



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA EN
CONSTRUCCIONES**

**Análisis del Funcionamiento de los Interceptores Sanitarios X,
XII-A, I y XVIII de la Ciudad de Cuenca y su Relación con la
Lluvia.**

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

Autora:

NOELIA ALEXANDRA JARA BENAVIDES

Director:

CARLOS JAVIER FERNÁNDEZ DE CÓRDOVA WEBSTER

CUENCA, ECUADOR

2020

DEDICATORIA

Mi tesis la dedico primeramente a Dios por cuidarme a lo largo de toda mi carrera y darme la sabiduría para poder culminarla.

A mi esposo Anthony quien ha estado conmigo desde el inicio de mi carrera apoyándome y brindándome todo su amor y comprensión y a mi hijo Matías que es el motor de mi vida.

A mis padres Fabricio y Ximena, por su esfuerzo, sus consejos y su apoyo incondicional para cumplir este sueño sin dudar de mi capacidad de enfrentar los retos que se presentaron durante mi vida estudiantil.

AGRADECIMIENTOS

A toda mi familia que colaboró de una u otra forma guiándome siempre con sus valores y enseñanzas para poder culminar con éxito mi carrera universitaria.

A mi director de tesis, el Ing. Javier Fernández de Córdova, por guiarme y brindarme su ayuda para obtener la información necesaria durante el desarrollo de este trabajo de titulación.

A los ingenieros Josué Larriva y Belén Arévalo, miembros de mi tribunal, por su gentil ayuda para la culminación de este proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES.....	3
JUSTIFICACIÓN.....	4
ESTADO DEL ARTE.....	5
OBJETIVOS.....	7
Objetivo general.....	7
Objetivos específicos.....	7
CAPÍTULO 1.....	8
ANÁLISIS Y DEPURACIÓN DE LA BASE DE DATOS DE LOS INTERCEPTORES.....	8
1.1 Marco teórico.....	8
1.1.1 Conceptos de los parámetros de estudio.....	8
1.2 Recopilación de los datos.....	21
1.3 Depuración de la base de datos.....	21
1.4 Descripción y ubicación de los interceptores:.....	23
1.5 Descripción y ubicación de las estaciones:.....	26

CAPÍTULO 2	28
CÁLCULO DE ALTURAS DE FLUJO, CAUDALES Y ELABORACIÓN DE GRÁFICAS DE COMPORTAMIENTO	28
2.1 Cálculo de alturas de flujo en la tubería.....	28
2.2 Elaboración de gráficas de altura de flujo en la tubería.....	29
2.3 Cálculo de caudales.....	31
2.4 Elaboración de gráficas altura de flujo vs lluvia.....	34
2.5 Análisis de la época de lluvia de cada Interceptor	36
2.5.1 Curvas de comportamiento en el época lluviosa	36
2.6 Análisis de la época seca de cada Interceptor	47
2.6.1 Curvas de comportamiento en la época seca	47
CAPÍTULO 3	68
ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS	68
3.1 Tablas comparativas de lluvia, altura de flujo y caudales	68
3.2 Análisis de la tabla de la época de lluvia	77
3.3 Análisis de la tabla de la época de sequía	79
CONCLUSIONES	82
RECOMENDACIONES	84
BIBLIOGRAFÍA	85
ANEXOS	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Tabla de rangos de intensidad de lluvia.....	17
Tabla 1.2 Descripción de los Interceptores de estudio.....	24
Tabla 1.3 Tipo de estaciones de meteorológicas del proyecto.....	26
Tabla 2.1 Ecuaciones utilizadas para el cálculo del nivel de agua en las tuberías de los interceptores.....	28
Tabla 2.2 Ecuaciones utilizadas cuando el nivel de agua en la tubería es mayor que el radio.....	31
Tabla 2.3 Ecuaciones utilizadas cuando el nivel de agua en la tubería es menor que el radio.....	32
Tabla 2.4 Valores de rugosidad y pendiente para cada interceptor de estudio.	33
Tabla 3.1 Tabla comparativa de lluvia, altura de flujo y caudal Interceptor I.	69
Tabla 3.2 Tabla comparativa de lluvia, altura de flujo y caudal Interceptor X.....	70
Tabla 3.3 Tabla comparativa de lluvia, altura de flujo y caudal Interceptor XII-A.....	71
Tabla 3.4 Tabla comparativa de lluvia, altura de flujo y caudal Interceptor XVIII.....	72
Tabla 3.5 Tabla comparativa época seca de altura de flujo y caudales entre semana Interceptor I.....	73
Tabla 3.6 Tabla comparativa época seca de altura de flujo y caudales fines de semana Interceptor I.....	73
Tabla 3.7 Tabla comparativa época seca de altura de flujo y caudales entre semana Interceptor X.	74
Tabla 3.8 Tabla comparativa época seca de altura de flujo y caudales fines de semana Interceptor X.	74
Tabla 3.9 Tabla comparativa época seca de altura de flujo y caudales entre semana Interceptor XII-A.	75
Tabla 3.10 Tabla comparativa época seca de altura de flujo y caudales fines de semana Interceptor XII-A.	75
Tabla 3.11 Tabla comparativa época seca de altura de flujo y caudales entre semana Interceptor XVIII.	76

Tabla 3.12 Tabla comparativa época seca de altura de flujo y caudales fines de semana Interceptor XVIII.	76
Tabla 3.13 Tabla resumen de valores de altura de flujo al inicio de la lluvia en cada interceptor.	79
Tabla 3.14 Tabla resumen de rango de valores de comportamiento normal de cada interceptor entre semana y fin de semana.	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Derivador de caudal tipo vertedero.....	9
Figura 1.2 Sensor instalado por Etapa EP.....	10
Figura 1.3 Estación meteorológica Cebollar.....	13
Figura 1.4 Estación meteorológica Tixán.	14
Figura 1.5 Estación pluviográfica Ricaurte.....	15
Figura 1.6 Estación pluviográfica Totoracocha.	15
Figura 1.7 Pluviómetro estándar.	19
Figura 1.8 Pluviómetro con tubo de descarga.	20
Figura 1.9 Pluviómetro usado de la red de ETAPA.....	21
Figura 1.10 Gráfico altura de flujo en el pozo de revisión, Interceptor I.....	22
Figura 1.11 Ubicación de los interceptores de estudio.	25
Figura 1.12 Ubicación de las estaciones meteorológicas de estudio.	27
Figura 2.1 Gráfico altura de flujo en la tubería del Interceptor I.	29
Figura 2.2 Gráfico del mes de Enero de los años 2017, 2018 y 2019.....	30
Figura 2.3 Gráfico del mes de Octubre de los años 2017, 2018 y 2019.	30
Figura 2.4 Sección de la tubería cuando el nivel de agua es mayor que el radio.....	31
Figura 2.5 Sección de la tubería cuando el nivel de agua es menor que el radio.....	32
Figura 2.6 Gráfico lluvia vs altura de flujo, Interceptor I.	35
Figura 2.7 Gráfico lluvia vs altura de flujo, Interceptor X.....	35
Figura 2.8 Gráfico Interceptor I, evento de lluvia 1.....	37
Figura 2.9 Gráfico Interceptor I, evento de lluvia 2.....	37
Figura 2.10 Gráfico Interceptor I, evento de lluvia 3.....	38
Figura 2.11 Gráfico Interceptor I, evento de lluvia 4.....	38
Figura 2.12 Gráfico Interceptor I, evento de lluvia 5.....	39
Figura 2.13 Gráfico Interceptor X, evento de lluvia 1.	39
Figura 2.14 Gráfico Interceptor X, evento de lluvia 2.	40
Figura 2.15 Gráfico Interceptor X, evento de lluvia 3.	40
Figura 2.16 Gráfico Interceptor X, evento de lluvia 4.	41
Figura 2.17 Gráfico Interceptor X, evento de lluvia 5.	41

Figura 2.18 Gráfico Interceptor XII-A, evento de lluvia 1.	42
Figura 2.19 Gráfico Interceptor XII-A, evento de lluvia 2.	42
Figura 2.20 Gráfico Interceptor XII-A, evento de lluvia 3.	43
Figura 2.21 Gráfico Interceptor XII-A, evento de lluvia 4.	43
Figura 2.22 Gráfico Interceptor XII-A, evento de lluvia 5.	44
Figura 2.23 Gráfico Interceptor XVIII, evento de lluvia 1.	44
Figura 2.24 Gráfico Interceptor XVIII, evento de lluvia 2.	45
Figura 2.25 Gráfico Interceptor XVIII, evento de lluvia 3.	45
Figura 2.26 Gráfico Interceptor XVIII, evento de lluvia 4.	46
Figura 2.27 Gráfico Interceptor XVIII, evento de lluvia 5.	46
Figura 2.28 Gráfico1 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor I.	48
Figura 2.29 Gráfico2 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor I.	48
Figura 2.30 Gráfico 3 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor I.	49
Figura 2.31 Gráfico 4 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor I.	49
Figura 2.32 Gráfico 5 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor I.	50
Figura 2.33 Gráfico 1 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor I.	50
Figura 2.34 Gráfico 2 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor I.	51
Figura 2.35 Gráfico 3 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor I.	51
Figura 2.36 Gráfico 4 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor I.	52
Figura 2.37 Gráfico 4 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor I.	52
Figura 2.38 Gráfico 1 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor X.	53
Figura 2.39 Gráfico 2 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor X.	53
Figura 2.40 Gráfico 3 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor X.	54
Figura 2.41 Gráfico 4 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor X.	54
Figura 2.42 Gráfico 5 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor X.	55
Figura 2.43 Gráfico 1 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor X.	55
Figura 2.44 Gráfico 2 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor X.	56
Figura 2.45 Gráfico 3 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor X.	56
Figura 2.46 Gráfico 4 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor X.	57
Figura 2.47 Gráfico 5 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor X.	57
Figura 2.48 Gráfico 1 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor XII-A. .	58

