



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS DE LOS CONSUMOS HISTÓRICOS DE AGUA

POTABLE DE LA CIUDAD DE LOJA

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil.

Autor:

Joel Alexander Villalta Abad

Tutor:

Ing. Alfonso Patricio Arellano Barriga. Mgs.

Riobamba. Ecuador. 2023

DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, **Joel Alexander Villalta Abad** con cédula de ciudadanía **1105262511**, autor del trabajo de investigación titulado: “**Análisis de los consumos históricos de agua potable de la ciudad de Loja**”, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de nuestra 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 (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 09 de febrero de 2023



Joel Alexander Villalta Abad

C.I: 1105262511

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 de la ciudad de Loja**”, presentado por **Joel Alexander Villalta Abad**, con cédula de identidad número **1105262511** 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 09 de febrero de 2023

Ing. Oscar Alfredo Cevallos Velásquez PhD.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



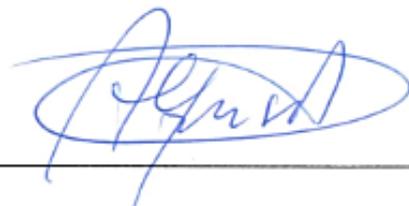
Ing. María Gabriela Zúñiga Rodríguez Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Nelson Estuardo Patiño Vaca Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Alfonso Patricio Arellano Barriga Mgs.
TUTOR



DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo, principalmente a mi madre Elvia, a mis abuelit@s Santos y Grimaneza por el amor, la confianza y el apoyo incondicional en mi vida.

A mis hermanos, tíos y familiares en general que siempre han estado pendientes de mi bienestar durante todo este proceso. De manera especial a Dios y a mi Padre Manuel allá en el cielo.

Joel Alexander Villalta Abad

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios por la salud, por guiarme y darme la voluntad necesaria para cumplir esta meta.

A la Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ingeniería, Carrera de Ingeniería Civil, por la oportunidad de realizar mi formación profesional en sus instalaciones.

De manera especial al Ingeniero Alfonso Arellano por su tutoría, conocimiento, experiencia, y por ser el principal guía en el desarrollo de este proyecto de investigación

Al GADM de Loja, la Unidad Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Loja (UMAPAL) por la información proporcionada para el desarrollo del proyecto.

A mi madre por el amor, la confianza y el apoyo incondicional durante el desarrollo del proceso de mi formación profesional.

Finalmente, A toda mi familia por el ánimo y consejos durante todo este proceso.

Joel Alexander Villalta Abad

ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA.....	
DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS.	
ÍNDICE DE FIGURAS.....	
RESUMEN.....	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I. INTRODUCCION.....	12
1.1 ANTECEDENTES	12
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
1.3 JUSTIFICACIÓN	19
1.4 OBJETIVOS	19
General.....	19
Específicos.....	19
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	20
CAPÍTULO III. METODOLOGIA.....	22
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1 RESULTADOS.....	24
Prueba de normalidad y homocedasticidad	24
Transformación de Johnson	26
Análisis Estadístico ANOVA	27
Prueba de Tukey	28
Gráficos de intervalos.....	29
Coeficiente de variación de consumo (Kd)	31

Análisis sin considerar casos fortuitos o eventualidades.....	33
Coeficiente de variación Kd sin considerar casos fortuitos o eventualidades.....	35
4.2 DISCUSIÓN.....	36
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	38
5.1 CONCLUSIONES	38
5.2 RECOMENDACIONES	39
BIBLIOGRAFÍA	40
ANEXOS.....	42

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1.	Caudales de diseño para los elementos de un sistema de agua potable.	13
Tabla 2.	Valores de Kd obtenidos en la línea de estudio	17
Tabla 3.	Cuadro de depuración de datos	24
Tabla 4.	Análisis de varianzas de consumos medios	27
Tabla 5.	Consumos Medios Históricos de Loja.....	29
Tabla 6.	Tabla tipo semáforo de consumos máximos, medios y mínimos.	31
Tabla 7.	Cálculo del coeficiente kd para la ciudad de Loja	32
Tabla 8.	Resultados de ciudades con similitudes en su población	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1.	Ubicación geográfica de la ciudad de Loja.	15
Ilustración 2.	Proceso de la investigación.	22
Ilustración 3.	Gráfica de probabilidad.....	25
Ilustración 4.	Gráfica de la prueba de homocedasticidad	25
Ilustración 5.	Transformación de Johnson	26
Ilustración 6.	Prueba de homocedasticidad ajustada.....	27
Ilustración 7.	Resultados de la prueba de Tukey	28
Ilustración 8.	Consumos promedio, máximos y mínimos.....	30
Ilustración 9.	Coeficientes de variación de ciudades similares en población a Loja....	33
Ilustración 10.	Grafica de intervalos sin el consumo del mes de marzo de 2021.....	34
Ilustración 11.	Diagrama del coeficiente de variación kd con eventualidades y sin eventualidades	35

RESUMEN

La ciudad de Loja también conocida como capital cultural del Ecuador, se localiza al sur del país y posee una población de 180607 habitantes. Su cobertura de agua potable según el GADM de Loja hasta el año 2021 es de 85.77%, con un total de 50916 usuarios. El servicio de abastecimiento de agua potable ha sido irregular durante los últimos años, producto de rupturas en las redes de conducción y distribución del líquido vital a causa del deslizamiento de terrenos por donde pasan las mismas. Estos problemas generalmente se presentan en épocas de invierno siendo los meses de diciembre hasta mayo en los que se presenta mayores precipitaciones. Los diseños en los sistemas de agua potable por parte del GADM de Loja se basan en criterios establecidos por la norma ecuatoriana CPE-INEN 005-9-1. Dicha norma al ser elaborada en los años 70 se encuentra desactualizada, especialmente en el coeficiente de variación de consumo (kd). Por tal motivo esta investigación analiza 3'953 278 datos proporcionados por parte de la unidad municipal de agua potable y alcantarillado de Loja (UMAPAL), estos datos comprenden desde enero de 2015 hasta marzo de 2022. En el análisis se realiza un procesamiento de datos manual (Excel) para eliminar datos anómalos (ceros, negativos y celdas vacías) y a través de un análisis estadístico descriptivo (Minitab) eliminar valores atípicos (cajas y bigotes), y encontrar diferencias significativas (ANOVA Y Tukey) entre los consumos medios de los meses analizados. A su vez, se identifica el consumo máximo (20.849 m³) y la media histórica (18.017 m³) que servirán para determinar el valor del coeficiente de variación de consumo que se ajuste a las condiciones actuales de Loja. El valor en el coeficiente de variación encontrado podrá ser considerado en el diseño de futuros sistemas de agua potable o en la ampliación o mejoras de los ya existentes. Los resultados muestran una variabilidad en el consumo mensual histórico de agua, al encontrarse valores bajo y sobre la media histórica. Además, se tiene que el coeficiente de variación de consumo de agua (1.157) encontrado para esta ciudad no cumple con lo establecido por la norma, al obtener un valor que está bajo el rango (1.3 – 1.5) propuesto por la misma. Adicionalmente, se indica que la presencia de eventualidades o casos fortuitos tienen poca significancia en el consumo de agua si se dispone de gran cantidad de datos.

Palabras clave: Agua potable, coeficiente de variación, consumo histórico, eventualidades, diseños de sistemas de agua.

ABSTRACT

The city of Loja, also known as the cultural capital of Ecuador, is located in the south of the country and has a population of 180607 inhabitants. According to the GADM of Loja until 2021, its drinking water coverage is 85.77%, with a total of 50916 users. The drinking water supply service has been irregular in recent years due to ruptures in the networks of conduction and distribution of the vital liquid due to the landslide of land through which they pass. These problems generally occur in winter, the months of December to May, with a more significant rainfall. The designs in the drinking water systems by the GADM of Loja are based on criteria established by the Ecuadorian standard CPE-INEN 005-9-1. When developed in the 70s, this standard was outdated, especially in the coefficient of variation of consumption (kd).

For this reason, this research analyzes 3'953 278 data provided by the municipal unit of drinking water and sewerage of Loja (UMAPAL); these data include from January 2015 to March 2022. In the analysis, manual data processing (Excel) was performed to eliminate anomalous data (zeros, negatives, and empty cells) and, through a descriptive statistical analysis (Minitab), eliminate outliers (boxes and whiskers) and find significant differences (ANOVA and Tukey) between the average consumption of the months analyzed. In turn, the maximum consumption (20,849 m³) and the historical average (18,017 m³) are identified, which will serve to determine the value of the consumption variation coefficient that adjusts to the current conditions of Loja. The value in the coefficient of variation found may be considered in the design of future drinking water systems or the expansion or improvements of existing ones. The results show variability in the historical monthly water consumption, as values are low and above the historical average. In addition, it has that the coefficient of variation of water consumption (1.157)

found for this city does not comply with the provisions of the standard, obtaining a value under the range (1.3 – 1.5) proposed by it. Additionally, it is indicated that the presence of eventualities or fortuitous cases has little significance in water consumption if a large amount of data is available.

Keywords: Drinking water, coefficient of variation, historical consumption, eventualities, designs of water systems.

Reviewed by:



Lic. Eduardo Barreno Freire

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 0604936211

CAPÍTULO I. INTRODUCCION.

1.1 ANTECEDENTES

El Incremento en la densidad poblacional y la expansión urbana generan deficiencias en la dotación de agua potable por la creciente demanda y los complejos sistemas de tratamiento y abastecimiento que se requieren (Huaquisto & Chambilla, 2019). Aspectos como demografía, factores climatológicos y características de las poblaciones influyen directamente en las dotaciones. La demografía actual de las poblaciones es diferente a la de años atrás, producto de la migración desde el campo a la ciudad (Arellano et al., 2018).

El acceso al agua potable resulta un derecho humano, mismo que se ve reflejado en el desarrollo del país. La provisión del servicio de agua potable a las poblaciones pasa a ser responsabilidad del Estado quien deberá garantizar la accesibilidad, regularidad, continuidad, cantidad y calidad del líquido vital. Para cumplir con estos requerimientos los sistemas de captación, conducción, tratamiento y distribución del agua se deben basar en parámetros establecidos por la norma ecuatoriana (SENAGUA, 2016).

A fin de mejorar la eficiencia en el uso, distribución y gestión de los recursos hídricos, las organizaciones prestadoras del servicio (GADs), se encargarán de normar la interacción del agua con la sociedad. A nivel de prestador público del servicio de agua potable, en el país se alcanza una cobertura de 79.28% (ARCA, 2020). La gestión del agua en poblaciones urbanas puede resultar más adecuada que en poblaciones rurales, pero el objetivo principal de ésta es tener un buen control en la calidad y continuidad en el suministro del líquido vital (Rojas et al., 2022).

