

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**Modelamiento de la concentración de cloro residual con Watercad en  
las redes de distribución de agua potable en la ciudad de Santa  
María de Nieva - provincia Condorcanqui**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

**Autores:**

Bach. Elías Marcos Gutierrez Huaman  
Bach. Anthony Abel Dominguez Vásquez

**Asesor:**

Mg. Reymundo Jaulis Palomino

**Lima, Mayo 2023**

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Yo Reymundo Jaulis Palomino, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“Modelamiento de la concentración de cloro residual con Watercad en las redes de distribución de agua potable en la ciudad de Santa María de Nieva - provincia Condorcanqui.”** constituye la memoria que presentan los autores: **Gutierrez Huaman Elias Marcos y Dominguez Vásquez Anthony Abel** con un índice de similitud de 14% verificable en el informe del programa Turnitin, para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, y que ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad de los autores, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima a los 25 días del mes de Mayo del año 2023



Mg. Reymundo Jaulis Palomino

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los **25** día(s) del mes de **mayo** del año 2023 siendo las **11:00 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Leonel Chahuares Paucar**, el secretario: **Ing. Ferrer Canaza Rojas** y los demás miembros: **Ing. David Diaz Garamendi** y el asesor **Mg. Reymundo Jaulis Palomino** con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Modelamiento de la concentración de cloro residual con Watercad en las redes de distribución de agua potable en la ciudad de Santa María de Nieva - provincia Condorcanqui"

.....de el(los)/la(las) bachiller/es: a) ..... **ELIAS MARCOS GUTIERREZ HUAMAN**.....  
 .....b) .....**ANTHONY ABEL DOMINGUEZ VÁSQUEZ**.....  
 .....conducente a la obtención del título profesional de:.....  
 .....**INGENIERO CIVIL**.....  
 con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): ..... **ELIAS MARCOS GUTIERREZ HUAMAN** .....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<b>Aprobado</b>	<b>14</b>	<b>C</b>	<b>Aceptable</b>	<b>Bueno</b>

Candidato (b): ..... **ANTHONY ABEL DOMINGUEZ VÁSQUEZ** .....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<b>Aprobado</b>	<b>14</b>	<b>C</b>	<b>Aceptable</b>	<b>Bueno</b>

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

\_\_\_\_\_  
 Presidente  
 Mg. Leonel  
 Chahuares  
 Paucar

  
 \_\_\_\_\_  
 Secretario  
 Ing. Ferrer Canaza  
 Rojas

\_\_\_\_\_  
 Asesor  
 Mg. Reymundo  
 Jaulis Palomino

\_\_\_\_\_  
 Miembro  
 Ing. David Diaz  
 Garamendi

\_\_\_\_\_  
 Miembro

\_\_\_\_\_  
 Candidato/a (a)  
 Elias Marcos  
 Gutierrez Huaman

\_\_\_\_\_  
 Candidato/a (b)  
 Anthony Abel  
 Dominguez  
 Vásquez

## **DEDICATORIA**

*El presente trabajo va dedicado primeramente a Dios por darme la fortaleza de seguir adelante a pesar de las adversidades y gracias a su dirección estoy logrando cumplir mis metas.*

*A mis padres por el apoyo incondicional desde el inicio de la carrera y por darme el ejemplo de esfuerzo puro para ser mejor cada día.*

*A mis amigos, amigas, compañeros de trabajo y maestro de la carrera, quienes me inculcaron diversas enseñanzas y me brindan su confianza para continuar creciendo profesionalmente.*

**Atte. Bach. Elías Marcos Gutierrez Huaman**

*A Dios en primer lugar por darme la vida y las fuerzas día a día para seguir adelante cumpliendo mis metas y objetivos trazados.*

*A mi hermosa madre Hilda Vásquez Segovia y mi querido padre Teofilo Domínguez Castillo, por su dedicación y apoyo incondicional desde el inicio de la carrera.*

*A mis hermanas Eva y Angie, por su cariño y ejemplo de esfuerzo a querer ser mejor cada día.*

*A mi pareja por brindarme su apoyo, comprensión y cariño, para no desistir y animarme a cumplir mis metas.*

*A mis amigos, compañeros de trabajo y maestros, con quienes compartimos conocimiento, anécdotas, experiencias, alegrías y tristezas.*

**Atte. Bach. Anthony Abel Dominguez Vásquez**

## Índice General

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>4</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>6</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>7</b>
<b>MATERIALES Y METODOS</b> .....	<b>8</b>
<b>Área de estudio</b> .....	<b>8</b>
<b>Cálculo de Población</b> .....	<b>8</b>
<b>Cálculo de la Demanda</b> .....	<b>9</b>
<b>Levantamiento Topográfico</b> .....	<b>9</b>
<b>Monitoreo de Cloro Residual mediante indicador DPD (Diethyl Parafenileno Diamina)</b> ...	<b>10</b>
<b>Modelamiento del Cloro Residual</b> .....	<b>10</b>
<b>Consideraciones para tener Agua de Calidad</b> .....	<b>13</b>
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>13</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>17</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>18</b>

# **Modelamiento de la concentración de cloro residual con Watercad en las redes de distribución de agua potable en la ciudad de Santa María de Nieva - provincia Condorcanqui.**

Elias Marcos Gutierrez Huaman [marcosgutierrez@upeu.edu.pe](mailto:marcosgutierrez@upeu.edu.pe)  
Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión. Lima-Perú

Anthony Abel Dominguez Vásquez [anthony.dominguez@upeu.edu.pe](mailto:anthony.dominguez@upeu.edu.pe)  
Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión. Lima-Perú

Reymundo Jaulis Palomino [reymundojaulis@upeu.edu.pe](mailto:reymundojaulis@upeu.edu.pe)  
Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión. Lima-Perú

## **RESUMEN**

La presente investigación se realizó en dos sectores de la ciudad de Santa María de Nieva. El objetivo fue modelar y simular el comportamiento de la concentración del cloro residual en las redes de distribución de agua potable para las épocas de estiaje y precipitaciones. La simulación, se efectuó con el software Watercad, empleando su función en análisis de calidad de agua durante un periodo extendido, partiendo de la recolección de información demográfica, topográfica e hidráulica. Los resultados del modelamiento mostraron una estabilidad de la concentración de cloro residual a lo largo de la red de distribución, cumpliendo en su totalidad con los límites máximos permisibles establecidos por el Ministerio de Salud del Perú.

