ya que siempre me brindaron soporte absoluto en todo momento.*

*A mis queridos hermanos, por sus palabras de aliento en cada momento de mi vida y por la confianza brindada a mi persona.*

## Agradecimientos

*A Dios por permitirme estar con bien y darme la oportunidad de seguir luchando en la vida a pesar de las adversidades que se presentan día a día.*

*Al esfuerzo de mis queridos padres Benancio Cordova y Rosa Peña, <sup>51</sup> por haberme forjado como la persona que soy hoy en día y por gran apoyo en mi formación académica, ya que sin su apoyo y consejos no podría haber llegado a estas instancias de mi vida, porque siempre me brindan su apoyo incondicionalmente.*

*A mi asesor, Ing. Marcos Aquiles Ayala Díaz, por la orientación en el proceso de la realización del presente trabajo de investigación*

*<sup>6</sup> A la Universidad Nacional de San Martín, la facultad de ecología y la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria, por formarnos académicamente en todo el camino a ser un Ingeniero Sanitario.*

*El autor.*



### 3 Índice general

Ficha de identificación .....	6
Dedicatoria .....	7
Agradecimientos.....	8
Índice general .....	9
Índice de tablas .....	11
RESUMEN .....	15
ABSTRACT .....	16
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN.....	17
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	20
2.1. Antecedentes de la investigación .....	20
2.2. Fundamentos teóricos.....	21
2.2.1. Agua potable.....	21
2.2.2. Calidad microbiológica del agua .....	23
2.2.3. Cloro residual.....	25
2.2.4. Modelamiento y simulación .....	27
2.3. Definición de términos.....	28
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS .....	28
3.1. Ámbito y condiciones de la investigación.....	29
3.2. Sistema de variables .....	31
3.3. Procedimientos de la investigación.....	31
3.3.1 Objetivo específico 1 .....	32
3.3.1.1. Memoria de Cálculo hidráulico.....	32
3.3.2 Objetivo específico 2 .....	35
3.3.2.1. Modelamiento de la red de distribución .....	35
3.3.3 Objetivo específico 3 .....	39
3.3.3.1. Modelamiento del cloro residual .....	39
3.3.4 Objetivo específico 4 .....	43

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	44
4.1 Modelamiento hidráulico de la Red de distribución del Centro Poblado Marona. ....	44
4.2 Simulación de cloro residual en la Red de distribución de agua del Centro Poblado Marona .....	46
4.3 Evaluación de la modelación y simulación del cloro residual en campo para la determinación de la calidad microbiológica del agua .....	80
CONCLUSIONES.....	82
RECOMENDACIONES .....	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	84
ANEXOS .....	93

## Índice de tablas

Tabla 1. <i>Requerimientos de calidad de agua para consumo humano</i> .....	23
Tabla 2. <i>Vía de Acceso</i> .....	30
Tabla 3. <i>Difusividad molecular del cloro</i> .....	39
Tabla 4. <i>Resultados del modelamiento de la Red de distribución</i> .....	44
Tabla 5. <i>Resumen de resultados de nodos y puntos estudiados</i> .....	46
Tabla 6. <i>Comparación del cloro residual en el PM-01 (Nodo 11)</i> .....	53
Tabla 7. <i>Comparación del cloro residual en el PM-2 (Nodo 20)</i> <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Tabla 8. <i>Comparación del cloro residual en el PM-3 (Nodo 47)</i> .....	55
Tabla 9. <i>Comparación del cloro residual en el PM-4 (Nodo 29)</i> .....	56
Tabla 10. <i>Comparación del cloro residual en el PM-5 (Nodo 92)</i> .....	58
Tabla 11. <i>Comparación del cloro residual en el PM-6 (Nodo 89)</i> .....	59
Tabla 12. <i>Comparación del cloro residual en el PM-7 (Nodo 79)</i> .....	61
Tabla 13. <i>Comparación del cloro residual en el PM-8 (Nodo 25)</i> .....	62
Tabla 14. <i>Comparación del cloro residual en el PM-9 (Nodo 19)</i> .....	63
Tabla 15. <i>Comparación del cloro residual en el PM-10 (Nodo 57)</i> .....	64
Tabla 16. <i>Comparación del cloro residual en el PM-11 (Nodo 91)</i> <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Tabla 17. <i>Comparación del cloro residual en el PM-12 (Nodo 77)</i> .....	67
Tabla 18. <i>Comparación del cloro residual en el PM-13 (Nodo 87)</i> .....	69
Tabla 19. <i>Comparación del cloro residual en el PM-14 (Nodo 58)</i> .....	70
Tabla 20. <i>Comparación del cloro residual en el PM-15 (Nodo 21)</i> .....	72
Tabla 21. <i>Comparación del cloro residual en el PM-16 (Nodo 36)</i> .....	73
Tabla 22. <i>Comparación del cloro residual en el PM-17 (Nodo 90)</i> .....	75
Tabla 23. <i>Comparación del cloro residual en el PM-18 (Nodo 27)</i> .....	76
Tabla 24. <i>Comparación del cloro residual en el PM-19 (Nodo 42)</i> .....	78

Tabla 25. <b>1</b> <i>Comparación del cloro residual en el PM-20 (Nodo 12)</i> .....	79
Tabla 26. <i>Concentraciones promedio de Cloro residual libre tomados en campo.</i> ....	<b>11</b> <b>Error!</b>

**Bookmark not defined.**

## Índice de Figuras

Figura 1: <i>Localización del Proyecto</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 2: <i>Puntos de muestro en la red de distribución del centro poblado Marona</i> .....	<b>Error!</b>
<b>Bookmark not defined.</b>	
Figura 3: <i>Plano a escala sistema de la red de distribución de agua del Centro Poblado Marona en Civil 3D</i> .....	<b>8</b> 36
Figura 4: <i>Selección de la red de distribución de agua del Centro Poblado Marona en Civil 3D para exportarlo a WaterCad</i> .....	<b>8</b> <b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 5: <i>Esquema del sistema de distribución de agua en WATERCAD</i> .....	<b>4</b> 37
Figura 6: <i>Curvas de nivel de la ubicación del sistema de agua en el Centro Poblado Marona</i> .....	<b>12</b> <b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 7: <i>Cotas de los componentes del sistema de agua del Centro Poblado Marona</i> .....	<b>12</b> 38
Figura 8: <i>Simulación hidráulica del sistema de distribución de agua en el C.P. Marona</i> .....	<b>4</b> 39
Figura 9: <i>Ingreso de datos de difusividad, reacción en masa de la tubería</i> . <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Figura 10: <i>Creación de alternativas para ejecutar la simulación</i> .....	<b>4</b> 41
Figura 11: <i>Asignación de la concentración preliminar de cloro residual en el reservorio</i> .....	41
Figura 12: <i>Creación y configuración de cálculos para cloro residual</i> .....	42
Figura 13: <i>Concentración de cloro en redes de distribución</i> .....	<b>1</b> <b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figura 14: <i>Concentración de cloro residual en un tiempo de T= 1 horas</i> . <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Figura 15: <i>Concentración de cloro residual en un tiempo de T= 2 horas</i> .....	<b>1</b> 48
Figura 16: <i>Concentración de cloro residual en un tiempo de T= 3 horas</i> .....	48
Figura 17: <i>Concentración de cloro residual en un tiempo de T= 4 horas</i> . <b>Error! Bookmark not defined.</b>	

1	Figura 18. <i>Concentración de cloro residual en un tiempo de T= 5 horas</i> <b>Error!</b>	Bookmark	not defined.
1	Figura 19. <i>Concentración de cloro residual en un tiempo de T= 6 horas</i> .....		48
1	Figura 20. <i>Concentración de cloro residual en un tiempo de T= 7 horas</i> <b>Error!</b>	Bookmark	not defined.
1	Figura 21. <i>Concentración de cloro residual en un tiempo de T= 8 horas</i> <b>Error!</b>	Bookmark	not defined.
1	Figura 22. <i>Concentración de cloro residual en un tiempo de T= 9 horas</i> <b>Error!</b>	Bookmark	not defined.
1	Figura 23. <i>Concentración de cloro residual en un tiempo de T= 10 horas</i> <b>Error!</b>	Bookmark	not defined.
1	Figura 24. <i>Concentración de cloro residual en un tiempo de T= 11 horas</i> <b>Error!</b>	Bookmark	not defined.
1	Figura 25. <i>Concentración de cloro residual en un tiempo de T= 12 horas</i> <b>Error!</b>	Bookmark	not defined.
1	Figura 26. <i>Concentración de cloro residual en un tiempo de T= 13 horas</i> <b>Error!</b>	Bookmark	not defined.
1	Figura 27. <i>Concentración de cloro residual en un tiempo de T= 14 horas</i> <b>Error!</b>	Bookmark	not defined.
1	Figura 28. <i>Concentración de cloro residual en un tiempo de T= 15 horas</i> <b>Error!</b>	Bookmark	not defined.
1	Figura 29. <i>Concentración de cloro residual en un tiempo de T= 16 horas</i> <b>Error!</b>	Bookmark	not defined.
1	Figura 30. <i>Concentración de cloro residual en un tiempo de T= 17 horas</i> <b>Error!</b>	Bookmark	not defined.
1	Figura 31. <i>Concentración de cloro residual en un tiempo de T= 18 horas</i> <b>Error!</b>	Bookmark	not defined.
1	Figura 32. <i>Concentración de cloro residual en un tiempo de T= 19 horas</i> <b>Error!</b>	Bookmark	not defined.

Figura 33. <sup>1</sup> *Concentración de cloro residual en un tiempo de T= 20 horas* **Error! Bookmark not defined.**

Figura 34. <sup>1</sup> *Concentración de cloro residual en un tiempo de T= 21 horas* **Error! Bookmark not defined.**

Figura 35. <sup>1</sup> *Concentración de cloro residual en un tiempo de T= 22 horas* **Error! Bookmark not defined.**

Figura 36. <sup>1</sup> *Concentración de cloro residual en un tiempo de T= 23 horas* **Error! Bookmark not defined.**

Figura 37. <sup>1</sup> *Concentración de cloro residual en un tiempo de T= 24 horas* **Error! Bookmark not defined.**

Figura 38. <sup>2</sup> *Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo PM1 - Nodo 11 ..... 52*

Figura 39. <sup>2</sup> *Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo PM2 - Nodo 20 ..... Error! Bookmark not defined.*

Figura 40. <sup>2</sup> *Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo PM3 - Nodo 47 ..... Error! Bookmark not defined.*

Figura 41. <sup>2</sup> *Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo PM4 - Nodo 29 ..... Error! Bookmark not defined.*

Figura 42. <sup>2</sup> *Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo PM5 - Nodo 92 ..... Error! Bookmark not defined.*

Figura 43. <sup>2</sup> *Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo PM6 - Nodo 89 ..... Error! Bookmark not defined.*

Figura 44. <sup>2</sup> *Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo PM7 - Nodo 79. .... Error! Bookmark not defined.*

Figura 45. <sup>2</sup> *Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo PM8 - Nodo 25 ..... Error! Bookmark not defined.*

Figura 46. <sup>2</sup> *Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo PM9 - Nodo 19 ..... 63*

Figura 47. <sup>2</sup> *Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo PM10 - Nodo 57 ..... 64*

Figura 48. <sup>2</sup> *Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo PM11 - Nodo 91. .... 65*

Figura 49. <sup>2</sup> *Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo PM12 - Nodo 77 ..... 67*

Figura 50. <i>Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo</i> PM13 - Nodo 87 .....	68
Figura 51. <i>Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo</i> PM14 - Nodo 58 .....	70
Figura 52. <i>Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo</i> PM15 - Nodo 21 .....	71
Figura 53. <i>Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo</i> PM16 - Nodo 36 .....	73
Figura 54. <i>Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo</i> PM17 - Nodo 90 .....	74
Figura 55. <i>Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo</i> PM18 - Nodo 27 .....	76
Figura 56. <i>Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo</i> PM19 - Nodo 42 .....	77
Figura 57. <i>Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo</i> PM20 - Nodo 12 .....	79
Figura 58. <i>Comparación de resultados de cloro residual libre en campo</i> .....	81

## RESUMEN

1 Modelamiento y simulación de cloro residual en agua potable, para determinar la 1 calidad microbiológica del agua del centro poblado Marona.

4 La norma peruana exige una concentración mínima de cloro residual en el agua potable de 0,50mg/L. La presente investigación se ejecuto desde el 21 de octubre del 2021 hasta el 20 de junio del 2022 se llevó a cabo con el objetivo de determinar la calidad microbiológica del agua potable en el centro poblado de Marona, para el cual se seleccionaron 20 puntos de monitoreo en las viviendas, de acuerdo a la ubicación de estas respecto a la red principal de distribución de agua. Se realizó los cálculos hidráulicos necesarios para el modelado de la red hidráulica del centro poblado Marona, para la posterior calibración del modelado de cloro residual, siendo esta un vertimiento de cloro de 1,80mg/L, el cual posteriormente fue verificado in situ que las concentraciones de cloro libre residual en campo sean considerablemente aproximadas a las concentraciones de cloro residual obtenidas en la simulación en el software WaterCAD.

Para la determinación in situ se utilizó un medidor digital de cloro libre, realizándose dos muestras por vivienda, en el cual se obtuvo promedios entre 0,48mg/L a 1,14mg/L, los mismos que se encontraron aproximados a las concentraciones arrojadas en la simulación de cloro residual aplicada. Los resultados obtenidos fueron óptimos, entendiéndose así que, la calidad microbiológica del agua del centro poblado Marona se encuentra apta para el consumo su población.

**Palabras clave:** cloro residual, calidad microbiológica, cloración, modelamiento, simulación hidráulica.



## ABSTRACT

Modeling and simulation of residual chlorine in drinking water to determine the microbiological quality of the water in the Marona village

The Peruvian standard requires a minimum residual chlorine concentration of 0.50 mg/L in drinking water. The present investigation was carried out from October 21, 2021 to June 20, 2022 with the objective of determining the microbiological quality of drinking water in the town of Marona, for which 20 monitoring points were selected in households, according to their location with respect to the main water distribution network. The necessary hydraulic calculations were made for the modeling of the hydraulic network of the Marona village, for the subsequent calibration of the residual chlorine modeling. A chlorine discharge of 1.80 mg/L was obtained which was later verified in situ to ensure that the free residual chlorine concentrations in the field are considerably close to the residual chlorine concentrations obtained in the simulation in the WaterCAD software.

A digital free chlorine meter was used for the in situ determination, and two samples were taken per household, obtaining averages between 0.48 mg/L and 1.14 mg/L, which were found to be close to the concentrations obtained in the residual chlorine simulation applied. The obtained results were optimal, meaning that the microbiological quality of the water in the Marona village is suitable for human consumption.

**Keywords:** residual chlorine, microbiological quality, chlorination, modeling, hydraulic simulation.

## INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

## 1.1. Marco General del Problema

Según datos proporcionados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), aproximadamente el 10 % de la población global consume alimentos que han sido irrigados con aguas residuales no tratadas. Además, se estima que el 32 % de la población mundial no cuenta con acceso adecuado a servicios de saneamiento básico, lo que resulta en la ocurrencia de 280,000 muertes relacionadas con enfermedades transmitidas por el agua. Se calcula que aproximadamente el 4 % de todas las muertes a nivel mundial están vinculadas a problemas de calidad del agua, higiene y saneamiento. En América Latina y el Caribe, las enfermedades diarreicas agudas (EDA) figuran entre las diez principales causas de mortalidad cada año (OMS, 2010).

La falta de acceso a agua segura para el consumo humano y la contaminación de las fuentes de agua son problemas comunes que se reflejan en la alta prevalencia de enfermedades diarreicas agudas en niños menores de 5 años, especialmente en grupos que se encuentran en situaciones de mayor vulnerabilidad (Campoverde, 2015).

En los últimos años, ha habido un aumento en la preocupación del gobierno peruano por la calidad del suministro de agua potable. En su búsqueda de una solución, la Organización Mundial de la Salud (OMS) en su guía de 2006 sobre la calidad del agua, ha sugerido que la cloración podría transformar el agua que está microbiológicamente contaminada en agua que no contiene microorganismos patógenos. Para lograr este objetivo, se requieren ciertas condiciones: la concentración mínima de cloro libre residual debe ser de al menos 0,5 mg/L, el agua debe estar en contacto con el cloro durante un período mínimo de 30 minutos, el pH del agua debe ser inferior a 8, y la turbidez no debe superar 1 unidad nefalométrica de turbidez (NTU) como mínimo.

Hoy en día, el cloro se ha establecido como un efectivo desinfectante ampliamente aceptado a nivel global para purificar el agua destinada al consumo humano, así como para eliminar microorganismos que pueden causar alguna enfermedad. También, es una opción tanto económica como práctica en la planta de tratamientos de agua esterilizado, y ofrece un efecto excedente más duradero comparado con otros productos químicos utilizados en el proceso de.

En el área de estudio, ubicado en la provincia de Moyobamba, existe una organización comunitaria responsable de brindar servicios de saneamiento y administrar el suministro de agua potable. Esta entidad se conoce como la Junta Administradora de Agua y

**Saneamiento de Marona.** La JAAS cobra una tarifa a cada hogar que tiene una conexión de agua domiciliar para financiar la operación del sistema de agua. Sin embargo, según el presidente de la JAAS, no se están realizando pruebas de cloro. Esto sugiere que en Marona no se está monitoreando el nivel de cloro residual en las redes y que no hay registros de control previo sobre dicho cloro residual.

Esta falta de supervisión plantea preocupaciones sobre la minimización tanto de calidad como de concentración del cloro utilizado para purificar el agua en Marona. Dado que el cloro desempeña un papel crucial en la desinfección del agua, su ausencia o exceso podría tener un impacto negativo en la salud de los residentes de Marona que consumen esta agua. Es esencial recordar que, si bien el cloro es fundamental para desinfectar el agua, excederse o que falte pueden representar un riesgo significativo para la salud de la población de Marona.

### 3 1.2. Formulación del Problema de investigación 4

¿En qué medida el modelamiento y simulación de cloro residual en agua potable influirá en la calidad microbiológica del agua del centro poblado Marona?

### 1.3. Hipótesis de investigación 1

Mediante la aplicación del modelamiento y simulación de cloro residual en agua potable, se determinó la calidad microbiológica del agua del centro poblado Marona.

### 54 1.4. Objetivos

#### 1.4.1. Objetivos General 4

- Determinar la influencia del modelamiento y simulación de cloro residual en redes de distribución de agua, en la calidad microbiológica del agua del centro poblado Marona

#### 1.4.2. Objetivos Especificos 21

- Modelar y simular la concentración de cloro residual en toda la red de distribución de agua en el centro poblado de Marona, mediante el software WaterCAD.
- Determinar la influencia y dosificación óptima a partir del modelo calibrado, para encontrar la eficacia en la desinfección de toda la red.
- Evaluar la modelación y simulación del cloro residual en campo para determinar la calidad microbiológica del agua y condicionantes de salubridad.

- Comparar resultados y encontrar los coeficientes de reacción adecuados para lograr medidas aproximadas entre las concentraciones simuladas y las medidas en campo (sin variaciones significativas).

## 5 CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la investigación

Guanuchi y Ordóñez (2017), en su estudio "Evaluación del cloro residual en la red de distribución de agua potable del cantón Azogues a través de un modelo experimental", concluyeron que, la cantidad promedio de cloro utilizada en las instalaciones de tratamiento de agua, que es de 1,2 mg/l, asegura la presencia de cloro residual en todo el sistema de suministro de agua en la Zona Alta. En el tanque de la Zona Alta, se registró promedio de 0,868 mg/l de cloro residual, mientras que en los hogares se observó un promedio de 0,56 mg/l, lo cual cumple con los niveles recomendados en la norma NTE INEN 1108:2014, que establece un rango entre 0,3 mg/L y 1,5 mg/L (página 92).

Enciso (2019), en su proyecto de tesis "Seguimiento de la concentración de cloro residual en tanque de almacenamiento, red de distribución y tanques residenciales en el Municipio de Fortul, departamento de Arauca, Bogotá", llegó a la conclusión de que no se puede realizar una comparación directa entre la disminución del cloro residual en los tanques de almacenamiento y en la red de distribución debido a las pérdidas en la red interna, que se deben al tiempo de retención. Sería esencial examinar este comportamiento de manera específica para cada vivienda, desde la conexión con la red de distribución hasta la entrada a cada punto de agua en la vivienda. (pág. 150).

5  
Inca y Ulloa (2018), en su tesis de pregrado "Modelamiento y simulación de la concentración de cloro residual en la red de agua del caserío Pueblo Nuevo Santiago de Chuco", la conclusión a la que se llegó es que, a pesar de una concentración promedio inicial en el depósito de 1,78 mg/L, no se puede garantizar que el agua que llega a las viviendas tenga una concentración adecuada de cloro residual. Después de llevar a cabo la simulación y la validación en el terreno, se determinó que, en el caserío de Pueblo Nuevo, no se alcanza una concentración adecuada de cloro residual. Esto se evidencia al observar que en los puntos de análisis desde el punto 08 en adelante, la concentración es menor a 0,5 mg/L. (pág. 80).

Nizama (2019), en su proyecto "Determinación del decaimiento de cloro con reacción de la masa de agua en tuberías de la red de distribución de agua potable en la localidad de san miguel de monterrey, distrito de independencia Huaraz, Áncash" La conclusión obtenida es que el mayor uso de cloro residual se identificó durante la franja horaria que

abarca desde las 13:00 hasta las 14:00 horas, lo cual está vinculado al período de mayor consumo de agua. Además, se calculó un coeficiente de decaimiento del cloro residual libre en el sistema de distribución de agua potable en la localidad de San Miguel de Monterrey, que fue de -1,49, en la primera semana, -1,510 en la semana dos, -1,515 en la tercera semana, -1,525 en semana cuatro (pág. 66).

Hoyos y Tuesta (2017), en su trabajo "Simulación hidráulica de las redes de distribución del barrio Zaragoza a partir de la determinación de los coeficientes de variación diaria y horaria, para futuras habilitaciones urbanas de la ciudad de Moyobamba 2016", basándose en la simulación hidráulica actual de las redes de distribución, se llegó a la conclusión de que, "con un valor de  $K_2=1.8$ , los valores medidos de presiones y velocidades están por fuera de los límites establecidos por el Reglamento Nacional de Edificaciones. No obstante, mediante una nueva simulación hidráulica utilizando un valor de  $K_2=2,4281$ , se logra un funcionamiento eficaz de las redes de distribución" (pág. 82).

Rodríguez (2017) en su investigación "Modelamiento de cloro residual con Watercad en las redes de distribución de agua potable de la ciudad de Rioja, provincia de Rioja para determinar la calidad microbiológica, 2017" en resumen, se llegó a la conclusión de que la calidad microbiológica del agua potable en la ciudad de Rioja cumple con LMP, dado que la concentración de cloro observada en el análisis de campo se sitúa entre 0,50 mg/L como mínimo y 0,89 mg/L como máximo, lo que se considera como un resultado aceptable. (pág 77).

## 2.2. Fundamentos teóricos

53

### 2.2.1. Agua potable

#### 2.2.1.1. Agua potable

Se refiere al agua que es segura para ser ingerida por seres humanos y animales sin el riesgo de contraer enfermedades. Este término se utiliza para describir el agua que ha sido sometida a procesos de tratamiento que cumplen con las normativas de calidad establecidas por las autoridades para su consumo humano. El agua apta para consumo humano es aquella que satisface los requisitos en términos de sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas, y que se emplea directamente en bebidas, en la preparación de comestibles o en actividades de higiene personal (OMS, 2010).

11

#### 2.2.1.2. Requerimientos básicos para que el agua sea potable

- Estar exenta de microorganismos patógenos causantes de enfermedades.

- No incluir sustancias que puedan tener un impacto negativo inmediato o a largo plazo en la salud humana.
- Mantener una claridad aceptable, con una baja turbidez y un mínimo de color.
- No ser salina en su composición.
- Carecer de compuestos que provoquen sabores y olores desagradables.
- Evitar la corrosión o la formación de incrustaciones en el sistema de suministro de agua y no dejar manchas en la ropa lavada con ella. (OMS, 2010).

7

### 2.2.1.3. Tratamiento de agua para el consumo humano

El agua natural proviene de fuentes superficiales como subterráneas, no es segura para el consumo humano sin un tratamiento adecuado, ya que no posee la pureza necesaria desde el punto de vista sanitario. A lo largo de su curso, puede contaminarse con microorganismos como virus, bacterias y parásitos (Rojacques, 2015).

16

### 2.2.1.4. Sistema de abastecimiento de agua potable

Un sistema de suministro de agua destinada al consumo humano se refiere a un conjunto de elementos hidráulicos y estructuras físicas que son operados mediante procesos, abarcando desde la captación inicial hasta la entrega del agua a través de conexiones domiciliarias. En el caso de un suministro convencional los componentes deben cumplir con las normativas de diseño establecidas (MINSA, 2010).

