



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES

ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS
INTERCEPTORES SANITARIOS I, II, III, IX, X, XII-A,
XVI Y XVIII DE LA CIUDAD DE CUENCA
ENFOCÁNDOSE EN EL CAUDAL SANITARIO Y DE
INFILTRACIÓN.

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES

Autores:

DOLORES VIRGINIA PADILLA GARATE
RENE MAURICIO PINEDA FAREZ

Director:

JOSUÉ BERNARDO LARRIVA VÁSQUEZ

CUENCA ECUADOR

2021

DEDICATORIA

La presente tesis que, con arduo sacrificio para su desarrollo, la dedico a mis padres Edgar Y Verónica por ser quienes me han acompañado a lo largo de mi vida como estudiante y ahora, en adelante como profesional. A mi hermano Sebastián, por ser una persona indispensable, y compañero en esta meta alcanzada.

Dolores Virginia Padilla Garate

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo quiero dedicar con mucho cariño a toda mi familia, en especial a mi madre Margarita Farez y a mi padre Rene Pineda, que me han brindado su apoyo incondicional, paciencia y amor a lo largo de toda mi vida.

A mi hermano David por estar presente en los momentos más alegres y más difíciles de todo este camino, y a los grandes amigos y compañeros que he conocido en esta hermosa aventura a lo largo de una importante etapa de mi vida.

Rene Mauricio Pineda Farez

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer plano a Dios quien me ha bendecido y permitido poder desarrollarme en el ámbito académico y posteriormente en lo profesional.

A mis padres Edgar y Verónica, quienes han sido mí pilar fundamental que, con su arduo sacrificio, apoyo, y amor me han facilitado alcanzar un logro más en mi vida.

A mi hermano Sebastián, quien de igual manera me ha brindado su apoyo, compañía, y fortaleza en mi desarrollo académico.

A mi tutor Ing. Josué Larriva quien nos supo brindar las herramientas necesarias para la plena realización de este trabajo. Al Ing. Xavier Fernández de Córdova quien de igual manera me apoyó en la realización del presente trabajo.

Dolores Virginia Padilla Garate

Agradezco a toda mi familia y amigos, por el apoyo, cariño y motivación que me han brindado a lo largo de este camino, para poder cumplir con esta importante meta.

Agradezco a la Universidad del Azuay por permitirme formar parte de esta hermosa institución, y en especial a nuestro director de tesis, Ing. Josué Larriva y a los ingenieros Javier Fernández de Córdova y María Belén Arévalo, por su gentil ayuda para la culminación de este proyecto.

Rene Mauricio Pineda Farez

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO.....	4
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE TABLAS	9
INTRODUCCIÓN	12
ALCANCE.....	13
ESTADO DEL ARTE.....	13
OBJETIVOS	14
Objetivo General:.....	14
Objetivos Específicos:	14
CAPÍTULO I.....	15
MARCO TEÓRICO	15
CAPÍTULO II	20
DEPURACIÓN Y ANÁLISIS DE LA BASE DE DATOS DE LOS INTERCEPTORES.....	20
2.1 Descripción y ubicación de los interceptores	20
2.2 Recopilación de los datos.....	27
2.3 Depuración de la base de datos	27
CAPÍTULO III	28
CÁLCULO DE ALTURAS DE FLUJO, CAUDALES Y ELABORACIÓN DE GRÁFICAS DE COMPORTAMIENTO.	28
3.1 Cálculo de alturas de flujo en la tubería.....	28
3.2 Cálculo de caudales	29
3.2.1 Cálculo de Caudal de diseño a sección llena (Q).....	29
3.2.2 Cálculo de Caudal real (q)	30
3.2.3 Caudal de Infiltración observado (qi)	30
3.3 Elaboración de las gráficas de caudal sanitario y caudal de infiltración	32
3.4 Análisis de caudales de la época de sequía	32
3.4.1 Curvas de caudales en época de sequía	32
3.5 Gráficos mensuales del comportamiento del caudal en los interceptores con datos tomados cada 5 minutos.	33
INTERCEPTOR I.....	33
INTERCEPTOR II	36
INTERCEPTOR III	39
INTERCEPTOR IX.....	42
INTERCEPTOR X	45
INTERCEPTOR XII-A	49
INTERCEPTOR XVI.....	52

INTERCEPTOR XVIII	55
3.6 Gráficos anuales del comportamiento del caudal en los interceptores con datos tomados cada hora.	59
INTERCEPTOR I.....	59
INTERCEPTOR II	62
INTERCEPTOR III.....	65
INTERCEPTOR IX.....	68
INTERCEPTOR X.....	71
INTERCEPTOR XII-A	74
INTERCEPTOR XVI.....	77
INTERCEPTOR XVIII	80
CAPÍTULO IV.....	83
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	83
4.1 Análisis de comportamiento de las gráficas mensuales del caudal sanitario y de infiltración de cada interceptor.	83
INTERCEPTOR I.....	83
INTERCEPTOR II	83
INTERCEPTOR III.....	84
INTERCEPTOR IX.....	84
INTERCEPTOR X.....	84
INTERCEPTOR XII-A	84
INTERCEPTOR XVI.....	84
INTERCEPTOR XVIII	85
4.2 Análisis de comportamiento de las gráficas anuales del caudal sanitario y de infiltración de cada interceptor.	85
INTERCEPTOR I.....	85
INTERCEPTOR II	86
INTERCEPTOR III.....	86
INTERCEPTOR IX.....	86
INTERCEPTOR X.....	87
INTERCEPTOR XII-A	87
INTERCEPTOR XVI.....	88
INTERCEPTOR XVIII	88
CONCLUSIONES	89
RECOMENDACIONES	90
BIBLIOGRAFÍA.....	91
ANEXOS	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Derivador de caudal tipo vertedero.....	19
Figura 1. 2 Sensor instalado en pozo de revisión.....	19
Figura 2. 1 Ubicación de los interceptores Plan Maestro II.....	21
Figura 2. 2 Áreas de aporte del Plan Maestro.....	22
Figura 2. 3 Interceptor I.....	23
Figura 2. 4 Interceptor II.....	23
Figura 2. 5 Interceptor III.....	24
Figura 2. 6 Interceptor IX.....	24
Figura 2. 7 Interceptor X.....	25
Figura 2. 8 Interceptor XII-A.....	25
Figura 2. 9 Interceptor XVI.....	26
Figura 2. 10 Interceptor XVIII.....	26
Figura 3. 1 Caudal sanitario del mes de febrero del 2016.....	33
Figura 3. 2 Caudal sanitario del mes de mayo del 2016.....	33
Figura 3. 3 Caudal sanitario del mes de octubre del 2017.....	34
Figura 3. 4 Caudal sanitario del mes de mayo del 2017.....	34
Figura 3. 5 Caudal sanitario del mes de enero del 2018.....	35
Figura 3. 6 Caudal sanitario del mes de octubre del 2018.....	35
Figura 3. 7 Caudal sanitario del mes de julio del 2016.....	36
Figura 3. 8 Caudal sanitario del mes de diciembre del 2016.....	36
Figura 3. 9 Caudal sanitario del mes de enero del 2017.....	37
Figura 3. 10 Caudal sanitario del mes de marzo del 2017.....	37
Figura 3. 11 Caudal sanitario del mes de junio del 2018.....	38
Figura 3. 12 Caudal sanitario del mes de agosto del 2018.....	38
Figura 3. 13 Caudal sanitario del mes de mayo del 2016.....	39
Figura 3. 14 Caudal sanitario del mes de diciembre del 2016.....	40
Figura 3. 15 Caudal sanitario del mes de enero del 2017.....	40
Figura 3. 16 Caudal sanitario del mes de septiembre del 2017.....	41
Figura 3. 17 Caudal sanitario del mes de agosto del 2018.....	41
Figura 3. 18 Caudal sanitario del mes de abril del 2018.....	42
Figura 3. 19 Caudal sanitario del mes de octubre del 2016.....	42
Figura 3. 20 Caudal sanitario del mes de diciembre del 2016.....	43
Figura 3. 21 Caudal sanitario del mes de enero del 2017.....	43
Figura 3. 22 Caudal sanitario del mes de abril del 2017.....	44
Figura 3. 23 Caudal sanitario del mes de diciembre del 2018.....	44
Figura 3. 24 Caudal sanitario del mes de noviembre del 2018.....	45
Figura 3. 25 Caudal sanitario del mes de marzo del 2016.....	45
Figura 3. 26 Caudal sanitario del mes de octubre del 2016.....	46
Figura 3. 27 Caudal sanitario del mes de febrero del 2017.....	46
Figura 3. 28 Caudal sanitario del mes de diciembre del 2017.....	47
Figura 3. 29 Caudal sanitario del mes de marzo del 2018.....	47
Figura 3. 30 Caudal sanitario del mes de diciembre del 2018.....	48
Figura 3. 31 Caudal sanitario del mes de mayo del 2016.....	49

Figura 3. 32 Caudal sanitario del mes de octubre del 2016.	49
Figura 3. 33 Caudal sanitario del mes de marzo del 2017.	50
Figura 3. 34 Caudal sanitario del mes de diciembre del 2017.	50
Figura 3. 35 Caudal sanitario del mes de enero del 2018.	51
Figura 3. 36 Caudal sanitario del mes de diciembre del 2018.	51
Figura 3. 37 Caudal sanitario del mes de mayo del 2016.	52
Figura 3. 38 Caudal sanitario del mes de agosto del 2016.	52
Figura 3. 39 Caudal sanitario del mes agosto del 2017.	53
Figura 3. 40 Caudal sanitario del mes de marzo del 2017.	53
Figura 3. 41 Caudal sanitario del mes de mayo del 2018.	54
Figura 3. 42 Caudal sanitario del mes de febrero del 2018.	54
Figura 3. 43 Caudal sanitario del mes de septiembre del 2016.	55
Figura 3. 44 Caudal sanitario del mes de junio del 2016.	55
Figura 3. 45 Caudal sanitario del mes de febrero del 2017.	56
Figura 3. 46 Caudal sanitario del mes de junio del 2017.	56
Figura 3. 47 Caudal sanitario del mes de mayo del 2018.	57
Figura 3. 48 Caudal sanitario del mes de julio del 2018.	57
Figura 3. 49 Caudal sanitario del mes de agosto del 2019.	58
Figura 3. 50 Caudal sanitario del mes de enero del 2019.	58
Figura 3. 51 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2016 del interceptor I.	59
Figura 3. 52 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2017 del interceptor I.	60
Figura 3. 53 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2018 del interceptor I.	61
Figura 3. 54 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2016 del interceptor II.	62
Figura 3. 55 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2017 del interceptor II.	63
Figura 3. 56 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2017 del interceptor II.	64
Figura 3. 57 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2016 del interceptor III.	65
Figura 3. 58 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2017 del interceptor III.	66
Figura 3. 59 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2018 del interceptor III.	67
Figura 3. 60 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2016 del interceptor IX.	68
Figura 3. 61 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2017 del interceptor IX.	69
Figura 3. 62 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2018 del interceptor IX.	70
Figura 3. 63 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2016 del interceptor X.	71
Figura 3. 64 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2017 del interceptor X.	72
Figura 3. 65 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2018 del interceptor X.	73
Figura 3. 66 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2016 del interceptor XII-A.	74
Figura 3. 67 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2017 del interceptor XII-A.	75
Figura 3. 68 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2018 del interceptor XII-A.	76
Figura 3. 69 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2016 del interceptor XVI. ...	77
Figura 3. 70 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2017 del interceptor XVI. ...	78
Figura 3. 71 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2018 del interceptor XVI. ...	79
Figura 3. 72 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2016 del interceptor XVIII.	80
Figura 3. 73 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2017 del interceptor XVIII.	81
Figura 3. 74 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2018 del interceptor XVIII.	82

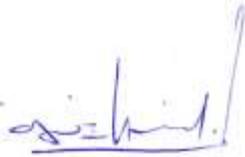
ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1. Aporte de infiltración por longitud de tubería.	17
Tabla 1. 2 Aporte de infiltración por área drenada.	17
Tabla 2. 1 Ubicación georreferenciada y longitud de los interceptores.	20
Tabla 3. 1 Ecuaciones para el cálculo de las alturas de flujo en la tubería.	28
Tabla 3. 2 Valores de pendiente y coeficiente de rugosidad para cada interceptor.	30
Tabla 3. 3 Horas de observación del caudal de infiltración.	31
Tabla 3. 4 Valores de los caudales de infiltración por Interceptor.	31
Tabla 4. 1 Rango de valores mínimos y máximos del caudal de infiltración del Interceptor I.	85
Tabla 4. 2 Rango de valores mínimos y máximos del caudal de infiltración del Interceptor II.	86
Tabla 4. 3 Rango de valores mínimos y máximos del caudal de infiltración del Interceptor III.	86
Tabla 4. 4 Rango de valores mínimos y máximos del caudal de infiltración del Interceptor IX.	87
Tabla 4. 5 Rango de valores mínimos y máximos del caudal de infiltración del Interceptor X.	87
Tabla 4. 6 Rango de valores mínimos y máximos del caudal de infiltración del Interceptor XII-A.	87
Tabla 4. 7 Rango de valores mínimos y máximos del caudal de infiltración del Interceptor XVI.	88
Tabla 4. 8 Rango de valores mínimos y máximos del caudal de infiltración del Interceptor XVIII.	88
Tabla 4. 9 Relación entre el caudal de infiltración proyectado y Observado.	89

**ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS INTERCEPTORES
SANITARIOS I, II, III, IX, X, XII-A, XVI Y XVIII DE LA CIUDAD
DE CUENCA ENFOCÁNDOSE EN EL CAUDAL SANITARIO Y
DE INFILTRACIÓN.**

RESUMEN

En el presente proyecto se analizará el comportamiento hidráulico de los interceptores sanitarios I, II, III, IX, X, XII-A, XVI y XVIII, en épocas de sequía, enfocados a los caudales Sanitarios y de Infiltración, utilizando las alturas de flujo obtenidas gracias a los sensores ultrasónicos colocados en los pozos de revisión por la empresa ETAPA EP. Y a continuación, se realizarán análisis, elaboración de tablas y graficas del comportamiento de cada uno de los interceptores.



Ing. Josué Larriva Vásquez
Director del Trabajo de Titulación



Ing. José Vázquez Calero
Director de Escuela



Dolores Virginia Padilla Garate
Autora

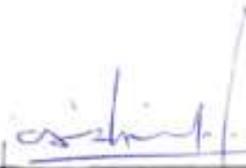


Rene Mauricio Pineda Farez
Autor

ANALYSIS OF THE SANITARY INTERCEPTORS I, II, III, IX, X, XII-A, XVI, AND XVIII FUNCTIONING IN CUENCA FOCUSING ON THE SANITARY AND INFILTRATION FLOW

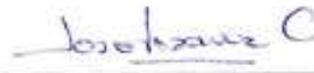
ABSTRACT

In this project, the hydraulic behavior of the sanitary interceptors I, II, III, IX, X, XII-A, XVI, and XVIII were analyzed in times of drought, focused on the Sanitary and Infiltration flows by using the flow heights obtained thanks to the ultrasonic sensors placed in the inspection wells by the company ETAPA EP. And then, analysis, elaboration of tables, and graphs of the behavior of each of the interceptors were carried out.



Ing. Josué Larriva Vásquez

Thesis Director



Ing. José Vázquez Calero

Faculty Director

Translated by



Dolores Virginia Padilla Garate

Author



Rene Mauricio Pineda Farez

Author



Language Unit

Padilla Garate Dolores Virginia
Pineda Farez Rene Mauricio
Trabajo de titulación
Ing. Josué Larriva Vásquez Mst.
2021

ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS INTERCEPTORES SANITARIOS I, II, III, IX, X, XII-A, XVI Y XVIII DE LA CIUDAD DE CUENCA ENFOCÁNDOSE EN EL CAUDAL SANITARIO Y DE INFILTRACIÓN.

INTRODUCCIÓN

Este proyecto tiene por finalidad, determinar las gráficas del comportamiento de los caudales Sanitario y de Infiltración en épocas de sequía en los interceptores sanitarios I, II, III, IX, X, XII-A, XVI y XVII de la ciudad de Cuenca. Ya que el sistema de alcantarillado de aguas residuales de la ciudad es de tipo combinado, es necesario realizar este análisis mediante la toma de información de los sensores ultrasónicos en los pozos de revisión de la empresa ETAPA EP, y así, proceder a la elaboración de tablas estadísticas que facilitarán la obtención de las gráficas, que representarán los picos de estos caudales y la línea de tendencia del caudal de infiltración de cada interceptor.

ALCANCE

Mediante la base de datos depurada a partir del software de Microsoft Excel, con la información de los sensores medida en los interceptores I, II, III, IX, X, XII-A, XVI y XVIII, se obtendrán las alturas de flujo y se calcularán los distintos caudales.

Posteriormente se realizará un análisis de comportamiento en base a los datos obtenidos previamente, y se presentará graficas para comparar en distintas épocas del año.

ESTADO DEL ARTE

En la ciudad de Managua se realizó un sistema de monitoreo de flujo en el sistema de alcantarillado sanitario colocando ocho monitores en sitios preseleccionados por un periodo de una a tres semanas. El monitoreo se realizó durante la época seca y durante la temporada lluviosa con la finalidad de registrar los caudales reales en los colectores y establecer su capacidad hidráulica para dar las soluciones correspondientes (Armijos & Martínez, 1995).

En el año 2018 en la ciudad de Cuenca se realizó un análisis de la diferencia entre el caudal de diseño de los interceptores sanitarios y su situación real, por motivo de que la distribución de la población de la ciudad no era la misma de la que fue considerada originalmente (Martínez, 2018).

Luego que la empresa ETAPA EP colocó estaciones de monitoreo con sensores en el año 2015 para medir la altura de flujo del pozo de revisión se determinó mediante una tesis de pregrado en el año 2019 ecuaciones para poder calcular el caudal que pasa por el interceptor en tiempo real (Carmona & Zhicay, 2019).

OBJETIVOS

Objetivo General:

Evaluar el comportamiento de los interceptores sanitarios I, II, III, IX, X, XII-A, XVI y XVIII enfocándose en el caudal sanitario y de infiltración, en época de sequía y así obtener datos de los caudales sin intervención de las aguas lluvia.

Objetivos Específicos:

- Obtener, ordenar y clasificar los datos medidos por los sensores instalados por ETAPA EP.
- Calcular los caudales sanitarios y de infiltración correspondientes a cada interceptor.
- Realizar gráficas del comportamiento de los interceptores, para su posterior análisis.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

Clasificación de los alcantarillados:

Alcantarillado sanitario

Es la red generalmente de tuberías, a través de la cual se deben evacuar en forma rápida y segura las aguas residuales (domésticas o de establecimientos comerciales) hacia una planta de tratamiento y finalmente a un sitio de vertido donde no causen daños ni molestias.

Alcantarillado pluvial

Es el sistema que capta y conduce las aguas de lluvia para su disposición final, que puede ser por infiltración, almacenamiento o depósitos y cauces naturales.

Alcantarillado combinado

Es el sistema que capta y conduce simultáneamente el 100% de las aguas de los sistemas mencionados anteriormente, pero que dada su disposición dificulta su tratamiento posterior y causa serios problemas de contaminación al verterse a cauces naturales y por las restricciones ambientales se imposibilita su infiltración.

Este sistema que capta y conduce simultáneamente las aguas residuales, domésticas, industriales y las pluviales generadas en la cuenca o en la población.

Alcantarillado semi-combinado

Se denomina al sistema que conduce el 100% de las aguas negras que produce un área o conjunto de áreas, y un porcentaje menor al 100%

de aguas pluviales captadas en esa zona que se consideran excedencias y que serían conducidas por este sistema de manera ocasional y como un alivio al sistema pluvial y/o de infiltración para no ocasionar inundaciones en las vialidades y/o zonas habitacionales (SIAPA, 2014).

Caudal de diseño

Para el diseño de un alcantarillado sanitario u otro sistema que trate las aguas residuales es necesario y fundamental evaluar las aguas residuales que pueden llegar a generar la población en la que se vaya a realizar dicho sistema; el caudal de diseño se define como el volumen determinado de dichas aguas residuales en un determinado tiempo (QD), este está compuesto por un porcentaje del consumo de agua potable, infiltración de aguas y conexiones erradas (López, 1995).

$$QD = Q_{max} + Q_i + Q_e \quad (\text{Ecu.1.1})$$

Caudal Sanitario (Qs)

Las aguas residuales o caudal sanitario, se puede definir como aquellas que, por uso del hombre representan un peligro y deben ser desechadas, porque contienen gran cantidad de sustancias y/o microorganismos. (Espingares García & Pérez López, 1985)

Se calcula para la etapa inicial y final del periodo de diseño, este no tendrá que ser menor de 1.50lt/s y si fuese el caso se tomaría este valor, debido a que corresponde a la descarga de un inodoro sanitario (Agua, 2007).

Caudal máximo horario

Ya que el consumo de agua no es constante durante las 24 horas del día, se considera una variación, a través de la siguiente ecuación, donde M corresponde a un factor de mayoración.

$$Q_s = Q_{max} = Q_m * M \quad (\text{Ecu.1.2})$$

Factor de mayoración

Este factor se obtiene a través del coeficiente de Harmon (1918), mediante la siguiente ecuación, donde P corresponde a la población en miles de habitantes (Butler & Davies, 2011).

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}} \quad (\text{Ecu.1.3})$$

Caudal medio diario

El caudal medio diario será el producto de la población aportante, las dotaciones de agua potable, calculado al principio y al final del periodo de diseño y un factor de retorno (f), que según las Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes (CO 10.7-601) (2014), por lo que ETAPA EP define este valor para zonas urbanas de 0.80 y para zonas rurales un valor de 0.90.

$$Q_m = f * \frac{P * D}{86400} \quad (\text{Ecu.1.4})$$

Caudal de infiltración (Qi)

El caudal de infiltración es producido por la entrada del agua que se encuentra por debajo del nivel freático del suelo a través de las uniones entre tramos de tuberías, de fisuras en el tubo y en la unión con las estructuras de conexión.

Puede expresarse por metro lineal de tubería o por su equivalente en hectáreas de área drenada (Cabrera, 2015).

La tabla 1.1 y tabla 1.2 a continuación, expresa algunos valores que pueden ser utilizados siempre y cuando no se disponga de información de campo (López Cualla, 2003).

Tabla 1. 1. Aporte de infiltración por longitud de tubería.

CONDICIONES	INFILTRACIÓN (lt/s*km)		
	Alta	Media	Baja
Tubería existente	4	3	2
Tuberías nuevas con unión de:			
Cemento	3	2	1
Caucho	1.5	1	0.5

Fuente: (López Cualla, 2003)

Tabla 1. 2 Aporte de infiltración por área drenada.

INFILTRACIÓN (ls/s*ha)		
Alta	Media	Baja
0.15 - 0.40	0.10 - 0.30	0.05 - 0.20

Fuente: (López Cualla, 2003)

En la ciudad de Cuenca, la empresa ETAPA EP utiliza el valor de 1 lt/s/ha.

Pozos de Revisión

Los pozos de revisión son estructuras de la red de alcantarillado ubicados en sitios específicos que hacen posible su inspección y mantenimiento (ETAPA EP, 2016).

Interceptores

Son los conductores de mayor tamaño en la red y representan la parte medular del sistema de alcantarillado, dependiendo de su acomodo en la red. Su función es reunir el agua recolectada por los subcolectores y llevarla hasta el punto de salida de la red e inicio del emisor. El emisor conduce las aguas hasta el punto de descarga o tratamiento. Se le distingue de los interceptores porque no recibe conexiones adicionales en su recorrido (López, 1995).

Pozo derivador

Los pozos derivadores de caudal son estructuras que separan el caudal proveniente de las aguas lluvias dejando únicamente el caudal sanitario para que este continúe por el interceptor hacia su tratamiento (Castillo & Ullaguari, 2018).

Este tipo de estructura (Figura 1.1) consta de un vertedero colocado frontal o de forma oblicua a la dirección del flujo, para aprovechar una mayor longitud se lo coloca de esta manera, consiguiendo así una disminución de la carga hidráulica para que pase un caudal dado (ETAPA, 2009).

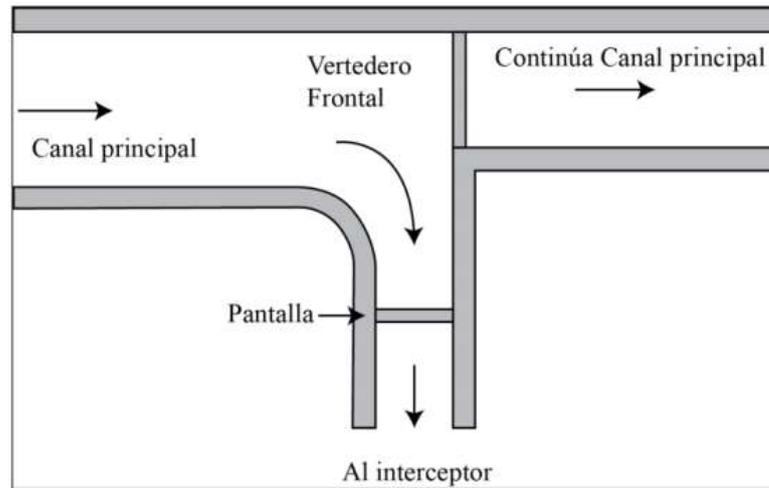


Figura 1. 1 Derivador de caudal tipo vertedero.

Fuente: ETAPA EP.

Sensores ultrasónicos

Son dispositivos que miden la altura de flujo mediante el uso de ondas ultrasónicas. El cabezal emite una onda ultrasónica y reciben la onda reflejada que retorna desde el objeto, es decir miden la distancia al objeto contando el tiempo entre la emisión y la recepción. Un sensor ultrasónico utiliza un elemento ultrasónico único, tanto para la emisión como la recepción. La figura 1.2 muestra el sensor instalado por la empresa ETAPA EP en el pozo de revisión.



Figura 1. 2 Sensor instalado en pozo de revisión.

Fuente: (Carmona & Zhicay, 2019)

CAPÍTULO II

DEPURACIÓN Y ANÁLISIS DE LA BASE DE DATOS DE LOS INTERCEPTORES.

2.1 Descripción y ubicación de los interceptores

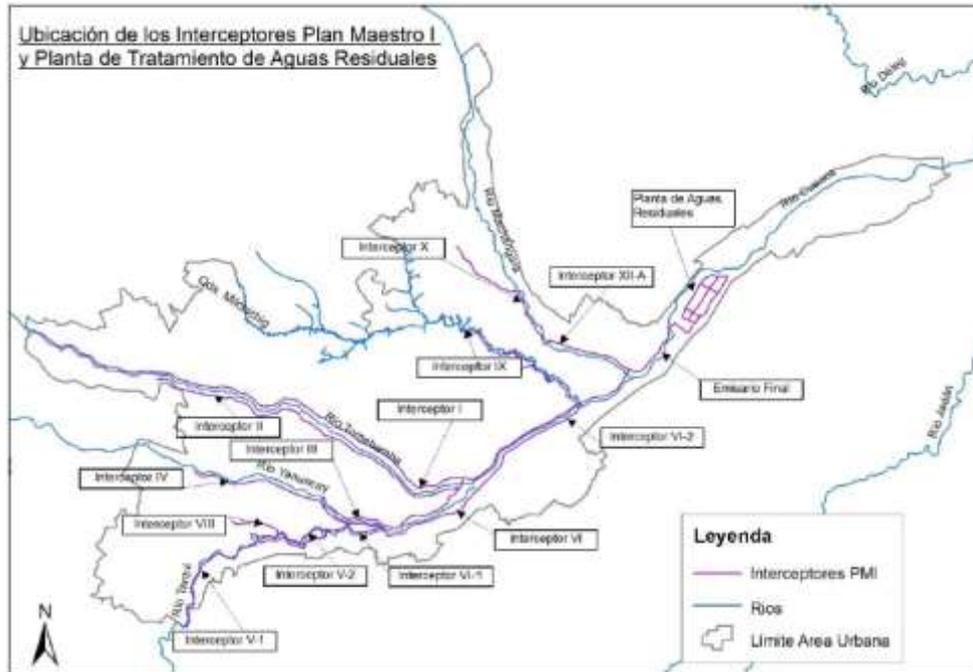
La red de saneamiento de la ciudad de Cuenca está formada por 21 interceptores, los cuales, transportan el agua recolectada hasta la planta de tratamiento de aguas residuales Ucubamba. Para este proyecto se describirán las características y ubicación de los interceptores sanitarios I, II, III, IX, X, XII-A, XVI y XVII, de los cuales se han obtenido los datos.

Tabla 2. 1 Ubicación georreferenciada y longitud de los interceptores.

Interceptor	UBICACIÓN WGS 84			Longitud (m)	Ríos/Quebradas
	Este	Norte	Altitud (m)		
I	727146.1	9680503.1	2441	21879.63	Tomebamba
II	723281.4	9678237.1	2491	7654.75	Tomebamba
III	723566.7	9678188.7	2490	3490.19	Yanuncay
IX	726146.5	9680211.8	2455	9987.09	Milchichig
X	727170.8	9680871.7	2444	5121.15	La Compañía y Machángara
XII-A	727185.6	9680847.7	2441	4047.46	Rio La Compañía
XVI	723483.5	9678293.9	2490	6323.57	Tarqui
XVIII	727192.5	9680560.2	2441	10207.65	Tomebamba

Fuente: (Carmona & Zhicay, 2019)

La figura 2.1 muestra la distribución de interceptores en el primer plan maestro realizado por la empresa ETAPA E.P.



Fuente: Departamento de Saneamiento y Agua Potable ETAPA E.P.

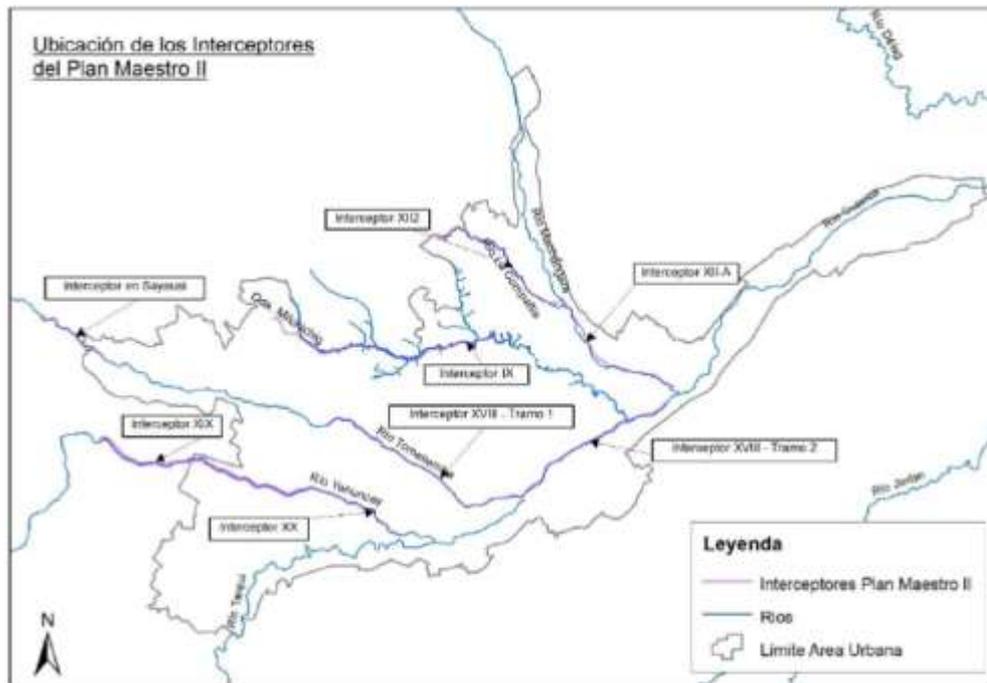


Figura 2. 1 Ubicación de los interceptores Plan Maestro II.

Fuente: Departamento de Saneamiento y Agua Potable ETAPA E.P.

En la figura 2.2 se puede observar la fase del plan maestro II. Se visualizan algunos interceptores que actualmente existen pero que no constan en el plano ya que no se cuenta con los catastros totalmente actualizados, específicamente el interceptor XVI.

A continuación, se muestran varios esquemas en los cuales se pueden diferenciar las áreas de aporte que confirma cada interceptor.