**Palabras clave:** Modelamiento, cloro residual, redes de agua potable, Watercad, límites máximos permisibles.

## **Modeling of the residual chlorine concentration with Watercad in the drinking water distribution networks of the city of Santa María de Nieva - Condorcanqui province.**

## **ABSTRACT**

The present investigation was carried out in two sectors of the city of Santa María de Nieva. The objective was to model and simulate the behavior of the residual chlorine concentration in the drinking water distribution networks for the dry and rainy seasons. The simulation was carried out with the Watercad software using its function in the analysis of water quality over a prolonged period, from the collection of demographic, topographic and hydraulic information. The modeling results showed a stability of the residual chlorine concentration throughout the distribution network, fully complying with the maximum permissible limits established by the Ministry of Health of Peru.

**Keywords:** Modelling, residual chlorine, drinking water networks, Watercad, permissible limits established

## INTRODUCCIÓN

La mayor parte de las enfermedades de la población de menores ingresos están relacionada con la higiene y el deterioro de las condiciones de saneamiento. Las preocupaciones por el cuidado de la población afectada aumentan con el pasar de los años, debido al aumento del crecimiento poblacional, la mala proyección de las ciudades por invasiones y el crecimiento de nuevas asociaciones que no cuentan con los servicios antes mencionados. (Málaga 2013).

La investigación, surge por hallar soluciones a los problemas que vienen a ser la necesidad de un adecuado servicio de agua potable con una óptima calidad del recurso hídrico, tratándose de una habilitación de 21,324 habitantes según datos censales del INEI (2017) en el Distrito de Nieva, Provincia de Condorcanqui. No obstante, Carbajal (2020) menciona que la ingeniería civil brinda un bienestar e infraestructura en favor de la comunidad, por lo que también le corresponde vigilar y mantener un equilibrio en la naturaleza conservando el ciclo que debe cumplirse para que los recursos ya aprovechados vuelvan a ser utilizados, devolviéndolos en un estado ya tratado y no ofensivo, exento de las materias orgánicas, como productos de la descomposición.

Es por ello que, debido a la amplitud del campo que maneja la ingeniería civil, se desarrollan softwares que contribuyen con los modelamientos matemáticos y simulaciones con la finalidad de poder tener un panorama amplio del análisis al cual está enfocado la investigación. Llenque (2017) en su trabajo de investigación, concluye que, si bien el software Watercad es una solución para modelación hidráulica y análisis de calidad de agua para sistemas de distribución de agua, en la actualidad debido a las facilidades de análisis que brinda también es considerado una herramienta que les permite ahorrar recursos y soportar la toma de decisiones con respecto a su infraestructura hidráulica. Mientras que, Gutierrez y Huamaní (2019) dan un enfoque más profundo sobre la utilidad del software, indicando que al modelar una red de distribución de tuberías se obtendrán datos que pueden ser calibrados, generando así pruebas sucesivas que permitan rastrear la configuración y resultados, obteniendo, los flujos de agua en las tuberías, bombas y válvulas; analizar cualquier tipo de red, ya sea, para sistemas abiertos (ramales abiertos, parrillas) y sistemas cerrados (mallas) y; analizar cualquier tipo de fluido de agua, sea para riego, agua caliente o agua contraincendios

(Sánchez et al. 2010) en su artículo científico titulado: “Modelación del cloro residual y subproductos de la desinfección en un sector piloto del sistema de distribución de agua potable de la ciudad de Cali”, enfatiza cuán importante es poder modelar el comportamiento del cloro residual para una red de distribución, debido a que es la base para poder realizar un correcto seguimiento de la calidad del agua. Por otro lado, Rodríguez (2018) indica que se asegurará una correcta calidad de agua, siempre y cuando la concentración de cloro residual se encuentre dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP), los cuales están establecidos por el Ministerio de Salud del Perú.

El objetivo del presente trabajo fue modelar y simular el comportamiento de la concentración de cloro residual con el software Watercad en las redes de distribución de agua potable en la ciudad de Santa María de Nieva – provincia Condorcanqui, con la finalidad de poder determinar la calidad del agua brindada a la población, siendo que la cloración del agua consiste en una práctica sanitaria indispensable para brindar un recurso hídrico apto, para ser utilizada por la población y libre de bacterias que pueden causar enfermedades a la población.

## MATERIALES Y METODOS

Los materiales y metodología empleada en el modelamiento de la concentración de cloro residual a lo largo de la red de distribución de agua potable en la ciudad de Santa María de Nieva.

### Área de estudio

El área de estudio está ubicada en la Región Amazonas, Provincia Condorcanqui y Distrito Nieva, en la ciudad Santa María de Nieva, que se encuentra geográficamente a  $4^{\circ} 35' 45.55''$  de Latitud Sur, y  $77^{\circ} 51' 56.22''$  de longitud Oeste. Esta ciudad, está ubicada a orillas de los ríos Marañón y Nieva en la zona selvática y posee un clima tropical, cálido y lluvioso. Su temperatura llega a oscilar los  $21^{\circ}\text{C}$  y los  $31^{\circ}\text{C}$  en los tiempos de verano. Su época de estiaje es entre los meses de marzo hasta agosto. Asimismo, la época de precipitaciones se presenta a mediados del mes de septiembre hasta el mes de febrero.