### 2.2.1.5. Componentes hidráulicos del sistema de abastecimiento

**Almacenamiento de agua cruda:** La necesidad de almacenar agua cruda surge cuando la fuente de agua no proporciona un flujo constante durante todo el año para satisfacer la demanda requerida.

16

**Captación:** La captación de agua superficial requiere un cuidadoso proceso para proteger el sitio de posibles contaminaciones, lo que implica la delimitación de un área de protección.

16

**Tratamiento:** Esta etapa es crítica y varía según la calidad del agua cruda. En general, una planta de tratamiento de agua potable incluye componentes como rejas para retener material grueso, desarenadores para eliminar partículas en suspensión finas, floculadores para facilitar la decantación de sustancias en suspensión coloidal, decantadores para separar material fino, filtros para eliminar partículas en suspensión y dispositivos de desinfección.

**Reservorio:** Es un depósito de concreto utilizado para almacenar y controlar el suministro de agua que se distribuye a la población. Además, garantiza la disponibilidad continua del agua durante la mayor parte del tiempo posible.

**Red de distribución:** Comprende una serie de tubería de diferente tamaño, válvula, grifo y accesorio que se extiende desde el punto de entrada al pueblo según lo mencionado por Agüero en 1997.

### 2.2.2. Calidad microbiológica del agua

#### 2.2.2.1. Calidad del agua para consumo

Es esencial garantizar que el agua destinada al consumo presente una calidad adecuada. "Las enfermedades asociadas al consumo de agua contaminada son abundantes; el consumo de agua potable contribuye de manera significativa a disminuir la exposición de las poblaciones a estas enfermedades, y los efectos beneficiosos en la salud son notables" (Serrano y Martínez, 2018).

La calidad del agua se determina por tres parámetros que son:

**Tabla 1**  
*Requerimientos de calidad de agua para consumo humano*

Físico	Químico	Bacteriológico
Turbiedad	pH	Contaje total de bacterias NMP de coli/100 ml de muestra.
Sólidos totales	Alcalinidad	
Color	Dureza	
Sabor	Hierro	
Olor	Manganeso	
	Sulfatos	
	Cloruros	
	Amoníaco	
	Nitritos	
	Nitratos	
	Oxígeno disuelto	

Fuente: (García, 2009)

#### 2.2.2.2. Parámetros influyentes en la calidad del agua.

**Temperatura (T°):** El agua extraída de los pozos productivos en el Perú a veces tiene temperaturas elevadas, especialmente en regiones como la selva amazónica (DOMUS CONSULTORÍA AMBIENTAL SAC, 2010).

**PH:** Se refiere a una medida de la concentración de iones de hidrógeno en el agua. Cuando los valores de esta medida están fuera del rango normal, que va de 6 a 9, pueden resultar perjudiciales para la vida acuática (DOMUS CONSULTORÍA AMBIENTAL SAC, 2010).

**Sólidos Totales Disueltos (STD):** Los STD son una forma de medir la fracción de sólidos presentes en una muestra de agua que puede pasar a través de un poro de 2,0 µm o menos bajo condiciones específicas (DOMUS CONSULTORÍA AMBIENTAL SAC, 2010).



37

**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** Representa la cantidad de oxígeno consumida por las bacterias en condiciones aeróbicas mientras oxidan materia orgánica y la convierten en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. Esta prueba sirve para evaluar el nivel de contaminación orgánica del agua, en particular la presencia de materia orgánica biodegradable (DOMUS CONSULTORÍA AMBIENTAL SAC, 2010).

25

**Coliformes Totales:** Se trata de bacterias que están mayormente relacionadas con los desechos de seres humanos y animales. La cantidad de coliformes totales sirve como indicador de la contaminación del agua derivada de la presencia de contaminantes fecales (DOMUS CONSULTORÍA AMBIENTAL SAC, 2010).

24

**Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Se refiere a una evaluación del contenido de materia orgánica en una muestra que puede ser oxidado mediante el uso de un agente oxidante fuerte y se expresa en términos de oxígeno equivalente. A diferencia de la prueba de la DBO, que mide únicamente la fracción de materia orgánica que puede ser biológicamente oxidada (DOMUS CONSULTORÍA AMBIENTAL SAC, 2010).

5

### 2.2.2.3. Contaminantes biológicos presentes en el agua

El agua alberga una variedad de agentes patógenos que provienen de varias fuentes, una de las cuales es la presencia de residuos orgánicos. Esto se debe a que estos contaminantes contienen elevadas Se refiere a la presencia de microorganismos provenientes de excrementos humanos y materia orgánica en el agua. En aguas contaminadas, se pueden encontrar organismos patógenos como los virus, incluyendo aproximadamente 120 tipos que pueden infectar el tracto digestivo humano, destacando entre ellos el rotavirus, el poliovirus y los enterovirus, así como bacterias y parásitos (Comisión Nacional del Agua, 1990).

7

### 2.2.2.4. Desinfección del agua

Es aquel proceso en el que se añaden sustancias químicas de manera inmediata y se emplean métodos físicos en el agua para eliminar los agentes patógenos, los cuales pueden causar enfermedades o infecciones en los seres humanos (Vargas, 1990). Esta acción se lleva a cabo con el propósito de tomar medidas de protección y prevenir riesgos de contaminación del recurso hídrico (Bonney, 2004)

5

### 2.2.2.5. Tipos de desinfección

La desinfección se puede llevar a cabo mediante los siguientes procesos:

- Rayos X.
- Ozono.
- Cloro.

- Yodo.
- Peróxido de hidrógeno.
- Permanganato de potasio.

En la actualidad, el cloro es la metodología que desinfecta y es el mas aplicado (Rojacques, 2015).

#### 2.2.2.6. Enfermedades hídricas

Estas son enfermedades en las cuales el agente causante, que puede ser un microorganismo o patógeno, entra en el cuerpo como una parte inactiva del agua que se consume. Las enfermedades transmitidas por el agua se pueden clasificar en dos grupos: aquellas que son provocadas por microorganismos (EUGENE, 1988).

- *Amebiasis: Aunque el término amebiasis se refiere a la infección por amebas en general, ya que es la única de las seis especies de amebas que naturalmente parasita el intestino humano y provoca una enfermedad significativa (EUGENE, 1988).*
- *Disentería Bacilar (Shigelosis): La shigelosis es una enfermedad aguda que afecta principalmente el intestino grueso y se caracteriza por diarrea, fiebre, náuseas, ocasionalmente calambres, vómitos y tenesmo. Se identifican cuatro especies en el género Shigella: Shigella dysenteriae, S. flexneri, S. boydii y S. sonnei (EUGENE, 1988).*
- *Enteritis Campylobacteriana: La diarrea causada por la infección de Campylobacter jejuni, también conocida como "feto vibrión", es una enfermedad entérica aguda y autolimitante (EUGENE, 1988).*
- *Cólera: El cólera es una enfermedad aguda causada por la colonización del intestino delgado por el Vibrio cholerae, el bacilo responsable del cólera. Esta enfermedad se caracteriza por su naturaleza epidémica y, en los casos más graves, provoca diarrea masiva con una rápida pérdida de líquidos y electrolitos (EUGENE, 1988).*
- *Enfermedades Diarreicas: Los síntomas dramáticos de las enfermedades diarreicas han sido objeto de atención de la humanidad desde tiempos antiguos (EUGENE, 1988).*

### 2.5. Cloro residual

#### 2.2.3.1. Cloro

Un desinfectante con una mayor capacidad para eliminar eficazmente los microorganismos presentes en el agua, como bacterias, protozoos y virus (Álvarez, 2009).

#### 2.2.3.2. Cloración

El empleo comenzó en los primeros años del siglo XX, y se incorporó como un complemento al proceso de filtración que ya se utilizaba de manera extendida. Los productos que se emplean con mayor frecuencia para llevar a cabo la desinfección del agua son los siguientes:

- El cloro ( $Cl_2$ ) posee una densidad mayor que la del aire y presenta un color verdoso-amarillento. Se caracteriza por ser altamente oxidante y reacciona con una amplia variedad de compuestos químicos.
- El hipoclorito sódico ( $NaClO$ ), cuando se encuentra en solución, es un desinfectante que se emplea desde el siglo XVIII y es conocido popularmente como lejía.
- El hipoclorito cálcico ( $Ca(ClO)_2$ ) es una sustancia sólida de color blanco que contiene entre un 20% y un 70% de cloro activo (EUGENE, 1988).

### 2.2.3.3. Consideraciones para la cloración como método de desinfección:

Las distintas formas comerciales de cloro son el resultado de procesos diversos, los cuales determinan la concentración de cloro activo, su forma de presentación y su capacidad de mantenerse estable. En la tabla que sigue se enumeran las principales características de cada una de estas variantes (ANAYA, 2010).

Nombre y fórmula	Nombre comercial o común	Aspecto	% Cloro activo	Estabilidad en el tiempo	Seguridad	Envase usual
<b>Cal clorada</b> $CaO \cdot 2CaCl_2 \cdot 2H_2O$	Cal clorada, Polvo blanqueador, hipoclorito de calcio, cloruro de cal	Polvo blanco seco	15 a 35%	Media. Se deteriora rápidamente cuando se expone a temperatura alta, humedad y/o luz solar. Pérdida de 1% al mes.	Corrosivo	Latas de 1.5 kg Tambores de 45 - 135 kg Bolsas plásticas o de papel de 25 - 40 kg, otros.
<b>Hipoclorito de sodio</b> $NaClO$	Hipoclorito de sodio, blanqueador líquido, lejía, agua lavandina, agua sanitaria	Solución líquida amarillenta	1 a 15% como máximo. Concentraciones mayores a 10% son inestables.	Baja. Pérdida de 2- 4% por mes; mayor si la temperatura excede los 30°C	Corrosivo	Diversos tamaños de botellas de plástico y vidrio, y garrafones
	Hipoclorito de sodio por electrólisis <i>in situ</i>	Solución líquida amarillenta	0.1 - 0.6 %	Baja	Oxidante	Volumen variable
<b>Hipoclorito de calcio</b> $Ca(ClO)_2 \cdot 2H_2O$	HTH, Perclorón	Polvo, gránulos y tabletas. Sólido blanco	Polvo: 20 - 35% Granulado: 65 - 70% Tabletas: 65 - 70%	Buena. Pérdida de 2- 2.5% por año	Corrosivo. Inflamación posible al entrar en contacto con ciertos materiales ácidos.	Latas de 1.5 kg, tambores 45 - 135 kg, baldes de plástico

Figura 1.

Propiedades de los productos del Cloro

Fuente: Oferta de la Demanda Hídrica, Manuel Anaya. 2010.

### 2.2.3.4. Cloro Residual Libre

Refiere al cloro libre que permanece en las tuberías después de haber efectuado la desinfección del agua, es decir, la destrucción o inactivación de los microorganismos presentes (MINSA, 2010).

### 2.2.3.5. **Determinación de cloro residual libre**

- Técnicas de yodometría: Se emplean para medir la cantidad de cloro residual en concentraciones superiores a 1 mg/L. Suelen verse afectadas por interferencias relacionadas con la proporción de yoduro de potasio y iones de hidrógeno añadidos.
- Técnicas amperométricas: Estas técnicas poseen una mayor sensibilidad y permiten la medición tanto del cloro libre como del cloro combinado.
- Método de titulación con DPD: Cuantifica el cloro libre, monocloroaminas, dicloroaminas o cloro combinado, cloro libre y cloro total (Moreno, López, 1991).
- Técnicas colorimétricas: Estas técnicas presentan una ventaja sobre las anteriores, ya que pueden ser fácilmente adaptadas a equipos portátiles (Moreno, López, 1991).

### 2.2.3.6. **Deposición del cloro en redes de distribución de agua potable.**

Se añade directamente en las fuentes de abastecimiento, en la salida de las plantas de tratamiento, o en los tanques y estaciones de bombeo (Arreguin, 2004).

“Por lo general establecen la cantidad de desinfectante mediante un proceso de ensayo y evaluación, donde aplican una dosis inicial y luego verifican la concentración en diversos puntos de la red” (Arreguin, 2004).

## 2.2.4. **Modelamiento y simulación**

### 2.2.4.1. **Modelamiento y simulación**

El modelado y la simulación implican el uso de computadoras, y más específicamente, la creación de software para representar de forma numérica tanto estructuras naturales como artificiales, como se indicó en el trabajo de (Maldonado y Gomes, 2010).

Al mismo tiempo, se recopilan datos en el campo y se verifica su precisión para lograr un modelo calibrado, según (Córdova, 2017).

El término simulación, por lo general, se trata de la acción de imitar o reproducir el funcionamiento de un sistema utilizando las funciones de otro sistema como referencia (Córdova, 2017).

### 2.2.4.2. **Modelación hidráulica del agua**

Estos modelos se emplean con el propósito de imitar y estudiar el funcionamiento de sistemas ya establecidos. Esto implica identificar las condiciones actuales y futuras de operación, con el fin de tomar las medidas correctivas necesarias (Córdova, 2017).

#### 2.2.4.3. Modelo de la calidad del agua

Se encargan de analizar cómo cambian con el tiempo y el espacio ciertos aspectos físico-químicos de la calidad del agua, como la cantidad de sustancias contaminantes o desinfectantes presentes. A pesar de su nombre, estos modelos se han centrado principalmente en la simulación de la concentración de cloro residual y flúor, dejando en segundo plano la evaluación de otros parámetros de La calidad del agua es un aspecto importante (Guanuchi, 2017).

#### 2.2.4.4. Factores que intervienen en el modelo de calidad del agua

Mantenimiento de la cantidad total de agua en las tuberías y en los puntos de conexión. Combinación total y rápida del agua que llega a los puntos de conexión (donde las tuberías se unen) (Guanuchi, 2017).

#### 2.2.4.5. Software de simulación WaterCAD

Esta aplicación permite evaluar la capacidad de caudal para combatir incendios, analizar la concentración de componentes en el agua, gestionar costos de energía y modelar sistemas de bombeo (BLENTEY, 2014).

### 2.3. Definición de términos

- Cloro: Gas de color amarillo verdoso (Cooperación alemana, 2017).
- Cloro libre: Cloro disponible para llevar a cabo la desinfección del agua (Cooperación alemana, 2017).
- Cloro libre residual: Concentración de cloro presente en el agua después de aplicar una dosis determinada (Moreno, López, 1991).
- Pastillas Dietilfenilendiamina (DPD): Copuesto químico de N.N. Dietil-p-fenilendiamina (Cooperación alemana, 2017).
- Simulación: La simulación es el proceso que abarca desde definir el alcance de un proyecto hasta seleccionar el software de modelación, aprender a usarlo, preparar y describir el sistema de ingreso de datos, obtener los datos de entrada y cargar el modelo, con el fin de obtener el modelo inicial (Tarifa, 2017).
- Software: El software se refiere al conjunto de componentes lógicos necesarios en un sistema informático que permite realizar tareas específicas (Pérez, 2008).

### 3 CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. **Ámbito y condiciones de la investigación**

##### 3.1.1. **Contexto de la investigación**

##### 3.1.1.1. **Ubicación geográfica del proyecto**

El estudio se realizó se encuentra ubicado geográficamente con coordenadas UTM (Universal Transversal de Mercator), WGS 1984, 9328756.675N y 288051.983E.

##### 3.1.1.2. **Ubicación política del proyecto**

En el Centro Poblado Marona, distrito Moyobamba, provincia Moyobamba, y departamento San Martín.

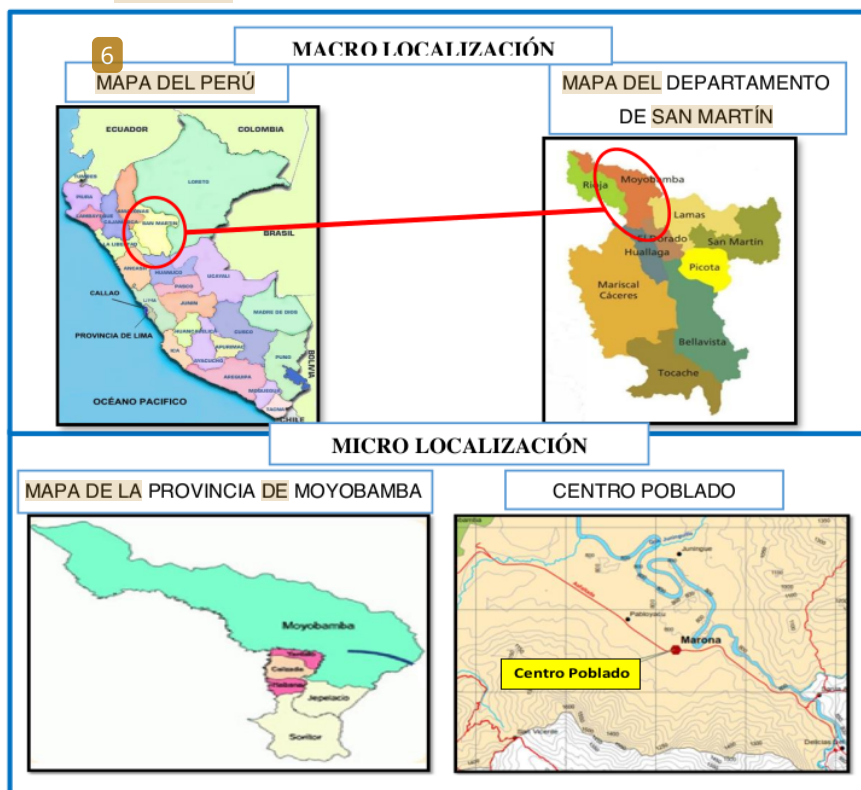


Figura 2.

Localización del Proyecto

Fuente: Elaboración propia

##### 3.1.1.3. **Vías de comunicación y tiempo de llegada al Centro Poblado.**

El camino de acceso es por una carretera asfaltada (Fernando Belaunde Terry) entre la ciudad de la provincia de Moyobamba, con destino directo al Centro Poblado de Marona.

**Tabla 2.**

*Vía de Acceso*

Destino		Medio de Transporte	Tiempo (horas)	Distancia (Km)
De	A			
Moyobamba	Marona	Moto – Auto	11 minutos	11 Km

Fuente: Diagnóstico Técnico CONHYDRA

### 3.1.1.4. Clima

El clima que predomina en el Centro Poblado Marona presenta **lluvias con alta frecuencia entre los meses de enero a abril y de octubre a diciembre**; y con menor frecuencia entre los meses de mayo a septiembre. El clima es templado y sub tropical el año entero, la temperatura varía entre 21,5 °C y 24,7 °C, contemplando así un promedio anual de 22,9 °C.

### 3.1.1.5. Temperatura

La temperatura promedio anual que se presenta en la zona es de 22.9°C, en los últimos 10 años de evaluación meteorológica. Así mismo, es preciso indicar que, por relato de la población encuestada en campo entre cálido y húmedo, con sensación templada durante ciertas horas del día.

### 3.1.1.6. Topografía

La topografía de la ubicación del centro poblado Marona se encuentra en terreno aproximadamente plano con pendiente mesurada. La línea de conducción y aducción pasan por resaltes con pendientes moderadas. Así mismo, el reservorio se sitúa en una zona de pendiente moderada.

**3**

### 3.1.1 Periodo de ejecución

El periodo de ejecución de la investigación "Modelamiento y simulación de cloro residual en agua potable, para determinar la calidad microbiológica del agua del centro poblado Marona", se aprueba el 21 de octubre del 2021 mediante Resolución N° 348-2021-UNSM/CFT/FE, siendo éste del 21 de octubre del 2021 al 20 de junio del 2022 (Ver Anexo 01).

### 3.1.2 Autorizaciones y permisos

Los representantes de la JASS del centro poblado Marona, en asamblea dieron autorización para llevar a cabo los muestreos de cloro las fechas que sean necesarias, con previa coordinación y compañía del operador José Sevallos Cordova.

3

### 3.1.3 Aplicación de principios éticos internacionales

Exponiéndose que en todo el proceso del estudio se puso en practica los principios éticos conductuales de responsabilidad.

50

## 3.2. Sistema de variables

### 3.2.1 Variable independiente

Modelamiento y simulación de cloro residual en agua potable.

1

### 3.2.2 Variable dependiente

Calidad microbiológica del agua.

## 3.3. Procedimientos de la investigación

Se analizó el área de estudio en el cual se seleccionó 20 puntos de muestreo a ser estudiados, los cuales se realizaron durante 3 meses (enero-marzo), realizando 2 muestras diarias a cada punto de muestreo. Luego se procedió a realizar los cálculos hidráulicos necesarios para el modelado de la red hidráulica; posteriormente con los datos obtenidos del modelamiento de la red hidráulica, se realizó el modelamiento de cloro para determinar el modelo calibrado con una dosis optima de las redes de distribuciones de agua del CCPP Marona:

### Análisis del área estudiada:

#### *a. Planos digitales*

En esta etapa, se accedió a los planos digitales (planos de red de distribución, planos topográficos, planos de ubicación de estructuras hidráulicas) por medio de un encargado. Los cuales fueron analizados y estudiados para la posterior verificación de datos.

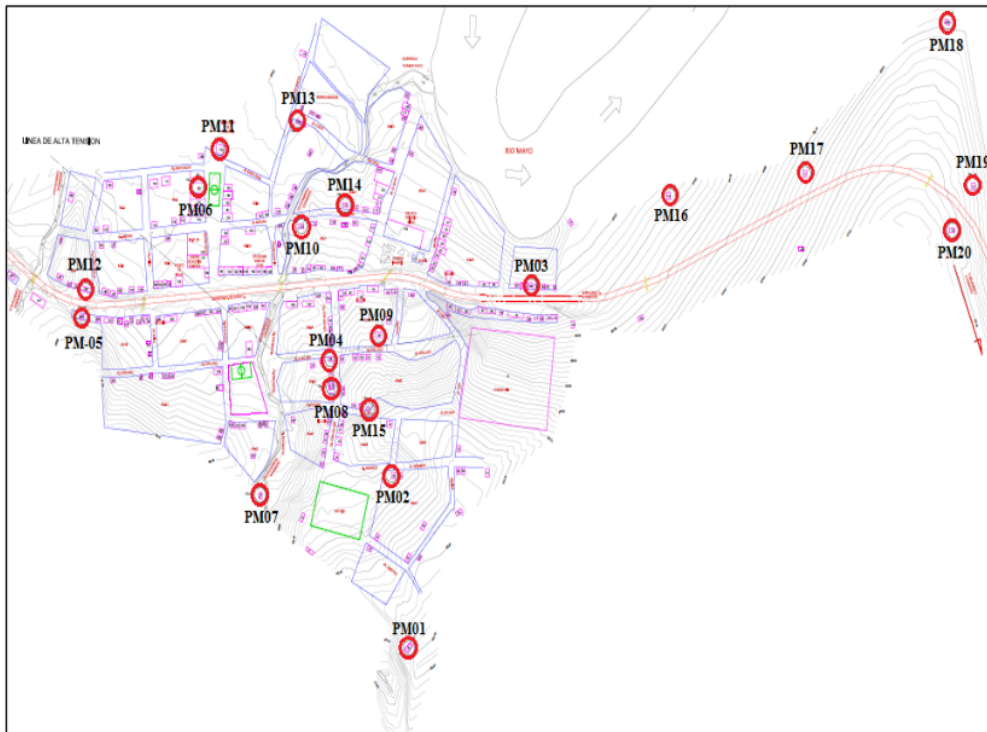
#### *b. Verificación de redes y componentes de sistema de abastecimiento*

Habiendo estudiado los planos digitales anteriormente mencionados, se realizó un recorrido en campo con el operador encargado de la JASS, para la verificación y posterior actualización de datos topográficos y ubicación de los elementos del régimen hídrico.

### Selección de los puntos de muestreo:



1 Realizada la verificación y actualización de topografía y ubicación de redes de distribución de agua, se definió el número total de los beneficiarios para luego generar la delimitación de las coordenadas. Se tiene un total de 259 conexiones domiciliarias activas, de las cuales se tomó 20 puntos de muestreo considerando la conexión domiciliaria más lejana, intermedia y más cercana a la línea de impulsión, como se muestra a continuación:



28

Figura 3.

Puntos de muestreo en la red de distribución del centro poblado Marona

### 3.3.1 Objetivo específico 1

#### 3.3.1.1. Memoria de Cálculo hidráulico

##### 1.0 Calculo de la Tasa de Crecimiento Poblacional

Lugar	Año del censo	Población	Tasa de crecimiento "r"%
Centro Poblado Marona	1993	553	2,39%
Centro Poblado Marona	2007	738	0,33%
Centro Poblado Marona	2014	755	0,32%
			<b>0,48%</b>

Fuente: INEI - IX Censo de Población y IV de Vivienda 1993, 2007 y padrón de proyecto 2014.

