



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA INGENIERÍA**

**ANÁLISIS DE LOS CONSUMOS HISTÓRICOS DE AGUA  
POTABLE DEL CANTÓN LA TRONCAL PROVINCIA DEL  
CAÑAR**

**Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil**

**Autor:**

Cali Parco, Wilmer Eduardo

**Tutor:**

Ing. Alfonso Patricio Arellano Barriga. Mgs

**Riobamba, Ecuador. 2023**

## DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, **Wilmer Eduardo Cali Parco**, con cédula de ciudadanía **0605742097**, autor del trabajo de investigación titulado: “**Análisis de los consumos históricos de agua potable del cantón La Troncal provincia del Cañar**”, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 19 de octubre de 2023.



---

Wilmer Eduardo Cali Parco

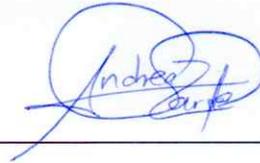
C.I: 0605742097

**DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL;**

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación: “Análisis de los consumos históricos de agua potable del cantón La Troncal provincia del Cañar” por **Wilmer Eduardo Cali Parco**, con cédula de identidad número **0605742097**, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 19 de octubre de 2023

Ing. Andrea Natali Zarate Villacres  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO**



---

Ing. María Gabriela Zúñiga Mgs.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



---

Ing. Lidia Jhoanna Gallardo Donoso  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



---

Ing. Alfonso Patricio Arellano Barriga Mgs.  
**TUTOR**



---

## CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “Análisis de los consumos históricos de agua potable del cantón La Troncal provincia del Cañar”, presentado por **Wilmer Eduardo Cali Parco**, con cédula de identidad número **0605742097**, bajo la tutoría de **Ing. MSc. Alfonso Patricio Arellano Barriga**; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 19 de octubre de 2023

Ing. Andrea Natali Zarate Villacres  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO**



---

Ing. María Gabriela Zúñiga Mgs.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



---

Ing. Lidia Jhoanna Gallardo Donoso  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



---

Ing. Alfonso Patricio Arellano Barriga Mgs.  
**TUTOR**



---



# CERTIFICACIÓN

Que, **CALI PARCO WILMER EDUARDO** con CC: **060574209-7**, estudiante de la Carrera **INGENIERÍA CIVIL, NO VIGENTE**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **"ANÁLISIS DE LOS CONSUMOS HISTÓRICOS DE AGUA POTABLE DEL CANTÓN LA TRONCAL PROVINCIA DEL CAÑAR"**, cumple con el 12%, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **URKUND**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 11 de octubre de 2023



Ing. Alfonso Patricio Arellano Barriga. Mgs  
**TUTOR TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este trabajo a mis padres Fanny y Juan, a mis dos hermanas Josselin y Genesis. Dedico tambien este trabajo de investigación a todos mis familiares quienes me han acompañado en este proceso largo pero lleno de aprendizaje. De una manera muy especial quiero dedicar este trabajo a mi abuelito Guillermo allá en el cielo quien impulso en mi las ganas y el amor por seguir esta hermosa carrera.

*Wilmer Eduardo Cali Parco*

## **AGRADECIMIENTO**

Primero, agradezco mucho a Dios quien me dio la vida y la fortaleza para culminar una meta importante en mi vida. A mis padres y toda mi familia por su apoyo incondicional en todo este proceso de aprendizaje. Quiero tambien agradecer a los docentes de la carrera por sus enseñanzas en las aulas de clases. De una manera especial agradecer al Ing. Alfonso Arellano por su apoyo y paciencia para que este proyecto de investigación se lleve a cabo.

*Wilmer Eduardo Cali Parco*

## Índice General

DERECHOS DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICACIÓN

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	16
1.1 Planteamiento del problema .....	23
1.2 Justificación .....	24
1.3 Objetivos.....	24
2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO. ....	25
3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA. ....	28
4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	32
4.1 Resultados.....	32
4.2 Prueba de normalidad y homocedasticidad .....	32
4.2.1 Transformación de Johnson .....	34
4.2.2 Análisis estadístico Anova .....	34
4.2.3 Prueba de Tukey .....	35
4.2.4 Gráfico de intervalos .....	37
4.2.5 Coeficiente de variación de consumo (Kd).....	39
4.2.6 Análisis sin considerar casos fortuitos o eventualidades.....	42
4.2.7 Coeficiente de variación de consumo (Kd) sin considerar casos fortuitos o eventualidades .....	43
4.3 Discusión .....	44
5. CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	48

5.1	Conclusiones.....	48
5.2	Recomendaciones .....	49
6.	BIBLIOGRAFÍA .....	50

## ÍNDICE DE TABLAS.

<b>Tabla 1</b>	Caudales de diseño para diferentes partes de un sistema de agua potable.....	19
<b>Tabla 2</b>	Valores de Kd obtenidos en la línea de estudio .....	21
<b>Tabla 3</b>	Datos de análisis del consumo de agua potable del cantón La Troncal.....	29
<b>Tabla 4</b>	Depuración de datos.....	32
<b>Tabla 5</b>	Análisis de varianzas de consumos medios .....	35
<b>Tabla 6</b>	Agrupación en parejas de Tukey.....	35
<b>Tabla 7</b>	Consumos medios históricos de La Troncal .....	37
<b>Tabla 8</b>	Tabla tipo semáforo de consumos altos, medios y bajos .....	39
<b>Tabla 9</b>	Coefficiente Kd para el cantón La Troncal .....	40
<b>Tabla 10</b>	Coefficientes de variación de ciudades se similar población .....	41

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Ubicación del Cantón La Troncal. ....	18
<b>Figura 2.</b>	Dotaciones recomendadas por la Norma CPE INEN.....	26
<b>Figura 3.</b>	Proceso del desarrollo de la investigación .....	28
<b>Figura 4.</b>	Gráfica de probabilidad.....	33
<b>Figura 5.</b>	Gráfica de residuos vs ajustes .....	33
<b>Figura 6.</b>	Transformación de Johnson .....	34
<b>Figura 7.</b>	Gráfica de intervalos del cantón La Troncal .....	38
<b>Figura 8.</b>	Comparación del coeficiente de variación de consumo $K_d$ vs la Norma INEN	41
<b>Figura 9.</b>	Gráfica de intervalos del cantón La Troncal sin considerar eventualidades .....	42
<b>Figura 10.</b>	Coeficientes de variación con y sin eventualidades .....	43

## RESUMEN

Durante muchos años, los diseños de sistemas de agua potable y alcantarillado en Ecuador se basaron en la norma CPE INEN 005-9-1, misma que no ha recibido cambios ni actualizaciones importantes hace más de 30 años. Esta es una de las razones para que la norma sugiera realizar estudios específicos para los cantones, pueblos y ciudades con el objetivo de obtener datos ajustados a la realidad poblacional de los cantones, ciudades, parroquias, etc., con relación a los consumos de agua para realizar un diseño de alcantarillado y agua potable óptimo. En esta investigación, se recopilaron las lecturas de consumo de agua potable del cantón La Troncal, con el cual se determinó un valor de coeficiente de variación de consumo que puede ser utilizado para el diseño de sistemas de agua potable y alcantarillado. La investigación forma parte y contribuye al proyecto “Determinación de la variación de consumos de agua potable en ciudades menores a 150000 habitantes del Ecuador”. Para esta investigación se empleó un método cuantitativo estructurado usando herramientas estadísticas (Minitab) con el cual se realizaron: Pruebas de normalidad y homocedasticidad, análisis de varianzas, pruebas de Tukey, diagramas de intervalos y diagramas descriptivos. Los resultados muestran que el coeficiente de variación de consumo ( $K_d$ ) hallado para en cantón La Troncal se encuentra dentro del rango que establece la norma INEN de 1.3 a 1.5.

**Palabras claves:** Coeficiente ( $K_d$ ), agua potable, registros históricos de consumo, diseños de sistemas de agua potable y alcantarillado.

## ABSTRACT

For many years, the design of drinking water and sewerage systems in Ecuador was based on the CPE INEN 005-9-1 standard, which has not received significant changes or updates for more than 30 years. This is one of the reasons why the standard suggests carrying out specific studies for cantons, towns, and cities with the objective of obtaining data adjusted to the population reality of the cantons, cities, parishes, etc., in relation to water consumption in order to carry out optimal sewerage and drinking water design. In this research, the drinking water consumption readings of the canton La Troncal were compiled, with which a value of the coefficient of variation of consumption was determined that can be used for the design of drinking water and sewerage systems. The research is part of and contributes to the project "Determination of the variation of drinking water consumption in cities with less than 150,000 inhabitants in Ecuador". For this research, a structured quantitative method was employed using statistical tools (Minitab) with which the following tests were carried out: normality and homoscedasticity tests, analysis of variances, Tukey tests, interval diagrams, and descriptive diagrams. The results show that the coefficient of variation of consumption (Kd) found for the canton of La Troncal is within the range established by the INEN standard of 1.3 to 1.5.

**Keywords:** Coefficient (Kd), drinking water, historical consumption records, drinking water, and sewerage system designs.

TRANSLATED BY:



Mgs. Marco Aquino R.  
DOCENTE DE COMPETENCIAS LINGÜÍSTICAS  
UNACH

## **1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

El agua es un derecho humano fundamental que todas las personas deben disponer. La Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua, en el Art.57 menciona: “El derecho humano al agua es el derecho de todas las personas a proporcionar agua limpia, suficiente, saludable, aceptable, accesible y asequible en términos de cantidad, calidad, continuidad y cobertura” (ARCA, 2014). Por esta razón es importante asegurar la continuidad y cobertura de este recurso como parte del derecho humano de toda la ciudadanía.

Con el pasar de los años, en nuestro país los problemas con la cobertura de agua se han incrementado como lo establece uno de los informes emitidos por Senagua (2020). En este informe se establece que la cobertura a nivel Nacional es del 63%, en zonas urbanas un 83,7% y en la zona rural solo un 39%. Al analizar estas cifras, podemos verificar que la cobertura de agua a nivel nacional no está alcanzando su 100%, siendo un problema considerable por las tasas de crecimiento demográfico.

El cantón La Troncal perteneciente a la provincia del Cañar, se encuentra dentro de este problema al no alcanzar el 100% de cobertura de agua potable. La empresa encargada de la administración y gestión del recurso hídrico es la EMAPAT-EP (Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario de La Troncal), misma que conjuntamente al Gobierno Municipal no han logrado cumplir con los objetivos planteados por diversos factores.