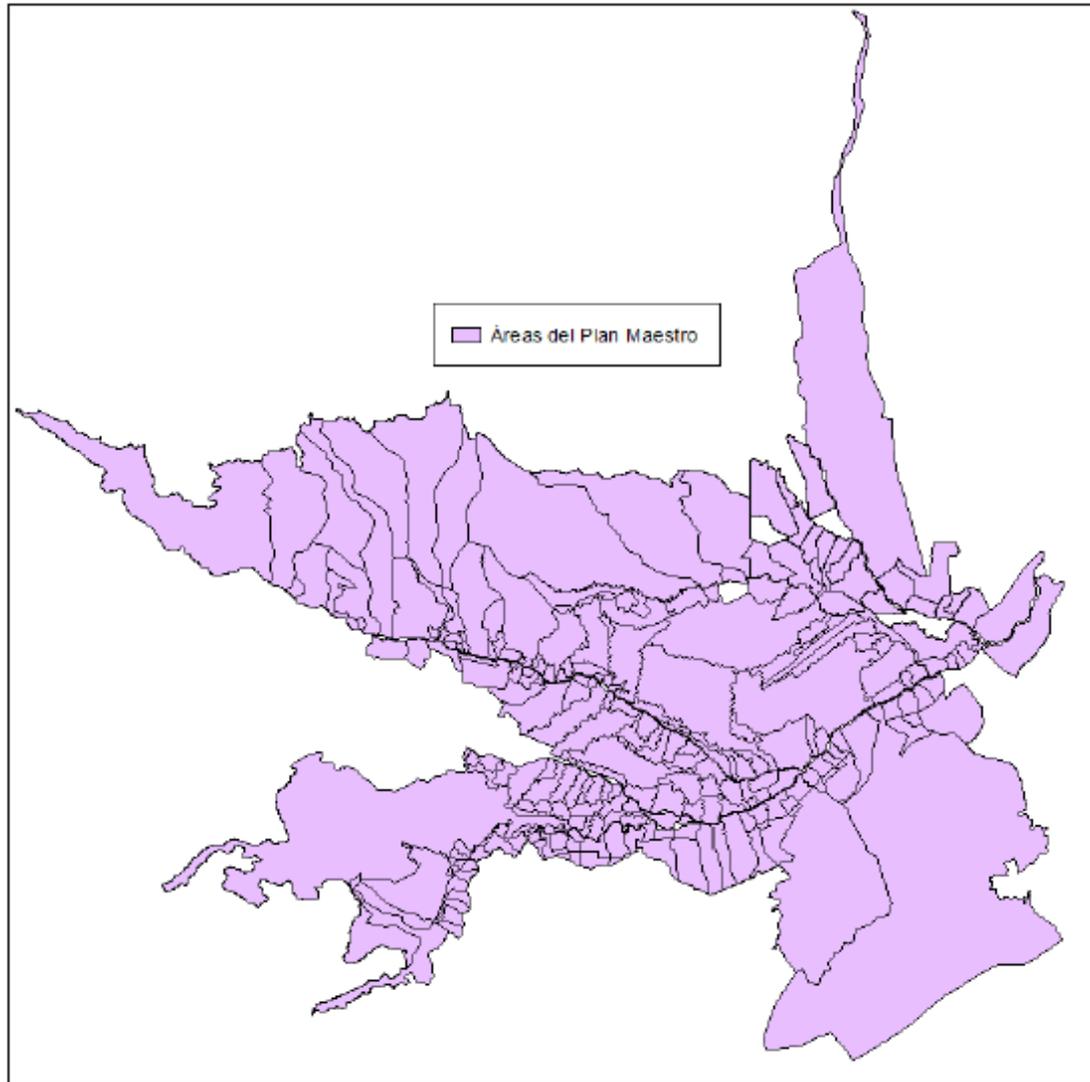


Figura 2. 2 Áreas de aporte del Plan Maestro.

Fuente: (Martínez, 2018)



Figura 2. 3 Interceptor I.

Fuente: Autores

Este Interceptor (Figura 2.3) inicia en la Y de Sayausí, vía al Cajas, y termina en el emisario final en la unión de los ríos Cuenca y Machángara.



Figura 2. 4 Interceptor II.

Fuente: Autores

Inicia en el Puente de entrada a San Joaquín, y termina a la altura del sector conocido como El Paraíso, al unirse al interceptor I (Figura 2.4).



Figura 2. 5 Interceptor III.

Fuente: Autores

Inicia en la Calle Felipe II y primero de mayo, a la altura del puente Felipe II, y termina en el sector del parque El Paraíso, al unirse al interceptor II (Figura 2.5).



Figura 2. 6 Interceptor IX.

Fuente: Autores

Este interceptor (Figura2.6) inicia en la Y de camino a Racar y Av. De los Cerezos, y termina en el interceptor I, en la desembocadura en el río Cuenca.



Figura 2. 7 Interceptor X.

Fuente: Autores

El Interceptor (Figura 2.7) Inicia al margen derecho de la quebrada la compañía a la altura del camino a Patamarca, y termina al margen derecho del rio Machángara hasta la fábrica CONTINENTAL, donde cruza hacia la izquierda y continua hasta llegar al emisario.



Figura 2. 8 Interceptor XII-A.

Fuente: Autores

Inicia en el Barrio Ochoa León, y termina, en la Av. Gonzales Suarez a la altura del redondel de la Mujeres de Piedra (Figura 2.8).



Figura 2. 9 Interceptor XVI.

Fuente: Autores

Inicia en la Calle Francisco de Orellana y termina en el parque EL Paraíso en el interceptor XVIII (Figura 2.9).



Figura 2. 10 Interceptor XVIII.

Fuente: Autores

Este interceptor (Figura 2.10) inicia en la Av. Ordoñez lazo a la altura del barrio Virgen del Milagro y termina en el emisario final en la unión de los ríos Cuenca y Machángara.

2.2 Recopilación de los datos

La empresa ETAPA EP proporcionó la base de datos de los valores de las alturas de flujo en los pozos de revisión obtenidas mediante los sensores ultrasónicos, lo cual sirvió para el cálculo de las alturas de flujo en las tuberías, el cálculo de los caudales y también la elaboración de gráficas de comportamiento en la época seca.

Para este proyecto, se contó con datos correspondientes a los años 2016, 2017, 2018 y 2019 registrados las 24 horas y cada 5 minutos, esto quiere decir que por cada día se tienen 288 datos, dando un total de 8640 en promedio mensual y los mismos registrados cada hora en promedio anual.

2.3 Depuración de la base de datos

Mediante los sensores ultrasónicos, se recopilaron los datos, para una correcta descripción del comportamiento del caudal de aguas residuales, se procedió a la eliminación de algunos datos puesto que estos no favorecían a la congruencia de esta información. Se descartaron valores de alturas de flujo mayores al diámetro de la tubería del interceptor analizado, y también valores de caudales negativos y otros iguales a cero, lo cual no corresponde a la realidad.

También se examinó la ausencia de datos en todos los interceptores, con un mayor faltante de datos en los años 2017 y 2018, sobre todo durante las horas de la madrugada, esto podría explicarse por una posible avería en los sensores o el tiempo en que los equipos no funcionaron debido a reparaciones.

CAPÍTULO III

CÁLCULO DE ALTURAS DE FLUJO, CAUDALES Y ELABORACIÓN DE GRÁFICAS DE COMPORTAMIENTO.

3.1 Cálculo de alturas de flujo en la tubería

Para encontrar las alturas de flujo en las tuberías, se realiza un cálculo utilizando las ecuaciones que se muestran en la tabla 3.1 y fueron obtenidas en el trabajo de titulación de Carmona y Zhicay (2019), dichas ecuaciones relacionan la altura del flujo en los pozos de revisión con el nivel de agua en las tuberías de los interceptores sanitarios.

Tabla 3. 1 Ecuaciones para el cálculo de las alturas de flujo en la tubería.

NOMBRE	ECUACIÓN
Interceptor I	$y = 0.707x + 16.203$
Interceptor II	$y = 0.8061x + 4.3207$
Interceptor III	$y = 0.9407x - 13.912$
Interceptor IX	$y = 0.0241x + 10.414$
Interceptor X	$y = 0.235x + 9.9649$
Interceptor XII-A	$y = 0.6995x - 16.026$
Interceptor XVI	$y = 0.1278x + 7.2622$
Interceptor XVIII	$y = 0.2355x + 40.905$

Fuente: (Carmona & Zhicay, 2019)

Mediante el uso del software Excel, se realizó una hoja cálculo para determinar el valor de la altura de agua en la tubería y, utilizando los datos de los valores de las alturas de flujo en cada interceptor de los pozos de revisión x.

Este proceso se lo realizó en cada uno de los interceptores cuyos datos sirvieron para continuar con el cálculo del caudal del proyecto.

3.2 Cálculo de caudales

3.2.1 Cálculo de Caudal de diseño a sección llena (Q)

Luego de haber obtenido las alturas de flujo de la tubería, se procedió a realizar el cálculo de los caudales utilizando la fórmula de Manning considerando la sección llena por tal motivo se asume que $R=D/4$ y por ende se presentan las siguientes ecuaciones que se utilizaron para el cálculo:

$$V = \frac{0.3968(D)^{\frac{2}{3}}(S)^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (\text{Ecu,3.1})$$

Donde: V = Velocidad a sección llena.

D = Diámetro de la tubería.

S = Pendiente.

n = Coeficiente de rugosidad

$$Q = V \left(\frac{\pi(D)^2}{4} \right) \quad (\text{Ecu,3.2})$$

Donde: Q = Caudal a sección llena.

V = Velocidad a sección llena.

D = Diámetro de la tubería.

Para el cálculo de la velocidad y posterior el caudal de cada interceptor, se utilizó los datos de pendiente (S) y coeficiente de rugosidad (n) de la investigación realizada, en el trabajo de titulación de Carmona y Zhicay (2019), y cuyos valores se muestran en la tabla 3.2.

Tabla 3. 2 Valores de pendiente y coeficiente de rugosidad para cada interceptor.

Nombre	Pendiente (S)	Coefficiente de Rugosidad (n)
Interceptor I	0.017	0.002
Interceptor II	0.014	0.006
Interceptor III	0.014	0.009
Interceptor IX	0.014	0.013
Interceptor X	0.014	0.001
Interceptor XII-A	0.009	0.001
Interceptor XVI	0.009	0.001
Interceptor XVIII	0.014	0.004

Fuente: (Carmona & Zhicay, 2019)

3.2.2 Cálculo de Caudal real (q)

Para obtener el valor del caudal real, se realizó una hoja de cálculo en la que previamente se determinó la altura de agua (y); y conociendo el diámetro de tubería de cada interceptor (D) se puede obtener el valor de y/D ; el cual, permite relacionar el q/Q ; y así proceder a encontrar el valor del caudal real (q), ya que se tiene el valor del caudal de diseño (Q) calculado previamente.

3.2.3 Caudal de Infiltración observado (q_i)

para llegar a obtener dicho caudal, se analizó de forma detallada las gráficas que contienen los datos emitidos cada cinco minutos, esto se realizó en horas de la madrugada, ya que es cuando se tuvo menos actividad humana, por ende, menos alteración en el caudal sanitario, pudiendo ser más clara la observación del caudal de infiltración.

En la tabla 3.3 se muestran las horas en las cuales se observaron los datos de caudal de infiltración y en la tabla 3.4 los valores de dichos caudales por cada interceptor.

Tabla 3. 3 Horas de observación del caudal de infiltración.

INTERCEPTOR	HORAS (INTERVALOS)
INTERCEPTOR I	1:00h - 6:15h
INTERCEPTOR II	1:25h - 4:20h
INTERCEPTOR III	21:00h - 5:10h
INTERCEPTOR IX	0:00h - 4:10h
INTERCEPTOR X	20:45h - 5:35h
INTERCEPTOR XII-A	22:00h - 9:15h
INTERCEPTOR XVI	20:30h - 7:45h
INTERCEPTOR XVIII	2:30h - 5:50h

Fuente: Autores.

Tabla 3. 4 Valores de los caudales de infiltración por Interceptor.

INTERCEPTOR	Qinf(OBSERVADO) (m ³ /s)	LONGITUD(m)	Qinf(OBSERVADO) (lt*s/km)
I	0.716	21879.63	32.72
II	0.089	7654.75	11.63
III	0.012	3490.19	3.44
IX	0.031	9987.09	3.10
X	0.012	5121.15	2.34
XII-A	0.065	7865.88	8.26
XVI	0.009	6323.57	1.42
XVIII	0.1	10207.65	9.80

Fuente: Autores.

3.3 Elaboración de las gráficas de caudal sanitario y caudal de infiltración

Este análisis sirve para determinar el funcionamiento del caudal sanitario y de infiltración en las redes de tuberías de los interceptores sanitarios I, II, III, IX, X, XII-A, XVI y XVIII en época de sequía.

Para poder ilustrar las gráficas de datos del caudal que circula por los interceptores se ha elegido realizar 2 graficas mensuales de cada interceptor, donde se reflejará el caudal más bajo y el más alto por año y 3 gráficos con datos tomados cada hora correspondiente al 2016, 2017 y 2018, estas, serán en base a los datos recopilados, las que proporcionen las gráficas más representativas para cada uno de los 8 interceptores estudiados, en las cuales se refleja como varia el caudal en dependencia de la temporada o mes de sequía.

3.4 Análisis de caudales de la época de sequia

Para realizar el análisis en cuanto al comportamiento del caudal sanitario y de infiltración, ha sido necesario determinar los meses en los cuales no exista aporte de caudal por aguas lluvia, utilizando así solamente los valores registrados solamente de las aguas residuales que llegan a cada interceptor.

3.4.1 Curvas de caudales en época de sequia

Al realizar las gráficas, se observa que, en horas del día, el caudal de aguas residuales incrementa en relación al caudal en horas de la madrugada, esto, debido a que el aporte domiciliario es mayor en el día.

Se nota también un comportamiento similar en las variaciones del caudal residual a lo largo del mes, pues, se determinó que la época de sequía se encuentra entre los meses de junio, julio, agosto y septiembre que son los meses en los cuales existieron periodos más largos sin precipitaciones.

3.5 Gráficos mensuales del comportamiento del caudal en los interceptores con datos tomados cada 5 minutos.

INTERCEPTOR I

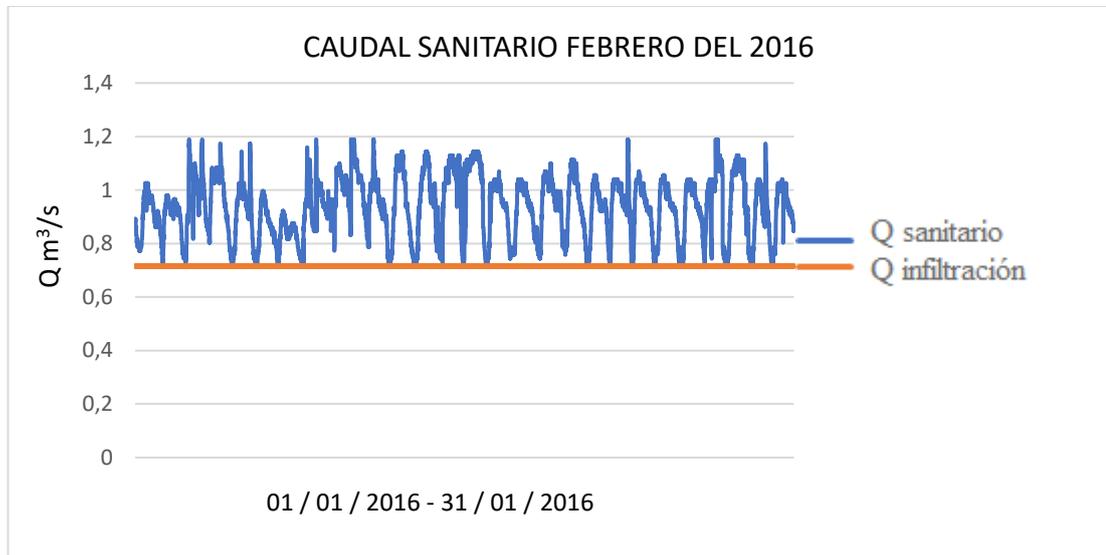


Figura 3. 1 Caudal sanitario del mes de febrero del 2016.

Fuente: Autores

El caudal de infiltración para este mes, se ha mantenido constante en sus valores más bajos de $0.716 \text{ m}^3/\text{s}$ y su caudal sanitario a un valor máximo de $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$.

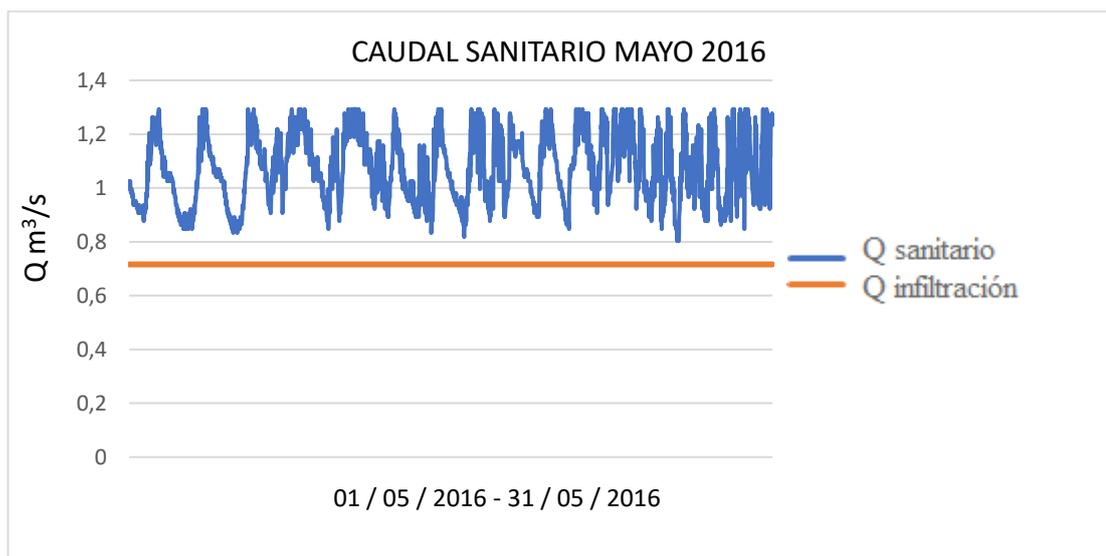


Figura 3. 2 Caudal sanitario del mes de mayo del 2016.

Fuente: Autores

El caudal sanitario mínimo demuestra un aumento de $0.716 \text{ m}^3/\text{s}$ a $0.8 \text{ m}^3/\text{s}$, así también el caudal sanitario, llegando a un valor máximo de $1.3 \text{ m}^3/\text{s}$.

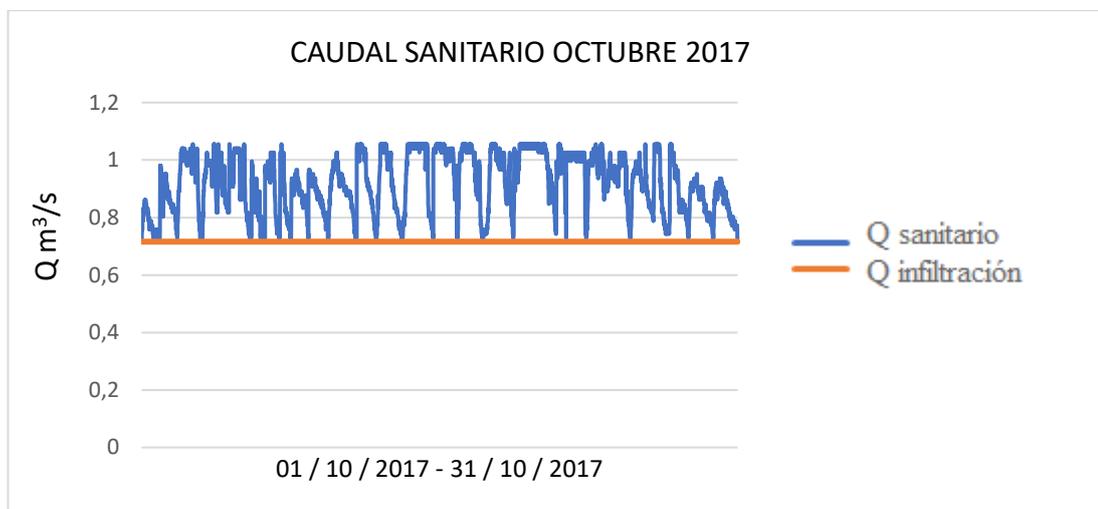


Figura 3. 3 Caudal sanitario del mes de octubre del 2017.

Fuente: Autores

En esta temporada el caudal sanitario, en el valor de su caudal máximo, muestra un descenso, con un valor de $1.05 \text{ m}^3/\text{s}$, y, con respecto al caudal de infiltración se mantiene constante en los $0.716 \text{ m}^3/\text{s}$.

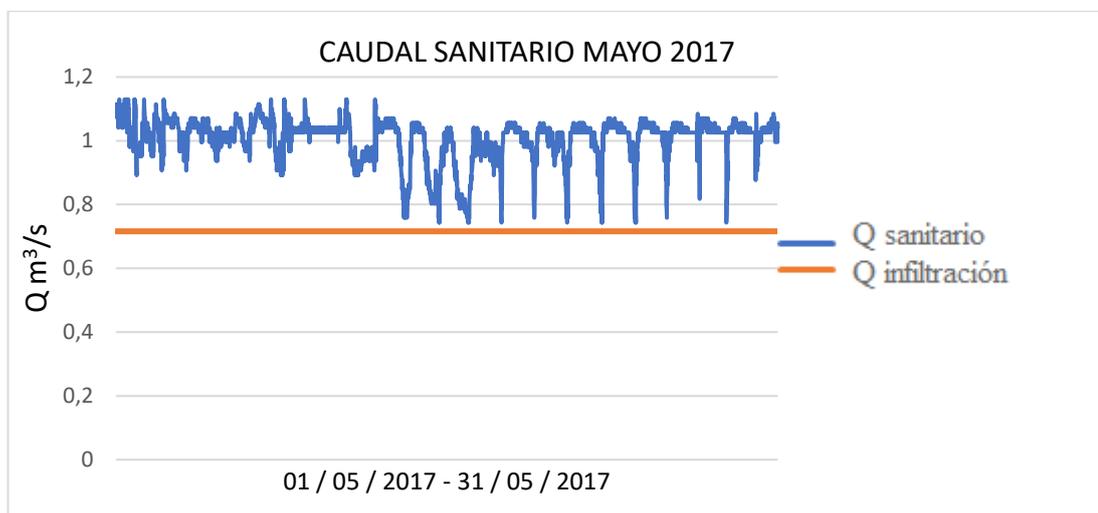


Figura 3. 4 Caudal sanitario del mes de mayo del 2017.

Fuente: Autores

En los primeros días de mayo, este interceptor muestra un comportamiento irregular en su caudal, el cual, a mediados de este mes, demuestra una tendencia diaria más regular con valores de caudal similares al des más bajo del mismo año.

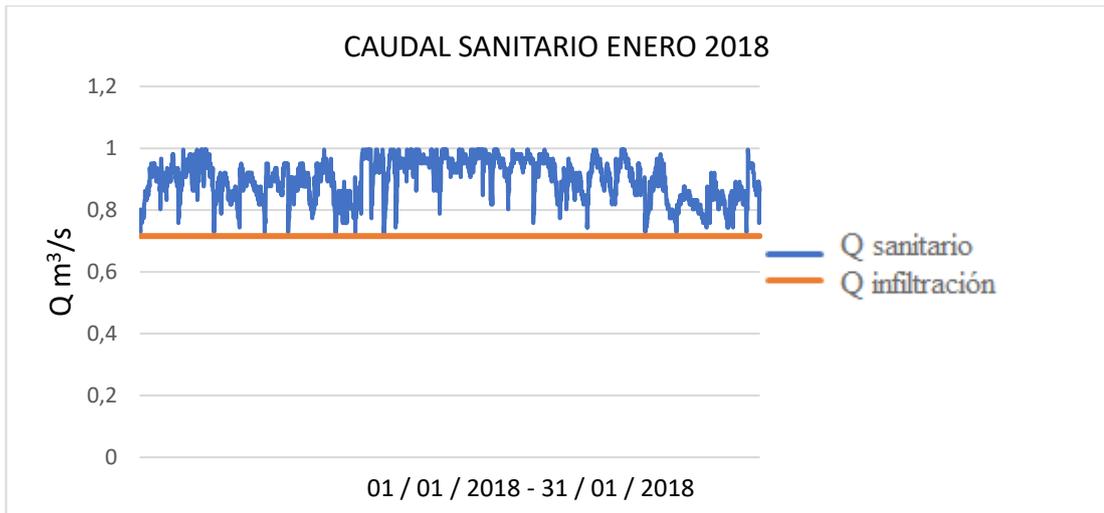


Figura 3. 5 Caudal sanitario del mes de enero del 2018.

Fuente: Autores

Para el año 2018 el mes más bajo, mantiene regular su caudal de infiltración, con el valor observado de $0.716 \text{ m}^3/\text{s}$ y con su valor máximo de caudal sanitario de $1 \text{ m}^3/\text{s}$.

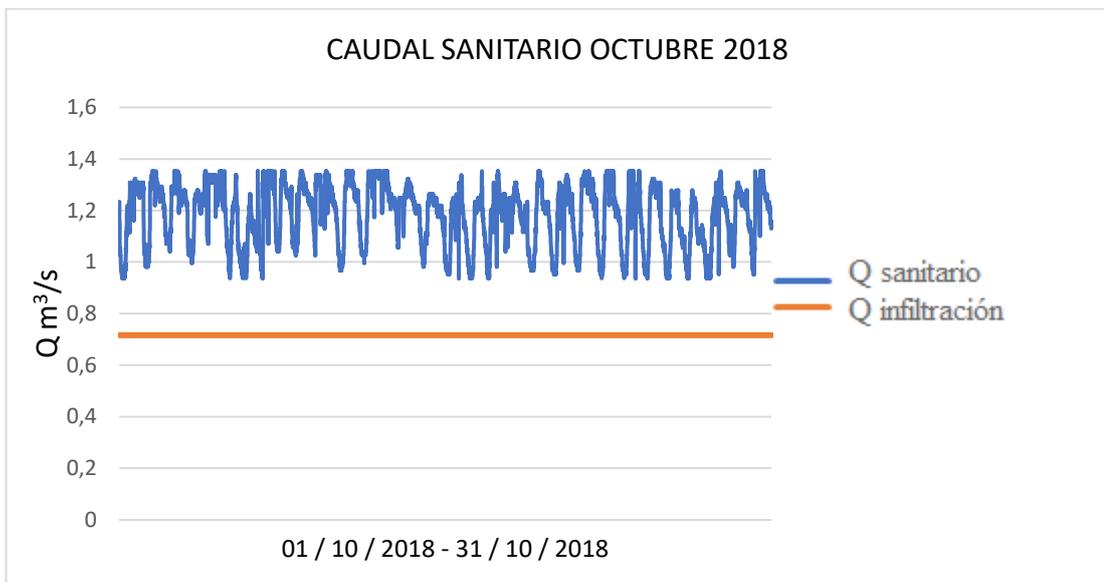


Figura 3. 6 Caudal sanitario del mes de octubre del 2018.

Fuente: Autores

En este mes, el caudal sanitario muestra un aumento tanto en su caudal de infiltración como en su valor máximo de caudal sanitario, con valores de $0.95 \text{ m}^3/\text{s}$ y $1.38 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente.

EL interceptor I, a lo largo del tiempo analizado, muestra un comportamiento regular, manteniendo casi en su totalidad el valor mínimo de caudal de infiltración de 0.716

m³/s, sin embargo, para el año 2018 el caudal sanitario mayor registrado fue de 1.38 m³/s, el cual tiende a regularizarse pues ha sido lo que se ha observado en los años anteriores.

INTERCEPTOR II

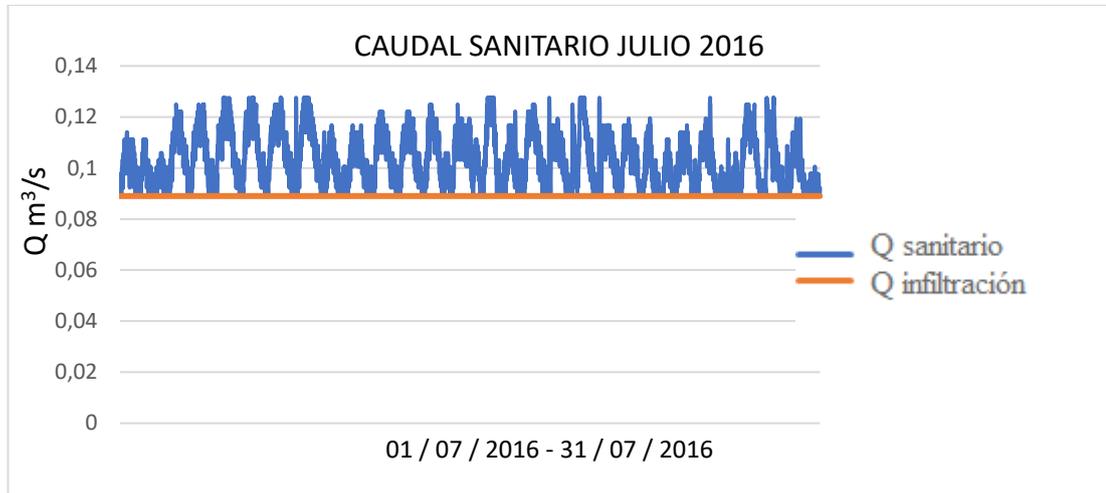


Figura 3. 7 Caudal sanitario del mes de julio del 2016.

Fuente: Autores

Este mes, observado como el más bajo, muestra un comportamiento regular, con su caudal de infiltración mínimo de 0.089 m³/s, y su caudal sanitario máximo que varía de los 0.115 m³/s hasta los 0.13 m³/s.

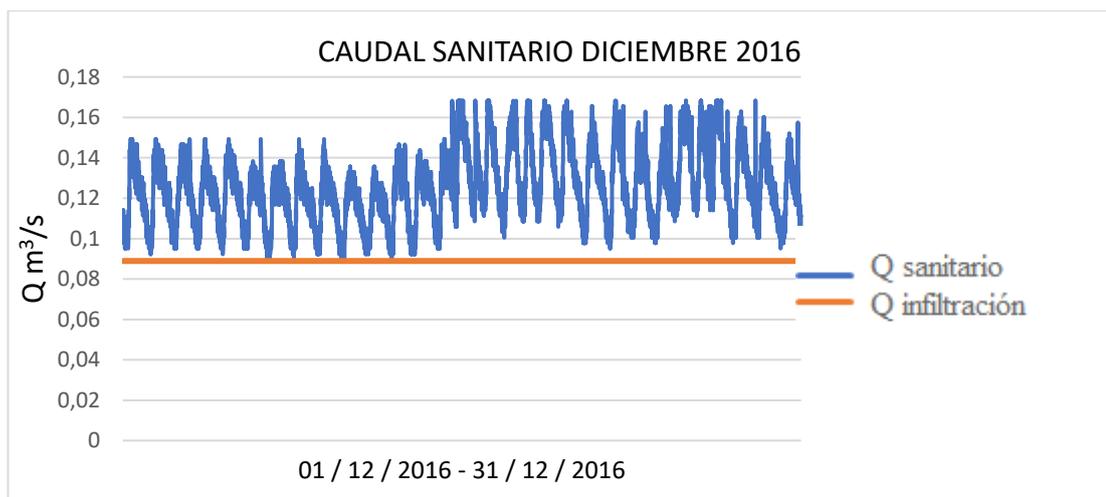


Figura 3. 8 Caudal sanitario del mes de diciembre del 2016.

Fuente: Autores

Hasta mediados del mes de diciembre el caudal sanitario máximo de mantenía en los $0.15 \text{ m}^3/\text{s}$, pero en la siguiente quincena este aumento a los $0.17 \text{ m}^3/\text{s}$, sin embargo el caudal de infiltración no sufrió los mismos cambios relativos, pero si un aumento de $0.01 \text{ m}^3/\text{s}$.

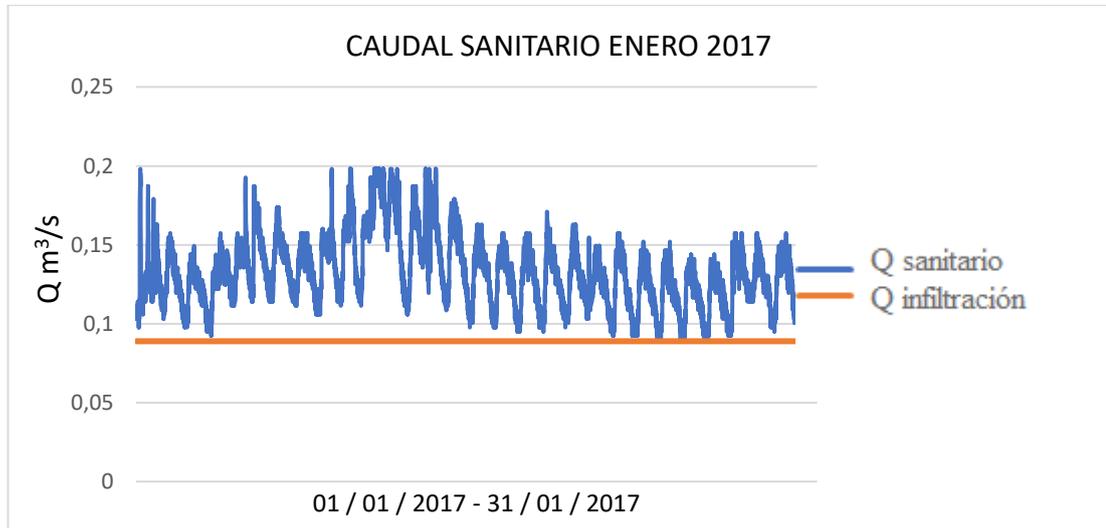


Figura 3. 9 Caudal sanitario del mes de enero del 2017.

