

Determinación de dotaciones netas residenciales empleando regresión múltiple con variable categórica para cada estrato socioeconómico de la ciudad de Bogotá D. C.

Determination of Net Residential Provisions Using Multiple Regression with Categorical Variable for Each Socioeconomic Stratum of the City of Bogotá D.C.

Jesús Alexis Tangarife Beltrán¹, Diego Alexander Rodríguez Páez², Eduardo Zamudio Huertas³

¹<https://orcid.org/0000-0003-1144-5147>. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, jatangarifeb@correo.udistrital.edu.co

²<https://orcid.org/0000-0002-9023-514X>. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, diearodriguezp@correo.udistrital.edu.co

³<https://orcid.org/0000-0002-9698-5419>. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, ezamudioh@udistrital.edu.co

Fecha de recepción: 06/05/2019 Fecha de aceptación del artículo: 21/08/2019



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No comercial-SinObraDerivada 4.0 internacional.

DOI: doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.5159

Como citar: Tangarife Beltrán, J., Rodríguez Páez, D. A., & Zamudio Huertas, E. (2019). Determinación de dotaciones netas residenciales empleando regresión múltiple con variable categórica para cada estrato socioeconómico de la ciudad de Bogotá D. C. *Avances: Investigación En Ingeniería*, 16(1). <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.5159>

Resumen

Este artículo presenta cómo se determinan las dotaciones netas residenciales mediante la relación de mediciones realizadas por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, datos históricos y uso del reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS). Estas mediciones se ejecutaron en cinco zonas de servicio de Bogotá con la instalación de 320 micromedidores. Se recolectaron datos para el cálculo de la dotación neta residencial de cada zona de servicio con el método expuesto en el RAS; después, se efectuó el respectivo análisis cuantitativo y cualitativo de los datos. El artículo toma relevancia cuando se comparan los resultados obtenidos por distintos modelos y se determina que el utilizado es el mejor. A partir de la regresión lineal múltiple con variable categórica se obtuvo una solución analítica y numérica que definió el valor de la dotación neta residencial de cada estrato socioeconómico en Bogotá. Se logró consolidar las dotaciones netas residenciales a partir de un modelo de regresión múltiple que permitió concluir que el número de habitantes no es significativo en el cálculo de dotaciones, ya que la variable está inmersa en los datos históricos y en las mediciones realizadas por la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

Palabras clave: consumo de agua, dotación neta residencial, regresión lineal múltiple, variable categórica.

Abstract

This article presents the way net residential provisions are determined through the relation of: measurements provided by “Empresa de Acueducto y Alcantarillado of Bogotá (EAAB-ESP)”, historical data and the use of the Technical Regulation of Potable Water and the Basic Sanitation Sector (RAS). These measurements were executed in five service areas of Bogotá within the installation of 320 micro-meters. The data collection for the calculation of the net residential provisions of each service area was carried out by the method described in the RAS. Afterwards, the respective quantitative and qualitative analyses of the data were carried out. The article becomes relevant when, the results obtained by different models are compared, and it was determined that the method used during

the research was the most optimal one. Starting from the multiple linear regression with a categorical variable, an analytical and numerical solution was obtained, this defines the value of the net residential endowment of each socioeconomic stratum in Bogotá. Based on a multiple regression model, the net residential provisions for Bogotá were consolidated allowing to conclude that the number of citizens is not significant in the calculation of provisions, since this variable is immersed in the historical data and in the measurements made by the “Empresa de Acueducto y Alcantarillado of Bogotá (EAAB-ESP)”.

Keywords: water consumption, net residential provision, multiple linear regression, categorical variable.

Introducción

El agua es el recurso natural más importante en el sustento de una sociedad. Actualmente, existe una pérdida constante del recurso hídrico, debido a desperdicio y, por ello, es fundamental conocer la cantidad mínima de agua que se requiere para satisfacer las necesidades básicas de cada habitante [1]. De acuerdo con el Reglamento Técnico Agua y Saneamiento (RAS) que rige en Colombia [2], [3], es posible determinar dicha cantidad, conocida como dotación, mediante niveles de complejidad, los cuales son función del número de habitantes de una población en una zona urbana y de la capacidad económica de los usuarios.