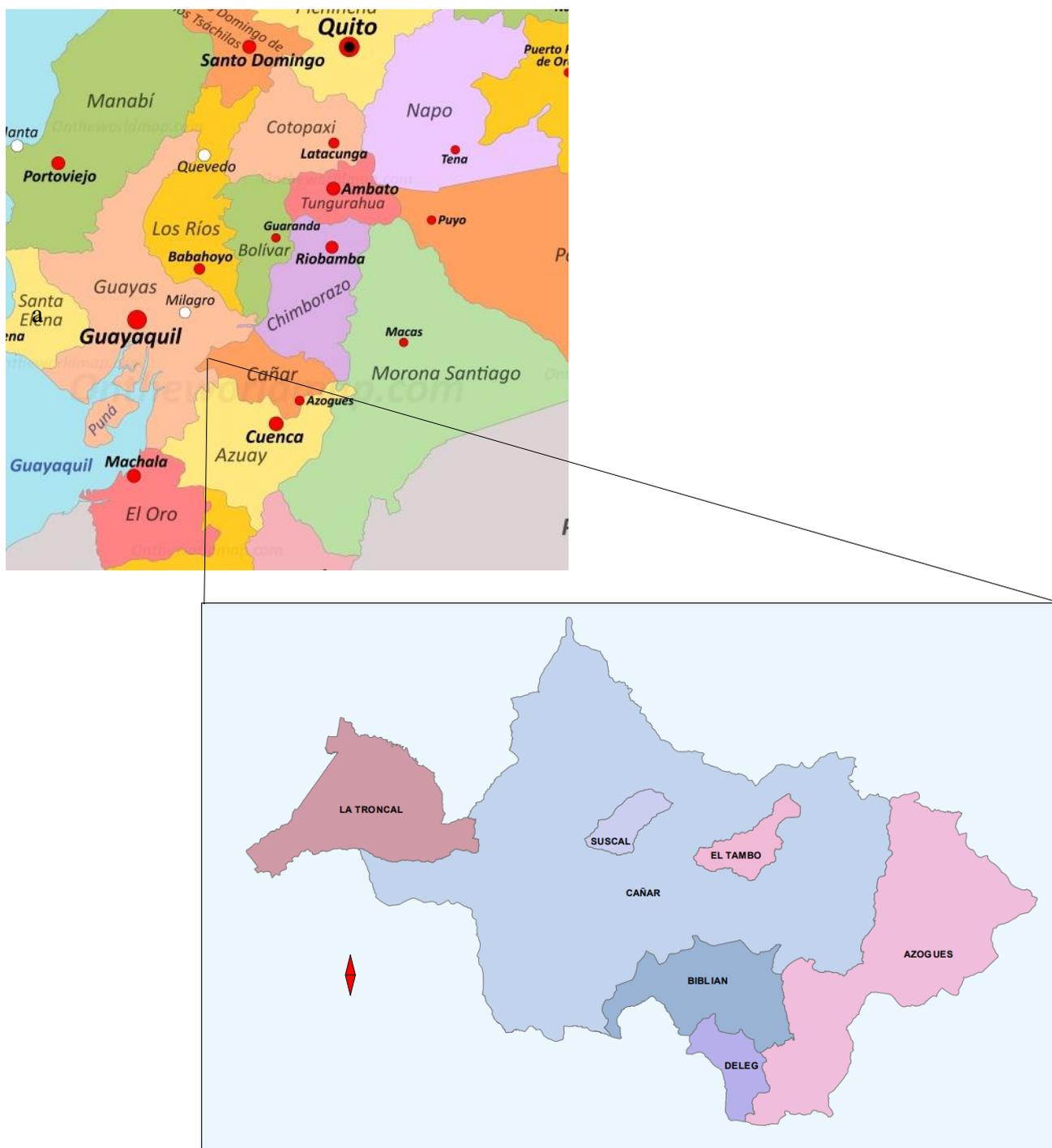
Con base en los informes emitidos por la Comisión Especial de Gestión y Seguimiento del Agua Potable de la Troncal, se presume que los problemas de dotación tienen que ver con la captación superficial de los ríos Yanayacu y Estero Azul, considerándose insuficientes para abastecer de agua a todo el cantón. Además, la comisión antes mencionada analiza la falta de ejecución de proyectos de ampliación y mantenimiento en las redes de agua potable en base a los Planes Operativos Anuales presentados por la Emapat-Ep (GAD La Troncal, 2014). Es así

que la cobertura provincial de agua en el Cañar por red pública llega a un 71.7%. Por otra parte, la cobertura a nivel cantonal alcanza un 67.5% (SENPLADES, 2014).

El cantón La Troncal se ubica en la región costa occidental de la provincia del Cañar constituido por las subcuencas de los ríos Bulubulu y Cañar. Abarca una jurisdicción cantonal de 32 780 hectáreas con una temperatura promedio de 24,6 °C, mínima de 20,9 °C y máxima de 29,2 °C. La estación invernal en el cantón se presenta en los meses entre diciembre y mayo, mismo periodo que viene acompañado por una época lluviosa. Según la actualización del Plan de Ordenamiento Territorial, el cantón La Troncal tiene 54 389 habitantes (GAD La Troncal, 2014).

Según los resultados de VI Censo de Población y Vivienda, realizado por el INEC, la provincia del Cañar cuenta con una población de 206 981 habitantes, conformada por 6 cantones: Biblián con un 10% de la población total, Cañar con el 28,10 %, Déleg con un 3%, La Troncal con 21,40%, Suscal con el 2.1% y Azogues con el 31,40%. Los porcentajes muestran que los cantones Cañar, La Troncal y Azogues, son los que cuentan con el mayor número de habitantes. Por esta razón se considera al cantón La Troncal como una zona estratégica para realizar la investigación, además de contar con los datos necesarios para este estudio (GAD La Troncal, 2014).

El 35 % de su población reside en el área rural y el 65% en el área urbana. De acuerdo con el plan de ordenamiento territorial del cantón La Troncal, existe un incremento poblacional considerable desde los años 1974 al 2010 (GAD La Troncal, 2014). Según el censo de Población y Vivienda 2010, el cantón La Troncal tiene 35251 habitantes en la zona urbana, equivalente a un 64,8% del 100% de la población (INEC, 2010).



**Figura 1.** Ubicación del Cantón La Troncal.

**Fuente:** Cali W. (2023)

Durante muchos años, los cálculos para los caudales de diseño de agua potable son establecidos por la Norma Ecuatoriana CPE INEN 005-9-1. Para un diseño o rediseño de redes de distribución la norma establece la determinación del caudal máximo diario, el mismo que se encuentra en función del coeficiente de variación de consumo ( $Kd$ ) y del caudal medio, expresado en la siguiente ecuación:

$$Q_{m\acute{a}x.d\acute{a}a} = Kd * Q_{med.d\acute{a}a} \quad [ 1 ]$$

Donde:

$Q_{m\acute{a}x.d\acute{a}a}$ : Caudal máximo diario

$Kd$ : Coeficiente de variación de consumo

$Q_{med.d\acute{a}a}$ : Caudal medio diario (Puede usarse actual o futuro)

La norma recomienda utilizar los valores de 1.3 a 1.5 para el coeficiente de variación de consumo ( $Kd$ ). La Norma CPE INEN 005-9-1, especifica los siguientes caudales de diseño para los diferentes elementos de un sistema de agua potable mencionados en la tabla 1.

**Tabla 1** Caudales de diseño para diferentes partes de un sistema de agua potable

<b>Elemento</b>	<b>Caudal</b>
Captación de aguas superficiales	Máximo diario + 20%
Captación de aguas subterráneas	Máximo diario + 5%
Conducción de aguas superficiales	Máximo diario + 10%
Conducción de aguas subterráneas	Máximo diario + 5%
Red de distribución	Máximo horario + incendio
Planta de tratamiento	Máximo diario + 10%

**Fuente:** (CPE INEN, 1992)

La siguiente investigación tiene como objetivo establecer un valor de coeficiente de variación de consumo ( $K_d$ ) para el cantón La Troncal. La determinación de este valor permitirá que se puedan obtener caudales de diseño más eficientes y ajustados a las cifras actuales de consumo para ser aplicados en las futuras redes de distribución de la zona.

La Universidad Nacional de Chimborazo ha elaborado varios estudios siguiendo la línea de investigación perteneciente al proyecto “Determinación de la variación de consumos de agua potable en ciudades menores a 150000 habitantes del Ecuador”. Las investigaciones realizadas han logrado determinar a través de los consumos mensuales históricos, coeficientes de variación de consumo diario como podemos observar en la tabla 2.

Los resultados obtenidos en las investigaciones realizadas permitieron que Arellano & Peña (2020) categorizaran los factores de variación de consumo ( $K_d$ ) en dos modelos matemáticos que pueden ser utilizados para calcular los consumos per cápita de agua. El primer modelo calcula el consumo per cápita cuando se ha obtenido datos mensuales durante un semestre y la segunda estima el consumo per cápita mensual sin considerar individualmente a los estratos socioeconómicos.

Las cifras expuestas muestran que en nuestro país a lo largo de los años el crecimiento demográfico ha traído consigo la necesidad de satisfacer las demandas de la población en cuanto a servicios básicos como: la dotación de agua potable y alcantarillado. Pero a la vez nos demuestran la importancia de realizar la actualización de los coeficientes.

