



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DE LOS CONSUMOS HISTÓRICOS DE AGUA
POTABLE EN EL CANTÓN DE SANTO DOMINGO**

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil

Autor:

Reino Pacheco, Richard Santiago

Tutor:

Ing. Alfonso Patricio Arellano Barriga, Mgs

Riobamba, Ecuador. 2022

DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, **Richard Santiago Reino Pacheco**, con cédula de ciudadanía **1718787151**, autor del trabajo de investigación titulado: “**Análisis de los consumos históricos de agua potable en el cantón de Santo Domingo**”, 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 (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, a la fecha de su presentación.



Richard Santiago Reino Pacheco

C.I: 1718787151

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 en el cantón de Santo Domingo**”, presentado por **Richard Santiago Reino Pacheco**, con cédula de identidad número **1718787151**, 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 a la fecha de su presentación.

Ing. Vladimir Pazmiño, Mgs
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE
GRADO



Firma

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



Firma

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



Firma

Ing. Alfonso Patricio Arellano Barriga, Mgs
TUTOR



Firma

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 en el cantón de Santo Domingo”**, presentado por **Richard Santiago Reino Pacheco**, con cédula de identidad número **1718787151**, bajo la tutoría de **Ing. 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 a la fecha de su presentación.

Presidente del Tribunal de Grado
Ing. Vladimir Pazmiño



Firma

Miembro del Tribunal de Grado
Ing. Nelson Estuardo Patiño Vaca



Firma

Miembro del Tribunal de Grado
Ing. María Gabriela Zúñiga Rodríguez



Firma

CERTIFICACIÓN

A, **REINO PACHECO RICHARD SANTIAGO** con CC: **1718787151**, estudiante de la Carrera **INGENIERÍA CIVIL, NO VIGENTE**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría en el trabajo de investigación titulado "**ANÁLISIS DE LOS CONSUMOS HISTÓRICOS DE AGUA POTABLE EN EL CANTÓN DE SANTO DOMNINGO**" que corresponde al dominio científico **DESARROLLO TERRITORIAL- PRODUCTIVO Y HÁBITAT SUSTENTABLE PARA MEJORAR LA CALIDAD DE VIDA** y alineado a la línea de investigación **INGENIERÍA, CONSTRUCCIÓN, INDUSTRIA Y PRODUCCIÓN**, cumple con el **4%**, reportado en el sistema de Anti plagio **URKUND**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional.

Riobamba, a la fecha de su presentación



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

DEDICATORIA

Principalmente quiero dedicarle a Luli este logro, mi madre ya que ella demuestra siempre con todo su esfuerzo y sacrificio que podemos sobresalir, y que ahora se sienta orgullosa de esta meta.

Dedicarle este proyecto a mi padre Ricardo, mi hermano Anghelo, qué son dos hombres soñadores. A mi enamorada, sobrina y cuñada que son muy apreciadas e importantes en nuestro hogar. Dedicado especialmente a mis Padrinos, mis abuelitos, y mejores amigos que siempre han estado felices y orgullosos de lo que soy capaz.

Reino Pacheco Richard Santiago.

AGRADECIMIENTO

A mi madre, por ser el pilar fundamental de mi vida, con todo su amor, ternura y esas ganas inigualables de salir adelante, de mejorar cada día y saber que siempre podrá contar con ella y todo su amor.

A mi padre, el cual nunca descuido su apoyo como persona, siempre se podía contar con ese carisma de aventura, mejorando las situaciones.

A mi hermano, cuñada y sobrina, quienes también me apoyaron en la vida universitaria.

A toda mi familia y amistades por sus consejos y buenos deseos en mi periodo universitario.

De manera especial al Ing. Alfonso Arellano, por su guía, colaboración y aporte de sus conocimientos.

Y finalmente a mis mejores amigos encontrados en la carrera, Byron, Jeancarlos, Oscar, Marco y Vicky, quienes siempre apoyaron de alguna u otra manera.

Reino Pacheco Richard Santiago.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	XI
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	15
1.1 Antecedentes	15
1.2 Planteamiento del problema.....	22
1.3 Justificación	22
1.4 Objetivos	23
<i>Objetivo General</i>	23
<i>Objetivos Específicos</i>	23
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	23
2.1 Estado del arte.....	23
2.2 Marco teórico	25
<i>Demanda de Agua Potable</i>	25
<i>Calidad del Agua</i>	25
<i>Coefficiente de variación de consumo máximo diario (Kd)</i>	2612
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	2713
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	3319
4.1 Resultados	3319
<i>Prueba de normalidad y homocedasticidad</i>	3319
<i>Análisis estadístico ANOVA</i>	3521
<i>Prueba de Tukey</i>	3521
<i>Gráfico de intervalos</i>	3723
<i>Estadística descriptiva</i>	3824
<i>Coefficiente de variación de consumo Kd</i>	4127
4.2 Discusión	4228
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES	4632
5.1 Conclusiones	4632
5.2 Recomendaciones	4733
BIBLIOGRAFÍA	4834

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Caudales de diseño para sistemas de agua potable.....	18
Tabla 2. Valores de coeficientes (Kd) hasta Julio del 2022	20
Tabla 3. Datos de análisis del cantón Santo Domingo	2814
Tabla 4. Análisis de varianza de medias del Cantón Santo Domingo	3521
Tabla 5. Agrupación utilizando el método de Tukey	3622
Tabla 6. Resumen de medias históricas 2018-2020	3824
Tabla 7. Tabla de consumos medios tipo semáforo.....	3925
Tabla 8. Resultado del coeficiente de variación de consumo (Kd)	4228

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica	16
Figura 2. Proceso sistemático del desarrollo de la investigación	2713
Figura 3. Diagrama de Cajas y Bigotes	3016
Figura 4. Diagrama de Cajas y Bigotes. Sin atípicos	3117
Figura 5. Gráfica de Probabilidad	3319
Figura 6. Gráfica de residuos vs. ajustes	3420
Figura 7. Gráfica de intervalos del Cantón Santo Domingo	3723
Figura 8. Promedios mensuales de todos los años	4026
Figura 9. Gráfica de evolución del consumo anual	4127

RESUMEN

La demanda de agua potable en Ecuador ha ido en aumento debido a diversos factores sociodemográficos, de calidad del agua, socioeconómicos y climatológicos lo cual influencia en el servicio que se le brinda a la población. Estos factores inciden en las variaciones del consumo, debido a que las dotaciones recomendadas de la normativa CPE INEN 005-9-1 (1992) son ambiguas y no existen datos de estudios de sistemas existentes. La recomendación de la normativa para mejorar las dotaciones en los diseños futuros de agua potable es realizar estudios específicos para cada ciudad.

Esta investigación analiza los registros históricos residenciales de consumo mensual de agua potable en el cantón de Santo Domingo entre los años 2018 a 2020, proporcionados por la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Santo Domingo (EPMAPA-SD). La metodología empleada sigue un proceso estructurado con enfoque cuantitativo por el tipo de información obtenida. Los datos entregados a los cuales nos referimos como crudos, pasaron por un proceso de depuración manual y posteriormente por una depuración estadística mediante el software Minitab haciendo uso del Diagrama de Cajas y Bigotes. Luego el 1 350 137 de datos válidos se expusieron a prueba de normalidad y homocedasticidad, Análisis de varianza, Prueba de Tukey, Diagramas de intervalos y diagramas descriptivos, como parte del análisis estadístico para determinar el consumo máximos y la media histórica de consumo, y finalmente se calculó el coeficiente de variación de consumo diario (Kd).

El consumo máximo de 18.39 m³ en mayo de 2020, coincide con el segundo mes más importante de confinamiento obligatorio por Covid-19. Con una media histórica de 16.84 m³, resulta en un coeficiente Kd = 1.09 que se encuentra bajo el rango 1.3 a 1.5 de la normativa. En comparación con poblaciones cercanas a la ciudad que ya han sido

estudiadas y demás poblaciones presentadas (**ver Tabla 2**), se concluye con la idea que, a mayor población, menor es el valor de coeficiente de variación (Kd).

Palabras Clave: Demanda de agua potable, factores sociodemográficos, calidad del agua, dotaciones recomendadas, y coeficiente (Kd).

ABSTRACT

The demand for drinking water in Ecuador has been increasing due to various sociodemographic factors, water quality, and socioeconomic and climatological conditions, influencing the provided service to the population. These factors influence consumption variations because the recommended endowments of the CPE INEN 005-9-1 standard (1992) need to be clarified, and there are no data from existing system studies. The recommendation of the regulation to improve the endowments in the future designs for potable water is to carry out specific studies for each city.

This research analyzes the residential historical records of monthly drinking water consumption in the Santo Domingo canton between 2018 and 2020, provided by the “Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Santo Domingo” (EPMAPA-SD). The methodology follows a structured process focusing on quantitative by the type of obtained information. The delivered data, which we refer to as raw ones, went through a manual elimination process and later a statistical debugging through the Minitab software using Boxplot and Whiskers. Then the 1 350 137 of valid data were exposed to the normality test, homoscedasticity, Analysis of variance, Tukey test, Interval plots, and descriptive diagrams as part of the statistical Analysis to determine maximum consumption and the historical consumption average, and finally the coefficient of variation was calculated of daily consumption (Kd).

The maximum consumption of 18.39 m³ in May 2020 coincides with the second most crucial mandatory confinement by Covid-19. A historical average of 16.84 m³ results in a coefficient $Kd = 1.09$, below the range of 1.3 to 1.5 of the regulations. Compared with populations close to the city that has already been studied and other featured populations (**see Table 2**), it is concluded that the larger the population, the coefficient of variation (Kd) value will be less.

Keywords: Demand for drinking water, sociodemographic factors, water quality, recommended endowments, and coefficient (Kd).