Figura 2.49	Gráfico 2 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor XII-A.	. 58
Figura 2.50	Gráfico 3 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor XII-A.	. 59
Figura 2.51	Gráfico 4 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor XII-A.	. 59
Figura 2.52	Gráfico 5 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor XII-A.	. 60
Figura 2.53	Gráfico 1 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor XII-A.	. 60
Figura 2.54	Gráfico 2 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor XII-A.	. 61
Figura 2.55	Gráfico 3 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor XII-A.	. 61
Figura 2.56	Gráfico 4 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor XII-A.	. 62
Figura 2.57	Gráfico 5 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor XII-A.	. 62
Figura 2.58	Gráfico 1 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor XVIII.	. 63
Figura 2.59	Gráfico 2 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor XVIII.	. 63
Figura 2.60	Gráfico 3 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor XVIII.	. 64
Figura 2.61	Gráfico 4 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor XVIII.	. 64
Figura 2.62	Gráfico 5 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor XVIII.	. 65
Figura 2.63	Gráfico 1 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor XVIII.	. 65
Figura 2.64	Gráfico 2 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor XVIII.	. 66
Figura 2.65	Gráfico 3 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor XVIII.	. 66
Figura 2.66	Gráfico 4 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor XVIII.	. 67
Figura 2.67	Gráfico 5 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor XVIII.	. 67

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Anexo digital en el software Excel de gráficos de altura de flujo en el pozo de revisión Interceptor I.	88
Anexo 2: Anexo digital en el software Excel de gráficos de altura de flujo en el pozo de revisión Interceptor X.	88
Anexo 3 Anexo digital en el software Excel de gráficos de altura de flujo en el pozo de revisión Interceptor XII-A.....	88
Anexo 4 Anexo digital en el software Excel de gráficos de altura de flujo en el pozo de revisión Interceptor XVIII.....	88
Anexo 5: Anexo digital en el software Excel de gráficos de altura de flujo en la tubería interceptor I.	88
Anexo 6: Anexo digital en el software Excel de gráficos de altura de flujo en la tubería interceptor X.....	88
Anexo 7: Anexo digital en el software Excel de gráficos de altura de flujo en la tubería interceptor XII-A.....	88
Anexo 8: Anexo digital en el software Excel de gráficos de altura de flujo en la tubería interceptor XVIII.....	88
Anexo 9: Anexo digital en el software Excel cálculo de caudales Interceptor I.....	88
Anexo 10: Anexo digital en el software Excel cálculo de caudales Interceptor X.	88
Anexo 11: Anexo digital en el software Excel cálculo de caudales Interceptor XII-A. .	88
Anexo 12: Anexo digital en el software Excel cálculo de caudales Interceptor XVII.I .	88
Anexo 13: Anexo digital en el software Excel de gráficos altura de flujo vs lluvia interceptor I.	88
Anexo 14: Anexo digital en el software Excel de gráficos altura de flujo vs lluvia interceptor X.....	89
Anexo 15: Anexo digital en el software Excel de gráficos altura de flujo vs lluvia interceptor XII-A.....	89
Anexo 16: Anexo digital en el software Excel de gráficos altura de flujo vs lluvia interceptor XVIII.....	89

Anexo 17: Anexo digital en el software Excel gráficos de comportamiento época lluviosa y seca interceptor I.....	89
Anexo 18: Anexo digital en el software Excel gráficos de comportamiento época lluviosa y seca interceptor X.	89
Anexo 19: Anexo digital en el software Excel gráficos de comportamiento época lluviosa y seca interceptor XII-A.	89
Anexo 20: Anexo digital en el software Excel gráficos de comportamiento época lluviosa y seca interceptor XII-A.	89

ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS INTERCEPTORES SANITARIOS X, XII-A, I Y XVIII DE LA CIUDAD DE CUENCA Y SU RELACIÓN CON LA LLUVIA.

RESUMEN

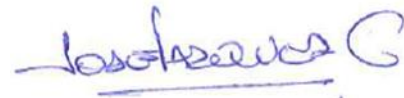
El proyecto analiza el comportamiento hidráulico de los interceptores sanitarios X, XII-A, I y XVIII del sistema de alcantarillado de la ciudad de Cuenca, mediante datos de alturas de flujo, obtenidos por los sensores ultrasónicos colocados en cada interceptor, además, a través de gráficas de lluvia se compara la época seca y lluviosa con información obtenida de las estaciones meteorológicas. Este análisis se efectúa con el fin conocer el funcionamiento y operación de los interceptores, sobre todo cuando existen eventos de lluvia que provocan un incremento significativo del nivel de agua.

Palabras clave: Interceptor, sistema de alcantarillado, sensor ultrasónico, estación meteorológica, lluvia.



Ing. Javier Fernández de Córdoba Webster

Director del trabajo de titulación



Ing. José Vázquez Calero

Director de escuela



Noelia Alexandra Jara Benavides

Autora

ANALYSIS OF THE FUNCTIONING OF THE SANITARY INTERCEPTORS X, XII-A, I AND XVIII OF THE CITY OF CUENCA AND ITS RELATION TO RAIN.

ABSTRACT

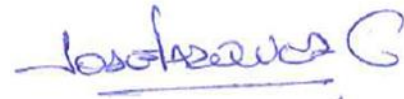
The project analyzes the hydraulic behavior of the sanitary interceptors X, XII-A, I and XVIII of the sewage system of Cuenca by means of flow height data, obtained by the ultrasonic sensors placed on each interceptor. In addition, through rain graphs it compares the dry and rainy season with information obtained from meteorological stations. This analysis was carried out to know the functioning and operation of the interceptors, especially when there are rain events that cause a significant increase in the water level.

Keywords: Interceptor, sewage system, ultrasonic sensor, meteorological station, rain.



Ing. Javier Fernández de Córdova Webster

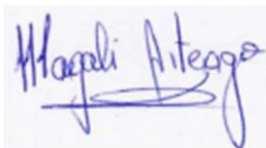
Thesis Director



Ing. José Vázquez Calero

Faculty Director

Translated by



Noelia Alexandra Jara Benavides

ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS INTERCEPTORES SANITARIOS X, XII-A, I Y XVIII DE LA CIUDAD DE CUENCA Y SU RELACIÓN CON LA LLUVIA.

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Cuenca, es la capital de la provincia del Azuay, está ubicada al sur del Ecuador, su altitud promedio en la zona urbana está aproximadamente a 2560msnm y geográficamente está ubicada entre las coordenadas 2°39´a 3°00´de latitud sur y 78°54´a 79°26´de longitud oeste. El Cantón Cuenca tiene 36 parroquias de las cuales 15 son urbanas, que conforman la ciudad de cuenca, y comprenden un área de 72,32 Km² (Prieto & Felipe, 2013). Durante el transcurso del año la temperatura de Cuenca puede variar entre 7°C a 17°C rara vez baja a menos de 5 °C o sube a más de 19 °C, su clima posee dos estaciones: lluviosa y seca. La época seca se da generalmente entre junio y diciembre mientras que el resto del año se caracteriza por brillantes mañanas soleadas y tardes nubladas, a menudo con chubascos.

El sistema de alcantarillado actualmente en servicio fue construido bajo los criterios establecidos en los Planes Maestros de 1968 y 1985 (Etapa EP, 2020). Debido al crecimiento de la población ha sido constantemente ampliado permitiendo así, garantizar un adecuado servicio, por esta razón y debido a la magnitud de los sistemas de agua potable y alcantarillado de la ciudad se hace evidente la necesidad de mantener un control integral de todas sus partes componentes.

En el año 2015 la empresa ETAPA EP, quien está a cargo de la provisión de los servicios básicos de agua potable y saneamiento a la población, instaló sensores ultrasónicos de nivel, en los tramos finales de los interceptores para poder recopilar la información de altura de flujo en los pozos de revisión.

Así mismo la empresa cuenta con una red de monitoreo hidrometeorológico con estaciones ubicadas estratégicamente, que permiten registrar las precipitaciones y

mediante esto es posible analizar el impacto que genera la lluvia, con el crecimiento del nivel de agua en los interceptores en estudio.

Los interceptores sanitarios son de gran importancia, debido a que transportan el agua que recolectan desde las tuberías de alcantarillado de la ciudad hacia la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba, por lo cual es necesario darles un control y mantenimiento adecuados, por esta razón se realizará el análisis del comportamiento de estos interceptores con presencia de agua lluvia y sin la presencia de ella.

ANTECEDENTES

No se conoce de estudios anteriores realizados a los interceptores, ubicados en los márgenes de los ríos Tomebamba y Machángara, que al igual que este proyecto, tengan como propósito encontrar la relación existente entre los valores de altura de flujo y la lluvia. Sin embargo para poder calcular la altura mencionada en estos interceptores, se han tomado las ecuaciones de una tesis que se realizó en el año 2019, donde se encontró la relación entre la altura de flujo en los pozos de revisión con el nivel de agua en las tuberías de los interceptores.

Como parte de los objetivos de este estudio, se pretende definir el rango de valores de alturas de flujo al comenzar y finalizar la precipitación, además describir cual es el comportamiento del interceptor en periodos de tiempo que no se presenten eventos de lluvia.

Al referirse a eventos de lluvia se menciona las lluvias fuertes suscitadas en las cuencas de los ríos Tomebamba y Machángara y el análisis de las características de los mismos, es de suma importancia para la evaluación del comportamiento hidráulico de los interceptores sanitarios.

Como se observará en los capítulos posteriores, la elaboración de gráficas de comportamiento permite definir los picos registrados en los datos de las estaciones y en los datos de los sensores ultrasónicos.

JUSTIFICACIÓN

El sistema de aguas residuales de la ciudad de Cuenca es de tipo combinado, por esto cuenta con una serie de derivaciones que trasladan el agua lluvia hacia los ríos que cruzan la ciudad, mientras que el agua residual llega hasta la planta de tratamiento en Ucubamba. La empresa ETAPA EP ha colocado sensores ultrasónicos en los tramos finales de los interceptores sanitarios para medir el caudal de agua residual que pasa por estos, siendo necesario analizar la base de datos de alturas de flujo que proporcionan los sensores tanto en época de lluvia como de sequía para evaluar el funcionamiento de los interceptores y así identificar los problemas existentes para que la empresa realice los cambios necesarios que permitan brindar un servicio de calidad a la población.