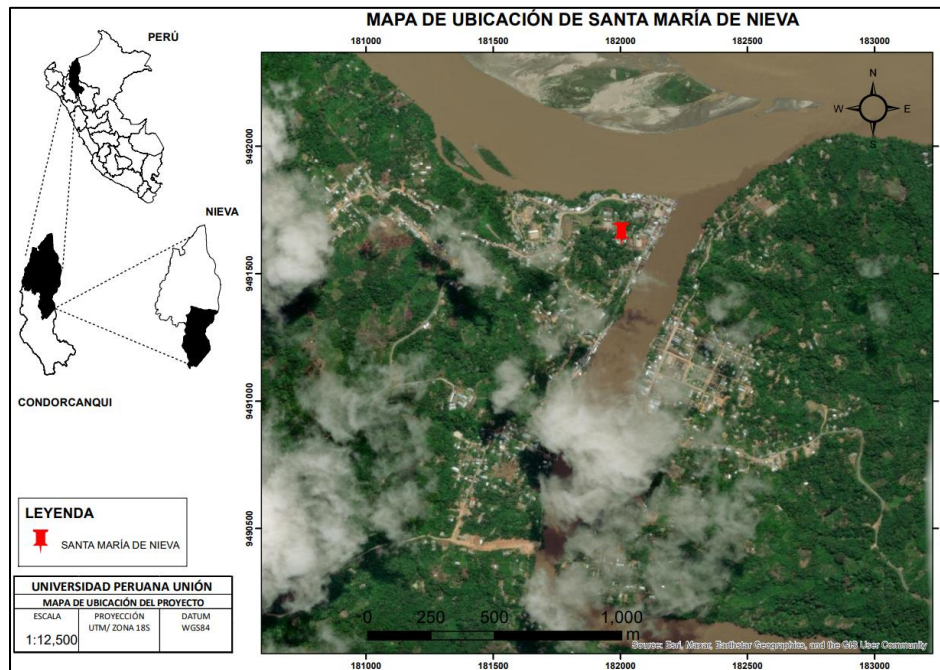


Figura 1: Santa María de Nieva, Ubicada región Amazonas  
Fuente: Elaboración propia

### Cálculo de Población

Para el cálculo de población, se tomó como base los 21,324 habitantes según datos censales del INEI (2017) con una tasa de crecimiento de 1.50 %. No obstante, para el presente estudio, la población cuenta 1270 conexiones domiciliarias y/o viviendas, de las cuales, se tomaron 170 muestras para el análisis de concentración de cloro en los nudos, debido a que, la población está dividida en dos sectores, Villa Santa María de Nieva y Juan Velazco Alvarado. Estos sectores poseen sus propios reservorios de agua. Asimismo, se determinó la población futura mediante el método aritmético, obteniendo así una población futura de 27,714 habitantes.



### Cálculo de la Demanda

Se dispuso una dotación de 150 lt/hab/día, todo esto estipulado en la Guía de Orientación para Elaboración de Expedientes Técnicos de Proyectos de Saneamiento del Programa Nacional de Saneamiento Urbano (2016), el cual está indicado en el cuadro N.º 08 “Dotación de Agua según Guía MEF Ámbito Rural”. Asimismo, en vista que nuestra área de trabajo es selva, se consideró una variación de  $K1=1.30$  para el caudal máximo diario y  $K2=2.00$  para el caudal máximo horario.

**Tabla 1. Parámetros de diseño de red de agua potable**

Descripción	Cantidad
Población Futura	27,714
Dotación(lt/hab/día)	150
Caudal Promedio(lt/s)	48.114
Coefficientes de Variación	1.30-2.00
Caudal Máximo Diario (Qmd)	62.55
Caudal Máximo Horario (Qmh)	96.23
Caudal Unitario por Vivienda(lt/s)	0.080
(Fuente: Elaboración propia)	

### Levantamiento Topográfico

Se realizó un levantamiento topográfico de la red principal de distribución de agua potable, la cual fue complementada con los planos catastrales y topográficos de la ciudad de Santa María de Nieva, en formato digital. Dichos datos fueron proporcionados por el área competente del municipio, con la finalidad de esquematizar la red de distribución del agua en el software AutoCad. Asimismo, en la presente red se verificó el uso de tuberías PVC en campo, con un diámetro mínimo, 2.5 pulg (66 mm) y diámetro máximo, 6 pulg(152 mm) el cual está ubicado en la salida del reservorio.



Figura 2. Levantamiento topográfico de la ciudad de Santa María de Nieva

### Monitoreo de Cloro Residual mediante indicador DPD (Diethyl Parafenileno Diamina)

Se realizó un monitoreo del cloro residual en las 170 muestras de conexiones domiciliarias repartidas a lo largo de ambos sectores de la ciudad, mediante la prueba visual del indicador de DPD. Tanto en la época de estiaje como en la época de precipitaciones, generando los valores de la Tabla 2 como base para el primer análisis en el modelamiento. Asimismo, se consideró que actualmente se usa una dosificación de 1.0 mg/L en ambos reservorios, con un sistema de cloración por goteo.

**Tabla 2. Cloro residual actual en la red de distribución**

<b>Id</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cloro Residual- Época de Estiaje (Promedio)</b>	<b>Muestras que cumplen con los LMP en época de Estiaje</b>	<b>Cloro Residual - Época de lluvia (Promedio)</b>	<b>Muestras que cumplen con los LMP en época de Precipitaciones</b>
1	Sector Juan Velazco Alvarado	0.63 mg/L	85.88 %	0.59 mg/L	76.47 %
2	Sector Villa Santa María de Nieva	0.66 mg/L	83.53 %	0.61 mg/L	78.82 %

### Modelamiento del Cloro Residual

El modelamiento del cloro residual se ejecutó mediante el software Watercad. El cual posee un simulador avanzado basado en modelos matemáticos que expresan las fórmulas de Hazen - William, de Darcy-Weisbach o de Chezy-Manning, lo cual nos permite realizar una simulación hidráulica de la red de abastecimiento de una población y de esta forma estudiar los consumos, posibles pérdidas de caudal o presión, para que de esta forma se pueda analizar la red y encontrar los puntos que provocan dichas pérdidas. Para el presente trabajo, se utilizó el software en función de analizar la calidad del agua mediante la modelación de la concentración de cloro residual a lo largo del sistema de red de distribución de agua potable.

Para iniciar con el modelamiento hidráulico del cloro residual, se contó con los siguientes datos: levantamiento topográfico de toda la red de distribución, cantidad de muestras, calculo de los valores de caudales máximos y el caudal unitario por vivienda.

Posterior a los cálculos y recopilación de datos mencionados en el párrafo precedente, se estableció los parámetros a respetar para el correcto funcionamiento de la red, los cuales para efectos de la presente investigación son los siguientes:

#### ***Límites Máximos Permisibles del Cloro en redes de agua potable***

El Ministerio de Salud del Perú (2010) en su Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano, en su Art. 62 señala que, el agua destinada para el consumo humano debe respetar los límites máximos permisibles establecidos en dicho reglamento, para lo cual y enfocado a la presente investigación, consideramos el Cloro, como nuestro principal parámetro, el cual de acuerdo al reglamento del MINSA se encuentra entre los rangos a respetar de 0.5 mg/L y 5 mg/L.