Firmado electrónicamente por:
**DANILO RENEE
YEPEZ OVIEDO**

Reviewed by:
Danilo Yépez Oviedo
English professor
UNACH0601574692

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En el país y en el mundo el agua es un derecho fundamental, debe ser de total uso público ya que constituye como elemento vital para la humanidad (Núñez Chávez, 2018). La deficiente cobertura de agua potable en muchas ciudades del mundo se debe al aumento demográfico de la población, urbanización, crecimiento de áreas industriales, lo cual genera una demanda cada vez mayor de agua (UNESCO, 2015).

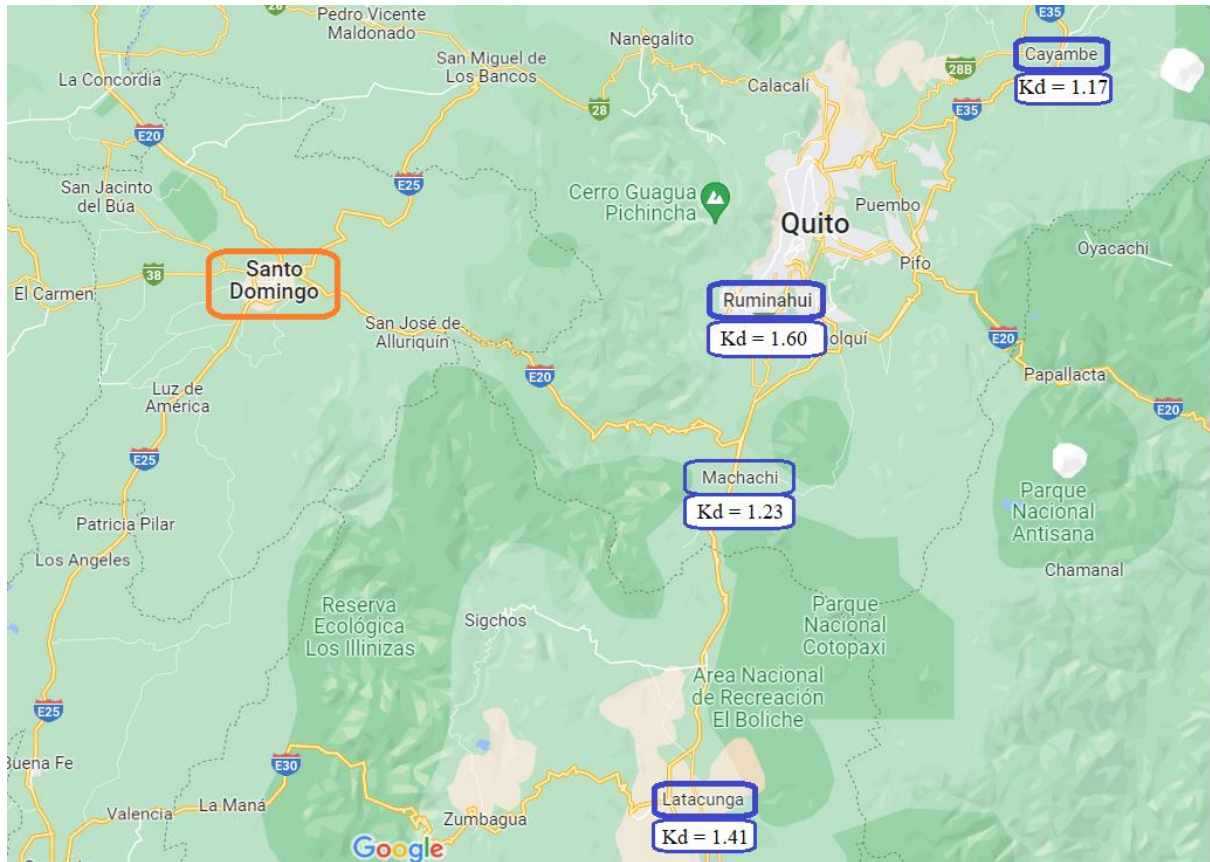
En Ecuador se estima que un 70.1% de la población cuenta con agua segura para el consumo y tres de las poblaciones que han pasado por un crecimiento poblacional importante son las más pobladas actualmente con una cobertura de agua básica del 85% (Molina et al., 2018). Esto concuerda con investigaciones previas (Arellano & Bayas et al., 2018) y (Arellano & Peña, 2020), mencionando la demografía y costumbres de la población como variables de importancia en el consumo de agua potable.

Planteando la demografía como factor relevante que inciden en las variaciones del consumo, en el sistema de abastecimiento y la cobertura del servicio, debido a que la dotación asignada es recomendación de una normativa anticuada que no contaba con los datos necesarios (Jiménez López, 2020). La cobertura del servicio de agua potable se basa en dotaciones de la CPE INEN 005-9-1 (1992), y considera rangos de poblaciones de hasta 50 000 habitantes o más, dejando a poblaciones mayores con el requerimiento de calcular el coeficiente de variación del consumo máximo diario en base a sistemas existentes. Actualmente varios cantones cuentan con población mayor a 150 000 habitantes, y de ser investigados podrían objetar a previas investigaciones (Arellano & Bayas et al., 2018) y (Arellano & Peña, 2020).

Considerando al cantón Santo Domingo con una demografía exponencial, en el siguiente apartado se describen sus características más relevantes:

Figura 1

Ubicación geográfica.



Fuente: (Earth Google, 2020)

Nota. La ciudad de Santo Domingo se encuentra enmarcada en color anaranjado. Los cantones enmarcados en azul, han sido previamente investigados y considerados como poblaciones medianas con menos de 150 000 habitantes.

El cantón de Santo Domingo se ubica como cabecera cantonal de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, localizado a 100km de Quito y a una altitud de 655 m.s.n.m. El promedio de temperatura oscila en 23°C, con un clima lluvioso tropical. La ciudad consta de 7 parroquias urbanas. el Censo INEC de (2010) menciona que es la cuarta población más grande del país. Según el GAD municipal de Santo Domingo actualmente el cantón cuenta con 450 000 habitantes de acuerdo con su tasa de crecimiento anual. Las principales actividades productivas son el comercio y la ganadería.

Según el informe de resultados del censo (2010), en Santo Domingo de los Tsáchilas los servicios como el abastecimiento de agua oscila en un 45.98 % de red pública y un 48.04% de otras fuentes, considerando que su dotación no es la adecuada pese a haberse provincializado en el 2007. En el informe de SENPLADES (2014), manifiesta una cobertura de 48.3% de agua distribuida por la red pública. Ante lo expuesto hay un aumento en el abastecimiento de agua por red pública que, en comparación con el crecimiento demográfico, afirma un déficit en la cobertura de agua potable.

Actualmente el cantón de Santo Domingo depende principalmente de la captación en el afluente río Lelia, que en temporadas de invierno y crecientes en el río provoca desabastecimiento en el líquido vital para diferentes sectores de la ciudad. El compromiso de mejorar el servicio no solo para la población sino también para estudios de nuevos sistemas de agua potable promueve un análisis substancial de los registros y la obtención del coeficiente de variación de consumo diario (Kd), siendo lo más cercano a la realidad de la población actual y planteando un punto de partida para futuros diseños.

Esta investigación recopilará los registros históricos de consumos mensuales de agua potable del sector residencial desde enero 2018 a diciembre 2020, otorgados por la Empresa pública municipal de agua potable y alcantarillado (EPMAPA-SD). Se realizará una depuración manual de los datos primarios y después se retirarán los datos atípicos, empleando el software Minitab antes de realizar el análisis estadísticos ANOVA y Tukey como medio de evaluación de los consumos.

Finalmente, se obtendrá los valores máximo y medio de consumo para el cálculo de coeficiente de variación de consumo (Kd). Este coeficiente será de utilidad para dimensionar la captación, conducción y distribución, a fin de evitar subdimensionamiento o sobredimensionamiento (**ver Tabla 1**).

Para tener un correcto diseño de agua potable la norma CPE INEN 005-9-1 (1992) establece la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{máx. día}} = K_d \times Q_{\text{med. diario}} \quad [\text{Ec.1}]$$

Donde:

- **Q_{máx.}**: Caudal máximo día.
- **K_d**: Coeficiente de variación de consumo.
- **Q_{med.diario}**: Caudal medio diario. (puede ser actual o futuro)

La norma CPE INEN 05 parte 9-1 expone criterios para el cálculo de caudales de diseño de la captación, conducción, redes de distribución y planta de tratamiento.

Tabla 1

Caudales de diseño para sistemas 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 5, 1992)

Nota. Consideración del aumento en el caudal máximo diario para diseño de caudales en futuros sistemas de agua potable

La actualización de este coeficiente se suma a las poblaciones estudiadas en el Proyecto “Determinación de la variación de consumos de agua potable en ciudades menores a 150000 habitantes del Ecuador” (**ver Tabla 2**).