Fuente: Autores

Este mes muestra un comportamiento irregular en su caudal sanitario, en el cual siempre se llega a bordear el valor mínimo de caudal de infiltración, siendo en sus valores de caudal máximo los cambios de $0.16 \text{ m}^3/\text{s}$ hasta los $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$.

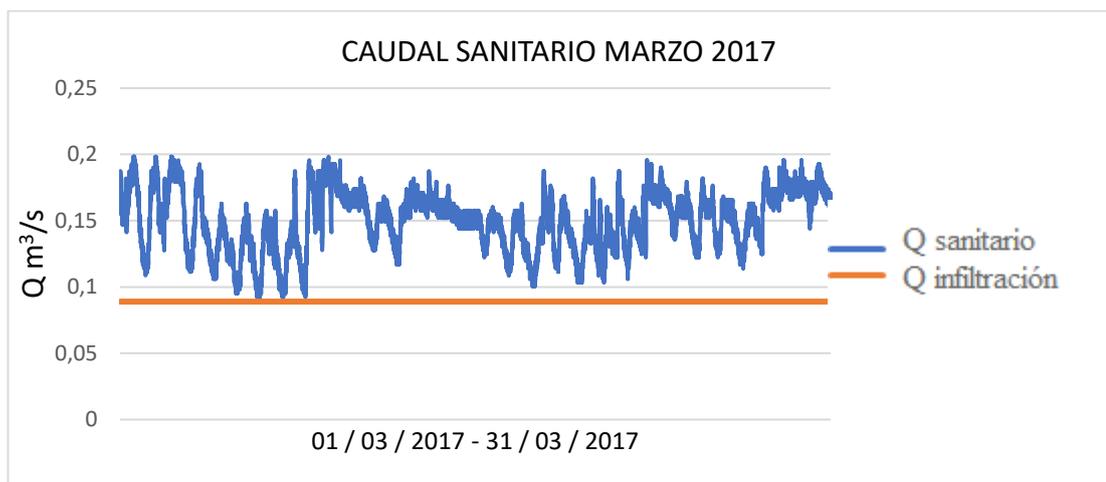


Figura 3. 10 Caudal sanitario del mes de marzo del 2017.

Fuente: Autores

Ese mes se lo ha tomado como el que registra los valores más altos de caudal sanitario no porque haya registrado valores mayores, si no que en promedio si valor más alto son más frecuentes que para el mes más bajo.

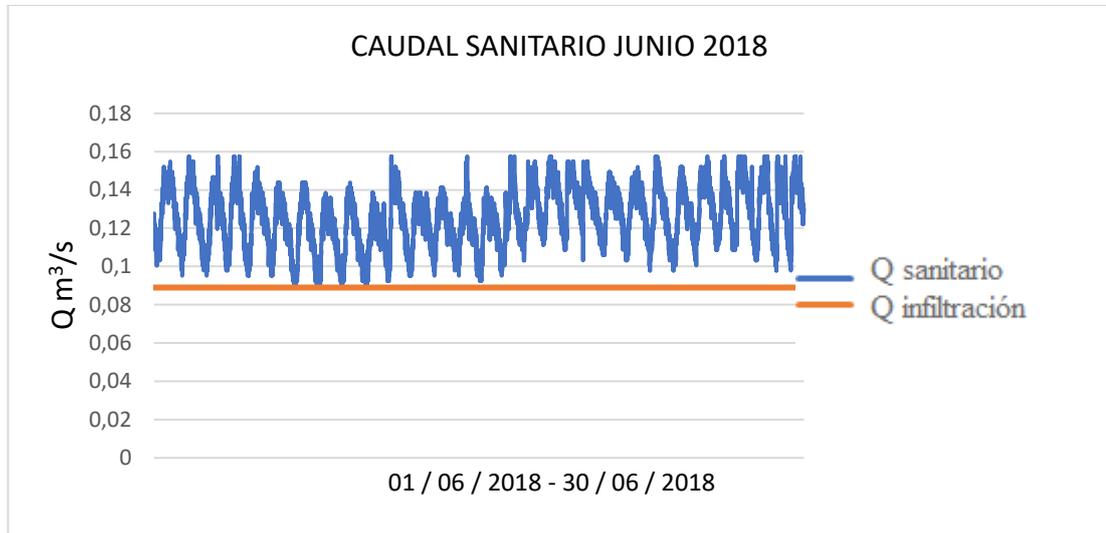


Figura 3. 11 Caudal sanitario del mes de junio del 2018.

Fuente: Autores

Este mes, demuestra un comportamiento regular y siempre tendiendo al valor mínimo de infiltración de 0.089 m³/s, así también como el caudal máximo en 0.16 m³/s.

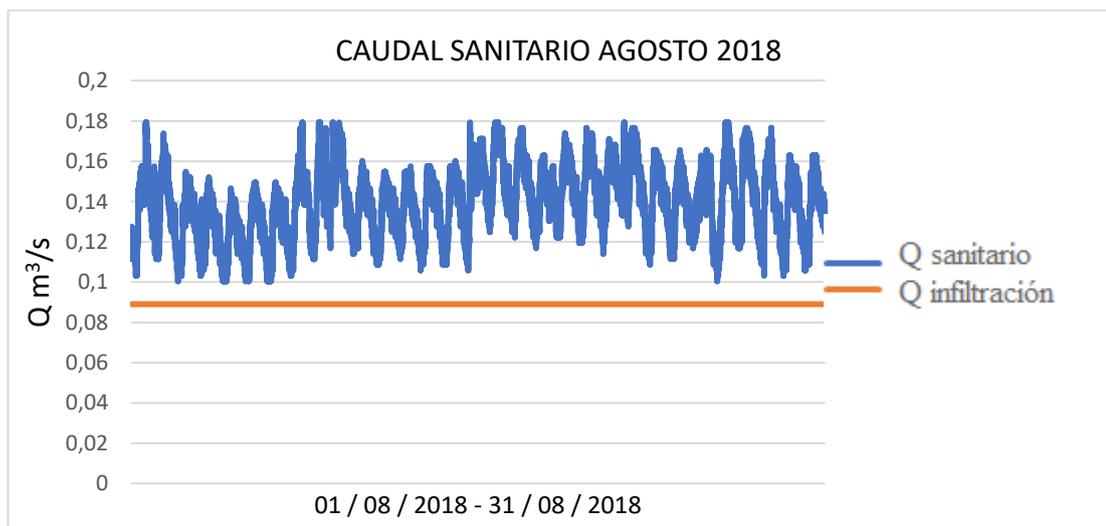


Figura 3. 12 Caudal sanitario del mes de agosto del 2018.

Fuente: Autores

Para el mes de caudal sanitario más alto, se tomó el de agosto, pues el caudal sanitario aumentó tanto en el de infiltración como su valor máximo siendo estos de $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ y $0.18 \text{ m}^3/\text{s}$. Sin embargo se muestra un comportamiento regular a lo largo de este mes.

El interceptor II mantiene siempre su valor más bajo de caudal de infiltración de $0.089 \text{ m}^3/\text{s}$, siendo solo su valor máximo el que muestra variaciones, dependiendo estas del uso de la ciudad el cual se aprecia no es constante.

INTERCEPTOR III

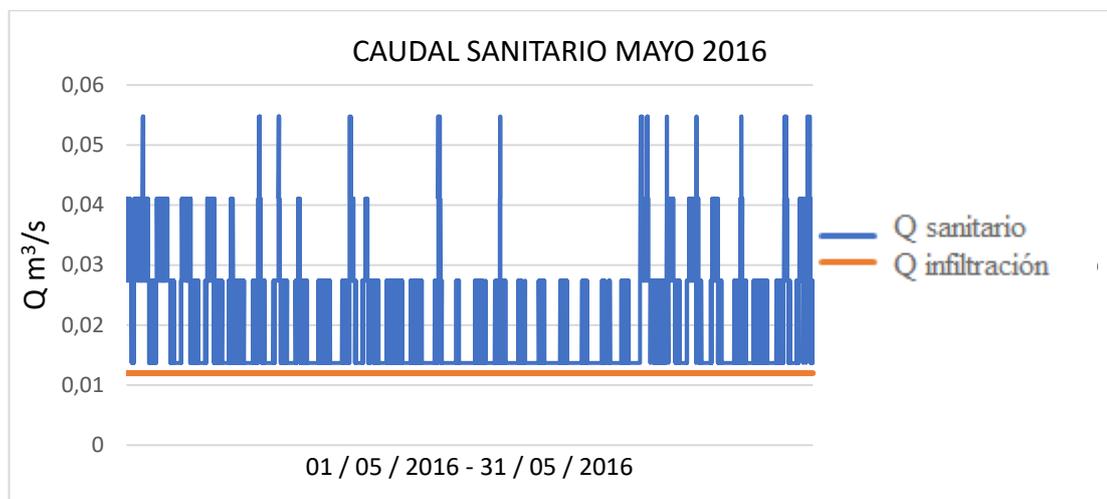


Figura 3. 13 Caudal sanitario del mes de mayo del 2016.

Fuente: Autores

Este mes muestra ciertos picos de irregularidad en su valor máximo, sin embargo, sigue siendo el menor para el año 2016, con un valor de $0.06 \text{ m}^3/\text{s}$ y su valor mínimo de caudal de infiltración de $0.012 \text{ m}^3/\text{s}$.

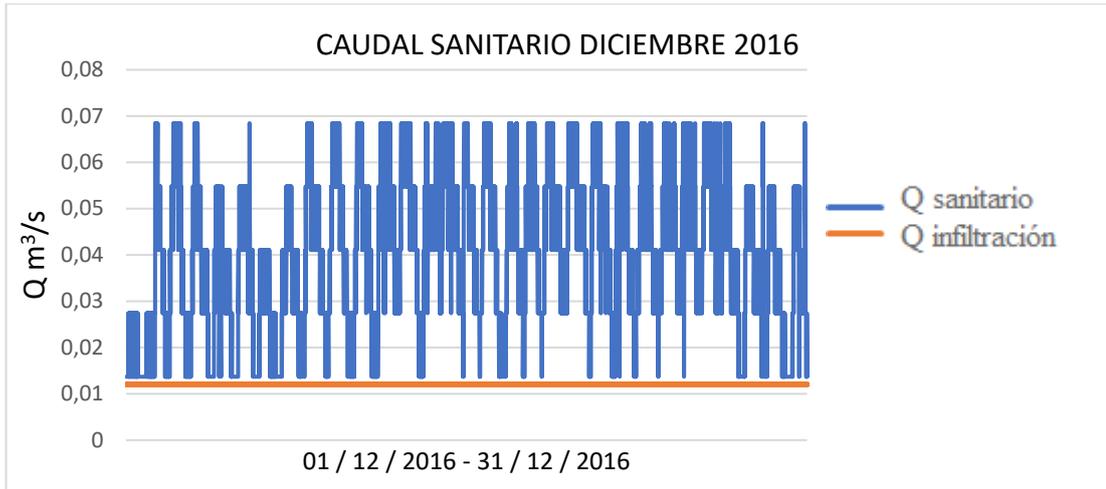


Figura 3. 14 Caudal sanitario del mes de diciembre del 2016.

Fuente: Autores

Este mes demuestra una regularidad en su caudal máximo y mínimo de $0.069 \text{ m}^3/\text{s}$ y el valor de caudal de infiltración de $0.012 \text{ m}^3/\text{s}$.

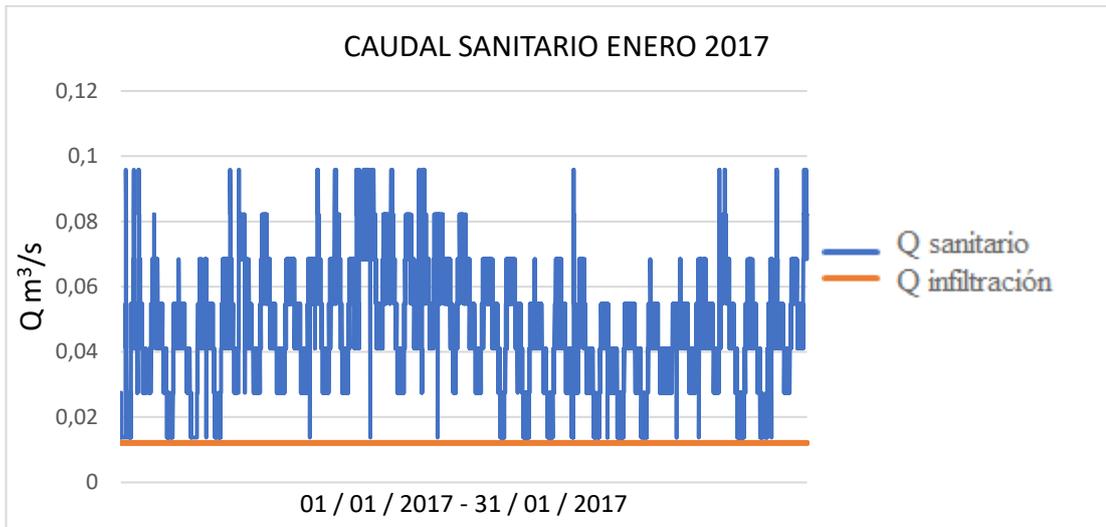


Figura 3. 15 Caudal sanitario del mes de enero del 2017.

Fuente: Autores

Se mantiene el valor mínimo de caudal de infiltración de $0.012 \text{ m}^3/\text{s}$, y un caudal sanitario de $0.095 \text{ m}^3/\text{s}$, el cual es el máximo registrado para este mes.

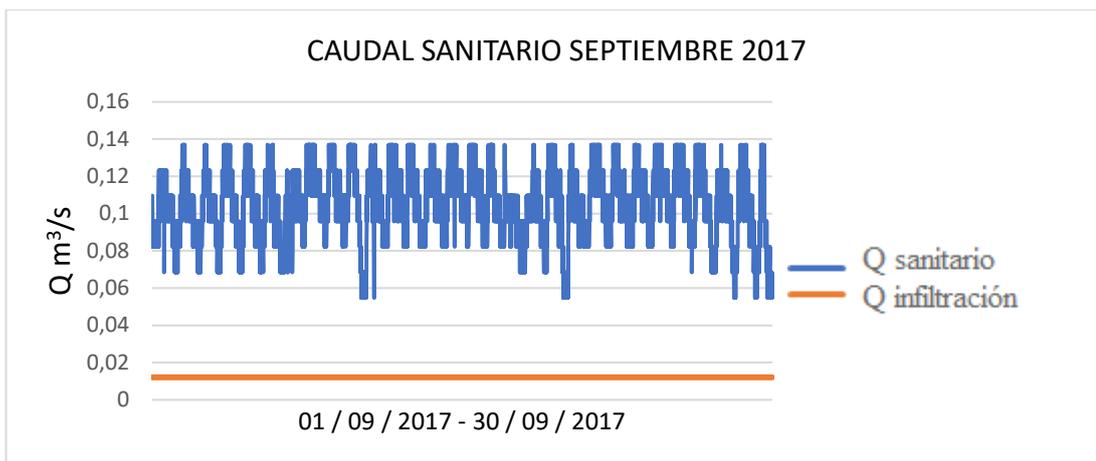


Figura 3. 16 Caudal sanitario del mes de septiembre del 2017.

Fuente: Autores

Para este año, se observó un aumento significativo del caudal sanitario en el mes de septiembre, el cual se muestra regular, pero con valores mucho mayores de caudal de infiltración de $0.07 \text{ m}^3/\text{s}$ y su valor máximo de caudal sanitario que se mantuvo en los $0.135 \text{ m}^3/\text{s}$.

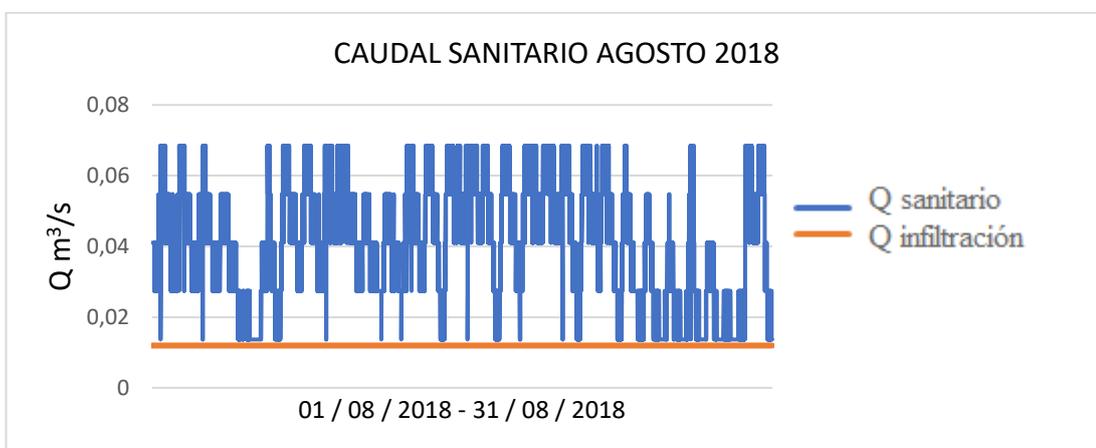


Figura 3. 17 Caudal sanitario del mes de agosto del 2018.

Fuente: Autores

El mes más bajo en el 2018, mantuvo su caudal de infiltración en el valor constante de $0.012 \text{ m}^3/\text{s}$, así también en su valor máximo de caudal de infiltración de $0.07 \text{ m}^3/\text{s}$.

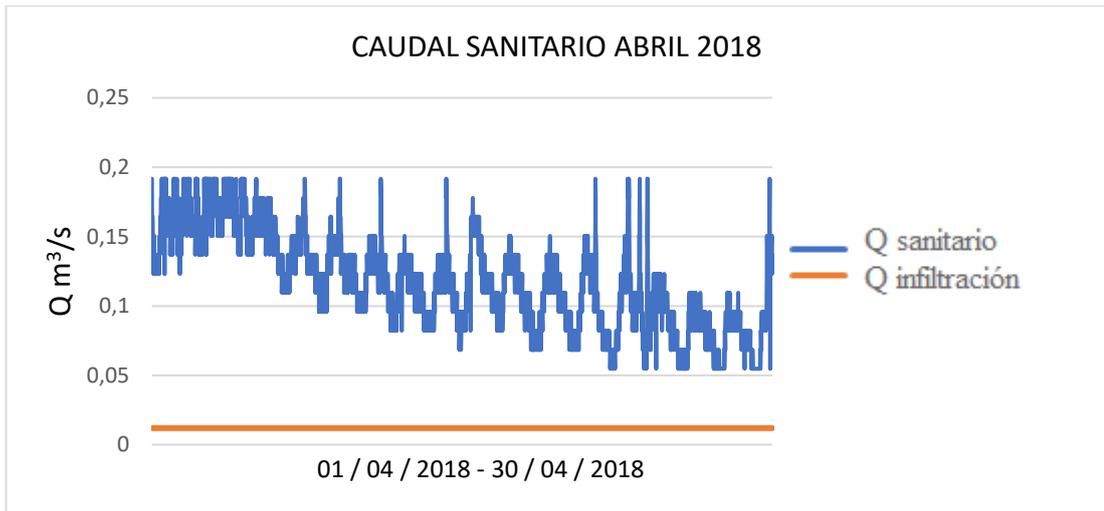


Figura 3. 18 Caudal sanitario del mes de abril del 2018.

Fuente: Autores

Este mes muestra un comportamiento irregular en cuanto al caudal de infiltración el cual desciende de los $0.14 \text{ m}^3/\text{s}$ hasta $0.055 \text{ m}^3/\text{s}$, pero sin llegar al valor mínimo registrado de $0.012 \text{ m}^3/\text{s}$, no así en su valor máximo, el cual se mantuvo constante en los $0.19 \text{ m}^3/\text{s}$.

El intercepto III, no ha mostrado valores de infiltración menores de $0.012 \text{ m}^3/\text{s}$. También este interceptor muestra cierta variación en su caudal sanitario registrado mes a mes por cada año, el cual tiende a aumentar, lo cual es lógico debido a las nuevas conexiones dadas a lo largo del tiempo.

INTERCEPTOR IX

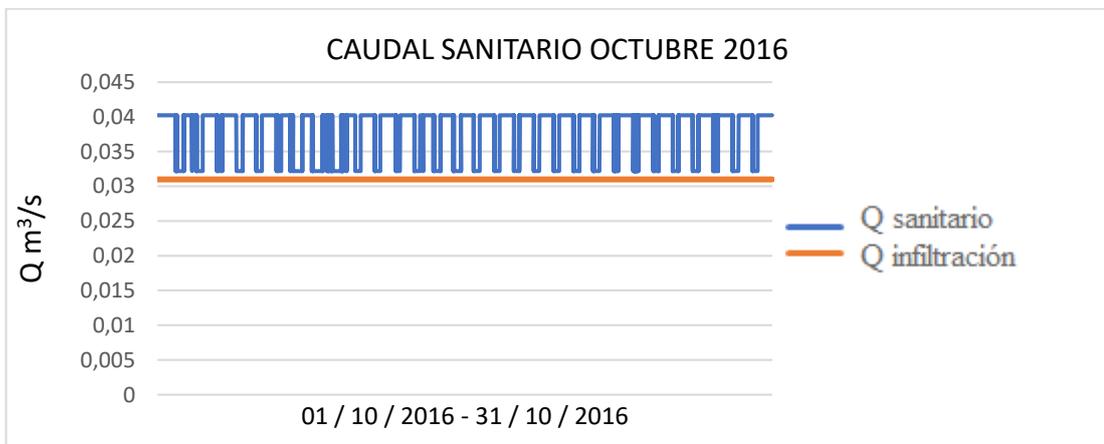


Figura 3. 19 Caudal sanitario del mes de octubre del 2016.

Fuente: Autores

Este mes muestra un caudal mínimo de infiltración de $0.031 \text{ m}^3/\text{s}$ y un valor de caudal máximo sanitario de $0.04 \text{ m}^3/\text{s}$.

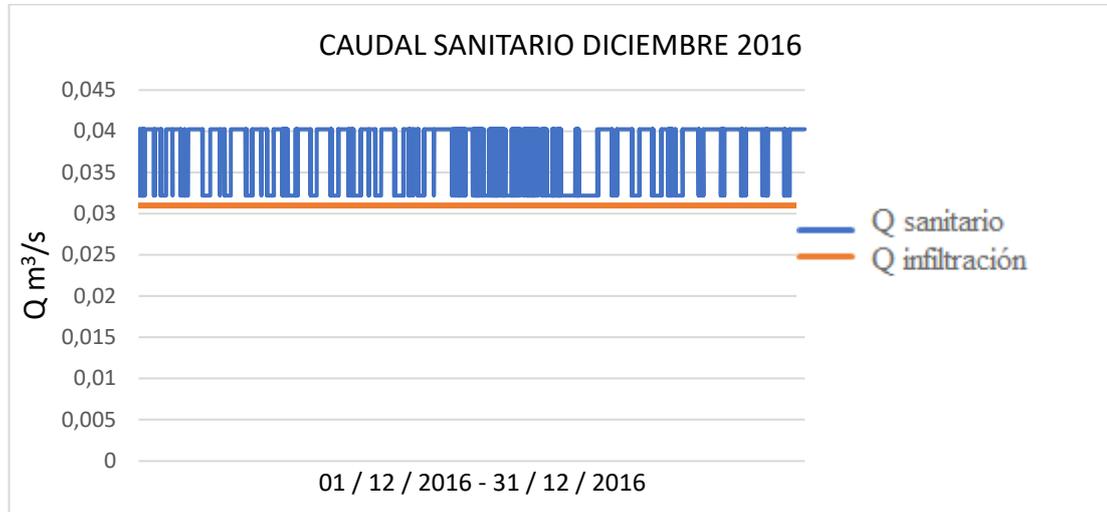


Figura 3. 20 Caudal sanitario del mes de diciembre del 2016.

Fuente: Autores

Para el año 2016 el caudal sanitario tanto en su caudal de infiltración como su máximo valor registrado, se mantuvieron constantes meses anteriores con valores de $0.031 \text{ m}^3/\text{s}$ y $0.04 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente.

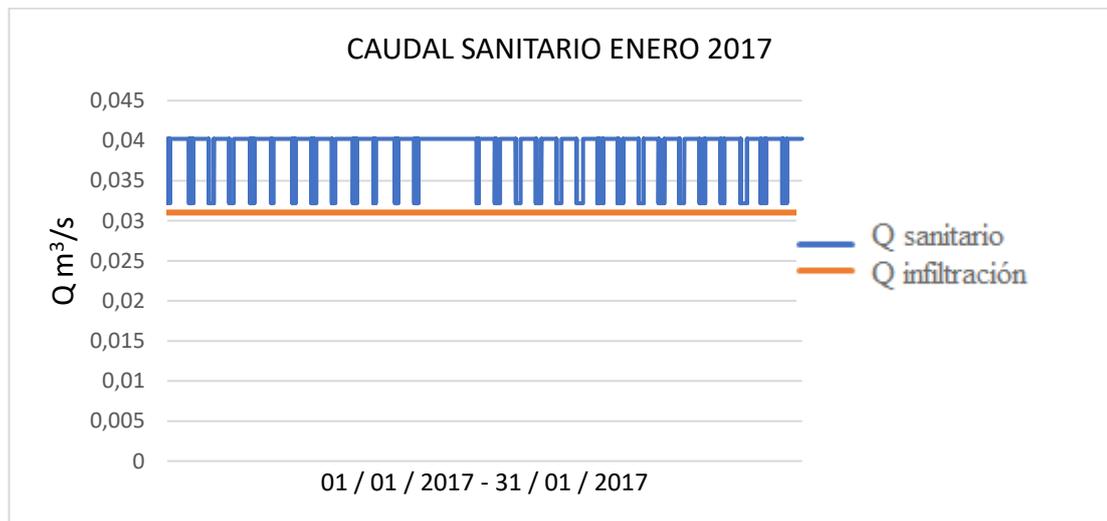


Figura 3. 21 Caudal sanitario del mes de enero del 2017.

Fuente: Autores

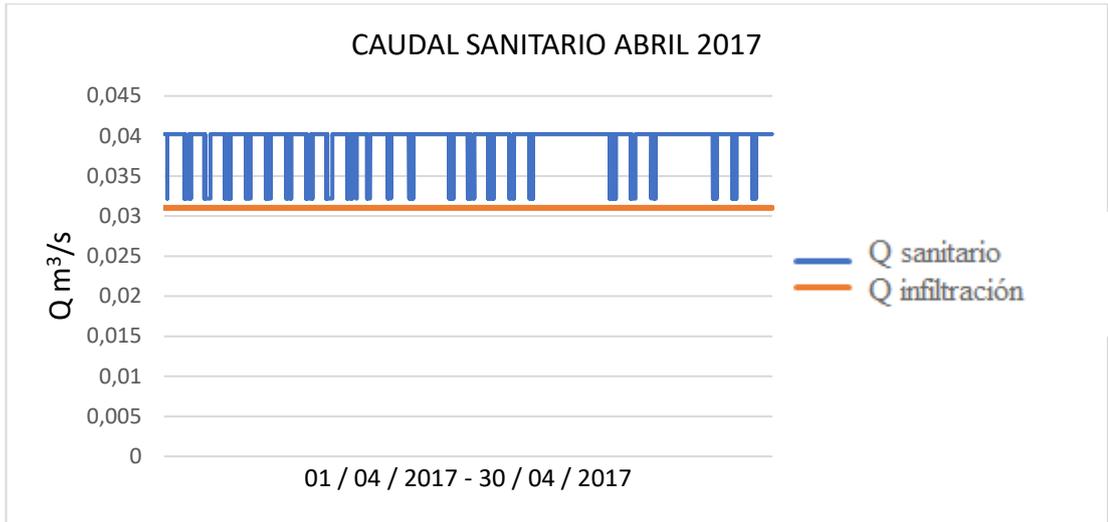


Figura 3. 22 Caudal sanitario del mes de abril del 2017.

Fuente: Autores

En este año, los valores menores registrados se mantienen iguales que en el 2016, solo mostrando falta de datos los cuales se reflejan en la falta de regularidad de las gráficas obtenidas.

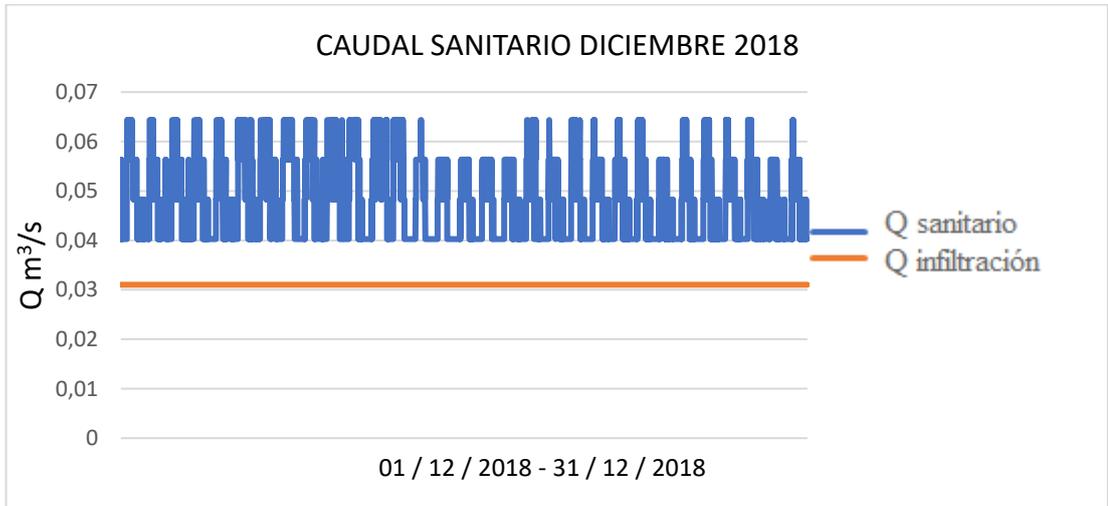


Figura 3. 23 Caudal sanitario del mes de diciembre del 2018.

Fuente: Autores

Para el año 2018, el caudal sanitario aumento, siendo sus valores máximos, ahora el valor mínimo de infiltración de 0.04 m³/s y su caudal máximo llegando a los 0.065 m³/s

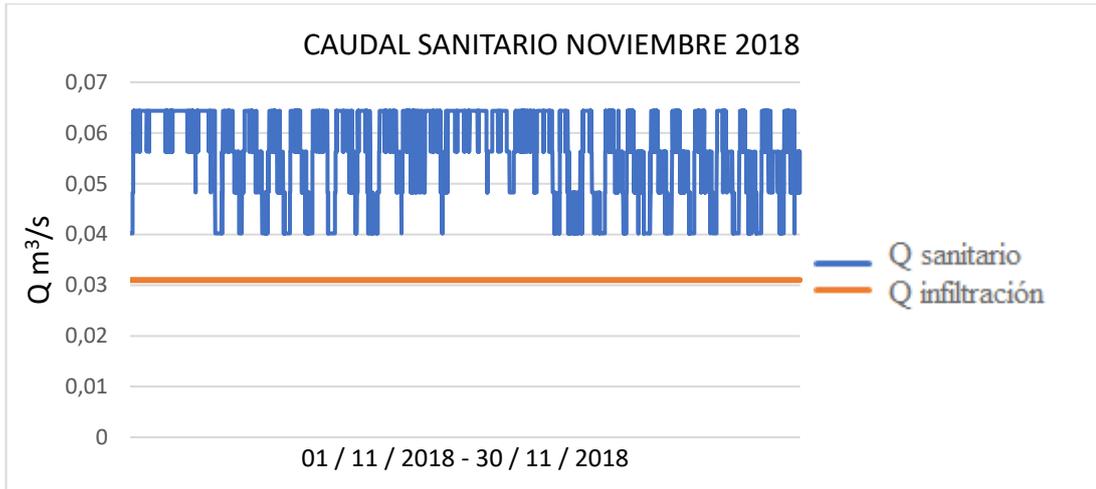


Figura 3. 24 Caudal sanitario del mes de noviembre del 2018.

Fuente: Autores

los valores se mantuvieron constantes para el año 2018 con un mínimo de infiltración de 0.04 m³/s y un máximo de 0.065 m³/s.

El interceptor IX, ha mostrado regularidad año a año en el comportamiento de su caudal de aguas residuales, manteniéndose constante en los 2 primeros años registrado y un aumentó considerable para el año 2018. En este interceptor el caudal registrado es el más regular y cíclico de todos los estudiados, llegando a valores mínimos y máximos, los cuales no muestran ninguna variación y se mantienen así por todo el mes analizado.