### ***Parámetros de Coeficiente de Reacción en Masa (K<sub>b</sub>) y Reacción en Pared (K<sub>w</sub>)***

Al realizar un modelamiento de cloro residual, se consideró un periodo extendido de análisis de la red de distribución de agua, por lo que, si se desea realizar un análisis de cloro residual en cada nodo durante cualquier instante del día, es necesario considerar el decaimiento de cloro residual, el cual dentro del software Watercad se rige en base a K<sub>b</sub> y K<sub>w</sub>. Por lo tanto, basándonos en la investigación de Riveros (2018), se tiene que, el coeficiente de reacción en masa (K<sub>b</sub>), es la expresión de la rapidez con la cual se produce una tasa de decaimiento del cloro debido a la interacción con el volumen de agua, generando valores típicos para el factor K<sub>b</sub> que se encuentran dentro de los siguientes parámetros:

$$-0.1/dia < K_b < -1.5/dia \quad (1)$$

Por otro lado, el coeficiente de reacción en pared (K<sub>w</sub>), se considera como un factor de la reacción producida por la sustancia (cloro) con las paredes de las tuberías, así como, con el factor K<sub>b</sub>, que también genera valores típicos que se encuentran dentro de los siguientes parámetros:

$$-0.06m/dia < K_w < -1.52 m/dia \quad (2)$$

Los datos anteriormente mencionados, son de suma importancia, ya que, son la base para la aplicación del software a lo largo de la red de distribución, dicha aplicación consta de los siguientes pasos:

- Con el dibujo de la red de distribución de agua potable en formato AutoCad, exportamos la red en formato .dxf, el cual es el formato compatible con el software Watercad. (Ver figura 3)
- Asignamos los datos de las propiedades hidráulicas a la red de abastecimiento como diámetros, longitud, demandas de base en cada nodo, demandas continuas en ambos reservorios, así como, sus elevaciones correspondientes, etc. (Ver figura 4 y 5)
- Configuramos la variación horaria a fin de poder analizar el comportamiento de la red de distribución en tiempo real (24 horas).
- Creamos una opción de cálculo para el análisis de cloro residual y simular la red.
- Analizamos e interpretamos los resultados en cada nodo que compone el sistema de la red de distribución, así como, verificamos que se cumpla con los Límites Máximos Permisibles del Cloro en cada nodo durante las 24 horas del día.

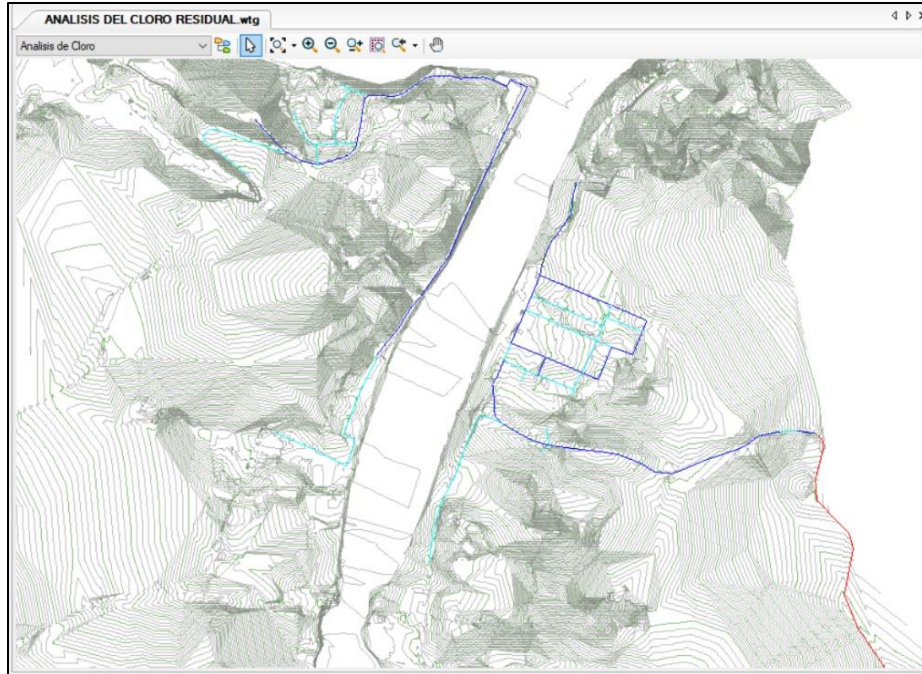


Figura 3. Red de distribución de agua potable.

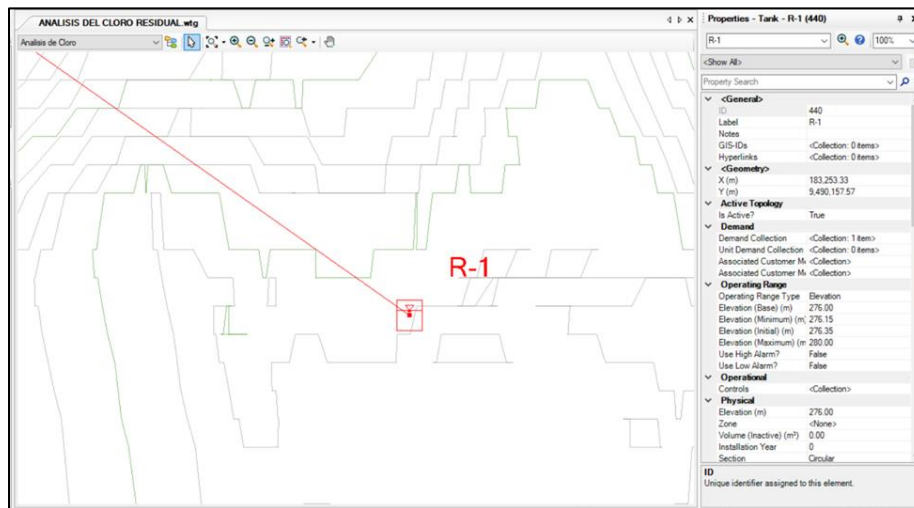


Figura 4. Asignación de datos de propiedades hidráulicas en el reservorio del Sector Juan Velasco Alvarado.