ESTADO DEL ARTE

El campo de la medición del caudal de agua residual es bastante complejo debido a que se presenta una variedad de condiciones hidráulicas, mecánicas y químicas, pero es imprescindible cuando se trabaja en el mantenimiento y operación de redes puesto que nos da una visión inmediata de lo está sucediendo en el área de drenaje que se está estudiando. Cuando no se cuenta con medidores automáticos de caudales, la medición de tipo manual es de gran ayuda para la obtención de datos que nos sirvan para cuantificar y tomar decisiones. Dentro de los métodos conocidos para la medición de caudales se encuentran los que emplean trazadores y los que hacen uso de la hidráulica.

El margen de error entre la medición utilizando equipos automáticos y las mediciones de tipo manual no es significativo, teniéndose como único inconveniente el uso intensivo de personal y una supervisión constante para evitar al máximo errores de tipo humano. Existen varios medidores automáticos de caudal que presentan un bajo margen de error, facilitan la medición y son usados en distintas partes del mundo.

Se encontró información acerca de la metodología que utilizan en otros lugares para monitorear el agua residual que pasa por las tuberías de los interceptores y colectores del alcantarillado sanitario:

En Quito, la Empresa Pública Metropolitana de Agua y Saneamiento realiza inspecciones televisivas para monitorear el estado de los colectores sanitarios transmitiendo la información a través de un robot mecánico que envía la señal desde el interior de las estructuras hacia un vehículo en la superficie equipado con audio y video para de esta forma conocer posibles fisuras, obstrucciones o fugas y evitar problemas en temporada de invierno (EPMAPS, 2019).

El sistema municipal de aguas y saneamiento de la ciudad de Torreón en México utilizó un equipo de videocámara en donde se muestra el nivel de agua residual, para

monitorear los colectores sanitarios, diagnosticar las condiciones en que se encuentran y planificar la reparación para impedir colapsos y brotes de aguas negras (Ríos, 2018).

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 (Armijos & Martínez, 1995).

En Alemania se utilizan sensores de radar para la medición de nivel en el tratamiento de agua, en la ciudad de Schiltach se gestionan varios depósitos de contención subterráneas, con una combinación de aguas pluviales y residuales. Disponen de un drenaje hacia la planta de tratamiento y de un desbordamiento controlado hacia aguas superficiales y los contenidos almacenados pueden ser enviados a la planta de tratamiento en el momento que sea necesario. Esto requiere de una detección precisa y fiable del nivel de líquido para lo cual se utilizan los sensores de radar que son sumergibles y funcionan mediante un cable de señal o a través de Bluetooth por lo que se puede conectar fácilmente a una computadora. (Grieshabe, 2018)

La Red Hidrométrica de las Islas Baleares en España cuenta con sensores ultrasónicos que permiten obtener una plataforma con información de niveles de agua en tiempo real, los cuales permiten anticipar episodios de inundaciones y realizar acciones preventivas necesarias. (Bianciotto, 2020)

OBJETIVOS

Objetivo general

- Evaluar el funcionamiento de los interceptores sanitarios X, XII-A, I y XVIII tanto en época de lluvia como de sequía.

Objetivos específicos

- Obtener una base de datos depurada de la información de los sensores instalados por Etapa EP.
- Calcular los caudales correspondientes a cada altura de flujo en los interceptores.
- Graficar y analizar el comportamiento de los interceptores en época seca y lluviosa.
- Realizar tablas comparativas en ambas épocas con los cálculos obtenidos.

CAPÍTULO 1

ANÁLISIS Y DEPURACIÓN DE LA BASE DE DATOS DE LOS INTERCEPTORES

1.1 Marco teórico

1.1.1 Conceptos de los parámetros de estudio

Para poder analizar el funcionamiento de los interceptores y poder relacionarlos con la lluvia se debe comprender algunos conceptos importantes.

Interceptores

Se denomina interceptor al conducto abierto o cerrado que sirve para recolectar las aguas residuales y las aguas pluviales. (Sánchez Segura, 2009). Se construyen bajo tierra y conducen las aguas hasta una estación depuradora, deben proyectarse con cierta pendiente para permitir el tránsito de las aguas por medio de gravedad, pero tampoco puede ser demasiado grande para evitar problemas de erosión por la velocidad excesiva. Sus juntas deben ser herméticas para que no existan filtraciones y lisas para evitar la acumulación de elementos que habitualmente se arrojan al alcantarillado.

Pozos de revisión

Son estructuras que están construidas de concreto reforzado y son colocadas por encima de las tuberías para tener acceso suficientemente amplio, maniobrar en el interior y realizar la limpieza de la red de alcantarillado. Además evitan la acumulación de gases debido al agua residual (Sánchez Segura, 2009).

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 & Ullagari, 2018).

En sistemas combinados, resulta ventajoso derivar un determinado caudal, para lograr reducir los diámetros de los conductos a partir del punto derivador. El caudal derivado se descarga al canal más cercano o al río mientras que el caudal restante continúa hacia la planta de tratamiento. Es necesario que el caudal de aguas lluvias se disuelva en las aguas negras en un rango tolerable para poder llegar hacia el receptor.

El pozo derivador de tipo vertedero es uno de los más comunes, en la figura 1.1 se muestra un derivador de caudal del Proyecto de los Planes Maestros de Agua Potable y Saneamiento II Fase de la empresa ETAPA.

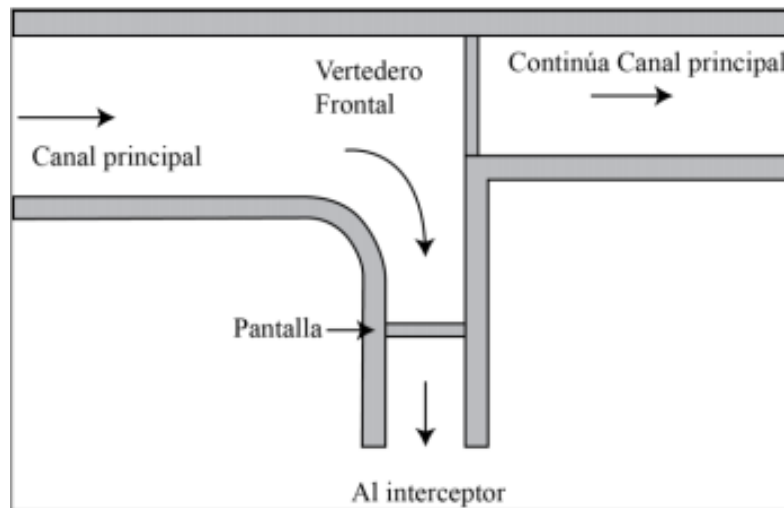


Figura 1.1 Derivador de caudal tipo vertedero.

Fuente: (Torral, 2014).

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 por Etapa EP.

Fuente: (Carmona & Zhicay, 2019).

Agua residual

Se define como el agua proveniente del sistema de abastecimiento de una población luego de ser modificada por actividades domésticas o industriales, resultan de la combinación de residuos sólidos.

Aguas domésticas

Consisten en aguas compuestas por residuos humanos que llegan desde establecimientos comerciales, públicos o edificaciones.

Aguas industriales

Son aguas generadas de acuerdo al tipo de industria por sus procesos de fabricación, producción, transformación, consumo, limpieza o mantenimiento.

Aguas de precipitación o pluviales

Es el agua lluvia que no ha sido absorbida por el suelo, sino que escurre de calles, estacionamientos, edificios u otras superficies. Estas aguas se recolectan en las alcantarillas y luego llegan hasta los colectores pluviales.

Aguas de infiltración

Son aquellas que entran en el sistema de alcantarillado debido a paredes defectuosas o por medio de los empalmes de las tuberías (Blazquez & Montero, 2010).

Aguas ilícitas

Se consideran aquellas contribuciones de aguas lluvias a través de conexiones clandestinas que llegan al alcantarillado sanitario de manera ilegal (Gómez, 2006).

Tipos de sistema de alcantarillado

Alcantarillado sanitario

Es la red de tuberías, a través de la cual se transportan las aguas residuales (domésticas o de establecimientos comerciales) que llegan a una planta de tratamiento y finalmente a un cuerpo receptor. Un sistema de alcantarillado se encuentra generalmente integrado por atarjeas, colectores, interceptores, emisores, plantas de tratamiento, estaciones de bombeo y obras accesorias.

Alcantarillado pluvial

Es el sistema que se encarga del manejo y control del agua lluvia, para conducirla a sitios donde no generen inconvenientes a los habitantes.

Alcantarillado combinado

Es el 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

Este sistema conduce al cien por ciento las aguas negras que se producen en la población y un porcentaje menor al cien por ciento del agua pluvial generada en la zona.

Alcantarillado separado

Transporta las aguas servidas y el agua lluvia por medio de tuberías totalmente independientes (Curco, 2014).

Caudal Sanitario

Es la aportación unitaria o específica de aguas servidas de uso doméstico introducidas a un sistema de alcantarillado, el cual es directamente proporcional a la dotación con que se provee a cada domicilio (Téllez, 2004).

Caudal de aguas lluvias

Se aplica en zonas que existe alcantarillado combinado, es el caudal que deberá ser interceptado y que corresponde a las primeras lluvias, hasta que exista una dilución y el agua se derive al río (Martínez, 2018).

Estación meteorológica

Se define como una instalación destinada a medir y registrar diversas variables del clima donde se ubica, estos datos se utilizan para los estudios climáticos o para la elaboración de predicciones meteorológicas (Palaguachi, 2018).

La figura 1.3 muestra la estación meteorológica Cebollar que nos brinda los datos necesarios para el análisis de la época de lluvia en los interceptores I y XVIII.



Figura 1.3 Estación meteorológica Cebollar.

Fuente: (Mora, 2019).

En la figura 1.4 se observa la estación meteorológica de Tixán de la cual se obtuvieron los datos de lluvia para el análisis de los interceptores X y XII-A.



Figura 1.4 Estación meteorológica Tixán.

Fuente: (Mora, 2019).

Estación pluviométrica

Se define como estación pluviométrica a aquella que cuenta con un pluviómetro o recipiente, el cual permite medir la cantidad de lluvia caída entre dos mediciones realizadas consecutivas.