**Tabla 2** Valores de Kd obtenidos en la línea de estudio

Provincia	Cantón	Autor	Población (habitantes)	Usuarios	desde	hasta	Número datos	Consumo mensual promedio	Consumo máximo	kd
Chimborazo	P. Sta. Marianita	Peña Ronny	205	62	ene-16	may-20	3286	8,71	37,03	4,25
	P. El Quinche	Peña Ronny	217	67	ene-16	may-20	3551	12,3	23,13	1,88
	Tamaute	Peña Ronny	237	114	ene-13	may-20	8778	9,63	20,06	2,08
	P. San Miguel	Peña Ronny	250	49	ene-16	may-20	2597	10,34	34,04	3,29
	P. San Pedro	Peña Ronny	300	84	ene-16	may-20	4452	8,84	20,59	2,33
	P. Grande	Peña Ronny	320	88	ene-16	may-20	4664	13,47	25,93	1,93
	Penipe	Peña Ronny	2089	709	ene-19	may-20	12762	8,64	13,44	1,56
	Chunchi	Sela Lorena	3784	1375	ene-15	nov-20	87736	15,44	19,78	1,28
	Guamote	Sela Lorena	2648	1348	ene-16	sep-20	34865	20,7	41,46	2,00
	Alausí	Chávez Katherine	5563	2013	ene-06	2021	362340	27,14	35,31	1,30
	Chambo	Chávez Katherine	3639	2023	feb-17	jul-21	97104	20,63	27,13	1,32
	Colta	Chávez Katherine	2295	1023	2017	2021	49104	18,77	27,22	1,45
	San José de Chazo	Vilema Darwin	2734	1056	2016	2021	50688	9,48	14,84	1,57
	Chingapules San Gerardo	Vilema Darwin	2242	418	2011	2021	50160	9,36	15,1	1,61
	Ilapo-Chingazos	Vilema Darwin	1613	505	2018	2021	21115	7,72	9,88	1,28
	San Japamba	Vilema Darwin	1428	265	2016	2021	15900	7,86	16,83	2,14
	Calshi Grande	Vilema Darwin	791	367	2017	2021	17616	6,61	7,79	1,18
Riobamba	Saltos Angie	146324	29877	2016	jun-20	1613358	17,58	20,77	1,18	
Bolívar	Chillanes	Hinojosa Lisseth	2681	1070	2018	jun-20	32070	9,13	12,51	1,37
	Chimbo	Hinojosa Lisseth	4402	1801	2018	jun-20	54030	14,1	20,38	1,45
	Echeandía	Hinojosa Lisseth	6170	2604	2018	jun-20	78120	13,4	15,13	1,13
	Guaranda	Hinojosa Lisseth	23874	5671	2009	jun-20	782598	15,17	20,03	1,32
Cañar	Cañar	Chávez Katherine	11114	4440	feb-18	dic-20	159840	18,22	24,38	1,34
	Tambo	Chávez Katherine	2883	2283	ene-15	jul-21	164376	15,81	19,83	1,25

Carchi	Mira	Jiménez Javier	5994	1632	ene-14	jun-20	127296	12,84	19,754	1,54
	El Ángel	Jiménez Javier	6325	1840	ene-14	jun-20	14352	14	19	1,28
Imbabura	San Miguel de Urcuquí	Jiménez Javier	d15671	5077	ene-14	jun-20	396006	11	15	1,34
	Antonio Ante (Atuntaqui)	Anangonó Evelyn	43518	3254	ene-11	dic-20	660000	16,94	26,12	1,54
	Cotacachi	Anangonó Evelyn	40036	2468	ene-12	sep-20	705600	16,53	36,85	2,23
	Ibarra	Caicedo Alex	181175	38118	ene-10	jul-21	4532730	16,08	19,55	1,22
Morona	Pablo Sexto	Guayara Francis	1823	409	2004	jul-05	76483	13,21	23,46	1,78
	Palora	Guayara Francis	6936	2017	2017	jul-05	84714	9,72	14,35	1,48
	Huamboya	Guayara Francis	8466	486	2017	jul-05	18954	11,48	19,45	1,69
	Morona	Guayara Francis	41155	7573	2010	jul-05	946625	17,64	23,51	1,33
	Sucúa	Nieto Gisell	18318	5469	ene-07	abr-21	946,137	18,25	34,93	1,91
	Santiago de Méndez	Nieto Gisell	9295	633	jun-15	mar-21	39879	20,57	33,61	1,63
	Limón Indanza	Nieto Gisell	9722	1148	may-06	jul-21	210084	18,92	27,17	1,44
Pastaza	Puyo	Salazar Bryan	33557	11214	jun-10	sep-20	852539	24,25	31,52	1,30
Napo	Tena	Fernández Carla	23307	4497	may-10	jul-20	357966	38,87	57,53	1,48
	Carlos Julio Arosemena Tola	Fernández Carla	931	710	feb-08	sep-20	49780	19,93	27,75	1,39
Cotopaxi	Latacunga	Cazorla Miguel	63842	13734	ene-09	dic-20	1375482	23,41	33,05	1,41
Tungurahua	Ambato	Sailema Karla	165258	49414	ene-10	dic-20	6522648	18,13	24	1,35
	Baños	Llerena Valeria	25043	6000	ene-10	may-21	864000	19,96	26,75	1,34
	Patate	Llerena Valeria	15825	1500	ene-10	mar-21	216000	14,04	22,86	1,63
	Píllaro	Ramos Isabel	43371	6000	ene-15	may-21	720000	9,98	13,16	1,32
	Pelileo	Ramos Isabel	66836	5000	ene-10	may-21	864000	19,15	29,9	1,56
Pichincha	Juan Montalvo	Chimarro Karina	12000	2374	ene-10	jul-21	502992	15,97	19,29	1,21
	Cayambe	Anangonó Evelyn	85795	4404	ene-08	dic-20	931944	20,15	23,56	1,17
	Rumiñahui	Ambato Lisbeth	85852	17036	ene-18	ago-21	673,487	20,24	32,4	1,60
	Machachi	Machado E.	16515	6820	nov-13	sep-21	641,08	19,87	24,52	1,23
Santo Domingo	Santo Domingo	Reino Richard	450000	53666	ene-18	dic-20	1713272	16,84	18,39	1,09

Fuente: (Arellano, 2022)

## **1.1 Planteamiento del problema**

La falta de cobertura en el cantón La Troncal ha obligado a la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de La Troncal (EMAPAT-EP), a someter a la ciudadanía a la suspensión del servicio de agua potable. Debido a que tiene que hacer reparaciones necesarias en el sistema. La ciudadanía constantemente exige a las autoridades encargadas, la disponibilidad del servicio de agua potable y la ampliación de la cobertura. El cantón no tendría estas molestias si las dotaciones de agua fueran las correctas y necesarias, misma que debería ser mayor a la que existe.

Las captaciones del cantón La Troncal son de tipo superficial en los ríos Yanayacu y Estero Azul. El caudal aproximado que se encuentra operativo es de 80 lt/s, mismo que es insuficiente debido a que toda la población no cuenta con el servicio las 24 horas y en muchas zonas del cantón no existen redes de agua (GAD La Troncal, 2014). Debido a esto, el cantón La Troncal se ve en la obligación de realizar ampliaciones y mejoramientos al sistema de agua potable, para lo cual será necesaria la determinación de caudales de diseño para captación y conducción.

Para la determinación de estos caudales es importante el factor  $K_d$ , mismo que al ser un indicador necesario para el cálculo debe ser lo más ajustado a la realidad de consumos de agua potable de cada cantón. La información histórica de consumos nos permite ajustar dicho factor. A través de este análisis podemos establecer un diagrama de variación de consumos y analizar sus picos máximos estableciendo tendencias para fines de gestionar y administrar mejor el recurso.

## **1.2 Justificación**

La investigación tiene como finalidad determinar el coeficiente de variación de consumo (Kd) actualizado para el cantón La Troncal. Este valor podrá ser utilizado por las entidades correspondientes para la ejecución de diseños y ampliaciones de los sistemas de agua potable del cantón, mejorando de esta forma la cobertura de agua en la ciudad. Los resultados que se obtengan en la presente investigación formaran parte del proyecto de investigación “Determinación de variación de consumos de agua potable en ciudades menores a 150000 habitantes del Ecuador”.

## **1.3 Objetivos**

### **General**

- Determinar el coeficiente de variación mensual Kd en base a los registros históricos procesados.

### **Específicos**

- Depuración de los datos primarios.
- Análisis estadístico de los datos procesados.
- Determinación de los caudales máximos, mínimos y medios de los datos procesados.

## **2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.**

El incremento de los usuarios en el sistema de agua potable es inevitable por los factores socio demográficos. Esto implica una mayor demanda en la capacidad del funcionamiento de los sistemas de agua potable. Por lo que es importante una correcta estimación de la demanda futura.

Arellano, Izurieta & Muñoz (2022) establecieron diferentes estratos socio económicos determinando que el consumo per cápita disminuye cuando el número de habitantes por vivienda aumenta. Además, determinaron que la variación en el consumo per cápita está relacionada con la demografía más no con los factores socioeconómicos. El crecimiento urbano, la poca inversión gubernamental en sistemas de agua potable y el cambio climático en las fuentes de agua, intervienen en la deficiencia de agua potable en muchos países en desarrollo.

Arellano & Peña (2020) plantearon dos modelos matemáticos que pueden ser utilizados para calcular los consumos per cápita de agua, en el cual la demografía es un factor que interviene en el consumo mensual de agua potable. Se establecieron 19 variables de estudio, de las cuales dos de ellas fueron las más importantes: la calidad del agua potable y la demografía. Además, mencionan que la determinación correcta de las dotaciones de agua para los sistemas de abastecimiento de agua potable es importante debido a que se puede optimizar el uso del recurso.

En Ecuador, en la actualidad las dotaciones utilizadas para los diseños de sistemas de abastecimiento de agua potable se encuentran establecidas en la Norma CPE INEN 005-9-1. Las características que predominan en la dotación son el clima y población. (INEN, 1992)

POBLACIÓN (habitantes)	CLIMA	DOTACIÓN MEDIA FUTURA (l/hab/día)
Hasta 5000	Frío	120 – 150
	Templado	130 – 160
	Cálido	170 – 200
5000 a 50000	Frío	180 – 200
	Templado	190 – 220
	Cálido	200 – 230
Más de 50000	Frío	> 200
	Templado	> 220
	Cálido	> 230

**Figura 2.** Dotaciones recomendadas por la Norma CPE INEN

**Fuente:** (INEN, 1992)

El caudal máximo diario depende del coeficiente de variación de consumo máximo diario. La norma CPE INEN 005-9-1, recomienda la aplicación de los valores de  $K_d=1,3$  a  $1,5$  cuando no se tienen estudios en sistemas existentes y no se pueda aplicar una analogía al proyecto en estudio.

Arellano et al, (2018) mencionan que las dotaciones de la Norma CPE INEN 005-9-1 fueron establecidas en la década de los 70 y no han recibido actualizaciones relevantes desde entonces. En sus estudios determinan que a finales de los 70, la distribución poblacional urbana era muy diferente a la actual, logrando evidenciar una mayor concentración demográfica en las ciudades. En sus estudios establecen que es necesario definir los rangos poblacionales para establecer las dotaciones de agua potable a través de una investigación de acuerdo con la nueva distribución demográfica del Ecuador.

Fernández & Salazar (2021) mencionan que los valores del  $K_d$  de cada ciudad muestran una variación real del consumo de agua potable y esta nos permite tener una estimación correcta de la demanda de cada población en la etapa de diseño, garantizando así el abastecimiento de este servicio.