Por otra parte, es posible determinar las dotaciones netas por mediciones en los consumos de los usuarios. Según el informe Determinación de patrones y perfiles de consumo de usuarios residenciales en las zonas 1, 2, 3, 4 y 5 del acueducto de Bogotá [4], realizado en 2011 por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB-ESP) se calcularon las dotaciones teniendo en cuenta el consumo de agua durante 21 días.

Este consumo medido de los usuarios permite analizar, mediante una regresión lineal múltiple con variable categórica, la influencia de las condiciones socioeconómicas en la ciudad de Bogotá, variables que no son consideradas en el RAS. Los resultados obtenidos muestran que las dotaciones estimadas por el RAS son mayores a las medidas.

Conforme a lo anterior, los propósitos del presente artículo fueron:

- ◆ Establecer las dotaciones netas residenciales por medio del reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico para cada estrato en la ciudad de Bogotá.
- ◆ Ajustar un modelo de regresión lineal múltiple con variable categórica a partir de las dotaciones obtenidas con el RAS, las dotaciones históricas y de los consumos realizados por los usuarios de la EAAB.
- ◆ Relacionar y comparar las dotaciones netas residenciales obtenidas en el modelo de regresión lineal múltiple con el resultado obtenido en el uso del reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico.
- ◆ Evaluar la concordancia del RAA en el cálculo de dotaciones netas residenciales con mediciones efectuadas en la ciudad de Bogotá.
- ◆ Determinar las dotaciones netas residenciales para cada estrato de la ciudad de Bogotá, con el fin de sugerir una metodología de estimación de las dotaciones en función de variables categóricas (estrato socioeconómico) que permitan obtener caudales de diseño con menos incertidumbre.

1. Antecedentes

Los documentos investigados sobre el cálculo de dotaciones netas exponen diferentes métodos; uno de estos se presentó en el proyecto de grado: “Evaluación de la dotación para el diseño de acueductos y alcantarillados para municipios colombianos tomando como base de búsqueda el municipio de Muzo”, realizado por Sebastián Castillo [5] en 2009, en el cual establece un modelo de comparación entre municipios. Durante el trabajo de grado se desarrollaron encuestas que caracterizaron el consumo de agua de diferentes municipios, para concluir que la dotación de agua de un sistema de acueducto para un municipio debe estar ligado a las particularidades (clima, altura, población y estrato) de cada población.

Asimismo, López Cualla [6], autor del libro Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, de 2003, determinó que el consumo mínimo de agua de un habitante dependerá de factores como: el piso térmico, la temperatura, las precipitaciones, la calidad del agua, el número de residentes, las características sociales y las condiciones económicas.

Dado lo anterior, los autores nombrados fueron un gran aporte a la investigación, puesto que describieron la importancia de condiciones cualitativas en el consumo de agua, que el RAS no está tomando en cuenta.

Por otra parte, Diana Bastidas [7], en su tesis de grado, de 2009, caracterizó y estimó el consumo de los usuarios por medio de una regresión múltiple, lo que ha facilitado la comprensión terminológica y encaminó a los autores de este artículo para buscar una metodología que permitiera estimar dotaciones netas residenciales incluyendo características (estrato socioeconómico y número de habitantes) propias de la ciudad de Bogotá.

2. Área de estudio

La EAAB, con el objetivo de brindar un mejor servicio a sus usuarios y de acuerdo con la fuente de abastecimiento, dividió a Bogotá en cinco zonas de servicio [8], como se presenta en la figura 1.

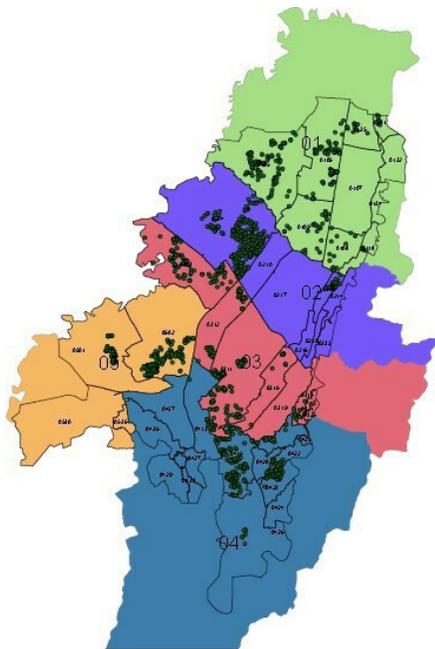


Figura 1. Zonas de servicio en la ciudad de Bogotá [4]

Con relación al informe Determinación de patrones y perfiles de consumo de usuarios residenciales en las zonas 1, 2, 3, 4 y 5 del acueducto de Bogotá [4] y a la división del acueducto, el área de estudio se centró en diferentes localidades de la ciudad, distribuidas en las cinco zonas de servicio.