Estación pluviográfica

Es cuando la estación meteorológica puede realizar de forma continua y mecánica un registro de las precipitaciones, y de esta manera permite conocer la cantidad, intensidad, duración y período en que ha ocurrido la lluvia.

La figura 1.5 muestra la estación pluviográfica de Ricaurte que nos proporciona los datos de lluvia que afectan a los interceptores X y XII-A.



Figura 1.5 Estación pluviográfica Ricaurte.

Fuente: (Genovez, 2018).

En la figura 1.6 se observa la estación pluviográfica de Ricaurte que nos brinda los datos para analizar los interceptores I y XVIII en la época de lluvia.



Figura 1.6 Estación pluviográfica Totoracocha.

Fuente: (Genovez, 2018).

Estación limnimétrica

Estación hidrométrica que cuenta con un instrumental de medición llamado limnómetro que es una escala o mira que registra el nivel del río respecto a una referencia fija (Vera, 2000).

Tipos de precipitaciones

Se clasifican por la forma en que esta cae a la atmósfera y por el ascenso de masa húmeda.

- Por el ascenso de masa húmeda

Según el tipo de masa húmeda que se origine pueden distinguirse tres tipos:

Precipitación ciclónica

Resulta del levantamiento del aire que converge en un área de baja presión y se puede presentar como, precipitación frontal y no frontal. La frontal resulta del ascenso debido a la convergencia de masas de aire que tienden a rellenar la zona de baja presión y la frontal resulta del levantamiento de un aire cálido sobre un aire más denso y frío, por esta razón se la asocia a un frente frío o cálido (Genovez, 2018).

Precipitación convectiva

Se produce cuando las masas de aire bajas se calientan acompañadas de vientos fríos superiores, esto ocasiona descompensación de las fuerzas de empuje y flotación, lo cual genera corrientes ascendentes de aire húmedo que al ascender llegan a la presión de saturación y condensan rápidamente el vapor, los movimientos generados en este fenómeno dan lugar a una rápida coalescencia de las gotas de agua. Esta precipitación generalmente se presenta en forma de tormentas o chubascos y son generalmente puntuales (Genovez, 2018).

Precipitación orográfica

Se origina por el ascenso de la masa de aire frío forzado por una barrera montañosa, lo que origina que puedan chocar con estratos más fríos y secos ocasionando la condensación súbita del vapor de agua, por esta razón este tipo de precipitación se presenta en forma de lluvia o nieve.

- Por la forma en que cae

Se distinguen diferentes tipos pero las de más relevancia son:

Lluvia

Es la forma de precipitación más conocida, se inicia con la condensación del vapor de agua contenido en las nubes y consiste de gotas de agua líquida comúnmente mayores a los 0,5 mm de diámetro. La lluvia depende de tres factores: la presión atmosférica, la temperatura y, especialmente de la humedad atmosférica. Se clasifica según su intensidad como ligera, moderada o fuerte, la tabla 1.1 describe los rangos de intensidad de lluvia.

Tabla 1.1 Tabla de rangos de intensidad de lluvia.

Intensidad	(mm/h)
Débil	< 2
Moderada	Entre 2 y 15
Fuerte	Entre 15 y 30
Muy Fuerte	Entre 30 y 60
Torrencial	>60

Fuente: (Monjo, 2010).

Llovizna

En un tipo de lluvia en el que generalmente las gotas son de aproximadamente 0.5mm, por lo cual es probable que la llovizna se evapore en el aire antes de caer. Las nubes que ocasionan la llovizna son poco densas y se presentan casi siempre en zonas áridas.

Aguacero

Precipitación que posee una intensidad alta pero con una duración corta, se presenta en forma líquida o sólida y generalmente tiene cambios rápidos de intensidad.

Niebla

Se caracteriza por la aparición de nubes a muy baja altura acompañadas generalmente de pequeñas partículas con diámetros muy finos que no se visualizan con facilidad y es causada por la evaporación de la humedad del suelo.

Granizo

Son granos de hielo que generalmente tienen forma esférica, pero también pueden ser cónicos o irregulares. Su diámetro varía entre los 5 a 50mm y se originan por nubes convectivas comúnmente de tipo cumulonimbos.

Rocío

Son gotas de agua que se deben a la condensación directa del vapor de agua que está contenido en el aire adyacente a superficies enfriadas por radiación nocturna.

Unidades de medida de la precipitación

La unidad de medida permite conocer la cantidad de precipitaciones que caen en un determinado periodo de tiempo y obtener la distribución de las precipitaciones en el tiempo y el espacio.

Las unidades en que se miden las precipitaciones pueden ser milímetros (mm) o en litros por metro cuadrado (L/m^2), las cuales son equivalentes a ($1\text{ mm} = 1\text{ L}/m^2$), es decir la altura de agua recogida en una superficie plana. Esto se refiere a que un milímetro de agua lluvia es equivalente a un litro de agua por cada m^2 .

La cantidad de lluvia que cae en un lugar en un determinado periodo de tiempo se mide por los pluviómetros, su funcionamiento se basa en medir la altura que alcanzaría el agua en un suelo horizontal sin contar con la filtración de agua.

Tipos de pluviómetros

Pluviómetro estándar

Es el tipo de pluviómetro más común. Está formado por un recipiente de forma cilíndrica con la escala graduada como se muestra en la figura 1.7, la altura del agua que alcanza es equivalente a los niveles de precipitación.



Figura 1.7 Pluviómetro estándar.

Fuente: (Reichel, 2020).

Pluviómetro con tubo de descarga

Emplea dispositivos de medición electrónicos para registrar el volumen y el tiempo de la precipitación. Este instrumento registra el tiempo cuando un cubo se inclina porque un volumen de agua cae en él, mientras que el otro se mueve de lugar para atrapar la siguiente unidad de precipitación y envía una señal al registrador que está conectado a un reloj. En la figura 1.8 se muestra un pluviómetro con tubo de descarga.



Figura 1.8 Pluviómetro con tubo de descarga.

Fuente: (Reichel, 2020).

Pluviómetro de balancín

Este pluviómetro mide de forma precisa la cantidad de lluvia mediante un balancín de vaciado automático. Mediante un interruptor que se cierra cada vez que el peso del agua acumulada hace bascular el balancín, lo cual produce un pulso que puede ser registrado mediante un datalogger o contador de pulsos. La figura 1.9 muestra el pluviómetro utilizado por la empresa Etapa Ep.



Figura 1.9 Pluviómetro usado de la red de ETAPA.

Fuente: (Tapia, 2016).

1.2 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, y los datos de lluvia medidos por las estaciones meteorológicas, 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 época de lluvia y época seca. Se cuenta con información correspondiente a los años 2016 hasta el 2019 registrada las 24 horas y cada 5 minutos, esto quiere decir que por cada día se tienen 288 datos.

1.3 Depuración de la base de datos

Luego de la recopilación de la información mediante los sensores ultrasónicos, se elaboraron gráficas mensuales con las alturas de flujo en el pozo de revisión y se realizó un análisis visual de dichas gráficas para así descartar los valores que no describan de manera correcta la información. Se observó que existían valores de altura de flujo negativos y también algunos datos en los cuales la altura de flujo era superior a la altura medida, desde el fondo del pozo, hasta el sensor de ETAPA EP, lo cual no corresponde a la realidad.

También se pudo corroborar 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.

Posterior a esto se desechó toda la información errónea para evitar los cálculos inconsistentes que no tengan validez en el presente proyecto.

En la figura 1.10 se muestra el ejemplo de una gráfica con las alturas de flujo medidas por los sensores ultrasónicos en el pozo de revisión, las cuales contribuyeron a depurar la base de datos de los interceptores estudiados.

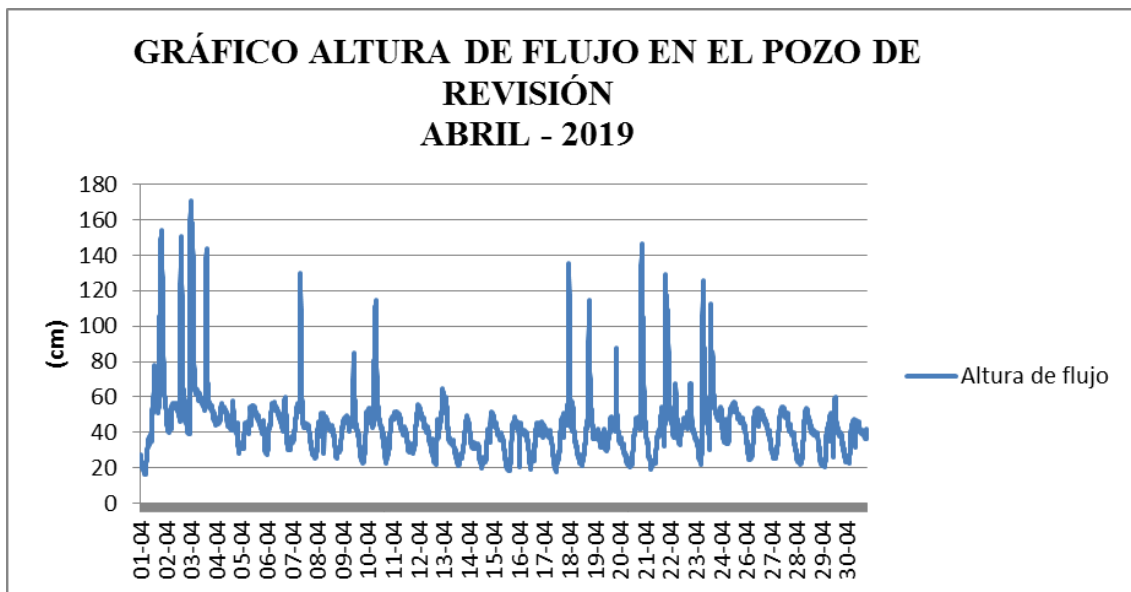


Figura 1.10 Gráfico altura de flujo en el pozo de revisión, Interceptor I.

Fuente: Autora

En los Anexos del 1 al 4 se encuentran las gráficas de alturas de flujo en el pozo de revisión en cada uno de los interceptores de estudio.