## 2.0 Ecuaciones para el cálculo poblacional

### 2.1. Crecimiento Aritmético

#### 2.1.1. Tasa de Crecimiento

$$r = (P_{i+1} - P_i) / (t_{i+1} - t_i)$$

#### 2.1.2. Población Futura

$$P = P_0 + r * (t - t_0)$$

### 2.2. Crecimiento Geométrico

#### 2.2.1. Tasa de Crecimiento

$$r = \left( \sqrt[t_{i+1} - t_i]{\frac{P_{i+1}}{P_i}} - 1 \right) * 100$$

#### 2.2.2. Población Futura

$$P_f = P_0 (1 + r)^{(t - t_0)}$$

## 3.0 Cálculo de la población actual (Año 2022)

Localidad	Pob. Actual al 2022	N° Conexiones Actual	N° sin conexión	Total de Viviendas
Marona	784	259	0	259
<b>Total Hab.</b>	<b>784</b>	<b>259</b>	<b>0</b>	<b>259</b>

Fuente: Padrón de beneficiarios 2022 elaborado por el tesista.

## 4.0 Cálculo de la población futura (Año 2043)

Tiempo: 20 años

Tasa de crecimiento (r): 0,48 %

Localidad	P(2043) Met. Geométrico	P(2043) Met. Aritmético
Marona	863	794
<b>Total Hab.</b>	<b>863</b>	<b>794</b>

## 5.0 Cálculo de la Densidad Poblacional

Localidad	Pob. Actual al 2022 (asumido)	N° de familias	Miembros por familia
Marona	784	259	3
<b>Total Hab.</b>	<b>784</b>	<b>259</b>	

Fuente: Padrón de beneficiarios 2022 elaborado por el tesista.

## 6.0 Cálculo de la Demanda de consumo

Dotación L/hab/día: 100 (DS-192-2018-VIVIENDA)

Población futura: 863 hab (Ítem 4.0 Memoria de cálculo hidráulico)

$\text{Demanda de Consumo} = (\text{Dotación}) (\text{Población futura}) / 86400$

$\text{Demanda de Consumo} = 0,998 \text{ L/seg}$

## 7.0 Cálculo del consumo no domestico

### a. Instituciones Educativas

Nivel de la Institución Educativa	Dotación (L/alumno/día)	Cantidad Alumnos Beneficiados	Q=Consumo de agua por alumnos (L/seg)	TOTAL
I.E. 00514 Marona (Primaria)	20	72	0,017	0,017
I.E. 00514 Marona (Secundaria)	25	57	0,016	0,016
I.E. Virgen de Fátima N°151	20	25	0,006	0,006
			0,039	0,039

Fuente: Norma IS.010 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

### b. Puesto de Salud

Centro de Salud	Cantidad de camas	Dotación (L/cama/día)	Q=Consumo de agua por cama (litros/segundo)	TOTAL
Puesto de Salud - Marona	1	600,00	0,007	0,007

Fuente: Norma IS.010 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

### c. Local comunal

Entidad local	Cantidad asientos	Dotación (L/asiento/día)	Q=Consumo de agua por asiento (L/seg.)	TOTAL
Casa Comunal "Marona"	15	3,00	0,001	0,001
Centro de Acopio Comunal	4	3,00	0,000	0,000
			0,001	0,001

Fuente: Norma IS.010 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

### d. Iglesia

Entidad local	Cantidad asientos	Dotación (L/asien/día)	Q=Consumo de agua por asiento (L/seg.)	TOTAL
Iglesia Asamblea de Dios del Perú	40	3,00	0,001	0,001
Iglesia Evangélica "La Hermosa"	35	3,00	0,001	0,001
Iglesia Misionera Movimiento Mundial	30	3,00	0,001	0,001
Iglesia Católica Nuestra Señora de Ft.	35	3,00	0,001	0,001
Iglesia Adventista del Séptimo Día	30	3,00	0,001	0,001
			0,006	0,006

Fuente: Norma IS.010 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

### 1 Consumo Total de agua no domestico

Categoría de Usuarios	Consumo No Doméstico (L/Seg)	Consumo No Doméstico (L/Día)
Instituciones Educativas	0,039	3 365,00
Puesto de Salud	0,007	600,00
Local Comunal	0,001	57,00
Iglesia	0,006	510,00
<b>1 TOTAL</b>	<b>0,052</b>	<b>4 532,00</b>

Fuente: Norma IS.010 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

### 27 8.0 Parámetros de diseño para servicios de agua

Parámetros de diseño para servicios de agua		
Periodo de Diseño	20.00	años
Tasa de Crecimiento Anual	0,48	%
N° de Familias	259	Fam.
N° Habitantes/familia	3	Hab.
Población		
Población Actual	Po = 784	Hab.
Población Futura	Pf = 863	Hab.
39 Cálculos hidráulicos de la red de distribución		
1 Captación lt/hab/día	100.00	L/hab/día
18 Coeficiente de Variación Diaria	K1 = 1,30	
Coeficiente de Variación Horaria	K2 = 2,00	
Demanda de consumo	0,998	L/seg.
Consumo no doméstico	0,052	1 seg.
Caudal promedio (Qproducción)	Qp = 1,30	L/seg.
Caudal Máximo Diario	Qmd = 1,69	L/seg.
Caudal Máx. Horario	Qmh = 2,60	L/seg.
Cálculos hidráulicos del aforo		
Captación	Qaforo = 2,84	39 L/seg.
debe cumplir:	Qaforo > Qmd	OK

Fuente: Padrón de beneficiarios 2022 elaborado por el tesista DS-192-2018-VIVIENDA.

### 3.3.2 Objetivo específico 2

#### 3.3.2.1. Modelamiento de la red de distribución

Para el modelamiento hidráulico, primero se tomó en cuenta el componente del sistema hídrico; en este caso, la línea de conducción, línea de aducción y la red de distribución; para elaborar un plano a escala en el software Civil 3D conteniendo las coordenadas correspondientes en el mencionado plano.

### a. Exportación del software Civil 3D

Se procede a guardar el plano en formato DXF para importarlo al software WaterCAD.

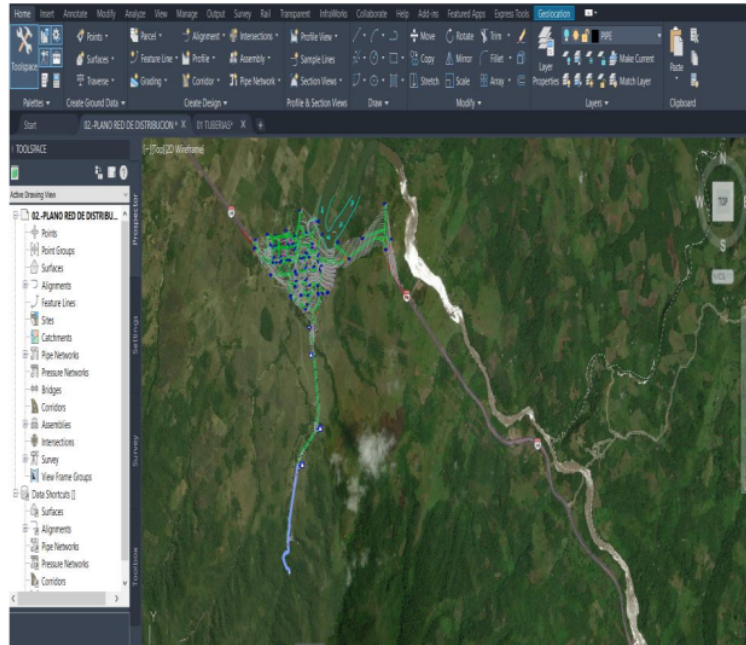
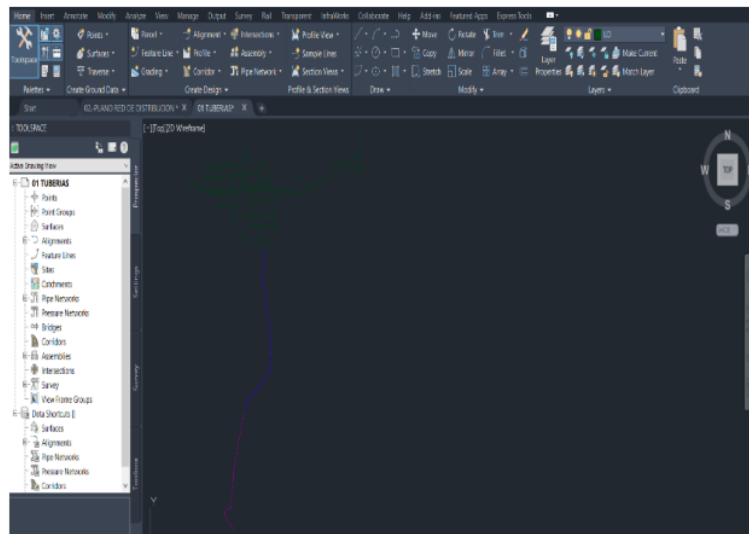


Figura 4.

8

Plano a escala sistema de la red de distribución de agua del Centro Poblado Marona en Civil 3D

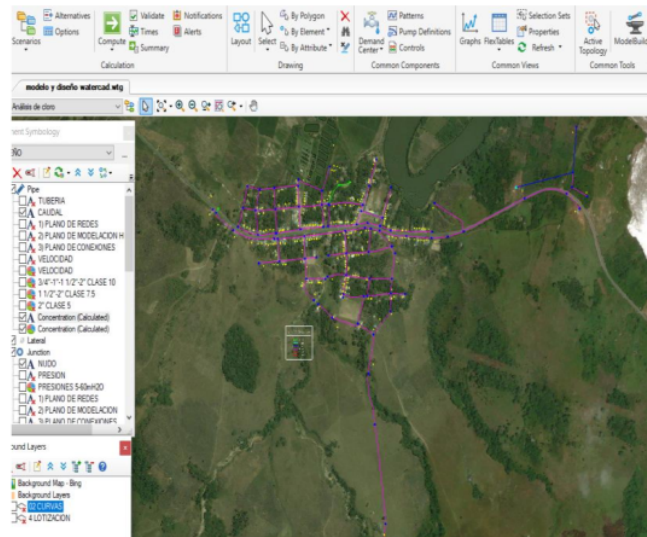


### Figura 5. 8

Selección de la red de distribución de agua del Centro Poblado Marona en Civil 3D para exportarlo a WaterCad

#### b. 4 portación al software WaterCAD

Se importó el esquema del sistema de distribución de agua, anteriormente guardado en formato DXF a Watercad, a fin de pasar a la esquematización a escala de la red de distribución de agua, especificando la ubicación la captación y del reservorio.



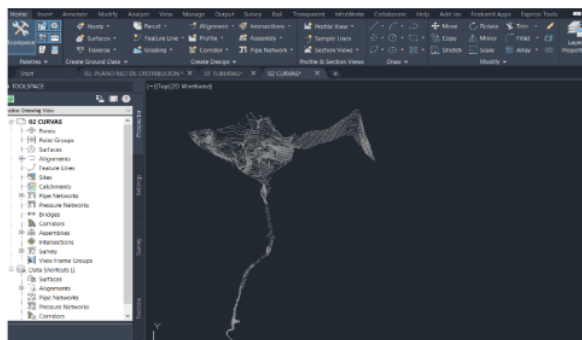
### Figura 5.

Esquema del sistema de distribución de agua en WATERCAD.

4

#### c. Consignación de cotas en los componentes del sistema.

Para la correcta simulación hidráulica, es necesario contar con las alturas exactas de la captación, reservorio y nodos, los cuales se encuentran dentro la red de distribución. Se exportó las curvas de nivel del sistema de agua del software Civil 3D, para ser importado al software WaterCAD.



**Figura 6.** 12  
 Curvas de nivel de la ubicación del sistema de agua en el Centro Poblado Marona.

Luego se importa el archivo DXF guardado anteriormente del software Civil 3D, al WaterCAD, para generar automáticamente las elevaciones (cotas) de las estructuras hidráulicas.

FlexTable: Junction Table (Current Time: 24.000 hours) (modelo y diseño waterc...

	ID	Label	Elevation (m)
12090: Nodo-11	12090	Nodo-11	868.50
12091: Nodo-12	12091	Nodo-12	873.99
12093: Nodo-10	12093	Nodo-10	890.00
12095: Nodo-07	12095	Nodo-07	917.09
12096: Nodo-09	12096	Nodo-09	912.43
12102: Nodo-78	12102	Nodo-78	838.33
12103: Nodo-79	12103	Nodo-79	838.54
12105: Nodo-23	12105	Nodo-23	858.56
12106: Nodo-24	12106	Nodo-24	859.09
12108: Nodo-71	12108	Nodo-71	838.76
12109: Nodo-72	12109	Nodo-72	838.00
12111: Nodo-19	12111	Nodo-19	859.46
12112: Nodo-20	12112	Nodo-20	860.24
12114: Nodo-74	12114	Nodo-74	841.25
12115: Nodo-76	12115	Nodo-76	840.00
12117: Nodo-75	12117	Nodo-75	843.00
12120: Nodo-90	12120	Nodo-90	833.20
12121: Nodo-91	12121	Nodo-91	832.70
12123: Nodo-55	12123	Nodo-55	836.01
12124: Nodo-58	12124	Nodo-58	834.73
12126: Nodo-27	12126	Nodo-27	860.33
12127: Nodo-28	12127	Nodo-28	856.12
12129: Nodo-47	12129	Nodo-47	840.15
12130: Nodo-48	12130	Nodo-48	838.81
12132: Nodo-95	12132	Nodo-95	834.02
12133: Nodo-94	12133	Nodo-94	834.46
12135: Nodo-51	12135	Nodo-51	840.56
12136: Nodo-52	12136	Nodo-52	837.66

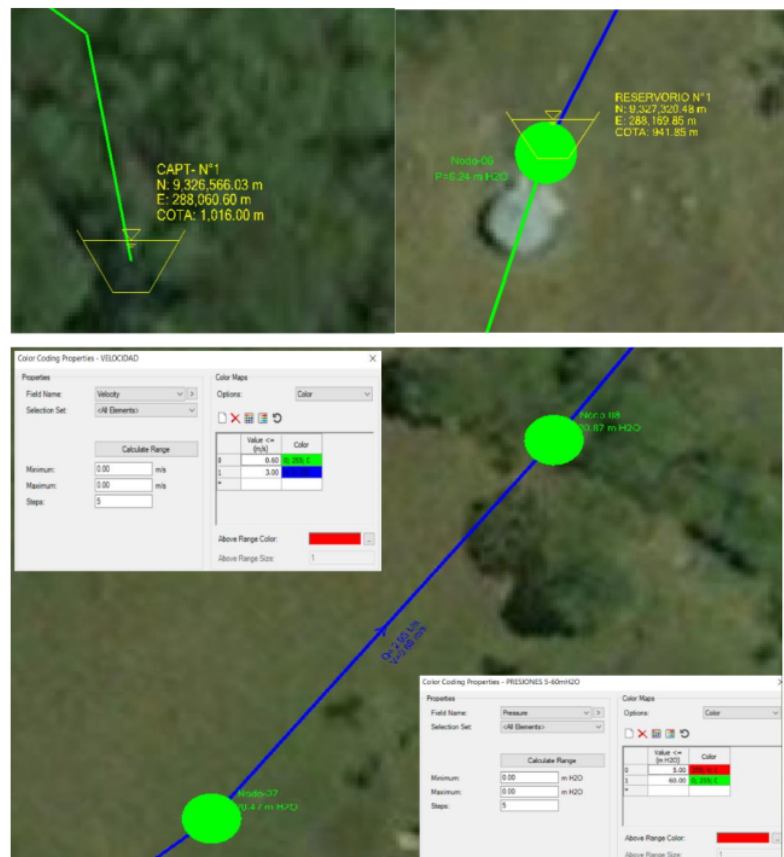
90 of 90 elements displayed

**Figura 1.** 1  
 Cotas de los componentes del sistema de agua del Centro Poblado Marona.

#### d. Simulación de la red hidráulica

43

Ya ingresados los datos requeridos al Watercad de la red de agua del centro poblado de Marona se consigue realizar una simulación, obteniendo las presiones en los nodos y las velocidades en la tubería.



**Figura 8.**  
Simulación hidráulica del sistema de distribución de agua en el C.P. Marona.

### 3.3.3 Objetivo específico 3

#### 3.3.3.1. Modelamiento del cloro residual

Para el modelamiento se ingresó los datos necesarios para la simulación; obtenidos en el modelamiento. Finalmente, se compara los datos de la concentración en simulada en cada nodo, con los datos obtenidos en el muestreo en campo; si se encontraban variaciones significativas, se ajusta el coeficiente de reacción en pared ( $k_w$ ) de la tubería hasta que los datos sean iguales o aproximados.

#### a. Difusividad del cloro

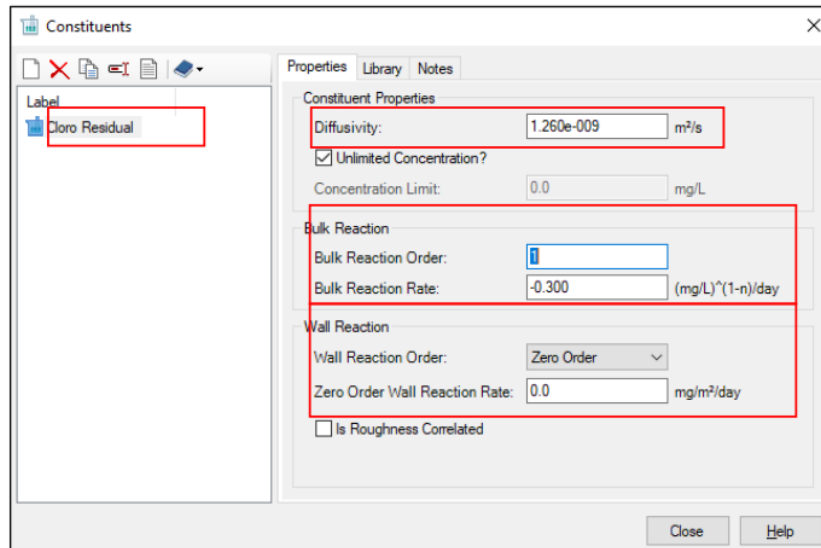
Para iniciar con la simulación de la concentración de cloro residual en el software WaterCAD, se crea una constituyente denominado cloro residual, y se ingresa el valor de la difusividad molecular del cloro.

**Tabla 3.**  
Difusividad molecular del cloro



20 Soluta	Disolvente	Concentración (mol/l)	Temperatura (°C)	Difusividad $\frac{m^2}{s} \cdot 10^{-9}$
Ácido acético	Agua	1	12,5	0,82
Ácido acético	Agua	0,01	12,5	0,91
Amoniaco	Agua	3,5	5	1,24
Amoniaco	Agua	1	15	1,77
Butanol	Agua	0	15	0,77
Cloro	Agua	0,12	16	1,26

Fuente: masciarelli, stancich y stoppani, 2012.

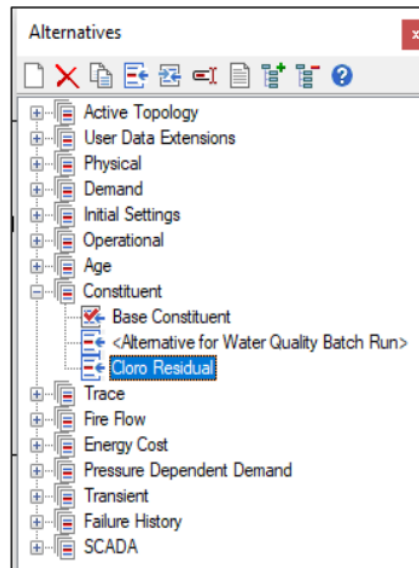


**Figura 9.**

*Ingreso de datos de difusividad, reacción en masa de la tubería.*

#### **b. Creación de alternativas para ejecutar la simulación.**

Se procedió a crear las alternativas para la demanda y la constituyente; la alternativa de demanda, es para que la simulación estime las variaciones horarias de demanda de agua por nodo.



**Figura 10.**

*Creación de alternativas para ejecutar la simulación.*

**c. Consignación de la concentración preliminar de cloro residual en el reservorio.**

Se asignó la **concentración** preliminar en el reservorio. **La concentración es de 1,8mg/L** y posterior a ello, se estableció el promedio obtenido en las mediciones hechas en las fechas programadas.

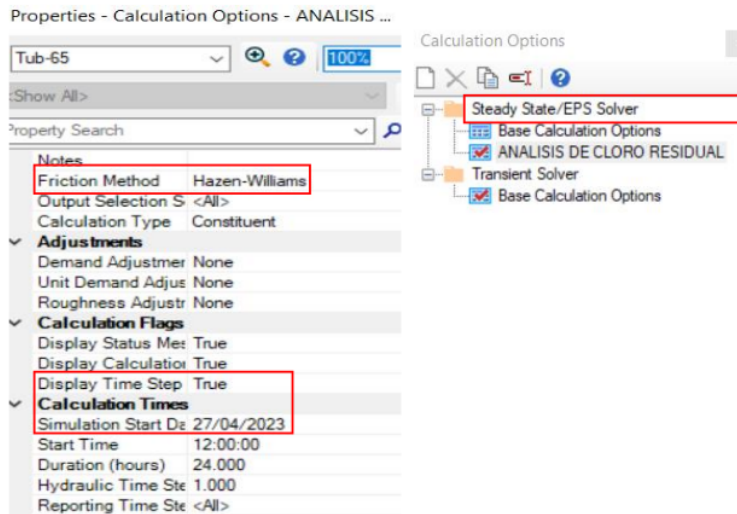
Constituent	Constituent Source Type	Concentration (Base) (mg/L)	Mass Rate (Base) (mg/s)	Concentration (Initial) (mg/L)
13133: T-2	Concentration	0.00	0.00	1.80

**Figura 11.**

*Asignación de la concentración preliminar de cloro residual en el reservorio*

**d. Creación y configuración de cálculos para cloro residual**

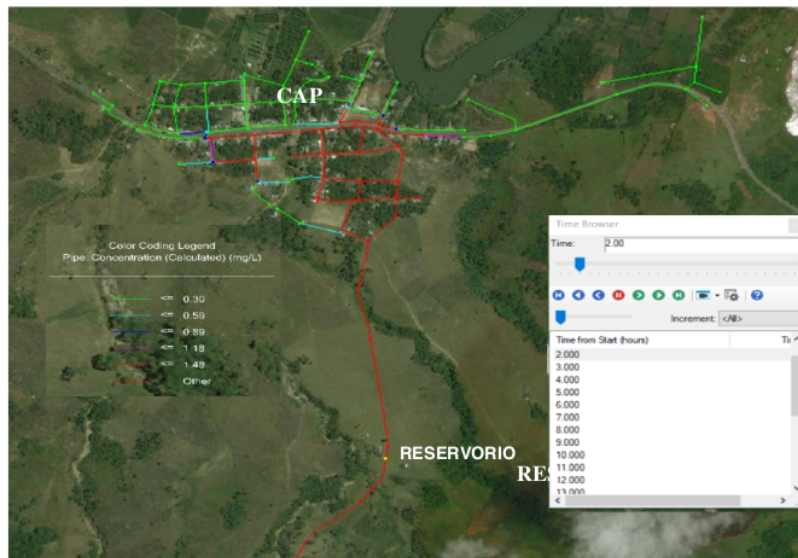
En esta etapa, se realiza las configuraciones del método de fricción, el tipo de cálculo, tiempo de inicio de la simulación y duración de la simulación.



**Figura 12.**  
Creación y configuración de cálculos para cloro residual

#### e. Concentración de cloro

Luego de realizar la simulación de cloro residual en las redes de distribución de agua del Centro Poblado de Marona, se obtiene el valor de concentración por nodos, los cuales fueron cotejados con los datos adquiridos en campo y se procedió a verificar si son proximately similares entre sí.



**Figura 13.**  
Concentración de cloro en redes de distribución.

#### 3.3.4 Objetivo específico 4

Para la comparación de resultados y encontrar los coeficientes de reacción adecuados para lograr medidas aproximadas entre las concentraciones simuladas y las medidas en campo (sin variaciones significativas). Los datos obtenidos en graficos las que nos permiten visualizar los niveles de concentración por nodos o puntos de muestreo ejecutados.

# 1

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8

#### 4.1 Modelamiento hidráulico de la Red de distribución del Centro Poblado Marona.

En el modelamiento hidráulico de las redes de distribución que se realizó en el software WaterCAD, se obtuvo los siguientes resultados, necesarios para la simulación del cloro residual.