Figura 5. Asignación de datos de propiedades hidráulicas en el reservorio del Sector Villa Santa María de Nieva.

### Consideraciones para tener Agua de Calidad

Las consideraciones para que se pueda denominar agua de “buena calidad” dependen del uso que se le dará. Por lo tanto, para considerar que el agua sea potable y de consumo humano, se debe tener en cuenta que, su ingestión no debe causar efectos nocivos a la salud, pues debe ser agua clara (no turbia), sin sabor ni color, libre de patógenos, etc.

En esos sentidos, se considera agua de calidad a aquella que cumpla con tres parámetros que son físicos, químicos y bacteriológicos, los cuales se muestran a continuación:

**Tabla 2. Requerimientos de calidad de agua potable.**

Físico	Químico	Bacteriológico
Sólidos Tóales	Ph	Contajes totales de bacterias
Turbiedad	Alcalinidad	
Color	Dureza	NMP de coli/100 ml de muestra
Sabor	Hierro	
Olor	Manganeso	

(Fuente: Elaboración propia)

### RESULTADOS

Para el modelamiento de la concentración de cloro residual a lo largo de la red de distribución de agua potable mediante el software Watercad, se consideró los parámetros de cloro residual establecidos por el Ministerio de Salud del Perú, con la finalidad de cumplir con los estándares de cloro permitido para el consumo humano. Evitando daños a la salud de la población por exceso del compuesto químico, es por ello que, mediante iteraciones al modelamiento y basándonos en los datos obtenidos mediante la prueba de cloración en el punto de captación, se obtuvo la dosis óptima del cloro, para ambos reservorios, de 2.0 mg/L para la época de estiaje y 2.5 mg/L para la época de precipitaciones.

De la modelación realizada mediante el software Watercad en la red de distribución de agua potable de la ciudad de Santa María de Nieva, con las dosis óptimas halladas se generaron diagramas comparativos entre el cloro residual mediante el modelamiento hidráulico y monitoreo de cloro residual mediante indicador visual DPD.

En las figuras 6 y 7, se puede observar el análisis de la red de distribución de ambos sectores, considerando la dosis de cloro de 2.0 mg/L en cada reservorio para época de estiaje, tanto en el sector Juan Velasco Alvarado como en el sector Villa Santa María de Nieva.

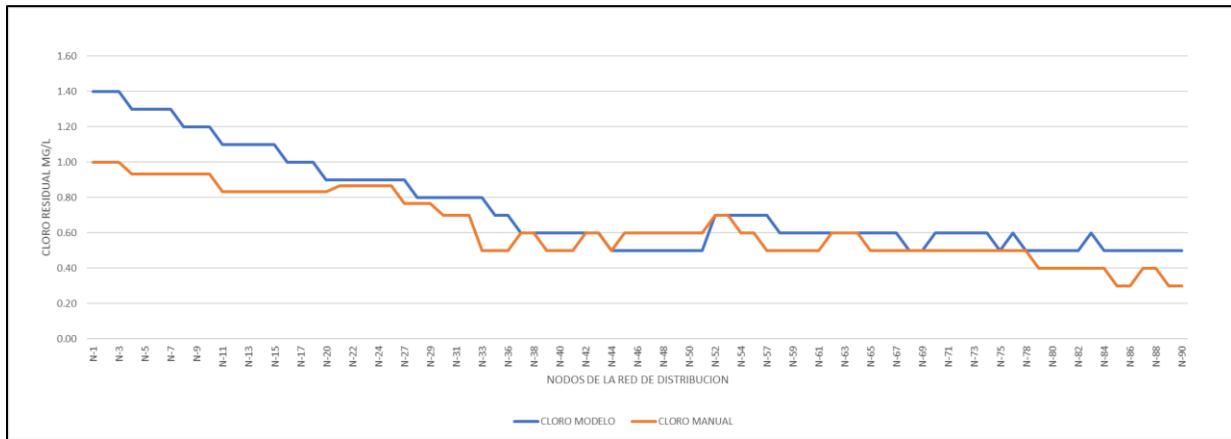


Figura 6. Diagrama de cloro residual del Sector Juan Velasco Alvarado en época de estiaje.

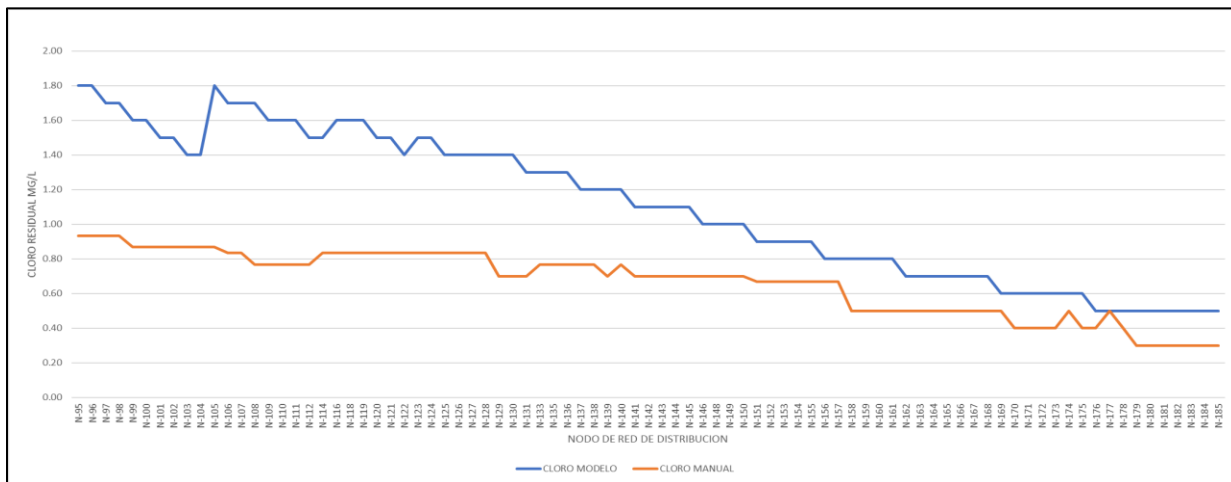


Figura 7. Diagrama de cloro residual del Sector Villa Santa María de Nieva en época de estiaje.