3. Metodología

Conforme a los objetivos planteados se desarrolló una metodología correlacional [9], en la cual se recolectaron datos, se hizo un análisis de regresión múltiple y se estimaron las dotaciones netas residenciales de forma cuantitativa. Asimismo, la investigación se enfocó en el análisis cualitativo, debido a que es necesario introducir variables categóricas que permitan interpretar de forma particular los datos y los resultados obtenidos.

3.1 Obtención de datos

Por medio de la solicitud a la EAAB, se accedió a los resultados obtenidos en la medición hecha debido a la instalación de 320 medidores electrónicos patrón durante 21 días en 2011. El micromedidor utilizado proporcionaba información como [4]:

- ◆ Caudales máximos y mínimos en un intervalo de tiempo.
- ◆ Aviso de fuga con la fecha en la que se detectó.
- ◆ Totalización de consumo y tarificación. Acumulados entre fechas para tarificación entre temporadas.
- ◆ Lectura a dos fechas dadas para balance de totalización.

Por otra parte, era indispensable tener información relacionada con la población, por lo que se usó el Boletín número 32 de la Secretaría de Planeación, el cual contiene los resultados de la Primera Encuesta Multipropósito para Bogotá en 2011, realizada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) [10].

3.2 Dotaciones netas residenciales obtenidas con mediciones realizadas por la EAAB-ESP

Con el consumo de agua en los 21 días de instalación del medidor y el tiempo total de registro, se calculó la dotación neta residencial de cada estrato en la ciudad de Bogotá.

Adicionalmente, se utilizaron 10 vigencias de consumo anteriores para calcular la dotación neta residencial histórica. A continuación, en la tabla 1, se presentan los resultados obtenidos en las mediciones realizadas por la EAAB.

Tabla 1. Dotaciones netas residenciales de cada estrato en la ciudad de Bogotá

Estrato	Dotación neta residencial (l/hab/día)	Dotación neta residencial histórica (l/hab/día)
1	85,29	83,07
2	103,63	92,10
3	119,09	98,81

4	159,49	139,01
5	154,25	124,29
6	179,28	150,53

Fuente: EAAB-ESP, 2011 [4].

3.3 Cálculo de dotaciones netas residenciales empleando el RAS

El RAS [2] establece niveles de complejidad para métodos prácticos de diseño. Estos dependen del número de habitantes en la zona urbana, de la capacidad económica y del grado de exigencia técnica, como se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. Asignación niveles de complejidad

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2501 a 12.500	Baja
Medio Alto	12501 a 60.000	Media
Alto	> 60.000	Alta

Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010 [2].

En cuanto al cálculo de la dotación neta residencial, se considera la siguiente información en la tabla 3.

Tabla 3. Dotación neta residencial para cada nivel de complejidad

Nivel de complejidad del sistema	Dotación neta (l/hab./día) Climas templado y frío
Bajo	90
Medio	115
Medio Alto	125
Alto	140

Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010 [3].

Con el fin de clasificar el estrato por su capacidad económica, se realizó la siguiente caracterización mostrada en la tabla 4.

Tabla 4. Caracterización de la capacidad económica

Estrato	Capacidad económica
1	Baja
2	Baja
3	Media
4	Media
5	Alta
6	Alta

Fuente: elaboración propia.

Para poder calcular la dotación neta residencial en los diferentes estratos de la ciudad de Bogotá, fue necesario conocer la cantidad de habitantes y la capacidad económica de los usuarios, mediante la Encuesta Multipropósito realizada en 2011 por el DANE [10]. Así se definió el nivel de complejidad de cada estrato y su respectiva dotación neta residencial, como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Nivel de complejidad por estrato