**Tabla 4.**

47

Resultados del modelamiento de la Red de distribución

N°	Nodo	Diámetro (ø)	Material	Hazen Williams	Caudal (L/seg)	Velocidad (m/seg)	Presión (PSI)	Elevación (m.s.n.m)
1	Nodo-01	54,2	PVC	150	2,05	0,89	21,08	917,09
2	Nodo-07	29,4	PVC	150	0,89	1,31	23,56	838,43
3	Nodo-09	29,4	PVC	150	0,70	1,03	33,07	841,25
4	Nodo-04	54,2	PVC	150	2,05	0,89	0,32	912,43
5	Nodo-05	54,2	PVC	150	2,05	0,89	17,16	890,00
6	Nodo-10	29,4	PVC	150	0,27	0,40	17,89	842,16
7	Nodo-02	29,4	PVC	150	0,01	0,02	25,91	832,00
8	Nodo-11	54,2	PVC	150	2,05	0,88	35,79	868,45
9	Nodo-06	29,4	PVC	150	0,04	0,06	20,31	837,63
10	Nodo-03	54,2	PVC	150	2,04	0,88	28,08	873,99
11	Nodo-12	29,4	PVC	150	0,01	0,01	36,25	869,87
12	Nodo-08	29,4	PVC	150	1,00	1,47	19,14	873,78
13	Nodo-13	29,4	PVC	150	0,99	1,46	15,80	872,04
14	Nodo-14	29,4	PVC	150	0,02	0,02	16,36	871,48
15	Nodo-19	29,4	PVC	150	0,11	0,16	28,58	848,99
16	Nodo-15	29,4	PVC	150	0,97	1,44	28,16	859,46
17	Nodo-16	29,4	PVC	150	0,39	0,58	39,37	843,84
18	Nodo-20	29,4	PVC	150	0,20	0,30	27,13	860,24
19	Nodo-21	29,4	PVC	150	0,59	0,88	19,08	866,37
20	Nodo-18	29,4	PVC	150	0,75	1,10	16,63	868,75
21	Nodo-17	29,4	PVC	150	0,58	0,85	26,25	858,56
22	Nodo-22	29,4	PVC	150	0,17	0,24	20,19	837,77
23	Nodo-23	29,4	PVC	150	0,01	0,01	25,71	859,09
24	Nodo-24	29,4	PVC	150	0,50	0,74	30,05	865,40
25	Nodo-25	29,4	PVC	150	0,93	1,37	29,38	853,87
26	Nodo-26	29,4	PVC	150	0,82	1,21	19,98	860,21
27	Nodo-27	29,4	PVC	150	0,01	0,01	18,44	858,02
28	Nodo-28	29,4	PVC	150	0,82	1,21	21,33	85726
29	Nodo-30	29,4	PVC	150	0,01	0,01	44,31	832,17
30	Nodo-29	29,4	PVC	150	0,93	1,37	32,36	845,35
31	Nodo-31	29,4	PVC	150	0,50	0,74	36,64	840,07
32	Nodo-32	29,4	PVC	150	0,05	0,07	38,74	837,78
33	Nodo-33	29,4	PVC	150	0,04	0,06	35,51	841,00
34	Nodo-36	29,4	PVC	150	0,04	0,06	32,59	843,94
35	Nodo-34	29,4	PVC	150	0,03	0,05	34,58	871,91
36	Nodo-35	29,4	PVC	150	0,02	0,03	6,27	870,21

37	Nodo-42	29,4	PVC	150	0,01	0,01	12,37	864,10
38	Nodo-37	29,4	PVC	150	0,02	0,02	8,93	867,54
39	Nodo-38	29,4	PVC	150	0,41	0,60	35,26	841,00
40	Nodo-39	29,4	PVC	150	0,75	1,10	35,89	839,08
41	Nodo-47	29,4	PVC	150	0,04	0,06	37,41	836,82
42	Nodo-40	29,4	PVC	150	0,44	0,65	35,77	838,81
43	Nodo-41	29,4	PVC	150	0,03	0,05	15,18	861,31
44	Nodo-43	29,4	PVC	150	0,23	0,34	33,62	840,70
45	Nodo-44	29,4	PVC	150	0,21	0,31	33,75	840,56
46	Nodo-45	29,4	PVC	150	0,10	0,15	36,62	837,66
47	Nodo-46	29,4	PVC	150	0,09	0,13	34,62	839,65
48	Nodo-48	29,4	PVC	150	0,08	0,12	38,25	836,01
49	Nodo-49	29,4	PVC	150	0,10	0,15	38,84	837,71
50	Nodo-50	29,4	PVC	150	0,06	0,09	37,23	837,01
51	Nodo-57	29,4	PVC	150	0,03	0,04	40,21	834,00
52	Nodo-58	29,4	PVC	150	0,11	0,17	39,50	834,73
53	Nodo-51	29,4	PVC	150	0,02	0,02	45,59	828,66
54	Nodo-52	29,4	PVC	150	0,06	0,09	42,41	831,77
55	Nodo-53	29,4	PVC	150	0,38	0,56	19,68	841,22
56	Nodo-54	29,4	PVC	150	0,01	0,01	20,10	840,80
57	Nodo-55	29,4	PVC	150	0,07	0,10	13,46	847,41
58	Nodo-56	29,4	PVC	150	0,21	0,31	35,82	841,85
59	Nodo-59	29,4	PVC	150	0,46	0,67	20,92	838,76
60	Nodo-60	29,4	PVC	150	0,66	0,98	20,95	838,00
61	Nodo-61	29,4	PVC	150	0,02	0,02	1349	847,37
62	Nodo-62	29,4	PVC	150	0,04	0,06	16,57	844,27
63	Nodo-63	29,4	PVC	150	0,02	0,02	17,68	841,25
64	Nodo-64	29,4	PVC	150	0,01	0,01	15,93	843,00
65	Nodo-65	29,4	PVC	150	0,03	0,05	46,01	840,00
66	Nodo-66	29,4	PVC	150	0,01	0,01	18,92	828,15
67	Nodo-67	29,4	PVC	150	0,02	0,03	15,7	854,99
68	Nodo-68	29,4	PVC	150	0,01	0,01	16,65	842,27
69	Nodo-77	29,4	PVC	150	0,18	0,27	16,04	842,11
70	Nodo-69	29,4	PVC	150	0,57	0,84	20,25	838,33
71	Nodo-70	29,4	PVC	150	0,01	0,01	47,79	847,63
72	Nodo-71	29,4	PVC	150	0,36	0,53	19,73	838,54
73	Nodo-79	29,4	PVC	150	0,01	0,01	35,04	860,39
74	Nodo-72	29,4	PVC	150	0,06	0,09	13,67	844,44
75	Nodo-73	29,4	PVC	150	0,05	0,08	17,92	840,16
76	Nodo-74	29,4	PVC	150	0,08	0,12	19,81	838,26
77	Nodo-75	29,4	PVC	150	0,15	0,22	23,21	834,84
78	Nodo-76	29,4	PVC	150	0,03	0,04	22,10	835,96
79	Nodo-78	29,4	PVC	150	0,03	0,04	23,14	834,92
80	Nodo-80	29,4	PVC	150	0,05	0,08	24,24	834,00
81	Nodo-89	29,4	PVC	150	0,03	0,04	22,51	835,44
82	Nodo-81	29,4	PVC	150	0,01	0,01	29,72	828,17
83	Nodo-82	29,4	PVC	150	0,08	0,12	24,96	833,20
84	Nodo-91	29,4	PVC	150	0,05	0,07	25,25	832,70
85	Nodo-92	29,4	PVC	150	0,03	0,05	14,88	844,25
86	Nodo-83	29,4	PVC	150	0,01	0,02	25,83	832,09
87	Nodo-84	29,4	PVC	150	0,02	0,03	23,68	834,46
88	Nodo-85	54,2	PVC	150	2,05	0,89	21,48	915,88

89	Nodo-86	29,4	PVC	150	0,05	0,07	24,10	834,02
90	Nodo-90	29,4	PVC	150	0,01	0,01	21,46	854,99
91	Nodo-87	29,4	PVC	150	0,03	0,05	28,53	829,58
92	Nodo-88	29,4	PVC	150	0,01	0,02	25,99	831,92
93	Nodo-93	29,4	PVC	150	0,01	0,02	27,76	830,14

Fuente: Elaboración propia

41

2

A continuación, se presenta la tabla resumen de resultados obtenidos de los nodos y puntos de muestreo del modelamiento de la red de distribución estudiados durante la ejecución del presente proyecto:

**Tabla 5.**

Resumen de resultados de nodos y puntos estudiados

N°	Nodo	PM	Diámetro (ø)	Material	Hazen Williams	Caudal (L/seg)	Velocidad (m/seg)	Presión (PSI)	Elevación (m.s.n.m)
8	Nodo-11	1	54,2	PVC	150	2,05	0,88	35,79	868,45
18	Nodo-20	2	29,4	PVC	150	0,20	0,30	27,13	860,24
41	Nodo-47	3	29,4	PVC	150	0,04	0,06	37,41	836,82
30	Nodo-29	4	29,4	PVC	150	0,93	1,37	32,36	845,35
85	Nodo-92	5	29,4	PVC	150	0,03	0,05	14,88	844,25
81	Nodo-89	6	29,4	PVC	150	0,03	0,04	22,51	835,44
73	Nodo-79	7	29,4	PVC	150	0,01	0,01	35,04	860,39
25	Nodo-25	8	29,4	PVC	150	0,93	1,37	29,38	853,87
15	Nodo-19	9	29,4	19	150	0,11	0,16	28,58	848,99
51	Nodo-57	10	29,4	PVC	150	0,03	0,04	40,21	834,00
84	Nodo-91	11	29,4	PVC	150	0,05	0,07	25,25	832,70
69	Nodo-77	12	29,4	PVC	150	0,18	0,27	16,04	842,11
91	Nodo-87	13	29,4	PVC	150	0,03	0,05	28,53	829,58
52	Nodo-58	14	29,4	PVC	150	0,11	0,17	39,50	834,73
19	Nodo-21	15	29,4	PVC	150	0,59	0,88	19,08	866,37
34	Nodo-36	16	29,4	PVC	150	0,04	0,06	32,59	843,94
90	Nodo-90	17	29,4	PVC	150	0,01	0,01	21,46	854,99
27	Nodo-27	18	29,4	PVC	150	0,01	0,01	18,44	858,02
37	Nodo-42	19	29,4	PVC	150	0,01	0,01	12,37	864,10
11	Nodo-12	20	29,4	PVC	150	0,01	0,01	36,25	869,87

Fuente: Elaboración propia

#### 1 Interpretación.

Se realizó el modelamiento de la red de distribución de agua para así alcanzar los resultados mostrados (caudal, velocidad, presión y elevación) en todo el Centro Poblado Marona. En la Tabla 5 se observa el resumen de los puntos de muestreo y nodos estudiados.

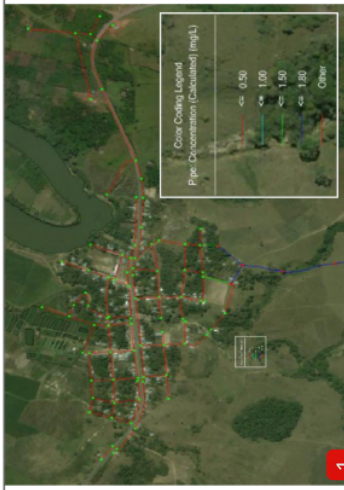
21

#### 4.2 Simulación de cloro residual en la Red de distribución de agua del Centro Poblado Marona

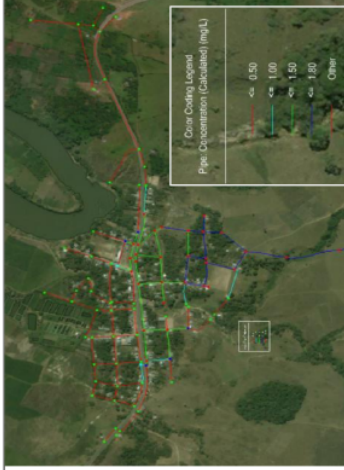
5

En las siguientes imágenes se muestra el comportamiento del cloro residual en toda la red de distribución de agua del Centro Poblado Marona:





**1** **Figura 14.** Concentración de cloro residual en un tiempo de  $T=1$  horas.



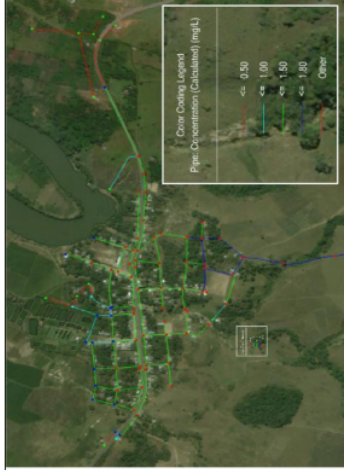
**Figura 15.** Concentración de cloro residual en un tiempo de  $T=2$  horas.



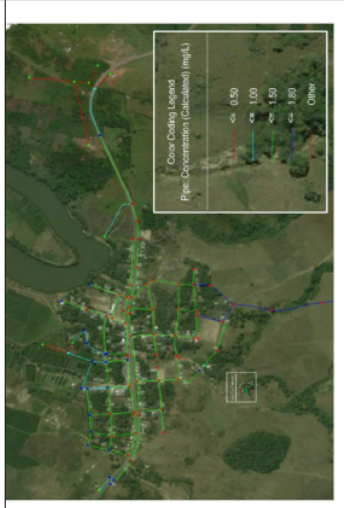
**Figura 17.** Concentración de cloro residual en un tiempo de  $T=3$  horas.



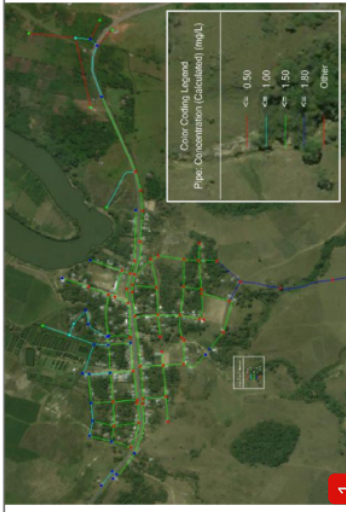
**1** **Figura 18.** Concentración de cloro residual en un tiempo de  $T=4$  horas.



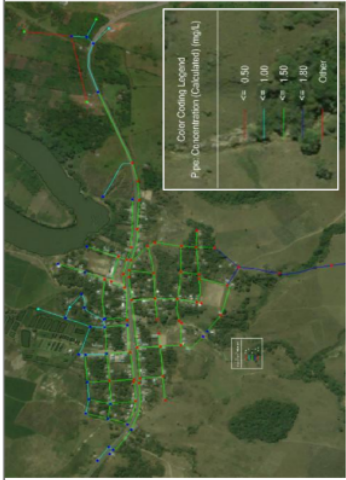
**Figura 19.** Concentración de cloro residual en un tiempo de  $T=5$  horas.



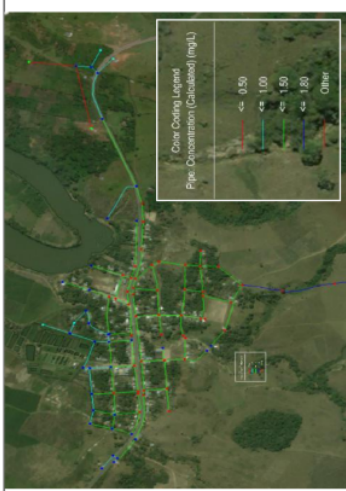
**Figura 20.** Concentración de cloro residual en un tiempo de  $T=6$  horas.



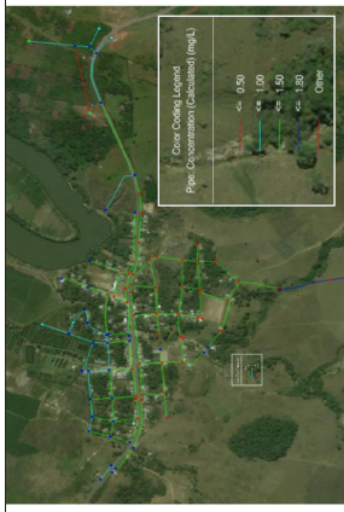
**1** **Figura 21.**  
Concentración de cloro residual en un tiempo de T= 7 horas.



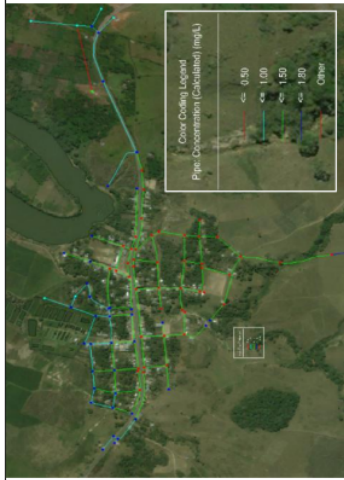
**Figura 22.**  
Concentración de cloro residual en un tiempo de T= 8 horas.



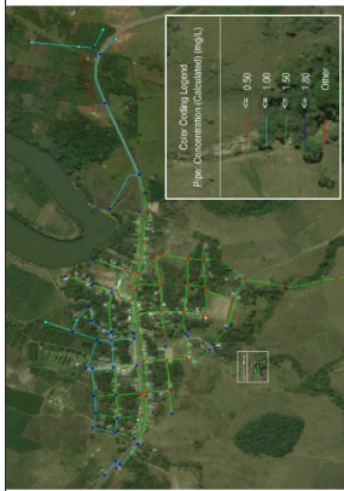
**Figura 23.**  
Concentración de cloro residual en un tiempo de T= 9 horas.



**Figura 24.**  
Concentración de cloro residual en un tiempo de T= 10 horas.



**Figura 25.**  
Concentración de cloro residual en un tiempo de T= 11 horas.



**Figura 26.**  
Concentración de cloro residual en un tiempo de T= 12 horas.



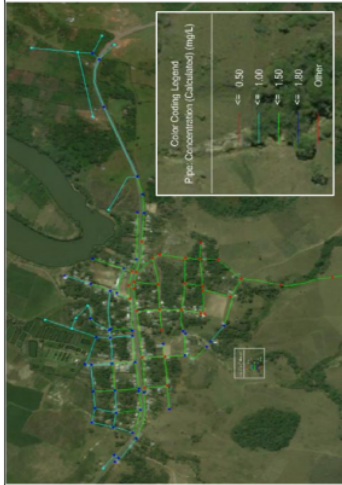
**Figura 27.**  
Concentración de cloro residual en un tiempo de  
T= 13 horas.



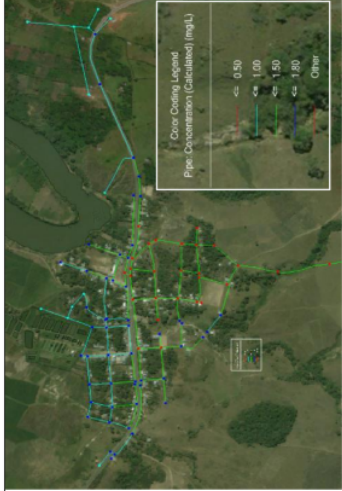
**Figura 28.**  
Concentración de cloro residual en un tiempo de  
T= 14 horas.



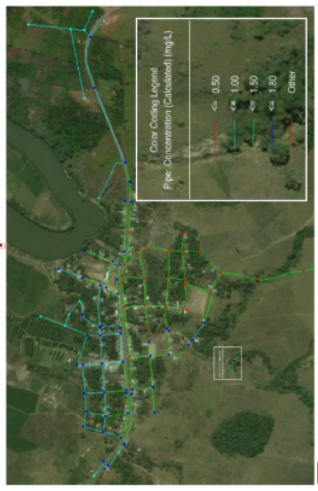
**Figura 29.**  
Concentración de cloro residual en un tiempo de  
T= 15 horas.



**Figura 30.**  
Concentración de cloro residual en un tiempo de  
T= 16 horas.



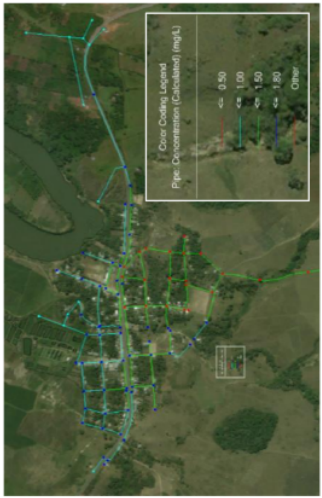
**Figura 31.**  
Concentración de cloro residual en un tiempo de  
T= 17 horas.



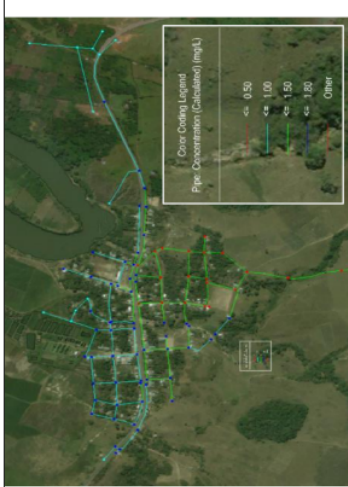
**Figura 32.**  
Concentración de cloro residual en un tiempo de  
T= 18 horas.



**Figura 33.**  
Concentración de cloro residual en un tiempo de  
T= 19 horas.



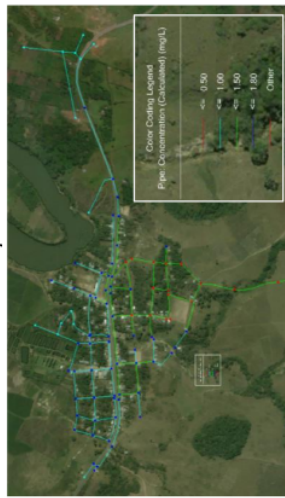
**Figura 34.**  
Concentración de cloro residual en un tiempo de  
T= 20 horas



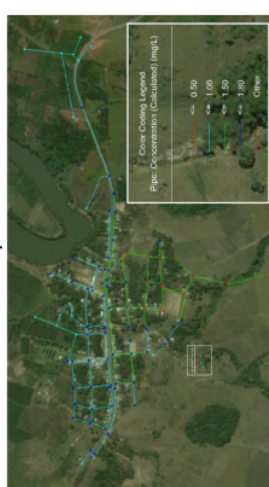
**Figura 35.**  
Concentración de cloro residual en un tiempo de  
T= 21 horas.



**Figura 36.**  
Concentración de cloro residual en un tiempo de  
T= 22 horas.



**Figura 37.**  
Concentración de cloro residual en un tiempo de  
T= 23 horas



**Figura 38.**  
Concentración de cloro residual en un tiempo de  
T= 24 horas

## 2 Análisis del Comportamiento del Cloro Residual en función del Tiempo

En esta etapa, se analizó y evaluó el valor del constituyente en cada nodo con un valor de muestreo tomado en campo respecto de los valores del constituyente en el modelo hidráulico durante 24 horas, este análisis se visualiza en las siguientes tablas y gráficos comparativos. Las muestras realizadas en campo, corresponden a dos horas de un día, mientras que el programa mediante su simulación en periodo extendido nos permite obtener el valor del cloro libre que varía durante el día en 24 horas, y de esta manera se comparó con la hora exacta del valor medido en campo.

### 2 ✓ Comportamiento del Cloro Residual en función del Tiempo-Punto de Muestreo 1

En la siguiente tabla y gráfico se representa el comportamiento del cloro en la red de distribución de agua, en el punto de Muestreo 1 – Nodo 11.

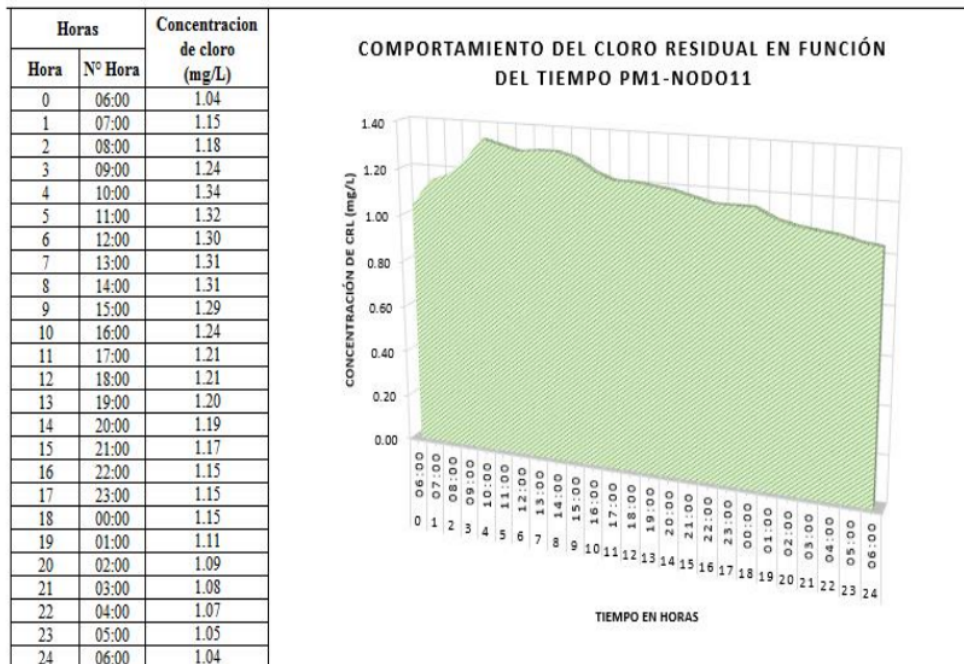


Figura 16. Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo PM1 - Nodo 11.