La Agencia de Regulación y Control del agua menciona, que la cobertura media nacional es de 83.7 %, existiendo una brecha de 16.3% que aún no ha sido cumplida para que la población total disponga del suministro de agua en el sector urbano (ARCA, 2019). La mayor cobertura de agua potable a nivel nacional se da en las provincias de Pichincha con 96.2% y Galápagos con 96%. Por otra parte, las provincias con menor cobertura son Manabí con el 71.7% y Santo Domingo de los Tsáchilas con el 48.1%. La presencia de una cobertura baja está estrechamente relacionada con la falta de recursos, problemas presentes en la finalización de proyectos y la lejanía de pueblos (PRIMICIAS, 2022). Para el año 2015 en el Ecuador, el porcentaje de cobertura de agua en la región sierra, costa, insular y amazonia es de 83.5%, 79.5%, 75.3% y 59.5%, respectivamente. La región Amazónica se convierte en la región con menor cobertura del país (Nieto, 2015).

El incremento de la población en el sector urbano producto en gran parte de la migración campo-ciudad ha generado que los sistemas de agua potable no satisfagan a la población. Por tal razón, es necesario realizar ampliaciones, mejoras o construcciones de nuevos

sistemas de abastecimiento. Este déficit también podría deberse a la selección inapropiada de las dotaciones en el diseño de los sistemas de agua potable. Para garantizar que estos sistemas satisfagan la demanda se exige que cumplan con lo establecido en la norma CPE INEN 005-9-1. Dicha norma fue elaborada alrededor de los años 70 y no ha presentado actualizaciones de interés hasta la actualidad, razón por la que podría estar generando incertidumbre en los diseños (Arellano et al., 2018).

Para satisfacer las necesidades de agua potable a una población, se requiere determinar el caudal máximo diario de diseño, mismo que se refiere al caudal del día de máximo consumo durante el periodo de diseño (ECUADOR ESTRATEGICO, 2018). La norma establece que para el cálculo del caudal de diseño se debe considerar un coeficiente de variación de consumo multiplicado por un caudal medio diario (CPE INEN 005-9-1, 1992). Este coeficiente puede ser actual o futuro, como se presenta.

$$Q_{\text{máx. día}} = Kd * Q_{\text{med. día}} \quad \text{Ecuación [1]}$$

Donde:

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

Kd : Coeficiente de variación de consumo.

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

El coeficiente de variación de consumo diario influye principalmente en las etapas del sistema de abastecimiento de agua como: la captación, conducción, reservorio, y redes de distribución. Por tal razón, el coeficiente (kd) deben ser escogido en base a estudios que presenten similitudes con el proyecto (Huaquisto & Chambilla, 2019). De no ser así, se debe escoger los valores de 1.3 y 1.5 propuestos por la norma. El diseño de los elementos o partes de un sistema de agua potable se basa en criterios establecidos por la norma (CPE INEN 005-9-1, 1992).

Tabla 1. Caudales de diseño para los elementos de un sistema de agua potable.

ELEMENTO	CAUDAL
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 005-9-1, 1992)

Por consiguiente, esta investigación tiene como propósito analizar los datos obtenidos por parte de la Unidad Municipal de agua potable y alcantarillado de Loja (UMAPAL), referente al consumo mensual histórico de agua potable en el sector residencial de la ciudad

de Loja. Estudio que se realizará con el fin de obtener el valor del coeficiente de variación (Kd) actualizado para la ciudad y que este a su vez permita mejorar, ampliar y calcular sistemas de agua potable eficientes, reduciendo así el déficit de agua en la población. Esta investigación se realiza en la provincia de Loja específicamente en el cantón con el mismo nombre, se consideró datos del sector residencial de la zona urbana de esta ciudad.

El cantón Loja se encuentra ubicado al sur del país y es la capital de la provincia de Loja. Este cantón cuenta con una extensión de 1895.53 km² de los cuales 285,56km² corresponde a la cabecera cantonal, su división política consta de 13 parroquias rurales y 6 parroquias urbanas. Según el Censo de 2010, la población del cantón Loja es igual a 214855 habitantes, de los cuales 180607 corresponden al área urbana y 34248 a la rural (PODT, 2020). Adicionalmente, el total de la población de este cantón está conformado por 78% de gente nativa y 22% de no nativa. Particularmente en mayor porcentaje la gente no nativa es oriunda de otros cantones de la provincia de Loja y una menor cantidad son originarios de otros cantones del país como Quito, Guayaquil, Machala, Cuenca y Zamora. La presencia de dos instituciones de educación superior como la Universidad Nacional de Loja y la Universidad Técnica Particular de Loja resulta un imán que atrae a jóvenes de la provincia y de otras que buscan realizar sus estudios superiores. Por otra parte, diversos factores como la sequía en la década de los 60, la crisis bancaria a principios del 2000 o simplemente la búsqueda de nuevas oportunidades laborales o de estudio han ocasionado la migración interna y externa de los habitantes de Loja. Las provincias que mayor cantidad de lojanos albergan son Pichincha, El Oro, Zamora Chinchipe, Guayas, Azuay, Santo Domingo de los Tsáchilas y Sucumbíos (GPL, 2014).

Este cantón posee una altitud de 2100 msnm, con un clima Ecuatorial Mesotérmico Semi-Húmedo, y una temperatura media anual que varía entre 15 °C y 23°C, con precipitaciones medias de 900 mm anuales, los meses en que se presentan mayores precipitaciones son de diciembre hasta mayo. Las principales actividades económicas que prevalecen en la ciudad de Loja son el Comercio al por mayor y menor con (28%), las actividades profesionales y científicas (16%), el transporte y almacenamiento (10%) y las industrias manufactureras (9%) (GAD Loja, 2021). La ciudad de Loja es conocida como capital cultural del Ecuador por la ligera inclinación por parte de sus habitantes hacia las artes musicales. El principal atractivo turístico de la ciudad es un castillo denominado puerta de la ciudad que funciona como mirador artificial desde el que se puede apreciar gran parte de la ciudad.

La ciudad de Loja cuenta con 6 sistemas de tratamiento de agua de las cuales uno no se encuentra operativo. Estos sistemas alcanzan una cobertura de agua a la población de 85.77%, creando un déficit en el abastecimiento de 14.23% (GAD Loja, 2021). El servicio de agua potable de la ciudad es intermitente en los últimos años. Los principales problemas a los que se enfrentan los sistemas de abastecimiento de agua en la ciudad de Loja son las rupturas de las tuberías de conducción y fallas en las redes de distribución. Estos problemas

resultan frecuentes, producto de condiciones geológicas y geotécnicas inestables, que al desplazarse se rompe la tubería ocasionando interrupción en el servicio (Díaz, 2022a).

En el cantón Loja la migración campo ciudad en los últimos años ha generado un incremento en la población de la cabecera cantonal. Esto a su vez ocasiona problemas para el GAD de Loja en la prestación de servicios básicos y equipamiento urbano (GPL, 2014).

El Municipio de Loja solicitó ayuda referente a proyectos de agua potable a la Universidad de Memphis (Estados Unidos) con la finalidad de mejorar la distribución del agua en la ciudad, puesto que se ha determinado que 11 barrios poseen tuberías de asbesto cemento, mismas que podrían influir en el deterioro de la salud de los pobladores (Díaz, 2022b).

Desde hace 16 años se planteó el proyecto “Plan Maestro de Agua Potable de Loja” con la finalidad de cubrir el déficit de cobertura de agua potable en la ciudad. Este proyecto es poco exitoso, puesto que presenta varios problemas en la conducción como rupturas de tuberías, a causa de inestabilidad en taludes por donde pasan las mismas. A fin de dar solución a estos problemas se ha propuesto varias alternativas como: Trabajar en la restauración de la cobertura vegetal en la línea de conducción de agua para darle sostenibilidad al suelo, buscar recursos para nuevos proyectos de agua, trabajar en la automatización de las redes de agua potable y sincerar la tarifa de agua (Díaz, 2022c).

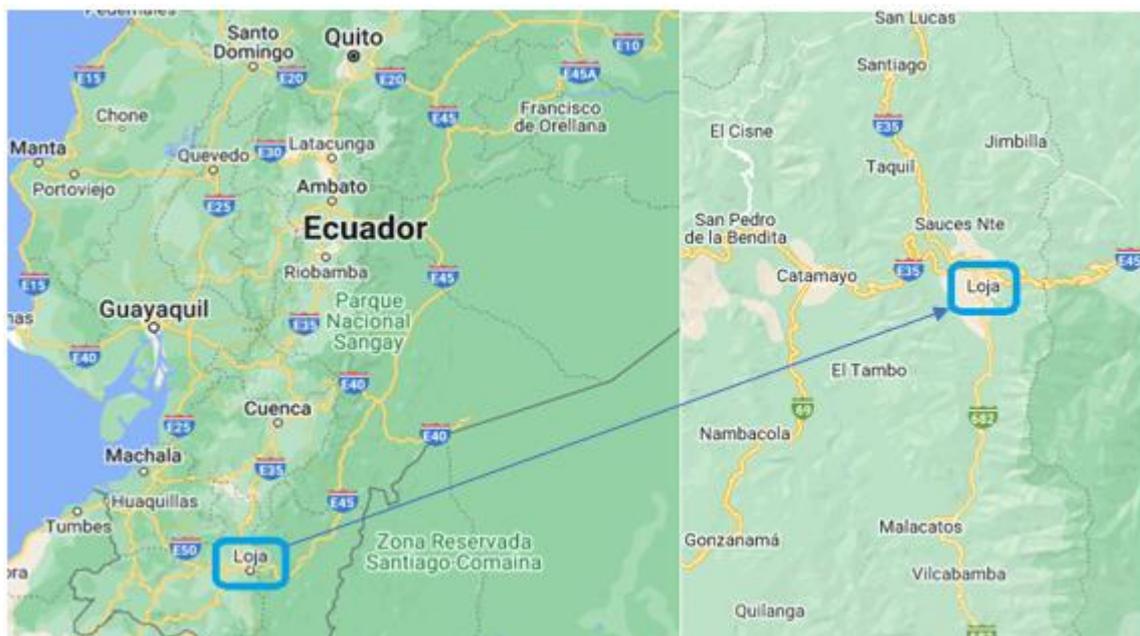


Ilustración 1. Ubicación geográfica de la ciudad de Loja.

Fuente: (SATELITES.PRO, 2022)

El presente estudio forma parte de un proyecto de mayor magnitud denominado “Determinación de la variación de consumos de agua potable en ciudades menores a 150000 habitantes del Ecuador”. La finalidad de estas investigaciones consiste en actualizar u obtener el coeficiente de variación del consumo mensual en diversas ciudades del país. Estos estudios se basan en un análisis de los registros históricos de consumo de agua mensual de la ciudad investigada. Las ciudades o poblaciones investigadas hasta la fecha se presentan en la siguiente tabla.