INTERCEPTOR X

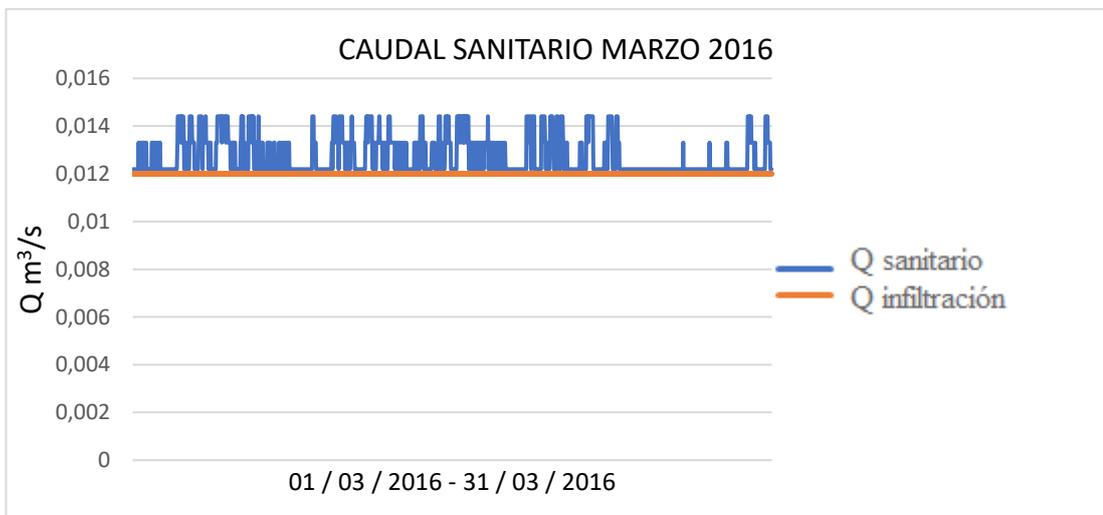


Figura 3. 25 Caudal sanitario del mes de marzo del 2016.

Fuente: Autores

El caudal de infiltración a lo largo de este mes se ha mantenido constante en su valor de $0.012 \text{ m}^3/\text{s}$, mostrando en sus días valores pico diferentes de $0.0135 \text{ m}^3/\text{s}$, hasta los $0.0145 \text{ m}^3/\text{s}$.

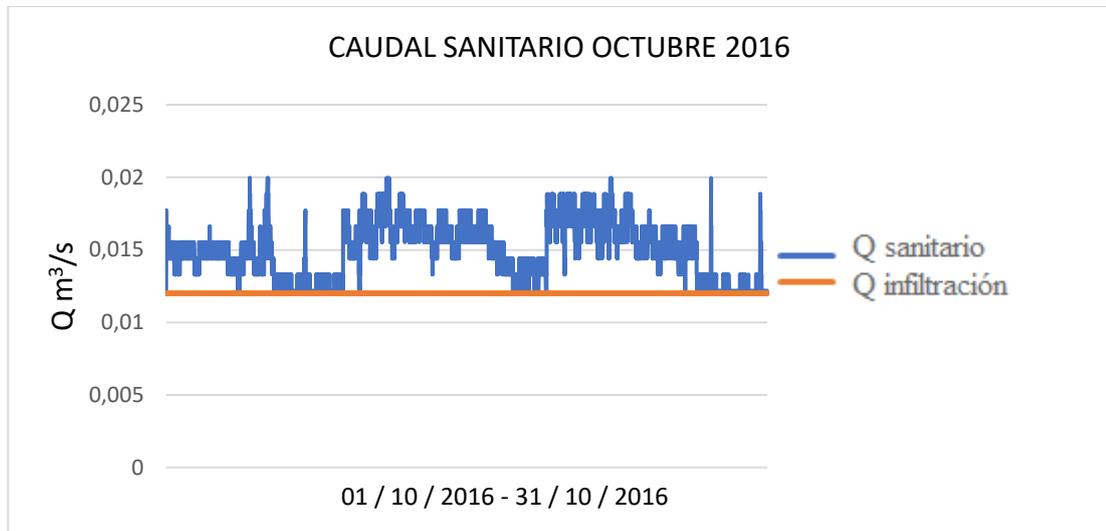


Figura 3. 26 Caudal sanitario del mes de octubre del 2016.

Fuente: Autores

Para este mes, el comportamiento que observamos se lo puede definir como una variación semanal del caudal, pues el caudal de infiltración llega a su valor en los días de fin de semana y en los siguientes se observa un aumento del caudal sanitario, llegando a los $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$.

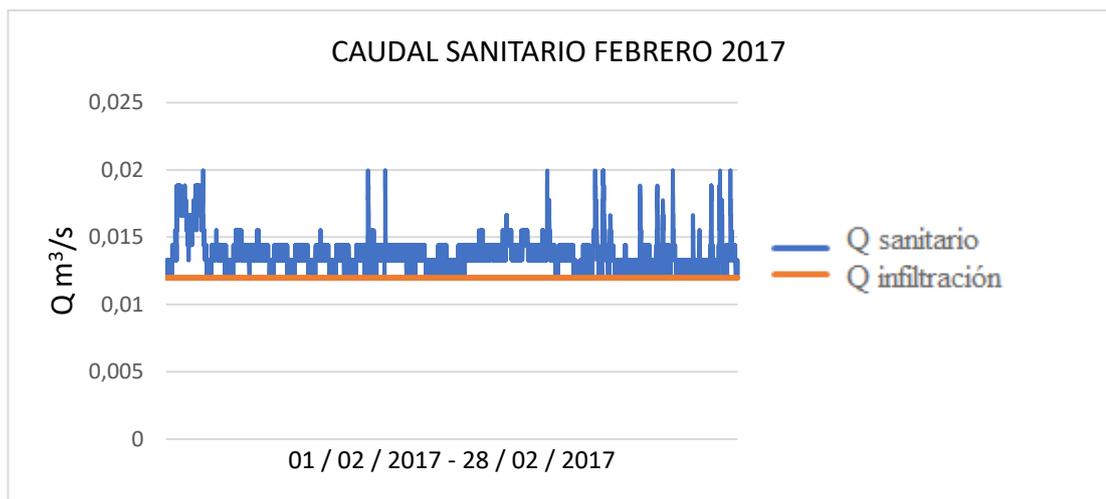


Figura 3. 27 Caudal sanitario del mes de febrero del 2017.

Fuente: Autores

El valor de caudal de infiltración de este interceptor no muestra un cambio, sin embargo, se observan valores picos los cuales corresponderían a días en los cuales se presentaron precipitaciones que elevan el caudal sanitario de $0.014 \text{ m}^3/\text{s}$ hasta los $0.02 \text{ m}^3/\text{s}$.

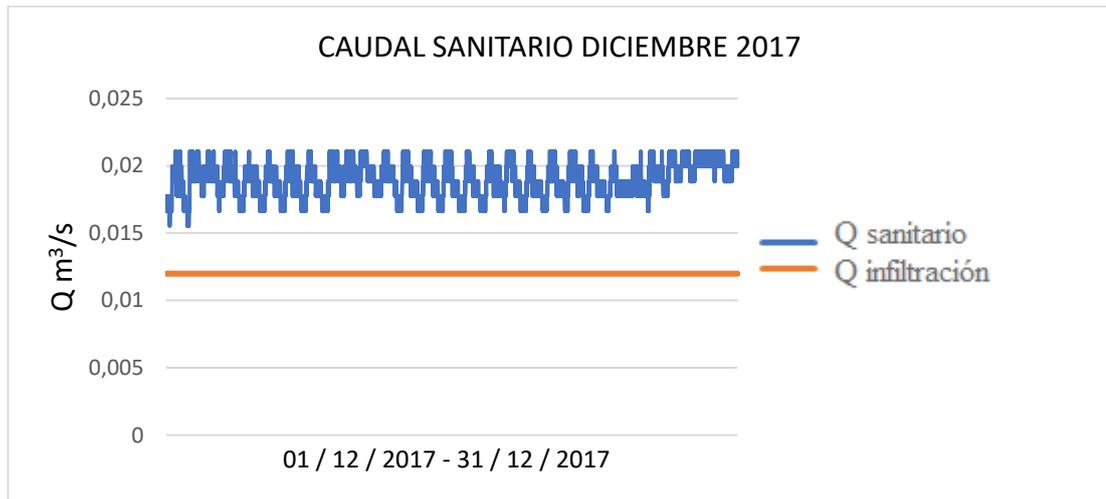


Figura 3. 28 Caudal sanitario del mes de diciembre del 2017.

Fuente: Autores

Para el caudal más alto en este año, el comportamiento se muestra más regular, con un aumento tanto en el caudal de infiltración y el sanitario de $0.015 \text{ m}^3/\text{s}$ y $0.022 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente.

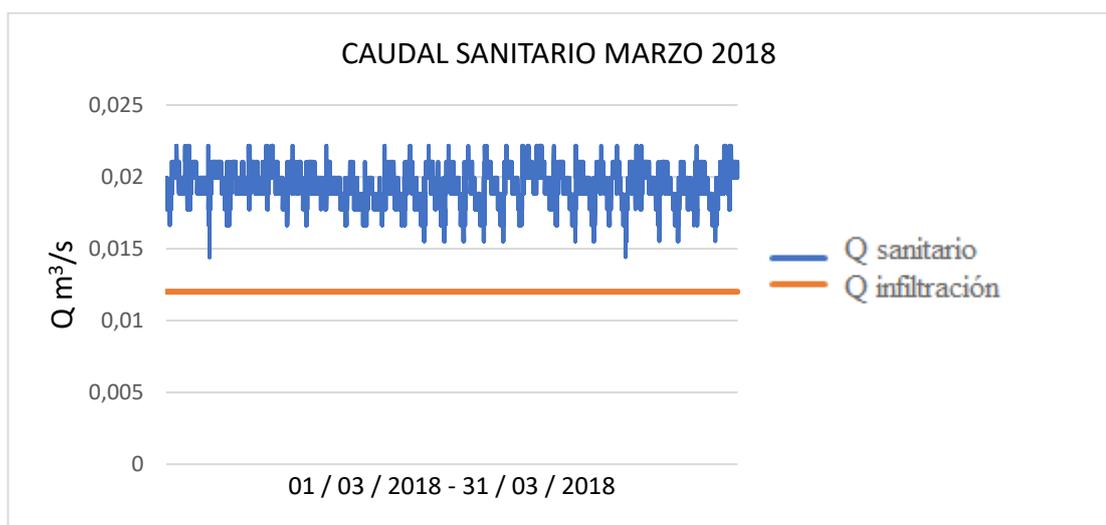


Figura 3. 29 Caudal sanitario del mes de marzo del 2018.

Fuente: Autores

El valor de caudal de infiltración en este año ya no es el que se ha venido presentando, pues muestra un aumento de $0.012 \text{ m}^3/\text{s}$ hasta el año 2017 a 0.015 para el año 2018, así también en el máximo registrado para el caudal sanitario de $0.023 \text{ m}^3/\text{s}$.

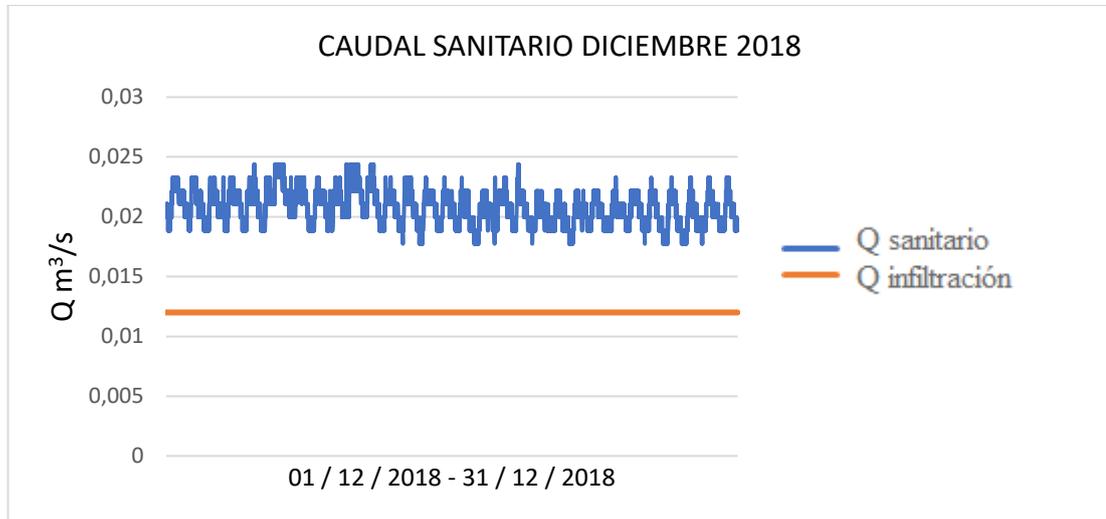


Figura 3. 30 Caudal sanitario del mes de diciembre del 2018.

Fuente: Autores

Se observa que el caudal de infiltración se mantiene constante en valores mucho mayores al del año inicial estudiado, ahora este de $0.017 \text{ m}^3/\text{s}$ y también el caudal sanitario ahora alcanzando los $0.025 \text{ m}^3/\text{s}$.

Este intercepto se ha comportado de una manera irregular a lo largo del tiempo, presentando un aumento normal en cuanto al caudal sanitario, pero no así el caudal de infiltración pues en este no se esperaría un aumento tan representativo a lo largo del tiempo de uso.

INTERCEPTOR XII-A

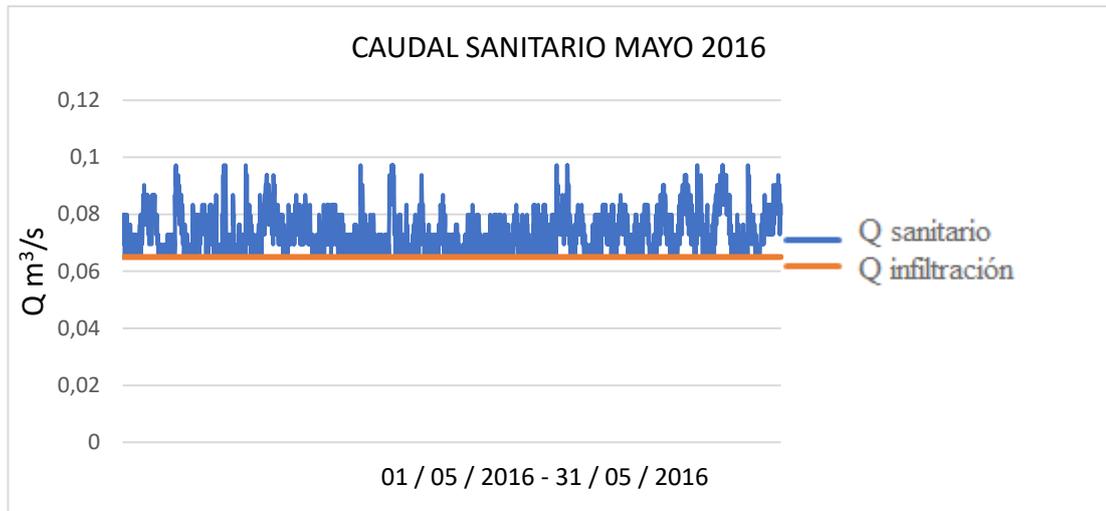


Figura 3. 31 Caudal sanitario del mes de mayo del 2016.

Fuente: Autores

Analizando el mes de mayo, como el de menor caudal, se observa una regularidad en sus valores en 2 valores, uno en los $0,085 \text{ m}^3/\text{s}$ y otro como valor máximo de $0,095$, y su valor de caudal de infiltración constante en los $0,065 \text{ m}^3/\text{s}$.

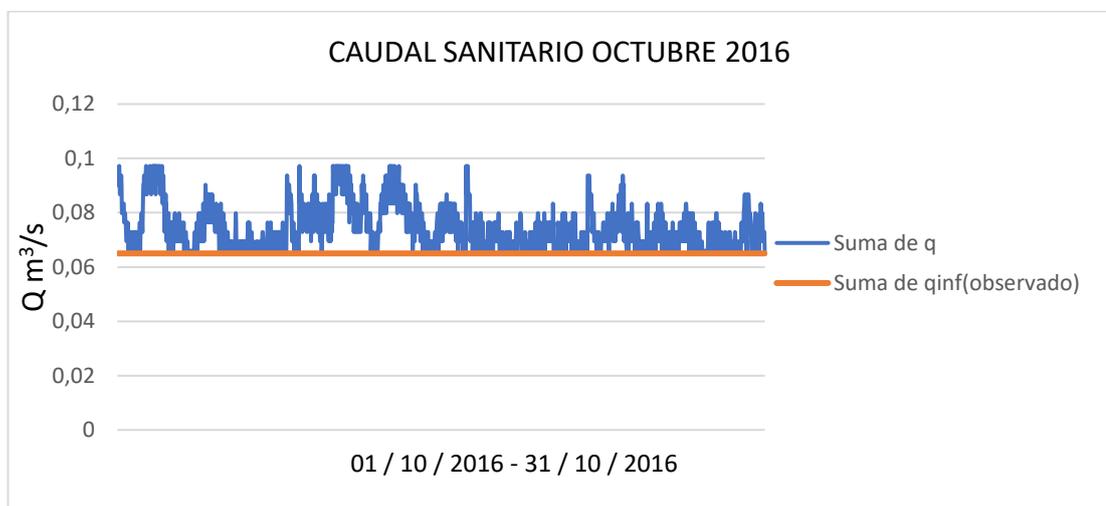


Figura 3. 32 Caudal sanitario del mes de octubre del 2016.

Fuente: Autores

Se tomo como gráfico de más altos el mes de octubre, pues es el que muestra una mayor cantidad de datos de caudal en los puntos más altos, sin embargo, demuestra el mismo comportamiento de variación de caudal sanitario que el del mes de mayo del 2016.

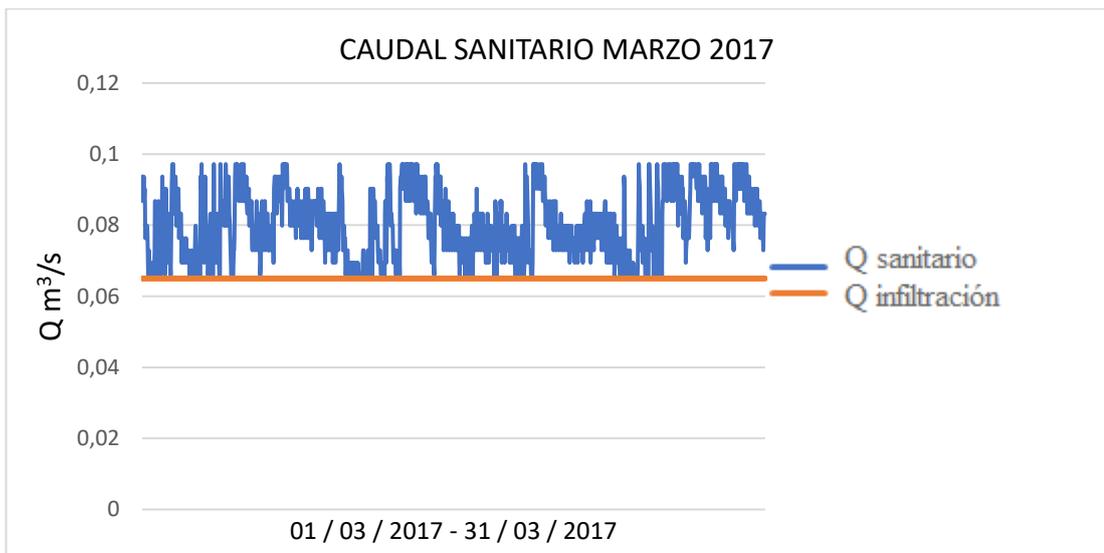


Figura 3. 33 Caudal sanitario del mes de marzo del 2017.

Fuente: Autores

Para el año 2017 en el mes de marzo, se observa un comportamiento regular del caudal con valores mínimos de infiltración de $0.065 \text{ m}^3/\text{s}$ y máximos sanitarios de $0.095 \text{ m}^3/\text{s}$.

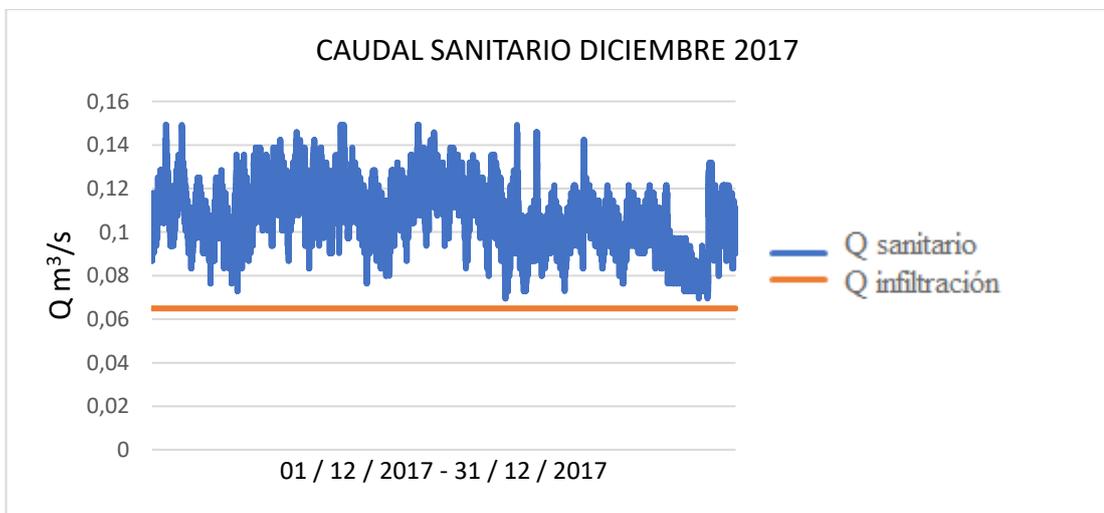


Figura 3. 34 Caudal sanitario del mes de diciembre del 2017.

Fuente: Autores

A finales del mismo año, el caudal se ha aumentado casi al doble, llegando de $0.09 \text{ m}^3/\text{s}$ hasta los $0.015 \text{ m}^3/\text{s}$, y con respecto al caudal de infiltración, se observa que por ciertos días casi alcanza el valor mínimo de $0.065 \text{ m}^3/\text{s}$.

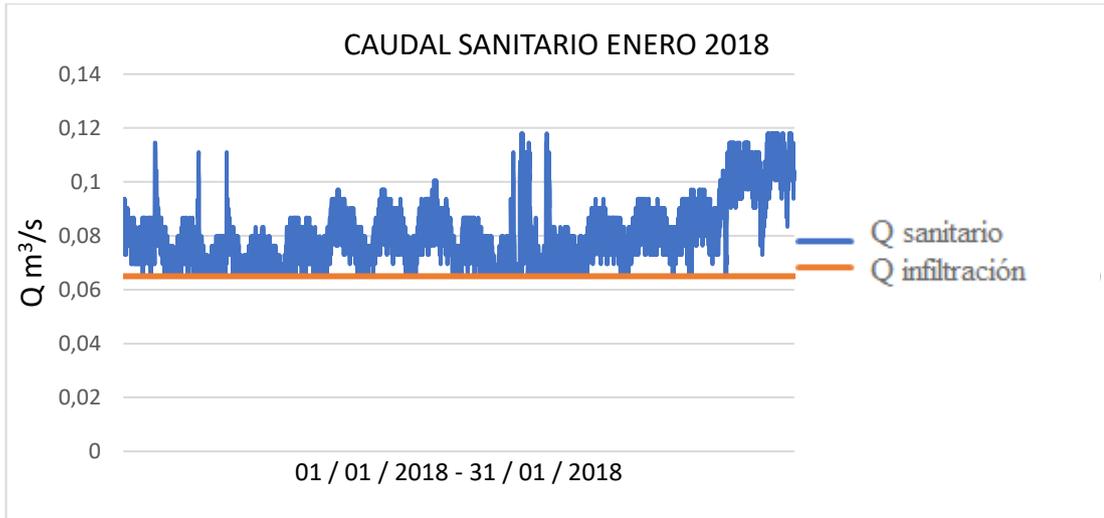


Figura 3. 35 Caudal sanitario del mes de enero del 2018.

Fuente: Autores

En este nuevo año, el caudal sanitario se mantiene regular a lo observado hasta casi finalizar el mes de enero, donde se muestra un aumento regular en sus valores, así también el caudal de infiltración que se eleva hasta los $0.09 \text{ m}^3/\text{s}$ y el caudal máximo hasta los $0.12 \text{ m}^3/\text{s}$, el cual solo venia llegando a este punto en los periodos con precipitación.

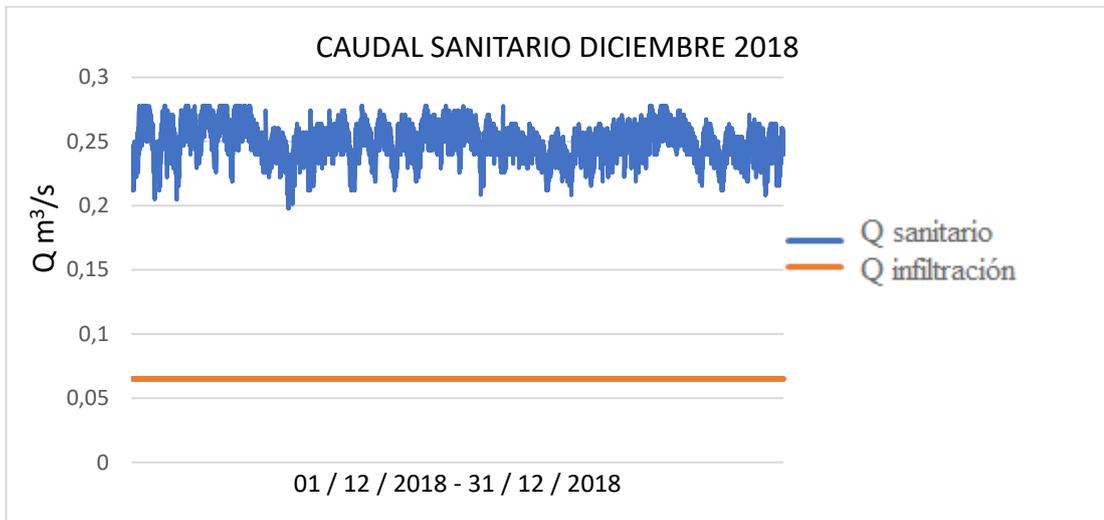


Figura 3. 36 Caudal sanitario del mes de diciembre del 2018.

Fuente: Autores

Para finalizar el año 2018, se observa un comportamiento cíclico en el caudal, donde el aumento de caudal de infiltración es considerable en relación a la inicial, del año 2016.

El interceptor XII-A, hasta inicios del año 2018, alcanzaba el valor mínimo de caudal de infiltración de 0.065 m³/s, siendo en el mismo año donde se ha presentado un aumento en el caudal sanitario, el cual puede deberse a las circunstancias de crecimiento poblacional normal proyectado para cada uno de los años transcurridos.

INTERCEPTOR XVI

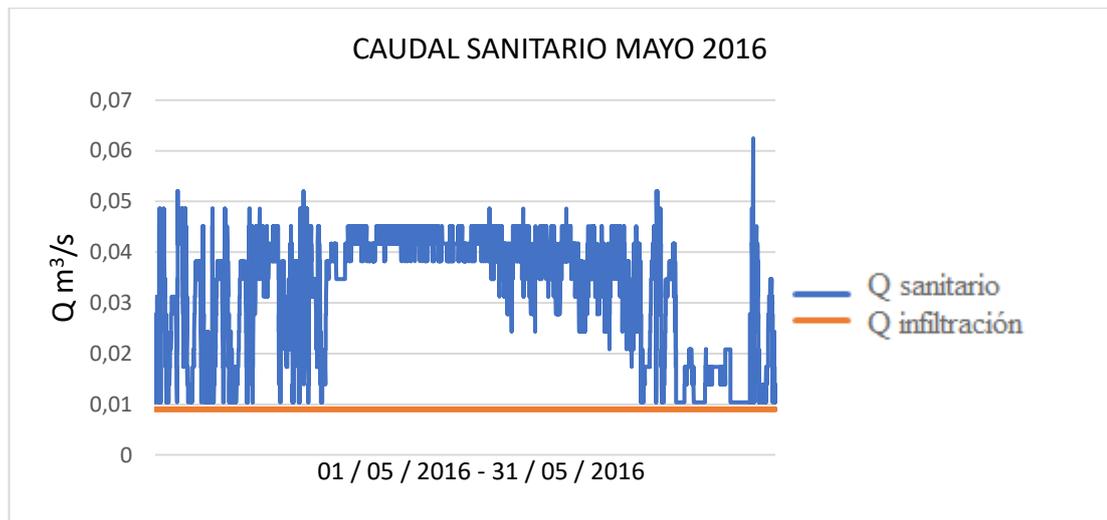


Figura 3. 37 Caudal sanitario del mes de mayo del 2016.

Fuente: Autores

A mediados del mes de mayo, se observa que el caudal no llega hasta su punto más bajo de caudal de infiltración de 0.009 m³/s, lo cual no es normal, y luego de esto pasa otra vez a sus valores normales de caudal sanitario de 0.055 m³/s.

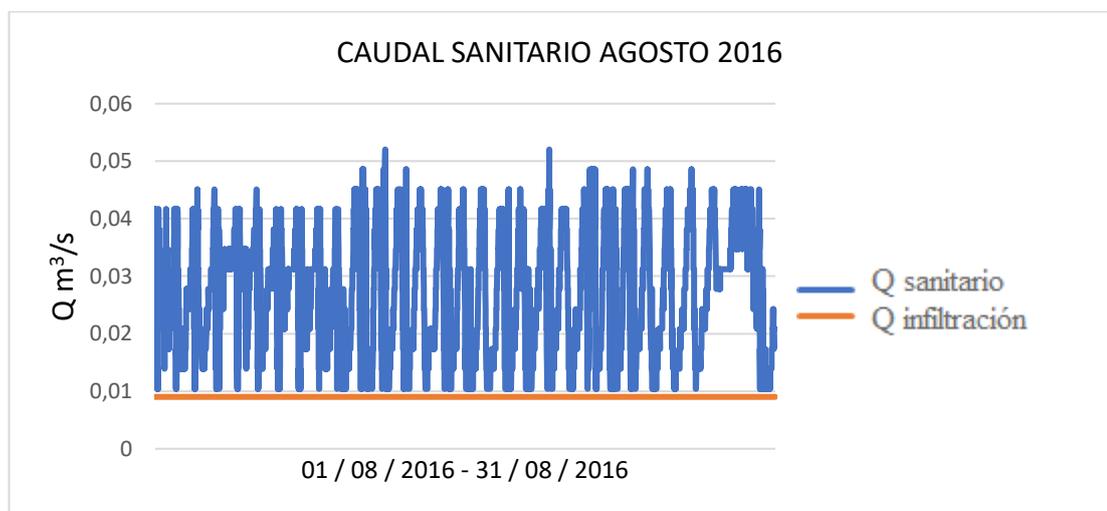


Figura 3. 38 Caudal sanitario del mes de agosto del 2016.

Fuente: Autores

En este mismo año, el caudal no ha aumentado considerablemente, presentando una mayor regularidad en cuanto al valor de caudal de infiltración y un valor de caudal sanitario en valores máximos, es por este motivo que se lo ha determinado como el de valores más altos.

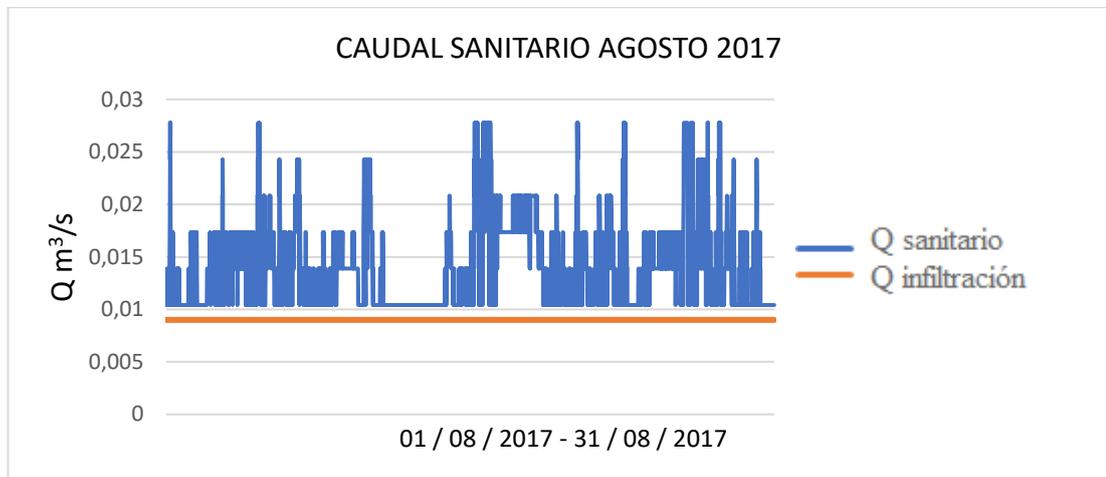


Figura 3. 39 Caudal sanitario del mes agosto del 2017.