Caicedo (2022) en su tesis de pregrado determinó a través de un análisis estadístico un valor de coeficiente de variación de consumo para el cantón Ibarra de 1.216. El coeficiente Kd calculado para el cantón Ibarra está por debajo del rango de 1.3 y 1.5 que recomienda la norma CPE INEN 005-9-1, por lo que recomienda la utilización de 1 para diseños de agua potable en este cantón. Se evidenciaron que los factores de gestión, calidad del agua, y el factor demográfico son los más influyentes en la variación de los consumos medios de agua potable.

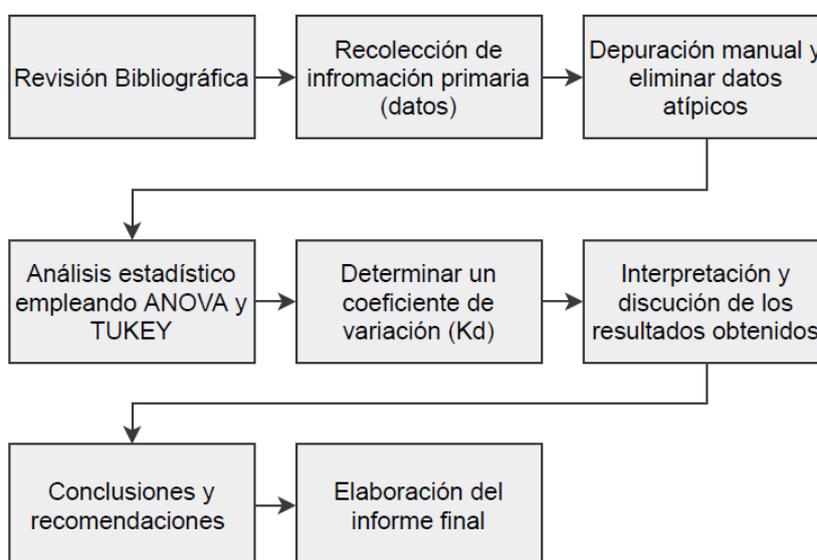
Nieto (2022) determinó un coeficiente de variación de consumo (Kd) mediante la relación del consumo máximo y el promedio total histórico en las ciudades de Morona Santiago. El cantón Limón Indanza, es el único que cumple con el rango establecido por Norma CPE INEN 005-9-1, con un valor de  $Kd=1.44$ . Para los cantones de Sucúa y Santiago de Méndez se obtuvieron valores de  $Kd=1.63$  y  $Kd=1.91$  respectivamente, quedando como insuficientes según los rangos establecidos por la norma. En base a los resultados es importante realizar la continuación de esta investigación en las demás ciudades del Ecuador para proceder con la actualización de la norma CPE INEN 005-9-1.

Jiménez (2020) en su tesis de pregrado realizó la comparación entre los consumos de agua potable de registros históricos y durante la cuarentena del año 2020, obteniendo una relación a través del coeficiente de variación de consumo mensual (Kd). El coeficiente se calculó en base al consumo mensual máximo obtenido en un lapso de 78 meses, y al consumo mensual promedio de cada población. Determinando valores de  $Kd=1.28$  para la ciudad de El Ángel,  $Kd=1.53$  para la ciudad de Mira, y  $Kd=1.34$  para el cantón San Miguel de Urququi. El valor del coeficiente de variación de consumo mensual calculado en la ciudad más pequeña de las analizadas es de  $Kd=1.53$  y para la población más grande de  $Kd=1.34$ . Evidenciando así que los sectores residenciales de poblaciones pequeñas tienen la particularidad de consumir una mayor cantidad de agua a comparación de poblaciones más grandes.

### 3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.

La investigación tiene un carácter investigativo en el cual se emplea un método cuantitativo de forma estructurada, que nos permitirá recopilar y analizar la información requerida. El resultado principal que se desea obtener es la determinación del coeficiente de variación de consumo (Kd). Para poder llegar a este resultado es necesario el uso de herramientas matemáticas como Microsoft Excel y análisis estadísticos en Minitab.

El diagrama presentado a continuación representa el desarrollo de la investigación.



**Figura 3.** Proceso del desarrollo de la investigación

**Fuente:** Cali W. (2023)

El desarrollo de la investigación inicialmente tiene como objetivo recopilar información relevante acerca de los consumos de agua potable en el Ecuador y el mundo. La información necesaria se obtuvo de Repositorios Universitarios y bibliotecas virtuales como: Scopus, ResearchGate, ProQuest y revistas científicas como NovaSinergia.

Existen diferentes zonas de estudio a ser analizadas, pero es necesario que cuenten con la información necesaria para el desarrollo de la investigación. Una vez realizado este análisis en

todos los cantones del Ecuador, se definió al cantón La Troncal como la zona a ser estudiada. La Ing. María Eugenia Ramos Gerente de la EMAPAT-EP, proporcionó los datos necesarios para la elaboración de la investigación que se pueden observar en la tabla 4.

**Tabla 3** Datos de análisis del consumo de agua potable del cantón La Troncal.

<b>Cantón</b>	<b>Nº Habitantes (Censo- 2010)</b>	<b>Nº Usuarios</b>	<b>Datos Desde</b>	<b>Datos Hasta</b>	<b>Nº Meses</b>	<b>Total de datos</b>
La Troncal	54 400	8294	Enero- 2017	Enero- 2022	61	508558

**Fuente:** Cali W. (2023)

Con la utilización del programa Microsoft Excel se ordenará los datos por cada año de forma ascendente y a su vez eliminando los valores negativos, ceros y celdas que estén en blanco de una forma manual. Los datos que serán eliminados son producto de una mala lectura o el deterioro de los medidores residenciales.

Una vez realizada esta primera etapa se ingresará los datos depurados al software Minitab para aplicar el método de cajas mismo que identifica y elimina valores atípicos de las lecturas de cada mes y año. Posteriormente con las gráficas de cajas y bigotes se procederá a eliminar los datos atípicos mediante rangos.

La función de cajas y bigotes es una forma de indicar grupos de datos numéricos a través de sus cuartiles. Además, permite evaluar la tendencia y variabilidad de distribución de los datos. Los elementos que componen la gráfica de bigotes son: mediana, caja de rango intercuartil y bigotes (Minitab18, 2019).

La mediana está representada como una línea dentro de la caja del gráfico, siendo un valor común del centro de los datos. La caja de rango intercuartil es la que representa el 50% de los datos intermedios. Los bigotes representan el 25% de los valores mínimos y el 25% de los

valores máximos. También se pueden representar como una línea vertical hacia arriba y debajo de la caja. Los datos atípicos se los representa mediante un asterisco (\*) y son valores muy distantes de la muestra, por lo que se procede a eliminarlos de la base de datos.

Al obtener datos sin valores atípicos se procederá a realizar pruebas de normalidad y homocedasticidad. La prueba de normalidad nos permite determinar si nuestro conjunto de datos tiene una distribución normal, es decir, si obtenemos una gráfica en forma de campana que se construirá con un polígono con una variable continua (Minitab18, 2018).

Existen tres tipos de pruebas de normalidad, pero en esta investigación se aplicará la prueba de normalidad de Anderson-Darling, porque es la más utilizada y recomendada por los investigadores para este tipo de análisis. Por otra parte, es necesaria la verificación si los datos tienen una distribución normal. Para realizar esta comprobación en valor p que debe arrojar Minitab debe ser menor a 0.05.

La siguiente etapa de nuestro análisis consiste en aplicar una prueba de homocedasticidad o también llamada prueba de homogeneidad de varianzas. Dicha prueba nos permite verificar si los datos que se están analizando se encuentran distribuidos aleatoriamente en la parte superior e inferior de un eje cero. Con la gráfica de residuos vs. ajustes se verifica la distribución (Minitab19, 2020).

Si obtenemos una distribución normal o si se cumple con una muestra grande de datos y con una distribución aleatoria de los datos, se procederá a realizar un análisis estadístico utilizando Anova. La aplicación del análisis de varianza de Anova puede identificar si todas las medias de los diferentes grupos son iguales o son diferentes. Este análisis a su vez plantea dos tipos de hipótesis: una hipótesis nula y una alternativa. La hipótesis plantea que todas las medias son iguales a diferencia de la alternativa que establece que no todas las medias son iguales. Es importante considerar un nivel de significancia que está representado por ( $\alpha$ ) y su valor es igual a 0.05.

Si tenemos una hipótesis alternativa se procederá realizar la prueba de Tukey para realizar grupos en rangos los valores de las medias. Se debe aplicar un nivel de significancia del 95% para realizar una comparación en parejas de Tukey agrupando por rangos los datos de los consumos de agua potable del año o mes que sean iguales asignándoles con una letra.

Finalmente, se realizará una comparación de picos de consumos máximos y mínimos de cada mes y año utilizando las gráficas de intervalos. Para determinar el coeficiente de variación de consumo máximo diario se debe despejar el coeficiente de variación  $Kd$  de la ecuación [1].

Obteniendo la siguiente ecuación:

$$Kd = \frac{Q_{m\acute{a}x.d\acute{a}a}}{Q_{med.d\acute{a}a}} \quad [2]$$

Donde:

$Kd$ : Coeficiente de variación de consumo

$Q_{m\acute{a}x.d\acute{a}a}$ : Caudal máximo diario

$Q_{med.d\acute{a}a}$ : Caudal medio diario (Puede usarse actual o futuro)

## 4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Resultados

Para la determinación del coeficiente de variación de consumo mensual de agua potable del cantón La Troncal, se obtuvieron 508558 datos primarios que fueron proporcionados por la Empresa Pública de Agua Potable y Alcantarillado del Cantón La Troncal (EMAPAT-EP). Para el análisis se tomaron en cuenta los consumos mensuales correspondientes al sector residencial del Cantón. Una vez realizada la depuración manual de los respectivos registros anómalos (ceros, negativos, etc.,), mismos que corresponder a lecturas erróneas y fallas técnicas en los medidores, se obtuvieron 310345 datos que pasan a formar parte del proceso de eliminación de datos atípicos en minitab. Posterior a la eliminación de datos atípicos con el método de cajas y bigotes en minitab se obtuvo como resultado 286313 datos válidos para el estudio.