Zona	Estrato	Núm. de habitantes	Capacidad económica	Nivel de complejidad	Dotación neta residencial (l/hab/día)
1	1	122.068	Baja	Alto	140
	2	516.816	Baja	Alto	140
	3	575.829	Media	Alto	140
	4	200.562	Media	Alto	140
	5	71.437	Alta	Alto	140
	6	59.248	Alta	Alto	140
2	1	16.902	Baja	Medio	115
	2	166.870	Baja	Alto	140
	3	739.246	Media	Alto	140
	4	326.349	Media	Alto	140
	5	42.310	Alta	Alto	140
	6	65.671	Alta	Alto	140
3	1	8.385	Baja	Medio	115
	2	180.966	Baja	Alto	140
	3	846.686	Media	Alto	140
	4	268.610	Media	Alto	140
4	1	665.982	Baja	Alto	140
	2	1.220.647	Baja	Alto	140
	3	270.629	Media	Alto	140
5	1	50.200	Baja	Medio alto	125
	2	1.053.671	Baja	Alto	140
	3	448.495	Media	Alto	140
	4	8.281	Media	Medio	115

Fuente: elaboración propia.

El nivel de complejidad del sistema adoptado debe ser el que resulte mayor entre la clasificación obtenida por la población urbana y la capacidad económica, como se menciona en [2].

Por último, y para obtener el valor de la dotación neta residencial de cada estrato, se relacionaron los resultados anteriores y se determinaron las dotaciones mostradas en la tabla 6.

Tabla 6. Dotación neta residencial por estrato

Estrato	Núm. de habitantes	Dotación neta residencial (l/hab/día)
1	863.339	140
2	3'138.970	140
3	2'880.885	140
4	803.802	140
5	113.747	140
6	124.919	140

Fuente: elaboración propia.

3.4 Análisis comparativo del reglamento técnico con mediciones realizadas por la EAAB-ESP

En la figura 2 se pueden observar las dotaciones netas residenciales de cada estrato, calculadas por diferentes métodos.

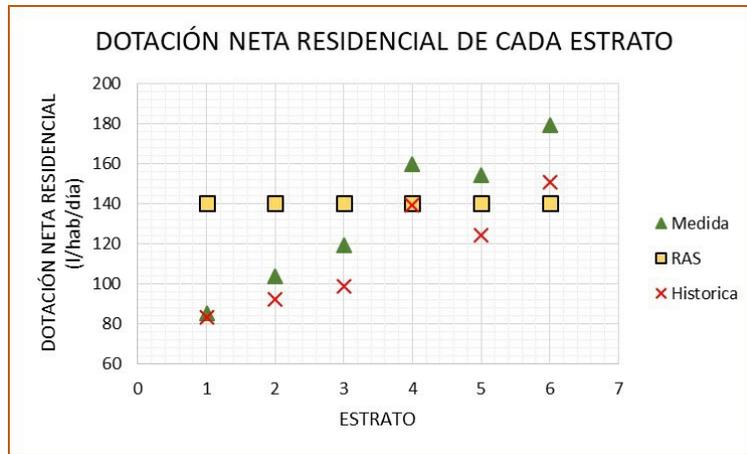


Figura 2. Estrato socioeconómico vs. dotaciones netas residenciales
Fuente: elaboración propia.

Como se evidencia en la figura 2, las dotaciones netas residenciales obtenidas en la aplicación de diferentes métodos (la medición en campo, los registros históricos y el uso del vigente reglamento) presentan altas disociaciones en cada estrato; de este modo, se evidencia que el RAS no contempla las condiciones reales de consumo en la ciudad de Bogotá.

Lo anterior se genera debido a que el RAS prioriza el número de habitantes en el cálculo de la dotación, y en la ciudad hay un gran volumen de población. De ahí que se le resta importancia a las características socioeconómicas del lugar de estudio.

3.5 Ajuste a un modelo de regresión lineal múltiple con variable categórica

Surge la necesidad de ajustar un modelo que relacione condiciones cualitativas y cuantitativas del consumo mínimo de agua de cada habitante en la ciudad de Bogotá.

Como se menciona en [11], el modelo de regresión múltiple es un análisis que describe una respuesta particular y se expresa de la siguiente manera en la ec. 1:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + e \quad (1)$$

Donde:

- ◆ Y es la variable de respuesta que se desea predecir.
- ◆ $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ son constantes desconocidas.
- ◆ X_1, X_2, \dots, X_k son variables predictorias independientes que se miden sin error. [11]
- ◆ e es el error de variable.

La regresión lineal múltiple considera más de una variable independiente; adicionalmente, se puede incluir variables categóricas que permiten analizar condiciones cualitativas. Dentro del estudio se considera como variable categórica el estrato socioeconómico de los habitantes. Así se tienen 6 diferentes indicadores (estrato 1, 2, 3, 4, 5, 6), y como variable continua, el número de habitantes.