Fuente: Autores

El mes más bajo para el año 2017, se registró en el mes de agosto, donde el caudal sanitario casi alcanza el valor mínimo de caudal de infiltración y el caudal máximo de lo observa llega hasta los 0.027 m³/s.

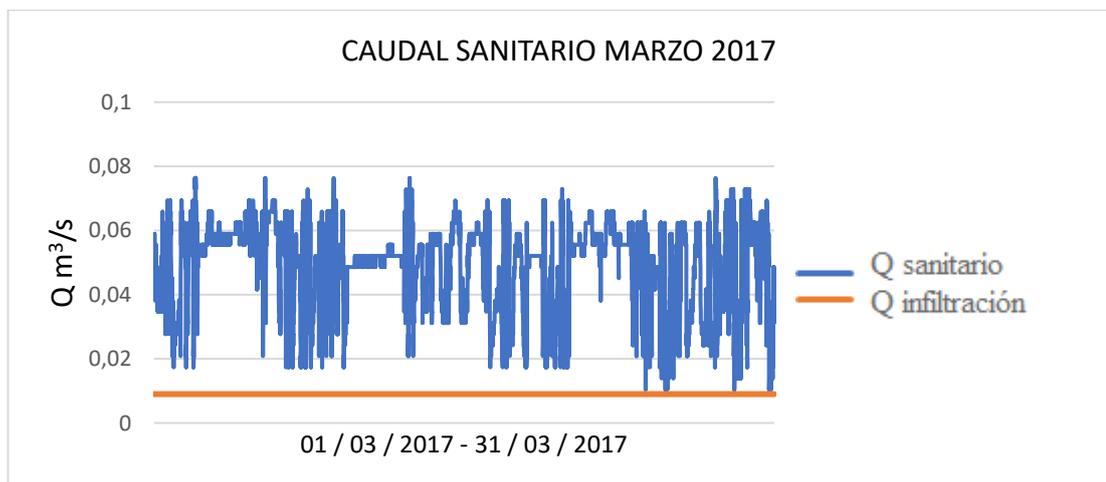


Figura 3. 40 Caudal sanitario del mes de marzo del 2017.

Fuente: Autores

Para inicios de este año se registró el mes más alto, en el cual, a finales de mes llego al valor de caudal de infiltración, manteniendo en general un caudal sanitario máximo de 0.078 m³/s.

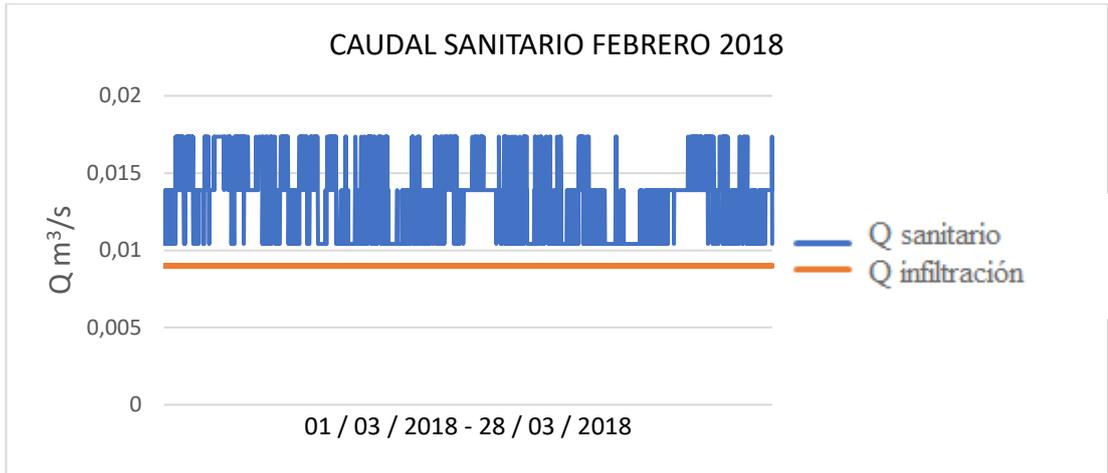


Figura 3. 41 Caudal sanitario del mes de mayo del 2018.

Fuente: Autores

Para el último año, el caudal de infiltración aumento en $0.001 \text{ m}^3/\text{s}$, y manteniendo un caudal máximo de $0.0175 \text{ m}^3/\text{s}$.

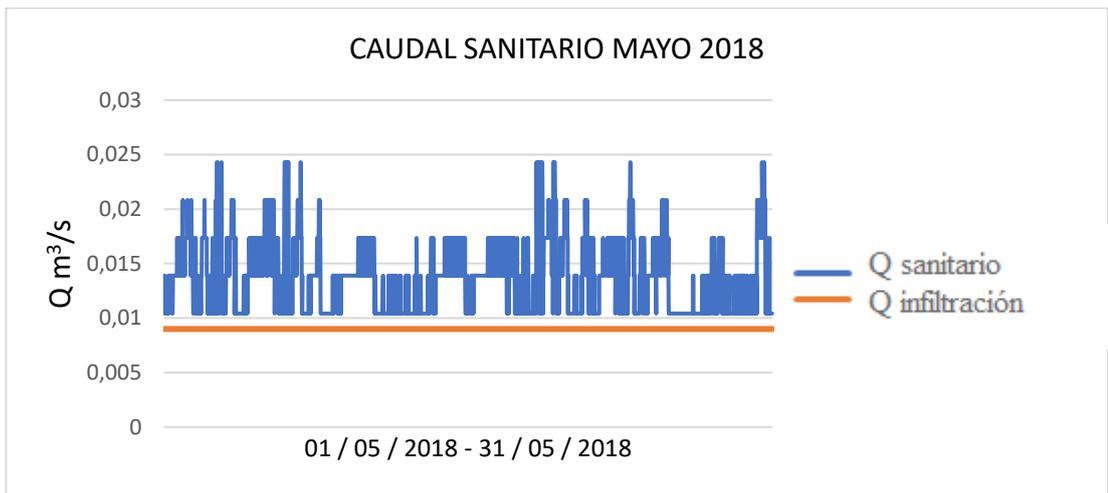


Figura 3. 42 Caudal sanitario del mes de febrero del 2018

Fuente: Autores

El caudal sanitario muestra un aumento considerable en su punto más alto, siendo este de $0.0175 \text{ m}^3/\text{s}$ hasta el año 2017 hasta los $0.0245 \text{ m}^3/\text{s}$.

El interceptor XVI, en su comportamiento mensual, ha demostrado regularidad en los datos obtenidos, solo presentándose variaciones en los valores de caudal, en relación mes a mes y por cada año analizado.

INTERCEPTOR XVIII

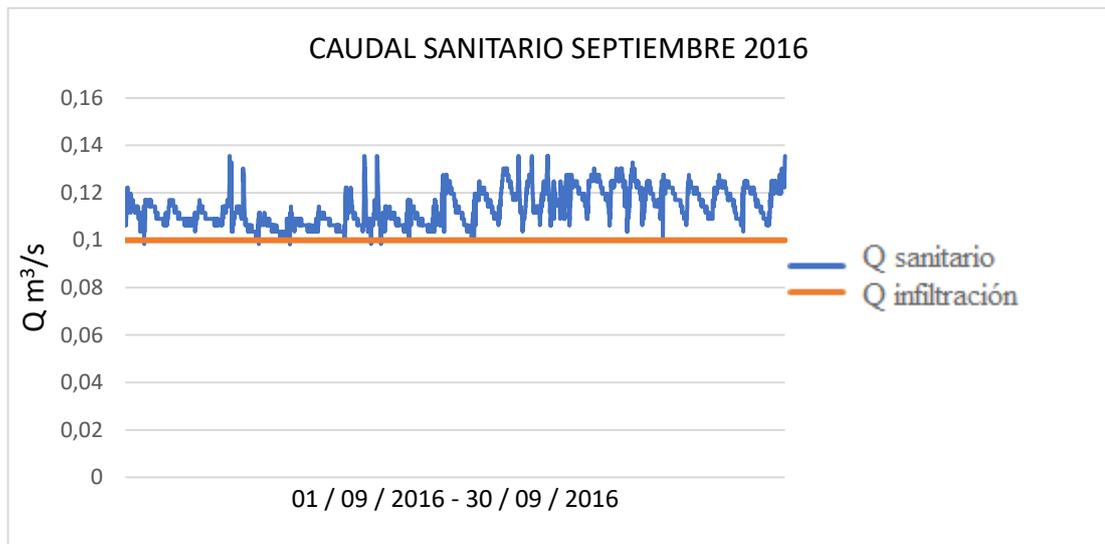


Figura 3. 43 Caudal sanitario del mes de septiembre del 2016.

Fuente: Autores

En este mes analizado se observan ciertos picos individuales de caudal sanitario en los primeros días de mes de septiembre, los cuales tienden a ser el caudal sanitario máximo, el cual tiende a estabilizarse en el valor de $0.135 \text{ m}^3/\text{s}$, y un valor regular de infiltración de $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$.

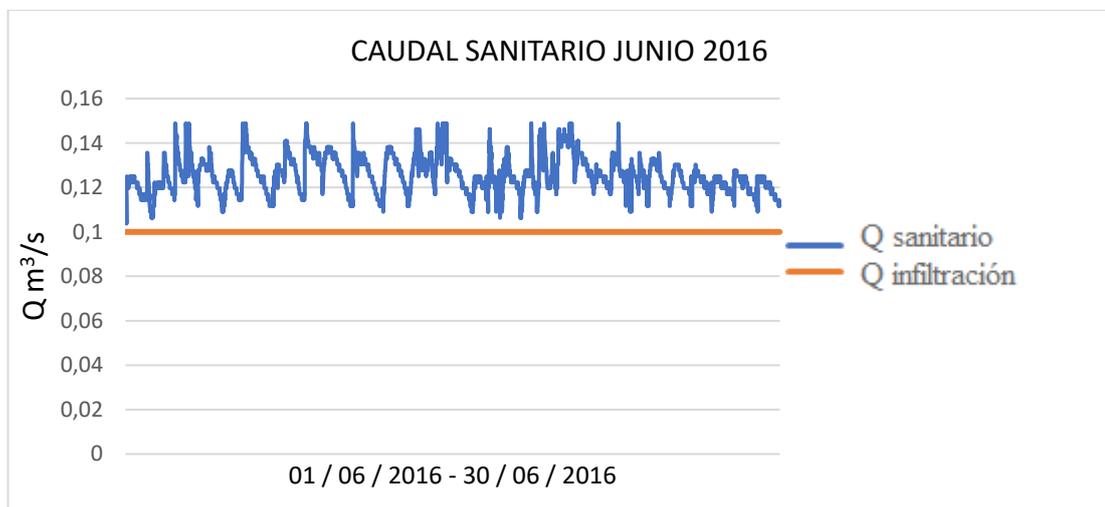


Figura 3. 44 Caudal sanitario del mes de junio del 2016.

Fuente: Autores

Para el mes de junio del mismo año, se presenta un aumento en el caudal de infiltración de $0.12 \text{ m}^3/\text{s}$, pero aún más significativo en sus valores máximos hasta el valor de $0.15 \text{ m}^3/\text{s}$.

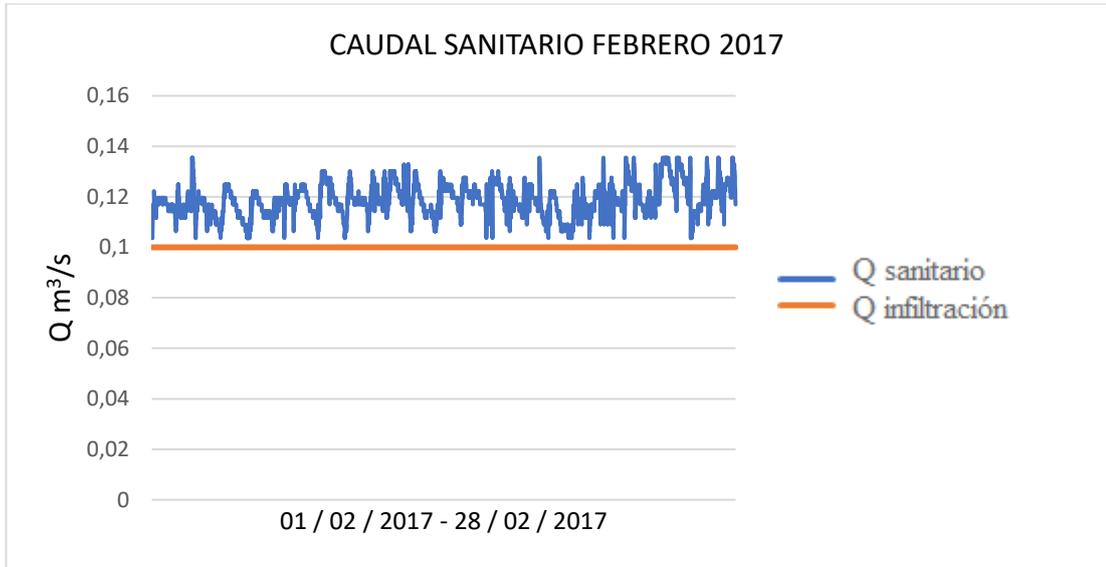


Figura 3. 45 Caudal sanitario del mes de febrero del 2017.

Fuente: Autores

El caudal de infiltración casi es el observado de 0.1 m³/s y se observa un comportamiento regular del caudal sanitario con un máximo de 0.135 m³/s a lo largo del mes.

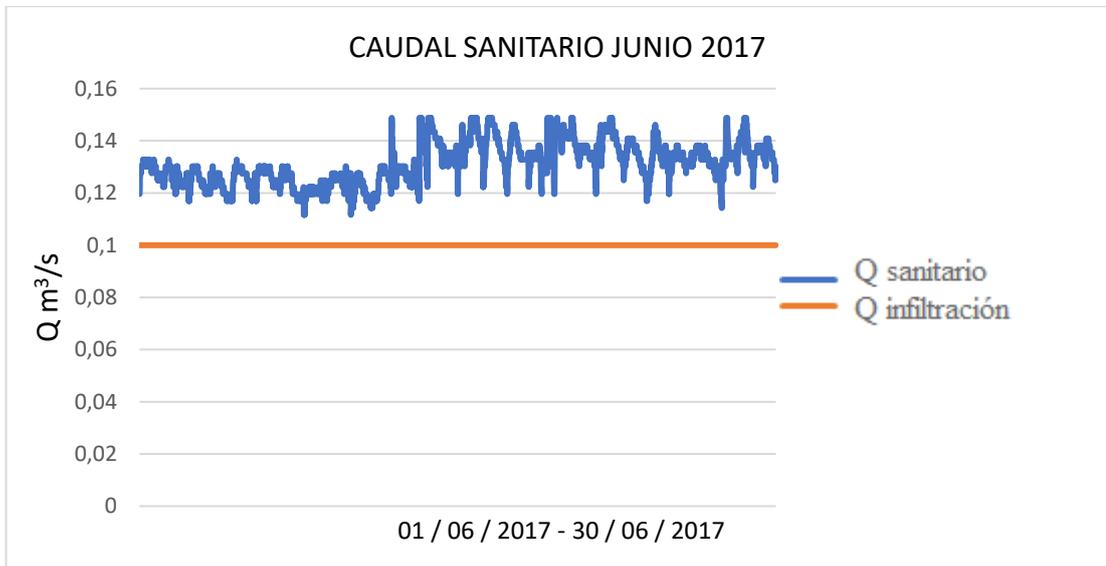


Figura 3. 46 Caudal sanitario del mes de junio del 2017.

Fuente: Autores

Se observan 2 comportamiento del caudal en este mismo mes, en el cual en sus primeros días se mantiene bajo el valor de 0.135 m³/s, y para la segunda quincena este aumenta hasta los 0.15 m³/s manteniéndose constante a partir de ese momento hasta

terminar el mes. El caudal de infiltración también se ve afectado, sin embargo, este es el más regular para todo este periodo.

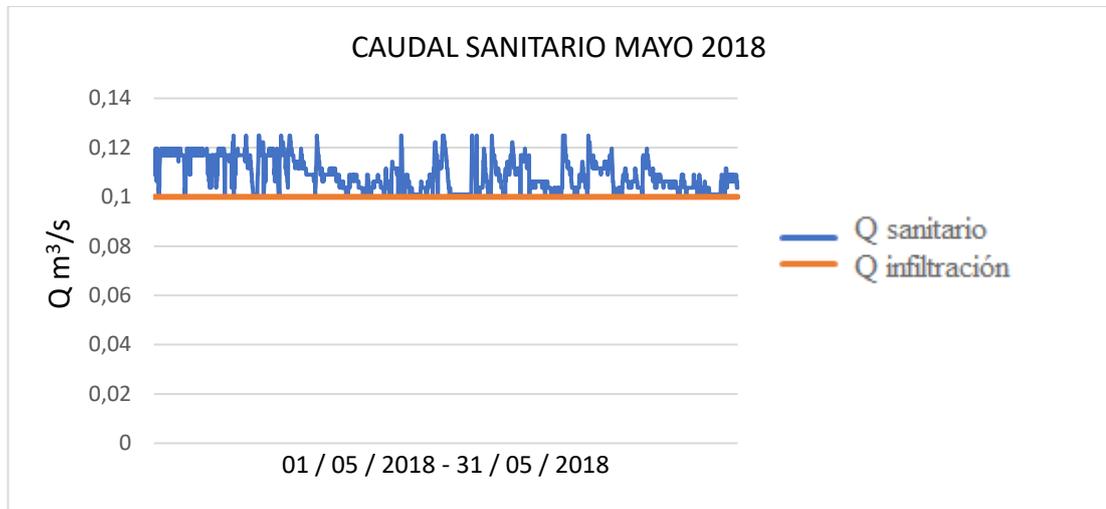


Figura 3. 47 Caudal sanitario del mes de mayo del 2018.

Fuente: Autores

El valor de caudal de infiltración se ha mantenido a lo largo de todo el mes estudiado, así también el caudal máximo sanitario, con un valor de 0.125 m³/s el cual ha tendido a descender para los últimos días del mes de mayo.

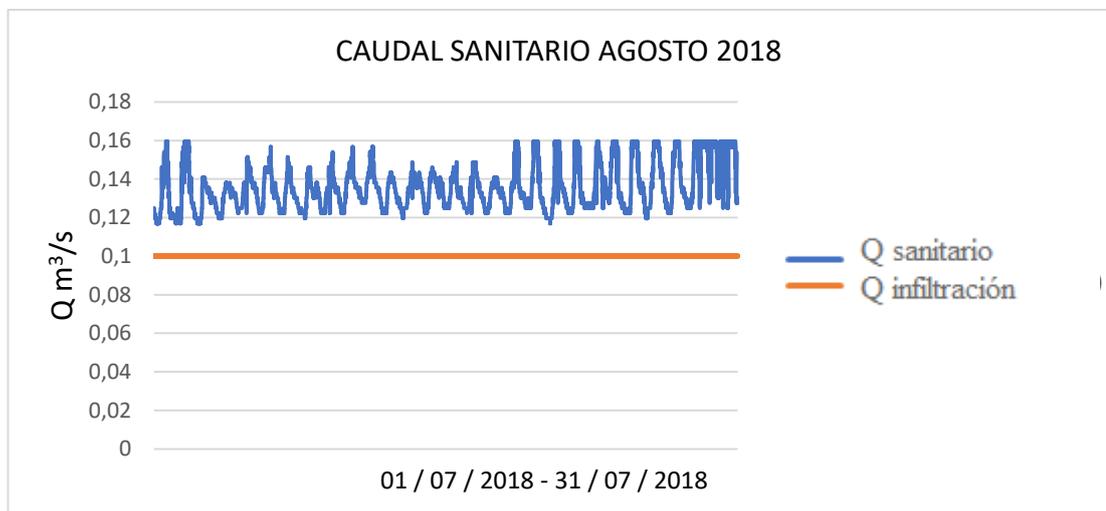


Figura 3. 48 Caudal sanitario del mes de julio del 2018.

Fuente: Autores

Se muestra un comportamiento regular y también un aumento de caudal sanitario llegando a los 0.16 m³/s y el caudal de infiltración a los 0.12 m³/s el cual fue el valor máximo de caudal para el mes más bajo de este año.

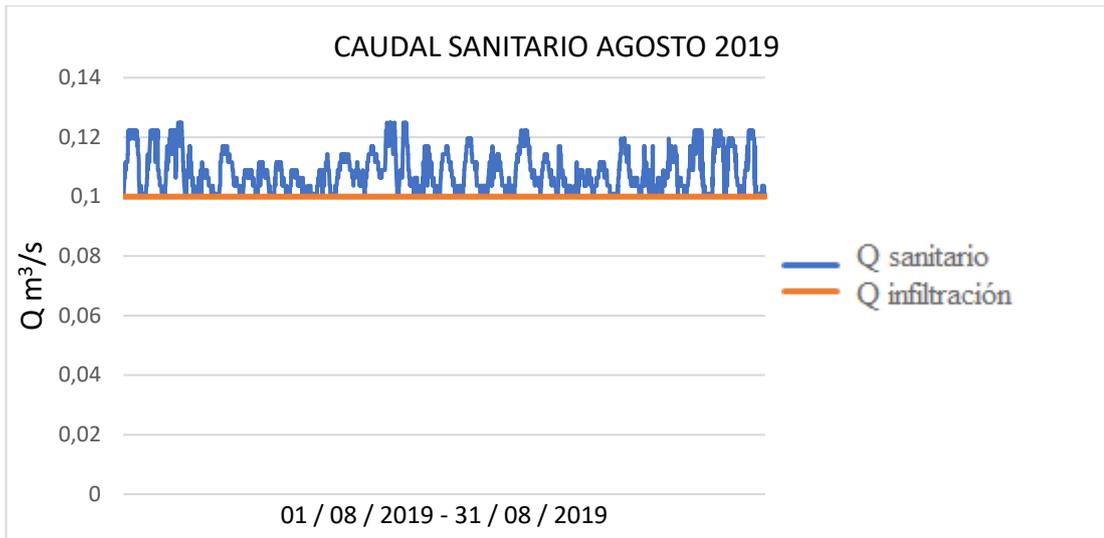


Figura 3. 49 Caudal sanitario del mes de agosto del 2019.

Fuente: Autores

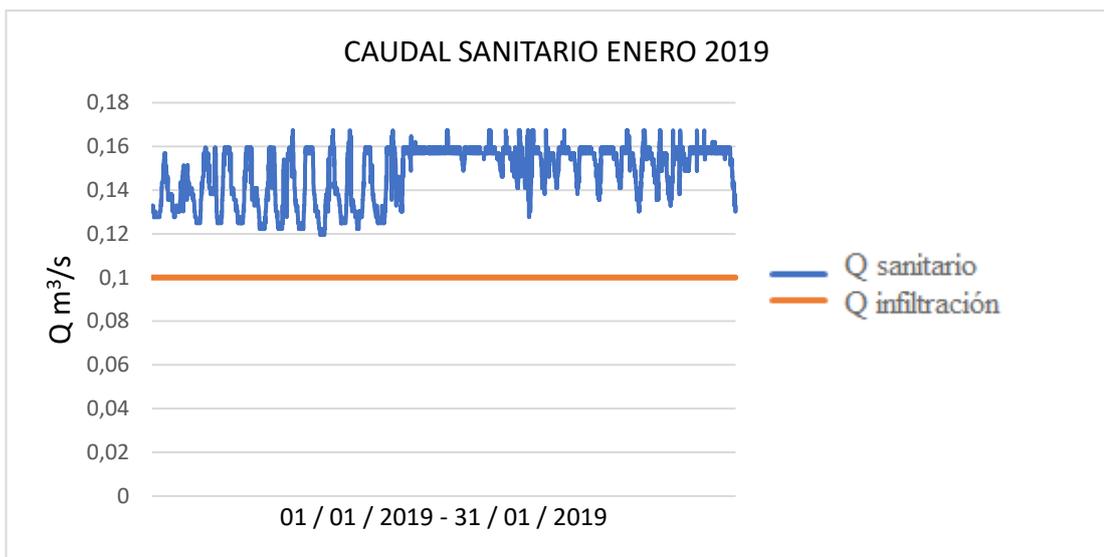


Figura 3. 50 Caudal sanitario del mes de enero del 2019.

Fuente: Autores

Se observa un comportamiento irregular del caudal, con puntos de caudal de infiltración muy altos he iguales al valor máximo de cada día donde sus picos llegan a los $0.17 \text{ m}^3/\text{s}$ y el caudal de infiltración mínimo de $0.12 \text{ m}^3/\text{s}$.

Este interceptor en todos sus años, en las gráficas más bajas, se mantuvo en los valores mínimos de infiltración, y muestra también un aumento de caudal sanitario por temporadas anuales.

3.6 Gráficos anuales del comportamiento del caudal en los interceptores con datos tomados cada hora.

INTERCEPTOR I

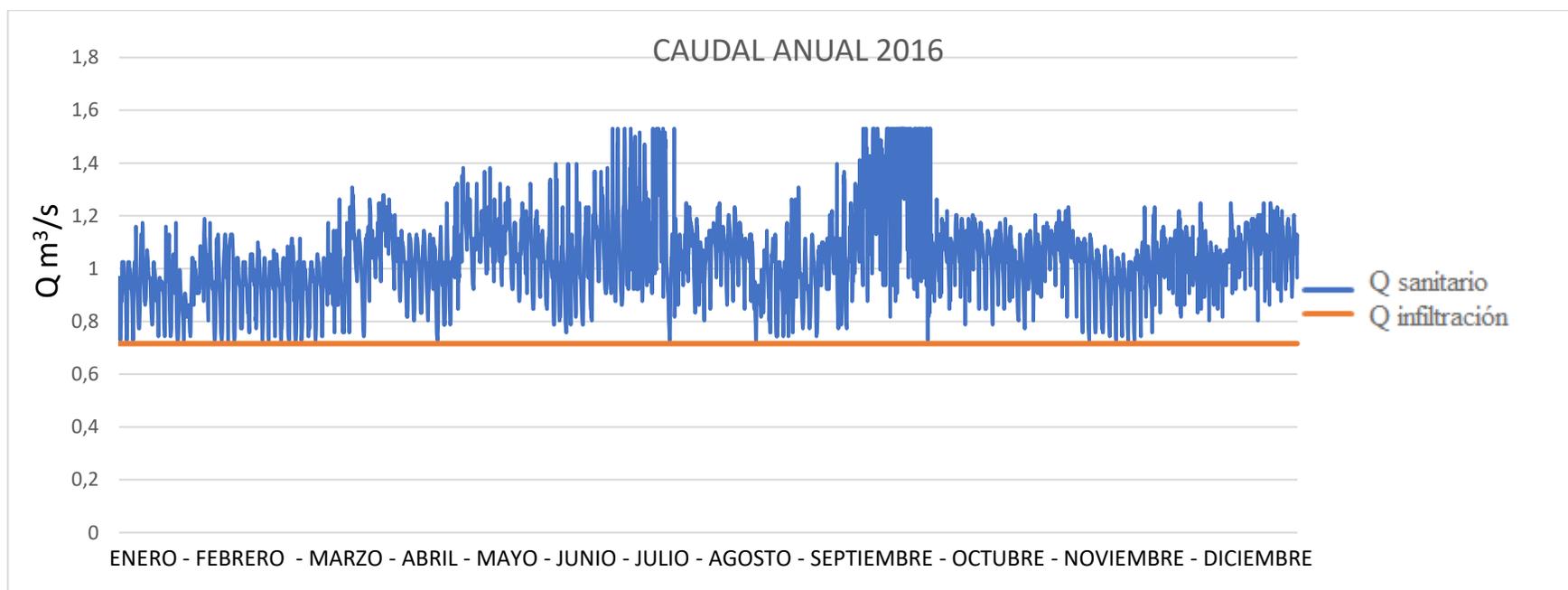


Figura 3. 51 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2016 del interceptor I.

Fuente: Autores

Los datos obtenidos cada hora en cada interceptor nos muestran el comportamiento anual del caudal en los interceptores. Para este caso se observa que, a lo largo de todo el año, en la mayoría de los meses, el caudal de infiltración siempre llega a su valor mínimo, presentándose 2 casos importantes en los meses de junio, julio y finales de septiembre donde el caudal sanitario máximo aumentó de 1.2 m³/s hasta los 1.55 m³/s.

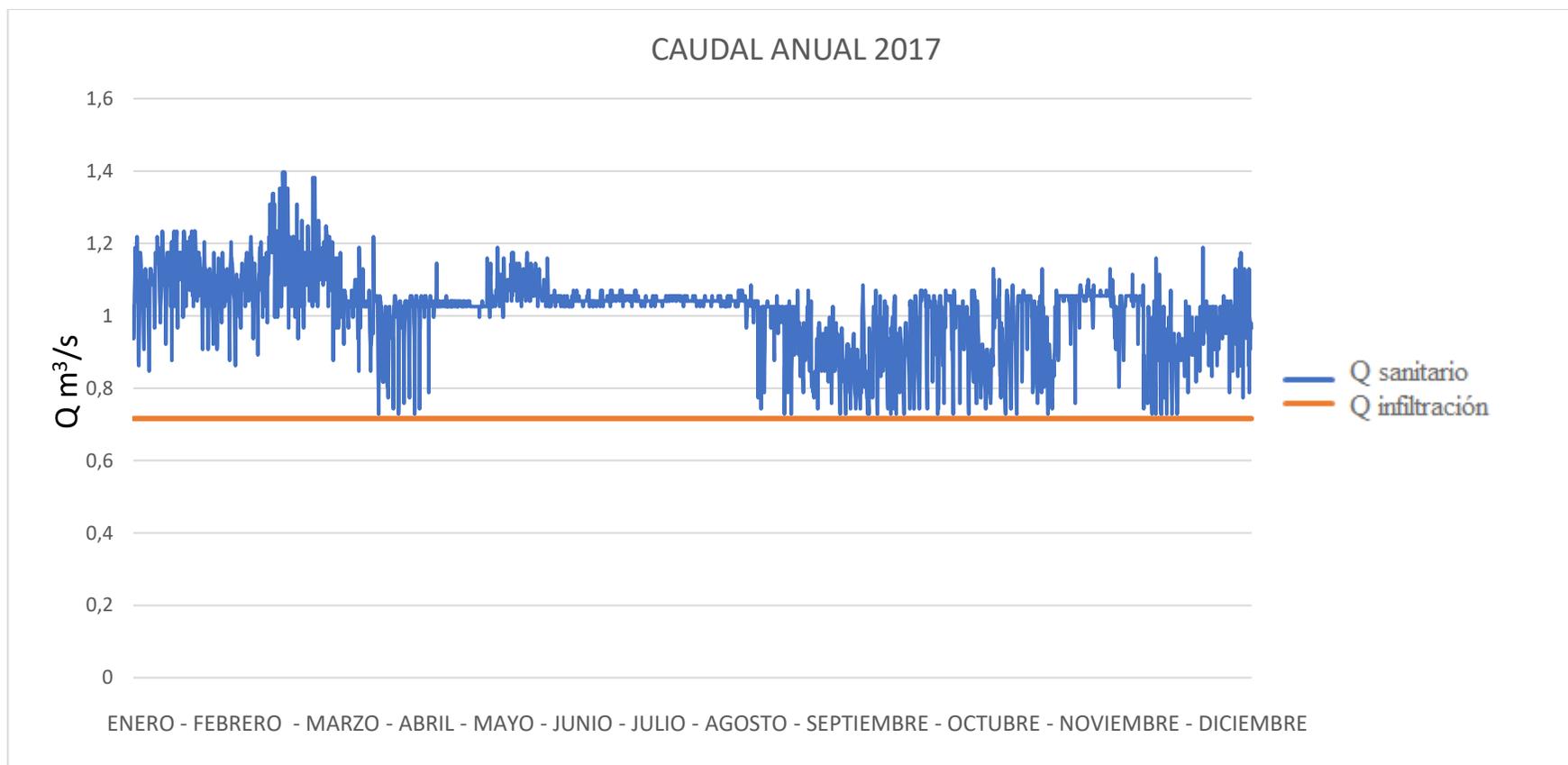


Figura 3. 52 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2017 del interceptor I.

Fuente: Autores

En el año 2017 se observa un comportamiento irregular en los primeros 6 meses, en el cual solo en el mes de abril se llega al caudal mínimo de infiltración, posterior a esto el caudal sanitario se estabiliza en los rangos mínimos y máximos, alcanzando un caudal sanitario pico de 1.2 m³/s, el cual para el año anterior fue el rango promedio máximo.