Tabla 2*Valores de Coeficientes (Kd) hasta Julio del 2022.*

Provincia	Cantón	Autor	Poblaciones (habitantes)	Usuarios	desde	hasta	Número de datos	Consumo mensual Promedio	Consumo máximo	Kd
Bolívar	Guaranda	Hinojosa Lisseth	23 874	5 671	Ene-09	Jun-20	782 598	15.174	20.032	1.32
	Chillanes		2 681	1 069	Ene-18	Jun-20	32 100	9.13	12.51	1.37
	Chimbo		4 402	1 801	Ene-18	Jun-20	54 030	14.10	20.38	1.45
	Echeandía		6 170	2 604	Ene-18	Jun-20	78 120	13.397	15.132	1.13
Cañar	Cañar	Chávez Katherine	11 114	4 440	Feb-18	Dic-20	159 840	18.22	24.38	1.34
	El Tambo		2 883	2 283	Ene-15	Jul-20	164 376	15.81	19.83	1.25
Carchi	Mira	Jiménez Javier	5 994	1 632	Ene-14	Jun-20	127 296	12.84	19.754	1.54
	El Ángel		6 325	1 840	Ene-14	Jun-20	143 520	14.469	18.551	1.28
Chimborazo	P. Sta. Marianita	Peña Ronny	205	62	Ene-16	May-20	3 286	8.71	37.03	4.25
	P. El Quinche		217	67	Ene-16	May-20	3 551	12.3	23.13	1.88
	Tamaute		237	114	Ene-13	May-20	8 778	9.63	20.06	2.08
	P. San Miguel		250	49	Ene-16	May-20	2 597	10.34	34.04	3.29
	P. San Pedro		300	84	Ene-16	May-20	4 452	8.84	20.59	2.33
	P. Grande		320	88	Ene-16	May-20	4 664	13.47	25.93	1.93
	Penipe		2 089	709	Ene-19	May-20	12 762	8.64	13.44	1.56
	Chunchi		3 784	1 375	Ene-15	Nov-20	87 736	15.44	19.78	1.28
	Guamote	2 648	1 348	Ene-16	Sep-20	34 865	20.70	41.46	2	
	Alausí	Chávez Katherine	5 563	2 013	Ene-06	Ago-21	362 340	27.14	35.31	1.30
	Chambo		3 639	2 023	Feb-17	Jul-21	97 104	20.63	27.13	1.32
	Colta		2 295	1 023	Ene-17	Jul-21	49 104	18.77	27.22	1.45
	San José de Chazo	Vilema Darwin	2 734	1 056	Oct-16	May-21	50 688	9.48	14.64	1.57
	Chiganpules San Gerardo		2 734	418	May-11	Jun-21	50 160	9.36	15.10	1.61
	Ilapo-Chingazos		1 613	505	Ago-17	Dic-21	21 115	7.72	9.88	1.28
	Sanjapamba		1 428	265	Ene-16	Jun-21	15 900	7.86	16.83	2.14
Calshi Grande	791		367	Ene-17	Mar-21	17 616	6.61	7.79	1.18	
Riobamba	Saltos Angie		146 324	29 877	Ene-16	Jun-20	1 613 358	17.58	20.77	1.18

Cotopaxi	Latacunga	Cazorla Miguel	63 842	13 734	Ene-09	Dic-20	1 375 482	23.41	33.05	1.41
Imbabura	Atuntaqui	Anangonó Evelyn	43 518	3 254	Ene-11	Dic-20	660 000	16.94	26.12	1.54
	Cotacachi		40 036	2 468	Ene-12	Sep-20	705 600	16.53	36.85	2.23
	Ibarra	Alex Caicedo	181 175	38 118	Ene-10	Jul-2021	4 532 730	16.078	19.548	1.22
	San Miguel de Urcuqui	Jiménez Javier	15 671	5 077	Ene-14	Jun-20	396 006	11.396	15.302	1.34
Morona Santiago	Pablo Sexto	Guayara Francis	1 823	409	Ene-04	Jul-05	76 483	13.21	23.46	1.78
	Palora		6 936	2 017	Ene-17	Jul-05	84 714	9.72	14.35	1.48
	Huamboya		8 466	486	Ene-17	Jul-05	18 954	11.48	19.45	1.69
	Morona		41 155	7 573	Ene-10	Jul-05	946 625	17.64	23.51	1.33
	Sucúa	Nieto Gisell	18 318	5 469	Ene-07	Abr-21	946 137	18.21	34.94	1.91
	Santiago de Méndez		9 295	633	Jun-15	Mar-21	39 879	20.57	33.61	1.63
Limón Indanza	9 722		1 148	May-06	Jul-21	210 084	18.92	27.17	1.44	
Napo	Tena	Fernández Carla	23 307	4 497	may-10	Jul-20	357 966	38.87	57.53	1.48
	Carlos Julio Arosemena Tola		931	710	feb-08	Sep-20	49 780	19.93	27.75	1.39
Pastaza	Puyo	Salazar Bryan	33 557	11 214	jun-10	Sep-20	852 539	24.25	31.52	1.3
Pichincha	Juan Montalvo	Chimarro Karina	12 000	3 493	Ene-10	Jul-21	502 992	15.97	19.29	1.21
	Cayambe	Anangonó Evelyn	85 795	4 404	Ene-08	Dic-20	931 944	20.15	23.56	1.17
	Rumiñahui	Ambato Lisbeth	85 852	17 036	Ene-18	Ago-21	673 487	20.24	32.40	1.60
	Machachi	Machado Elizabeth	16 515	6 820	Nov-13	Sep-21	641 080	19.87	24.52	1.23
Tungurahua	Ambato	Sailema Karla	165 258	49 414	Ene-10	Dic-20	6 522 648	18.13	24.386	1.35
	Baños	Llerena Valeria	25 043	6 000	Ene-10	May-21	864 000	19.96	26.75	1.34
	Patate		15 825	1 500	Ene-10	May-21	216 000	14.04	22.86	1.63
	Pelileo	Ramos Isabel	66 836	5 000	Ene-10	May-21	864 000	19.15	29.90	1.56
	Píllaro		43 371	6 000	Ene-15	May-21	720 000	9.98	13.16	1.32

Fuente: Arellano & Reino (2022)

Nota. Valores de coeficiente de variación de consumo máximo diario (Kd), de los diferentes cantones estudiados hasta el momento en el proyecto “Determinación de la variación de consumos de agua potable en ciudades menores a 150000 habitantes del Ecuador”.

1.2 Planteamiento del problema

El agua potable como insumo esencial para cualquier población requiere ser un servicio de primera. Esto no es posible en muchas poblaciones del país y resulta más evidente para aquellas que experimentan crecimiento demográfico significativo, principalmente para la ciudad de Santo Domingo donde se evidencia que aún existe una gran demanda por cubrir debido a su demografía exponencialmente creciente. Ante esto se establecen las hipótesis, las dotaciones normadas podrían no estar cubriendo la demanda de consumo de agua potable en Santo Domingo, y el coeficiente de variación de consumo diario estaría fuera del rango establecido por la norma. Para establecer una respuesta se analizará los consumos del cantón Santo Domingo, la cual pertenece a la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.

1.3 Justificación

Esta investigación tiene el propósito de establecer un valor de coeficiente de variación de consumo (K_d) para consumo de agua potable dentro del sector residencial, siendo un valor actualizado que refleja la realidad de la población existente. Es un valor esencial para el cálculo de caudal máximo diario, con el que se diseñan unidades de agua potable.

Útil para la población de Santo Domingo en la mejora de los caudales de diseño existentes y diseños futuros de captación, almacenamiento, conducción de agua potable. De trascendencia para solucionar problemas de desabastecimiento de agua en el cantón y contribuir con el coeficiente de variación (K_d) a la base de datos de las ciudades estudiadas hasta el momento. La ciudad de estudio supera los 150 000 habitantes por lo cual incita a considerar más ciudades e información, debido a que difiere con el proyecto "Determinación

de la variación de consumos de agua potable en ciudades menores a 150 000 habitantes del Ecuador”.

1.4 Objetivos

Objetivo General

- Analizar los consumos históricos de agua potable en el cantón de Santo Domingo.

Objetivos Específicos

- Recolectar información de los datos históricos de consumo mensual de agua potable por usuarios del cantón Santo Domingo.
- Determinar el coeficiente de variación del consumo de agua potable para el cantón de Santo Domingo.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

En la revisión bibliográfica para el estudio del consumo de agua potable se observa diversos factores que afectan la variación y cobertura.

Arellano & Peña (2020) en su investigación resaltan las 2 variables más importantes, calidad del agua y demografía, que inciden en la variación de los consumos semestrales de agua potable para poblaciones menores a 150 000 habitantes.

Según Molina et al. (2018) demuestra que la calidad del agua en todo el país es la principal incidencia, siendo más evidente en la Amazonía. La suficiencia y continuidad del agua para la región Costa es de 75.7%, en la Sierra consta de 87.8%, esto demuestra problemas en continuidad y calidad de agua en mayor medida para la costa.

Arellano & Bayas (2018) demuestra en su investigación que la normativa CPE INEN 005-9-1 (1992) usada para diseños de sistemas de agua potable debe ser actualizada.

Menciona la demografía como una variable que incide en las dotaciones establecidas, ya que los rangos poblacionales deberían tener una nueva distribución demográfica.

Según Salazar (2020) considera tres tamaños de ciudades menores a 150000 habitantes. Analizó el coeficiente de variación para dos escenarios: 1) Consumos de agua potable per cápita mensuales ponderados (K_d CPC/p.m), obteniendo valores de K_d para ciudades pequeñas ($K_d=1.10$), ciudades medianas ($K_d=1.12$) y ciudades grandes ($K_d=1.04$). 2) Consumos de agua potable per cápita semestrales y estratos socioeconómicos (K_d CPC/est. S) obteniendo valores de K_d para ciudades pequeñas ($K_d=1.11$), ciudades medianas ($K_d=1.19$) y ciudades grandes ($K_d=1.06$).

Jiménez (2020) realizó su estudio de consumos mensuales históricos para San Miguel en Imbabura, Mira y El Ángel en Carchi, en comparación con los meses de cuarentena. Como resultado obtuvo valores del coeficiente variación (K_d), para San Miguel $K_d=1.34$. Mira $K_d=1.54$ y El Ángel $K_d=1.28$. Estos valores corroboran con lo presentado por Salazar (2020) que evidencia el aumento del consumo en el sector residencial para poblaciones pequeñas en comparación con las más grandes durante el periodo de cuarentena, debido a migración como medida para disminuir la probabilidad del contagio por Covid-19.