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	Salto 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: A Arellano (2022)

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la ciudad de Loja existe un déficit del 14.23% en la cobertura total de agua potable. El servicio de abastecimiento de agua ha sido intermitente en los últimos años, producto de rupturas en las tuberías de conducción, inconvenientes en las plantas de captación, fallas en las redes de distribución, reservorios que han cumplido su vida útil y la creciente demanda que exige el incremento de la población. El GADM de Loja con el fin de mejorar la cobertura de agua en la ciudad, realiza reparaciones en las tuberías y elementos de los sistemas de tratamiento de agua potable. Los diseños de los sistemas de tratamiento de agua y sus elementos hasta la actualidad se realizan en base a la Norma CPE INEN 005-9-1. Trabajar con una norma desactualizada podría generar que los sistemas de tratamiento de agua potable sean poco eficientes. Por tal razón, para mejorar las dotaciones de agua en la ciudad es necesario calcular un coeficiente de máximo consumo diario que se ajuste a la realidad de la población.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La presente investigación tiene como finalidad proporcionar un valor de coeficiente de variación de consumo (kd) actualizado para la ciudad de Loja, valor que podrá ser utilizado en ampliaciones y diseño de nuevos sistemas de tratamiento de agua potable que ayuden a mejorar la cobertura de agua en la ciudad. Los resultados obtenidos en la investigación pasarán a formar parte del proyecto de investigación “Determinación de la variación de consumos de agua potable en ciudades menores a 150000 habitantes del Ecuador”

1.4 OBJETIVOS

General

- Analizar los consumos de agua potable de la ciudad de Loja

Específicos

- Depurar manualmente los datos primarios y con la técnica de cajas y bigotes de la ciudad de Loja.
- Realizar el análisis estadístico de los datos procesados.
- Determinar los caudales máximos mínimos, medios y el coeficiente de variación mensual en base a los registros históricos procesados de la ciudad de Loja.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

El Ecuador es un país privilegiado respecto a la cantidad de agua que dispone por unidad de superficie. Se tiene que la población que depende de la vertiente costera dispone de 4863,41 m³/habitante/año y de la vertiente amazónica 172786,36 m³/habitante/año. Dichos valores son superiores a 1700 m³/habitante/año, valor que establece que una región presenta tensión hídrica (Sánchez & Fries, 2019).

El acceso al agua es un derecho indispensable que se refleja en el desarrollo de cada país. Disponer de un abastecimiento de agua segura, suficiente y accesible crea en los hogares, un ambiente sano y adecuado para vivir, puesto que el agua influye directamente en la alimentación, higiene y salud de las poblaciones (Huaquisto & Chambilla, 2019).

La Organización Mundial de la Salud (OMS), menciona que, una persona necesita al menos 50 litros de agua por día, para satisfacer sus necesidades básicas. Además, establece que, para cubrir las necesidades básicas satisfactoriamente en una vivienda, el acceso al agua debe ser mayor o igual a 100 l/habitante/día (Huaquisto & Chambilla, 2019). Por otra parte, la Norma Ecuatoriana de la Construcción proporciona un rango más amplio en la dotación, comprendido entre 200 a 350 l/habitante/día. Aparentemente esta dotación hace innecesario un control del consumo de agua. Pero a causa de esto, el crecimiento en la población con el paso de los años puede generar que dichas dotaciones establecidas por la norma no cubran la demanda (Ortiz et al., 2018).

Bayas (2018) señala que, la norma utilizada para el diseño de sistemas de agua potable CPE INEN 005-1 debe ser actualizada, debido a que desde su elaboración se han presentado cambios significativos en la demografía y la economía de las poblaciones. Adicionalmente indica que, además de los factores que definen el clima (frio, templado cálido) propuestos por la norma, existen aspectos Meteorológicos como: humedad atmosférica máxima, temperatura máxima y precipitación que inciden de manera positiva o negativa en el consumo de agua.

Arellano & Peña (2020) en su estudio clasifican según el grado de importancia, las principales variables que influyen en el consumo semestral y mensual de agua. En sus resultados obtienen que los factores que inciden con mayor significancia en el consumo semestral son la demografía y la variable gestión y la calidad del agua. Por otra parte, en el consumo mensual los aspectos climatológicos como: humedad atmosférica máxima y temperatura máxima tienen mayor relevancia, coincidiendo con el estudio realizado por Bayas (2018).

Mora Carrión (2019) estudió la relación del clima vs el consumo de agua residencial en siete sectores de la ciudad de Cuenca. La investigación se basó en datos de temperatura y consumo de agua correspondientes a los años 2017 y 2018. En los resultados comprobó que los sectores estudiados presentan similitudes en el clima (clima bajo) y el consumo de agua

no era elevado. Concluye que en lugares de clima seco el consumo de agua es elevado, a causa del consumo doméstico, riego de jardines, entre otros. Las poblaciones que presentan temperaturas bajas consumen menor cantidad de agua. Puesto que pueden presentar mayores precipitaciones lo que reduce el consumo de agua en regadío de jardines, coincidiendo con Bayas (2018), que establece que la precipitación es un factor que puede influir de manera negativa o positiva en el consumo de agua.

Izurieta et al, (2022) analizaron 11 poblaciones del Ecuador menores a 150000 habitantes, con el fin de determinar si las diferencias en la demografía de los estratos socioeconómicos de las poblaciones inciden en el consumo de agua potable. Este análisis se realizó de dos formas: 1) Se considera a todas las ciudades juntas y 2) se agrupan entre ciudades grandes, medianas y pequeñas. En su estudio se determinó que, al considerar la primera forma, no se encuentra una correlación significativa entre el consumo de agua potable y el número de habitantes por vivienda. Por otra parte, en la segunda forma se determina que en ciudades grandes y medianas existe correlación entre el número de habitantes y consumo de agua potable, pero no existe en las ciudades pequeñas.

Según Salazar (2020) las ciudades medianas (alrededor de 10000 habitantes) presentan mayor consumo de agua, al determinarse un mayor coeficiente de variación para éstas. Analiza el coeficiente de variación de consumo de agua en dos escenarios, mensual y semestral. En el análisis mensual establece los valores para los coeficientes de variación de ciudades grandes ($kd=1.10$), medianas ($kd=1.12$), y pequeñas ($kd=1.04$). Estos valores en los coeficientes demuestran que, el consumo de agua puede variar según la demografía de las poblaciones, coincidiendo con lo que expone Muñoz (2022).

Nieto (2022) realiza un estudio respecto a la variación del consumo de agua de 3 ciudades medianas de la región oriental del Ecuador. En esta investigación se encontró que el coeficiente de variación de dos ciudades investigadas sobrepasa el rango establecido por la norma. Teniendo que solo en una de las ciudades investigadas el coeficiente de variación cumplía, lo que corrobora lo expuesto por (Salazar, 2020)

Arellano et al, (2019) analizan el consumo de agua en edificios residenciales, respecto al número de dispositivos sanitarios existentes por vivienda. En esta investigación se determinó que, en ciudades grandes y medianas, al disponer de un mayor número de aparatos sanitarios el consumo de agua potable aumenta considerablemente. A su vez, argumenta que, disponer de una cantidad excesiva de dispositivos sanitarios genera desperdicio de agua.

Yuquilema (2020) mediante un análisis estadístico, demostró que las actividades de cocina en las viviendas no tienen mayor significancia en el aumento del consumo residencial de agua. Puesto que no se encontró una correlación válida entre estos dos aspectos.

CAPÍTULO III. METODOLOGIA.

El presente estudio es de índole investigativo y aplica un método cuantitativo de forma estructurada, que facilita la recopilación y el análisis de la información requerida. Para el desarrollo del proceso se utiliza herramientas matemáticas (Excel) y estadísticas (Minitab). El propósito de este estudio es dar solución al problema de investigación de forma numérica, en este caso proporcionar un valor del coeficiente de variación de consumo actualizado para la ciudad de Loja. El siguiente diagrama muestra el proceso de la investigación.

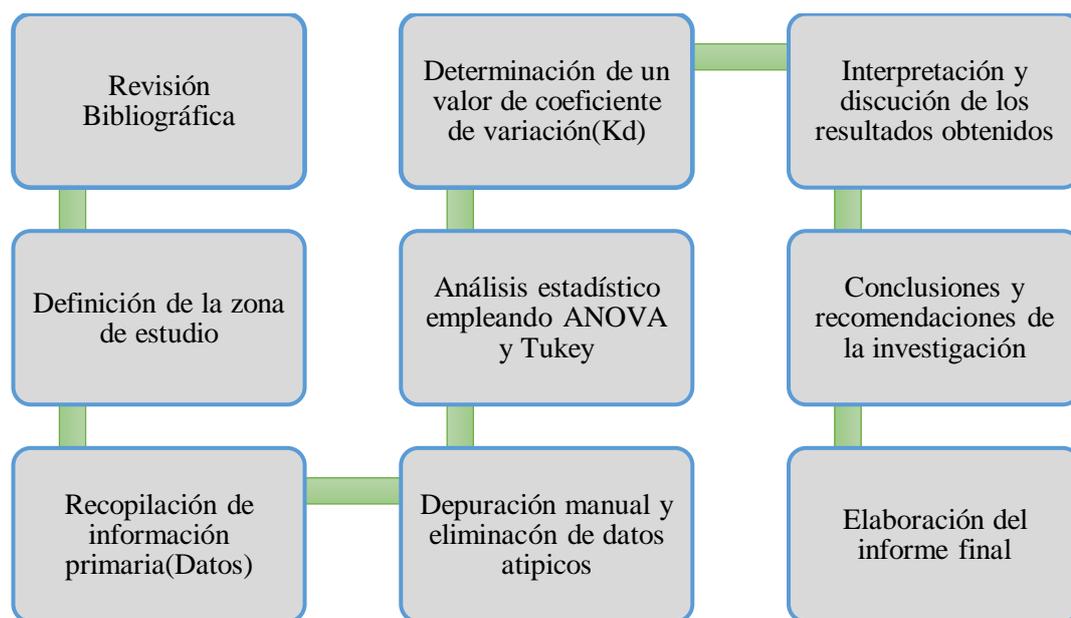


Ilustración 2. Proceso de la investigación.

Fuente: Villalta J. (2022)

El proceso de esta investigación comienza con la búsqueda de información relevante, actual y que sea veraz, respecto al consumo de agua potable y a factores que puedan influir en el. Para ello se utilizó bases de datos de búsqueda de información como: Scopus, ReserchGate, Google Académico, ProQuest y revistas científicas.

Se identificó una zona de estudio (Loja), de la cual se recopiló información referente a los datos históricos de consumo mensual por usuario de agua potable de la ciudad. Esta información se obtuvo a través de la Unidad Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Loja (UMAPAL). Los datos proporcionados consisten en el consumo mensual de agua potable por usuario en m³ de la zona residencial.

Una vez obtenidos los datos de la zona residencial, se realiza una depuración manual con la finalidad de eliminar valores de consumo negativos y ceros, mismos que representan un mal funcionamiento de los medidores o lecturas erróneas por parte del personal de trabajo.