De los diagramas presentados en las figuras 6 y 7 se observa que, al considerar la dosis de 2.0 mg/L se reduce la brecha de cloro entre el sistema de cloración que actualmente se usa en la ciudad con el modelamiento mediante Watercad en época de estiaje. Generando así para el sector Juan Velasco Alvarado y sector Villa Santa María de Nieva un alcance del 100.00% de muestras que cumplen con los límites máximos permisibles de cloro en redes de distribución, porcentajes que son favorables respecto a los presentados en la Tabla 2.

Para la época de precipitaciones, se incrementó la dosis de cloro residual, puesto que, al analizar el agua del punto de captación mediante ensayos en laboratorios, los resultados indican que los parámetros de calidad de agua están al límite para ambas épocas del año (Ver Tabla 3), siendo la época de precipitaciones el punto de quiebre en el análisis de calidad de agua, debido a que, la ciudad se encuentra entre el río Nieva y el río Marañón, es inevitable el incremento de turbidez, la presencia de maleza y/o desperdicios arrastrados por las quebradas alimentadoras de los ríos, etc.

**Tabla 3. Resultados de prueba de calidad de agua en punto de captación.**

Laboratorio	Fecha	Parámetros	Unidad	Resultados
Laboratorio Regional del Agua (GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA)	Informe de ensayo N°IE0822541 Fecha: 23/08/2022- Tiempo de Estiaje	Turbidez	UNT	0.21
		Ph a25°C	Ph	7.81
		Color Verdadero	UC	5.40
		Huevos y Larvas de Helmintos	HH/L	< 1
Laboratorio de ensayo acreditado por INACAL-DA REGISTRO N° LE 170 UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA	Informe de ensayo N.º LAB22-AA-1651 Fecha: 25/10/2022- Tiempo de Lluvia	Turbidez	UNT	18.60
		Ph	Ph	7.17
		Conductividad	Us/cm2	88.70
		Sólidos Disueltos Totales	Mg/L	28.3
		Cloruros	Ppm	16.17
		Dureza	Ppm	79.09
		Sulfatos	Ppm	5.81

(Fuente: Elaboración propia)

Por lo tanto, para la época de precipitaciones en la ciudad de Santa María de Nieva, se consideró para ambos sectores una dosis de 2.5 mg/L de cloro para cada reservorio, representado de manera gráfica en diagramas comparativos mediante las figuras 8 y 9.

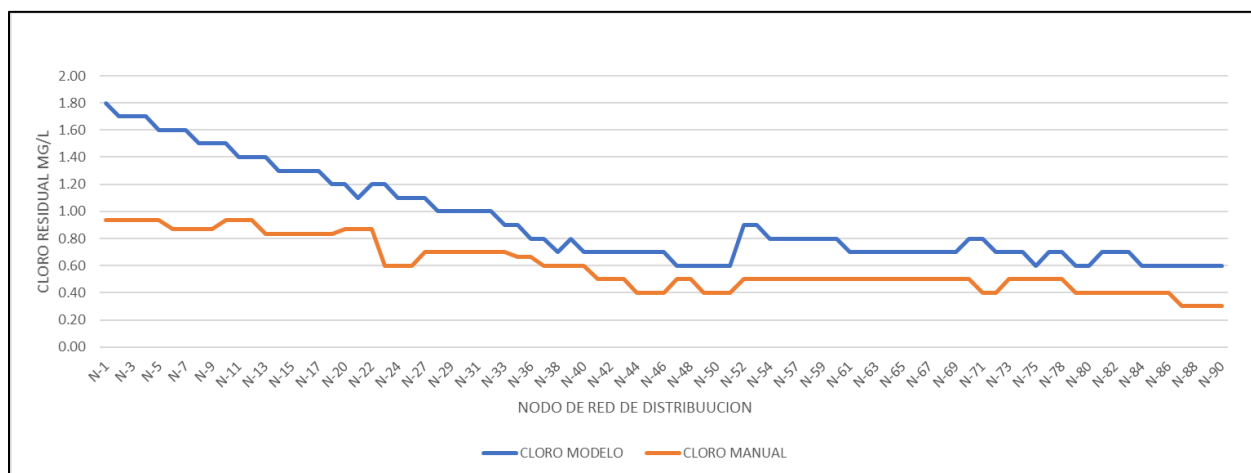


Figura 8. Diagrama de cloro residual del Sector Juan Velasco Alvarado en periodo de precipitaciones.



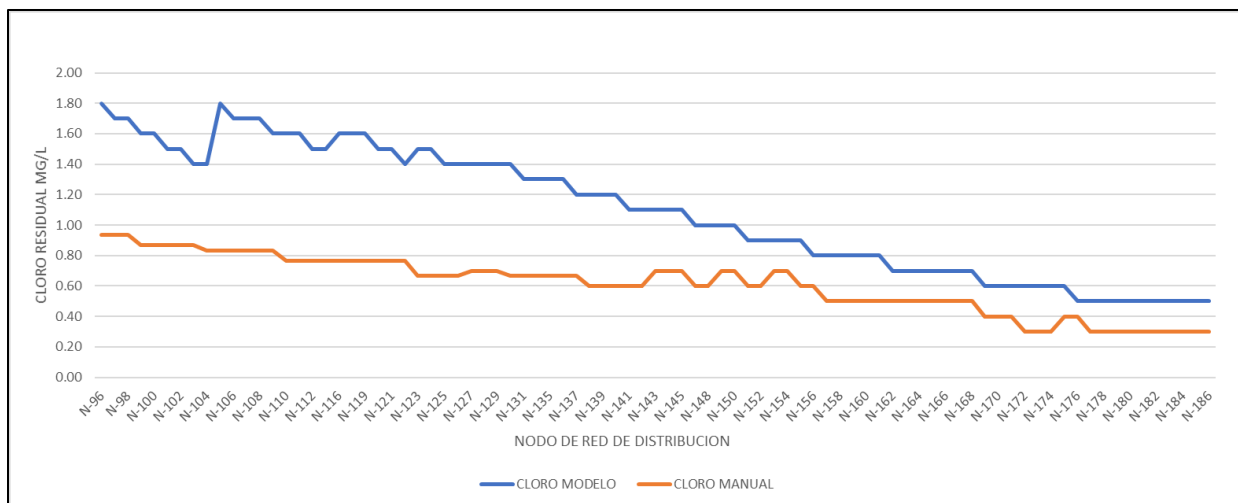


Figura 9. Diagrama de cloro residual del Sector Villa Santa María de Nieva en época de precipitaciones.