Según Sailema (2021) en su comparación de los registros históricos de agua potable contra el periodo de cuarentena en el cantón de Ambato. Sostiene que los meses de marzo, abril y mayo existe un decrecimiento en el consumo. El valor resultado de $K_d=1.345$, se encuentra dentro del rango recomendado por la norma CPE INEN 005-9-1 (1992), pero no coincide con la propuesta de Salazar (2020) para coeficiente (K_d) en poblaciones menores de 150000 habitantes.

Caicedo (2022) presenta en su Análisis de los consumos históricos de agua potable en el cantón Ibarra, un $K_d=1.216$ que se encuentra por debajo de los valores recomendados por la normativa y un decreciente consumo de agua potable a la baja en el futuro. Los factores más influyentes en Ibarra son gestión y calidad del agua, y demografía. En comparación con poblaciones aledañas coincide que el K_d se encuentran fuera del rango de la normativa, y en comparación con la cuarentena en Ibarra se redujo el consumo mientras poblados pequeños se aumentó el consumo evidenciando la emigración.

2.2 Marco teórico

Demanda de Agua Potable

La Organización mundial de la Salud (OMS) establece el servicio de agua potable en relación con la higiene, en un valor mínimo de 100 litros/hab/día y hasta un máximo de 300 litros/hab/día (OMS, 2003). Dicha dotación es de acceso óptimo para cubrir todos los usos en una persona. Por lo tanto, ciudades, cantones y distritos deben contar la capacidad de alcance para distribuir al menos 100 litros/hab/día. Un claro ejemplo de la demanda y consumo de Agua potable en Ecuador es la explicación del Subgerente de la Empresa Pública Metropolitana de Agua potable y Saneamiento (EPMAPS), Jaime Garzón manifiesta un consumo promedio de 200 litros/hab/día (La Hora, 2018).

Calidad del Agua

El índice de gestión y de calidad del agua potable (Ingecap) es un indicador cuantificable para evaluar el servicio de la red pública. Para ciertas poblaciones ya se ha demostrado lo deficiente en términos de cantidad y calidad. Siendo las ciudades con menor

número de habitantes las cuales tienen una mejor calidad en el servicio de la red pública, y por consecuencia las ciudades grandes tienen déficit en el servicio y la calidad. Las consecuencias de estas deficiencias son desconfianza e insatisfacción, promoviendo el consumo de agua embotellada (Arellano & Lindao, 2019).

Coefficiente de variación de consumo máximo diario (Kd)

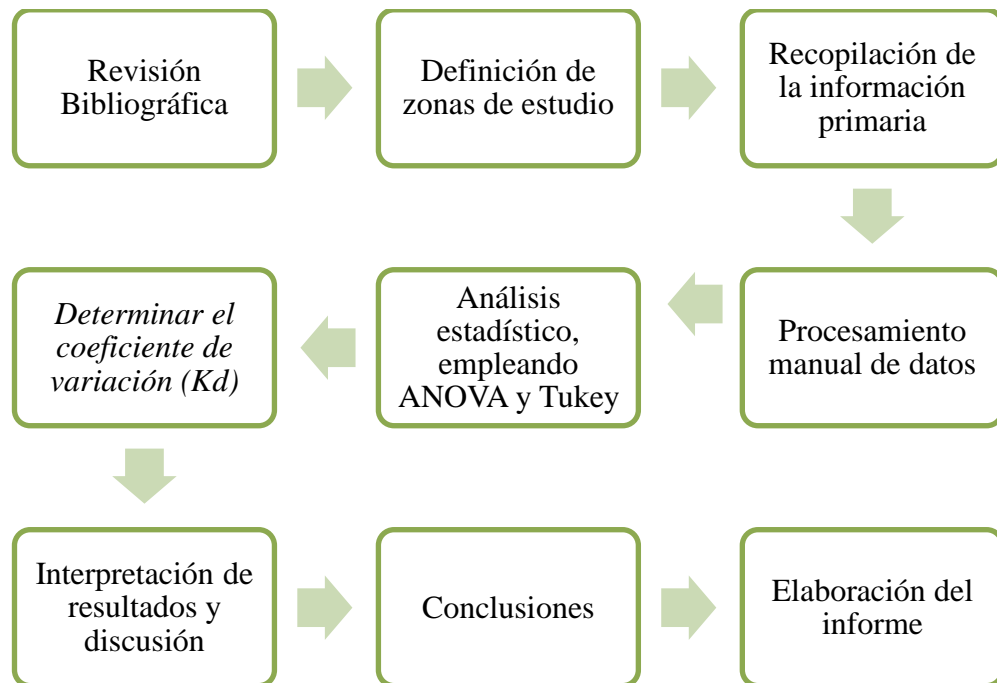
Este valor numérico asienta el consumo máximo diario, para diseño de caudales en sistemas de agua potable y promover que la fuente captada satisfaga una demanda crítica. Por lo tanto, se debe determinar mediante una relación entre caudal máximo diario y el caudal medio diario (CPE INEN 5, 1992).

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

A continuación, se presenta un diagrama que se utilizará en el desarrollo de la investigación:

Figura 2

Proceso sistemático del desarrollo de la investigación.



Fuente: Reino R. (2022)

Nota. En cada casilla se muestra la etapa del desarrollo de la investigación realizada en este proyecto, conformando una secuencia del proceso y culminando el desarrollo del presente informe.

El presente informe de carácter investigativo analiza los consumos históricos de agua potable en el sector residencial del cantón de Santo Domingo. La metodología toma un enfoque cuantitativo de forma estructurada debido a la naturaleza de los datos, que son valores de consumos mensuales de agua potable en m³. La estructura del método sigue un proceso de recolección y análisis de los datos e información.

Este análisis empieza en la revisión bibliográfica enfocada al estudio de los consumos de agua potable en el Ecuador, abordando factores influyentes y compilando documentos de fuentes veraces provenientes de: Repositorios Universitarios, Google Académico, Scopus y Revistas Científicas Digitales (NovaSinergia).

Para la delimitación de estudio, se constató que la posible zona cuenta con la información necesaria para mayor veracidad.

En la obtención de los registros mensuales históricos se procedió mediante correo electrónico el pedido de información que resulto en un proceso estructurado de solicitudes mediante oficio presentados directamente a secretaria general, dirigidos a la Ing. Mirna Romo, gerente de la Empresa pública de agua potable y alcantarillado (EPMAPA-SD). Finalmente se determinó compartir esta información bajo el compromiso de único uso de análisis. Los datos proporcionados corresponden al consumo mensual por usuario en m³, siendo el usuario al que le corresponde un contador o medidor de agua del que se realiza el registro del consumo.

Tabla 3

Datos de análisis del cantón Santo Domingo

Ciudad	N° Habitantes		Datos		N° Meses	Total, de Datos
	(GADM-SD, 2017)	N° Usuarios	Desde	Hasta		
Santo Domingo	450 000	53 666 (Residencial)	Enero 2018	Diciembre 2020	36	1 713 272

Fuente: Reino R. (2022)

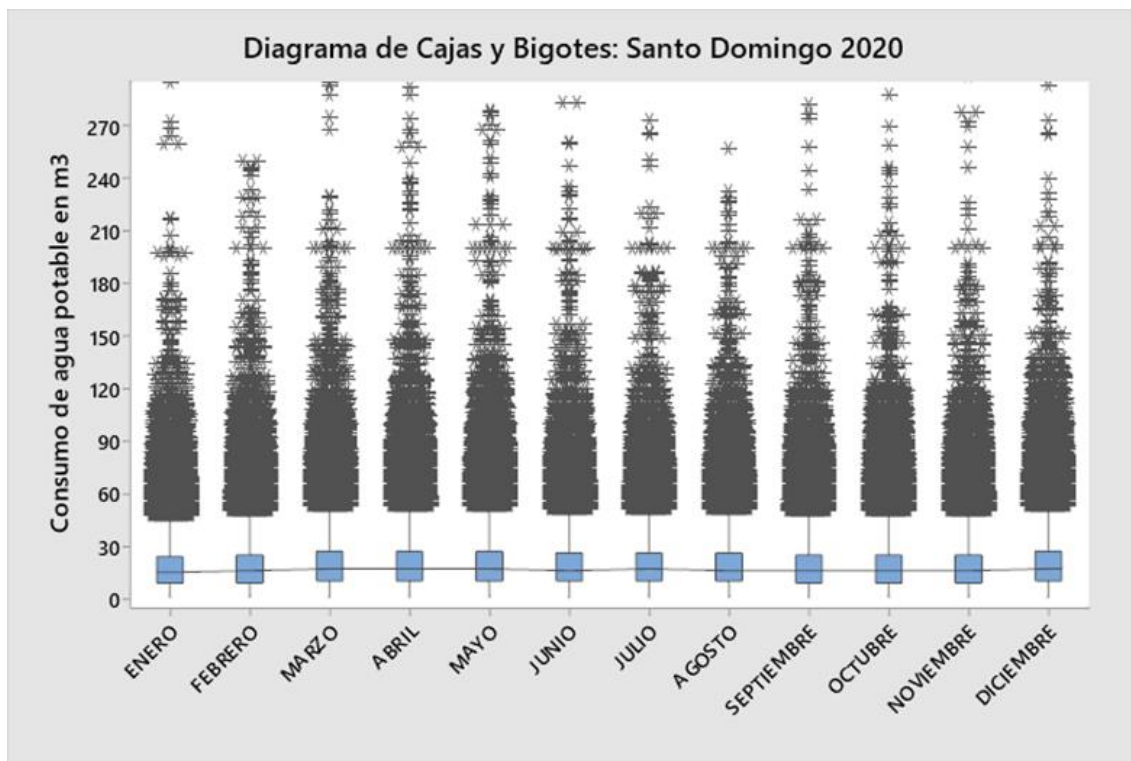
Nota. El total de datos presentados se consideran crudos, ya que los datos a analizar deben pasar por análisis estadísticos.