Los datos depurados se ingresan al software Minitab donde se efectúa un análisis estadístico que incluye el uso de diagramas de caja y bigotes para eliminar valores atípicos, el análisis de varianza ANOVA para identificar si existe diferencias estadísticas entre los valores medios de los registros mensuales tabulados y la prueba de TUKEY para establecer rangos de diferentes valores y eliminar así todos los valores atípicos. Finalmente se realizan gráficas de los consumos mensuales máximos, medios y mínimos encontrando así el coeficiente de variación de consumo máximo diario (Kd) para la ciudad.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS

Para determinar el coeficiente de variación de consumo mensual de agua potable de la ciudad de Loja se obtuvieron 4'446.916 datos primarios por parte de la Unidad Municipal de agua potable y alcantarillado de Loja (UMAPAL). En el análisis se considera los registros de consumo mensual de agua potable correspondientes al sector residencial. Luego de realizar la depuración manual de registros anómalos (ceros, negativos, etc..) concernientes a fallas en los medidores y a lecturas erróneas se tiene que 3'393.352 datos entraran a la eliminación de valores atípicos con el minitab. Luego de este proceso se establece que 3'238.792 datos serán válidos para el propósito del estudio.

Tabla 3. *Cuadro de depuración de datos*

CIUDAD	REGISTROS RESIDENCIALES PRIMARIOS	NEGATIVOS Y CEROS	DATOS ATÍPICOS	DATOS VALIDOS
LOJA	3'953.278	559.926	154.560	3'238.792

Fuente: Villalta J. (2022)

Prueba de normalidad y homocedasticidad

La ilustración 3 muestra la gráfica de probabilidad de consumos medios de la ciudad de Loja. Para su elaboración se empleó la prueba de normalidad de Anderson-Darling, en la que se obtuvo un valor de P igual a 0.006. Este valor evidencia que los consumos medios de esta ciudad no siguen una distribución normal, por lo que será necesaria una transformación de datos para que cumplan con la misma. Un valor de P menor a 0.05 indica que los datos no siguen una distribución normal.

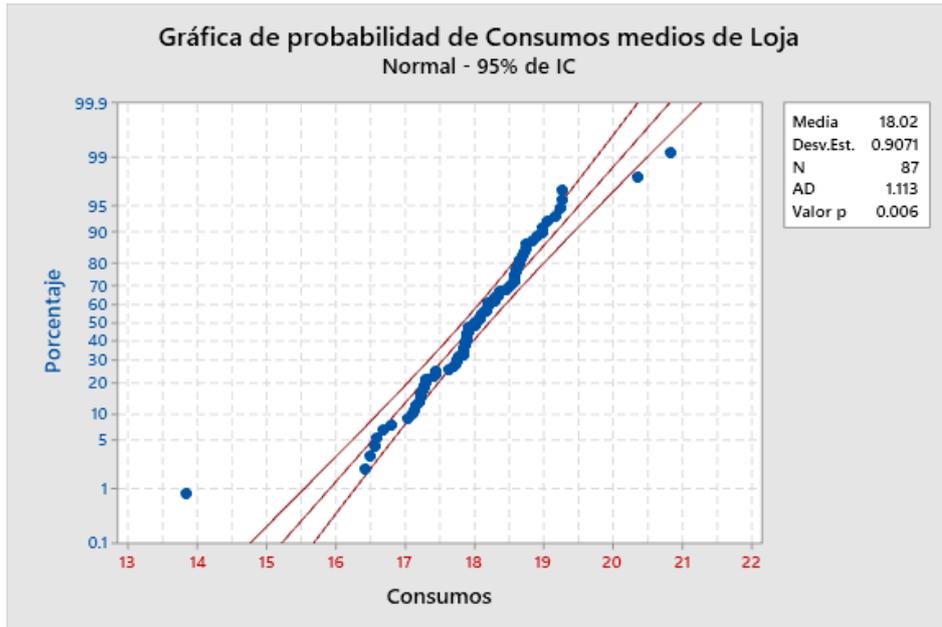


Ilustración 3. Gráfica de probabilidad

Fuente: Villalta J. (2022)

En la ilustración 4 se muestra la gráfica de residuo estandarizado vs valor ajustado, evidenciando que en la prueba de homocedasticidad los datos se encuentran distribuidos de forma aleatoria, sin mayores diferencias en sus varianzas.

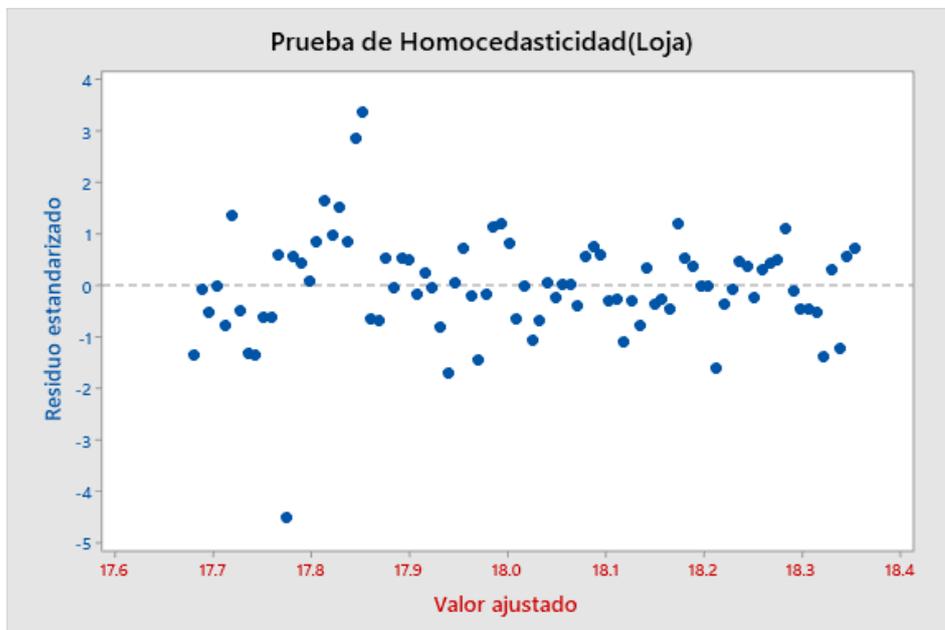


Ilustración 4. Gráfica de la prueba de homocedasticidad

Fuente: Villalta J. (2022)

Transformación de Johnson

Para dar solución al problema de distribución no normal de los consumos medios de agua potable de la ciudad de Loja, se emplea la transformación de Johnson mostrada en la ilustración 5.

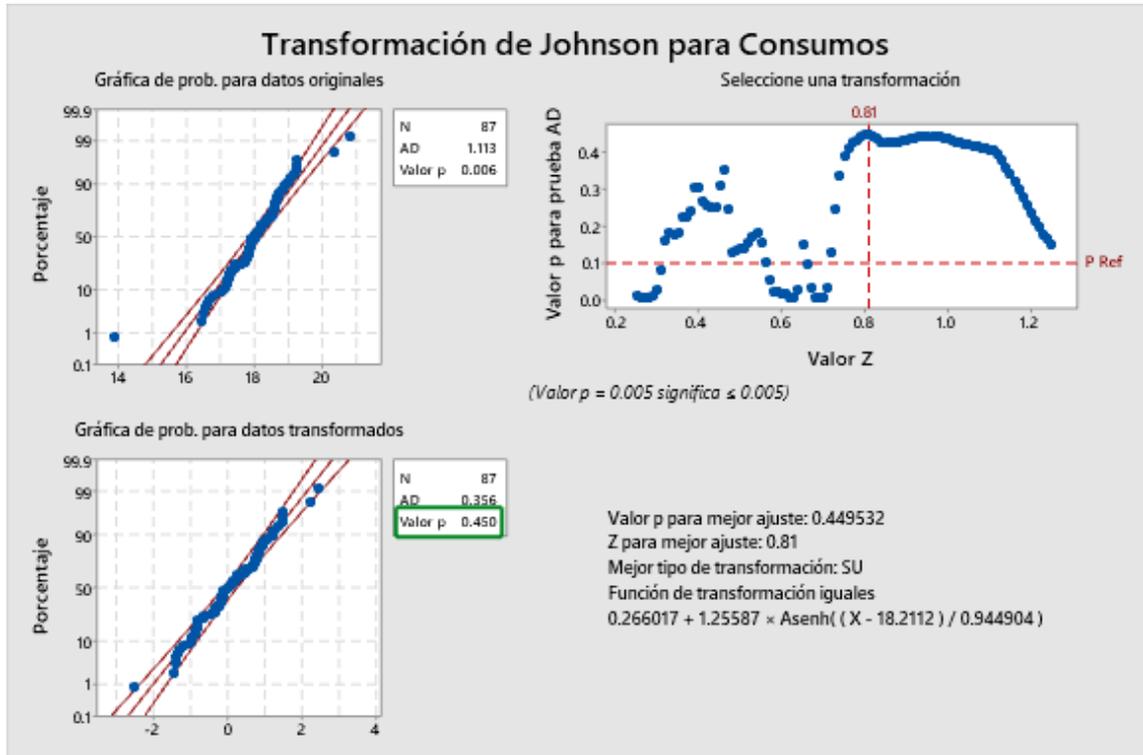


Ilustración 5. Transformación de Johnson

Fuente: Villalta J. (2022)

Con la transformación de Johnson se obtiene una nueva grafica de normalidad, misma que muestra un nuevo valor de P igual a 0.45. Este valor establece que los consumos medios han sido ajustados y que cumplen con la distribución normal. Además, los datos transformados permiten obtener una nueva grafica de prueba de homocedasticidad como se muestra en la ilustración 6, en la que se observa que los consumos medios se encuentran ajustados y distribuidos aleatoriamente.

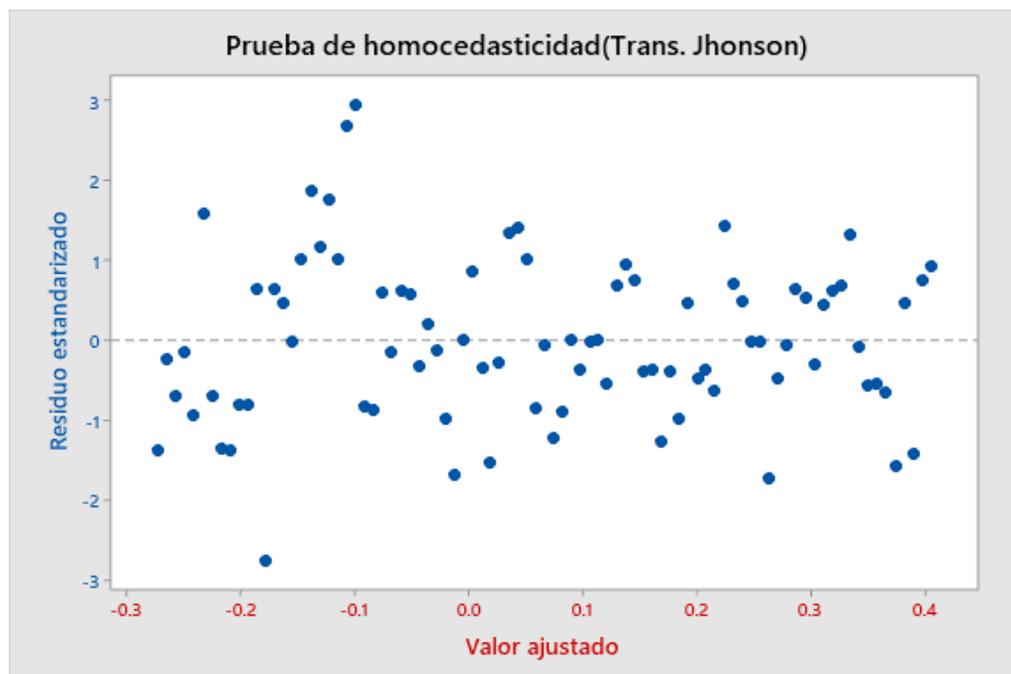


Ilustración 6. Prueba de homocedasticidad ajustada

Fuente: Villalta J. (2022)

Análisis Estadístico ANOVA

Mediante el análisis de varianza ANOVA, se encontró un valor de P igual a 0.000, tal como se evidencia en la tabla 4. Este valor al ser menor que el grado de significancia de 0.05 descarta la hipótesis nula y establece que al menos un valor de las medias de los consumos de la ciudad es diferente.