#### Interpretación

En el gráfico se visualiza que el Nodo 11 con respecto a un tiempo de 24 horas; siendo el valor máximo de cloro residual de 1,34 mg/l calculado en la hora 4 de aplicado el cloro, correspondiente a las 10:00 hrs. y el valor mínimo de cloro residual de 1,04 mg/l calculado en la hora 24 de aplicado el cloro, correspondiente a las 6:00 hrs.

**Tabla 6.** 1  
 Comparación del cloro residual en el PM-01 (Nodo 11)

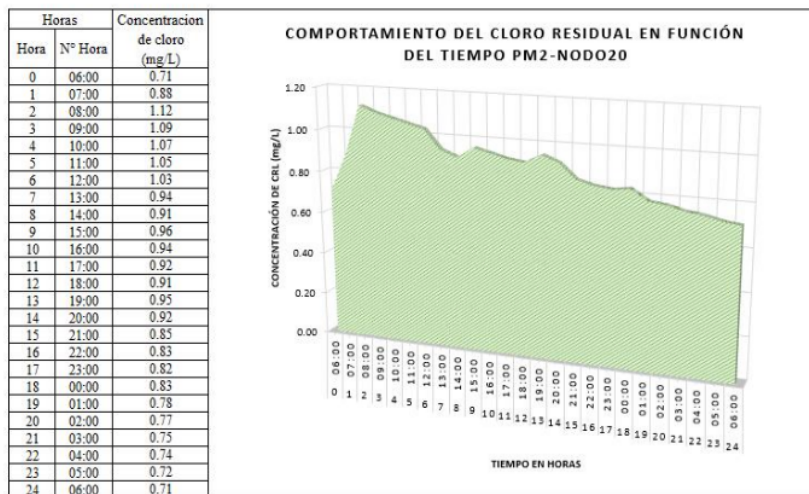
Hora	<span style="background-color: #ffcccc; border: 1px solid #ff0000; padding: 2px;">Concentración de cloro residual libre (Medido en campo)</span>	<span style="background-color: #ffcccc; border: 1px solid #ff0000; padding: 2px;">Concentración de cloro residual libre (Calculado)</span>	Error porcentual
06:00	1,07	1,04	2,80%
08:00	1,21	1,18	2,48%
<i>Error porcentual promedio</i>			<b>2,64%</b>

$$\text{Margen de error (+-%)} = (\text{CRLcampo} - \text{CRLcalculado} / \text{CRLcampo}) \times 100 = 2,64\%$$

### Interpretación.

En la tabla se tiene que, la concentración de CLR a las 6:00hrs, en campo es de 1,07 mg/L y la concentración de CLR calculado a la misma hora es de 1,04 mg/L; aplicando la fórmula de margen de error se obtiene un error porcentual de 2,80%; de igual manera se procedió con la muestra realizada las 08:00 hrs, teniendo un margen de error de 2,48%. Por lo que se determinó que el error porcentual promedio es de 2,64%. Es aceptable basándose en lo mencionado por (Ochoa & Bourguett, 2001). "El criterio que debes usar para considerar calibrado el modelo considera que la diferencia entre los datos del modelo y de campo sean menores al +- 20 por ciento" para determinar si la calibración fue realizada eficazmente.

- 2  
 ✓ Comportamiento del Cloro Residual en función del Tiempo - Punto de Muestreo 2  
10  
 En la siguiente tabla y grafico se representa el comportamiento del cloro en la red de distribución de agua, en el punto de Muestreo 2 – Nodo 20.



**Figura 17.**  
 Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo PM2 - Nodo 20

### Interpretación <sup>7</sup>

En el gráfico se visualiza la variación y comportamiento del cloro residual en el Nodo 20 con respecto a un tiempo de 24 horas; siendo el valor máximo de cloro de 1,12 mg/L calculado en la hora 2 de aplicado el cloro, correspondiente a las 08:00 hrs. y el valor mínimo de cloro residual de 0,71 mg/l calculado en la hora 24 de aplicado el cloro, correspondiente a las 6:00 hrs.

**Tabla 7.**

*Comparación del cloro residual en el PM-2 (Nodo 20)*

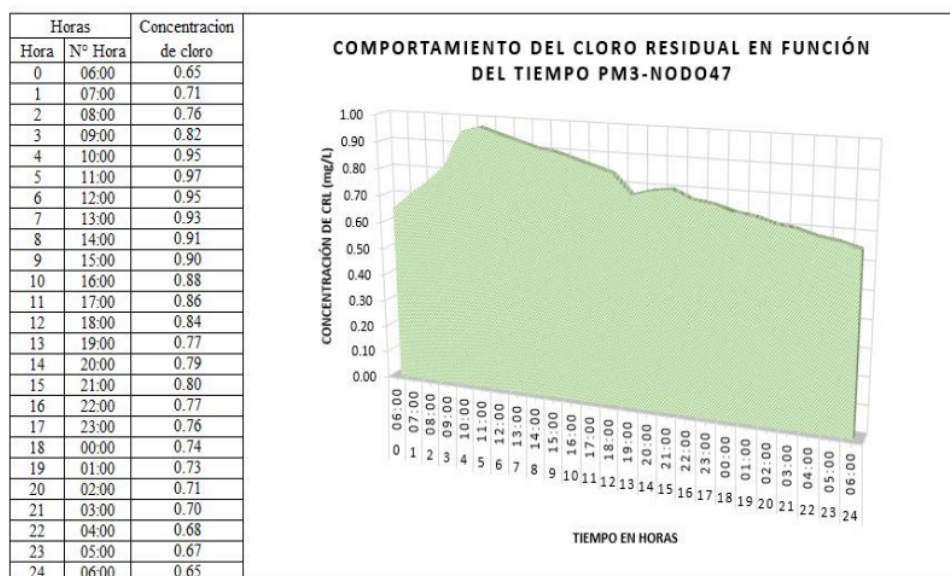
Hora	Concentración de cloro residual libre (Medido en campo)	Concentración de cloro residual libre (Calculado)	Error porcentual
06:00	0,68	0,71	-4,41%
09:00	1,03	1,09	-5,83%
Error porcentual promedio			<b>-5,12%</b>

*Margen de error (+-%) = (CRLcampo – CRLcalculado/ CRLcampo) x 100 = -5,12%*

### Interpretación.

En la tabla se tiene que, la concentración de CLR a las 6:00hrs, en campo es de 0,68 mg/L y la concentración de CLR calculado a la misma hora es de 0,71 mg/L; aplicando la fórmula de margen de error se obtiene un error porcentual de -4,41%; de igual manera se procedió con la muestra realizada las 09:00 hrs, teniendo un margen de error de -5,83%. Por lo que se determinó que el error porcentual promedio es de -5,12%. Es aceptable basándose en lo mencionado por (Ochoa & Bourguett, 2001). "El criterio que debes usar para considerar calibrado el modelo considera que la diferencia entre los datos del modelo y de campo sean menores al +- 20 por ciento" para determinar si la calibración fue realizada eficazmente.

- <sup>2</sup> ✓ **Comportamiento del Cloro Residual en función del Tiempo-Punto de Muestreo 3**
- En la siguiente tabla y gráfico se representa el proceder del cloro en la red de distribución de agua del Centro Poblado Marona, en el punto de Muestreo 3 – Nodo 47.



**Figura 18.**

*Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo PM3 - Nodo 47*

### Interpretación

En el gráfico se visualiza que el Nodo 47 con respecto a un tiempo de 24 horas; siendo el valor máximo de cloro residual de 0,97 mg/L calculado en la hora 5 de aplicado el cloro, correspondiente a las 11:00 hrs. y el valor mínimo de cloro residual de 0,65 mg/L calculado en la hora 24 de aplicado el cloro, correspondiente a las 6:00 hrs.

**Tabla 8.**

*Comparación del cloro residual en el PM-3 (Nodo 47)*

Hora	Concentración de cloro residual libre (Medido en campo)	Concentración de cloro residual libre (Calculado)	Error porcentual
06:00	0,63	0,65	-3,17%
08:00	0,74	0,76	-2,70%
<i>Error porcentual promedio</i>			<b>-2,94</b>

$$\text{Margen de error (+\%)} = (\text{CRLcampo} - \text{CRLcalculado} / \text{CRLcampo}) \times 100 = -2,94\%$$

### Interpretación.

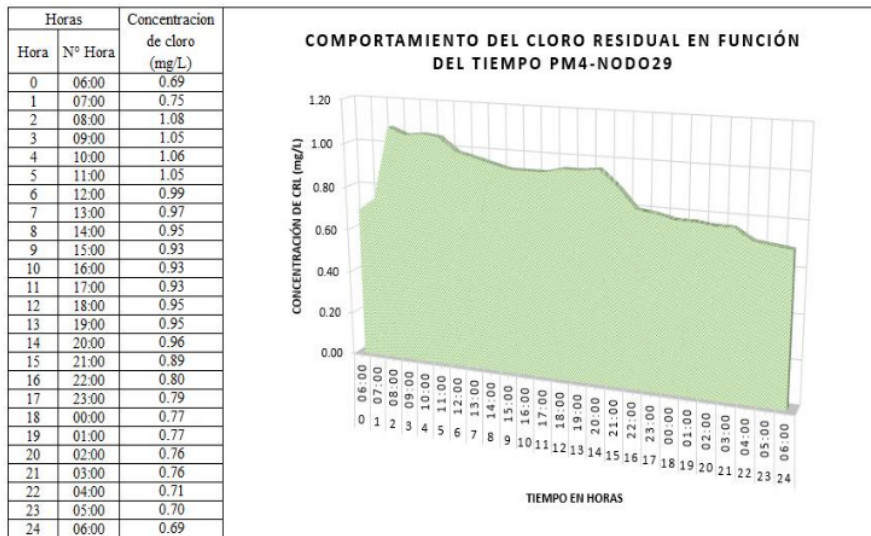
En la tabla se tiene que, la concentración de CLR a las 6:00hrs, en campo es de 0,63 mg/L y la concentración de CLR calculado a la misma hora es de 0,65 mg/L; aplicando la fórmula de margen de error se obtiene un error porcentual de -3,17%; de igual manera se procedió con la muestra realizada las 08:00 hrs, teniendo un margen de error de -



2,70%. Por lo que se determinó que el error porcentual promedio es de  $-2,94\%$ . Es aceptable basándose en lo mencionado por (Ochoa & Bourguett, 2001). “El criterio que debes usar para considerar calibrado el modelo considera que la diferencia entre los datos del modelo y de campo sean menores al  $\pm 20$  por ciento” para determinar si la calibración fue realizada eficazmente.

## 2 **Comportamiento del Cloro Residual en función del Tiempo-Punto de Muestreo 4**

En la siguiente tabla y grafico se representa el proceder del cloro en la red de distribución de agua del Centro Poblado Marona, en el punto de Muestreo 4 – Nodo 29.



**Figura 19.**  
*Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo PM4 - Nodo 29.*

### Interpretación

En el grafico se visualiza la variación y comportamiento del cloro residual en el Nodo 29 con respecto a un tiempo de 24 horas; siendo el valor máximo de cloro residual de 1,08 mg/L calculado en la hora 2 de aplicado el cloro, correspondiente a las 08:00 hrs. y el valor mínimo de cloro residual de 0,69 mg/L calculado en la hora 24 de aplicado el cloro, correspondiente a las 6:00 hrs.

**Tabla 9.**

**1** Comparación del cloro residual en el PM-4 (Nodo 29)

Hora	Concentración de cloro residual libre (Medido en campo)	Concentración de cloro residual libre (Calculado)	Error porcentual
06:00	0,68	0,69	-1,47%
11:00	1,02	1,05	-2,94%
Error porcentual promedio			-2,21

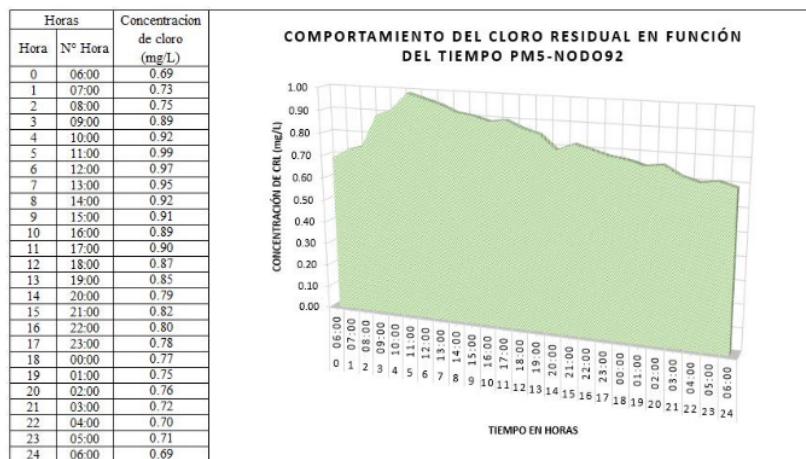
Margen de error (+-%) =  $(CRL_{campo} - CRL_{calculado} / CRL_{campo}) \times 100 = -2,21\%$

**Interpretación.**

En la tabla se tiene que, la concentración de CLR a las 6:00hrs, en campo es de 0,68 mg/L y la concentración de CLR calculado a la misma hora es de 0,69 mg/L; aplicando la fórmula de margen de error se obtiene un error porcentual de -1,47%; de igual manera se procedió con la muestra realizada las 11:00 hrs, teniendo un margen de error de -2,94%. Por lo que se determinó que el error porcentual promedio es de -2,21%. Es aceptable basándose en lo mencionado por (Ochoa y Bourguett, 2001). "El criterio que debes usar para considerar calibrado el modelo considera que la diferencia entre los datos del modelo y de campo sean menores al +- 20 por ciento" para determinar si la calibración fue realizada eficazmente.

**2** Comportamiento del Cloro Residual en función del Tiempo - Punto de Muestreo 5

En la siguiente tabla y grafico se representa el proceder del cloro en la red de distribución, en el punto de Muestreo 5 – Nodo 92.



**Figura 20.**  
Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo PM5 - Nodo 92  
**Interpretación**

9 en el gráfico se visualiza el Nodo 92 con respecto a un tiempo de 24 horas; siendo el valor máximo de cloro residual de 0,99 mg/L calculado 14 a la hora 5 de aplicado el cloro, correspondiente a las 11:00 hrs. y el valor mínimo de cloro residual de 0,69 mg/L calculado en la hora 24 de aplicado el cloro, correspondiente a las 6:00 hrs.

**Tabla 10.**

*Comparación del cloro residual en el PM-5 (Nodo 92)*

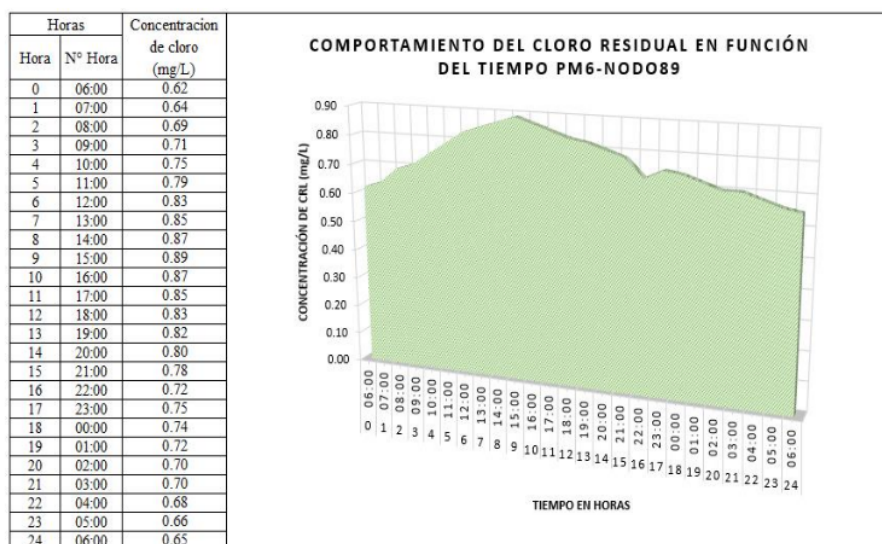
Hora	Concentración de cloro residual libre (Medido en campo)	Concentración de cloro residual libre (Calculado)	Error porcentual
08:00	0,77	0,75	2,60%
10:00	0,90	0,92	-2,22%
<i>Error porcentual promedio</i>			<b>0,19</b>

*Margen de error (+-%) = (CRLcampo – CRLcalculado/ CRLcampo) x 100 = 0,19%.*

#### **Interpretación.**

En la tabla se tiene que, la concentración de CLR a las 8:00hrs, en campo es de 0,77 mg/L y la concentración de CLR calculado a la misma hora es de 0,75 mg/L; aplicando la fórmula de margen de error se obtiene un error porcentual de 2,60%; de igual manera se procedió con la muestra realizada las 10:00 hrs, teniendo un margen de error de -2,22%. Por lo que se determinó que el error porcentual promedio es de -0,19%. Es aceptable basándose en lo mencionado por (Ochoa & Bourguett, 2001). "El criterio que debes usar para considerar calibrado el modelo considera que la diferencia entre los datos del modelo y de campo sean menores al +- 20 por ciento" para determinar si la calibración fue realizada eficazmente.

- 2
- ✓ **Comportamiento del Cloro Residual en función del Tiempo-Punto de Muestreo 6** 8
- En la siguiente tabla y gráfico se representa la conducta del cloro en la red de distribución de agua del Centro Poblado Marona, en el punto de Muestreo 6 – Nodo 89.



**Figura 21.**

*Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo PM6 - Nodo 89*

### Interpretación

En el gráfico se visualiza la variación y comportamiento del cloro residual en el Nodo 89 con respecto a un tiempo de 24 horas; siendo el valor máximo de cloro residual de 0.89 mg/L calculado a la hora 9 de aplicado el cloro, correspondiente a las 15:00 hrs. y la mínima concentración de cloro de 0,65 mg/L calculado en la hora 24 de aplicado el cloro, correspondiente a las 6:00 hrs.

**Tabla 11.**

*Comparación del cloro residual en el PM-6 (Nodo 89)*

Hora	Concentración de cloro residual libre (Medido en campo)	Concentración de cloro residual libre (Calculado)	Error porcentual
11:00	0,80	0,79	1,25%
14:00	0,86	0,87	-3,57%
Error porcentual promedio			<b>-1,16</b>

$$\text{Margen de error (+-%)} = (\text{CRLcampo} - \text{CRLcalculado} / \text{CRLcampo}) \times 100 = -1,16\%$$

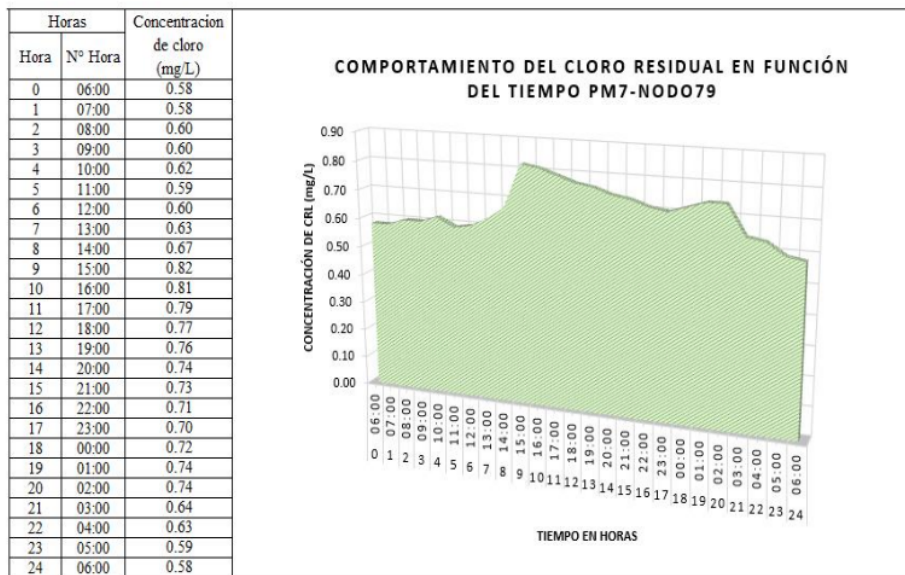
### Interpretación.

En la tabla se tiene que, la concentración de CLR a las 11:00hrs, en campo es de 0,80 mg/L y la concentración de CLR calculado a la misma hora es de 0,79 mg/L; aplicando la fórmula de margen de error se obtiene un error porcentual de 1,25%; de igual manera se procedió con la muestra realizada las 14:00 hrs, teniendo un margen de

error de -3,57%. Por lo que se determinó que el error porcentual promedio es de -- 1,16%. Es aceptable basándose en lo mencionado por (Ochoa & Bourguett, 2001). "El criterio que debes usar para considerar calibrado el modelo considera que la diferencia entre los datos del modelo y de campo sean menores al +- 20 por ciento" para determinar si la calibración fue realizada eficazmente.

✓ **Comportamiento del Cloro Residual en función del Tiempo** **Punto de Muestreo 7**

En la siguiente tabla y grafico se representa la conducta del cloro en la red de distribución de agua, en el punto de Muestreo 7 – Nodo 79.



**Figura 22.**

*Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo PM7 - Nodo 79.*

### Interpretación

En el grafico se visualiza el comportamiento del cloro residual en el Nodo 79 con respecto a un tiempo de 24 horas; siendo el valor máximo de cloro residual de 0,82 mg/L calculado en la hora 9 de aplicado el cloro, correspondiente a las 15:00 hrs. y el valor mínimo de cloro residual de 0,58 mg/L calculado en la hora 24 de aplicado el cloro, correspondiente a las 6:00 hrs.

**Tabla 12.**

Comparación del cloro residual en el PM-7 (Nodo 79)

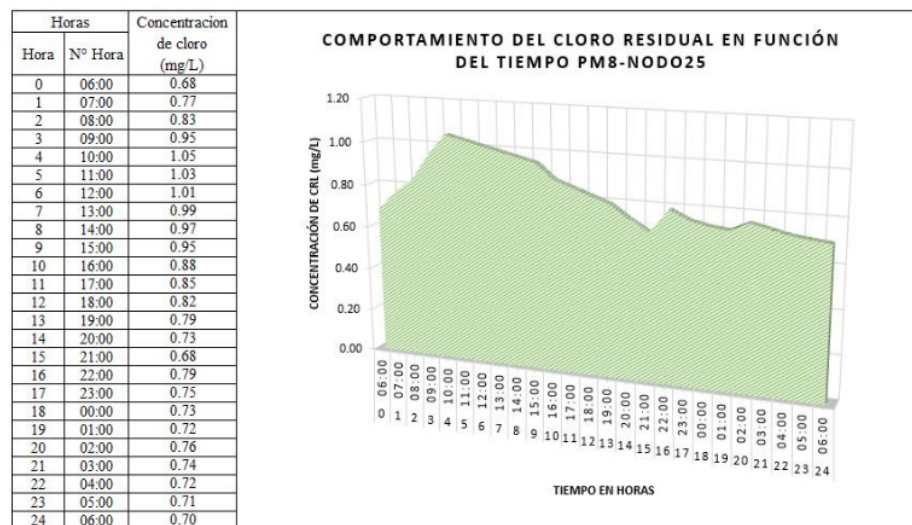
Hora	Concentración de cloro residual libre (Medido en campo)	Concentración de cloro residual libre (Calculado)	Error porcentual
14:00	0,67	0,67	0,00%
17:00	0,82	0,79	3,66%
Error porcentual promedio			<b>1,83</b>

$$\text{Margen de error (+\%)} = (\text{CRLcampo} - \text{CRLcalculado} / \text{CRLcampo}) \times 100 = 1,83\%$$
**Interpretación.**

En la tabla se tiene que, la concentración de CLR a las 14:00hrs, en campo es de 0,67 mg/L y la concentración de CLR calculado a la misma hora es de 0,67 mg/L; aplicando la fórmula de margen de error se obtiene un error porcentual de 0,00%; de igual manera se procedió con la muestra realizada las 17:00 hrs, teniendo un margen de error de 3,66%. Por lo que se determinó que el error porcentual promedio es de  $-1,83\%$ . Es aceptable basándose en lo mencionado por (Ochoa & Bourguett, 2001). "El criterio que debes usar para considerar calibrado el modelo considera que la diferencia entre los datos del modelo y de campo sean menores al  $\pm 20$  por ciento" para determinar si la calibración fue realizada eficazmente.

✓ **Comportamiento del Cloro Residual en función del Tiempo - Punto de Muestreo 8**

En la siguiente tabla y grafico se representa la conducta del cloro en la red de distribución de agua, en el punto de Muestreo 8 – Nodo 25.