1.4 Descripción y ubicación de los interceptores:

La red de interceptores de la ciudad de Cuenca transporta el agua recolectada hasta la planta de tratamiento de aguas residuales Ucubamba, se debe monitorear y dar mantenimiento a dicha red para conservarla en óptimas condiciones evitando así problemas de operación y costo de reparación. La red está formada por 21 interceptores, pero se hará una descripción, solo de los que se han obtenido los datos para el presente proyecto, los mismos que se encuentran en los márgenes de los ríos Tomebamba y Machángara.

En la tabla 1.2 se encuentra la descripción de cada uno de los interceptores de estudio y en la figura 1.11 se puede observar su ubicación exacta con las referencias respectivas.

Tabla 1.2 Descripción de los Interceptores de estudio.

NOMBRE	RÍOS/QUEBRADAS	MARGEN	INICIA	TERMINA	LONGITUD(m)	DIÁMETRO(m)
Interceptor I	Tomebamba	Izquierdo	Más arriba de la Y de Sayausí, vía a las Cajas	Inicio del emisario final en la unión de los ríos Cuenca y Machángara.	21879,63	1.25
Interceptor X	La Compañía y Machángara	Izquierdo y Derecho	Margen derecha de la Compañía a la altura del Camino a Patamarca, a la altura de la Cdla. Las Orquídeas	Margen derecha del río Machángara hasta la fábrica ERCO, donde cruza hacia la margen izquierda y continúa hasta llegar al emisario	5121,15	0.5
Interceptor XII-A	Machángara	Izquierdo	Barrio Ochoa León	González Suárez a la altura del Redondel de las Mujeres de Piedra, al unirse al Emisario.	7865,88	0.65
Interceptor XVIII	Tomebamba	Izquierda	Av. Ordóñez Lazo, a la altura del barrio Vigen del Milagro.	Inicio del emisario final en la unión de los ríos Cuenca y Machángara.	1207,65	0,90

Fuente: (Martínez, 2018).

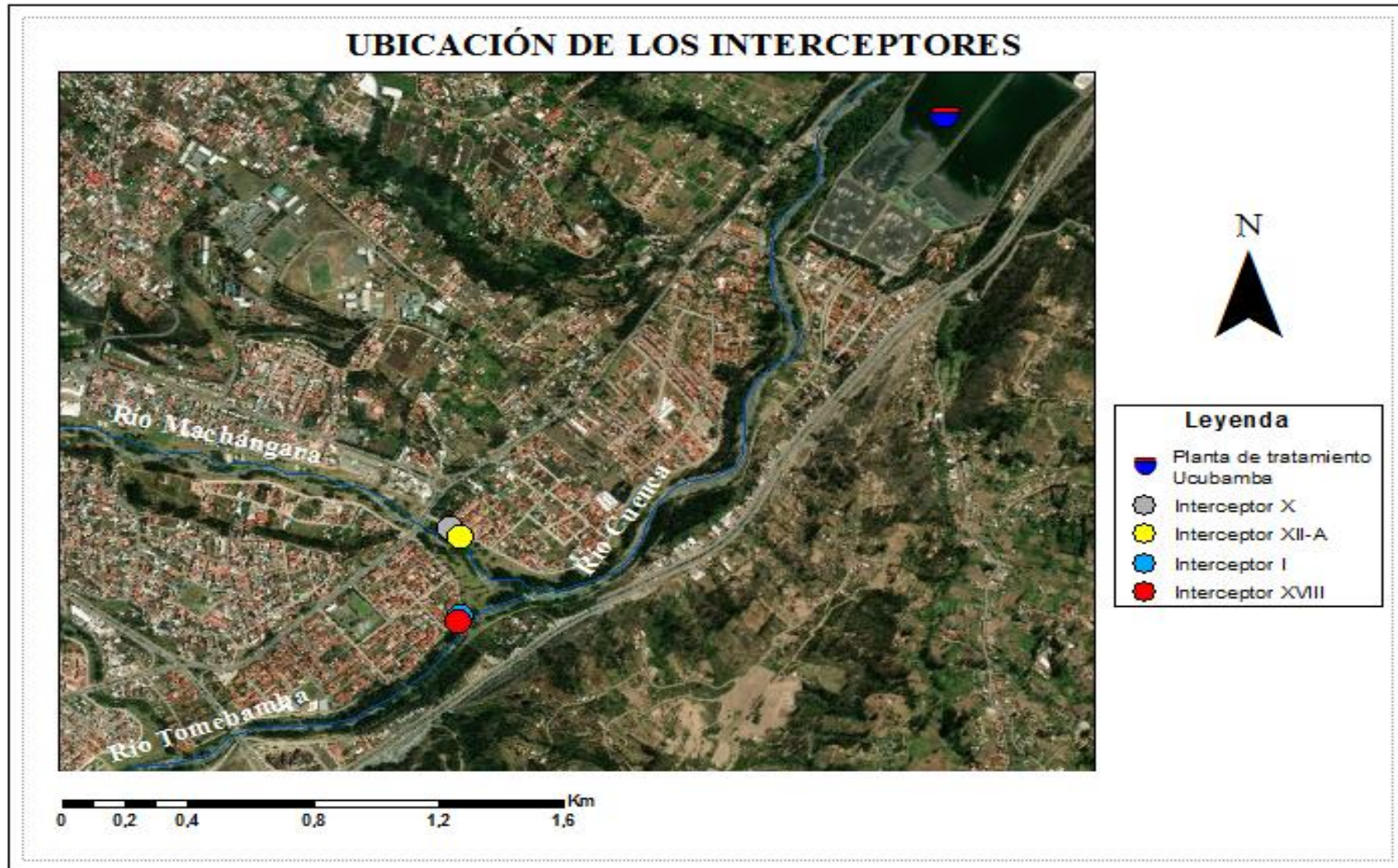


Figura 1.11 Ubicación de los interceptores de estudio.

Fuente: Autora.

1.5 Descripción y ubicación de las estaciones:

Las estaciones pertenecen a la red de monitoreo hidrometeorológico de ETAPA EP y están compuestas por un pluviómetro de balancín para medir la precipitación y además diversos sensores que miden: velocidad y dirección del viento, radiación solar, temperatura y humedad relativa del aire, presión atmosférica, temperatura y humedad del suelo. Los datos utilizados en el proyecto para evaluar el comportamiento de los interceptores son los de precipitación, y los mismos se encuentran ubicados dentro de la zona de influencia donde emiten y registran datos de referencia las estaciones meteorológicas.

Las estaciones de Matadero en Sayausí, la del Cebollar y la de Totoracocha aportan datos de la lluvia que llega hacia los Interceptores I y XVIII, mientras que de las estaciones de Ricaurte y Tixán se obtienen los datos de lluvia que afectan a los Interceptores X y XII-A.

A continuación, en la tabla 1.3 se muestra el tipo de las estaciones en las cuales se han tomado datos para el proyecto.

Tabla 1.3 Tipo de estaciones de meteorológicas del proyecto.

Nombre	Tipo
Matadero en Sayausí	Pluviométrica + Limnimétrica
Planta de Agua Potable del Cebollar	Meteorológica
Planta de Agua de Tixán	Meteorológica
Totoracocha (Central de Teléfonos)	Pluviográfica
Ricaurte (Tanque de Agua Potable)	Pluviográfica

Fuente: (Etapa EP, 2020).

En la figura 1.12 se muestra la ubicación de las estaciones meteorológicas conjuntamente con los interceptores:

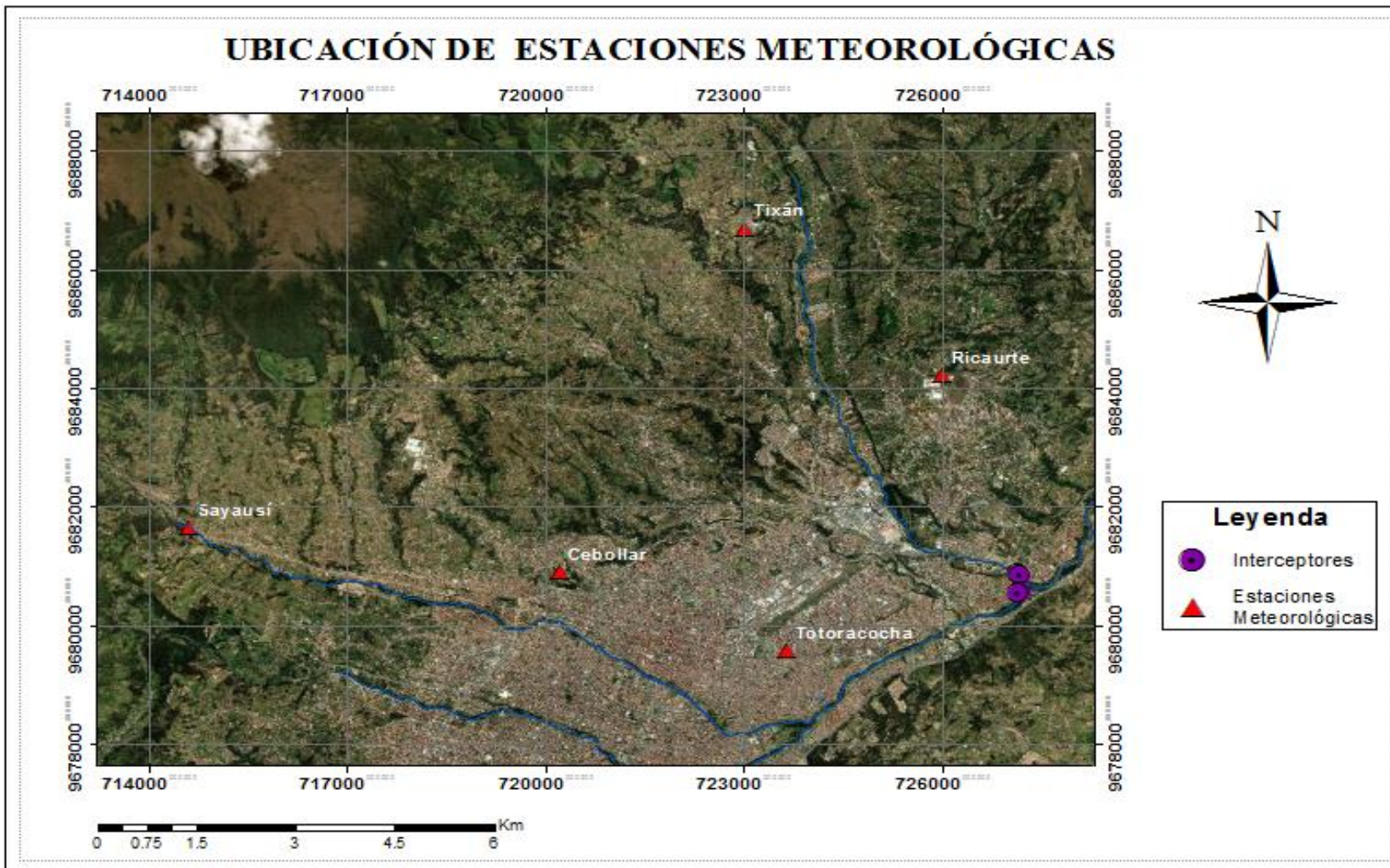


Figura 1.12 Ubicación de las estaciones meteorológicas de estudio.