Haciendo uso del software Excel se realizará una depuración manual de los datos, que consiste en la organización de los consumos por años de forma ascendente, y eliminación de consumos no residenciales, valores de consumo en cero y en negativo.

Mediante la implementación del software Minitab se cargó los datos depurados y aplicó la función de cajas y bigotes, esto nos presentó de cada mes y año los valores atípicos que se eliminaron de forma manual haciendo uso de los rangos intercuartiles establecidos en la gráfica. **La figura 3 muestra** la mediana como una línea en medio de la caja, los bigotes que son valores de poca frecuencia representados por una línea vertical, la caja de rango intercuartíl de cada grupo de datos muestra como el 50% intermedio de los datos y los valores atípicos son representados por un asterisco. Esto permitió evaluar y comparar la forma, tendencia y variabilidad de distribución de datos (Minitab18, 2019b). Finalmente, **La figura 4 muestra** el diagrama de cajas y bigotes sin valores atípicos que afectan los resultados estadísticos, los cuales han sido eliminados de manera manual.

Figura 3

Diagrama de Cajas y Bigotes.

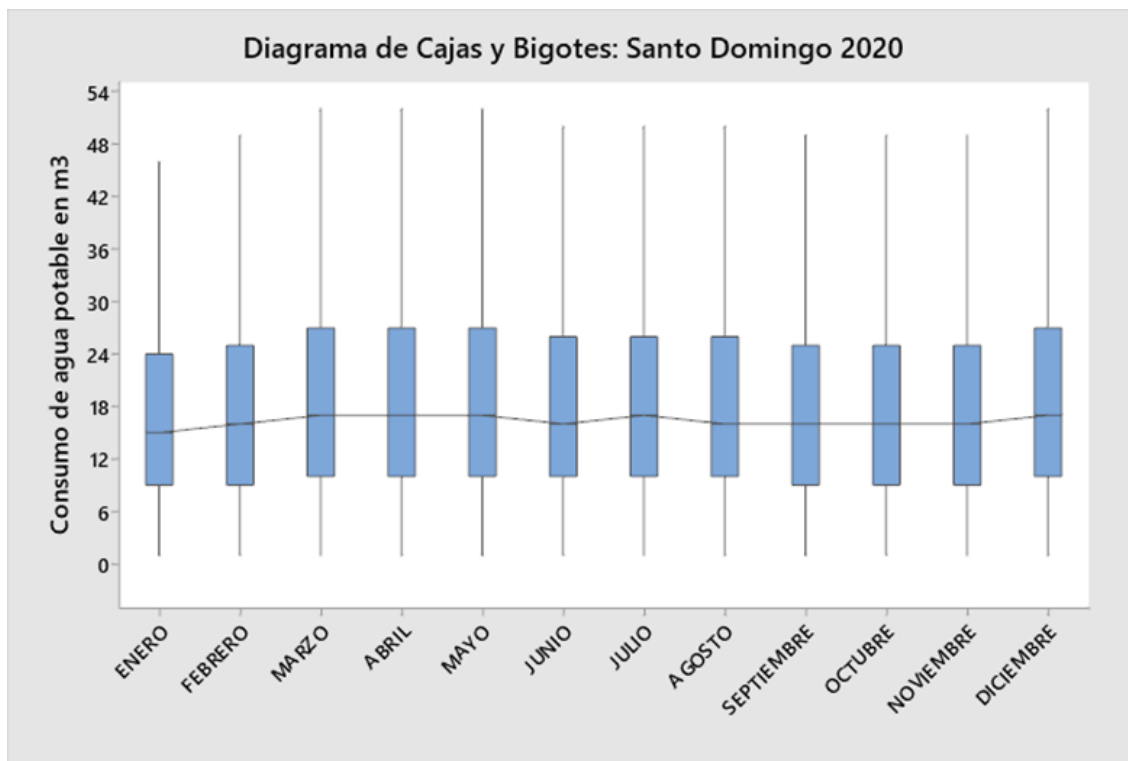


Fuente: Reino R. (2022)

Nota. En esta figura los casilleros de azul claro representan las cajas intercuartiles, la mediana se representa por una línea horizontal que une todos los casilleros, los bigotes son líneas verticales y los valores atípicos son los asteriscos bien remarcados.

Figura 4

Diagrama de cajas y Bigotes. Sin atípicos.



Fuente: Reino R. (2022)

Nota. Esta figura presenta el diagrama después de la depuración de los datos atípicos, mostrando solo caja intercuartil, la mediana, y bigotes.

Lo siguiente en el análisis estadístico realizado en Minitab consiste en la prueba de normalidad, análisis de varianza ANOVA y prueba de TUKEY.

Los datos sin atípicos fueron usados para para la prueba de normalidad y homocedasticidad. La prueba de normalidad muestra si el conjunto de datos tiene una distribución normal, comprobando que el valor **p** arrojado por el software Minitab sea menor a 0.05, en caso de ser mayor se tendría datos con distribución no normal (Minitab18, 2018).

La prueba de homocedasticidad permite ver si los datos tienen una varianza constante y una distribución aleatoria, por medio de la gráfica de valor ajustado se observó que los puntos se colocan aleatoriamente tanto a un lado como al otro del cero (Minitab18, 2019a).

Después de cumplir con las dos pruebas se continuó con el empleo del análisis estadístico ANOVA y prueba de TUKEY. En complemento a estos análisis estadísticos se realizarán gráficas de intervalos para visualizar mejor consumos máximos, mínimos y medios, comparando sus picos de cada mes y año.

El análisis de varianza ANOVA identificó si todas las medidas de las medias tienen diferencias significativas o son iguales, con lo que se plantea una hipótesis nula, una hipótesis alternativa y un nivel de significancia de 0.05. Si el Valor p se encuentra por encima del nivel de significancia, se aprueba la hipótesis nula donde todos los valores de medias son iguales. En el caso opuesto si el Valor p se encuentra debajo del nivel de significancia, se aprueba la hipótesis alternativa asumiendo que por los menos un valor de las medias es diferente.

El método de comparaciones múltiples TUKEY se puede entender como complemento del análisis ANOVA para adquirir información más específica sobre las diferencias de las medias. Este método agrupa las medias en rangos que tienen una diferencia mínima y las comparte entre sí, con intención de resaltar si unas de las medias difieren demasiado de las otras. Con un nivel de confianza del 95% simultáneo.

Los consumos máximos y medios son de utilidad para la obtención del coeficiente de variación (Kd), el cual se obtendrá despejando el Kd en la ecuación [Ec. 1].

Finalmente se realizará una interpretación de estos resultados y una discusión, para posteriormente definir las conclusiones del análisis para la elaboración del informe final.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

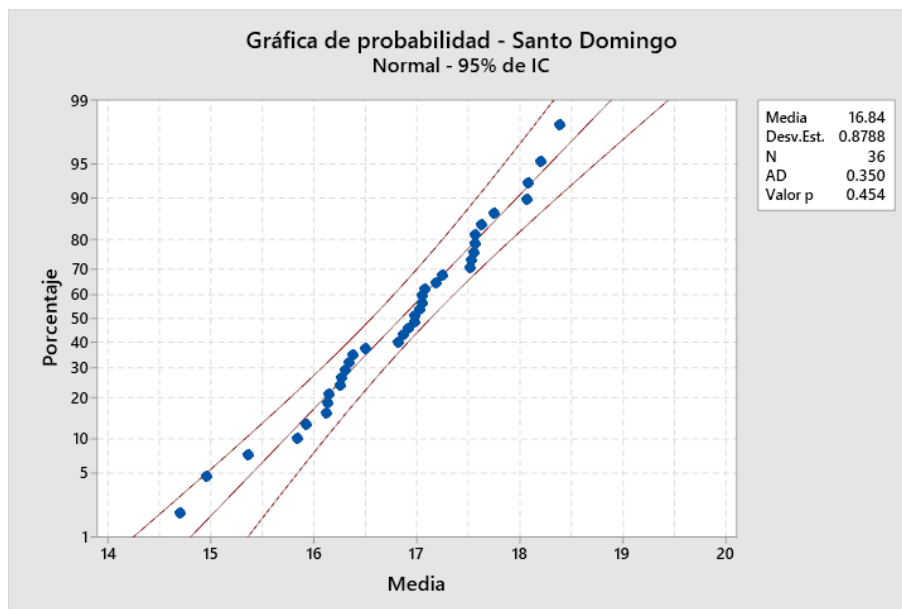
La Empresa pública de agua potable y alcantarillado (EPMAPA-SD), facilitó el registro de 1 713 272 datos de consumo de agua potable de 36 meses de la ciudad de Santo Domingo. Después de realizar una depuración manual de datos y de aplicar el diagrama de cajas y bigotes para eliminar datos atípicos, la muestra quedó en 1 350 137 datos válidos.

Prueba de normalidad y homocedasticidad

En la prueba de normalidad aplicando el método de Anderson-Darling, el software Minitab19 establece que los datos tienen una distribución normal (valor **p** de 0.454). A continuación, se muestra la gráfica extraída directamente desde el Minitab:

Figura 5

Gráfica de Probabilidad.