Tabla 4. *Análisis de varianzas de consumos medios*

Población	Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Loja	Factor	86	2655566	30878.7	205.39	0.000
	Error	3238785	486931951	150.3		
	Total	3238871	489587517			

Nota: **GL:** Grados de libertad, **SC Ajust.:** Suma ajustada de cuadrados, **MC Ajust.:** Cuadrado medio ajustado, **Valor F:** variación entre las medias de las muestras/variación dentro de las muestras, **Valor p:** grado o nivel de significancia.

Fuente: Villalta J. (2022)

Prueba de Tukey

Al realizar la prueba de Tukey, se confirma el análisis de varianza ANOVA que establece la existencia de una diferencia significativa en al menos un registro de consumo medio de agua potable. En el anexo 1 se evidencian los resultados de esta prueba. Como resultado se tiene que el consumo histórico medio más alto se relaciona con la letra A y el mínimo consumo histórico con la letra AD. El consumo en los meses de inicio de pandemia (Marzo y Abril) se relacionan entre sí, como se aprecia en la ilustración 7.

Factor	N	Media	Agrupación																	
may-20	35536	20.8485	A																	
jun-20	34928	20.3668	B																	
oct-15	34235	19.2681	C																	
feb-22	41080	17.6273							V	W	X									
may-17	35496	17.4428								W	X	Y								
sep-18	37732	17.4382								W	X	Y								
jun-18	37179	17.4252								W	X	Y								
abr-20	41897	17.3031									X	Y	Z							
sep-21	40529	17.2904									X	Y	Z							
mar-15	33370	17.2836									X	Y	Z							
mar-20	42066	17.2682									X	Y	Z							
ene-22	40704	17.2587										Y	Z							
jul-19	38721	17.2319										Y	Z							
mar-21	38918	13.8144																		AD

Consumo máximo
 Consumo meses Cuarentena
 Consumo mínimo

Ilustración 7. Resultados de la prueba de Tukey

Fuente: Villalta J. (2022)

En la tabla 5 y anexo 1 se resalta con color rojo, verde y plomo al consumo mínimo, consumo máximo y consumo durante el periodo de confinamiento por la pandemia del Covid-19 respectivamente. El periodo de confinamiento comprende los meses de marzo, abril, mayo y junio de 2020. Este proceso se realiza a fin de identificar diferencias significativas entre estos consumos.

Tabla 5. *Consumos Medios Históricos de Loja*

Mes/Año	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Enero	18.989	18.536	17.754	17.722	17.846	17.850	18.188	17.259
Febrero	18.837	18.047	17.924	18.102	16.682	18.350	18.294	17.627
Marzo	17.284	18.585	17.837	18.086	17.783	17.268	13.814	16.494
Abril	18.615	18.664	18.462	17.838	18.596	17.303	18.291	
Mayo	17.121	18.177	17.443	18.081	18.012	20.849	17.211	
Junio	17.863	17.900	17.882	17.425	16.427	20.367	17.217	
Julio	17.921	16.806	17.166	17.100	17.232	18.590	16.558	
Agosto	17.913	18.195	17.895	18.015	17.902	19.183	16.579	
Septiembre	18.212	18.192	17.859	17.438	18.124	18.691	17.290	
Octubre	19.268	18.515	18.619	18.743	17.754	19.266	18.914	
Noviembre	18.730	18.666	18.758	19.060	18.348	18.572	17.045	
Diciembre	18.664	19.257	18.572	18.995	18.372	17.876	17.708	

Fuente: Villalta J. (2022)

Gráficos de intervalos

Según la gráfica de intervalos para la ciudad de Loja, el máximo consumo histórico de agua potable se dio en el mes de mayo del 2020, con un volumen de 20.849 m³. Este consumo mayormente alto se da en la época de confinamiento por pandemia del Covid-19. El consumo mínimo histórico se da en el mes de marzo del 2021, con volumen de 13.814 m³. Por otra parte, el consumo promedio según los meses analizados es de 18.017 m³.

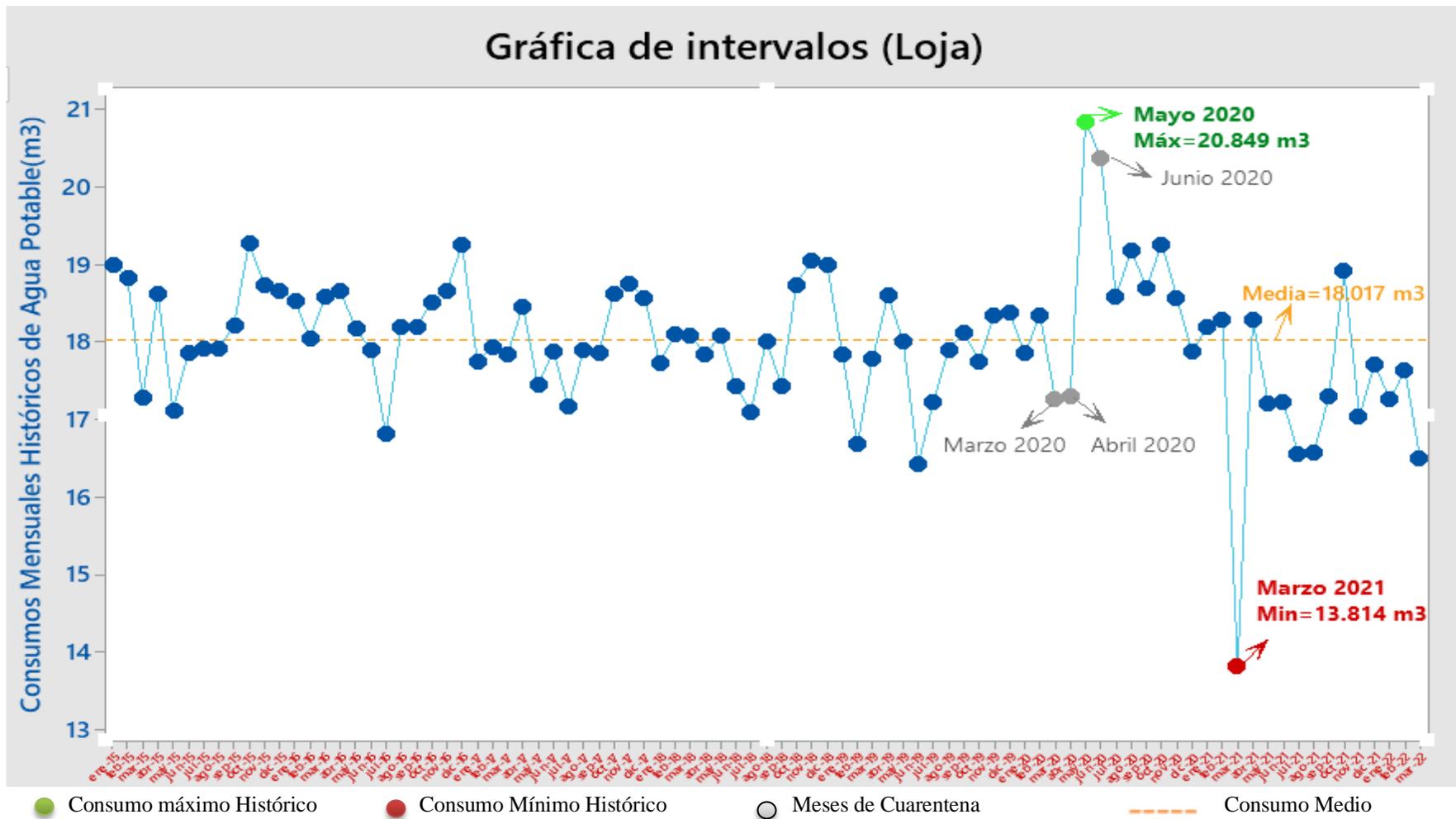


Ilustración 8. Consumos promedio, máximos y mínimos

Fuente: Villalta J. (2022)

A fin de identificar claramente la tendencia del consumo de agua potable en la ciudad de Loja se realiza la tabla 6, que muestra el consumo en tres rangos (alto, medio y bajo) identificados con diferentes colores. El color verde representa el consumo alto que comprende un valor de 18.505 a 20.849 m³, el amarillo identifica al consumo medio con valor entre 16.160 a 18.504 m³ y el rojo hace referencia al consumo bajo que esta entre 13.814 a 16.159 m³.

Tabla 6. *Tabla tipo semáforo de consumos máximos, medios y mínimos.*

Mes/Año	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Enero	18.989	18.536	17.754	17.722	17.846	17.85	18.188	17.259
Febrero	18.837	18.047	17.924	18.102	16.682	18.35	18.294	17.627
Marzo	17.284	18.585	17.837	18.086	17.783	17.268	13.814	16.494
Abril	18.615	18.664	18.462	17.838	18.596	17.303	18.291	
Mayo	17.121	18.177	17.443	18.081	18.012	20.849	17.211	
Junio	17.863	17.9	17.882	17.425	16.427	20.367	17.217	
Julio	17.921	16.806	17.166	17.1	17.232	18.59	16.558	
Agosto	17.913	18.195	17.895	18.015	17.902	19.183	16.579	
Septiembre	18.212	18.192	17.859	17.438	18.124	18.691	17.29	
Octubre	19.268	18.515	18.619	18.743	17.754	19.266	18.914	
Noviembre	18.73	18.666	18.758	19.06	18.348	18.572	17.045	
Diciembre	18.664	19.257	18.572	18.995	18.372	17.876	17.708	

Fuente: Villalta J. (2022)

Coefficiente de variación de consumo (Kd)

Mediante la relación entre el consumo máximo histórico y promedio total histórico, ecuación propuesta por la norma CPE INEN 005-9-1, se determina el valor del coeficiente de variación de consumo de agua para la ciudad de Loja. La ecuación propuesta por la norma ecuatoriana es:

$$Q_{\text{máx. día}} = Kd * Q_{\text{med. día}}$$

Donde:

Q_{máx. día}: Caudal máximo día.

Kd: Coeficiente de variación de consumo.

Q_{med. día}: Caudal medio diario. (actual o futuro)

En la tabla 7 se resumen los resultados del cálculo del coeficiente de variación y la cobertura actual para la ciudad de Loja.