Fuente: Autora.

CAPÍTULO 2

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

2.1 Cálculo de alturas de flujo en la tubería

Para el cálculo de las alturas de flujo en la tubería, se utilizaron las ecuaciones que se muestran en la tabla 2.1, las cuales relacionan la altura del flujo en los pozos de revisión con el nivel de agua en las tuberías de los interceptores sanitarios que fueron obtenidas en el trabajo de Carmona y Zhicay (2019).

Tabla 2.1 Ecuaciones utilizadas para el cálculo del nivel de agua en las tuberías de los interceptores.

Nombre	Ecuación
Interceptor I	$y = 0.707x + 16.203$
Interceptor X	$y = 0.235x + 9.9649$
Interceptor XII-A	$y = 0.6995x - 16.026$
Interceptor XVIII	$y = 0.2355x + 40.905$

Fuente: (Carmona & Zhicay, 2019).

Con la ayuda de una hoja de cálculo, los valores de las alturas de flujo en los pozos de revisión se tomaron como los datos x en las ecuaciones correspondientes a cada interceptor, y los datos resultantes, se consideraron como las alturas de flujo en las tuberías de cada interceptor. Este mismo proceso se lo realizó con todos los datos de alturas de flujo en los pozos de revisión y los resultados sirvieron posteriormente para el cálculo de los demás parámetros del proyecto.

Cabe recalcar que la ecuación correspondiente al Interceptor XII-A causó que la mayoría de datos calculados entre los años 2016, 2017 y 2018 resulten negativos.

Estos datos erróneos no permitieron realizar los posteriores cálculos y gráficas en el proyecto, por este motivo para el análisis de dicho interceptor, se ocupó mayormente los datos del año 2019.

2.2 Elaboración de gráficas de altura de flujo en la tubería

Una vez obtenidas las alturas de flujo en las tuberías de los interceptores por medio de las ecuaciones, se realizaron gráficas mensuales en cada interceptor tal como se muestra en la figura 2.1.

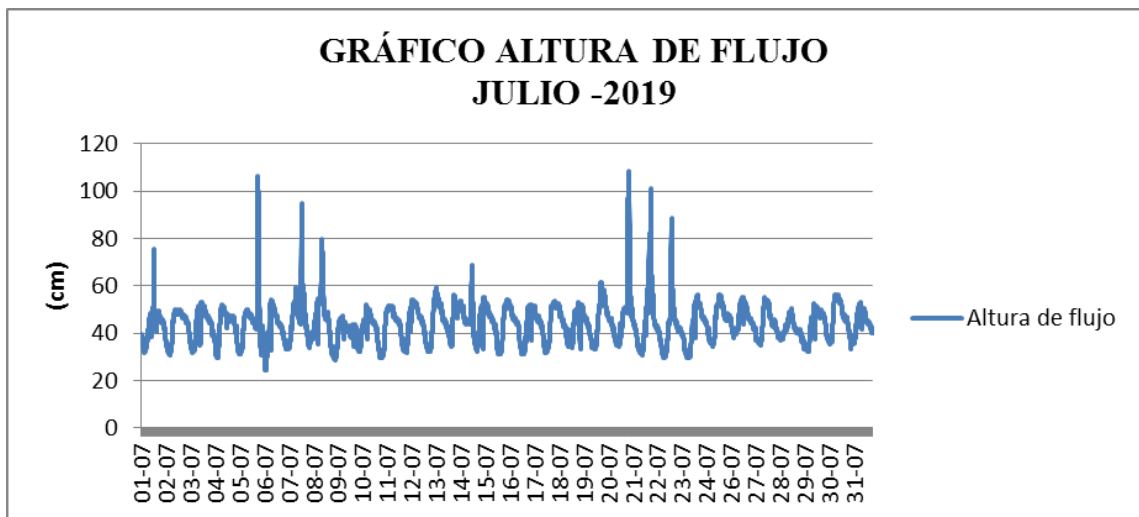


Figura 2.1 Gráfico altura de flujo en la tubería del Interceptor I.

Fuente: Autora.

En los anexos del 5 al 8 se encuentran todas las gráficas que se realizaron en el proyecto de las aturas de flujo en las tuberías de los interceptores de estudio.

Para evaluar el comportamiento de la altura de flujo en el presente proyecto, se optó por comparar los años 2017, 2018 y 2019 como se muestra en las figuras 2.2 y 2.3, lo cual se lo realizó, utilizando los datos de cada mes, en la misma gráfica. El año 2016 no fue empleado para realizar estas gráficas, debido a que existen varios datos que no corresponden a la realidad del comportamiento de los interceptores.

Entre los tres años analizados, se puede observar una similitud del comportamiento de la altura de flujo en los interceptores y la variación entre éstos, no es significativa.

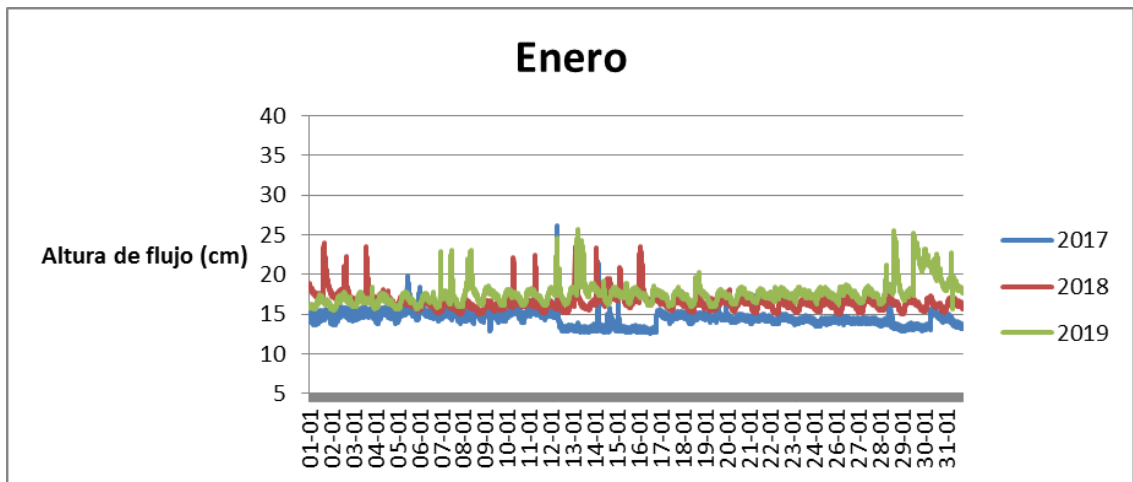


Figura 2.2 Gráfico del mes de Enero de los años 2017, 2018 y 2019.

Fuente: Autora.

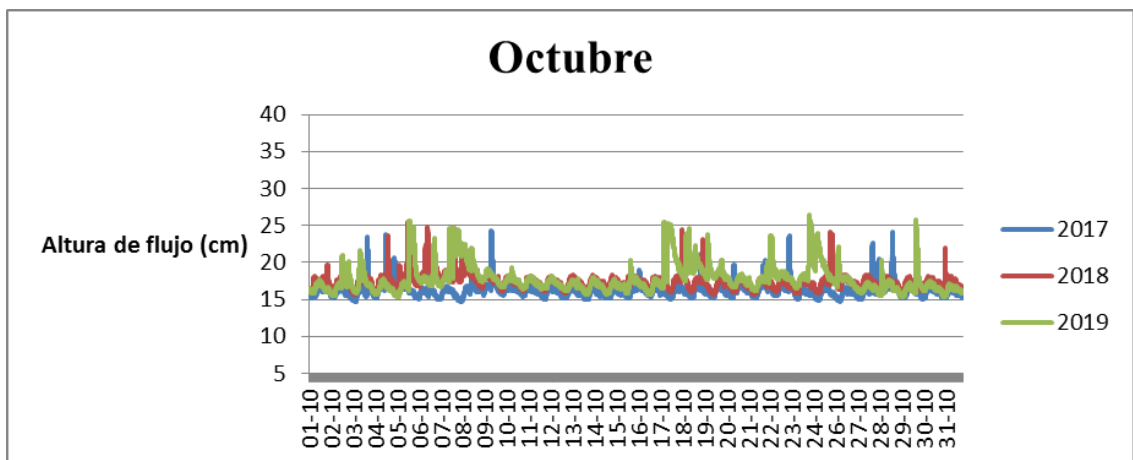


Figura 2.3 Gráfico del mes de Octubre de los años 2017, 2018 y 2019.

Fuente: Autora.

2.3 Cálculo de caudales

Con las alturas de flujo en las tuberías, se calculó los caudales en tiempo real en cada interceptor. Para esto fue necesario tomar en cuenta dos casos, el primero que se muestra en la figura 2.4, cuando la altura de agua que pasa por el interceptor es mayor que el radio de la tubería de este, y el segundo caso que se observa en la figura 2.5, es cuando la altura de agua es menor que el radio. Seguidamente en las tablas 2.2 y 2.3 se presentan las ecuaciones que se utilizaron en el proyecto:

Caso 1:

Cuando la altura de agua (Y) en la tubería es mayor a la longitud del radio.