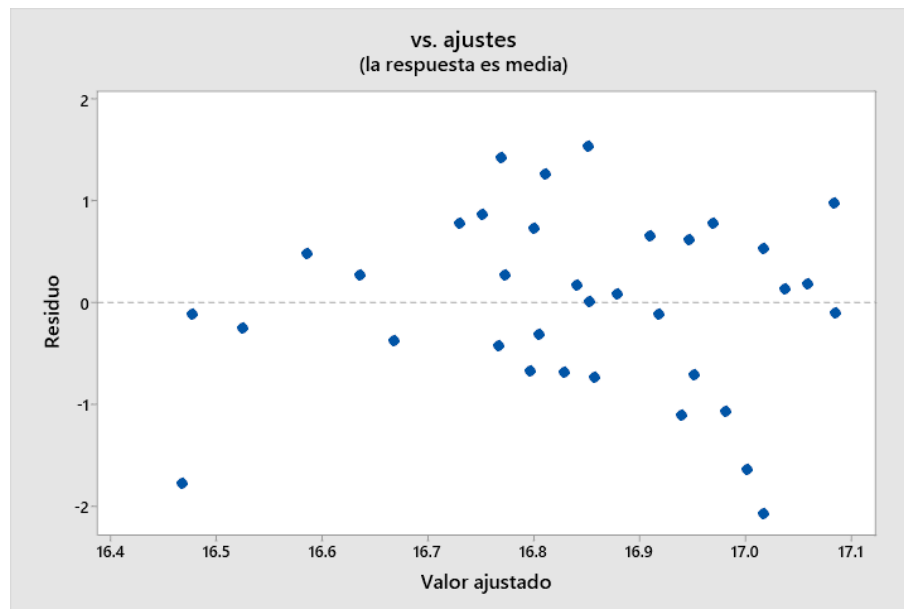
Fuente: Reino R. (2022)

Nota. La figura 5, mediante una gráfica de probabilidad obtenemos el valor **p** de distribución normal como parte de la prueba de normalidad.

En la prueba de homocedasticidad expresada mediante la gráfica de residuos vs. ajustes se observa que los datos están distribuidos aleatoriamente, comprobando así el supuesto de una distribución aleatoria de los residuos y una varianza constante.

Figura 6

Gráfica de residuos vs. ajustes



Fuente: Reino R. (2022)

Nota. La figura 6 muestra una correcta distribución aleatoria de los residuos y una clara varianza constante.

Análisis estadístico ANOVA

Tabla 4

Análisis de varianza de medias del Cantón Santo Domingo.

Cantón	Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Santo Domingo	Factor	35	999792	28565.5	250.35	0.000
	Error	1336457	152491767	114.1		
	Total	1336492	153491559			

Fuente: Reino R. (2022)

Nota. GL: Grados de libertad; SC Ajust.: Suma ajustada de cuadrados; MC Ajust.: Cuadrado medio ajustado; Valor F: Variación entre las medias de muestra/Variación en las muestras; Valor p: Nivel de significancia.

En el análisis de varianza de medias ANOVA se obtuvo que el valor **p** de 0.000, es menor que el nivel de significancia de 0.05 por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Existen diferencias significativas entre las medias, es decir, no todas las medias son iguales.

Prueba de Tukey

Se aplicó la prueba de comparaciones en parejas de Tukey identificando las diferencias entre las medias históricas. Las de valor más alto pertenecen al primer rango con la letra A y las más bajas pertenecen al rango con la letra M.

En la tabla siguiente se presenta las comparaciones resaltando la media máxima de consumo de color rojo, correspondiente al mes de mayo de 2020 y la media mínima de consumo de color verde correspondiente al mes de febrero de 2018. En el año 2020 se registra los valores más altos de consumo que pertenecen a los rangos A y B de la tabla, correspondientes a los meses de marzo, abril, mayo y diciembre.

Tabla 5

Agrupación de información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación	
may-20	37286	18.3889	A	
abr-20	36320	18.1953	A B	
mar-20	36809	18.0799	B	
dic-20	40015	18.0678	B	
jul-20	38661	17.7545	C	
ago-19	36114	17.6190	C	
oct-18	38396	17.5710	C	
jun-20	37972	17.5687	C	
ago-20	39226	17.5462	C	
dic-19	36688	17.5348	C D	
jul-19	35857	17.5108	C D	
oct-20	39710	17.2542	D E	
sep-20	39468	17.1807	E F	
may-19	34169	17.0721	E F G	
oct-19	36363	17.0547	E F G	
sep-19	36363	17.0547	E F G	
jul-18	37165	17.0198	E F G	
nov-20	40022	16.9838	E F G	
ago-18	37612	16.9686	E F G	
jun-19	34749	16.9095	F G	
feb-20	37299	16.8669	G	
sep-18	38073	16.8140	G	
may-18	36745	16.5016	H	
mar-18	32895	16.3729	H I	
nov-19	36287	16.3376	H I	
abr-18	35135	16.2958	H I	
ene-18	33451	16.2658	H I	
dic-18	38454	16.2502	H I	
abr-19	37012	16.1411	I J	
jun-18	37354	16.1305	I J K	
ene-20	36639	16.1174	I J K	
ene-19	38803	15.9210	J K	
nov-18	38318	15.8373	K	
mar-19	39046	15.3649	L	
feb-19	39225	14.9536	M	
feb-18	32792	14.6886	M	

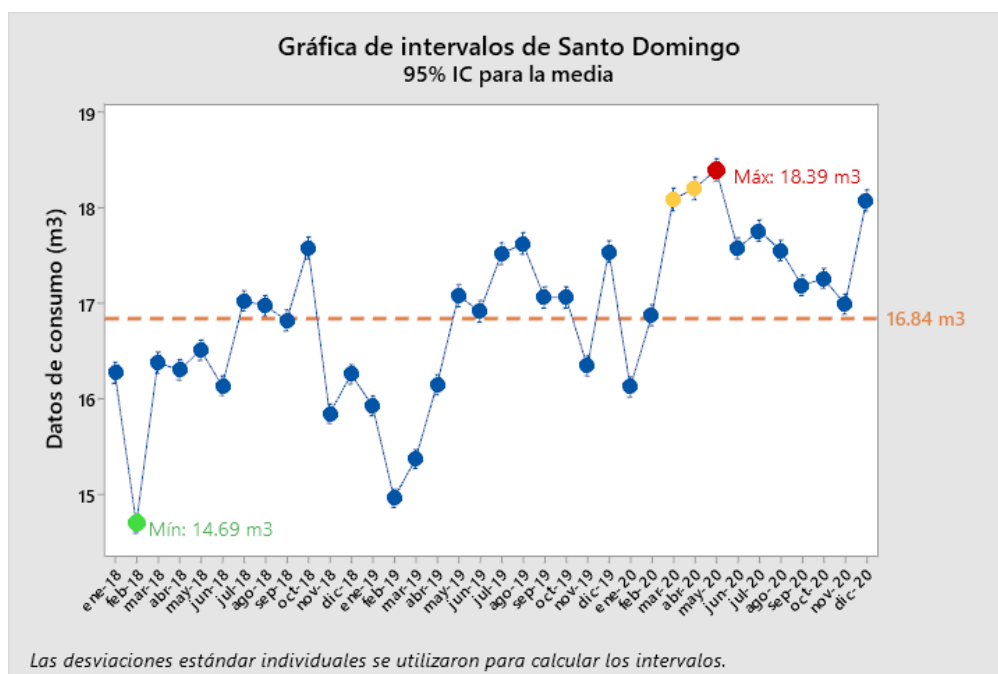
Fuente: Reino R. (2022)*Nota:* Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Gráfico de intervalos

En la gráfica se muestra las medias de consumo en los meses de estudio, identificando la media histórica de 16.84 m³ con línea entrecortada, el valor máximo de consumo histórico de 18.39 m³ en color rojo correspondiente al mes de mayo 2020 y el consumo mínimo histórico de 14.69 m³ correspondiente al mes de febrero 2018. Se resalta meses en color amarillo debido a su diferencia significativa a las medias históricas y que corresponde a meses de cuarentena.

Figura 7

Gráfica de intervalos del cantón Santo Domingo



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

Fuente: Reino R. (2022)

Nota. La figura 7 muestra una gráfica de intervalos que representa las medias mensuales, consumos máximos y mínimos, y la media histórica de todos los meses de estudio.

Estadística descriptiva

Tabla 6

Resumen de medias históricas 2018-2020 de Santo Domingo

MES/AÑO	2018	2019	2020
Enero	16.27	15.92	16.12
Febrero	14.69	14.95	16.87
Marzo	16.37	15.36	18.08
Abril	16.3	16.14	18.20
Mayo	16.5	17.07	18.39
Junio	16.13	16.91	17.57
Julio	17.02	17.51	17.75
Agosto	16.97	17.62	17.55
Septiembre	16.81	17.05	17.18
Octubre	17.57	17.05	17.25
Noviembre	15.84	16.34	16.98
Diciembre	16.25	17.53	18.07

Consumo mínimo histórico Meses de cuarentena Consumo máximo histórico

Fuente: Reino R. (2022)

Nota. En la tabla 6 se muestra las medias mensuales en valores, organizados por años, resaltando consumos máximos, mínimos y meses de cuarentena.

El resumen de las medias históricas se refleja en la tabla 6, expresando las medias mensuales entre los años 2018 y 2020. Resaltando el consumo mínimo histórico de 14.69 m³ en verde, el consumo máximo histórico de 18.39 m³ en rojo y los meses de cuarentena por Covid-19 en amarillo. Se comenta de manera enfática que el máximo consumo histórico y dos de los consumos que lo presiden como consumos altos se encuentran dentro del periodo inicial de la cuarentena, cuando la mayoría de las familias se encontraban en sus domicilios.

La tabla 7 refleja el comportamiento de los consumos de agua potable en Santo Domingo, mediante una tabla tipo semáforo que expresa los consumos medios mensuales en 3 rangos: consumo bajo de 14.69 a 15.92, consumo medio de 15.93 a 17.16 y consumo alto de 17.17 a 18.39.