Tabla 7. *Cálculo del coeficiente kd para la ciudad de Loja*

Población	Habitantes	Número de usuarios	Consumo máximo histórico	Consumo medio histórico	Kd	Cobertura de agua potable (2014)
Loja	180 607	50 916	20.849	18.017	1.157	85.77 %

Nota: Número de usuarios: hasta marzo de 2022

Fuente: Villalta J. (2022)

Se realiza una comparativa entre los coeficientes de variación de consumo de ciudades que mantengan similitudes en población y correspondan a la misma región que la ciudad de Loja. En la tabla 8 se presentan los resultados de las ciudades de Riobamba, Ibarra y Loja

Tabla 8. *Resultados de ciudades con similitudes en su población*

Ciudad	Población(habitantes)	Kd
Loja	180 607	1.157
Riobamba	146 324	1.18
Ibarra	181 175	1.22

Fuente: Villalta J. (2022)

Esta comparación se la realiza con estas ciudades, puesto que no existen estudios realizados para ciudades más cercanas que mantengan similitudes en su población. Las tres ciudades son consideradas como grandes de acuerdo con el número de habitantes. Adicionalmente, en la ilustración 9 se resalta el rango propuesto por la norma, a fin de ver si dichas ciudades cumplen con la misma.

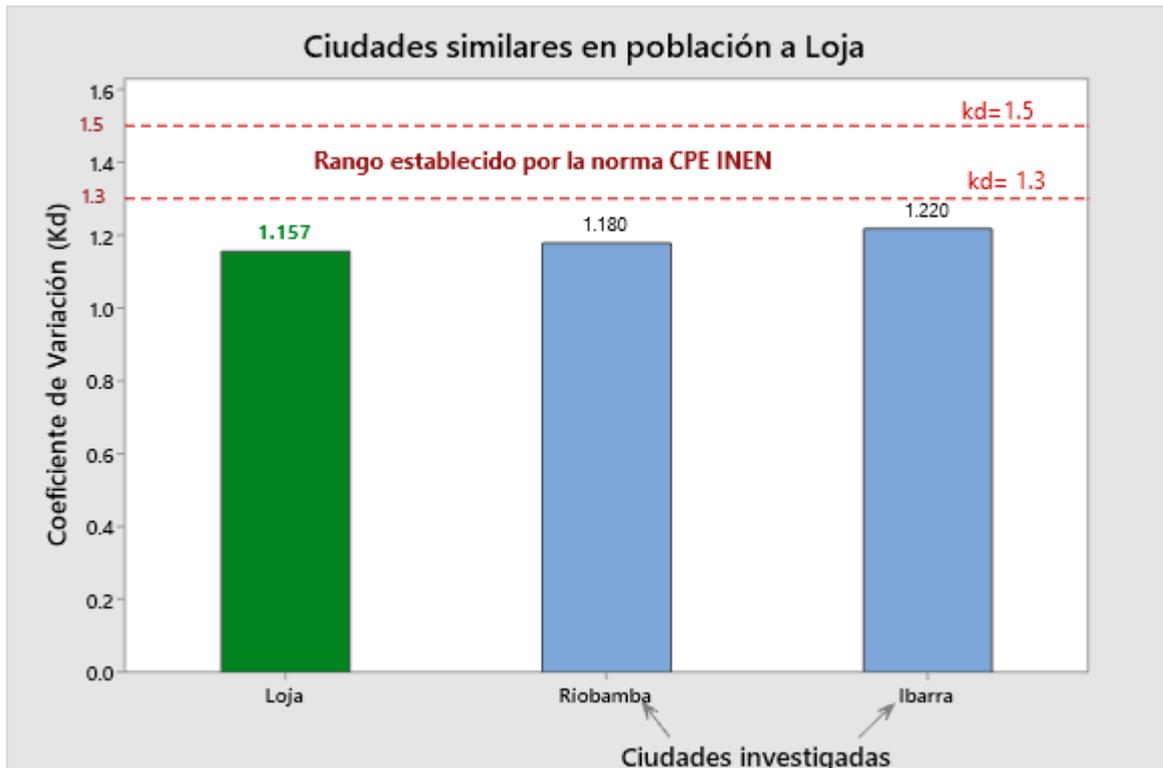


Ilustración 9. Coeficientes de variación de ciudades similares en población a Loja

Fuente: Villalta J. (2022)

Análisis sin considerar casos fortuitos o eventualidades

Se realiza un nuevo gráfico de intervalos sin considerar el consumo mínimo que se presenta en el mes de marzo de 2021 en la ilustración 8. Este proceso se hace, puesto que el consumo en este mes es muy bajo y puede ser considerado como un caso fortuito poco frecuente o una eventualidad. Este procedimiento se lo realiza con la finalidad de verificar si hubiera cambios en el coeficiente de variación k_d .

La ilustración 10 muestra la gráfica de intervalos sin el consumo del mes de marzo de 2021, en la que se observa un cambio en el valor de la media y el consumo mínimo histórico, mintiéndose el consumo máximo histórico. Los nuevos valores para la media histórica y el consumo mínimo histórico son de 18.066 m³ y 16.427 m³ respectivamente.

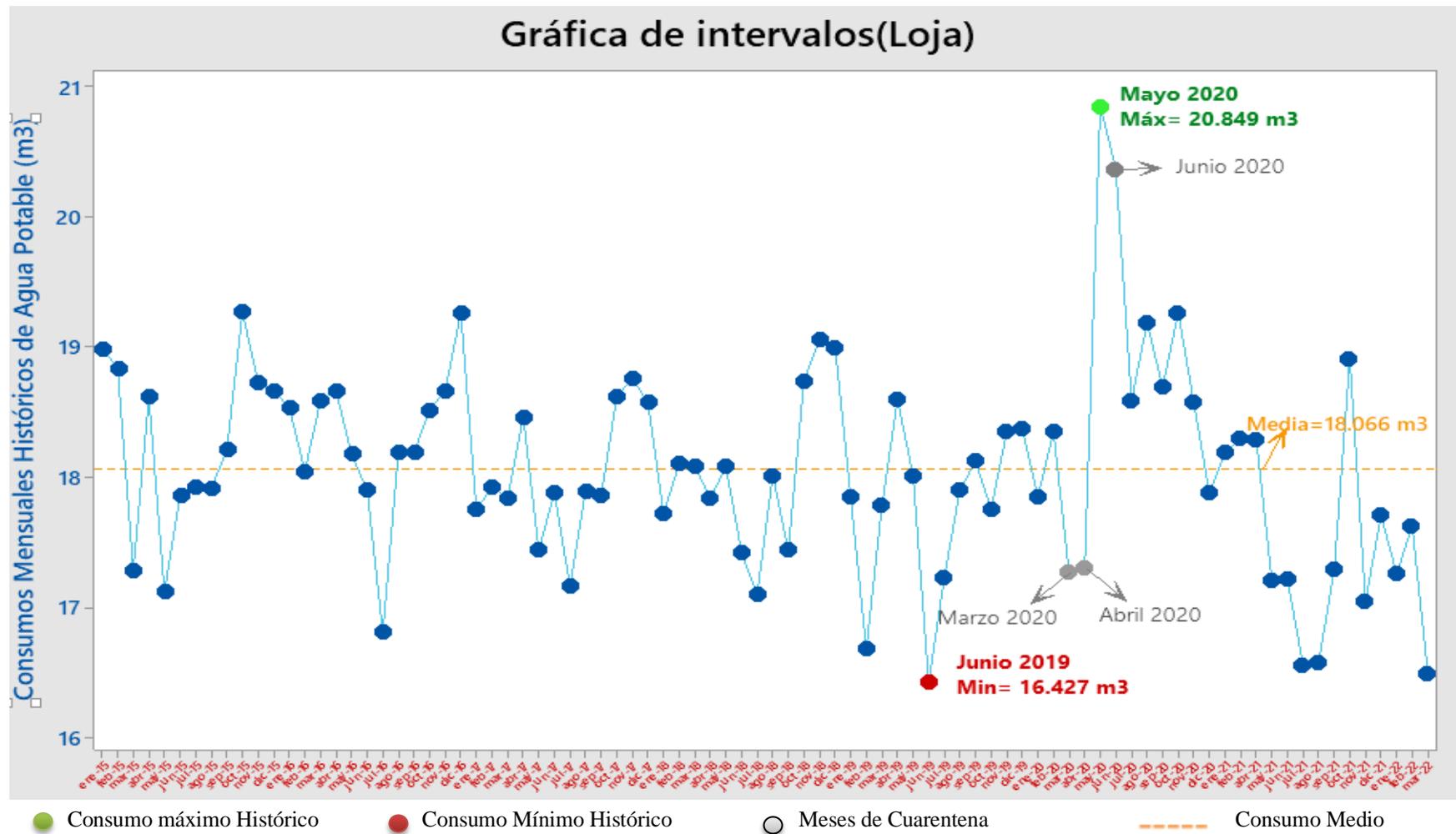


Ilustración 10. Grafica de intervalos sin el consumo del mes de marzo de 2021

Fuente: Villalta J. (2022)

Coefficiente de variación Kd sin considerar casos fortuitos o eventualidades.

Haciendo uso de la Ec1, el consumo máximo y el nuevo valor de la media histórica se calcula un nuevo factor de variación, obteniendo un valor de 1.154. Este valor se comparó con 1.157, valor perteneciente al kd de la tabla 7 que considera todos los meses de análisis.

Como resultado en la ilustración 9 se aprecia el valor para el coeficiente de variación considerando todos los meses de análisis y eventualidades. Además, se muestra el valor del kd sin considerar eventualidades que generen cambios en el consumo de agua potable para la ciudad de Loja.