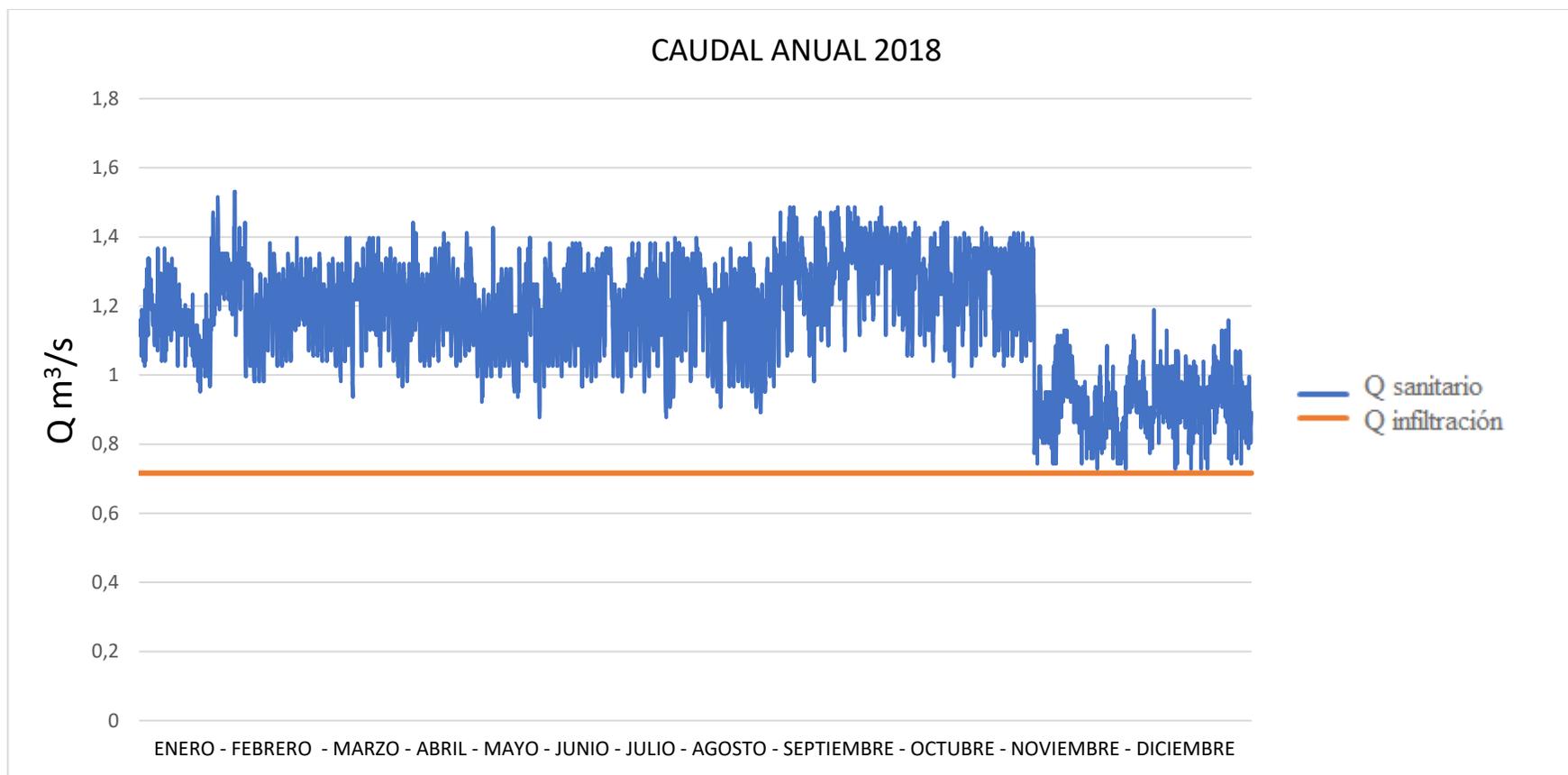


Figura 3. 53 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2018 del interceptor I.

Fuente: Autores

En el 2018, el caudal sanitario aumenta en sus niveles mínimos y máximos relativamente, manteniendo la misma diferencia en sus rangos antes observados, y para los meses de noviembre y diciembre, vuelve al comportamiento característico de los años anteriores.

INTERCEPTOR II

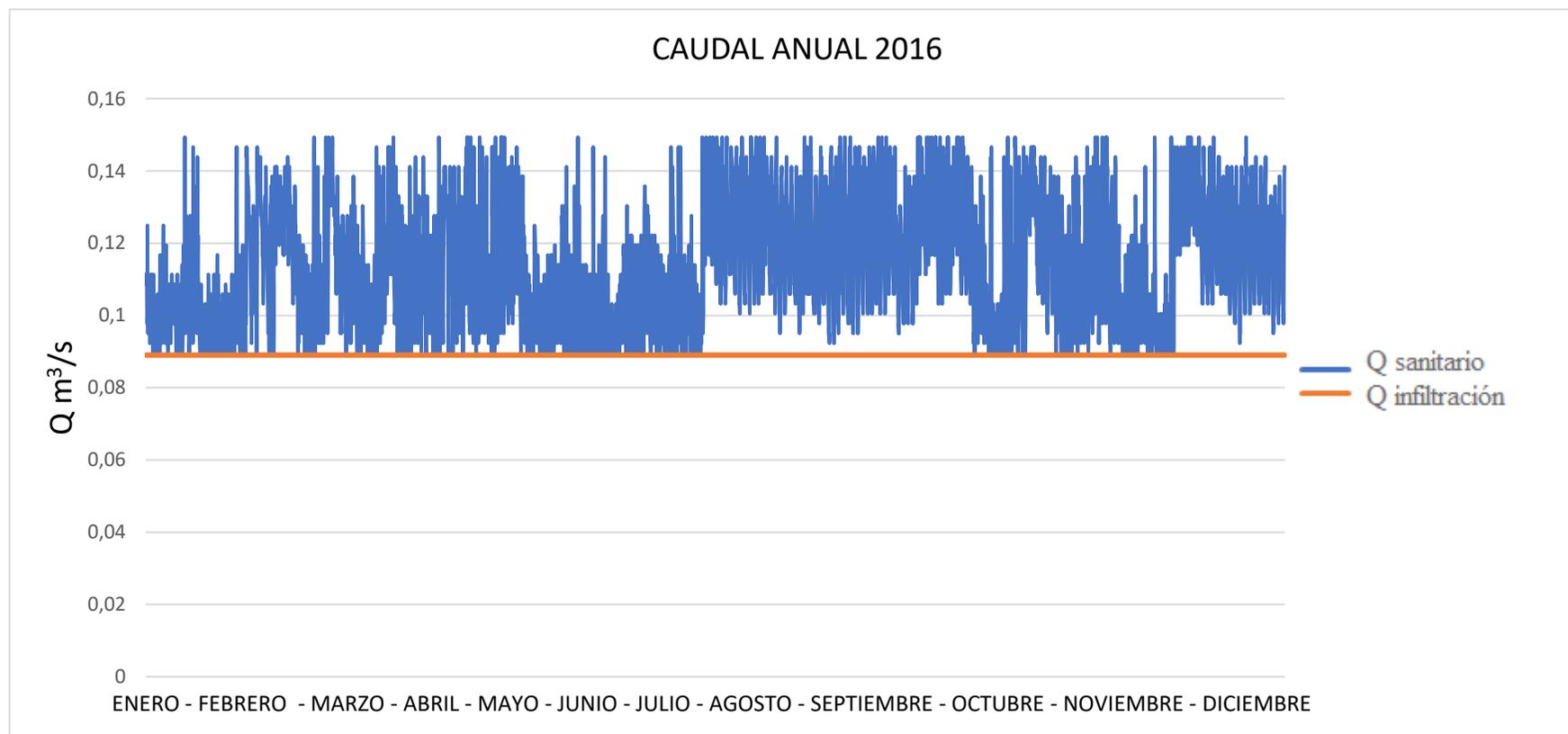


Figura 3. 54 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2016 del interceptor II.

Fuente: Autores

Este interceptor para el año 2016, muestra un comportamiento muy regular a excepción de los meses de agosto y septiembre donde el caudal no llega a los valores mínimos observados de caudal de infiltración de $0,089 \text{ m}^3/\text{s}$, no así el caudal máximo sanitario que en todo el año se mantiene en los $0,15 \text{ m}^3/\text{s}$.

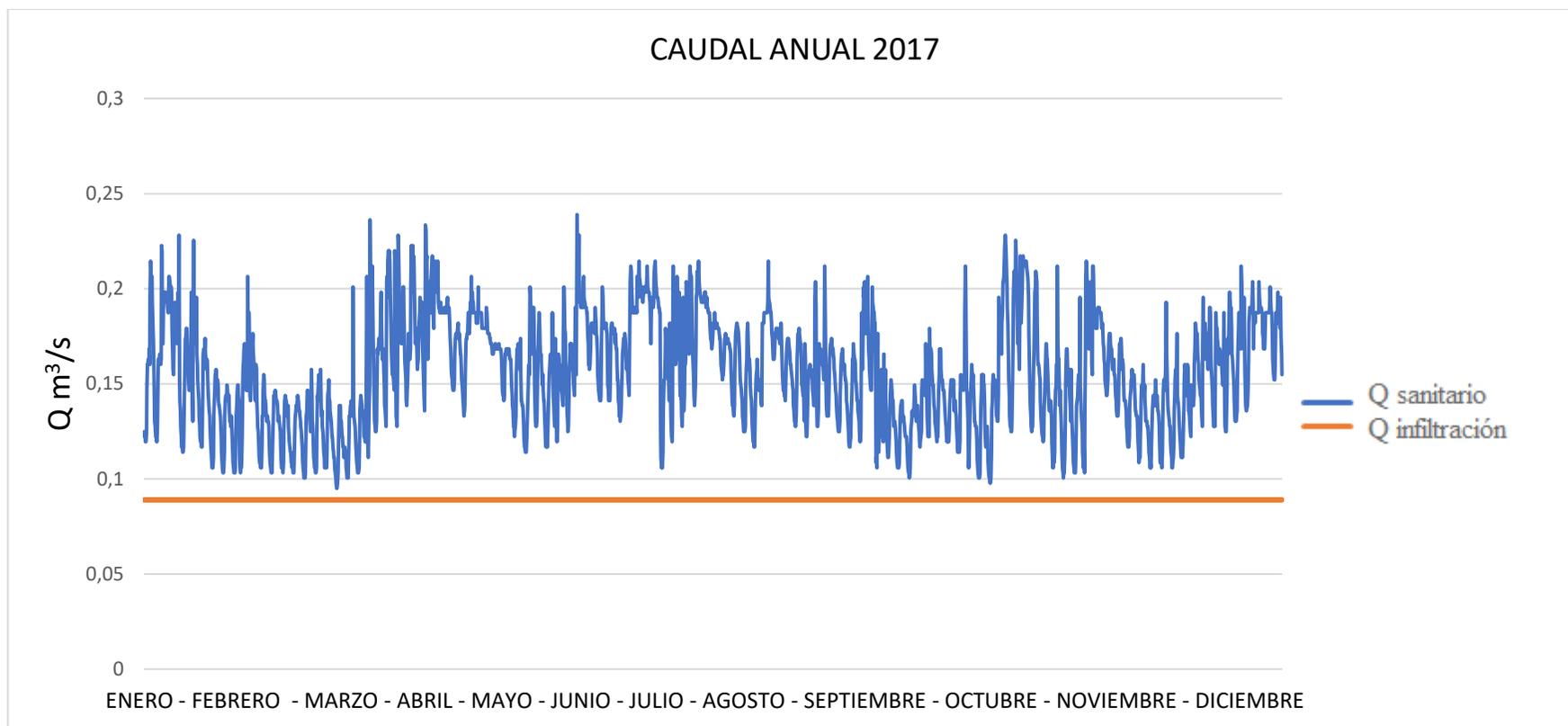


Figura 3. 55 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2017 del interceptor II.

Fuente: Autores

Para el siguiente año, el caudal sanitario a aumentado casi al doble q en su máximo anterior, de 0.089 m³/s en su valor mínimo y 0.15 m³/s como máximo, ahora alcanzando los 0.24 m³/s en sus valores pico de caudal sanitario.

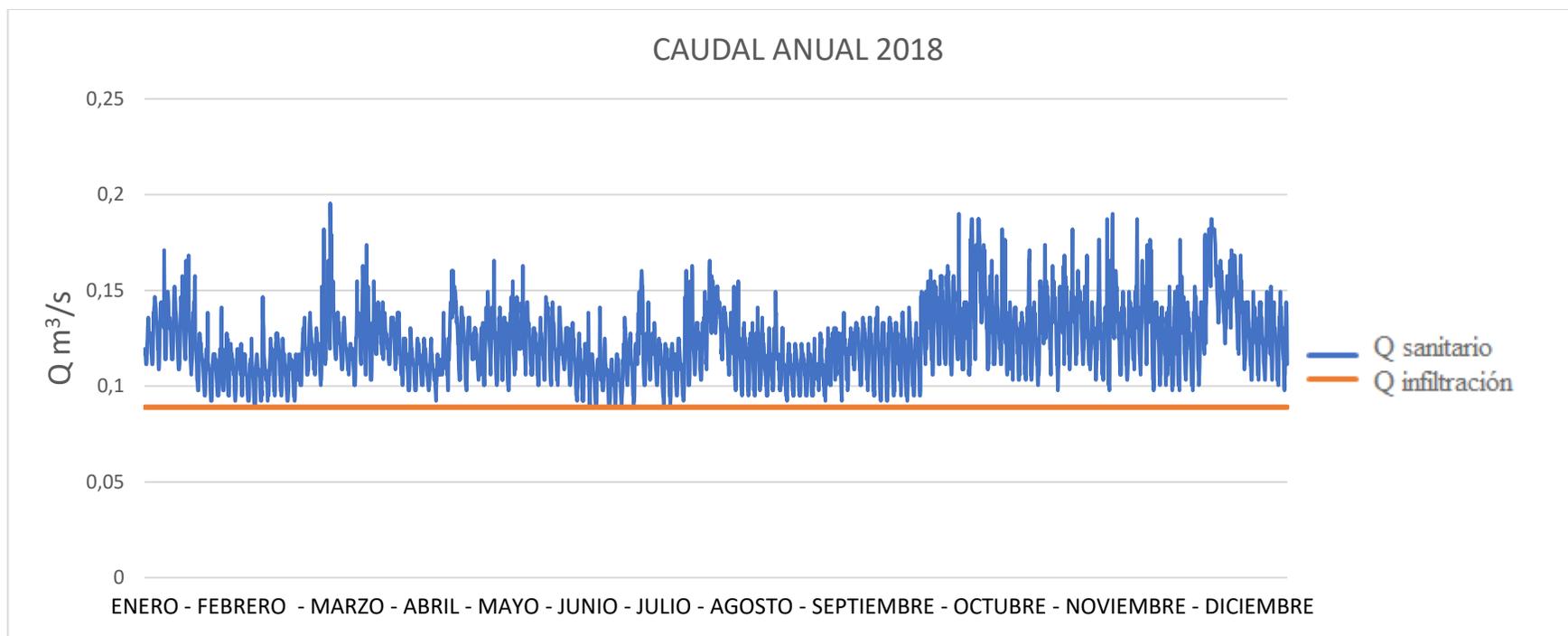


Figura 3. 56 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2017 del interceptor II.

Fuente: Autores

El caudal de infiltración en este periodo, vuelve a estar en sus valores mínimos, y el caudal máximo promedio se lo observa alrededor de los 0.15 m³/s, a excepción de algunos pocos que llegan a 0.2 m³/s los cuales pueden deberse a las precipitaciones en este año.

INTERCEPTOR III

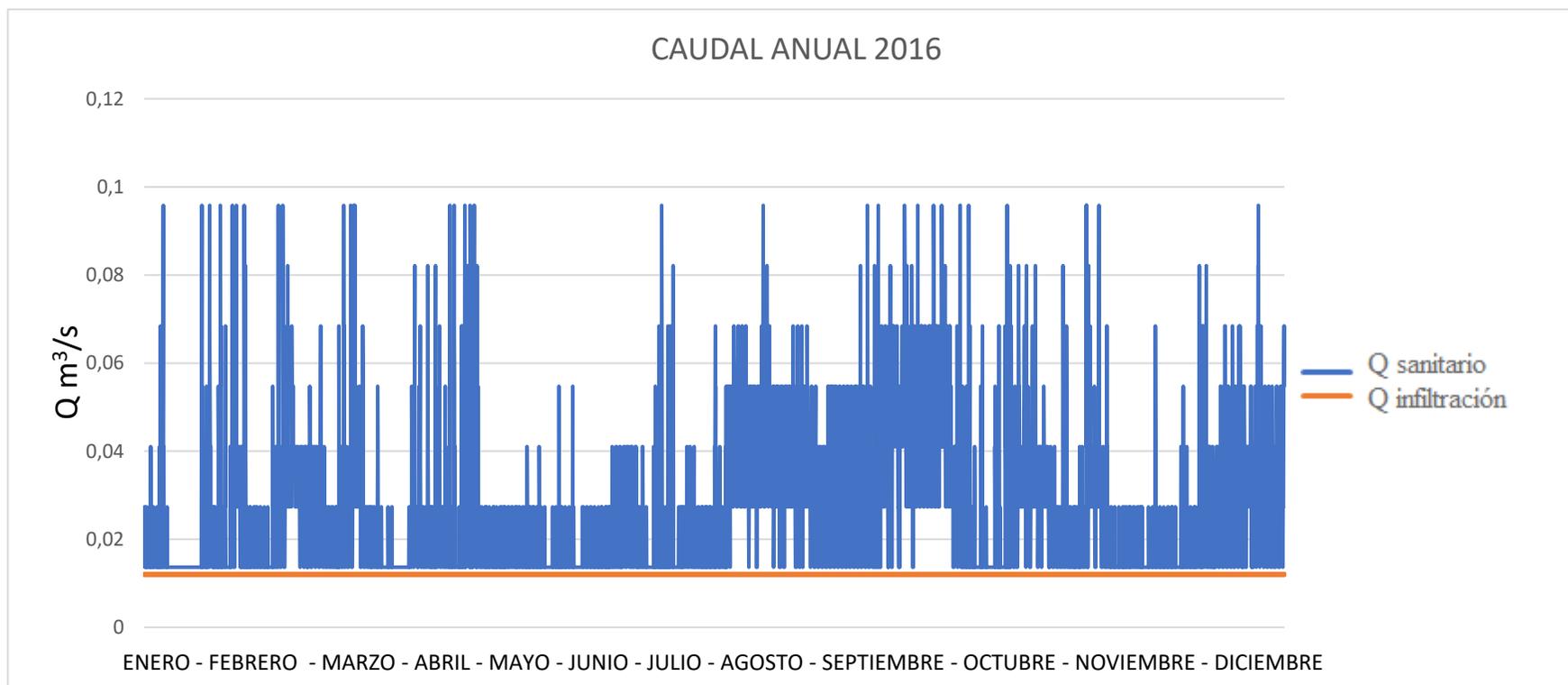


Figura 3. 57 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2016 del interceptor III.

Fuente: Autores

Este interceptor mantiene definidos a lo largo del año sus valores de rangos mínimos y máximos de caudal, siempre llegando al caudal de infiltración de $0.012 \text{ m}^3/\text{s}$ y como máximo sanitario $0.095 \text{ m}^3/\text{s}$.

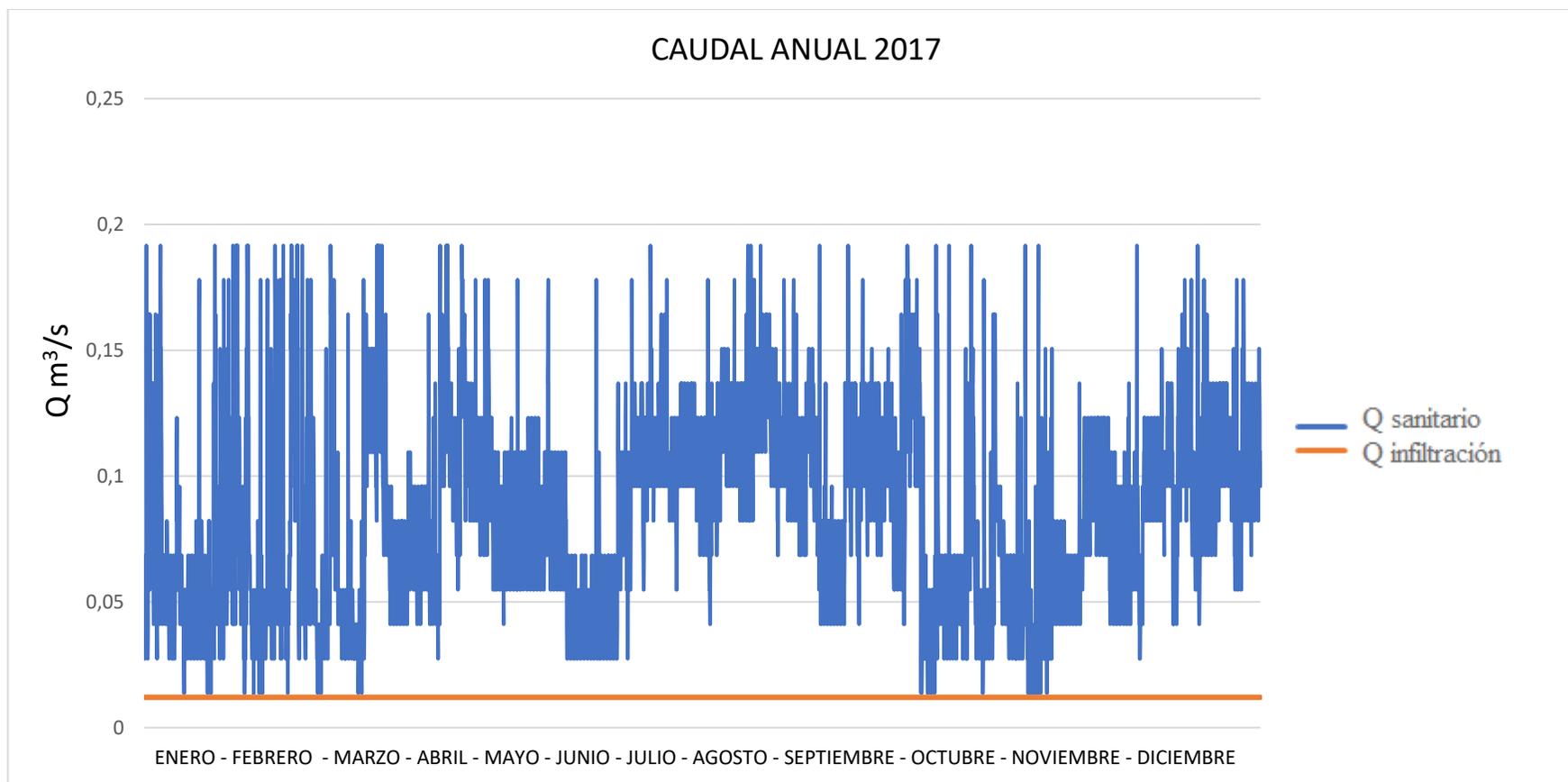


Figura 3. 58 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2017 del interceptor III.

Fuente: Autores

En el año 2017 se observa un aumento significativo en el caudal máximo sanitario, llegando siempre a los 0.195 m³/s, y para el caudal de infiltración en los meses de enero, febrero, marzo y octubre, alcanza sus valores mínimos, los demás también presentan un aumento de 0.02 m³/s.

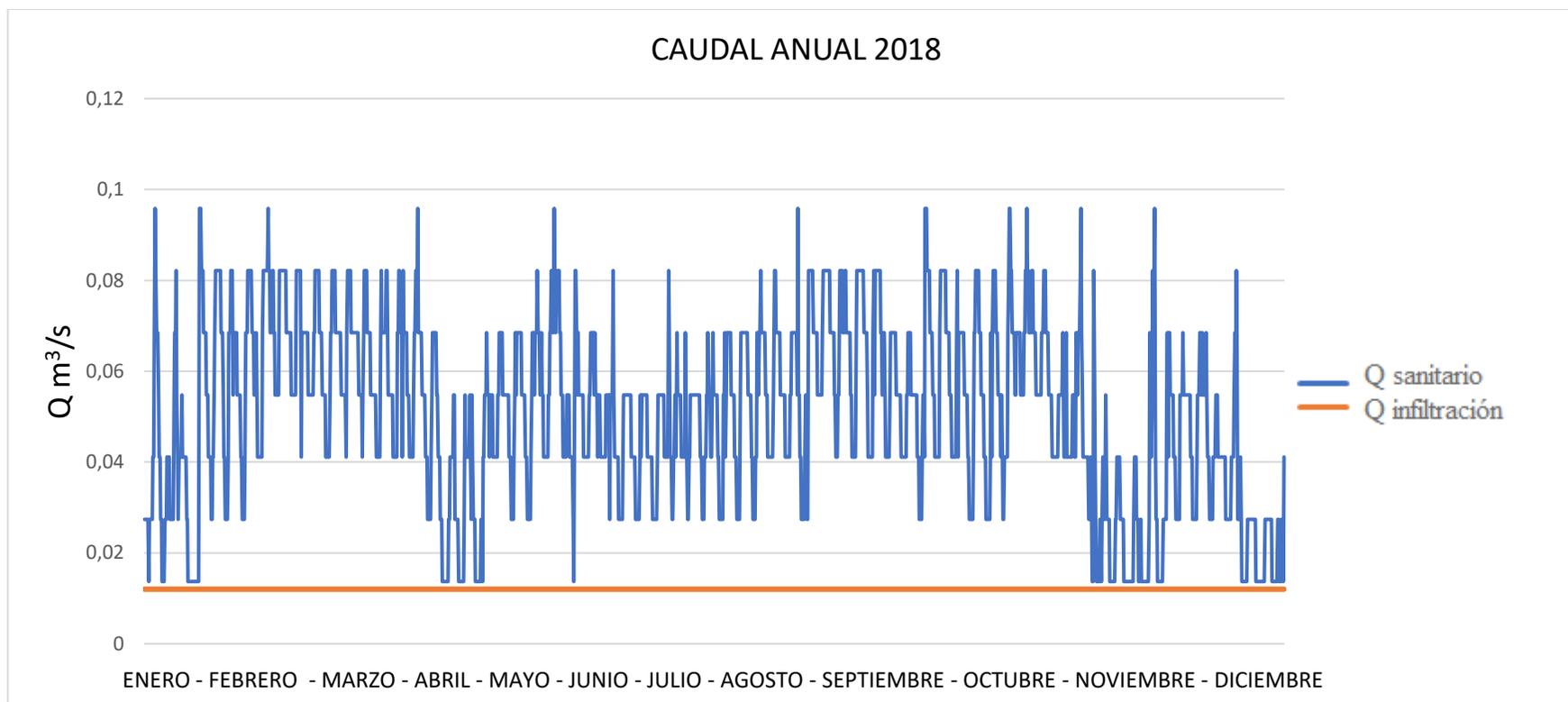


Figura 3. 59 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2018 del interceptor III.

Fuente: Autores

En el año 2018, el caudal de este interceptor se mantiene similar al del año inicial de toma de información, llegando al valor mínimo de infiltración a excepción de algunos meses en el cual este aumenta hasta los $0.03 \text{ m}^3/\text{s}$ como en el 2017 y manteniendo el valor máximo de caudal sanitario de $0.095 \text{ m}^3/\text{s}$.

INTERCEPTOR IX

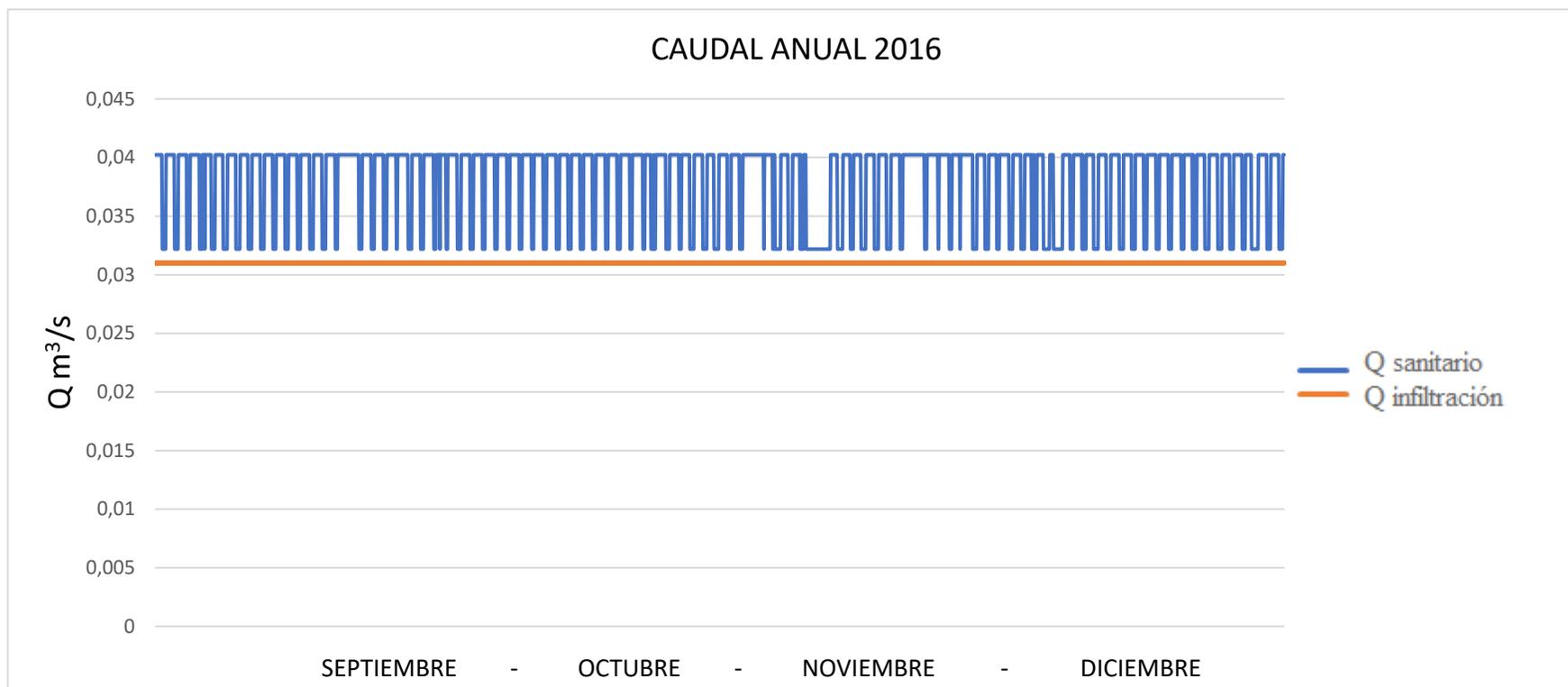


Figura 3. 60 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2016 del interceptor IX.

Fuente: Autores

Para este interceptor, por la falta de datos, se nos hizo necesario, analizar solo los últimos 4 meses de cada año analizado, en los que se observa un comportamiento repetitivo y bien definido en los rangos de caudal mínimo y máximo, estos de 0.031 m³/s como caudal de infiltración y de 0.04 m³/s de caudal máximo sanitario.

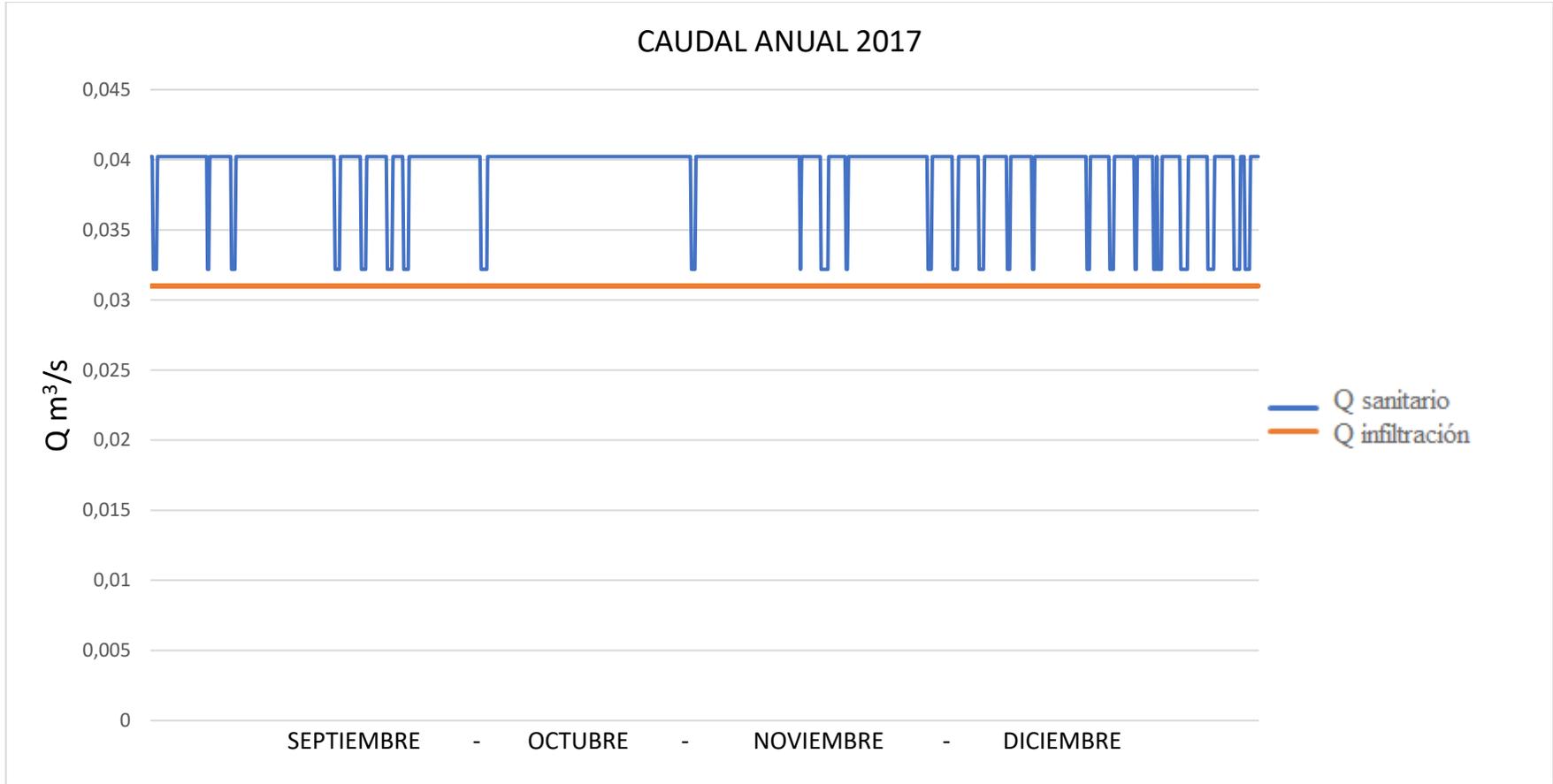


Figura 3. 61 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2017 del interceptor IX.