De acuerdo con la ec. 1, las variables se designan de la siguiente manera:

3.5.1. Variable dependiente

Y = Dotación neta residencial (l/hab./día)

Se usa el valor de las dotaciones netas residenciales medidas, históricas y calculadas mediante el RAS a cada estrato socioeconómico.

3.5.2. Variable cuantitativa

X_1 = Número de habitantes de cada estrato socioeconómico de cada zona de servicio.

3.5.3. Variables cualitativas

- ◆ X_2 = Estrato 2
- ◆ X_3 = Estrato 3
- ◆ X_4 = Estrato 4
- ◆ X_5 = Estrato 5
- ◆ X_6 = Estrato 6

4. Resultados

En la tabla 7 se presentan las estadísticas de la regresión que permiten observar el coeficiente de Pearson (r) y el error típico. Estos valores tienen como objetivo principal resumir y medir el grado de relación de las variables cuantitativas y cualitativas. Estas medidas también permiten evaluar la capacidad predictiva del modelo.

Tabla 7. Estadísticas de la regresión

Coeficiente de correlación múltiple	0,7658
Coeficiente de determinación R²	0,5865
R² ajustado	0,5465
Error típico	17,4975

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con las estadísticas de la regresión (R² ajustado = 0,55), se considera que el modelo es confiable para realizar pronósticos de dotaciones netas residenciales. Se presenta aproximadamente una linealidad del 59% entre las variables independientes y la variable dependiente. Otros de los resultados obtenidos son: el análisis de varianza y los coeficientes de la regresión, mostrados en las tablas 8 y 9, respectivamente.

Tabla 8. Análisis de varianza

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	6	26921,6959	4486,9493	14,6501	2,45E-10
Residuos	62	18982,2780	306,1657		
Total	68	45903,9739			

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9. Coeficientes de la regresión

	Coeficientes	Error típico	Estadístico T	Probabilidad
Intercepción	102,71	4,62	22,21	$3,3 \times 10^{-31}$
Variable X1	$-2,79 \times 10^{-5}$	$7,7 \times 10^{-6}$	$-3,64 \times 10^{-3}$	0,0565
Variable X2	21,47	6,82	3,15	0,0025
Variable X3	27,91	6,73	4,14	$1,05 \times 10^{-4}$
Variable X4	45,56	6,78	6,72	$6,5 \times 10^{-9}$
Variable X5	35,84	8,47	4,23	$7,8 \times 10^{-5}$
Variable X6	53,12	8,47	6,27	$3,83 \times 10^{-8}$

Fuente: elaboración propia.

Conforme a los resultados observados en las tablas 8 y 9, fue necesario comprobar qué tan significativo es el modelo. A continuación, se usaron el valor de F y de los valores estadísticos de T para las respectivas pruebas de significancia:

4.1 Prueba F para la significancia general del modelo [12]

Aceptando un nivel de significancia del 5% ($\alpha = 0,05$) se desarrolló la hipótesis nula (H_0) y la hipótesis alternativa (H_1) [13]:

Hipótesis nula H_0 : $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = \beta_6 = 0$

Hipótesis alternativa H_1 : $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = \beta_6 \neq 0$

Usando el valor de p

(véase tabla 8):

Valor de p = $2,453 \times 10^{-10}$

Nivel de significancia = 0,05

$(2,453 \times 10^{-10}) < 0,05$. Se rechaza la hipótesis nula

Por consiguiente, se concluye que el modelo es significativo y hay evidencia de que por lo menos una variable afecta el valor de la dotación (Y).

4.2 Prueba T para la significancia individual de los parámetros [14]

Aceptando un nivel de significancia del 5% ($\alpha = 0,05$) se desarrollaron las hipótesis nulas (H_0) y las hipótesis alternativas (H_1).

H_0 ; $\beta_n = 0$ - H_1 ; $\beta_n \neq 0$

Usando los valores de la columna de probabilidad (véase tabla 9):

Si el valor de $p < 0,05$, se rechaza la hipótesis nula.

Si el valor de $p \geq 0,05$ se acepta la hipótesis nula.