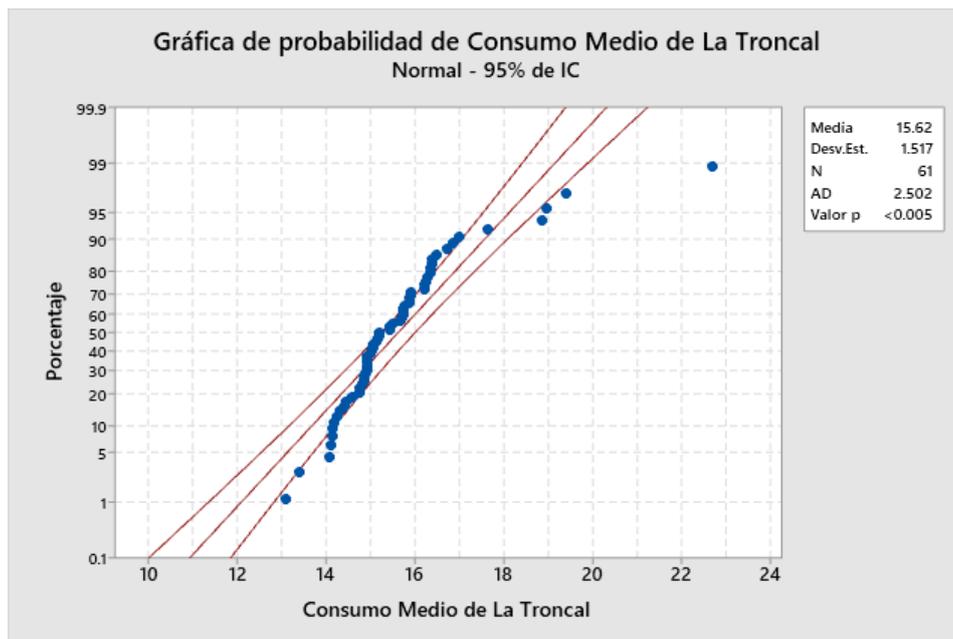
**Tabla 4** Depuración de datos

<b>Ciudad</b>	<b>Registros mensuales primarios</b>	<b>Negativos, ceros, celdas vacías y anómalos</b>	<b>Datos atípicos aplicando cajas y bigotes</b>	<b>Datos válidos</b>
La Troncal	508558	198213	24032	286313

**Fuente:** Cali W. (2023)

### 4.2 Prueba de normalidad y homocedasticidad

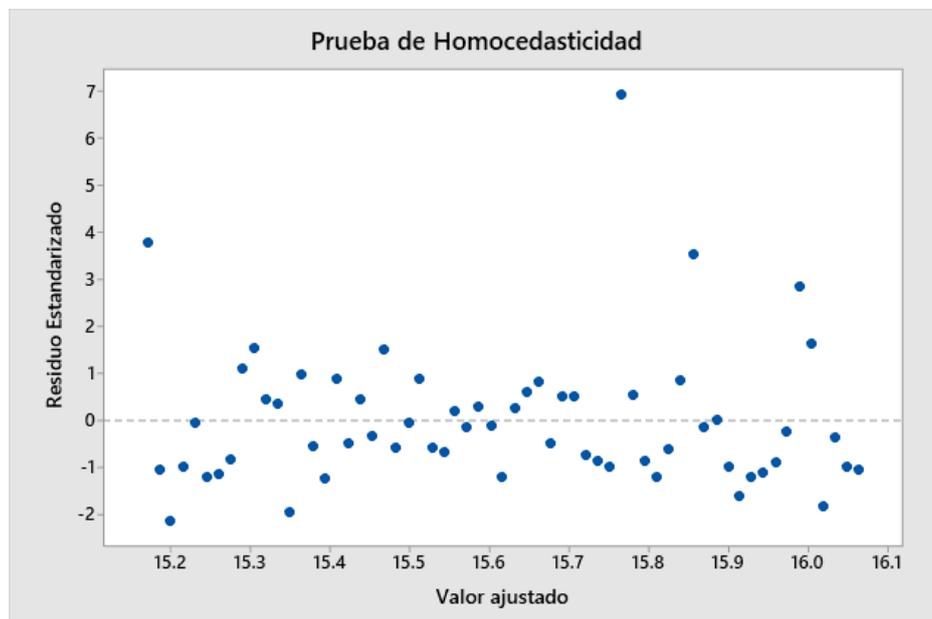
Una vez realizada la prueba de normalidad de Anderson-Darlingen con los datos válidos en minitab obtuvimos como resultado que la distribución de datos es no normal, debido a que el valor de “p” es menor a 0.005. Podemos observar la gráfica de la prueba de normalidad a continuación:



**Figura 4.** Gráfica de probabilidad

**Fuente:** Cali W. (2023)

Posterior a ello, se ejecutó la prueba de homocedasticidad en Minitab obteniendo la gráfica de residuos vs ajustes mostrándonos una distribución aleatoria de los datos analizados.



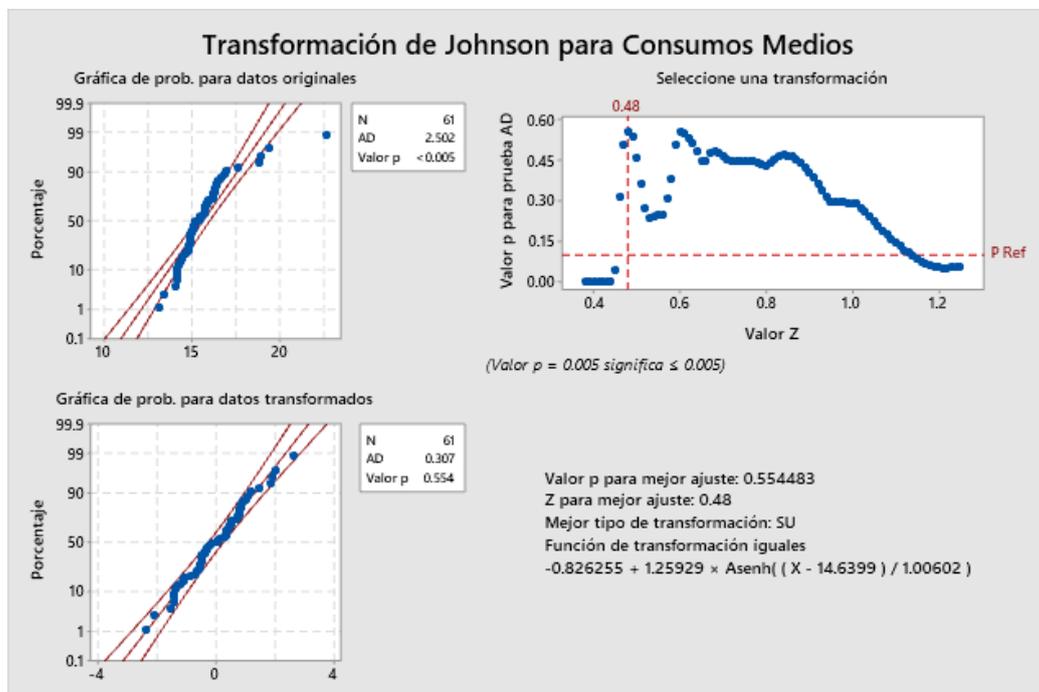
**Figura 5.** Gráfica de residuos vs ajustes

**Fuente:** Cali W. (2023)

### 4.2.1 Transformación de Johnson

Mediante la transformación de Johnson se intentaron convertir los datos no normales en datos normales. En la figura 6 podemos observar que los datos son resistentes a la transformación, ya que el valor de “p” con la transformación es de 0.554. El valor de significancia requerido para que los datos sean normales es de 0.05.

Debido a la cantidad de datos en análisis se aplicó la teoría de límite central y continuamos con el estudio empleando el análisis estadístico de Anova.



**Figura 6.** Transformación de Johnson

**Fuente:** Cali W. (2023)

### 4.2.2 Análisis estadístico Anova

Aplicando en análisis de varianza Anova, se pudo obtener un valor de P igual a 0.000, reflejado en la tabla 5. El valor obtenido al ser menor que el grado de significancia de 0.05 descarta en sí la hipótesis nula y establece que al menos un valor de las medias obtenidas de los consumos del cantón La Troncal es diferente.

**Tabla 5** Análisis de varianzas de consumos medios

Población	Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
La	Factor	60	620686	10344.8	101.28	0.000
Troncal	Error	286252	29238516	102.1		
	Total	286312	29859202			

Fuente: Cali W. (2023)

#### 4.2.3 Prueba de Tukey

Una vez realizada para prueba de Tukey podemos observar la diferencia en al menos un dato del consumo medio de agua potable. En la tabla 6 se puede evidenciar los resultados de la prueba. Se pudo obtener que el consumo histórico medio más alto se relaciona con la letra A y el consumo medio histórico mínimo con la letra V.

**Tabla 6** Agrupación en parejas de Tukey

Factor	N	Media	Agrupación
MAYO-20	3994	22.693	A
NOVIEMBRE-20	4792	19.385	B
ENERO-17	5021	18.965	B
AGOSTO-21	4865	18.846	B
SEPTIEMBRE-21	4732	17.646	C
SEPTIEMBRE-18	4769	16.979	C D
OCTUBRE-17	4559	16.846	C D
OCTUBRE-20	4738	16.711	D E
OCTUBRE-19	4641	16.480	D E F
SEPTIEMBRE-17	4346	16.391	D E F
DICIEMBRE-18	4825	16.385	D E F
FEBRERO-18	4477	16.344	D E F G
JUNIO-20	4396	16.338	D E F G
MAYO-18	4641	16.292	D E F G
SEPTIEMBRE-19	4748	16.240	D E F G H
ENERO-20	4802	16.222	D E F G H
DICIEMBRE-19	4689	16.191	D E F G H
AGOSTO-19	4692	15.906	E F G H I
ENERO-21	4659	15.896	E F G H I
JULIO-18	4666	15.876	E F G H I
MAYO-19	4720	15.872	E F G H I
NOVIEMBRE-17	4552	15.769	F G H I J
MARZO-19	4707	15.747	F G H I J K

JULIO-21	4777	15.732	F G H I J K
DICIEMBRE-20	4782	15.720	F G H I J K
DICIEMBRE-17	4441	15.698	F G H I J K L
NOVIEMBRE-21	4730	15.665	F G H I J K L M
JUNIO-19	4715	15.503	G H I J K L M N
NOVIEMBRE-18	4798	15.435	H I J K L M N O
ABRIL-19	4744	15.423	H I J K L M N O
SEPTIEMBRE-20	4632	15.206	I J K L M N O P
NOVIEMBRE-19	4620	15.205	I J K L M N O P
MAYO-17	5109	15.169	I J K L M N O P
AGOSTO-18	4680	15.115	I J K L M N O P Q
JUNIO-21	4683	15.066	I J K L M N O P Q R
DICIEMBRE-21	4743	15.065	I J K L M N O P Q R
ENERO-22	4650	15.005	J K L M N O P Q R S
FEBRERO-20	4631	15.000	J K L M N O P Q R S
JUNIO-18	4506	14.933	J K L M N O P Q R S T
ENERO-19	4822	14.933	J K L M N O P Q R S T
JULIO-20	4488	14.928	J K L M N O P Q R S T
FEBRERO-21	4656	14.926	J K L M N O P Q R S T
OCTUBRE-18	4715	14.902	K L M N O P Q R S T
MARZO-20	4996	14.875	L M N O P Q R S T U
FEBRERO-19	4823	14.859	L M N O P Q R S T U
MAYO-21	4769	14.844	L M N O P Q R S T U
MARZO-18	4545	14.817	M N O P Q R S T U
ABRIL-20	5332	14.762	N O P Q R S T U
ABRIL-21	4600	14.733	N O P Q R S T U
AGOSTO-20	4549	14.594	O P Q R S T U
AGOSTO-17	4399	14.432	P Q R S T U
JULIO-19	4697	14.419	P Q R S T U
MARZO-21	4644	14.307	Q R S T U
ABRIL-17	4963	14.235	R S T U V
OCTUBRE-21	4698	14.184	S T U V
ABRIL-18	4531	14.143	S T U V
FEBRERO-17	5054	14.129	T U V
JULIO-17	4397	14.115	T U V
JUNIO-17	5018	14.052	U V
ENERO-18	4409	13.391	V
MARZO-17	4936	13.071	V

**Fuente:** Cali W. (2023)

En la tabla 7 se resalta de color verde, rojo y morado al consumo máximo histórico, consumo mínimo histórico y consumos históricos durante los meses que duro el confinamiento durante la pandemia del Covid-19. El objetivo de realizar este proceso es para poder observar las diferencias que existen entre estos consumos con respecto a los meses sin eventualidades.