Fuente: Autores

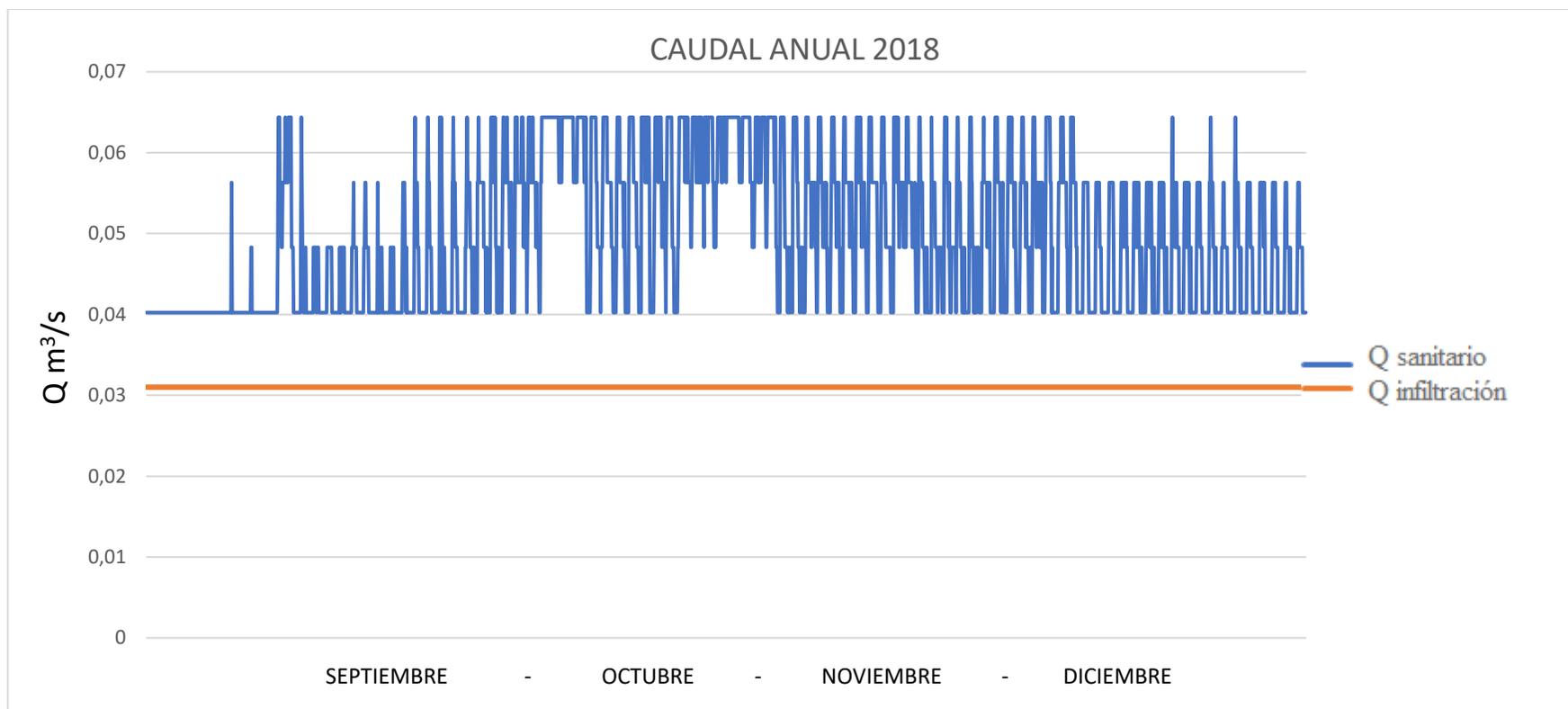


Figura 3. 62 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2018 del interceptor IX.

Fuente: Autores

INTERCEPTOR X

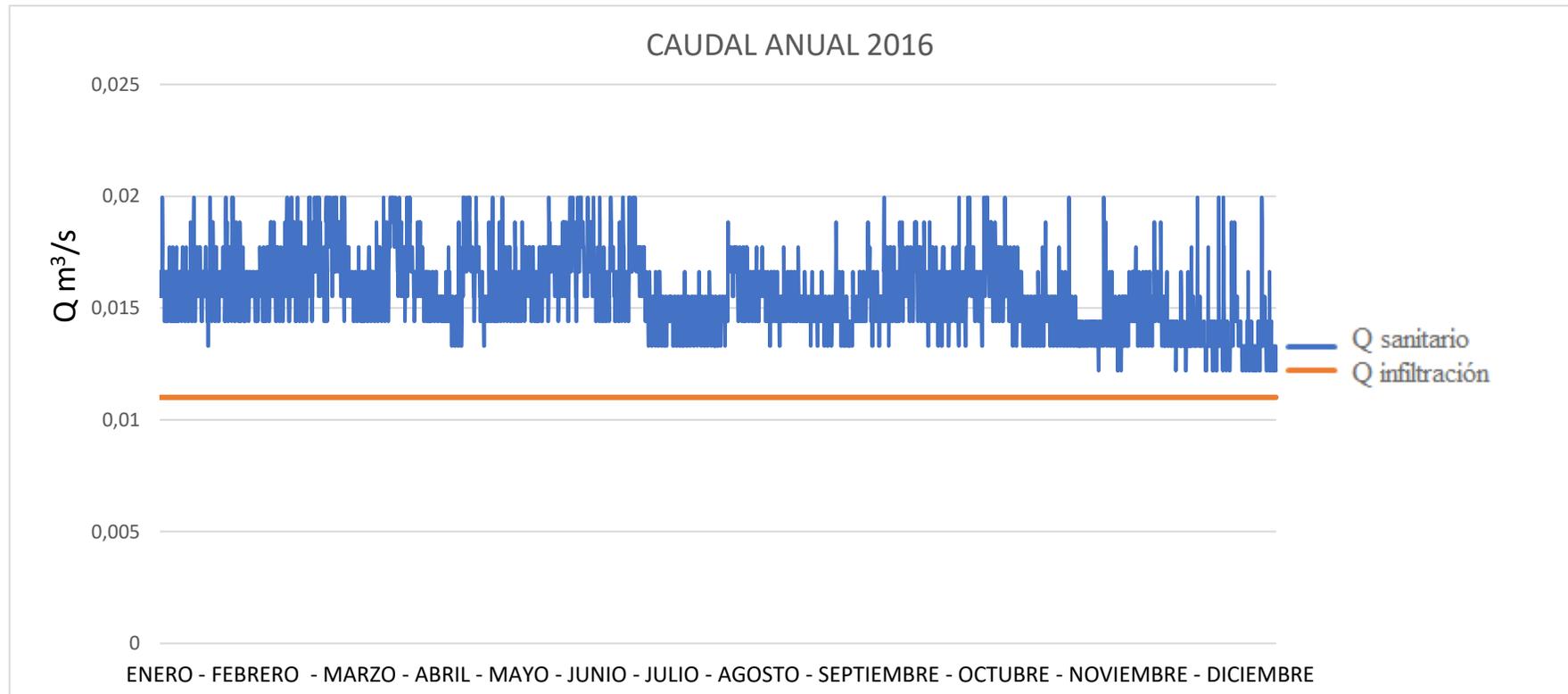


Figura 3. 63 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2016 del interceptor X.

Fuente: Autores

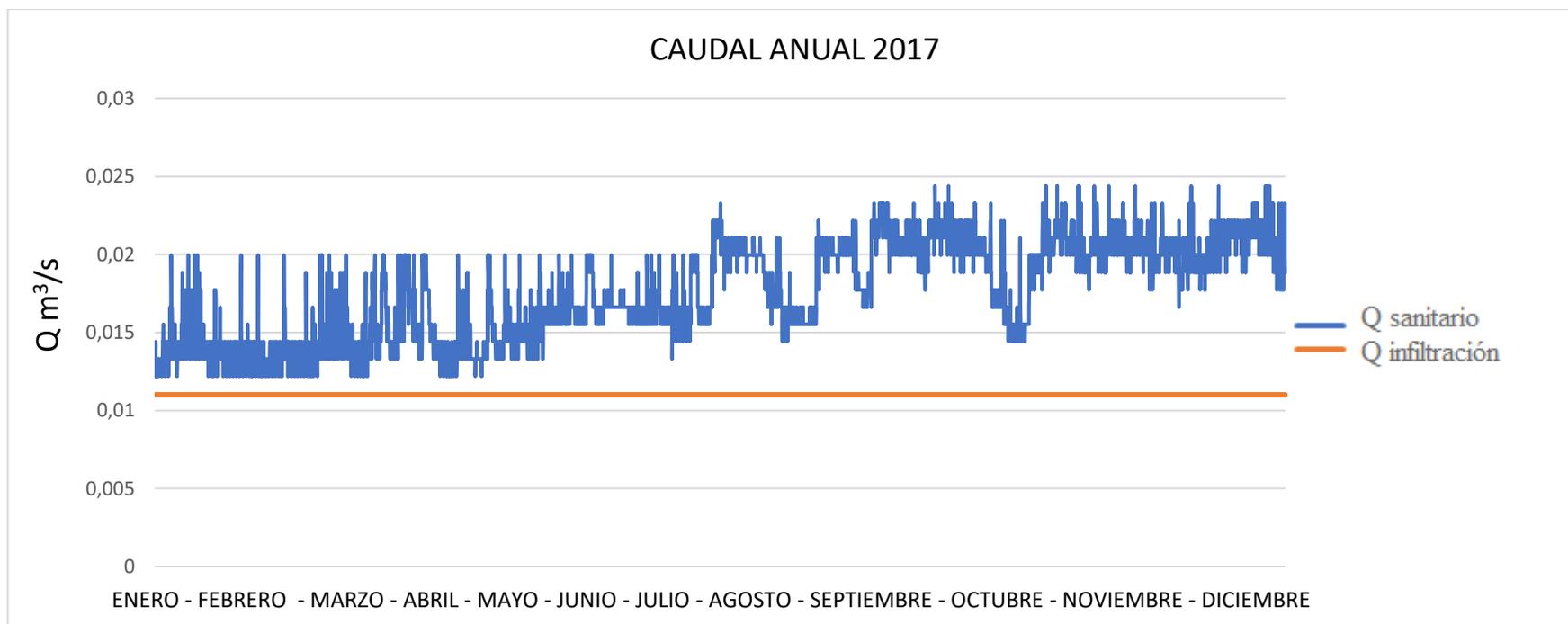


Figura 3. 64 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2017 del interceptor X.

Fuente: Autores

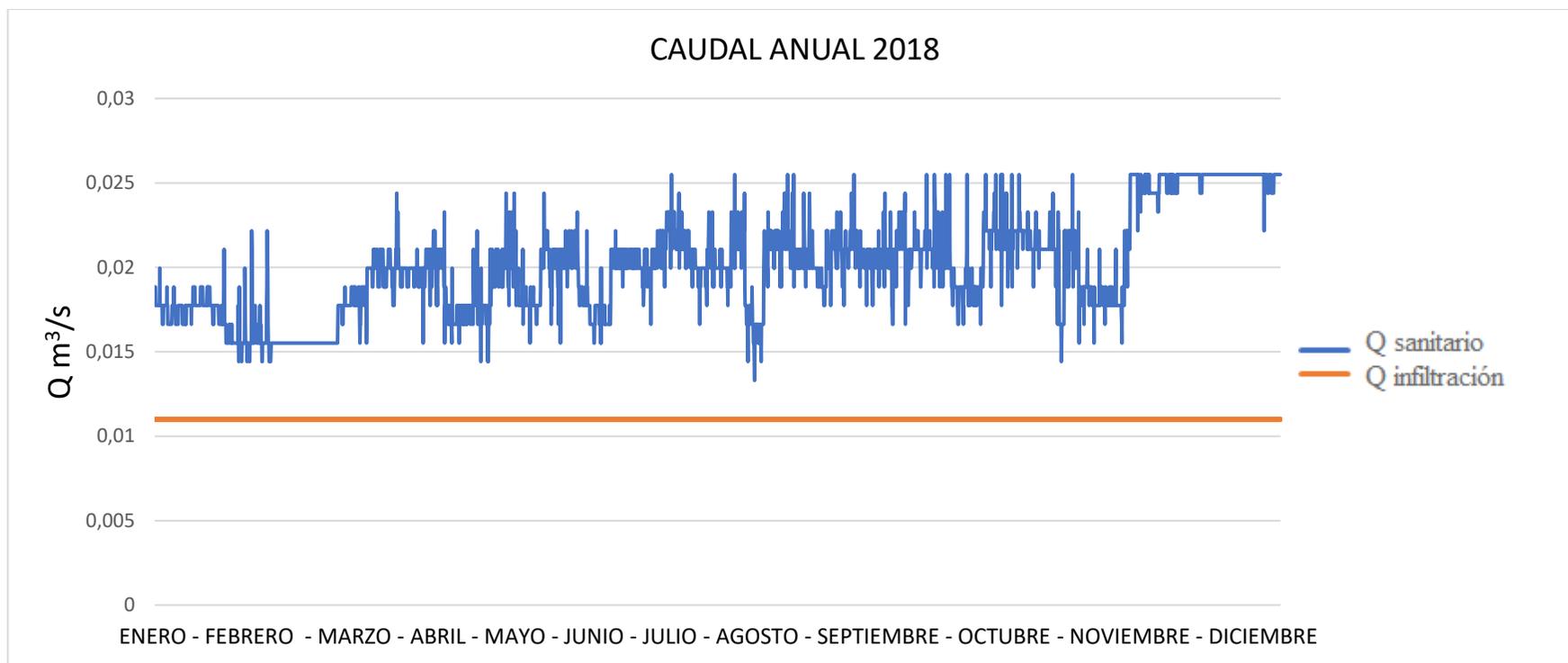


Figura 3. 65 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2018 del interceptor X.

Fuente: Autores

INTERCEPTOR XII-A

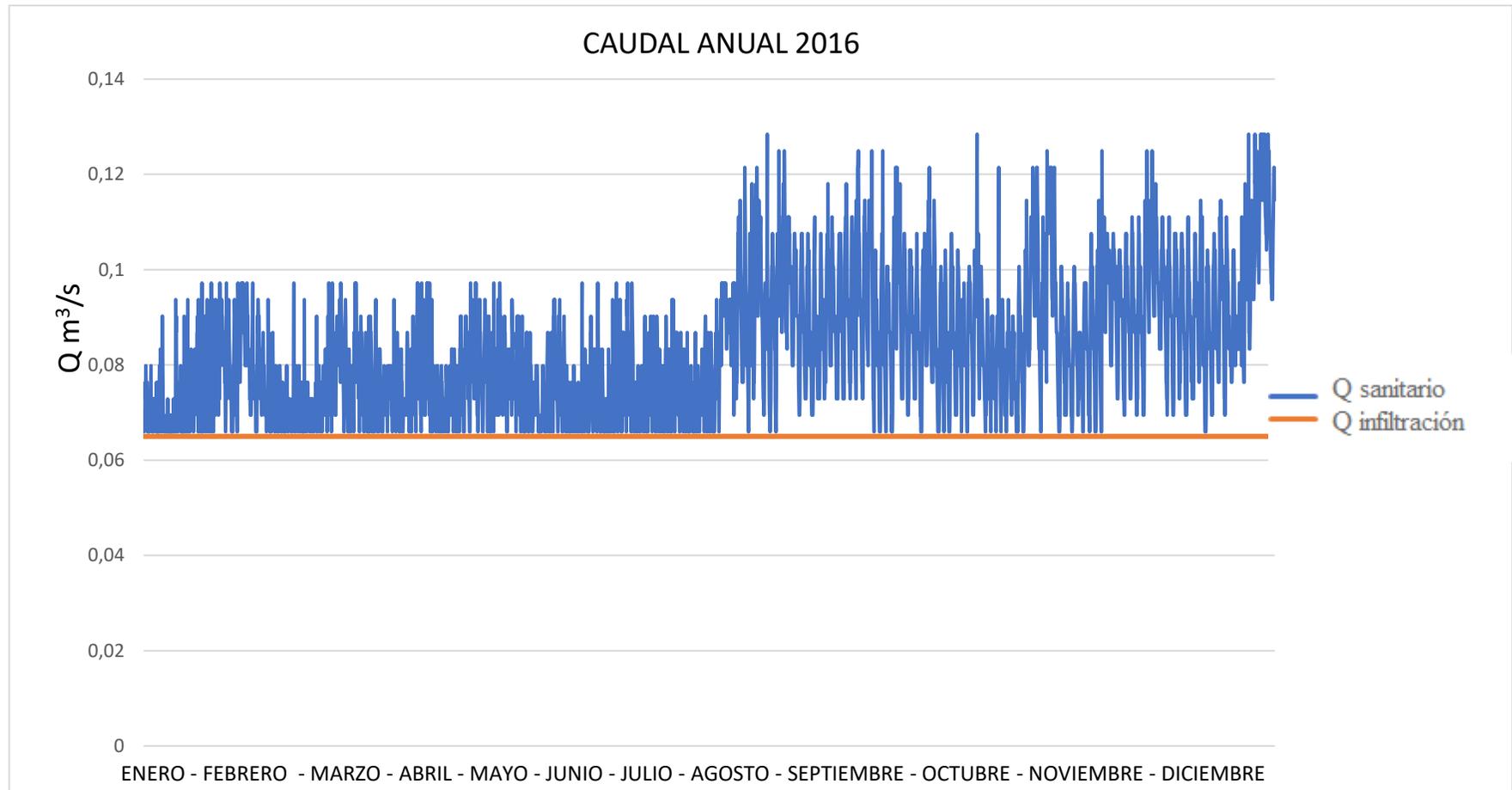


Figura 3. 66 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2016 del interceptor XII-A.

Fuente: Autores

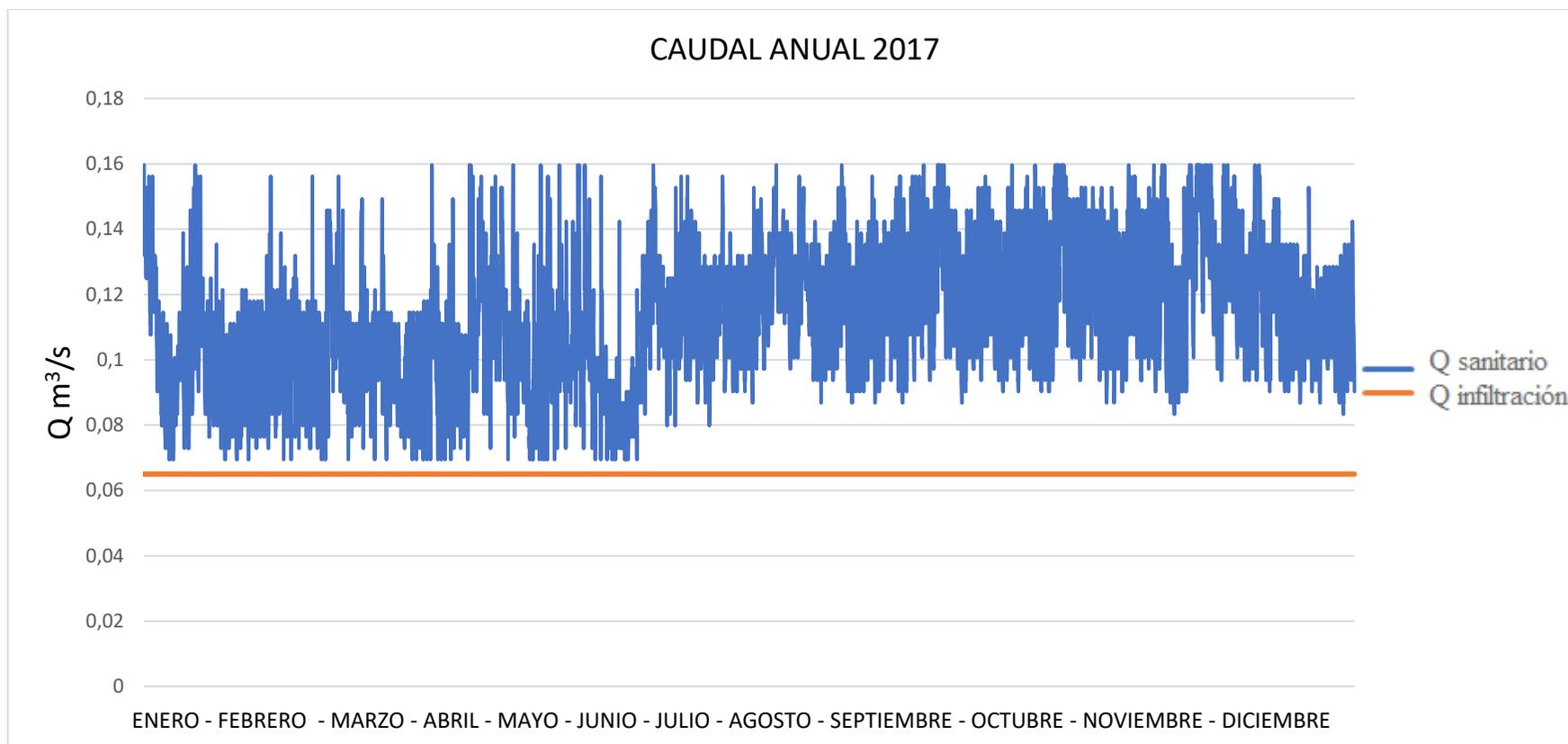


Figura 3. 67 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2017 del interceptor XII-A.

Fuente: Autores

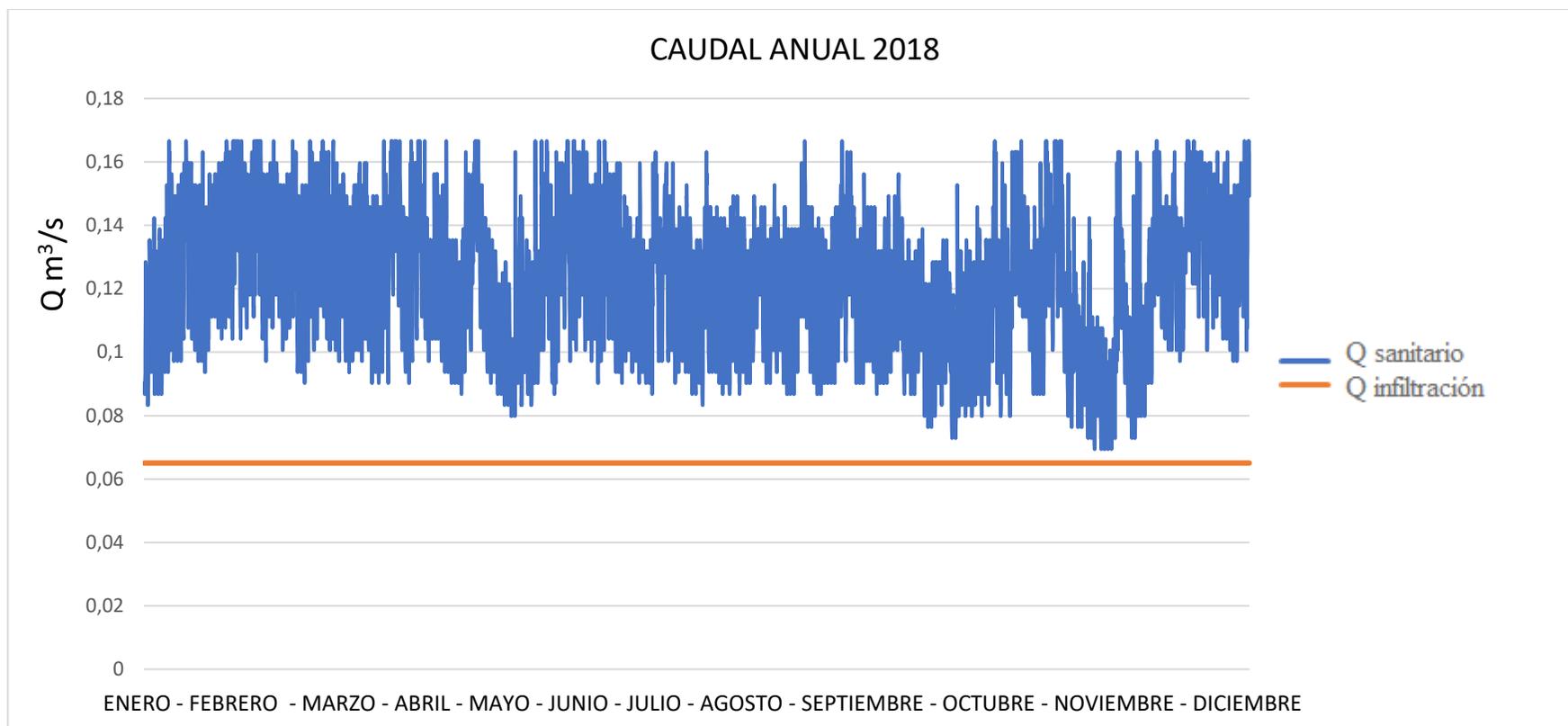


Figura 3. 68 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2018 del interceptor XII-A.

Fuente: Autores

INTERCEPTOR XVI

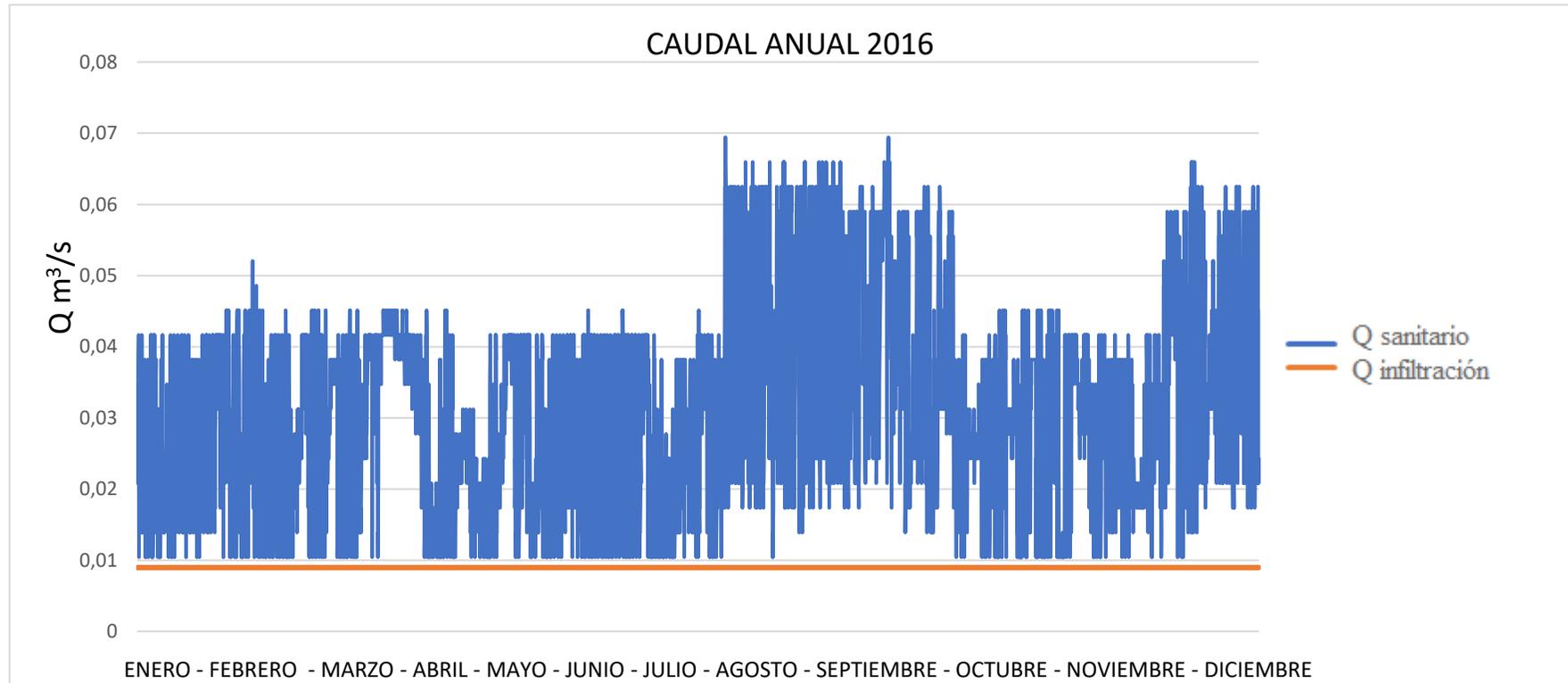


Figura 3. 69 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2016 del interceptor XVI.

Fuente: Autores

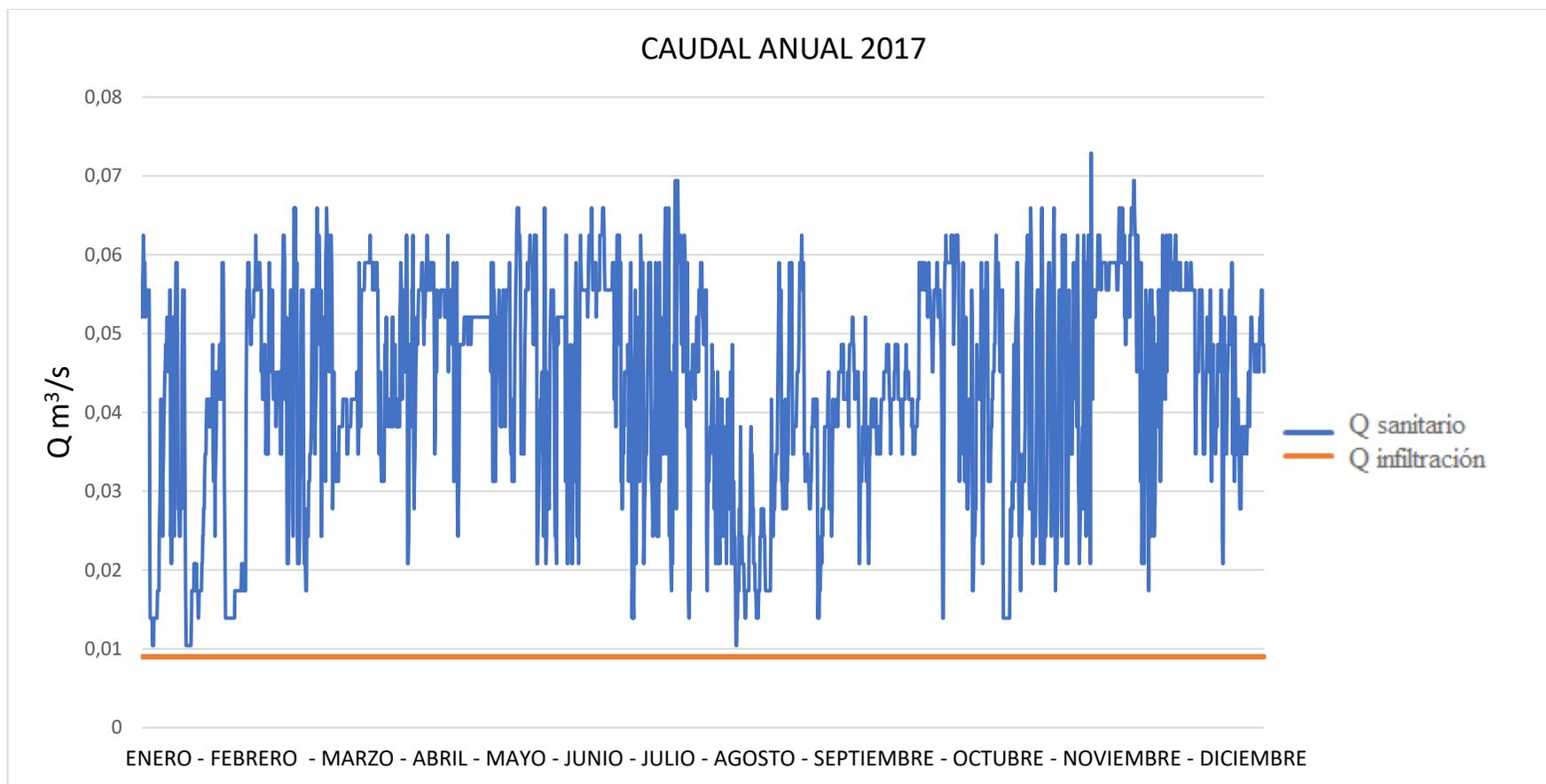


Figura 3. 70 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2017 del interceptor XVI.