X1: $0,057 > 0,05$. Se acepta la hipótesis nula

X2: $0,0025 < 0,05$. Se rechaza la hipótesis nula

X3: $1,05 \times 10^{-4} < 0,05$. Se rechaza la hipótesis nula

X4: $6,51 \times 10^{-9} < 0,05$. Se rechaza la hipótesis nula

X5: $7,80 \times 10^{-5} < 0,05$. Se rechaza la hipótesis nula

X6: $3,83 \times 10^{-8} < 0,05$. Se rechaza la hipótesis nula

Según la prueba individual de parámetros [14], se confirma que las variables categóricas de cada estrato tienen un efecto significativo en el modelo; en cambio, la variable cuantitativa no cuenta con la misma significancia. La cantidad de habitantes no afecta la dotación neta residencial en el modelo, por lo que se realiza una nueva regresión con las variables significativas.

Finalmente, con los resultados de la regresión, y dada la importancia de la medición experimental que representa la realidad del consumo usual de los habitantes en la ciudad de Bogotá, se determinó la ec. 2.

$$D=99,12+K \quad (2)$$

Donde:

D es la dotación neta residencial (l/hab./día)

K es la corrección por estrato socioeconómico.

La ec. 2 permite calcular la dotación neta residencial de cada estrato teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- ◆ La variable dependiente es la dotación neta residencial y está en función del estrato socioeconómico.
- ◆ El valor numérico K asignado a cada estrato corresponde a los coeficientes obtenidos en la regresión lineal múltiple de las variables significativas, como se observa en la tabla 10.

Tabla 10. Valores de K

Estrato socioeconómico	Valores de K
1	0
2	12,82
3	20,10
4	44,96
5	37,89
6	54,98

Fuente: elaboración propia.

A continuación, en las tablas 11 y 12 se calcula el error relativo [15] para la dotación estimada cuando se hace uso el RAS y la ec. 2.

Tabla 11. Error calculado cuando se usa el RAS

Estrato	Dotación neta residencial media (l/hab/día)	Dotación estimada RAS (l/hab/día)	% error
1	102,79	140	36,20
2	111,91	140	25,10
3	119,30	140	17,35
4	146,17	140	4,22
5	139,51	140	0,35
6	156,60	140	10,60

Fuente: elaboración propia.

Tabla 12. Error calculado cuando se usa la ec. 2

Estrato	Dotación neta residencial media (l/hab/día)	Dotación estimada RAS (l/hab/día)	% error
1	102,79	99,12	3,56
2	111,91	111,94	0,03
3	119,30	119,22	0,07
4	146,17	144,08	1,43
5	139,51	137,01	1,79
6	156,60	154,1	1,60

Fuente: elaboración propia.

Como se observó anteriormente, el error disminuye significativamente usando la ec. 2.

5. Discusión y conclusiones

El presente artículo genera como resultado la determinación de dotaciones netas residenciales para cada estrato de la ciudad de Bogotá, como opción alterna a la norma. Por tanto, los datos obtenidos están limitados por el uso de tres mediciones y no pretenden dar respuesta a otras necesidades de suministro diferentes al residencial.

En la evaluación de la concordancia del RAS con las mediciones ejecutadas por la EAAB se encontró una sobrestimación y una subestimación del agua mínima requerida por cada habitante; en consecuencia, existirá una influencia económica y técnica en el diseño del acueducto.

Es importante tener en cuenta que las dotaciones calculadas mediante el RAS tienen un comportamiento similar en todos los estratos, lo que permite concluir que el volumen de habitantes en cada sector no determina las condiciones reales de consumo. En ese orden de ideas, se recomienda incluir dentro del RAS diferentes metodologías de estimación de dotaciones netas, las cuales proporcionen la realidad de consumo por habitante.

En consecuencia, los autores, a partir de una regresión múltiple con variables categóricas, proponen como alternativa la ec. 2, donde se evidencian dotaciones netas residenciales con valores diferentes al estipulado por el RAS. Los resultados obtenidos permiten observar un error relativo mucho menor cuando se usa la ec. 2 y no la metodología del RAS.

Considerando que el intervalo muestral de dotaciones netas residenciales es alto, un error máximo de $\pm 8,47$ (l/hab./día) es probablemente pequeño y se puede aceptar. Sin embargo, sería conveniente adicionar variables para disminuir el error.

En el análisis se reflejó que en la ciudad de Bogotá predomina la condición socioeconómica de los usuarios sobre la cantidad de habitantes. Por otra parte, las dotaciones netas residenciales permitirán el diseño o la ampliación del sistema de acueducto, y aunque la ciudad de Bogotá requiera otras dotaciones de tipo comercial, institucional, industrial y escolar, no serán competencia del presente artículo.