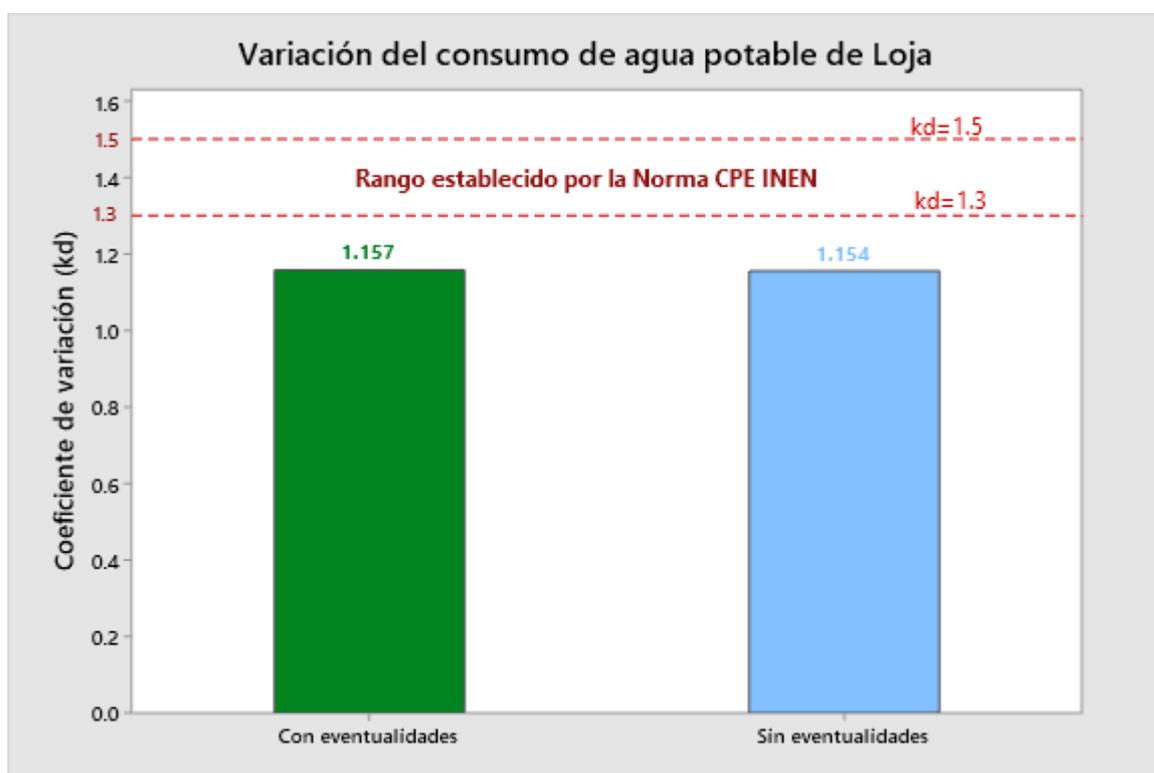


Ilustración 11. Diagrama del coeficiente de variación kd con eventualidades y sin eventualidades

Fuente: Villalta J. (2022)

4.2 DISCUSIÓN

En la ciudad de Loja la tendencia en el ascenso o disminución del consumo de agua potable no es notoriamente claro, puesto que la mayor cantidad de consumos de los meses estudiados se encuentran cercanos a la media, es decir existe una variabilidad en el consumo mensual histórico que se ubica debajo y sobre la misma. El consumo máximo histórico se produjo en el mes de mayo del 2020 que corresponde a la época de confinamiento por Cvid-19, se recalca que el segundo máximo consumo se da en el mes siguiente del mismo año. En el mes de marzo del 2021 se presenta el menor consumo histórico y de este mes en adelante la tendencia en el consumo disminuye notablemente.

El consumo de agua potable en las poblaciones puede verse afectado por diversos factores como: factores demográficos, socioeconómicos, climatológicos de gestión y calidad del agua. El factor climatológico estudiado por Bayas y Carrión es el aspecto que ha tenido indirectamente mayor significancia en la disminución del consumo de agua en la ciudad de Loja. Producto del fuerte invernal que se originó en el mes de marzo del 2021, se produjeron demasiadas inestabilidades en los terrenos por donde pasa la conducción y redes de distribución. Esto a su vez generó rupturas en las tuberías dejando sin acceso al agua a gran parte de población por más de 15 días seguidos, lo que justificaría el valor del consumo mínimo que se obtuvo en la gráfica de intervalos.

Mientras se realizaban las reparaciones en las tuberías de conducción y redes de distribución, la dotación de agua a la población se realizaba a través de tanqueros por parte del ejército, policía nacional y cuerpo de bomberos. Obtener el agua para consumo domiciliario de esta forma creaba inseguridad respecto a la calidad del agua. Razón por la cual la gente optaba por hervir el agua antes de ser consumida o a su vez comprar agua embotellada lo que presumiblemente sería la causa que justifique el por qué a partir del mes de marzo del 2021 se genera una disminución clara en el consumo del agua.

A pesar de presentarse numerosos daños en las tuberías de agua potable, la calidad del agua no ha sido baja desde hace varios años, gracias a la gestión adecuada por parte del UMAPAL. Esto como consecuencia de que, en cada sistema de agua para la ciudad, existe una planta de tratamiento que la potabiliza. Razón por la cual se dice que el consumo de agua a partir de enero de 2015 hasta abril de 2020 se mantiene cercano a la media correspondiendo a un consumo medio y alto en algunos meses, tal como se aprecia en la tabla 6. Esto a su vez, corrobora parte del estudio realizado por Arellano & Lindao (2019), que establece que la gestión y la calidad del agua contribuye significativamente en la variabilidad del consumo de agua en las poblaciones.

Durante los dos primeros meses de cuarentena (marzo y abril) la variación del consumo de agua potable no ha presentado mayor significancia, puesto que solo se nota una leve disminución en el consumo. Esto podría deberse a que, la gente de la zona rural de la misma provincia y de otras provincias del país que reside en la ciudad de Loja, por temor al virus o

simplemente por la paralización de actividades tanto en instituciones públicas como privadas regresaban a sus lugares de origen, coincidiendo con Muñoz (2019), quien establece que el consumo de agua puede variar dependiendo del número de personas en una población.

En los dos siguientes meses de cuarentena (mayo y junio) el consumo de agua sufre un incremento considerable, puesto que se alcanza valores superiores a 20 m³. Esto se sospecha sea producto del regreso de las actividades tanto en instituciones públicas, privadas centros comerciales, etc. Para realizar dichas actividades se permitía un aforo del 50% en el personal. Por tal razón, las personas que se resguardaron en ciudades pequeñas o en la provincia, regresaban a la ciudad, lo que se presume sería el motivo para que el consumo de agua potable en la ciudad de Loja en el mes de mayo y junio de 2020 sea el más elevado.

Finalmente se determina el coeficiente de variación de consumo de agua potable (kd) para la ciudad de Loja, dando un valor de 1.157, mismo que se encuentra por debajo de lo establecido por la norma, en la tabla 8 se aprecia dicho valor. Este valor se comparó con el de otras ciudades investigadas como Riobamba e Ibarra que pertenecen a la misma región y presentan similitudes en su población. En los resultados se aprecia que las tres ciudades obtienen un valor de coeficiente de variación (kd) que se encuentra por debajo del rango establecido por la norma, lo que afirma el estudio realizado por Salazar (2020), quien establece que en ciudades consideradas grandes el consumo de agua es menor al consumo de ciudades pequeñas.

Adicionalmente se determinó un nuevo valor del kd sin considerar el consumo mínimo histórico, por lo que se presume que este consumo tan bajo sea producto de un caso fortuito o una eventualidad que no se repite con frecuencia. En este caso se trata de rupturas en gran parte de las tuberías a causa del deslizamiento de taludes por el fuerte invierno que se produjo en el mes de marzo de 2021.

Mediante la Ec1, el consumo máximo y el nuevo valor de la media histórica se calcula el nuevo factor de variación, obteniendo un valor de 1.154. Este valor al compararse con 1.157, valor que considera todos los meses de análisis incluidas eventualidades y casos fortuitos, no presentan gran diferencia, encontrándose también por debajo del rango propuesto por la norma, lo que afirmaría una vez más lo expuesto por Salazar (2020). Por lo tanto, se recalca que las eventualidades o presencia de casos fortuitos tienen una ligera incidencia en el consumo de agua potable debido a la presencia de casi cuatro millones de datos analizados y al encontrarse un valor de coeficiente de variación cercano al anteriormente calculado.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Se obtuvieron 3'953.278 datos referentes al consumo mensual de agua potable del sector residencial de la ciudad de Loja. Estos datos fueron proporcionados por parte de la Unidad Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de la Ciudad de Loja (UMAPAL) en m³. El número de datos obtenidos corresponde al consumo de agua potable por parte de 50916 usuarios desde enero de 2015 a marzo de 2022. Mediante la depuración manual y la eliminación de valores atípicos con el diagrama de cajas y bigotes se descartaron 559.926 y 154.560 datos respectivamente. Por lo tanto 3'238.792 datos fueron analizados estadísticamente.

Mediante la prueba estadística de ANOVA se encontró la existencia de al menos una diferencia significativa de entre todos los consumos medios. Con la prueba del TUKEY se determinó el orden y los rangos de los consumos medios para todos los meses estudiados, 30 rangos en total.

Se graficó los consumos medios históricos con la finalidad de determinar su variabilidad en el periodo analizado. Se encontró que el consumo máximo histórico se dio en el mes de mayo de 2020, mes que corresponde al periodo de pandemia por Covid 19, con un consumo igual a 20.849 m³ y el mínimo consumo histórico fue en el mes de marzo de 2021 con 13.814 m³, mes en el que se presentaron mayores precipitaciones invernales. Además, se estableció que el valor del coeficiente de variación del consumo de agua para la ciudad de Loja es de 1.157, valor que se encuentra por debajo del rango establecido por la norma (1.3 – 1.5).

Se realizó una comparativa entre los coeficientes de variación del consumo de agua de las ciudades de Riobamba, Ibarra y Loja ciudades consideradas grandes según el número de habitantes (mayores a 150000 habitantes). El coeficiente de las tres ciudades se encuentra bajo el rango establecido por la norma.

5.2 RECOMENDACIONES

Es recomendable considerar el valor del factor de variación de consumo de agua potable(kd) encontrado en esta investigación para futuros proyectos de construcción ampliación o mejoras de sistemas de agua potable para la ciudad de Loja, o a su vez se podría tomar en cuenta lo establecido por la norma, puesto que dicho valor encontrado está por debajo del rango. Además, se debería realizar un seguimiento del consumo de agua en la ciudad en futuros años, esto con la finalidad de encontrar un valor más ajustado a la realidad y que satisfaga la demanda de agua en la ciudad.

Al analizar poblaciones con gran cantidad de datos, las eventualidades o presencia de casos fortuitos tienen poca relevancia en la variación del consumo de agua potable, es decir que, mientras mayor número de datos se disponga la realidad del consumo será más acertada. Por lo tanto, resulta recomendable realizar los cálculos con la mayor cantidad de datos que se pueda disponer de las poblaciones para tener un análisis más real.