**Figura 23.**

Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo PM8 - Nodo 25

### Interpretación

En el gráfico se observa el cambio y comportamiento del Nodo 25 con respecto a un tiempo de 24 horas; siendo el valor máximo de cloro residual de 1,05 mg/L calculado en la hora 4 de aplicado el cloro, correspondiente a las 10:00 hrs. y el valor mínimo de cloro residual de 0,70 mg/L calculado en la hora 24 de aplicado el cloro, correspondiente a las 6:00 hrs.

**Tabla 13.**

*Comparación del cloro residual en el PM-8 (Nodo 25)*

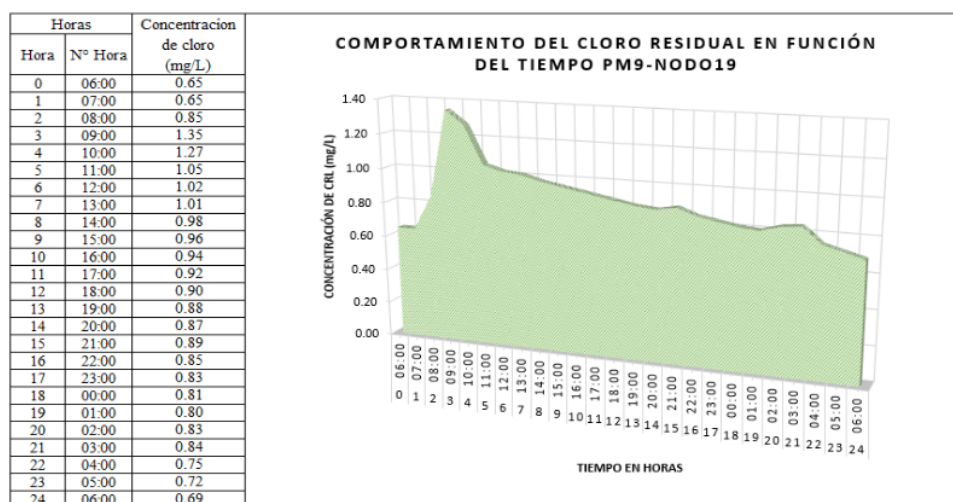
Hora	Concentración de cloro residual libre (Medido en campo)	Concentración de cloro residual libre (Calculado)	Error porcentual
07:00	0,81	0,77	4,94%
15:00	0,98	0,95	3,06%
<i>Error porcentual promedio</i>			<b>4,00%</b>

*Margen de error (+-%) = (CRLcampo – CRLcalculado/ CRLcampo) x 100 = 4,00%*

### Interpretación.

En la tabla se tiene que, la concentración de CLR a las 07:00hrs, en campo es de 0,81 mg/L y la concentración de CLR calculado a la misma hora es de 0,77 mg/L; aplicando la fórmula de margen de error se obtiene un error porcentual de 4,94%; de igual manera se procedió con la muestra realizada las 15:00 hrs, teniendo un margen de error de 3,06%. Por lo que se determinó que el error porcentual promedio es de — 4,00%. Es aceptable basándose en lo mencionado por (Ochoa & Bourguett, 2001). “El criterio que debes usar para considerar calibrado el modelo considera que la diferencia entre los datos del modelo y de campo sean menores al +- 20 por ciento” para determinar si la calibración fue realizada eficazmente.

- ✓ **Comportamiento del Cloro Residual en función del Tiempo** Punto de Muestreo 9
- En la siguiente tabla y gráfico se representa la conducta del cloro en la red de distribución de agua en el punto de Muestreo 9 – Nodo 19.



**Figura 24.**

Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo PM9 - Nodo 19

### Interpretación

En el gráfico se observa el cambio y comportamiento del Nodo 19 con respecto a un tiempo de 24 horas; siendo el valor máximo de cloro residual de 1,35 mg/L calculado en la hora 3 de aplicado el cloro, correspondiente a las 9:00 hrs. y el valor mínimo de cloro residual de 0,69 mg/L calculado en la hora 24 de aplicado el cloro, correspondiente a las 6:00 hrs.

**Tabla 14.**

Comparación del cloro residual en el PM-9 (Nodo 19)

Hora	Concentración de cloro residual libre (Medido en campo)	Concentración de cloro residual libre (Calculado)	Error porcentual
10:00	1,24	1,27	-2,42%
06:00	0,66	0,69	-4,55%
Error porcentual promedio			<b>-3,48</b>

$$\text{Margen de error (+\%)} = (\text{CRLcampo} - \text{CRLcalculado} / \text{CRLcampo}) \times 100 = -3,48\%$$

### Interpretación.

En la tabla se tiene que, la concentración de CLR a las 10:00hrs, en campo es de 1,24 mg/L y la concentración de CLR calculado a la misma hora es de 1,27 mg/L; aplicando la fórmula de margen de error se obtiene un error porcentual de -2,42%; de igual manera se procedió con la muestra realizada las 6:00 hrs, teniendo un margen de error de -4,45%. Por lo que se determinó que el error porcentual promedio es de -3,48%. Es aceptable basándose en lo mencionado por (Ochoa & Bourguett, 2001). "El criterio que



debes usar para considerar calibrado el modelo considera que la diferencia entre los datos del modelo y de campo sean menores al +- 20 por ciento" para determinar si la calibración fue realizada eficazmente.

- 2
- ✓ **Comportamiento del Cloro Residual en función del Tiempo** Punto de Muestreo 10
- En la siguiente tabla y grafico se representa la conducta del cloro en la red de distribución de agua en el punto de Muestreo 10–Nodo 57.

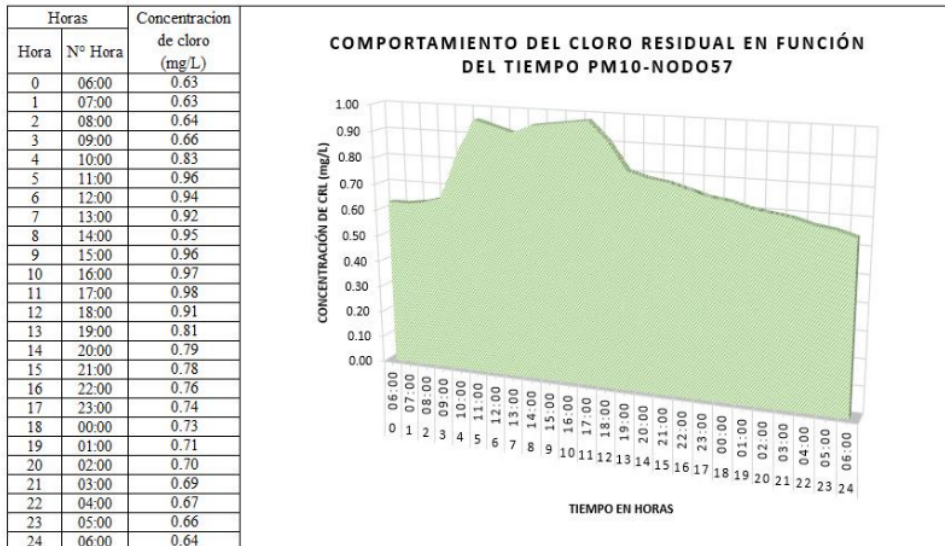


Figura 25.

Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo PM10 - Nodo 57

### Interpretación

En el grafico se observa la variación en el Nodo 57 con respecto a un tiempo de 24 horas; siendo el valor máximo de cloro residual de 0,96 mg/L calculado a la hora 5 de aplicado el cloro, correspondiente a las 11:00 hrs. y el mínimo valor de cloro de 0,64 mg/L calculado en la hora 24 de aplicado el cloro, correspondiente a las 6:00 hrs.

Tabla 15.

Comparación del cloro residual en el PM-10 (Nodo (57))

Hora	Concentración de cloro residual libre (Medido en campo)	Concentración de cloro residual libre (Calculado)	Error porcentual
11:00	0,97	0,96	1,03%
17:00	1,01	0,98	2,97%
Error porcentual promedio			2,00%

Margen de error (+-%) =  $(CRL_{campo} - CRL_{calculado} / CRL_{campo}) \times 100 = 2,00\%$

### Interpretación.

En la tabla se tiene que, la concentración de CLR a las 11:00hrs, en campo es de 0,97 mg/L y la concentración de CLR calculado a la misma hora es de 0,96 mg/L; aplicando la fórmula de margen de error se obtiene un error porcentual de 1,03%; de igual manera se procedió con la muestra realizada las 17:00 hrs, teniendo un margen de error de 2,47%. Por lo que se determinó que el error porcentual promedio es de 2,00%. Es aceptable basándose en lo mencionado por (Ochoa & Bourguett, 2001). "El criterio que debes usar para considerar calibrado el modelo considera que la diferencia entre los datos del modelo y de campo sean menores al +- 20 por ciento" para determinar si la calibración fue realizada eficazmente.

2

### ✓ Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo-Punto de Muestreo 11

10

En la siguiente tabla y grafico se representa el comportamiento del cloro en la red de distribución de agua en el punto de Muestreo 11 – Nodo 91.

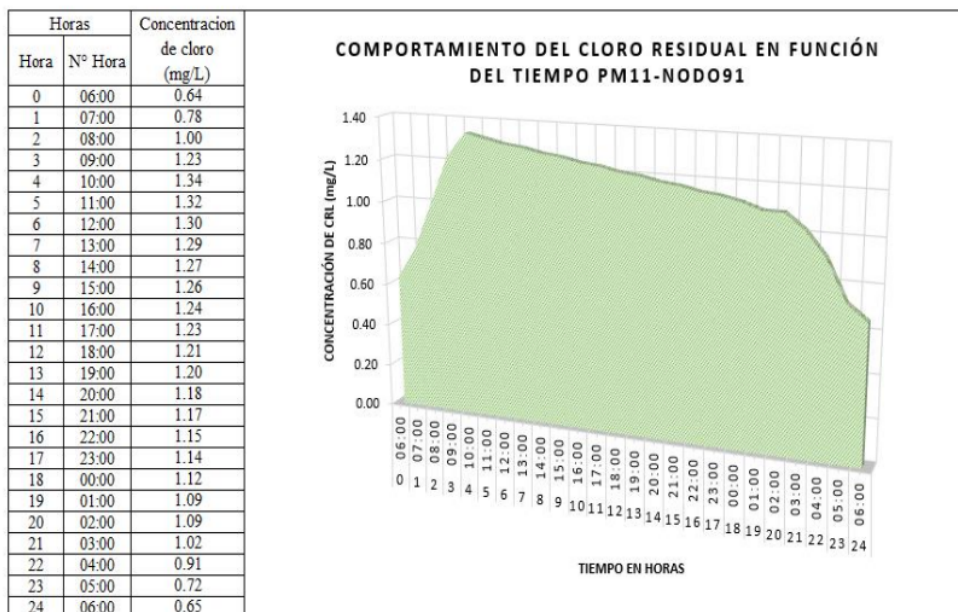


Figura 26.

Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo PM11 - Nodo 91

### Interpretación

En el grafico se observa la transformación y comportamiento del Nodo 91 con respecto a un tiempo de 24 horas; siendo el valor máximo de cloro residual de 1,34 mg/l calculado en la hora 4 de aplicado el cloro, correspondiente a las 10:00 hrs. y el valor mínimo de

18

cloro residual de 0,64 mg/l calculado en la hora 24 de aplicado el cloro, correspondiente a las 6:00 hrs.

**Tabla 16.**

1

Comparación del cloro residual en el PM-11 (Nodo 91)

Hora	Concentración de cloro residual libre (Medido en campo)	Concentración de cloro residual libre (Calculado)	Error porcentual
06:00	0,66	0,64	3,03%
11:00	1,30	1,32	-1,54%
Error porcentual promedio			<b>0,75%</b>

Margen de error (+-%) =  $(CRL_{campo} - CRL_{calculado} / CRL_{campo}) \times 100 = 0,75\%$

#### Interpretación.

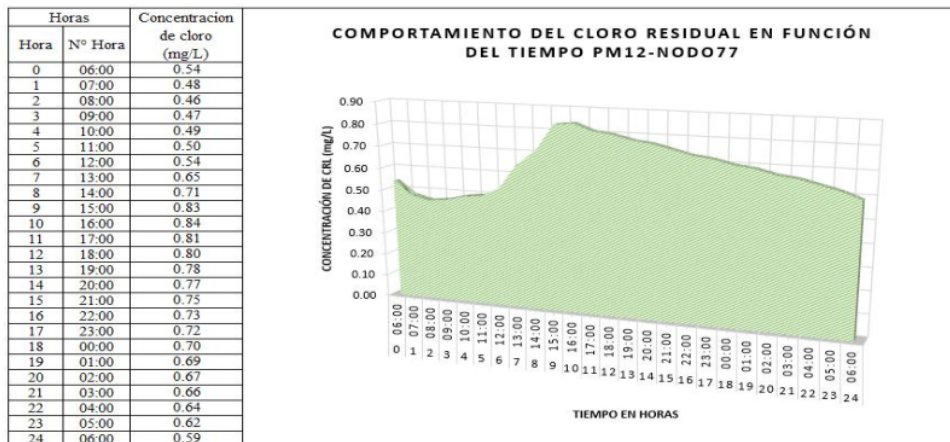
En la tabla se tiene que, la concentración de CLR a las 6:00hrs, en campo es de 0,66 mg/L y la concentración de CLR calculado a la misma hora es de 0,64 mg/L; aplicando la fórmula de margen de error se obtiene un error porcentual de 3,03%; de igual manera se procedió con la muestra realizada las 11:00 hrs, teniendo un margen de error de -1,54%. Por lo que se determinó que el error porcentual promedio es de 0,75%. Es aceptable basándose en lo mencionado por (Ochoa & Bourguett, 2001). "El criterio que debes usar para considerar calibrado el modelo considera que la diferencia entre los datos del modelo y de campo sean menores al +- 20 por ciento" para determinar si la calibración fue realizada eficazmente.

2

#### ✓ Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo-Punto de Muestreo 11

10

En la siguiente tabla y grafico se representa el comportamiento del cloro en la red de distribución de agua en el punto de Muestreo 12 – Nodo 77



**Figura 27.**  
Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo PM12 - Nodo 77

### Interpretación

En el gráfico se visualiza la variación y comportamiento del cloro residual en el Nodo 77 con respecto a un tiempo de 24 horas; siendo el valor máximo de cloro residual de 0,84 mg/L calculado en la hora 10 de aplicado el cloro, correspondiente a las 16:00 hrs. y el valor mínimo de cloro residual de 0,46 mg/L calculado en la hora 2 de aplicado el cloro, correspondiente a las 8:00 hrs.

**Tabla 17.**

Comparación del cloro residual en el PM-12 (Nodo 77)

Hora	Concentración de cloro residual libre (Medido en campo)	Concentración de cloro residual libre (Calculado)	Error porcentual
06:00	0,57	0,54	5,26%
17:00	0,79	0,81	-2,53%
Error porcentual promedio			1,37

$$\text{Margen de error (+\%)} = (\text{CRLcampo} - \text{CRLcalculado} / \text{CRLcampo}) \times 100 = 1,37\%$$

### Interpretación.

En la tabla se tiene que, la concentración de CLR a las 06:00hrs, en campo es de 0,57 mg/L y la concentración de CLR calculado a la misma hora es de 0,54 mg/L; aplicando la fórmula de margen de error se obtiene un error porcentual de 5,26%; de igual manera se procedió con la muestra realizada las 17:00 hrs, teniendo un margen de error de 2,53%. Por lo que se determinó que el error porcentual promedio es de 1,37%. Es aceptable basándose en lo mencionado por (Ochoa & Bourguett, 2001). "El criterio que debes usar para considerar calibrado el modelo considera que la

diferencia entre los datos del modelo y de campo sean menores al +- 20 por ciento" para determinar si la calibración fue realizada eficazmente.

2 ✓ **Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo-Punto de Muestreo 13**

En la siguiente tabla y grafico se representa el comportamiento del cloro en la red de distribución de agua en el punto de Muestreo 13 – Nodo 87.

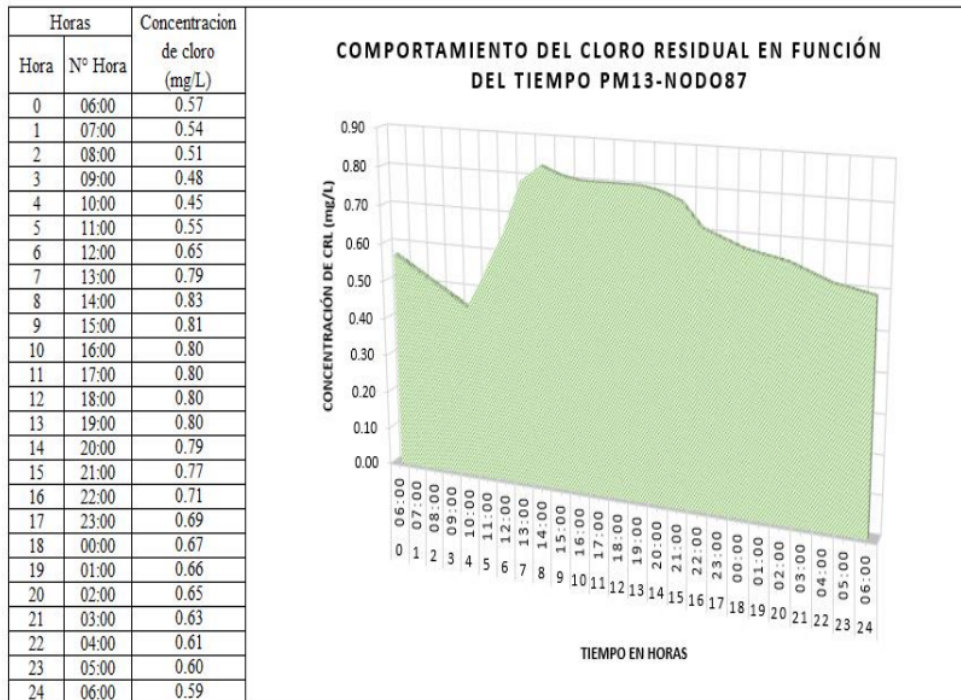


Fig 28.

Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo PM13 - Nodo 87

7 **Interpretación**

En el grafico se visualiza la variación y comportamiento del cloro residual en el Nodo 87 con respecto a un tiempo de 24 horas; siendo el valor máximo de cloro residual de 0,83 mg/L calculado en la hora 08 de aplicado el cloro, correspondiente a las 14:00 hrs. y el valor mínimo de cloro es de 0,45 mg/L calculado en la hora 4 de aplicado el cloro, correspondiente a las 10:00 hrs.

**Tabla 18.** <sup>1</sup> Comparación del cloro residual en el PM-13 (Nodo 87)

Hora	Concentración de cloro residual libre (Medido en campo)	Concentración de cloro residual libre (Calculado)	Error porcentual
07:00	0,58	0,54	6,90%
18:00	0,82	0,80	2,44%
Error porcentual promedio			<b>4,67</b>

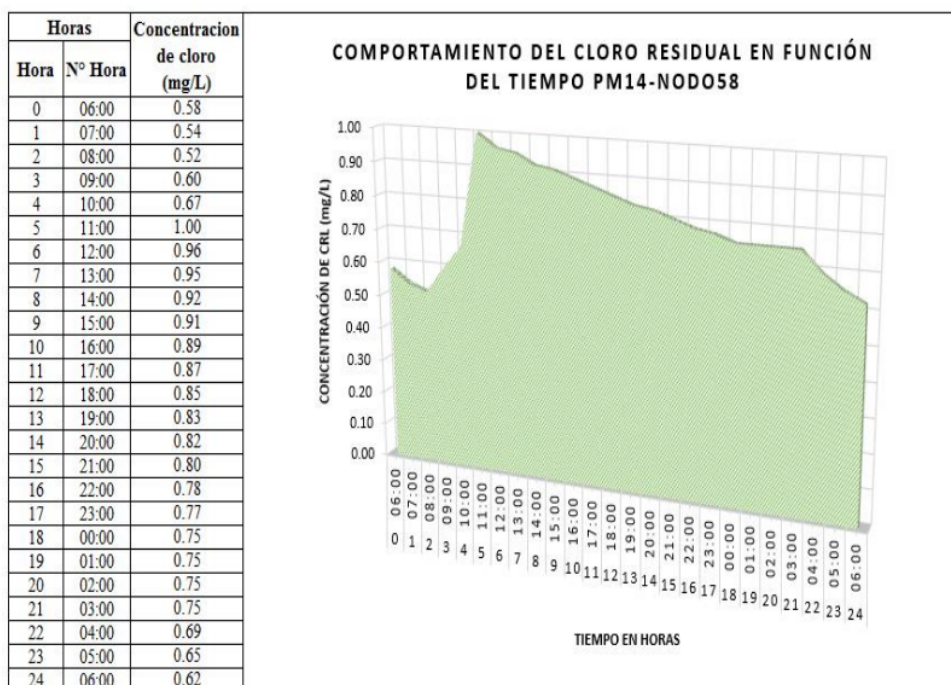
Margen de error (+-%) =  $(CRL_{campo} - CRL_{calculado} / CRL_{campo}) \times 100 = 4,67\%$

#### Interpretación.

En la tabla se tiene que, la concentración de CLR a las 07:00hrs, en campo es de 0,58 mg/L y la concentración de CLR calculado a la misma hora es de 0,54 mg/L; aplicando la fórmula de margen de error se obtiene un error porcentual de 6,90%; de igual manera se procedió con la muestra realizada las 17:00 hrs, teniendo un margen de error de 2,44%. Por lo que se determinó que el error porcentual promedio es de 4,67%. Es aceptable basándose en lo mencionado por (Ochoa & Bourguett, 2001). "El criterio que debes usar para considerar calibrado el modelo considera que la diferencia entre los datos del modelo y de campo sean menores al +- 20 por ciento" para determinar si la calibración fue realizada eficazmente.

#### ✓ <sup>2</sup> Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo-Punto de Muestreo 14

En la siguiente tabla y grafico se representa el comportamiento en el punto de Muestreo 14 – Nodo 58.



**Figura 29.**

*Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo PM14 - Nodo 58*

### Interpretación

En el gráfico se visualiza la variación y comportamiento del cloro residual en el Nodo 58 con respecto a un tiempo de 24 horas; siendo el valor máximo de cloro residual de 1,00 mg/L calculado en la hora 05 de aplicado el cloro, correspondiente a las 11:00 hrs. y el valor mínimo de cloro residual de 0,52 mg/L calculado en la hora 2 de aplicado el cloro, correspondiente a las 08:00 hrs.

**Tabla 19.**

*Comparación del cloro residual en el PM-14 (Nodo 58)*

Hora	Concentración de cloro residual libre (Medido en campo)	Concentración de cloro residual libre (Calculado)	Error porcentual
10:00	0,66	0,67	-1,52%
17:00	0,9	0,87	3,33%
<i>Error porcentual promedio</i>			<b>0,91</b>

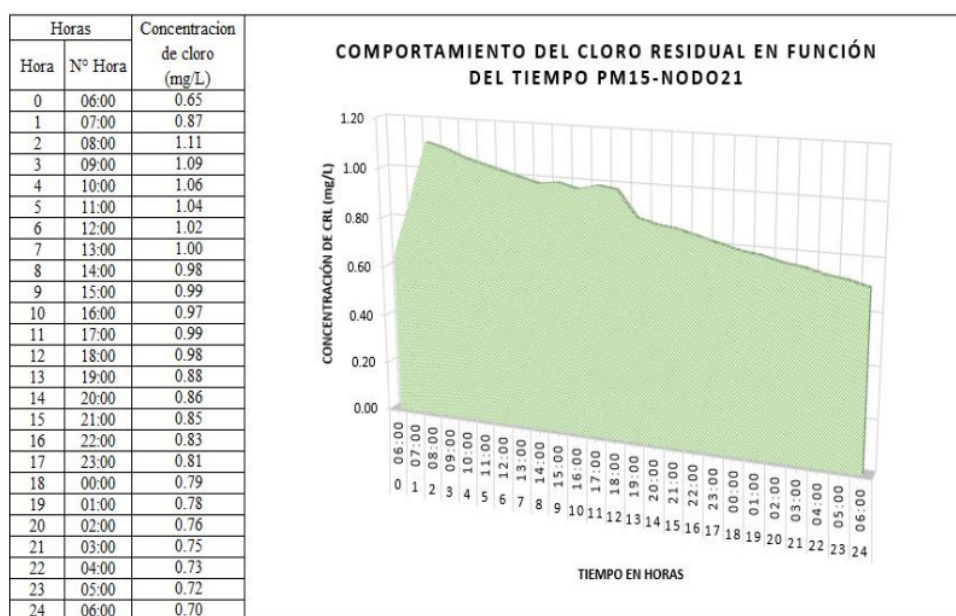
$$\text{Margen de error (+\%)} = (\text{CRLcampo} - \text{CRLcalculado} / \text{CRLcampo}) \times 100 = 0,91\%$$

### Interpretación.

En la tabla se tiene que, la concentración de CLR a las 10:00hrs, en campo es de 0,66 mg/L y la concentración de CLR calculado a la misma hora es de 0,67 mg/L; aplicando la fórmula de margen de error se obtiene un error porcentual de -1,52%; de igual manera se procedió con la muestra realizada las 17:00 hrs, teniendo un margen de error de 3,33%. Por lo que se determinó que el error porcentual promedio es de 0,91%. Es aceptable basándose en lo mencionado por (Ochoa & Bourguett, 2001). "El criterio que debes usar para considerar calibrado el modelo considera que la diferencia entre los datos del modelo y de campo sean menores al +- 20 por ciento" para determinar si la calibración fue realizada eficazmente.