En la figura 8, se muestra el diagrama del cloro residual en el sector Juan Velasco Alvarado, se observa que, al considerar la dosis de cloro de 2.5 mg/L se genera un alcance al 100.00% de todas las muestras analizadas, las cuales cumplen con los parámetros del Ministerio de Salud del Perú. Por otro lado, se observa que la figura 9, la cual pertenece al diagrama de cloro residual del sector de Villa Santa María de Nieva, también se logró un alcance favorable del 100.00% de nodos de muestra.

**Tabla 4. Cloro residual mediante modelamiento en Watercad en la red de distribución.**

<b>Id</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cloro Residual- Época de Estiaje (Promedio)</b>	<b>Muestras que cumplen con los LMP en época de Estiaje</b>	<b>Cloro Residual -Época de lluvia (Promedio)</b>	<b>Muestras que cumplen con los LMP en época de Precipitaciones</b>
<b>1</b>	Sector Juan Velasco Alvarado	0.75 mg/L	100.00 %	0.93 mg/L	100.00 %
<b>2</b>	Sector Villa Santa María de Nieva	1.11 mg/L	100.00 %	1.09 mg/L	100.00 %

Asimismo, el análisis de modelamiento de cloro residual es en periodo extendido. Se determinó que, la mayor concentración de cloro residual, tanto para la época de estiaje como para la época de precipitaciones, en los nodos de muestra, se da en los horarios de 07:00 am hasta las 17:00 pm. No obstante, en el resto de las horas la pérdida de cloro es mínima, manteniéndose en los parámetros de límite máximo permisible establecido por el Ministerio de Salud del Perú.



## CONCLUSIONES

El desarrollo de la presente investigación se realizó con la metodología descrita sobre el modelamiento de la concentración de cloro residual, para lo cual, se obtuvo cálculos para determinar, la cantidad de población, caudales, coeficientes de variación a emplearse respecto a la ubicación geográfica. Tomando como base los datos mencionados y empleando el levantamiento topográfico trabajado en campo. Se determinó la concentración de cloro residual en una muestra de población mediante el análisis matemático propio del software Watercad, enfocándose principalmente a los parámetros de Límites Máximos Permisibles y los coeficientes de reacción. Si bien, en la presente investigación nos enfocamos netamente a la concentración de cloro residual en las redes de distribución de agua potable, también se consideró respetar con los parámetros de caudales y presiones en cada nodo de muestra.

Se demostró que al considerar como margen límite los datos del monitoreo manual realizado en los nodos de muestra de la red de distribución de agua potable y la prueba de cloración en el punto de captación, reduce la iteración de datos para la obtención de una dosis del compuesto químico, permitiendo focalizar los puntos críticos mediante los diagramas comparativos y así poder revertirlos en el modelamiento mediante el software. En base a ello, la dosis que actualmente se utiliza es de 1.0 mg/L, lo cual genera insuficiencia del compuesto químico a lo largo de la red, mientras que, al incrementar la dosis, considerando factores como incremento de población y temporadas de año, se obtuvo una dosis de 2.0 mg/L para época de estiaje y 2.5 mg/L para época de precipitaciones, dosis que estabilizan la concentración de cloro residual en la red de distribución de la ciudad de Santa María de Nieva.

El análisis del monitoreo indicó que, los puntos críticos se desarrollaban en los nodos de muestra ubicados en los tramos finales de la red de distribución en ambos sectores de la ciudad. Por lo cual, el incremento sucesivo de la dosis de cloro mediante el modelamiento permitió que el diagrama en los tramos finales no decaiga considerablemente. Asimismo, se logró estabilizar y mantener un margen ligeramente continuo, lo cual genera un alcance del 100% de cloro residual en todos los nodos de muestra durante los horarios de 7:00 am hasta las 17:00 pm para ambas épocas del año.

Los valores obtenidos mediante el modelamiento de cloro residual con Watercad en las redes de distribución de agua potable en la ciudad de Santa María de Nieva - provincia Condorcanqui, ha cumplido con los parámetros mínimos establecidos en el reglamento de calidad de agua para consumo humano, establecida por el Ministerio de Salud del Perú, donde los Límites Máximos Permisibles de cloro residual se encuentran entre los valores de 0.5 mg/L y 5 mg/L.

## REFERENCIAS

- Carbajal F.** (2020). "Evaluación de diseño de un sistema de agua potable en el caserío de Munday, distrito de Carabamba, provincia de Julcan, La Libertad - 2020". Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Privada del Norte (UPN), Trujillo, obtenido de: <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/23451/Carbajal%20Navez%20Freyder%20Eli.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Gutierrez Y. y Huamaní E.** (2019). "Modelamiento del sistema de abastecimiento de agua potable utilizando el Software Watercad en el diseño de las redes de distribución en la Etapa I del Proyecto San Antonio de Mala – distrito de Mala". Tesis de grado, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad San Martín de Porres (USMP), Lima, obtenido de: <https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/5486/gutierrez-huamani%20%28abierto%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI** (2017). Obtenido de: <https://censo2017.inei.gob.pe>
- Llenque J.** (2017). "Descripción y análisis del servicio de agua potable en localidad Villa Cancas, distrito de Canoas de Punta Sal empleando software aplicativo WaterCad". Tesis de grado, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Alas Peruanas (UAP), Piura, obtenido de: <https://repositorio.uap.edu.pe/xmlui/handle/20.500.12990/1777>
- Málaga F.** (2013). "Sistema de Abastecimiento de Agua y Desague para el Centro Poblado Umopalca-Sabandía-Arequipa". Tesis de grado, Facultad de Arquitectura, Ingeniería Civil y del Ambiente, Universidad Católica de Santa María (UCSM), Arequipá, obtenido de: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/4190>
- Ministerio de Salud del Perú** (2010). "Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano". Dirección General de Salud Ambiental, Ministerio de Salud, Lima, obtenido de: [http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento\\_Calidad\\_Agua.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento_Calidad_Agua.pdf)
- Riveros N.** (2018). "Modelación computacional y validación en campo de los coeficientes de reacción del cloro en un sistema de abastecimiento de agua potable: caso de estudio Libano Tolima". Tesis de grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Colombia, obtenido de: <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/9242982e-5002-420b-ad7f-e4bd916936e2/content>
- Programa Nacional de Saneamiento Urbano** (2016). "Guía de Orientación para Elaboración de Expedientes Técnicos de Proyectos de Saneamiento", obtenido de: [https://e\\_preset.vivienda.gob.pe/statics/GUIA\\_ORIENT\\_EXP\\_TEC\\_SANEAMIENTO\\_V-1-5.pdf](https://e_preset.vivienda.gob.pe/statics/GUIA_ORIENT_EXP_TEC_SANEAMIENTO_V-1-5.pdf)
- Rodríguez Y.** (2018). "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". Tesis de grado, Facultad de Ecología, Universidad Nacional de San Martín (UNSM), Tarapoto, obtenido de: <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3441>
- Sánchez L., Rodríguez S., Escobar J. y Torres P.** (2010). "Modelación del cloro residual y subproductos de la desinfección en un sector piloto del sistema de distribución de agua potable de la ciudad de Cali". Ingeniería y Competitividad, vol. 12, no.1, pp. 127-138, ISSN 0123-3033, Universidad del Valle (UV), Cali.