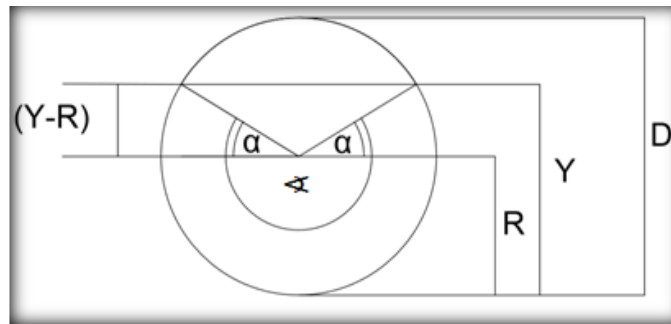


Figura 2.4 Sección de la tubería cuando el nivel de agua es mayor que el radio.

Fuente: (Carmona & Zhicay, 2019).

Tabla 2.2 Ecuaciones utilizadas cuando el nivel de agua en la tubería es mayor que el radio.

Nombre	Fórmula	Unidad
Alfa (α)	$\arcseno \frac{(Y - R)}{R}$	[rad]
Angulo (ϕ)	$\pi + 2 * \alpha$	[rad]
Área fluido	$\sqrt{R^2 - (Y - R)^2} * (Y - R) + \frac{\phi \text{ rad}}{2} * \frac{D^2}{4}$	[m ²]
Perímetro mojado	$R * \phi$	[m]
Caudal	$Q = \frac{A^{\frac{5}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n * P m^{\frac{2}{3}}}$	[m ³ /s]

Fuente: (Carmona & Zhicay, 2019).

Caso 2:

Cuando la altura de agua (Y) en la tubería es menor a la longitud del radio.

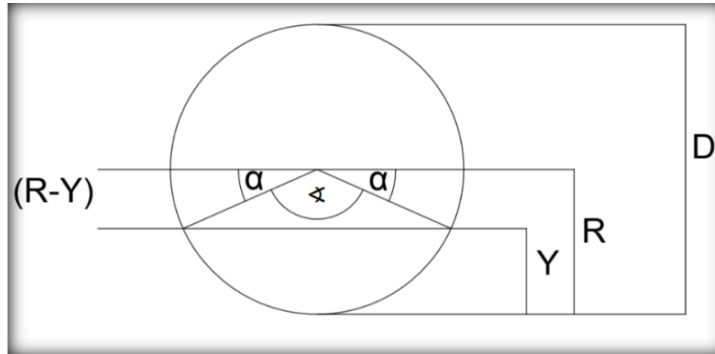


Figura 2.5 Sección de la tubería cuando el nivel de agua es menor que el radio.

Fuente: (Carmona & Zhicay, 2019).

Tabla 2.3 Ecuaciones utilizadas cuando el nivel de agua en la tubería es menor que el radio.

Nombre	Fórmula	Unidad
Alfa (α)	$\arcseno \frac{(Y - R)}{R}$	[rad]
Angulo (ϑ)	$\pi - 2 * \alpha$	[rad]
Área fluido	$\frac{\vartheta \text{ rad}}{2} * \frac{D^2}{4} - \sqrt{R^2 - (R - Y)^2} * (R - Y)$	[m ²]
Perímetro mojado	$R * \vartheta$	[m]
Caudal	$Q = \frac{A^{\frac{5}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n * Pm^{\frac{2}{3}}}$	[m ³ /s]

Fuente: (Carmona & Zhicay, 2019).

Mediante una hoja de cálculo se obtuvieron los datos de caudales correspondientes a cada altura de flujo, cabe destacar que en el interceptor I, existieron valores de la altura de flujo más grandes que el diámetro, lo cual refleja que la tubería se encontraba trabajando a presión y por esto no se podía calcular los caudales, por cuanto salía un error, en los valores del ángulo alfa, entonces donde se presentó este problema se procedió a colocar la altura igual que el diámetro de la tubería ya que esta no podría ser mayor, y de esta forma se pudo obtener los respectivos caudales.

Para el cálculo del ángulo del sector circular (α) y el área del fluido se utilizó la función SI en el programa Excel, para que pueda elegir entre uno de los dos casos y verifique en cada valor si la altura de flujo es mayor o menor que el radio y así nos proporcione datos correctos que sirvan para los siguientes cálculos del proyecto.

En el segundo caso del cálculo de caudales la ecuación que se utilizó para el área del fluido estaba incorrecta, por tal motivo se la corrigió para que los caudales que se calculen sean adecuados.

Los datos de la rugosidad y la pendiente son particulares para cada interceptor según el material de la tubería, altitud, longitud y distancia y los valores se muestran en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Valores de rugosidad y pendiente para cada interceptor de estudio.

Nombre	Rugosidad (n)	Pendiente longitudinal (S)
Interceptor I	0.017	0.002
Interceptor X	0.014	0.004
Interceptor XII-A	0.009	0.001
Interceptor XVIII	0.014	0.001

Fuente: (Carmona & Zhicay, 2019).

Luego de aplicar cada una de las fórmulas mencionadas se obtuvo los caudales en cada interceptor durante los cuatro años de estudio.

En los anexos del 9 al 12 se encuentran todos los caudales calculados en los interceptores de estudio.

2.4 Elaboración de gráficas altura de flujo vs lluvia

Este análisis tiene como objetivo, determinar el comportamiento de los interceptores, tanto en época de lluvia como de sequía, y para esto, primero se realizaron gráficas mensuales de altura de flujo vs lluvia para así, observar con mayor facilidad los periodos de tiempo, en los cuales existe mayor cantidad de precipitación y a su vez los periodos de tiempo en que no hubo lluvia. La ausencia de datos de las alturas de flujo medidas por los sensores ultrasónicos, provocó que exista una significativa diferencia, en muchas de las gráficas de los años 2016, 2017 y 2018 ya que no concordaban los picos de las precipitaciones con los de altura de flujo, porque la línea graficada de alturas, terminaba antes que la de la lluvia.

Con fines ilustrativos, de todas las gráficas mensuales realizadas, se ha elegido dos, en las cuales si se refleja, una clara homogeneidad y congruencia entre los datos altura de flujo y precipitación.

En la figura 2.6 del Interceptor I, se puede observar los picos de altura de flujo con sus respectivas precipitaciones, en este caso se ha tomado el mes de marzo en el cual existió gran cantidad de lluvia. Por el contrario en la figura 2.7 del Interceptor X en el mes de Septiembre se observan pocos eventos de precipitación.

En los anexos del 13 al 16 se encuentran todas las gráficas mensuales realizadas de altura de flujo vs lluvia de los interceptores estudiados.

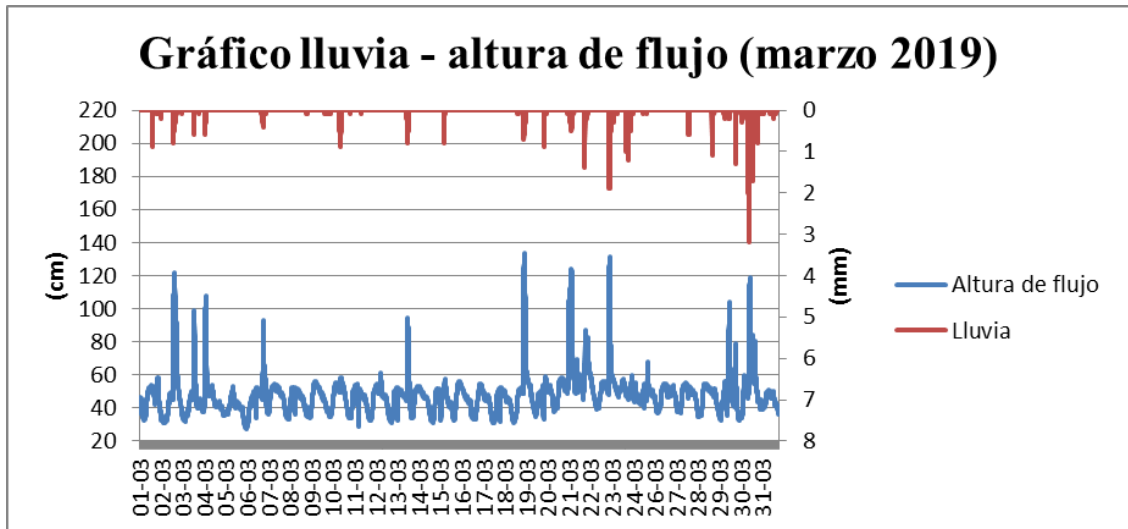


Figura 2.6 Gráfico lluvia vs altura de flujo, Interceptor I.

Fuente: Autora.

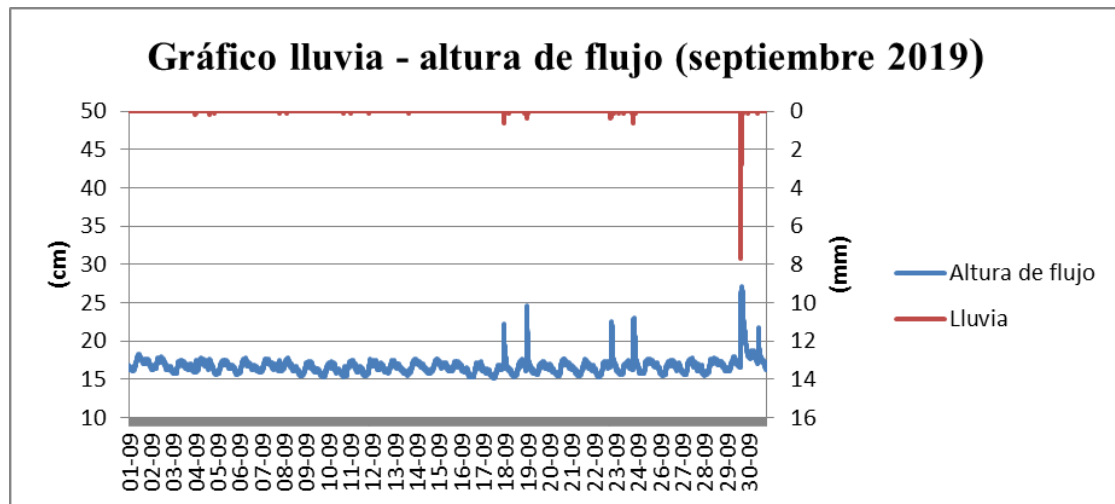


Figura 2.7 Gráfico lluvia vs altura de flujo, Interceptor X.