### 2 Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo-Punto de Muestreo 15

En la siguiente tabla y grafico se representa el comportamiento del cloro en la red de distribución de agua en el punto de Muestreo 15 – Nodo 21.



**Figura 30.**

*Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo PM15 - Nodo 21*

### Interpretación

En el grafico se visualiza la variación y comportamiento del cloro residual en el Nodo 21 con respecto a un tiempo de 24 horas; siendo el valor máximo de cloro de 1,11 mg/L calculado en la hora 02 de aplicado el cloro, correspondiente a las 08:00 hrs. y el valor



14 mínimo de cloro residual de 0,65 mg/L calculado en la hora 24 de aplicado el cloro, correspondiente a las 06:00 hrs.

1 **Tabla 20.**

Comparación del cloro residual en el PM-15 (Nodo 21)

Hora	Concentración de cloro residual libre (Medido en campo)	Concentración de cloro residual libre (Calculado)	Error porcentual
06:00	0,69	0,65	5,80%
12:00	1,07	1,02	4,67%
<i>Error porcentual promedio</i>			<b>5,23%</b>

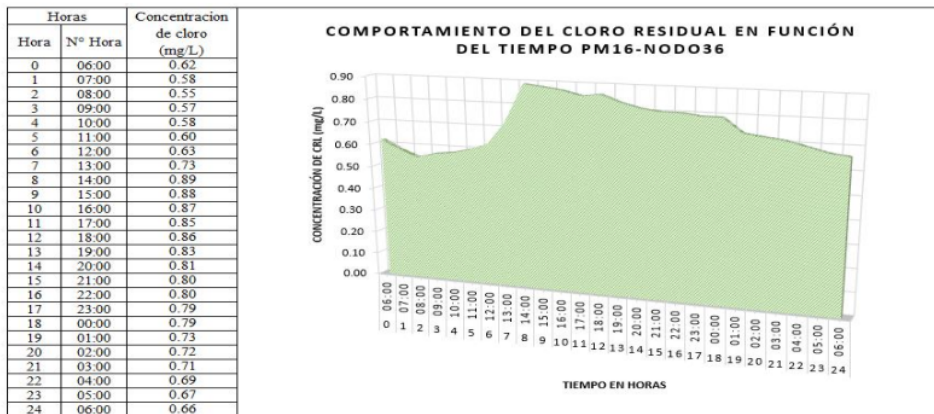
$\text{Margen de error (+\%)} = (\text{CRLcampo} - \text{CRLcalculado} / \text{CRLcampo}) \times 100 = 5,23\%$

#### Interpretación.

En la tabla se tiene que, la concentración de CLR a las 06:00hrs, en campo es de 0,69 mg/L y la concentración de CLR calculado a la misma hora es de 0,65 mg/L; aplicando la fórmula de margen de error se obtiene un error porcentual de 5,80%; de igual manera se procedió con la muestra realizada las 12:00 hrs, teniendo un margen de error de 4,67%. Por lo que se determinó que el error porcentual promedio es de 5,23%. Es aceptable basándose en lo mencionado por (Ochoa & Bourguett, 2001). "El criterio que debes usar para considerar calibrado el modelo considera que la diferencia entre los datos del modelo y de campo sean menores al +- 20 por ciento" para determinar si la calibración fue realizada eficazmente.

2 ✓ **Comportamiento del Cloro Residual en 10 ción del tiempo-Punto de Muestreo 16**

En la siguiente tabla y grafico se representa el comportamiento del cloro en la red de distribución de agua en el punto de Muestreo 16 – Nodo 21



**Figura 31.**

Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo PM16 - Nodo 36

### Interpretación

En el gráfico se visualiza la variación y comportamiento del cloro residual en el Nodo 36 con respecto a un tiempo de 24 horas; siendo el valor máximo de cloro residual de 0,89 mg/L calculado en la hora 08 de aplicado el cloro, correspondiente a las 14:00 hrs. y el valor mínimo de cloro residual de 0,55 mg/L calculado en la hora 02 de aplicado el cloro, correspondiente a las 08:00 hrs.

**Tabla 21.**

Comparación del cloro residual en el PM-16 (Nodo 36)

Hora	Concentración de cloro residual libre (Medido en campo)	Concentración de cloro residual libre (Calculado)	Error porcentual
15:00	0,86	0,88	-2,33%
17:00	0,86	0,85	1,16%
<i>Error porcentual promedio</i>			<b>-0,58%</b>

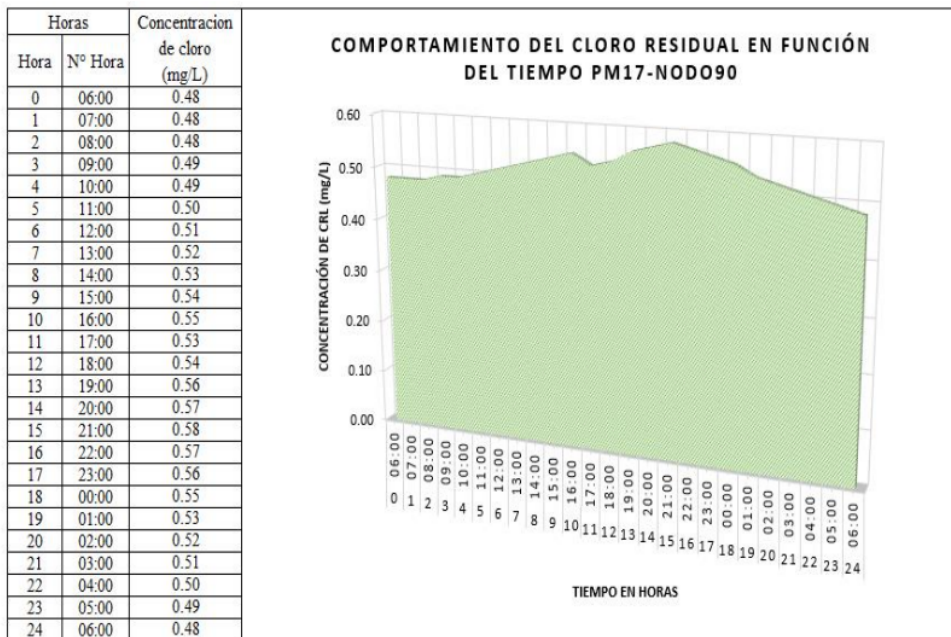
$$\text{Margen de error (+\%)} = (CRL_{\text{campo}} - CRL_{\text{calculado}} / CRL_{\text{campo}}) \times 100 = -0,58\%$$

### Interpretación.

En la tabla se tiene que, la concentración de CLR a las 15:00hrs, en campo es de 0,86 mg/L y la concentración de CLR calculado a la misma hora es de 0,88 mg/L; aplicando la fórmula de margen de error se obtiene un error porcentual de -2,33%; de igual manera se procedió con la muestra realizada las 17:00 hrs, teniendo un margen de error de 1,16%. Por lo que se determinó que el error porcentual promedio es de -0,58%. Es aceptable basándose en lo mencionado por (Ochoa & Bourguett, 2001). "El criterio que

debes usar para considerar calibrado el modelo considera que la diferencia entre los datos del modelo y de campo sean menores al +- 20 por ciento" para determinar si la calibración fue realizada eficazmente.

- 2 ✓ **Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo-Punto de Muestreo 17**  
 5 En la siguiente tabla y grafico se representa el comportamiento del cloro en la red de distribución de agua del Centro Poblado Marona, en el punto de Muestreo 17 – Nodo 90.



2 **Figura 32.**  
 Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo PM17 - Nodo 90

### Interpretación 7

En el grafico se visualiza la variación y comportamiento del cloro residual en el Nodo 90 con respecto a un tiempo de 24 horas; siendo el valor máximo de cloro residual de 0,58 mg/L calculado en la hora 15 de aplicado el cloro, correspondiente a las 21:00 hrs. y el valor mínimo de cloro residual de 0,48 mg/L calculado en la hora 24 de aplicado el cloro, correspondiente a las 06:00 hrs.

**Tabla 22.** <sup>1</sup> Comparación del cloro residual en el PM-17 (Nodo 90)

Hora	Concentración de cloro residual libre (Medido en campo)	Concentración de cloro residual libre (Calculado)	Error porcentual
06:00	0,47	0,48	-2,13%
11:00	0,48	0,50	-4,17%
<i>Error porcentual promedio</i>			<b>-3,15%</b>

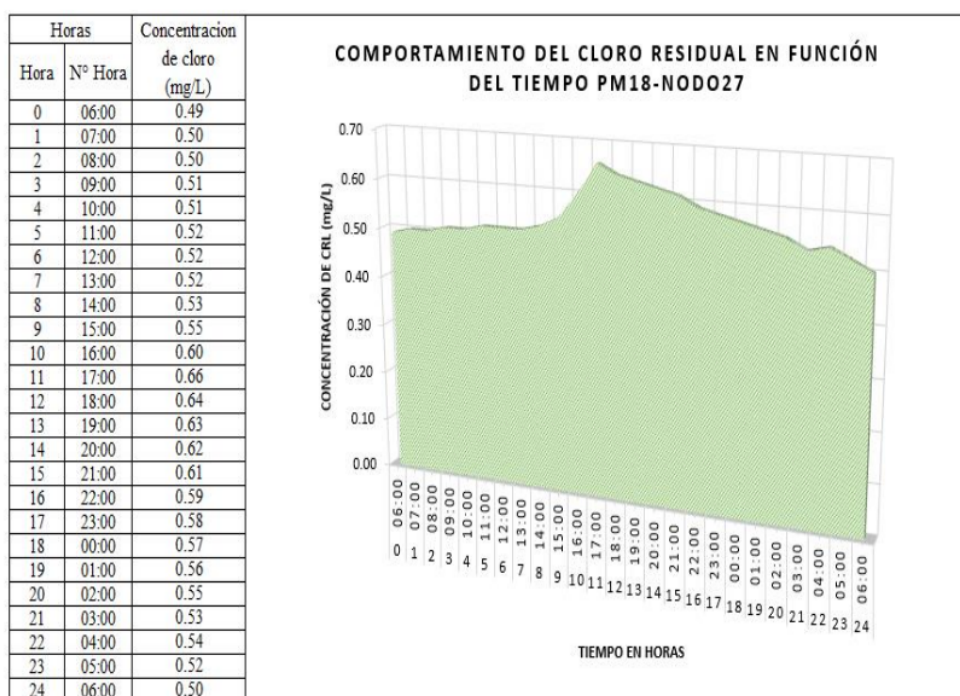
*Margen de error (+-%) = (CRLcampo – CRLcalculado/ CRLcampo) x 100 = -3,15%*

#### **Interpretación.**

En la tabla se tiene que, la concentración de CLR a las 06:00hrs, en campo es de 0,47 mg/L y la concentración de CLR calculado a la misma hora es de 0,48 mg/L; aplicando la fórmula de margen de error se obtiene un error porcentual de -2,13%; de igual manera se procedió con la muestra realizada las 11:00 hrs, teniendo un margen de error de -4,17%. Por lo que se determinó que el error porcentual promedio es de -3,15%. Es aceptable basándose en lo mencionado por (Ochoa & Bourguett, 2001). "El criterio que debes usar para considerar calibrado el modelo considera que la diferencia entre los datos del modelo y de campo sean menores al +- 20 por ciento" para determinar si la calibración fue realizada eficazmente.

#### ✓ <sup>2</sup> **Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo-Punto de Muestreo 18**

En la siguiente tabla y grafico se representa la variación del cloro en el punto de Muestreo 18 – Nodo 27.



**Figura 33.**

*Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo PM18 - Nodo 27*

### Interpretación

En el gráfico se visualiza la variación y comportamiento del cloro residual en el Nodo 27 con respecto a un tiempo de 24 horas; siendo el valor máximo de cloro residual de 0,66 mg/L calculado en la hora 11 de aplicado el cloro, correspondiente a las 17:00 hrs. y el valor mínimo de cloro residual de 0,49 mg/L calculado en la hora 24 de aplicado el cloro, correspondiente a las 06:00 hrs.

**Tabla 23.**

*Comparación del cloro residual en el PM-18 (Nodo 27)*

Hora	Concentración de cloro residual libre (Medido en campo)	Concentración de cloro residual libre (Calculado)	Error porcentual
07:00	0,55	0,50	9,09%
16:00	0,56	0,60	-7,14%
<i>Error porcentual promedio</i>			<b>0,97%</b>

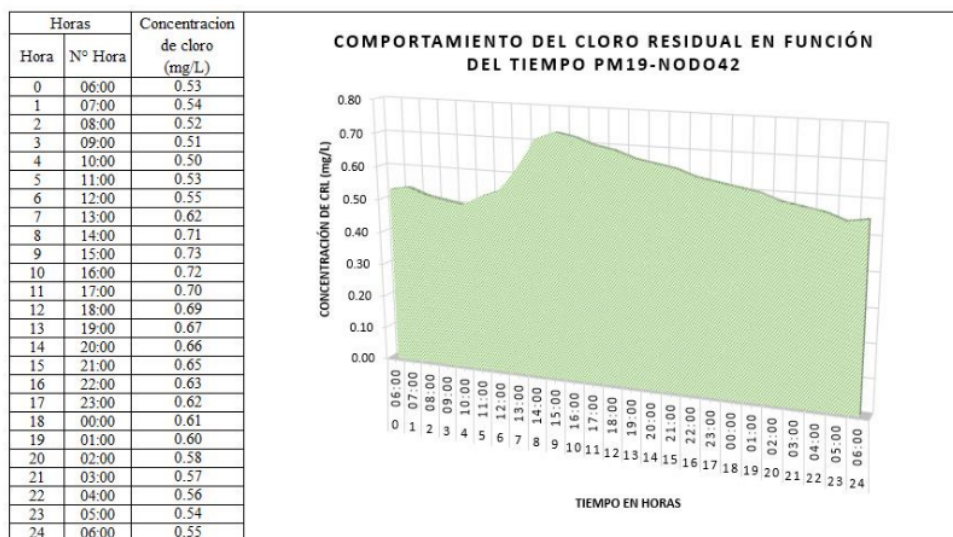
*Margen de error (+-%) = (CRLcampo – CRLcalculado/ CRLcampo) x 100 = 0,97%*

### Interpretación.

En la tabla se tiene que, la concentración de CLR a las 07:00hrs, en campo es de 0,55 mg/L y la concentración de CLR calculado a la misma hora es de 0,50 mg/L; aplicando la fórmula de margen de error se obtiene un error porcentual de 9,09%; de igual manera se procedió con la muestra realizada las 16:00 hrs, teniendo un margen de error de - 7,14%. Por lo que se determinó que el error porcentual promedio es de 0,97%. Es aceptable basándose en lo mencionado por (Ochoa & Bourguett, 2001). "El criterio que debes usar para considerar calibrado el modelo considera que la diferencia entre los datos del modelo y de campo sean menores al +- 20 por ciento" para determinar si la calibración fue realizada eficazmente.

### 2 ✓ Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo-Punto de Muestreo 19

En la siguiente tabla y grafico se representa el comportamiento del cloro en la red de distribución de agua del Centro Poblado Marona, en el punto de Muestreo 19 – Nodo 42



### 2 Figura 34.

Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo PM19 - Nodo 42

### Interpretación

En el grafico se visualiza la variación y comportamiento del cloro residual en el Nodo 42 con respecto a un tiempo de 24 horas; siendo el valor máximo de cloro residual de 0,73 mg/L calculado en la hora 9 de aplicado el cloro, correspondiente a las 15:00 hrs. y el valor mínimo de cloro residual de 0,50 mg/L calculado en la hora 04 de aplicado el cloro, correspondiente a las 10:00 hrs.

**Tabla 24.**

Comparación del cloro residual en el PM-19 (Nodo 42)

Hora	1 Concentración de cloro residual libre (Medido en campo)	Concentración de cloro residual libre (Calculado)	Error porcentual
07:00	0,57	0,54	5,26%
13:00	0,67	0,62	7,46%
Error porcentual promedio			<b>6,36%</b>

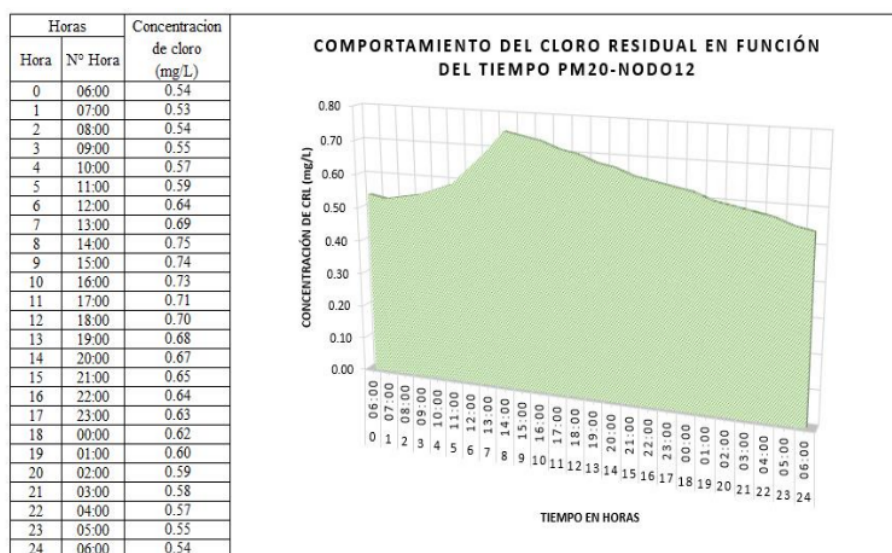
Margen de error (+-%) =  $(CRL_{campo} - CRL_{calculado} / CRL_{campo}) \times 100 = 6,36\%$

#### Interpretación.

En la tabla se tiene que, la concentración de CLR a las 07:00hrs, en campo es de 0,57 mg/L y la concentración de CLR calculado a la misma hora es de 0,54 mg/L; aplicando la fórmula de margen de error se obtiene un error porcentual de 5,26%; de igual manera se procedió con la muestra realizada las 13:00 hrs, teniendo un margen de error de 7,46%. Por lo que se determinó que el error porcentual promedio es de 6,36%. Es aceptable basándose en lo mencionado por (Ochoa & Bourguett, 2001). "El criterio que debes usar para considerar calibrado el modelo considera que la diferencia entre los datos del modelo y de campo sean menores al +- 20 por ciento" para determinar si la calibración fue realizada eficazmente.

#### 2 ✓ Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo-Punto de Muestreo 20

En la siguiente tabla y grafico se representa el comportamiento del cloro en la red de distribución de agua del Centro Poblado Marona, en el punto de Muestreo 20 – Nodo 12.



**Figura 35.**

*Comportamiento del Cloro Residual en función del tiempo PM20 - Nodo 12*

### Interpretación

En el gráfico se visualiza la variación y comportamiento del cloro residual en el Nodo 12 con respecto a un tiempo de 24 horas; siendo el valor máximo de cloro residual de 0,75 mg/L calculado en la hora 8 de aplicado el cloro, correspondiente a las 14:00 hrs. y el valor mínimo de cloro residual de 0,53 mg/L calculado en la hora 01 de aplicado el cloro, correspondiente a las 07:00 hrs.

**Tabla 25.**

*Comparación del cloro residual en el PM-20 (Nodo 12)*

Hora	Concentración de cloro residual libre (Medido en campo)	Concentración de cloro residual libre (Calculado)	Error porcentual
06:00	0,53	0,54	-1,89%
17:00	0,67	0,71	-5,97%
<i>Error porcentual promedio</i>			<b>-3,93%</b>

$$\text{Margen de error (+\%)} = (\text{CRLcampo} - \text{CRLcalculado} / \text{CRLcampo}) \times 100 = -3,93\%$$

### Interpretación.

En la tabla se tiene que, la concentración de CLR a las 06:00hrs, en campo es de 0,53 mg/L y la concentración de CLR calculado a la misma hora es de 0,54 mg/L; aplicando la fórmula de margen de error se obtiene un error porcentual de -1,89%; de igual manera se procedió con la muestra realizada las 15:00 hrs, teniendo un margen de



error de -5,97%. Por lo que se determinó que el error porcentual promedio es de -3,93%. Es aceptable basándose en lo mencionado por (Ochoa & Bourguett, 2001). “El criterio que debes usar para considerar calibrado el modelo considera que la diferencia entre los datos del modelo y de campo sean menores al +- 20 por ciento” para determinar si la calibración fue realizada eficazmente.

#### 5 4.3 Evaluación de la modelación y simulación del cloro residual en campo para la determinación de la calidad microbiológica del agua

En la siguiente tabla se observa la concentración de cloro residual libre tomados en campo promediados:

**Tabla 26.**

*Concentraciones promedio de Cloro residual libre tomados en campo.*

PM1	ID NODO	Fecha		Concentración de CRL en campo	Concentración medio
		Día	Hora		
PM1	11	14/01/2022	06:28 hrs	1,07 mg/L	1,14 mg/L
		14/01/2022	08:41 hrs	1,21 mg/L	
PM2	20	17/01/2022	06:43 hrs	0,68 mg/L	0,86 mg/L
		17/01/2022	09:26 hrs	1,03 mg/L	
PM3	47	20/01/2022	06:37 hrs	0,63 mg/L	0,69 mg/L
		20/01/2022	08:12 hrs	0,74 mg/L	
PM4	29	22/01/2022	06:26 hrs	0,68 mg/L	0,85 mg/L
		22/01/2022	11:10 hrs	1,3 mg/L	
PM5	92	26/01/2022	08:31 hrs	0,77 mg/L	0,84 mg/L
		26/01/2022	10:27 hrs	0,90 mg/L	
PM6	89	29/01/2022	11:04 hrs	0,80 mg/L	0,82 mg/L
		29/01/2022	02:23 hrs	0,84 mg/L	
PM7	79	02/02/2022	02:18 hrs	0,67 mg/L	0,75 mg/L
		02/02/2022	05:03 hrs	0,82 mg/L	
PM8	25	04/02/2022	07:13 hrs	0,81 mg/L	0,90 mg/L
		04/02/2022	03:09 hrs	0,98 mg/L	
PM9	19	08/02/2022	10:34 hrs	1,3 mg/L	0,95 mg/L
		08/02/2022	06:47 hrs	0,66 mg/L	
PM10	57	12/02/2022	11:07 hrs	0,97 mg/L	0,99 mg/L
		12/02/2022	05:03 hrs	1,01 mg/L	
PM11	91	15/02/2022	06:26 hrs	0,66 mg/L	0,98 mg/L
		15/02/2022	11:41 hrs	1,30 mg/L	
PM12	77	18/02/2022	06:32 hrs	0,57 mg/L	0,68 mg/L
		18/02/2022	05:12 hrs	0,79 mg/L	
PM13	87	21/02/2022	07:37 hrs	0,58 mg/L	0,70 mg/L
		21/02/2022	06:16 hrs	0,82 mg/L	
PM14	58	24/02/2022	10:21 hrs	0,66 mg/L	0,78 mg/L
		24/02/2022	05:18 hrs	0,90 mg/L	
PM15	21	28/02/2022	06:31 hrs	0,69 mg/L	0,88 mg/L
		28/02/2022	12:08 hrs	1,3 mg/L	
PM16	36	03/03/2022	03:28 hrs	1,3 mg/L	0,86 mg/L
		03/03/2022	05:06 hrs	0,86 mg/L	
PM17	90	07/03/2022	06:17 hrs	0,47 mg/L	0,48 mg/L
		07/03/2022	11:12 hrs	3,8 mg/L	
PM18	27	10/03/2022	07:26 hrs	0,55 mg/L	0,56 mg/L
		10/03/2022	04:19 hrs	0,56 mg/L	
PM19	42	14/03/2022	07:26 hrs	0,57 mg/L	0,62 mg/L

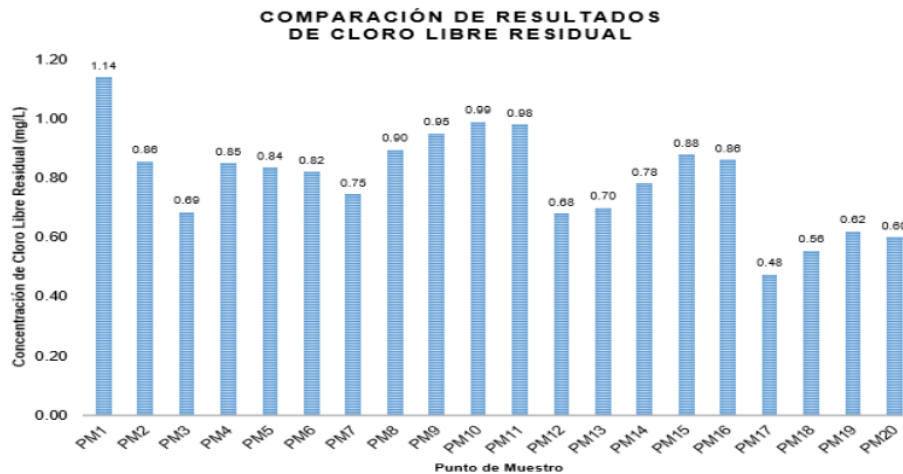
		14/03/2022	01:19 hrs	0,67 mg/L	
PM20	12	18/03/2022	06:28 hrs	0,53 mg/L	0,60 mg/L
		18/03/2022	05:11 hrs	0,67 mg/L	

### Interpretación. <sup>1</sup>

Al concluir con la simulación del cloro residual en las redes de distribución de agua potable del Centro Poblado Marona, se realizó la evaluación con el muestreo en campo en el cual se obtuvo los datos mostrados en la Tabla 26. Obteniendo resultados óptimos para demostración de que la calidad microbiológica del agua es apta y se encuentra dentro de los límites máximos permitidos. <sup>28</sup>

Se puede observar que cada punto de muestro tiene una concentración <sup>16</sup> de cloro residual libre apta y que no baja, ni supera el límite máximo permitido por el DS N° 001-2010-S.A. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (0,5 mg/L - 5 mg/L); por lo <sup>23</sup> tanto, la simulación de cloro residual libre aplicado si cumple con los rangos exigidos, y el agua del Centro Poblado Marona, es microbiológicamente apta para el consumo humano. <sup>1</sup>

En el grafico que se presenta a continuación, se visualiza <sup>12</sup> los niveles de concentración del cloro residual por nodos o puntos de muestro ejecutados en el Centro Poblado Marona. <sup>1</sup>



**Figura 36.**

Comparación de resultados de cloro residual libre en campo

### Interpretación.

Se calculó y evaluó en campo las concentraciones de cloro por nodo concluyendo que la máxima y mínima concentración de los puntos de muestros realizados son de 0,48mg/L en el PM17 y 1,14mg/L en el PM1.