Tabla 7

Tabla de consumos medios tipo semáforo

MES/AÑO	2018	2019	2020
Enero	16.27	15.92	16.12
Febrero	14.69	14.95	16.87
Marzo	16.37	15.36	18.08
Abril	16.3	16.14	18.2
Mayo	16.5	17.07	18.39
Junio	16.13	16.91	17.57
Julio	17.02	17.51	17.75
Agosto	16.97	17.62	17.55
Septiembre	16.81	17.05	17.18
Octubre	17.57	17.05	17.25
Noviembre	15.84	16.34	16.98
Diciembre	16.25	17.53	18.07

■ Consumo alto
 ■ Consumo medio
 ■ Consumo bajo

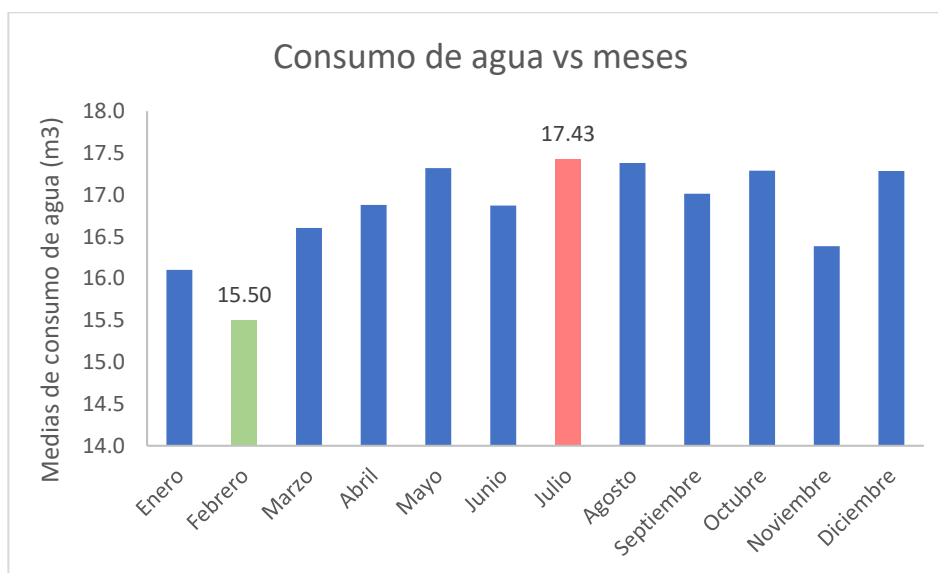
Fuente: Reino R. (2022)

Nota. La tabla 7 tipo semáforo separa en rangos de valores para establecer consumos altos, consumos medios y consumos bajos de agua potable.

En los siguientes diagramas de barras se muestra: 6) La variación del consumo de agua potable en promedios mensuales. 7) La evolución del consumo de agua a lo largo de los años, y se representa la tendencia del consumo con una línea entrecortada.

Figura 8

Promedios mensuales de todos los años.

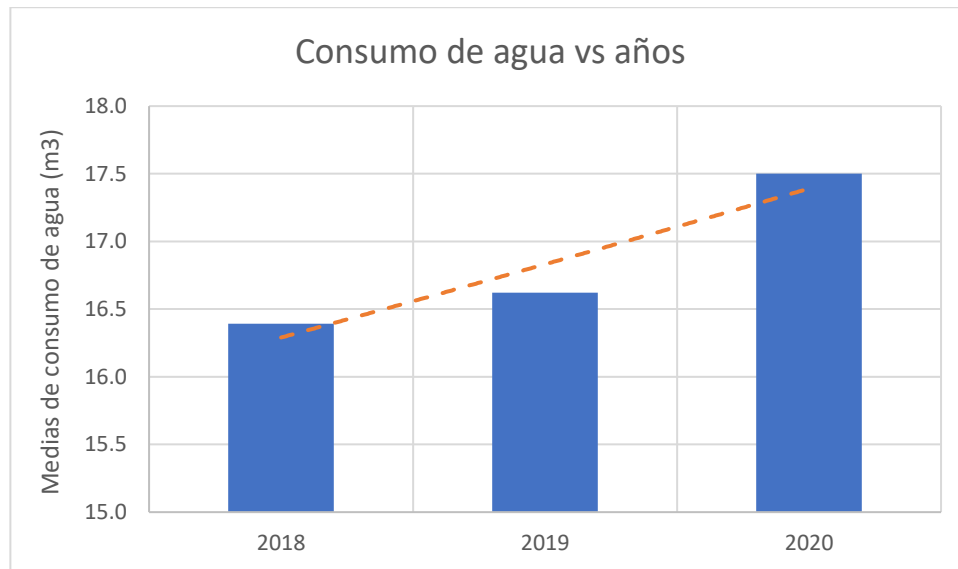


Fuente: Reino R. (2022)

Nota. Gráfica de variación de consumo promedio mensual de agua potable en Santo Domingo de los 3 años de estudio.

Figura 9

Gráfica de evolución del consumo anual del Cantón Santo Domingo



Fuente: Reino R. (2022)

Nota. La figura 9 expresa una evolución exponencial imperceptible del promedio de consumo anual. Pero cabe mencionar que es necesario más años de estudio para conocer un mejor comportamiento de las variaciones del consumo.

Coefficiente de variación de consumo K_d

En la siguiente tabla se muestra el resultado del coeficiente de variación de consumo (K_d) para el cantón Santo Domingo, despejando K_d de la ecuación 1 [Ec.1].

Tabla 8*Resultado del coeficiente de variación de consumo Kd*

Ciudad	N° Habitantes (GADM-SD, 2017)	N° Usuarios	Media de consumo	Consumo máximo histórico	Kd	Cobertura de agua potable (Senplades, 2014)
Santo Domingo	450 000	53 666 (Residencial)	16.84 m ³	18.39 m ³	1.09	48.3%

Fuente: Reino R. (2022)

Nota. La Tabla 8 muestra el resultado primordialmente el coeficiente de variación de consumo máximo diario (Kd), adjuntando la cobertura determinada por SENPLADES (2014).

4.2 Discusión

Del análisis de los registros de consumo mensuales de agua potable para el cantón de Santo Domingo se evidenció una tendencia de aumento en el consumo a través de los 3 años estudiados. Mediante la revisión bibliográfica se evidenció los factores más influyentes en el consumo mensual de agua potable que coincide con ciertas investigaciones previas.

La demografía promueve un aumento del consumo anualmente, esto puede ser una conjetura que concuerda con (Arellano & Peña, 2020) en que la demografía incide en los consumos semestrales. En la última década el aumento de reservorios y acometidas domiciliarias aportan a mejorar la calidad del servicio, lo cual también promueve un aumento en el consumo a través de los años.

La correlación entre, la gestión y calidad del agua potable, y el consumo de agua embotellada presentada por (Arellano & Lindao, 2019), encaja en el argumento que las poblaciones con mayor número de habitantes cuentan con un manejo menos eficiente en gestión y calidad del agua, y como consecuencia la población consume agua embotellada. Esta

idea se respalda en la observación de la venta de botellones de agua de diferentes empresas en la extensión de toda la ciudad y cabe recalcar que existen 5 embotelladores de este servicio dentro del cantón. Las percepciones organolépticas en el servicio de agua potable son tema de debate, debido a los rumores de la existencia de niveles elevados de microorganismos patógenos en aguas residuales vertidas por actividades agropecuarias anteriores a la captación. Es visible para la población que Santo Domingo cuenta con almacenamientos de agua potable con correcto funcionamiento, por otro lado, la calidad del agua en los domicilios se percibe con una ligera cantidad de cloro residual. De los factores explicados se presume que el índice de gestión y calidad del agua potable (Ingecap) tiene una calificación regular.

En el 2020 los promedios de consumo se ubican por encima de la media, con la ligera excepción de enero. Como consecuencia el mes de mayo se obtiene la media de consumo máximo de 18.39 m^3 , los dos meses anteriores a este destacan por ser los consumos más próximos al máximo y formar parte de los 3 meses iniciales de confinamiento debido al Covid-19.

El aumento en el consumo de agua potable dentro del sector residencial en los meses de marzo, abril y mayo denota la presencia de más personas dentro de una residencia y adaptación de los hábitos correspondientes de bioseguridad que demandan más consumo. La diferencia entre el valor máximo de consumo y la media es de apenas 1.55 m^3 , esto puede ser consecuencia de lo comercial que es la ciudad y aunque las restricciones estaban presentes la población no redujo su total funcionamiento comercial, lo cual se vio más dirigido a locales de gran aforo, servicios públicos, servicios privados y ciertas actividades de empresas privadas. Esto difiere en cierta forma con lo expuesto por Jiménez (2020) que al no salir de casa y

cocinar con mayor frecuencia no aumenta el consumo de agua potable, o puede que el aumento se deba mayormente a los hábitos de bioseguridad.

Otra posible causa del aumento en el consumo de agua potable sería la migración de personal que cada mañana se dirigía a zonas rurales para actividades agropecuarias, sectores primarios y secundarios de industrias, que al paralizar estas zonas las personas se mantenían en casa. Y aunque Santo Domingo tiene bastante inmigración por el comercio, estos consumos se reflejan mayormente en los consumos de usuarios comerciales, industriales y de servicio público.

Aparentemente los consumos residenciales de agua potable en Santo Domingo aumentaron debido a que el sector comercial del casco urbano estuvo inactivo. El sector comercial en Santo Domingo es muy importante y la cantidad de agua que no estaba siendo consumida, aumentaba la oferta de agua y permitía la continuidad para todo el resto de la población. Esto promovía el uso desmedido de agua potable en bioseguridad ineficaz, consumo doméstico, actividades recreativas y demás actividades.

Una posible inmigración de personas que residían fuera de Santo Domingo probablemente aportó al aumento en el consumo de agua, pese a las restricciones de movilidad. Esto suscitaba por que fuera de la zona urbana el comercio informal en zonas residenciales no cesó, promoviendo la adquisición de alimentos y el aumento en el consumo.