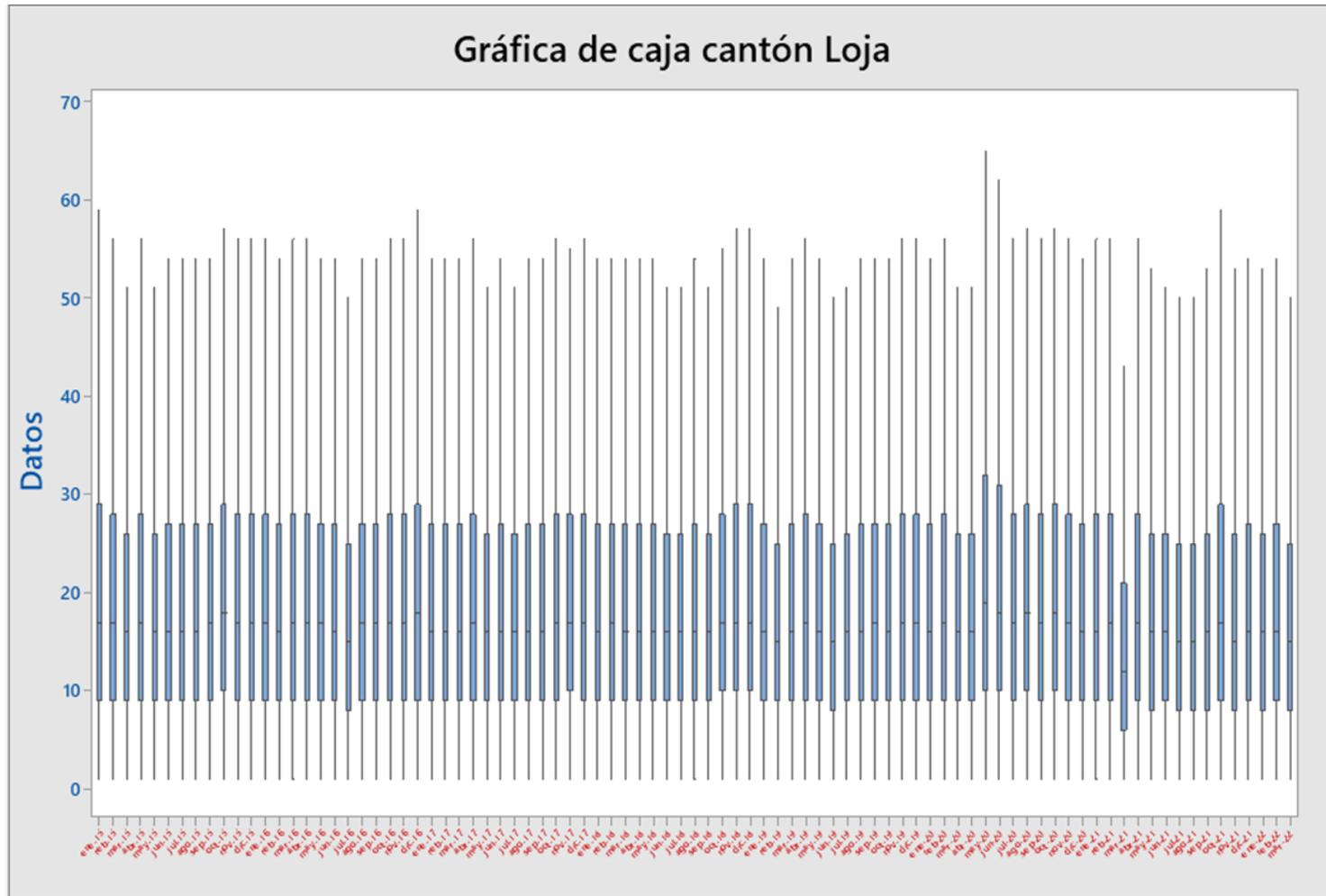
BIBLIOGRAFÍA

- ARCA. (2019). *Benchmarking de Prestadores Públicos de los servicios de agua potable y saneamiento en el Ecuador*. 70. http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/07/Boletin-Estadistico-APS_jul21_fnl.pdf
- ARCA. (2020). *AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO EN EL ECUADOR Agencia de Regulación y Control del Agua BOLETÍN ESTADÍSTICO*. http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/12/Boletin-Estadistico-APS_dic21_v02.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. *Novasineria Revista Digital De Ciencia, Ingeniería Y Tecnología*, 1(1), 23–32. <https://doi.org/10.37135/unach.ns.001.01.03>
- Arellano, A., Izurieta, C., Bravo, C., Merino, A., & Yépez, D. (2019). Desperdicio de agua a través del equipo sanitario. *Novasineria*, ISSN 2631-2654, 2(2), 68–74. <https://novasineria.unach.edu.ec/index.php/novasineria/article/view/123/83%0Ahttps://novasineria.unach.edu.ec/index.php/novasineria/article/view/123>
- Arellano, A., & Lindao, V. (2019). Efectos de la gestión y la calidad del agua potable en el consumo del agua embotellada Effects of water quality and management on bottled water consumption. *NOVASINERGA*, 2(1), 22. <http://novasineria.unach.edu.ec/index.php/novasineria/article/view/77>
- Arellano, A., & Peña, D. (2020). Modelos de regresión lineal para predecir el consumo de agua potable. *Novasineria Revista Digital De Ciencia, Ingeniería Y Tecnología*, 3(1), 27–36. <https://doi.org/10.37135/ns.01.05.03>
- Bayas, A. (2018). *Propuesta de dotaciones de agua potable para poblaciones menores a 150000 del Ecuador, basada en las características meteorológicas y socio económicas* [Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/4759/1/UNACH-EC-ING-CIVIL-2018-0008.pdf>
- CPE INEN 005-9-1. (1992). *Norma para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposicion de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes*. Instituto Ecuatoriano de Normalización. https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe_inen_5-parte9-1.pdf
- Diaz, Y. (2022a). *CAMBIAN UN TRAMO DE TUBERÍA DE LA TRANSMISIÓN SUR*. <https://www.loja.gob.ec/noticia/2022-05/cambian-un-tramo-de-tuberia-de-la-transmision-sur>
- Diaz, Y. (2022b). *MUNICIPIO BUSCA AYUDA INTERNACIONAL PARA TEMAS DE AGUA POTABLE*. <https://www.loja.gob.ec/noticia/2022-05/municipio-busca-ayuda-internacional-para-temas-de-agua-potable>
- Diaz, Y. (2022c). *PROBLEMÁTICA DEL SISTEMA DE AGUA DE LA CIUDAD SE ANALIZÓ EN UN FORO*. <https://www.loja.gob.ec/noticia/2021-04/problematika-del-sistema-de-agua-de-la-ciudad-se-analiza-en-un-foro>
- ECUADOR ESTRATEGICO. (2018). *Memoria de cálculo del sistema de agua potable*. https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/bajarArchivo.cpe?Archivo=LDI-tMWnH_ynJaeWxz_aLvVQ0HlyQpLuvEhLHqPAsWU,#:~:text=Se define como caudal máximo,final del período de diseño.&text=Según Norma CO 10.7-601,%2C3-1%2C5.&text=El cons

- GAD Loja. (2021). *PDOT General 2021, Municipio de Loja*.
<https://www.loja.gob.ec/contenido/plan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial>
- GPL. (2014). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Loja 2015-2025. *Prefectura de Loja*, 242.
<https://prefectura.loja.gob.ec/documentos/lotaip/2019/PDOT-2019.pdf>
- Huaquisto, S., & Chambilla, I. G. (2019). Análisis Del Consumo De Agua Potable En El Centro Poblado De Salcedo, Puno. *Investigacion & Desarrollo*, 19(1), 133–144.
<https://doi.org/10.23881/idupbo.019.1-9i>
- Izurieta Recalde, C. W., Arellano Barriga, A. P., & Muñoz David, G. M. (2022). La demografía y el consumo de agua potable en los estratos socio economicos urbanos. *Pocaip*, 7(1), 1–22. <https://fipcaec.com/index.php/fipcaec/article/view/552>
- Mora Carrión, M. A. (2019). Universidad Del Azuay Facultad De Ciencia Y Tecnología. *Análisis de La Variación Estatal Del Consumo Residencial de Agua Potable de La Ciudad de Cuenca*. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9592>
- Muñoz, G. (2019). *Características demográficas asociadas a los consumo de agua potable* [Universidad Nacional de Chimborazo].
<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/6124>
- 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>
- Nieto, J. (2015). *CIERRE DE BRECHAS EN LA COBERTURA DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO SANITARIO*. www.bde.fin.ec
- Ortiz, J. M., Molina Castro, E. X., Quesada Molina, J. F., Calle Pesántez, A. E., & Orellana Valdéz, D. A. (2018). Consumo sustentable de agua en viviendas de la ciudad de Cuenca. *Ingenius*, 20, 28–38. <https://doi.org/10.17163/ings.n20.2018.03>
- PODT. (2020). *Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Loja(2019-2023)*.
https://www.loja.gob.ec/files/image/LOTAIP/2020/plan_de_desarrollo_y_ordenamiento_territorial_del_canton_loja_-_sociabilizacion_del_documento.pdf
- PRIMICIAS. (2022). *Nueve provincias de Ecuador con bajo acceso a agua potable*.
<https://www.primicias.ec/noticias/economia/provincias-ecuador-acceso-agua-potable/>
- Rojas, F., Peñaherrera, F., Real, C., Rispo, A., Valverde, O., Alonso, A., & Bianchi, F. (2022). *Estrategia del agua 2019 2022*.
[https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1455/Estrategia del agua.pdf](https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1455/Estrategia%20del%20agua.pdf)
- Salazar, M. (2020). *Determinación del coeficiente de variación del consumo diario de agua potable en ciudades menores a 150000 habitantes* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/6442>
- Sánchez, P. M., & Fries, A. (2019). Presión demográfica sobre el agua : un análisis regional. *Revista Geográfica Venezolana*, October.
https://www.researchgate.net/publication/344900976_Presion_demografica_sobre_el_agua_un_analisis_regional_para_Ecuador
- SATELITES.PRO. (2022). *Región de Loja*.
https://satellites.pro/plano/mapa_de_Ecuador#G-1.675176,-79.447632,9
- SENAGUA. (2016). Estrategia Nacional de Calidad del Agua. *Ministerio de Ambiente, Ecuador*, 97. <https://n9.cl/1klc>
- Yuquilema Alvarado, C. M. (2020). Universidad Nacional De Chimborazo. *Tesis de Pregrado*, 53. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/6417>

ANEXOS

Anexo 1. Diagrama de cajas y bigotes



Anexo 2. Rango de los consumos medios (Prueba de Tukey).

Factor	N	Media	Agrupación
may-20	35536	20.8485	A
jun-20	34928	20.3668	B
oct-15	34235	19.2681	C
oct-20	38581	19.2657	C
dic-16	35647	19.2567	C
ago-20	37319	19.1831	C D
nov-18	38278	19.0596	C D E
dic-18	38324	18.9945	C D E F
ene-15	33160	18.9888	C D E F
oct-21	40768	18.914	C D E F G
feb-15	33220	18.8366	D E F G H
nov-17	36451	18.7575	E F G H
oct-18	38141	18.7428	E F G H I
nov-15	34226	18.7301	E F G H I J
sep-20	38136	18.6911	E F G H I J
nov-16	35822	18.6664	F G H I J K
dic-15	34594	18.6644	F G H I J K
abr-16	34595	18.6639	F G H I J K
oct-17	36410	18.6192	F G H I J K
abr-15	33650	18.6154	F G H I J K
abr-19	38547	18.5957	G H I J K L
jul-20	36342	18.5902	G H I J K L
mar-16	34706	18.5848	G H I J K L M
nov-20	39065	18.5724	G H I J K L M
dic-17	36727	18.5721	G H I J K L M
ene-16	34567	18.5355	G H I J K L M N
oct-16	35525	18.5149	H I J K L M N
abr-17	35673	18.4624	H I J K L M N O
dic-19	39604	18.3723	I J K L M N O P
feb-20	40266	18.3498	J K L M N O P
nov-19	39585	18.3476	J K L M N O P
feb-21	39720	18.2935	K L M N O P Q
abr-21	39731	18.2907	K L M N O P Q
sep-15	34144	18.2118	L M N O P Q R
ago-16	35277	18.1951	M N O P Q R