**Tabla 7** Consumos medios históricos de La Troncal

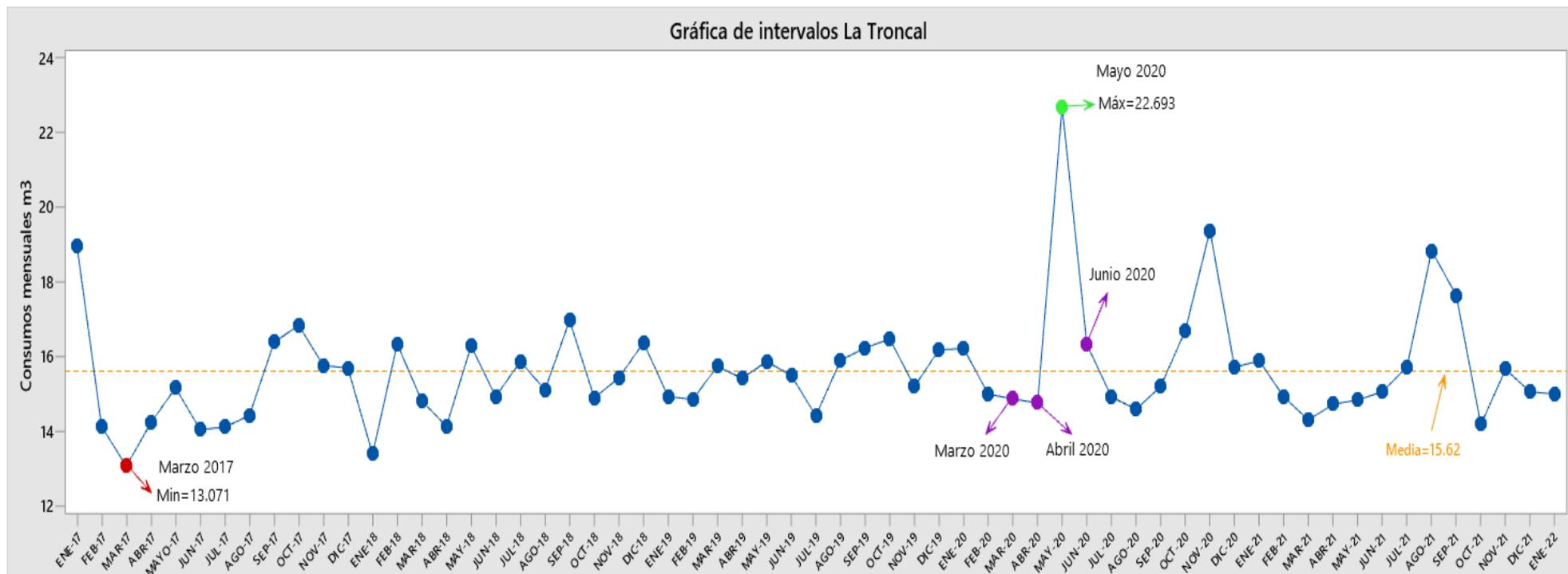
Mes/Año	2017	2018	2019	2020	2021	2022
<b>Enero</b>	18.965	13.391	14.933	16.222	15.896	15.005
<b>Febrero</b>	14.129	16.344	14.859	15.000	14.926	
<b>Marzo</b>	13.071	14.817	15.747	14.875	14.307	
<b>Abril</b>	14.235	14.143	15.423	14.762	14.733	
<b>Mayo</b>	15.169	16.292	15.872	22.693	14.844	
<b>Junio</b>	14.052	14.933	15.503	16.338	15.066	
<b>Julio</b>	14.115	15.876	14.419	14.928	15.732	
<b>Agosto</b>	14.432	15.115	15.906	14.594	18.846	
<b>Septiembre</b>	16.391	16.979	16.240	15.206	17.646	
<b>Octubre</b>	16.846	14.902	16.480	16.711	14.184	
<b>Noviembre</b>	15.769	15.435	15.205	19.385	15.665	
<b>Diciembre</b>	15.698	16.385	16.191	15.720	15.065	

● Consumo mínimo histórico      ● Consumo máximo histórico      ● Meses de cuarentena

**Fuente:** Cali W. (2023)

#### 4.2.4 Gráfico de intervalos

Una vez que se obtuvieron las medias correspondientes a todos los consumos históricos, se procedió a la elaboración de un gráfico de intervalos y su media respectiva. Según la gráfica obtenida, el cantón La Troncal registra una tendencia de consumo máximo histórico en el mes de mayo del 2020. Cabe recalcar que este consumo se registra durante el periodo de confinamiento por la pandemia del Covid-19 y posterior a ello podemos observar un decrecimiento considerable para el mes de junio de 2020. La tendencia de los consumos para el año 2017 es irregular, debido a que no se ve reflejado un crecimiento o decrecimiento constante en la gráfica. Durante este año se produjo el consumo mínimo histórico en el mes de marzo, pero podemos ver un ligero crecimiento para los meses de abril 2017 y mayo 2017.



● Consumo mínimo histórico      ● Consumo máximo histórico      ● Meses de cuarentena      - - - - - Media

**Figura 7.** Gráfica de intervalos del cantón La Troncal

**Fuente:** Cali W. (2023)

El comportamiento de los consumos históricos ha sido variable a lo largo de los años y para poder facilitar su comprensión se elaboró una tabla de colores tipo semáforo. Esta tabla muestra las tendencias de los consumos divididas en rangos (alto, medio y bajo). Los valores entre 13.071 a 15.066 son considerados consumos bajos y se encuentran representados con el color verde. Mediante el color amarillo identificaremos los consumos medios, que van entre los valores 15.115 a 17.646 y el rojo para los consumos altos comprendidos entre los valores de 18.846 a 22.693. Los consumos relacionados a los meses de cuarentena corresponden al color morado.

**Tabla 8** Tabla tipo semáforo de consumos altos, medios y bajos

Mes/Año	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Enero	18.965	13.391	14.933	16.222	15.896	15.005
Febrero	14.129	16.344	14.859	15.000	14.926	
Marzo	13.071	14.817	15.747	14.875	14.307	
Abril	14.235	14.143	15.423	14.762	14.733	
Mayo	15.169	16.292	15.872	22.693	14.844	
Junio	14.052	14.933	15.503	16.338	15.066	
Julio	14.115	15.876	14.419	14.928	15.732	
Agosto	14.432	15.115	15.906	14.594	18.846	
Septiembre	16.391	16.979	16.240	15.206	17.646	
Octubre	16.846	14.902	16.480	16.711	14.184	
Noviembre	15.769	15.435	15.205	19.385	15.665	
Diciembre	15.698	16.385	16.191	15.720	15.065	

● Consumo máximo histórico   ● Consumo mínimo histórico   ● Meses de cuarentena  
 ● Consumo medio   ● Consumo máximo

Fuente: Cali W. (2023)

#### 4.2.5 Coeficiente de variación de consumo (Kd)

La norma CPE INEN 005-9-1, establece una ecuación para determinar el caudal máximo diario utilizando el coeficiente de variación de consumo y un caudal medio diario. La ecuación que propone la norma es la siguiente:

$$Q_{\text{máx. día}} = Kd * Q_{\text{med. día}} \quad [3]$$

**Donde:**

**$Q_{\text{máx. día}}$ :** Caudal máximo día.

**$Kd$ :** Coeficiente de variación de consumo.

**$Q_{\text{med. día}}$ :** Caudal medio diario (actual o futuro).

A través de esta fórmula, se procedió a realizar una relación entre el consumo máximo histórico y el caudal medio histórico obtenido en los cálculos anteriores. En la tabla se muestran los resultados de cálculo.