Fuente: Autores

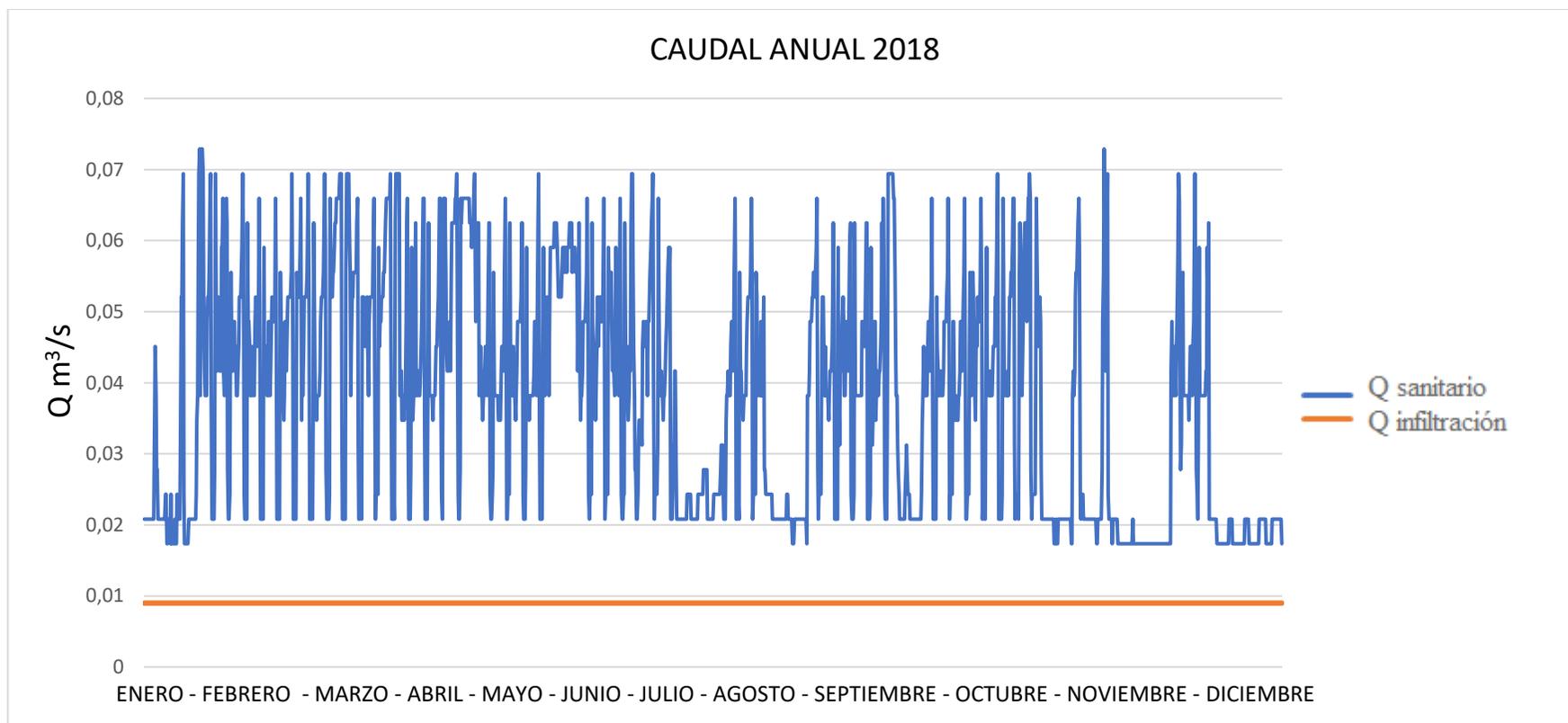


Figura 3. 71 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2018 del interceptor XVI.

Fuente: Autores

INTERCEPTOR XVIII

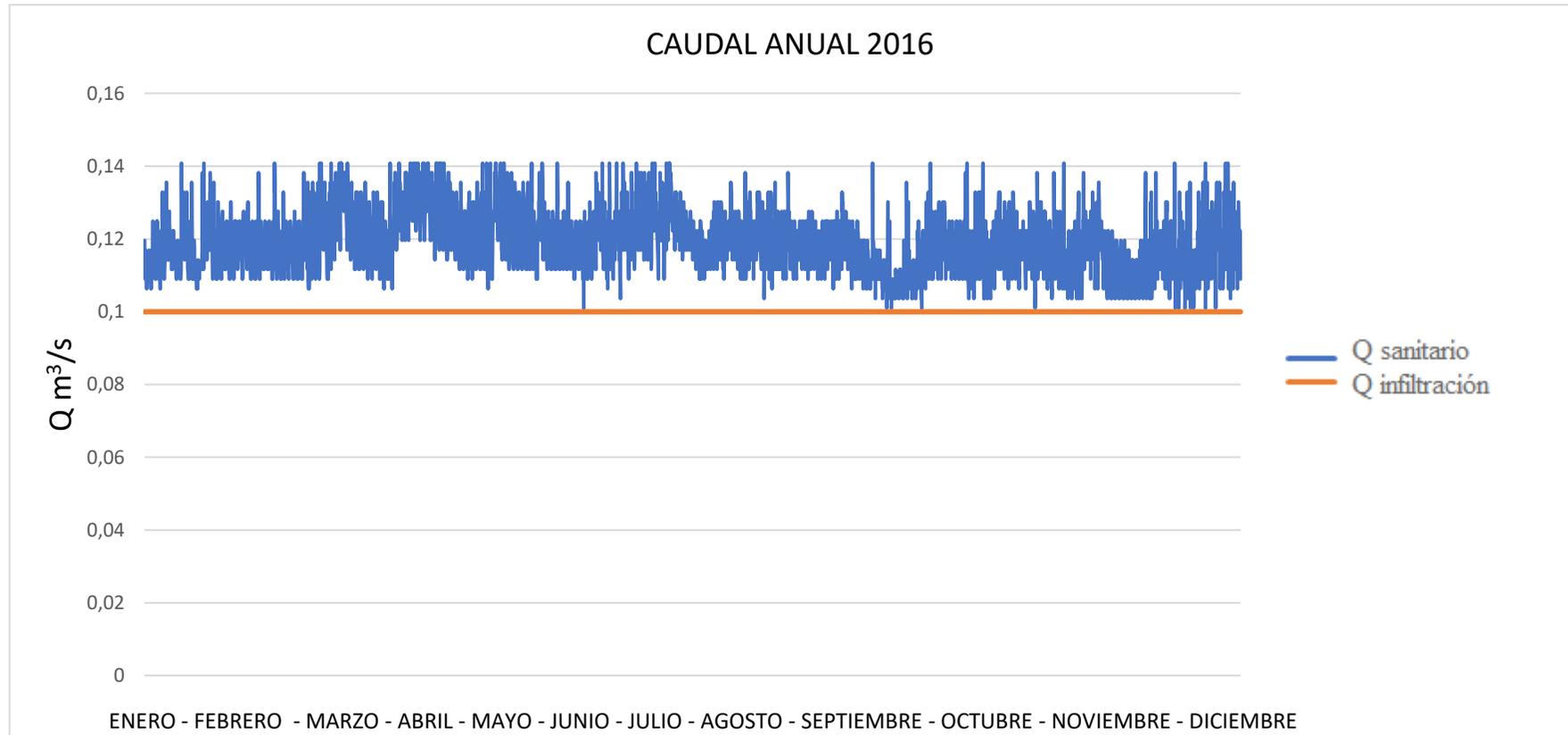


Figura 3. 72 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2016 del interceptor XVIII.

Fuente: Autores

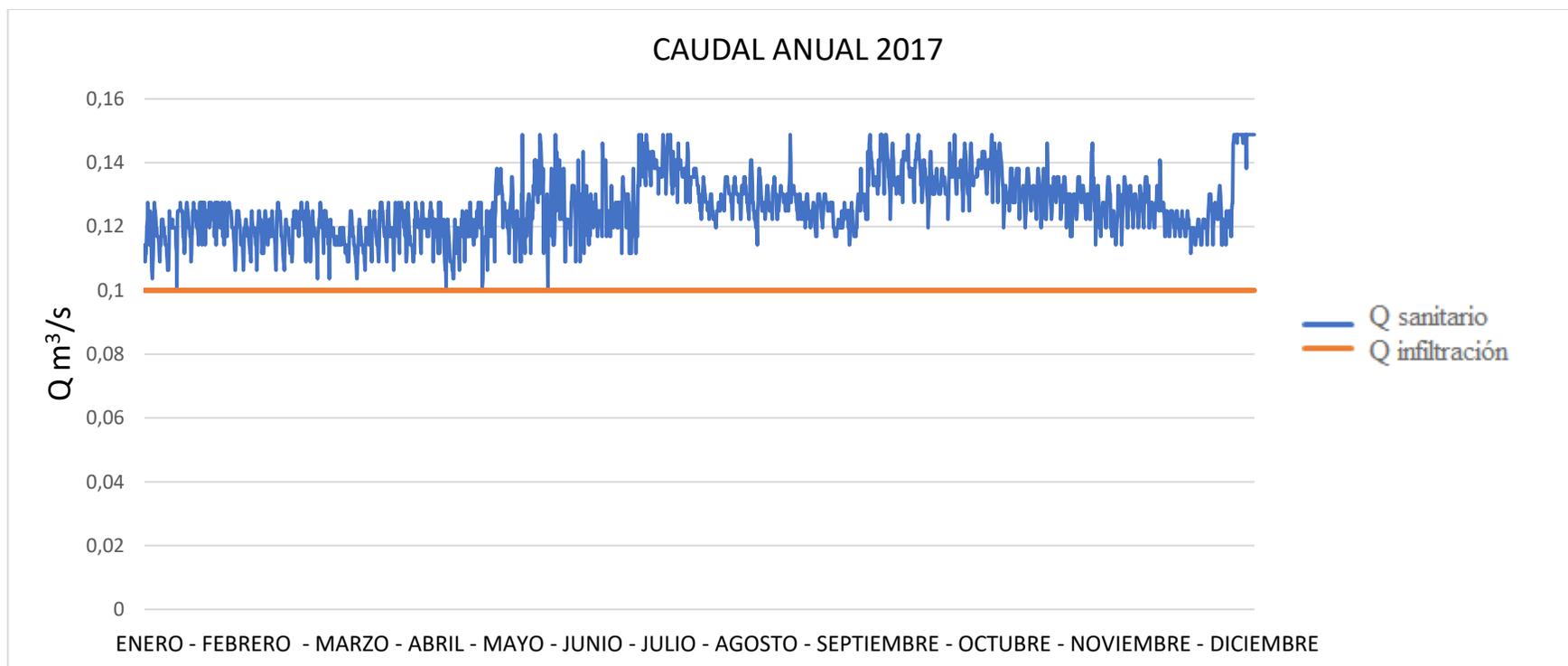


Figura 3. 73 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2017 del interceptor XVIII.

Fuente: Autores

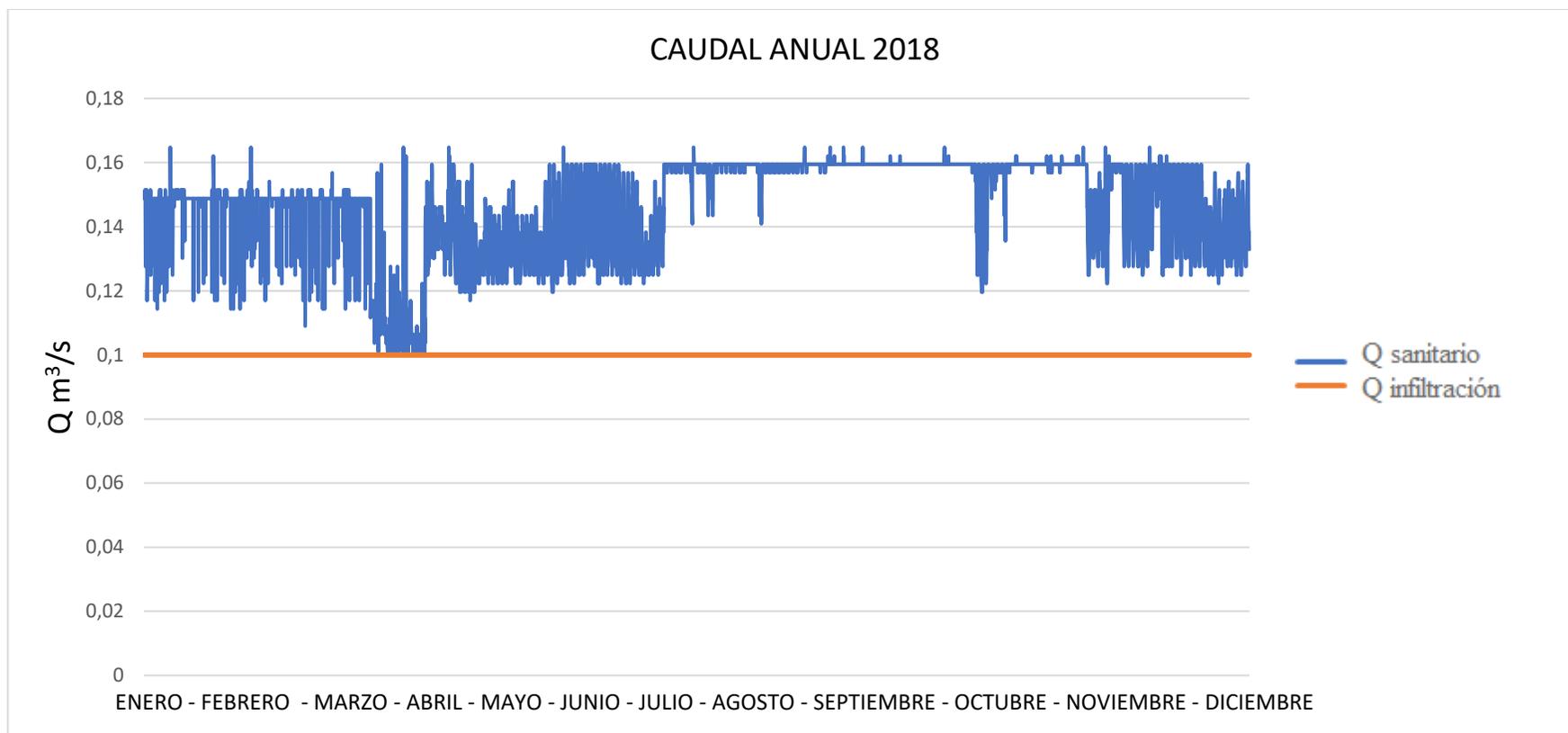


Figura 3. 74 Gráfico del comportamiento del caudal en el año 2018 del interceptor XVIII.

Fuente: Autores

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

4.1 Análisis de comportamiento de las gráficas mensuales del caudal sanitario y de infiltración de cada interceptor.

Para la presentación de las gráficas, se utilizaron los datos de los meses que nos permitieron una mayor facilidad en el análisis de comportamiento del caudal sanitario, debido a que algunos meses presentan información errada o incompleta, y así, poder obtener los valores máximos y mínimos del caudal en cada interceptor.

En los meses analizados se pudo observar un comportamiento repetitivo para cada día, en los cuales, las horas en las que se presentan los menores caudales son en las horas de la madrugada, mientras que desde las 6am hasta las 14pm aumenta considerablemente y a partir de este momento hasta las horas de la noche el caudal sanitario baja hasta llegar a los valores mínimos registrados.

INTERCEPTOR I

Los meses en los que se encontraron mayores periodos sin lluvia fueron los de julio, agosto y octubre, en los cuales en el año 2016 y 2017 el caudal sanitario se mantuvo constante, con un mínimo de $0.8 \text{ m}^3/\text{s}$ hasta $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$ como máximo. Para el año 2018 estos caudales aumentaron a un rango de $1 \text{ m}^3/\text{s}$ hasta $1.4 \text{ m}^3/\text{s}$, en el año 2019 presentó una considerable disminución del caudal, con rangos de $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ hasta un máximo de $0.07 \text{ m}^3/\text{s}$, el caudal de infiltración mínimo fue a inicios del año 2016 con un caudal de $0.716 \text{ m}^3/\text{s}$.

INTERCEPTOR II

Los meses analizados estuvieron entre abril, julio y noviembre, en los que, para los cuatro años analizados, del 2016 al 2019 el comportamiento del caudal sanitario se mantuvo constante en valores mínimos de $0.09 \text{ m}^3/\text{s}$ hasta $0.16 \text{ m}^3/\text{s}$, y en los cuales el caudal de infiltración de $0.085 \text{ m}^3/\text{s}$ es el mismo para todos estos años, Sin embargo, en el mes de enero del 2018 se registró un caudal sanitario máximo de $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$.

INTERCEPTOR III

Para este interceptor, los meses de marzo, julio, agosto y diciembre, fueron los que se utilizaron para las gráficas, en los que, los caudales sanitarios se vieron en valores similares en los años 2016-2019 con variación en rangos de 0.01 m³/s a 0.09 m³/s y en 2017-2018 de 0.04 m³/s a 0.018 m³/s respectivamente, en este interceptor el caudal de infiltración se mantuvo constante para los 4 años, denotando así un funcionamiento regular.

INTERCEPTOR IX

En este interceptor en los años 2016 y 2017 los valores de caudales sanitarios se mantuvieron dentro del rango de 0.032 m³/s hasta 0.04 m³/s, y para los años 2018 y 2019, estos aumentaron, presentando el valor mínimo de 0.04 m³/s, el cual fue el máximo para los años anteriores, hasta 0.065 m³/s. El cual, fue el máximo hasta el día 16 de enero del 2019, fecha en la que no se registraron datos suficientes para ser analizados y mostrados posteriormente.

INTERCEPTOR X

Desde la implementación de los sensores en este interceptor en el 2016, se registraron valores de 0.0065 m³/s a 0.011 m³/s como máximo y para los siguientes años 2017, 2018, 2019 el valor mínimo de caudal en estos 3 fue de 0.016 m³/s, así es que el caudal mínimo aumento en relación al año 2016 y en cuanto al caudal máximo este aumentó desde el valor de 0.021 m³/s, 0.023 m³/s y 0.024 m³/s respectivamente para cada año.

INTERCEPTOR XII-A

En este interceptor, los meses analizados fueron febrero, mayo, noviembre y diciembre, en donde, se muestra un aumento en el caudal sanitario con respecto a cada año, así, en el 2016 empezó con valores de 0.03 m³/s a 0.09 m³/s, en 2017 de 0.07 m³/s a 0.015 m³/s, en 2018 de 0.2 m³/s a 0.27 m³/s y en 2019 de 0.21 m³/s a 0.3 m³/s.

INTERCEPTOR XVI

Los meses analizados fueron marzo, julio y agosto para los años 2016, 2017 y 2018 respectivamente, puesto que el año 2019 no se pudo realizar el análisis debido a que no existe la información necesaria.

Este interceptor ha sido muy variado con respecto al caudal sanitario en los años analizados, en el cual, el valor menor registrado fue en el 2018 de 0.007 m³/s y el mayor de 0.05 m³/s en el 2016.

Para este interceptor no se pudieron obtener datos para evaluarlos frente a lo que observamos en las gráficas, pues es el que muestra el menor de los valores de caudal de infiltración, llegando a estar cerca del 1 litro/segundo*km.

INTERCEPTOR XVIII

Para este interceptor se analizaron los meses de julio, agosto y diciembre, en los cuales se pudo determinar un aumento en el caudal sanitario desde el año 2016, registrando un valor mínimo de 0.42 m³/s y en el año 2018 el mayor de 0.65 m³/s, en este rango se presentaron los caudales para dichos años excepto en el 2019 el cual cambio en sus magnitudes, disminuyendo a rangos de 0.35 m³/s hasta 0.5 m³/s.

4.2 Análisis de comportamiento de las gráficas anuales del caudal sanitario y de infiltración de cada interceptor.

INTERCEPTOR I

En este interceptor se puede observar que, para el mes de febrero del 2019, el caudal sanitario presento una disminución considerable en sus valores, siendo estos los normales que se venían registrando de 0.8 m³/s a 1.5 m³/s y ahora con valores menores de 0.1 m³/s hasta 0.6 m³/s en promedio, y, de 0.7 m³/s como puntos máximos de caudal. El cuál, a partir de dicha fecha se ha mantenido constante y para todo el año los valores mínimos llegan al mínimo de caudal de infiltración de 0.716 m³/s

Tabla 4. 1 Rango de valores mínimos y máximos del caudal de infiltración del Interceptor I.

Caudal de infiltración anual Interceptor I		
Año	Mínimo (m ³ /s)	Máximo (m ³ /s)
2016	0.716	0.8
2017	0.716	1
2018	0.716	1.05

INTERCEPTOR II

En este interceptor, se puede observar conjuntamente el aumento del caudal cuando se presentan precipitaciones, llegando a valores máximos de $0.24 \text{ m}^3/\text{s}$ y también cuando no ha llovido. Y, es aquí en donde el caudal sanitario vuelve a su normal comportamiento en los rangos definidos por las gráficas del análisis mensual con valores mínimos de $0.09 \text{ m}^3/\text{s}$. y máximos de $0.15 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tabla 4. 2 Rango de valores mínimos y máximos del caudal de infiltración del Interceptor II.

Caudal de infiltración anual Interceptor II		
Año	Mínimo (m ³ /s)	Máximo (m ³ /s)
2016	0.089	0.1
2017	0.09	0.12
2018	0.089	0.1

INTERCEPTOR III

Se pueden observar periodos cíclicos de comportamientos, cada uno delimitado por cambios y picos de precipitaciones, donde, el valor de caudal máximo registrado fue de $0.18 \text{ m}^3/\text{s}$ y un mínimo de $0.013 \text{ m}^3/\text{s}$ el cual, está muy cercano al valor del caudal de infiltración de $0.012 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tabla 4. 3 Rango de valores mínimos y máximos del caudal de infiltración del Interceptor III.

Caudal de infiltración anual Interceptor III		
Año	Mínimo (m ³ /s)	Máximo (m ³ /s)
2016	0.012	0.012
2017	0.012	0.041
2018	0.012	0.027

INTERCEPTOR IX

Para la realización de la gráfica para este interceptor se debió recurrir a los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre del año 2018 pues, no se contaba con información completa de este año, dando como resultado los mismos valores obtenidos en las gráficas mensuales, mostrando un comportamiento repetitivo a lo largo de este año, con un rango de valores de caudal sanitario de $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ a $0.65 \text{ m}^3/\text{s}$, pero no

alcanzando un valor mínimo cercano al caudal de infiltración de 0.031 m³/s, lo que puede deberse a nuevas conexiones y a otras ilícitas.

Tabla 4. 4 Rango de valores mínimos y máximos del caudal de infiltración del Interceptor IX.

Caudal de infiltración anual Interceptor IX		
Año	Mínimo (m ³ /s)	Máximo (m ³ /s)
2016	0.031	0.031
2017	0.032	0.032
2018	0.04	0.048

INTERCEPTOR X

A lo largo de todo el año, este interceptor muestra un comportamiento periódico con variaciones poco considerables, los rangos de caudal sanitario se mantuvieron en un mínimo de 0.011 m³/s hasta un máximo de 0.02 m³/s y en relación a los anteriores interceptores, el caudal en éste, es relativamente bajo.

Tabla 4. 5 Rango de valores mínimos y máximos del caudal de infiltración del Interceptor X.

Caudal de infiltración anual Interceptor X		
Año	Mínimo (m ³ /s)	Máximo (m ³ /s)
2016	0.012	0.0145
2017	0.012	0.017
2018	0.013	0.016

INTERCEPTOR XII-A

Este interceptor también muestra un registro de valores de caudal sanitario regular a lo largo de todo el año analizado, manteniendo valores en su caudal de 0.07 m³/s hasta 0.17 m³/s, el cual ha aumentado hasta un valor de 0.27 como máximo en el año 2018, a partir del cual lo mantiene y se observa lo mismo en el año 2019.

Tabla 4. 6 Rango de valores mínimos y máximos del caudal de infiltración del Interceptor XII-A.

Caudal de infiltración anual Interceptor XII-A		
Año	Mínimo (m ³ /s)	Máximo (m ³ /s)
2016	0.065	0.072
2017	0.069	0.086
2018	0.065	0.1

INTERCEPTOR XVI

Para este interceptor se pudo utilizar la información de cada hora del año 2019, en donde, el valor del caudal sanitario no cambio en sus valores con respecto a los años anteriores, pero si se pudo observar que, para los meses de julio, agosto, septiembre y diciembre, el rango de valores del caudal aumentó, desde 0.01 m³/s a 0.018 m³/s como mínimo y de 0.045 m³/s a 0.065 m³/s como máximos en los meses mencionados, este aumento es similar y solo así en estos meses, donde dicho caudal no llega al valor de caudal de infiltración observado.

Tabla 4. 7 Rango de valores mínimos y máximos del caudal de infiltración del Interceptor XVI.

Caudal de infiltración anual Interceptor XVI		
Año	Mínimo (m ³ /s)	Máximo (m ³ /s)
2016	0.009	0.017
2017	0.009	0.02
2018	0.017	0.02

INTERCEPTOR XVIII

Desde el año 2016 al 2019 este interceptor ha tenido un crecimiento del caudal sanitario de alrededor de 5 lt/s por cada año. Por lo que, se encuentra dentro de los límites normales, debido a las nuevas conexiones al sistema de alcantarillado de la ciudad. Los valores del caudal no han disminuido con un mínimo de 0.35 m³/s hasta llegar a los 0.65 m³/s. Al ser este uno de los interceptores más largos, el caudal de infiltración es uno de los más altos con respecto a los demás, con un valor de 10 lt/s. Sin embargo, no es muy representativo en referencia al caudal total que circula por dicho interceptor.

Tabla 4. 8 Rango de valores mínimos y máximos del caudal de infiltración del Interceptor XVIII.

Caudal de infiltración anual Interceptor XVIII		
Año	Mínimo (m ³ /s)	Máximo (m ³ /s)
2016	0.1	0.108
2017	0.1	0.12
2018	0.1	0.125

CONCLUSIONES

La finalidad del trabajo de titulación al elaborar las gráficas de funcionamiento de los interceptores tiene como objetivo identificar el comportamiento y posibles variaciones en el caudal sanitario en las épocas sin lluvia para los años 2016 al 2019.

Para el análisis del sistema de alcantarillado sanitario combinado de la ciudad de Cuenca, se consideró que trabaja a sección llena, pues en la mayoría de los casos la altura del caudal esta de entre el 60% al 90%, el cual es un valor relevante para este análisis.

En un estudio anterior a este, se proyectaron valores de caudal de infiltración para el año 2020 en cada interceptor de caudal sanitario de la ciudad de Cuenca, en el cual, en relación a este proyecto, se identificó una considerable variación en dichos valores (tabla 4.9).

Tabla 4. 9 Relación entre el caudal de infiltración proyectado y Observado.

Interceptor	Longitud (m)	Q (lt*s/km)	Qinf(Estudios) (m3/s)	Qinf(observado) (m3/s)	Q(utilizado)(lt*s/km)	variación(%Q)
I	21879.63	1	0.716	0.716	1.00	0.00
II	7654.75	1	0.147	0.085	1.73	72.94
III	3490.19	1	0.147	0.012	12.25	1125.00
IX	9987.09	1	0.217	0.031	7.00	600.00
X	5121.15	1	0.047	0.012	3.92	291.67
XII-A	7865.88	1	0.139	0.065	2.14	113.85
XVI	6323.57	1	0.000	0.009	0.00	Sin datos
XVIII	10207.65	1	0.179	0.100	1.79	79.00

Elaborado: Autores.

Fuente: (Martínez Rodas, 2018)

Este caudal de infiltración se mantiene en los valores mínimos de caudal sanitario, pero es un porcentaje a considerar ya que en función del tiempo este suma un volumen adicional a la planta de tratamiento de aguas residuales.

Los interceptores estudiados presentan conformidad en cuanto a su diseño, ya que en dependencia a las áreas que estos vienen sirviendo cumplen con lo requerido para el normal funcionamiento del sistema de alcantarillado de la ciudad de Cuenca.

RECOMENDACIONES

El sistema de alcantarillado de la ciudad de Cuenca en función a este estudio, analizando solamente el caudal sanitario en época sin lluvia, ha presentado ciertos cambios de caudal en ciertos interceptores, por lo que se recomienda una mejora en cuanto al monitoreo de las alturas del caudal en cada uno de estos y un correcto mantenimiento de los sensores instalados, para así, obtener información precisa, la cual nos permita un conocimiento certero del funcionamiento de dichos interceptores y el caudal sanitario que se manifiesta en el tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

- Agua, M. d. (2007). Instalaciones sanitarias-alcantarillado pluvial, sanitario y tratamiento de aguas residuales. La Paz, Bolivia.
- Armijos, E., & Martínez, G. (1995). PLAN MAESTRO DE ALCANTARILLADO PARA LA CIUDAD DE MANAGUA. Managua.
- Butler, D., & Davies, J. (2011). Urban Drainage. New York, EE.UU.
- Carmona, A., & Zhicay, J. (2019). Detreminación de ecuaciones que relacionen la altura del flujo en los pozos de revisión con el nivel de agua en las tuberías de los interceptores sanitarios de la ciudad de Cuenca:I,II,III,VI-2,IX,X,XII-A,XVI,XVIII(tesis de pregrado). Cuenca: Universidad del Azuay.
- Castillo, C., & Ullaguari, E. (2018). Diseño del colector combinado en el margen izquierdo de la quebrada Calihuayco para la parroquia Pintag, cantón Quito, provincia de Pichincha-Ecuador. Quito.
- Espingares García, M., & Pérez López, J. (1985). Aspectos sanitarios del estudio de las aguas. Universidad de Granada. Servicio de Publicaciones.Granada.
- ETAPA. (2009). Proyecto de los Planes Maestros de Agua Potable y Saneamiento II fase. Cuenca.
- ETAPA EP. (2016). Aplicacion de la capacidad de la planta de tratamiento de agua potable de tixan: modulo II. Cuenca.
- López Cualla, R. (2003). Elementos de diseño para acueductos y alcantarillado. Bogota.
- López, R. A. (1995). Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Martínez, P. (2018). Análisis de la distribución de caudales para el sistema de interceptores sanitarios para la ciudad de Cuenca(tesis de pregrado). Cuenca: Universidad del Azuay.
- SIAPA. (2014). Criterios y lineamientos técnicos para factibilidades del Alcantarillado Sanitario. Guadalajara.

ANEXOS

Anexo digital en el software Excel de la hoja de cálculo analizando los datos cada 5 minutos del interceptor I.

Anexo digital en el software Excel de la hoja de cálculo analizando los datos cada 5 minutos del interceptor II.

Anexo digital en el software Excel de la hoja de cálculo analizando los datos cada 5 minutos del interceptor III.

Anexo digital en el software Excel de la hoja de cálculo analizando los datos cada 5 minutos del interceptor IX.

Anexo digital en el software Excel de la hoja de cálculo analizando los datos cada 5 minutos del interceptor X.

Anexo digital en el software Excel de la hoja de cálculo analizando los datos cada 5 minutos del interceptor XII-A.

Anexo digital en el software Excel de la hoja de cálculo analizando los datos cada 5 minutos del interceptor XVI.

Anexo digital en el software Excel de la hoja de cálculo analizando los datos cada 5 minutos del interceptor XVIII.

Anexo digital en el software Excel de la hoja de cálculo analizando los datos a cada 60 minutos del interceptor I.

Anexo digital en el software Excel de la hoja de cálculo analizando los datos a cada 60 minutos del interceptor II.

Anexo digital en el software Excel de la hoja de cálculo analizando los datos a cada 60 minutos del interceptor III.

Anexo digital en el software Excel de la hoja de cálculo analizando los datos a cada 60 minutos del interceptor IX.

Anexo digital en el software Excel de la hoja de cálculo analizando los datos a cada 60 minutos del interceptor X.

Anexo digital en el software Excel de la hoja de cálculo analizando los datos a cada 60 minutos del interceptor XII-A

Anexo digital en el software Excel de la hoja de cálculo analizando los datos a cada 60 minutos del interceptor XVI.

Anexo digital en el software Excel de la hoja de cálculo analizando los datos a cada 60 minutos del interceptor XVIII.