En la **figura 7** las medias de consumo mensual claramente evidencian un comportamiento similarmente periódico anual, es decir que, en ciertos meses como es el caso de febrero sucede los consumos menores del año por la influencia del clima lluvioso. En meses como julio y octubre tienen un crecimiento significativo, por el aumento de la sequía.

Además, se muestra que las medias de consumo anteriores a mayo 2019 mayormente se encuentran por debajo de la media y los posteriores por encima de la media, debido a la influencia de la gestión y calidad de agua en el cantón.

El aumento periódico del consumo del cantón de Santo Domingo, exponen a la demografía como un principal factor de incidencia. La calidad y gestión del agua influye en menor medida el consumo, pero no se debe descartar como factor causal que podría aumentar las variaciones del consumo de agua potable en los registros. La demografía es exponencial por lo cual, se plantea que el consumo en Santo Domingo seguirá aumentando con el pasar de los años.

Santo Domingo se estima que tiene una población de alrededor de 450 000 habitantes según el (GADM-SD, 2017). Al comparar con poblaciones cercanas que se muestran en **la figura 1** que han sido estudiadas, Latacunga, Cayambe y Rumiñahui que están dentro del rango de ciudades grandes, y Machachi dentro del rango de ciudades medianas, podemos establecer que Santo Domingo es una ciudad muy grande. El coeficiente de variación ($K_d = 1.09$) se encuentra por debajo de las ciudades cercanas analizadas y por debajo de los rangos establecidos por la CPE INEN 005-9-1 (1992), pero tiene una cierta relación con el K_d global = 1.09 presentado por Salazar (2020) pero difiere al mencionar como un valor para cualquier ciudad menor a 150 000 habitantes y el cantón de estudio supera este límite. De las ciudades con mayor número de habitantes, Santo Domingo en particular tiene mucha más población y un valor menor que todos los presentados en la Tabla 2. Por lo tanto, se plantea que a mayor población se puede llegar a tener un valor menor del coeficiente de variación de consumo (K_d) para el sector residencial.

Para ciudades que superan los 150 000 habitantes como Santo Domingo, Ibarra (Caicedo Corozo & Arellano Barriga, 2022) y Ambato (Saillema Moreta & Arellano Barriga, 2021), el coeficiente de Kd sigue cierto patrón de comportamiento. En Ambato con 165 258 habitantes y un Kd = 1.35, e Ibarra con 181 175 habitantes y un Kd = 1.216, se observa que mayor población menor valor de coeficiente Kd. Esto concuerda con lo planteado en la comparación con las ciudades cercanas. Instalando la necesidad de información en más ciudades que superen los 150 000 habitantes, con más análisis y ver si se puede considerar un rango extra de ciudades más grandes.

Es importante resaltar que Santo Domingo es costa con hábitos diferentes a los estudiados en las ciudades de la Sierra ecuatoriana, por lo que se requiere tener más estudios de ciudades en la región Costa con los cuales poder comparar.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Esta investigación recolectó la información requerida de datos históricos de consumo mensual residencial de agua potable en m³ por usuarios del cantón de Santo Domingo. Donde existen 53 666 usuarios hasta diciembre de 2020, para una población estimada de 450 000 habitantes según el (GADM-SD, 2017). Los datos fueron proporcionados por la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (EPMAPA-SD) y bajo estrictas recomendaciones de divulgación.

Los registros de datos entregados constan de enero 2018 a diciembre 2020, siendo un total de 1 713 272 datos de consumo en 36 meses. Se depuraron ceros, negativos, datos

anómalos, celdas vacías, y luego de eliminar valores atípicos con el diagrama de cajas y bigotes quedó un total de 1 350 137 datos válidos para procesos estadísticos.

El análisis ANOVA decretó que no todas las medias de consumo son iguales y método de TUKEY distinguió 13 rangos y el orden de las medias. Con un valor máximo de consumo medio histórico de 18.39 m³ en mayo de 2020, el valor mínimo de consumo medio histórico es de 14.69 m³ en febrero de 2018 y una media general de consumo de 16.84 m³. Resaltan los 3 valores más altos de consumo debido a su relación con los meses principales de cuarentena de 2020 por Covid-19, marzo con 18.08 m³, abril con 18.20 m³ y mayo con 18.39 m³.

Se estatuye el valor de coeficiente de variación del consumo de agua potable para el cantón de Santo Domingo $K_d = 1.09$. Este valor calculado se encuentra por debajo del rango establecido en la normativa, entre 1.3 y 1.5. de la CPE INEN 005–9-1 (1992). Finalmente, se comparó el K_d de Santo Domingo con poblaciones cercanas ya estudiadas y otra comparación con poblaciones que superan los 150 000 habitantes, concluyendo que a mayor población menor será el valor de coeficiente de variación K_d .

5.2 Recomendaciones

La presente investigación se debe tomar como recomendación para el cálculo de caudales de diseño para sistemas de agua potable del cantón Santo Domingo. De utilidad para Ingenieros proyectistas, planificadores y diseñadores haciendo uso del coeficiente de variación (K_d) establecido.

Es indispensable el ampliar las investigaciones futuras a ciudades con poblaciones que superen los 150 000 habitantes, y comparar con lo planteado en esta investigación. Además, se

requiere el análisis de poblaciones en la región costa donde se tome en cuenta hábitos de la población y poder resaltar las diferencias en las costumbres del uso del agua potable.

También se recomienda un monitoreo de todas las ciudades habiendo pasado 5 años de su último análisis para tener un valor más correcto a la realidad de las poblaciones, mejorando diseños y distribución del servicio de agua potable.

BIBLIOGRAFÍA

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.

Novasinerгия Revista Digital De Ciencia, Ingeniería Y Tecnología, 1(1), 23–32.

<https://doi.org/10.37135/unach.ns.001.01.03>

Arellano, A., & Lindao, V. (2019). Efectos de la gestión y la calidad del agua potable en el consumo del agua embotellada. *Novasinerгия Revista Digital De Ciencia, Ingeniería Y Tecnología*, 2(1), 15–23. <https://doi.org/10.37135/unach.ns.001.03.02>

Arellano, A., & Peña, D. (2020). Modelos de regresión lineal para predecir el consumo de agua potable. *Novasinerгия Revista Digital De Ciencia, Ingeniería Y Tecnología*, 3(1), 27–36. <https://doi.org/10.37135/ns.01.05.03>

Caicedo Corozo, A. M., & Arellano Barriga, A. P. (2022). *ANÁLISIS DE LOS CONSUMOS HISTÓRICOS DE AGUA POTABLE EN EL CANTÓN IBARRA*. Universidad Nacional de Chimborazo.

CPE INEN 5, N. T. E. (1992). Normas Para Estudio Y Diseño De Sistemas De Agua Potable Y Disposición De Aguas Residuales Para. *Normas Para Estudio Y Diseño De Sistemas De Agua Potable Y Disposición De Aguas Residuales Para Poblaciones Mayores a 1000*

Habitantes, 9, 186.

Earth Google, I. (2020). *Captura de pantalla Google Earth*. <https://earth.google.com/web/@-0.49293695,-78.98142529,2051.69172052a,193581.29163025d,35.00303989y,-0.0000001h,10.15151187t,0r>

GADM-SD, G. M. S. D. (2017). *Situación - Municipio de Santo Domingo*.

https://www.santodomingo.gob.ec/?page_id=3151

INEC. (2010). Resultados Censo 2010. *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, Fascículo Provincial Sto. Domingo, 0–7*.

Jiménez López, C. J. (2020). Acción entre los consumos de agua potable durante la cuarentena del 2020 y los registros históricos en Imbabura y Carchi. In *Universidad Nacional de Chimborazo*.

La Hora, D. (2018). *Cada quiteño gasta de 200 a 220 litros de agua por día*.

<https://www.lahora.com.ec/noticias/cada-quiteno-gasta-de-200-a-220-litros-de-agua-por-dia/>

Minitab18. (2018). *¿Qué es la distribución normal?* <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/normality/what-is-the-normal-distribution/>

Minitab18. (2019a). *Gráficas de residuos para Analizar variabilidad*.

<https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/doe/how-to/factorial/analyze-variability/interpret-the-results/all-statistics-and-graphs/residual-plots/>

Minitab18. (2019b). *Interpretar los resultados clave para Gráfica de caja*.

<https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/graphs/how->

to/boxplot/interpret-the-results/key-results/

Molina, A., Pozo, M., & Serrano, J. (2018). *Agua, saneamiento e higiene: medición de los ODS en Ecuador*.

Núñez Chávez, W. J. (2018). *El derecho fundamental al agua dentro del marco del servicio público de agua potable en el Ecuador*. 89.

OMS, O. M. de la S. (2003). *Cantidad de agua sanitaria, nivel de servicio y salud*.

Sailema Moreta, K. B., & Arellano Barriga, A. P. (2021). *ANÁLISIS DE LOS CONSUMOS HISTÓRICOS DE AGUA POTABLE EN EL CANTÓN AMBATO*. Universidad Nacional de Chimborazo.

Salazar Molina, M. A., & Arellano Barriga, A. P. (2020). Determinación del Coeficiente de variación del consumo diario de agua potable en ciudades menores a 150000 habitantes [Universidad Nacional De Chimborazo]. In *Universidad Nacional De Chimborazo*. <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/7646/1/06678.pdf>

Senplades. (2014). *Agua potable y alcantarillado para erradicar la pobreza en el Ecuador*. 120.

UNESCO. (2015). Datos Y Cifras Agua Para Un Mundo. *Datos Y Cifras Agua Para Un Mundo*, 12. http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015Facts_Figures_SPA_web.pdf