**Tabla 9** Coeficiente Kd para el cantón La Troncal

Cantón	Habitantes	Número de usuarios	Consumo máximo histórico m <sup>3</sup>	Consumo medio histórico m <sup>3</sup>	Kd	Cobertura de agua potable (2014)
La Troncal	54 400	8294	22.693	15.617	1.453	67.5%

**Nota:** Número de usuarios hasta enero de 2022

**Fuente:** Cali W. (2023)

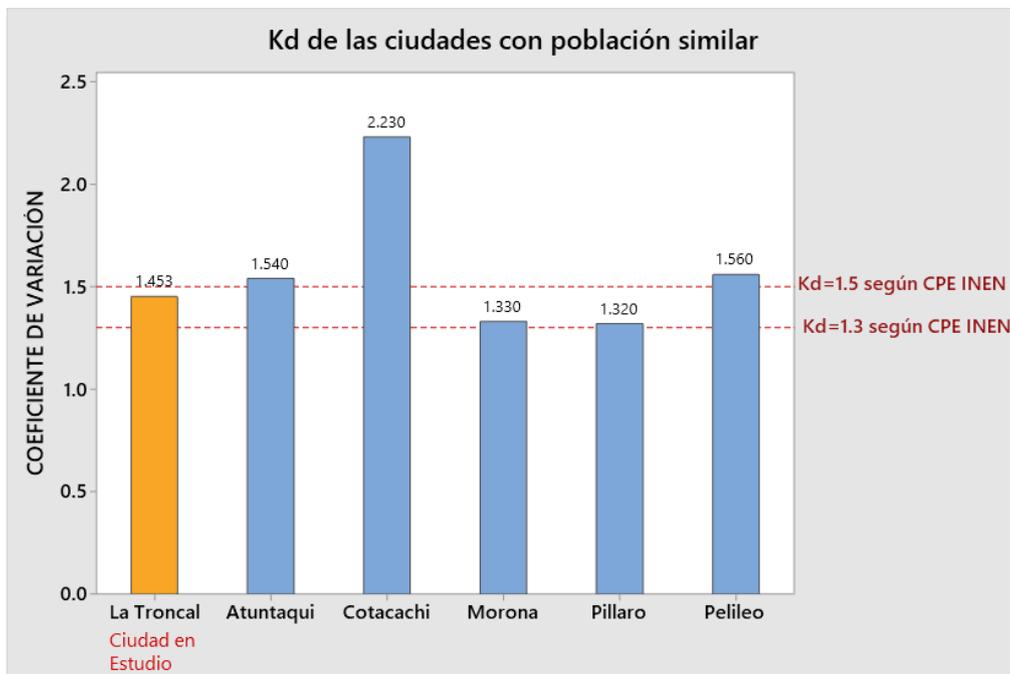
Con estos resultados se procedió a realizar una comparación con los coeficientes de variación de consumo de ciudades de similar población que ya fueron estudiadas. En la tabla 10 se describen los resultados de las ciudades de Atuntaqui, Cotacachi, Morona y Pillaro.

**Tabla 10** Coeficientes de variación de ciudades se similar población

Ciudad	Población (habitantes)	Kd
La Troncal	54400	1.453
Atuntaqui	43518	1.54
Cotacachi	40036	2.23
Morona	41155	1.33
Pillaro	43371	1.32
Pelileo	66836	1.56

**Fuente:** Cali W. (2023)

Los valores se representaron en una gráfica de barras con el objetivo de determinar si los valores obtenidos están dentro del rango de la norma CPE INEN. Las ciudades que resultaron fuera del rango establecido por la norma fueron Atuntaqui, Cotacachi y Pelileo, como se pueden observar en la siguiente figura.

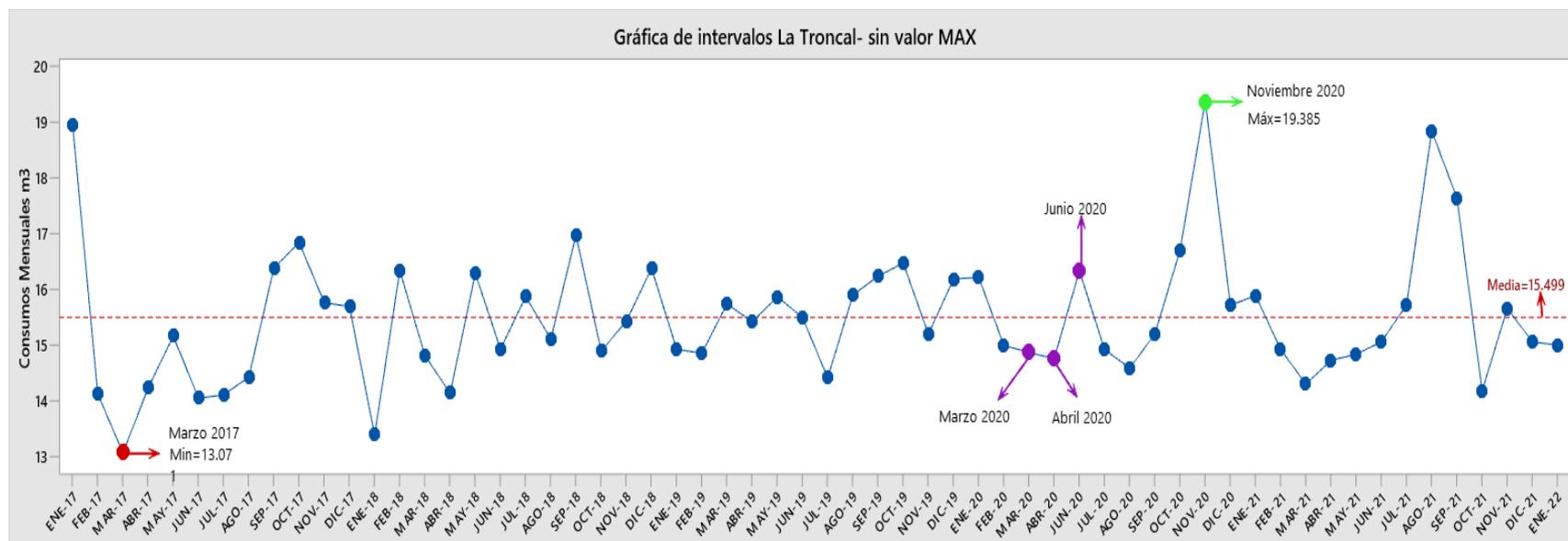


**Figura 8.** Comparación del coeficiente de variación de consumo Kd vs la Norma INEN

**Fuente:** Cali W. (2023)

#### 4.2.6 Análisis sin considerar casos fortuitos o eventualidades

En la figura 9 se procedió a eliminar el consumo máximo generado en los meses de confinamiento por la pandemia del Covid-19 al considerar dicho acontecimiento como una eventualidad o caso fortuito. Se realizó una nueva gráfica de intervalos y con esta modificación el nuevo valor máximo ahora corresponde al mes de noviembre 2020.



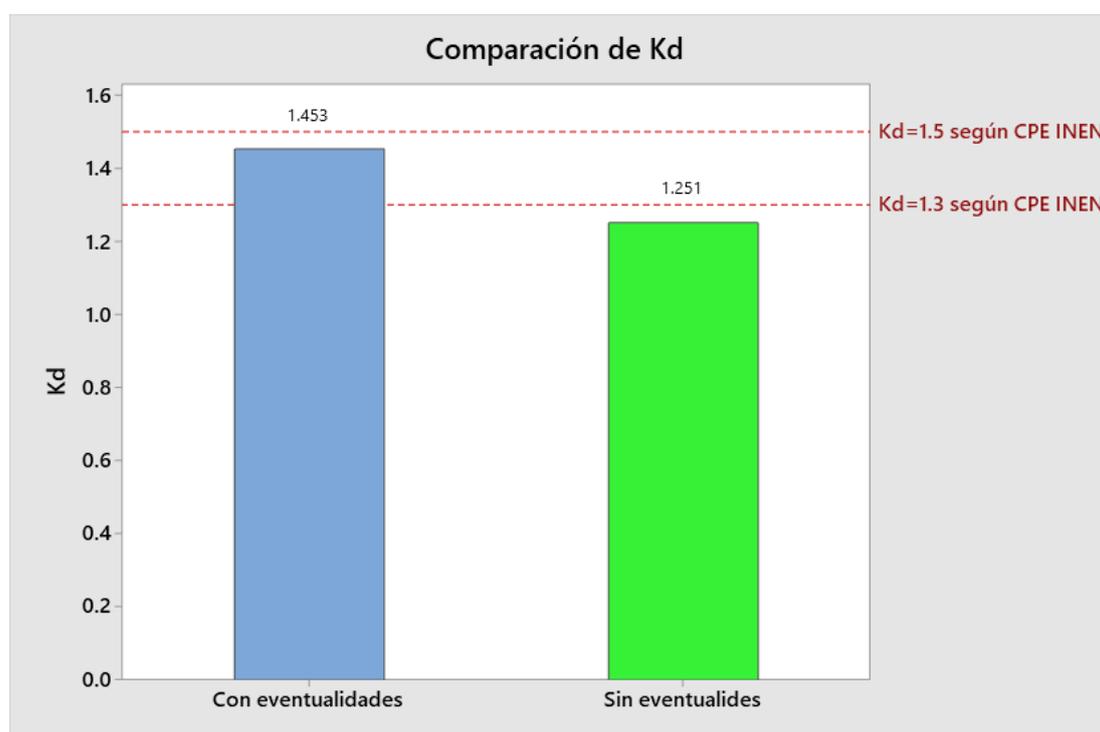
● Consumo mínimo histórico      ● Consumo máximo histórico      ● Meses de cuarentena      - - - - - Media

**Figura 9.** Gráfica de intervalos del cantón La Troncal sin considerar eventualidades

**Fuente:** Cali W. (2023)

#### 4.2.7 Coeficiente de variación de consumo (Kd) sin considerar casos fortuitos o eventualidades

Con la modificación del gráfico de intervalos anterior, el consumo medio histórico fue de 15.499 m<sup>3</sup> de agua y el consumo máximo histórico de 19.385 m<sup>3</sup> correspondiente al mes de noviembre de 2020. Al aplicar la ecuación propuesta por la norma CPE INEN se obtuvo un nuevo valor de Kd igual a 1.251 diferente al valor de 1.453 obtenido en la tabla 9. En la ilustración podemos observar la comparación entre los coeficientes de variación de consumo con eventualidades y sin eventualidades. El coeficiente Kd con eventualidades se encuentra en el rango establecido por la norma, mientras que el valor sin eventualidades está ligeramente debajo del valor mínimo de Kd que establece la normativa.



**Figura 10.** Coeficientes de variación con y sin eventualidades

**Fuente:** Cali W. (2023)

### 4.3 Discusión

En el cantón La Troncal se puede observar a través de la gráfica de intervalos que los consumos están cercanos a la media. La tendencia en el ascenso y disminución de valores no es bastante clara. El consumo máximo histórico se registró en el mes de mayo 2020 correspondiente al confinamiento por la pandemia del Covid-19, cabe recalcar que existen tres picos adicionales de consumos máximos históricos en los meses de enero 2017, noviembre 2020 y agosto 2021. Posterior a este análisis podemos identificar que la mayoría de los valores están por debajo de la media, obteniendo un valor mínimo histórico en el mes de marzo de 2017.

Durante la época invernal (meses entre diciembre y mayo), la falta de abastecimiento de agua potable es evidente debido al registro de consumos por debajo de la media. La tendencia decreciente en los valores de consumos medios históricos entre los años 2017 al 2021 es evidente durante esta temporada. Además, podemos analizar que el valor mínimo de 13.071 m<sup>3</sup> correspondiente a marzo 2017, se originó durante el invierno. Se presume que las altas temperaturas e intensas lluvias en el cantón ocasionaron que la captación superficial en los ríos Yanayacu y Estero Azul generen problemas de abastecimiento, reflejando lo ya mencionado por la concejalía a través de la Comisión Especial de Gestión y Seguimiento del Agua Potable de la Troncal.