## **Conflicto de intereses**

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

## **Contribución de los autores**

*Elias Marcos Gutierrez Huaman* <https://orcid.org/0009-0007-5208-9106>

Realizó contribuciones en la búsqueda de información para la investigación, análisis de los resultados, revisión y redacción del trabajo en su versión final.

*Anthony Abel Dominguez Vásquez* <https://orcid.org/0009-0004-3329-1542>

Realizó la recolección y procesamiento de datos, asimismo contribuyó en el análisis e interpretación, revisión y redacción del informe final.

*Reymundo Jaulis Palomino* <https://orcid.org/0000-0003-1330-2801>

Realizó contribuciones en la orientación para la búsqueda de información, análisis y revisión final de la investigación.

# **ANEXOS**



Inicio / Información para autores/as

## Información para autores/as

¿Tiene interés en hacer un envío a esta revista? Le recomendamos que revise la sección [Acerca de la revista](#) para consultar la política de la misma, así como las [Normas de autores/as](#).

El artículo debe ser presentado al Comité Editorial en versión electrónica en cualquier medio de almacenamiento o enviado como archivo adjunto a las direcciones de correo electrónico siguientes:

[revistariha@gmail.com](mailto:revistariha@gmail.com)

[maray@civil.cujae.edu.cu](mailto:maray@civil.cujae.edu.cu)

[bienvenido@civil.cujae.edu.cu](mailto:bienvenido@civil.cujae.edu.cu)

[yake@civil.cujae.edu.cu](mailto:yake@civil.cujae.edu.cu)

\*\*\*\*\*



ELIAS MARCOS GUTIERREZ HUAMAN

Para: [bienvenido@civil.cujae.edu.cu](mailto:bienvenido@civil.cujae.edu.cu); [yake@civil.cujae.edu.cu](mailto:yake@civil.cujae.edu.cu) y 2 más

Mié 26/04/2023 16:02

Artículo de Investigacion par...  
2 MB

Artículo de Investigacion par...  
938 KB

2 archivos adjuntos (3 MB) Guardar todo en OneDrive - Universidad Peruana Unión Descargar todo

Buenos días,

Me complace dirigirme a usted a través del presente correo electrónico para expresarle nuestros cordiales saludos y, a su vez, enviarle el artículo de investigación titulado: "**Modelamiento de la concentración de cloro residual con Watercad en las redes de distribución de agua potable en la ciudad de Santa María de Nieva - provincia Condorcanqui**".

En tal sentido, solicitamos amablemente su revisión y, en caso de tener observaciones, le agradecemos que las remita a este correo para poder subsanarlas, asimismo favor de confirmar la recepción del siguiente correo.

Agradecemos de antemano su pronta respuesta. ¡Gracias!

Atentamente,  
Elias Marcos Gutierrez Huaman  
Anthony Abel Dominguez Vasquez  
Reymundo Jaulis Palomino



[maray@civil.cujae.edu.cu](mailto:maray@civil.cujae.edu.cu)

Para: [ELIAS MARCOS GUTIERREZ HUAMAN](mailto:ELIAS MARCOS GUTIERREZ HUAMAN)

Jue 27/04/2023 11:33

Recibido

26 de abril de 2023 17:02, "ELIAS MARCOS GUTIERREZ HUAMAN" <[marcosgutierrez@upeu.edu.pe](mailto:marcosgutierrez@upeu.edu.pe)> escribió:

Lima, Ñaña 16 de agosto de 2022

**VISTO:**

El expediente de **Dominguez Vásquez Anthony Abel**, identificado(a) con Código Universitario N° 201520767 y **Gutierrez Huaman Elias Marcos**, identificado(a) con Código Universitario N° 201510452, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

**CONSIDERANDO**

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la aprobación e inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo y la designación o nombramiento del asesor para la obtención del título profesional;

Que **Dominguez Vásquez Anthony Abel** y **Gutierrez Huaman Elias Marcos**, han solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Modelamiento de la concentración de cloro residual con watercad en las redes de distribución de agua potable en la ciudad de Santa María de Nieva - provincia Condorcanqui." y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 16 de agosto de 2022, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

**SE RESUELVE:**

Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato artículo titulado "**Modelamiento de la concentración de cloro residual con watercad en las redes de distribución de agua potable en la ciudad de Santa María de Nieva - provincia Condorcanqui.**" y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar a **Ing. Reymundo Jaulis Palomino** como ASESOR para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo el cual fue dictaminado por: **Ing. Ferrer Canaza Rojas** y **Ing. David Diaz Garamendi**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.



*Erika Inés Acuña Salinas*  
Dra. Erika Inés Acuña Salinas  
**DECANA**



*Santiago Ramírez López*  
Dr. Santiago Ramírez López  
**SECRETARIO ACADÉMICO**

cc:  
-Interesado  
Asesor  
Dirección General de Investigación  
Archivo