## CONCLUSIONES

1. Se logró analizar exitosamente 20 puntos de muestreo para cloro libre residual durante tres meses, tomándose dos muestras en diferentes horas en una misma fecha, esto para todos los puntos de muestreo, obteniendo <sup>1</sup> resultados mayores de 0,5mg/L y menores que 5mg/L. Por lo tanto, se concluye <sup>1</sup> que la concentración del cloro libre residual es aceptable para el consumo de los usuarios que se benefician de la red de agua del Centro Poblado Marona ya que está dentro el alcance establecido por el DS N°031-2010-SA.
2. La influencia <sup>5</sup> del modelamiento y simulación del cloro residual en redes, en la calidad <sup>29</sup> microbiológica del agua del centro poblado de Marona permitió lograr simular el comportamiento hidraulico de la red y variación del cloro libre en la misma. Así mismo, se estableció la relación de cloro residual en la corrosión de la tubería que transporta el agua desde la captación hasta los domicilios tal como se muestra en la tabla cuatro (4), cinco (5), seis (6).
3. Con el modelamiento, se puede <sup>1</sup> concluir que la calidad microbiológica <sup>6</sup> de la red de agua del Centro Poblado Marona se encuentra dentro los Límites Máximos Permitidos para el consumo humano, ya que la mínima concentración de cloro residual conseguido en campo es 0,48 mg/L y la máxima concentración es de 1,14 mg/L. Por tanto, los resultados se consideran aceptables, debido a que la OMS decreta que el límite mínimo de cloro aceptable en el agua es 0,5 mg/L y el límite máximo de cloro permitido en el agua es de 5 mg/L, se tiene en cuenta el Artículo 66° el cual indica que, “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” (MINSAL, 2010).
4. Con la comparación de <sup>1</sup> los datos obtenidos en campo, con los simulados en el software, se obtiene un error porcentual dentro del rango permitido, +-20% en cada punto de muestreo comparado, siendo este el indicador que considera a un modelo optimo y calibrado según lo mencionado por (Ochoa & Bourguett, 2001).

## RECOMENDACIONES

Con respecto al modelamiento propuesto y los resultados obtenidos, se recomienda lo siguiente:

1. Al Área Técnica Municipal de Moyobamba, realizar una planificación, operación y gestión de los sistemas de distribución de agua potable.
2. A la JASS del centro poblado Marona, realizar un análisis microbiológico cada dos meses a la captación del Centro Poblado Marona, que comprendan los parámetros apropiados, las muestras para coliformes fecales y los análisis para el cloro, de acuerdo al número poblacional, como lo indica la OMS (0,5 mg/L y 5 mg/L).
3. Al Área de Catastro de la Municipalidad Provincial de Moyobamba, la actualización constante de los planos topográficos de la zona de estudio y en caso de no existir realizar un estudio topográfico para realizar el modelamiento y simulación hidráulica adecuada.
4. A los futuros investigadores de la facultad de Ecología – UNSM interesados en el tema, indagar en el tema de implementación de modelos hidráulicos y de calidad mediante software tal como aplican otros países con ayuda de la tecnología para resolver problemas tales como variaciones de presión en la red, problemas de agua no contabilizada, identificación de fugas y/o roturas de tuberías, decaimiento de cloro libre residual que son generados al no tener un control y monitoreo más preciso.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agüero, R. *Agua potable para poblaciones rurales*. Lima – Perú, 1997
- Anaya, M. *Oferta de la Demanda Hídrica*. República Dominicana, 2010
- Aguilar, J. *Modelación para evaluar cloro residual en la red principal del sistema de agua potable de Buenavista, Cantón Pasaje, provincia de El Oro*. Machala, Ecuador. Machala – Ecuador, 2015.
- Álvarez, F. J. *Manual de Tratamientos del Agua de Consumo Humano*. Perú, 2009.
- Arreguin J. *Decaimiento del cloro por reacción con el agua en las redes de distribución*. Morelos, México, 2004.
- Blentey, *WaterCAD Water Distribution Modeling and Management*, 2014.
- Bonnefoy, X. *Agua*. Estados Unidos, 2004.
- Bunge, M, *La investigación científica. Su estrategia y su filosofía*. Barcelona, 1971.
- Córdova R. Zelaya W. *Generación de un modelo de simulación para la optimización de redes de agua potable de las ciudades de Huaraz e Independencia provincia Huaraz-Ancash*. Huaraz, Ancash, 2017.
- Comisión Nacional de Agua. *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Modelación Hidráulica y de Calidad del Agua en Redes de Distribución*. México, 1990.
- Cooperación Alemana. Implementada por la Deutsche Gesellschaft Für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, *Manual para la cloración del agua en sistemas de abastecimiento de agua potable en el ámbito rural*. Miraflores, Perú, 2017.
- DOMUS Consultoría Ambiental SAC. *EIA para la Perforación de Pozos Exploratorios*. Lima - Perú, 2010.
- Enciso, N. *Seguimiento de la concentración de cloro residual en tanque de almacenamiento, red de distribución y tanques residenciales en el Municipio de Fortul, departamento de Arauca*. Bogotá D.C, 2019.
- Eugene, M. *Agua y Salud Humana*. Lima - Perú, 1998
- Fustamante, N. *Manual para la cloración del agua en sistemas de abastecimiento de agua potable en el ámbito rural*. Lima, Perú, 2017
- García, A. *Introducción a la simulación de Sistemas discretos*. 2009.

- Guanuchi. *Evaluación del cloro residual en la red de distribución de agua potable del cantón Azogues a través de un modelo experimental*. Cuenca, Ecuador, 2017.
- Hoyos, D. y Tuesta, C. *Simulación hidráulica de las redes de distribución del barrio Zaragoza a partir de la determinación de los coeficientes de variación diaria y horaria, para futuras habilitaciones urbanas de la ciudad de Moyobamba 2016*. Moyobamba – Perú., 2017.
- Inca, H. y Ulloa, S. *Modelamiento y simulación de la concentración de cloro residual en la red de agua del caserío de Pueblo Nuevo-Santiago de Chuco*. Trujillo - Perú, 2018.
- MINSA (Ministerio de Salud), *Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano: D.S. N° 031-2010-SALUD. Dirección General de Salud Ambiental*. Lima, Perú, 2010.
- Maldonado, C. y Gomes, N. *Modelamiento y simulación de sistemas complejos*. Bogotá D.C, 2010
- Marinof, L. *Abastecimiento de agua por gravedad para poblaciones rurales*. Lima, Perú, 2001
- Mcghee, T. *Abastecimiento de agua y alcantarillado: Ingeniería Ambiental*, 1999.
- Moreno, López. *Manual N° 06. Determinación de cloro residual. Manual N° 06*. México, 1991
- Muñoz, R. *Eficiencia del sistema de cloración por goteo para el mejoramiento de la calidad del agua de consumo humano del caserío Cauchamayo-Celendín*. Cajamarca – Perú, 2019.
- Nizama, J. *Determinación del decaimiento de cloro con reacción de la masa de agua en tuberías de la red de distribución de agua potable en la localidad de San Miguel de Monterrey, distrito de Independencia, Huaraz, Ancash*. Huaraz – Ancash, 2019.
- OMS, *Guía sobre los requisitos de las practicas adecuadas de fabricación. Segunda parte*. Ginebra, 2010.
- Reed. *Organización Mundial de la Salud, Medición del cloro residual en el agua*. Ginebra, Suiza, 2009
- Rodríguez, Y. *Modelamiento de cloro residual con Watercad en las redes de distribución de agua potable de la ciudad de Rioja, provincia de Rioja para determinar la calidad microbiológica, 2017*. Moyobamba - Perú, 2018

Rojacques, M. *Difusión del Cloro en Redes de Tuberías a Presión. Universidad Nacional Autónoma de México*, 2015

Serrano, A. y Martínez, R. *Guía básica del control de calidad de agua, 2018. Mozambique - Perú*, 2018.

Tarifa. *Teoría de modelos y simulación. Introducción a la simulación. Facultad de ingeniería –Universidad Nacional de Jujuy. Jujuy, Argentina*, 2017.

Vásquez, O. y Bardales, M. *Generación de un modelo de simulación hidráulica con uso de software`s para la optimización de redes de agua potable de la ciudad de rioja, 2015. Moyobamba, Perú*, 2017.

## PANEL FOTOGRÁFICO

**Fotografía 1.** Recorrido de reconocimiento de la captación del sistema de agua potable de Marona.



**Fotografía 1.** Recorrido de reconocimiento del reservorio del sistema de agua potable de Marona.





**Fotografía 3.** Preparación del cloro para vertimiento al Reservorio.



**Fotografía 4.** Vertimiento del cloro



**Fotografía 5.** Dilución de cloro en tanque de cloración



**Fotografía 6.** Muestreo de cloro en el reservorio.



**Fotografía 7.** Toma de muestra de cloro residual en el PM-12



**Fotografía 8.** Resultado de muestra de cloro residual en PM-12



**Fotografía 9.** Toma de muestra de cloro residual en el PM-3



**Fotografía 10.** Resultado de muestra de cloro residual en PM-3



**Fotografía 5.** Toma de muestra de cloro residual en el PM-4



**Fotografía 4.** Resultado de muestra de cloro residual en PM-4



## ANEXOS

## Anexo 01. Resolución de ejecución de proyecto de investigación

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN**

Teléf. 524253 - 522544 - Fax 524253 - Apartado 239

**FACULTAD DE ECOLOGÍA**Prolongación 20 de abril S/N - Moyobamba  
Teléfono 042- 562458**CONSEJO DE FACULTAD TRANSITORIO****Ley Universitaria N° 30220****Resolución N° 348-2021-UNSM/CFT/FE****Moyobamba, 21 de octubre del 2021**

Que, con Resolución N° 183-2020-UNSM/CFT/FE de fecha 31 de diciembre del 2020 se designa a los miembros integrantes del CONSEJO DE FACULTAD TRANSITORIO de la Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín, para el periodo del **01 de enero al 31 de diciembre del 2021**;

Estando a lo acordado en Sesión Ordinaria de Consejo de Facultad Transitorio de la Facultad de Ecología, realizado el 20 de octubre del 2021 y en uso de las atribuciones por la Ley Universitaria N° 30220, al Estatuto y el Reglamento de la Universidad Nacional de San Martín;

**SE RESUELVE:**

**Artículo 1°**- Aprobar la ejecución del proyecto de tesis presentado por la tesista del Programa de Estudios de Ingeniería Sanitaria de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria, según el siguiente detalle:

Título: **"Modelamiento y simulación de cloro residual en agua potable, para determinar la calidad microbiológica del agua del centro poblado Marona"**

Línea de investigación: **Estrategias de Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) y Sistemas Constructivos Convencionales y No Convencionales para el Desarrollo Sostenible.**

Código de inscripción N°: **6054521**

Tesista: **Dagoberto Córdova Peña**

Asesor: **Ing. M.Sc. Marcos Aquiles Ayala Diaz**

Periodo de ejecución: **del 21 - 10 - 2021 al 20 - 06 - 2022**

Jurados:

Presidente	: Lic. Dr. Fabián Centurión Tapia
Secretario	: Ing. M.Sc. Mirtha Felicitia Valverde Vera
Miembro	: Ing. M.Sc. Alfonso Rojas Bardález

**Artículo 2°**- Aprobar la ejecución del proyecto de tesis presentado por el tesista del Programa de Estudios de Ingeniería Sanitaria de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria, según el siguiente detalle:

Título: **"Eficiencia de la electrocoagulación a nivel de laboratorio para remoción de aceites y grasas de aguas residuales domésticas. Moyobamba, 2021"**,

Línea de investigación: **Gestión Integral y Sostenible de los Recursos Naturales**

Código de inscripción N°: **6054621**

Tesista: **John Gutiérrez Cubas**

Asesor: **Blgo. M.Sc. Alfredo Ibán Díaz Visitación**

Periodo de ejecución: **del 21 - 10 - 2021 al 20 - 06 - 2022**

Jurados:

Presidente	: Ing. M.Sc. Mirtha Felicitia Valverde Vera
Secretario	: Ing. M.Sc. Julio César De La Rosa Ríos
Miembro	: Lic. M.Sc. Roydichan Olano Arévalo

**Artículo 3°**- Dar a conocer al Departamento Académico de Ciencias Ambientales y Sanitaria, a la Comisión de Registro Académico, Grados y Títulos y a la Unidad de Investigación, para su conocimiento, registro y control.

Regístrese, Comuníquese y Cúmplase.



**Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas Luna**  
Decano de la Facultad de Ecología

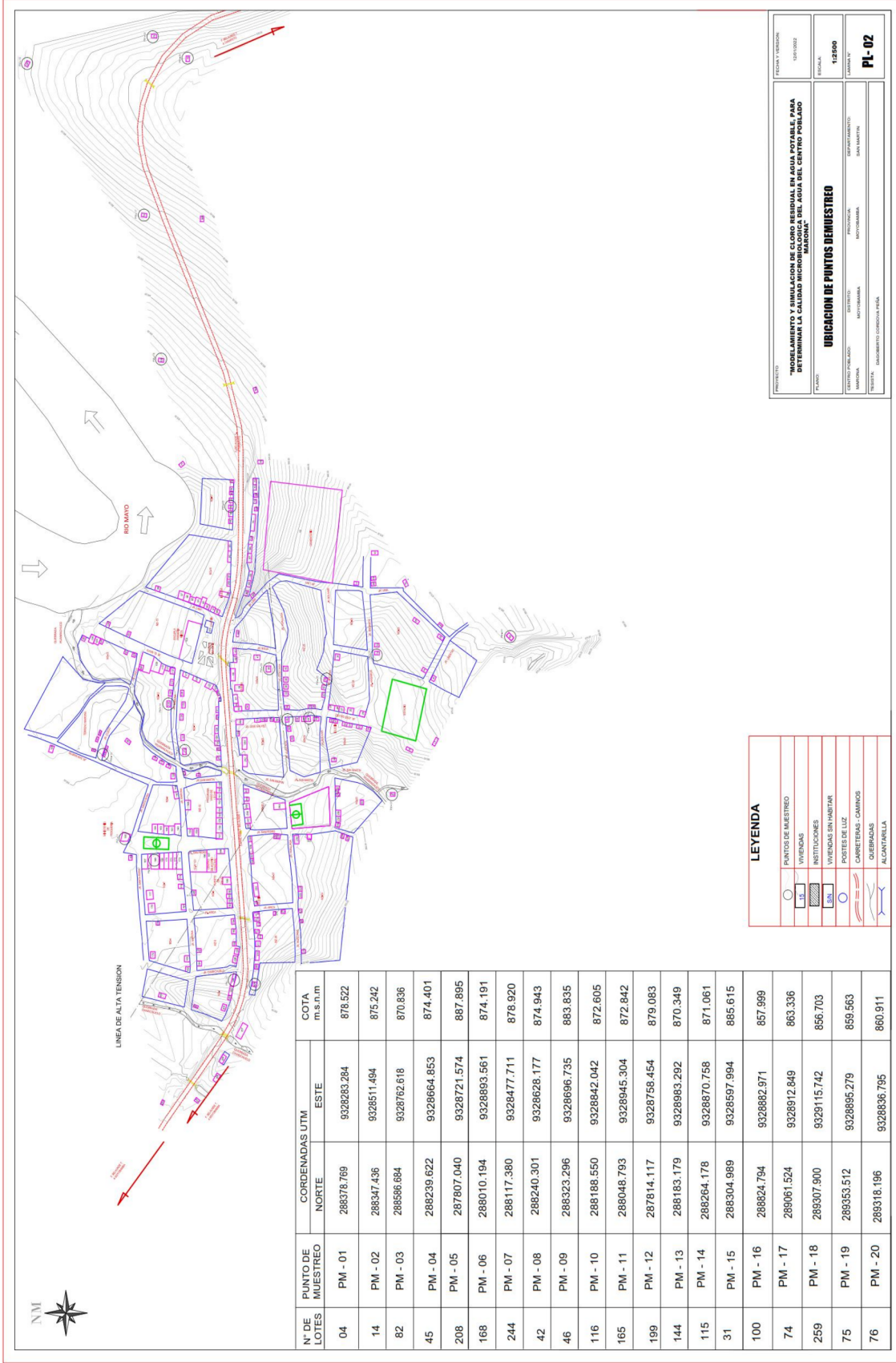
C.c. DACAYS, EPIS, CRAgyT, UI, Secretario Académico e Interesados



**Ing. Angel Tuesta Casique**  
Secretario Académico.



Anexo 3. Plano de ubicación de puntos de muestreo.



**LEYENDA**

	PUNTOS DE MUESTREO
	VIVIENDAS
	INSTITUCIONES
	ÁREAS SIN HABITAR
	POSTES DE LUZ
	CARRETERAS/ CAMINOS
	QUEBRADAS
	ALCANTARILLA

<b>PROYECTO</b> INCREMENTO Y SIMULACION DE CLASOS RESERVA EN AGUA POTABLE PARA DETERMINAR LA SALUD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA DEL CENTRO PUEBLO MARONÍ		FECHA Y VERSION 12/07/2022
<b>UBICACION DE PUNTOS DE MUESTREO</b>		ESCALA 1:25000
PAIS: GUAYMALA DEPARTAMENTO: SAN MARTIN PROVINCIA: METROPOLITANA DISTRITO: MARONIA MUNICIPIO: MARONIA	LAMINA N° <b>PL-02</b>	



# Modelamiento y simulación de cloro residual en agua potable, para determinar la calidad microbiológica del agua del centro poblado Marona

## INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	6%
2	<a href="https://ciencia.lasalle.edu.co">ciencia.lasalle.edu.co</a> Fuente de Internet	2%
3	<a href="https://repositorio.unsm.edu.pe">repositorio.unsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
4	<a href="https://dspace.unitru.edu.pe">dspace.unitru.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
5	<a href="https://repositorio.unh.edu.pe">repositorio.unh.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
6	<a href="https://tesis.unsm.edu.pe">tesis.unsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="https://apirepositorio.unh.edu.pe">apirepositorio.unh.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
8	<a href="https://redi.unjbg.edu.pe">redi.unjbg.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%

9	<a href="http://repositoriotec.tec.ac.cr">repositoriotec.tec.ac.cr</a> Fuente de Internet	1 %
10	<a href="http://repository.unipiloto.edu.co">repository.unipiloto.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
11	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
12	<a href="http://portal.unas.edu.pe">portal.unas.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
13	<a href="http://www.leg.mn.gov">www.leg.mn.gov</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="http://www.cepis.org.pe">www.cepis.org.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
15	<a href="http://sswm.info">sswm.info</a> Fuente de Internet	<1 %
16	<a href="http://repositorio.unc.edu.pe">repositorio.unc.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
17	<a href="http://repositorio.unasam.edu.pe">repositorio.unasam.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
18	<a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
19	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1 %
20	<a href="http://www.frro.utn.edu.ar">www.frro.utn.edu.ar</a>	

Fuente de Internet

<1 %

21

Submitted to Universidad Nacional Agraria de la Selva

<1 %

Trabajo del estudiante

22

[dspace.ucuenca.edu.ec](https://dspace.ucuenca.edu.ec)

<1 %

Fuente de Internet

23

[repositorio.upn.edu.pe](https://repositorio.upn.edu.pe)

<1 %

Fuente de Internet

24

[www.slideshare.net](https://www.slideshare.net)

<1 %

Fuente de Internet

25

[1library.co](https://1library.co)

<1 %

Fuente de Internet

26

Submitted to Universidad Nacional de San Martín

<1 %

Trabajo del estudiante

27

Submitted to Universidad Catolica de Trujillo

<1 %

Trabajo del estudiante

28

[red.uao.edu.co](https://red.uao.edu.co)

<1 %

Fuente de Internet

29

Submitted to Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO) - Sede Ecuador

<1 %

Trabajo del estudiante

30

[revistas.unsch.edu.pe](https://revistas.unsch.edu.pe)

<1 %

Fuente de Internet

31	OSCAR YANGALI INGENIERIA E.I.R.LTDA.. "EIA de la Línea de Transmisión 60 kV S.E. Santa Mónica (Cajabamba) - S.E. Morena ( Pataz)-IGA0012900", R.D. N° 208-2004-MEM/AAE , 2021 Publicación	<1 %
32	files.conagua.gob.mx Fuente de Internet	<1 %
33	fr.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
34	Submitted to Universidad Pontificia Bolivariana Trabajo del estudiante	<1 %
35	Submitted to Universidad de Costa Rica Trabajo del estudiante	<1 %
36	acofipapers.org Fuente de Internet	<1 %
37	web.liaqsa.com Fuente de Internet	<1 %
38	www.defensadirecta.com Fuente de Internet	<1 %
39	repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
40	www.bvsde.paho.org Fuente de Internet	<1 %

41	<a href="http://www.lenhs.ct.ufpb.br">www.lenhs.ct.ufpb.br</a> Fuente de Internet	<1 %
42	Submitted to UNIV DE LAS AMERICAS Trabajo del estudiante	<1 %
43	<a href="http://repositorio.upao.edu.pe">repositorio.upao.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
44	<a href="http://civilparaelmundo.com">civilparaelmundo.com</a> Fuente de Internet	<1 %
45	Submitted to Universidad Nacional Hermilio Valdizan Trabajo del estudiante	<1 %
46	Fernando García-Ávila, Alex Avilés-Añazco, Juan Ordoñez-Jara, Christian Guanuchi-Quezada et al. "Modeling of residual chlorine in a drinking water network in times of pandemic of the SARS-CoV-2 (COVID-19)", Sustainable Environment Research, 2021 Publicación	<1 %
47	<a href="http://www.scribd.com">www.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1 %
48	Submitted to 84752 Trabajo del estudiante	<1 %
49	<a href="http://crusher.gravelwasher.com">crusher.gravelwasher.com</a> Fuente de Internet	<1 %
50	<a href="http://repositorio.une.edu.pe">repositorio.une.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %

<1 %

51

[www.coursehero.com](http://www.coursehero.com)

Fuente de Internet

<1 %

52

[f40.iaea.org](http://f40.iaea.org)

Fuente de Internet

<1 %

53

[javeriana.edu.co](http://javeriana.edu.co)

Fuente de Internet

<1 %

54

[repositorio.uta.edu.ec](http://repositorio.uta.edu.ec)

Fuente de Internet

<1 %

55

Antonio Colmenar-Santos, Enrique-Luis Molina-Ibáñez, Enrique Rosales-Asensio, Jorge-Juan Blanes-Peiró. "Legislative and economic aspects for the inclusion of energy reserve by a superconducting magnetic energy storage: Application to the case of the Spanish electrical system", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018

Publicación

<1 %

56

[repositorij.unios.hr](http://repositorij.unios.hr)

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 10 words

Excluir bibliografía

Activo