Posterior a la temporada invernal, la disminución de los problemas de distribución del líquido vital puede verse reflejada con el crecimiento en los consumos entre los meses de junio y agosto. Las tendencias son similares a lo largo de los años de estudio, por lo que se presume que la falta de abastecimiento en el invierno no ha sido solucionada en su totalidad.

En el mes de julio de 2019, a través de un informe emitido por la concejalía del cantón La Troncal, la EMAPAT-EP informó la suspensión del servicio de agua potable hasta por 24 horas. Las suspensiones se dieron con el fin de realizar reparaciones en el sistema de distribución y

líneas de conducción desde las plantas de almacenamiento de agua potable. Prueba de ello son los valores por debajo de la media obtenidos en el mes de julio de 2019.

Posterior a este mes existe un crecimiento en el consumo en los meses de agosto, septiembre y octubre del 2019, meses en los cuales posiblemente finalizaron las obras de mantenimiento y reparación de la red, haciendo que la población incremente el consumo de agua potable.

Una de las actividades económicas del cantón La Troncal es el comercio, ocasionando que una parte de la población sea proveniente de otras provincias para ejercer esta actividad económica. Durante los dos primeros meses de cuarentena (marzo y abril), el consumo refleja un leve decrecimiento con relación a la media. Se presume que, cierta parte de la población regreso a su lugar de origen por temor al virus o debido a la paralización de las actividades en instituciones públicas y privadas, coincidiendo con lo estudiado por Muñoz (2019), quien determinó que el consumo de agua potable dependerá del número de personas en una población.

En el siguiente mes de cuarentena (mayo 2020) el consumo de agua alcanza su pico máximo de consumo con un valor de 22.693 m<sup>3</sup>. La razón del alto consumo se puede atribuir al retorno de las actividades en instituciones públicas, privadas, centros comerciales, etc. El gobierno de la República del Ecuador permitió un aforo del 50% de personas en todos los lugares de concentración de personas. De tal manera, las personas retornaron a su lugar de residencia para volver a ejercer sus actividades económicas, razón por la cual podría ser el motivo del alto consumo de agua potable en el cantón La Troncal en el mes de junio de 2020 sea más elevado.

En el mes de junio de 2020 existe una disminución considerable a diferencia del consumo máximo del mes mayo de 2020. El Plan Operativo Anual presentado a finales del año 2020 por la EMAPAT-EP menciona que se ejecutaron obras de mantenimiento y ampliación en las redes de agua potable, sumado a esto la continuación de la ejecución del plan maestro de agua potable etapa 1 de La Troncal. Estas actividades se ejecutaron a lo largo de todo el año 2020, pero se registra una mayor concurrencia en los meses de junio, julio, agosto y septiembre de 2020. La

falta de servicio de agua potable debido a las suspensiones del servicio por la ejecución de estas obras, ocasionaron la disminución en los registros de consumo históricos durante estos meses. Además, se presume que uno de los factores que influyen en la dotación de agua potable a la ciudadanía es la falta de reservas de agua potable que disponen.

A inicios del año 2021 en los meses de marzo, abril, mayo, junio la EMPAPAT-EP ejecutó un plan de ampliación y mantenimiento de redes de agua potable en el cantón con el objetivo de total al 80% de viviendas con el servicio. Cabe resaltar que en este año se repitieron los efectos de la etapa invernal en La Troncal ocasionando problemas en las redes de abastecimiento. Además, en los meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre de 2021, se procedió al suministro e instalación de medidores en el cantón, así como, la ampliación y mantenimiento de agua potable según el plan de operativo anual presentado por la EMAPAT-EP.

Por último, se determinó el coeficiente de variación de consumo ( $K_d$ ) para el cantón La Troncal, obteniendo un valor de 1.453, mismo que se encuentra dentro del rango establecido por la norma, como podemos ver en la ilustración 10. Este valor se comparó con el de ciudades investigadas con similitudes en su población como Atuntaqui, Cotacachi, Morona, Pillaro, Pelileo determinando que sus coeficientes de variación de consumo ( $K_d$ ) están dentro del rango establecido por la norma. Salazar (2020) establece que en ciudades consideradas grandes el consumo de agua es menor al consumo de ciudades pequeñas, en este caso este tipo de ciudades pueden ser consideradas pequeñas y debido a ello su consumo puede llegar a ser mayor.

No obstante, se realizó un nuevo gráfico de intervalos sin considerar el consumo máximo que se presentó en el mes de mayo de 2020 mostrado en la ilustración 9, debido a que el consumo en este mes sobrepasa considerablemente los 3 picos similares de consumos máximos históricos y se podría considerar a este caso como fortuito o poco frecuente. El objetivo fue determinar la variación que existiría en el coeficiente de variación de consumo ( $k_d$ ).

La figura 9 sin el consumo máximo del mes de mayo de 2020 muestra un cambio en los valores de la media, así como el valor máximo de consumo y obteniendo un valor de 1.251, mismo se ubica ligeramente alejado del rango establecido por la norma. Todo el análisis realizado nos ha permitido determinar, que los problemas de cobertura de agua potable en el cantón La Troncal han sido un problema constante a lo largo de los años de estudio.

Debido a esto, la mayoría de las eventualidades se pueden atribuir a los problemas relacionados a la distribución del agua potable, mismos que se han mencionado en informes establecidos por los concejos cantonales de cada administración municipal.

## 5. CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

Se obtuvieron 505558 datos primarios proporcionados por la EMAPAT-EP de 8294 usuarios correspondientes a los meses de enero de 2017 a enero de 2022. Los datos se sometieron a una depuración manual utilizando Excel, donde se eliminaron 198213 datos anómalos (negativos, ceros, celdas vacías). Posterior a ello, al eliminar los valores atípicos con cajas y bigotes se retiraron 24032 datos. Finalmente, 286313 datos fueron procesados estadísticamente.

Se analizaron las pruebas estadísticas Anova y Tukey para establecer un rango de orden para las medias y se identificaron 42 rangos de Tukey. Con el análisis Anova se encontró la existencia de al menos una diferencia significativa entre todos los consumos. Además, se pudo establecer una tabla tipo semáforo con la que se pudo determinar de una manera más clara el comportamiento de los consumos a lo largo de los años de estudio.

Se determinó que el consumo máximo histórico se produjo en el mes de mayo de 2020 con un valor de 22.693 m<sup>3</sup> y el consumo mínimo histórico corresponde al mes de marzo de 2017 con un valor de 13.071 m<sup>3</sup>. Además, gracias a las pruebas estadísticas se pudo determinar 61 medias correspondientes a todos los meses de análisis, para posterior a ello llegar a una media general de 15.65 m<sup>3</sup>.

Se calculó un valor de coeficiente de variación de consumo (Kd) para el cantón La Troncal de 1.453. El coeficiente de consumo (Kd) calculado se encuentra dentro del rango de 1.3 y 1.5 establecido por la norma. Además, se pudo comprobar que este factor también dependerá de que tan arriba o debajo de la media se encuentren los consumos y de los factores que puedan producir los picos máximos históricos de consumo.

## **5.2 Recomendaciones**

Se recomienda considerar el valor del coeficiente de variación de consumo ( $K_d$ ) determinado en esta investigación para calcular los caudales de diseño para sistemas de agua potable en el cantón La Troncal. Además, se debe seguir monitoreando el comportamiento del consumo para poder obtener un valor más ajustado a la realidad poblacional del cantón, lo cual permitirá obtener diseños de agua potable óptimos.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- ARCA. (2014). Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua.  
<http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/05/Ley-de-RH.pdf>
- Arellano, A., Bayas, A., Meneses, A., & Castillo, T. (2018). Los consumos y las dotaciones de agua potable en poblaciones ecuatorianas con menos de 150 000 habitantes  
Drinking water consumption and endowment in Ecuadorian towns with less than 150 000 inhabitants. *Novasineria*, 1(1), 23–32.  
<https://novasineria.unach.edu.ec/index.php/novasineria/article/view/22>
- Arellano, A., & Peña, D. (2020). Modelos de regresión lineal para predecir el consumo de agua potable. *Novasineria*, 3(1), 27–36. <https://doi.org/10.37135/ns.01.05.03>
- Caicedo, A. (2022). Análisis de los consumos históricos de agua potable en el cantón Ibarra [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Chimborazo].  
<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/9256>
- Carlos Izurieta Recalde, I., Alfonso Arellano Barriga, I., & Gina Muñoz-David III. (2022). La Demografía y el Consumo de Agua Potable en los Estratos Socio Economicos Urbanos Demography and Drinking Water Consumption into the Urban Socio-Economic Strata Demografia e consumo de água potável em estratos socioeconômicos urbanos. *Fomento de La Investigación y Publicación En Ciencias Administrativas Económicas y Contables (FIPCAEC)*, 7(31), 809–829.  
<https://doi.org/10.23857/fipcaec.v7i1.552>
- Fernández, C., & Salazar, B. (2021). Análisis de los consumos históricos de agua potable en cantones del Napo y Pastaza. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/7852>

- GAD La Troncal. (2014). Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón La Troncal.
- INEN. (1992). Código Ecuatoriano de la Construcción. C.E.C. Normas para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes.
- Jiménez, C. (2020). Comparación entre los consumos de agua potable durante la cuarentena del 2020 y los registros históricos en Imbabura y Carchi.
- Minitab18. (2018). ¿Qué es una distribución normal?  
<https://support.minitab.com/esmx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supportingtopics/normality/what-is-the-normal-distribution/>
- Minitab18. (2018). ¿Qué hacer con los datos no normales?  
<https://support.minitab.com/esmx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supportingtopics/normality/what-to-do-with-nonnormal-data/>
- Minitab18. (2019). Interpretar los resultados clave para Gráfica de caja.  
<https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/graphs/howto/boxplot/interpret-the-results/key-results/>
- Minitab19. (2020). Graficas de residuos para graficas de línea ajustada.  
<https://support.minitab.com/es-mx/minitab/19/help-and-how-to/statisticalmodeling/regression/how-to/fitted-line-plot/interpret-the-results/all-statistics-andgraphs/residual-plots/>
- Nieto Cárdenas, G. J. (2022). Comparación entre consumos de agua potable durante la cuarentena del 2020 y los registros históricos en ciudades de Morona Santiago [Universidad Nacional de Chimborazo].  
<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/8797>

SENPLADES. (2014). Agua potable y alcantarillado para erradicar la pobreza en el Ecuador.<https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/09/FOLLETO-Agua-SENPLADES.pdf>