Por último, se recomienda llevar a cabo mediciones a otras ciudades con diferentes características climáticas y de consumo, con el fin de obtener diseños de acueductos óptimos.

Agradecimientos

Para la elaboración del presente artículo fue necesario usar el informe Determinación de patrones y perfiles de consumo de usuarios residenciales en las zonas 1, 2, 3, 4 y 5 del acueducto de Bogotá, por lo cual agradecemos a la EAAB-ESP, por suministrarnos amablemente la información.

Para finalizar, queremos realizar un reconocimiento a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, por incentivar la producción académica e investigativa.

Referencias

- [1] Organización de las Naciones Unidas, Agua para todos, agua para la vida. París: ONU, 2003 [en línea]. Disponible en: <http://www.un.org/esa/sustdev/sdissues/water/WWDR-spanish-129556s.pdf>.
- [2] Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia, "Título A: Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico", en Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS). Bogotá: Ministerio, 2000 [en línea]. Disponible en: http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_a_.pdf
- [3] CIACUA, "Título B: Sistemas de Acueducto", en Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS), 2a ed. Bogotá: Ministerio de Vivienda, 2010 [en línea]. Disponible en: <http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULOB%20030714.pdf>.
- [4] Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), Determinación de patrones y perfiles de consumo de usuarios residenciales en las zonas 1, 2, 3, 4 y 5 del acueducto de Bogotá. Bogotá: EAAB-ESP, 2011.
- [5] C. S. Castillo, "Evaluación de la dotación para el diseño de acueductos y alcantarillados para municipios colombianos tomando como base búsqueda el municipio de Muzo", tesis de grado, Univ. La Salle, Colombia, 2009 [en línea]. Disponible en: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/15209/T40.09%20C278e.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.
- [6] R. A. López, "Consumo de agua", en Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, 2a ed. Bogotá: Nuevas Ediciones, 2003, pp. 51-55.
- [7] D. C. Bastidas, "Caracterización y estimación de consumos de agua de usuarios residenciales. Caso de estudio: Bogotá", tesis de grado, Univ. de Los Andes, 2009 [en línea]. Disponible en: https://oab.ambientebogota.gov.co/apc-aa.../Caracterizaciónconsumo_%20aguausuarios.pdf.
- [8] Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), "Zonas de servicio", 2018 [en línea]. Disponible en: <https://bit.ly/2zgol2Z>.
- [9] R. Hernández, C. Fernández y M. P. Baptista, "Definición del alcance de la investigación

que se realizará: exploratorio, descriptivo, correlacional o explicativo”, en Metodología de la investigación, 6a ed. México: McGraw Hill Education, 2014, pp. 88-99.

- [10] Secretaría Distrital de Planeación y Departamento Administrativo Nacional de Estadística, Boletín No. 32. Principales resultados de la primera encuesta multipropósito para Bogotá. Bogotá, 2011 [en línea]. Disponible en: <http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/dice115-cartillaencuesmultipropos-2011.pdf>.
- [11] W. Mendenhall, R. J. Beaver y B. M. Beaver, “Análisis de regresión múltiple”, en Introducción a la probabilidad y estadística, 13a ed. México: Cengage Learning, 2010, pp. 551-555.
- [12] J. L. Devore, “Una prueba de utilidad de modelo”, en Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias, 7a ed. California: Cengage Learning, 2008, pp. 536-542.
- [13] R. E. Walpole, R. H. Myers, S. L. Myers y K. Ye, “Pruebas de hipótesis de una y dos muestras”, en Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias, 9a ed. México: Pearson, 2012, pp. 319-334.
- [14] “Prueba de la significancia para cada coeficiente de la regresión”, Universidad Nacional, 2005 [en línea]. Disponible en: https://virtual.uptc.edu.co/ova/estadistica/docs/libros/2007315/lecciones_html/capitulo_5/leccion7/leccion7-2/hipo-ind-beta.html.
- [15] A. Sanchis, “Errores absoluto y relativo”, en Física básica para ingenieros, tomo I. Valencia: Universitat Politècnica de Valencia, 2013, pp 31-32. [En línea]. Disponible en: https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/06321cd5-b9c3-4528-b256-aad416896370/TOC_0035_09_01.pdf?quest=true