Fuente: Autora.

2.5 Análisis de la época de lluvia de cada Interceptor

Con la ayuda de las gráficas mensuales de altura de flujo vs lluvia, se seleccionaron quince eventos de lluvia en cada interceptor, entre altos y bajos. Estos valores permitieron analizar la cantidad de lluvia que se acumuló durante todo el evento, su duración, los datos de altura de flujo y caudales al inicio y final de la precipitación.

Cabe mencionar que existen días, en que los eventos de lluvia se repiten, es decir, que la lluvia comienza a cierta hora y luego que concluye, se vuelven a registrar datos de precipitación después de unas pocas horas.

Se definieron los cinco eventos en que la información es más significativa en cada interceptor para poder ejemplificarlos. Las gráficas de todos los eventos que se utilizaron para el análisis de la época de lluvia se encuentran en los anexos 17 al 20.

2.5.1 Curvas de comportamiento en la época lluviosa

En los siguientes gráficos de la época lluviosa de cada interceptor de estudio se puede observar que los picos de la altura de flujo coinciden con los picos de la lluvia, esto se debe claramente a que el crecimiento de la altura de flujo está precedido por el evento de lluvia, ya que a medida que la precipitación aumenta, la altura de flujo en el interceptor también aumenta. Luego de finalizar el evento de precipitación se distingue que la altura de flujo vuelve a estar dentro de los valores en los que se encontraba antes que comience a llover.

Interceptor I

Evento 1

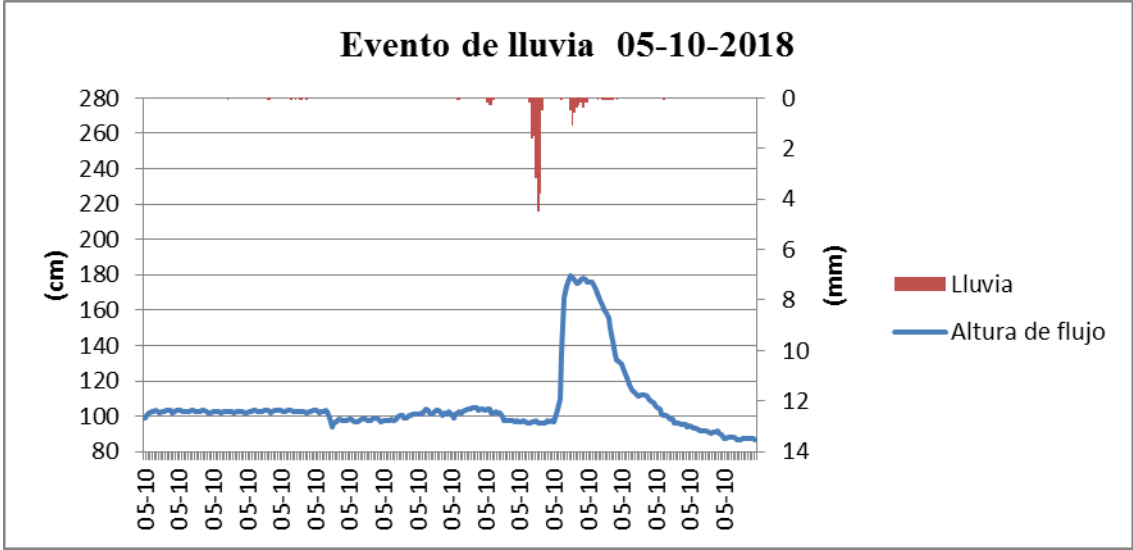


Figura 2.8 Gráfico Interceptor I, evento de lluvia 1.

Fuente: Autora.

Evento 2

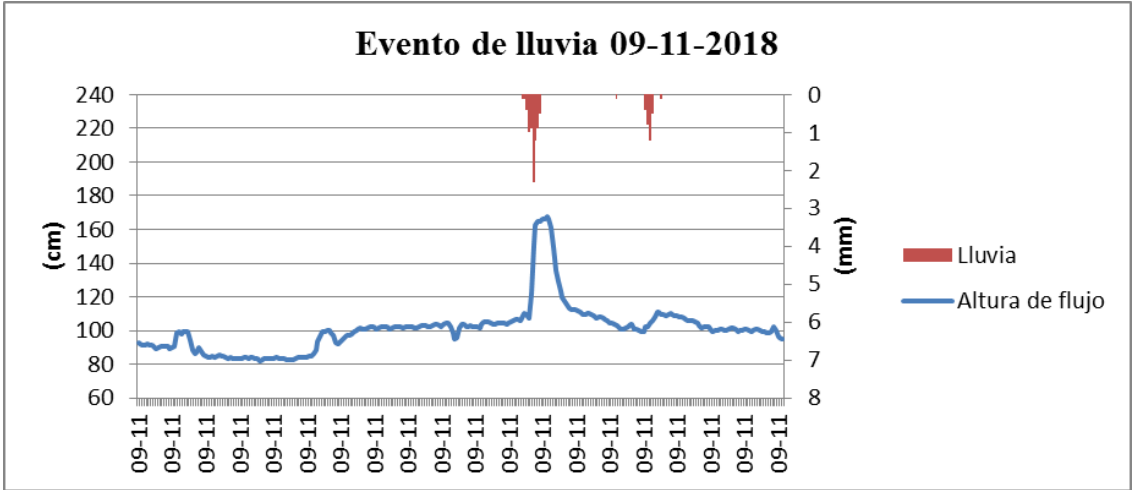


Figura 2.9 Gráfico Interceptor I, evento de lluvia 2.

Fuente: Autora.

Evento 3

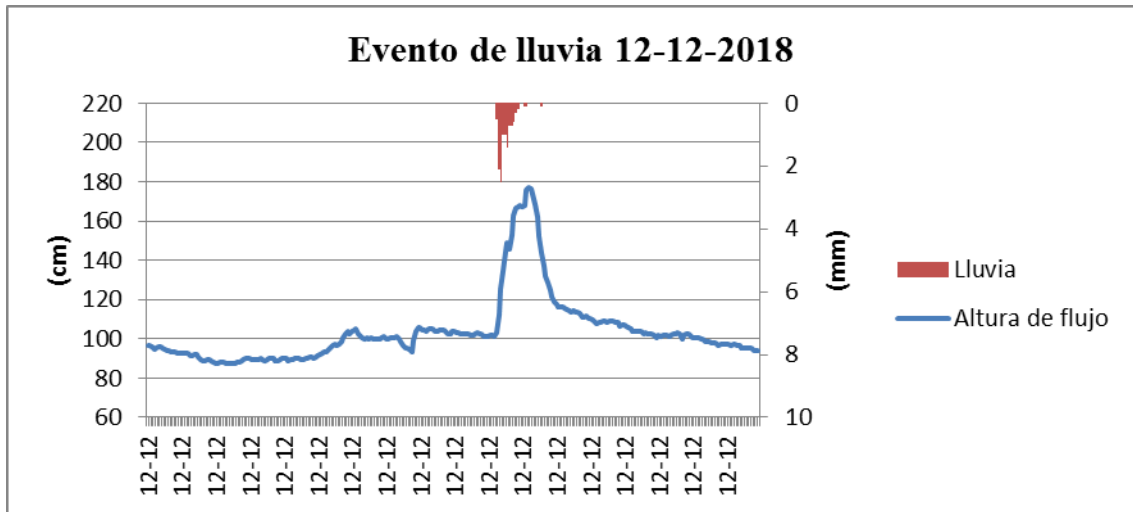


Figura 2.10 Gráfico Interceptor I, evento de lluvia 3.

Fuente: Autora.

Evento 4

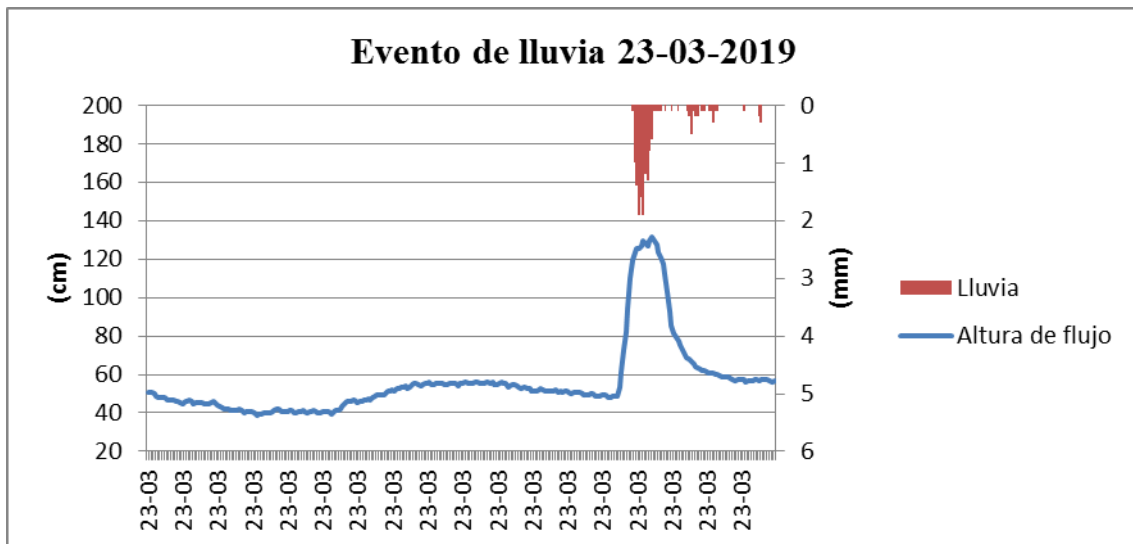


Figura 2.11 Gráfico Interceptor I, evento de lluvia 4.

Fuente: Autora.

Evento 5

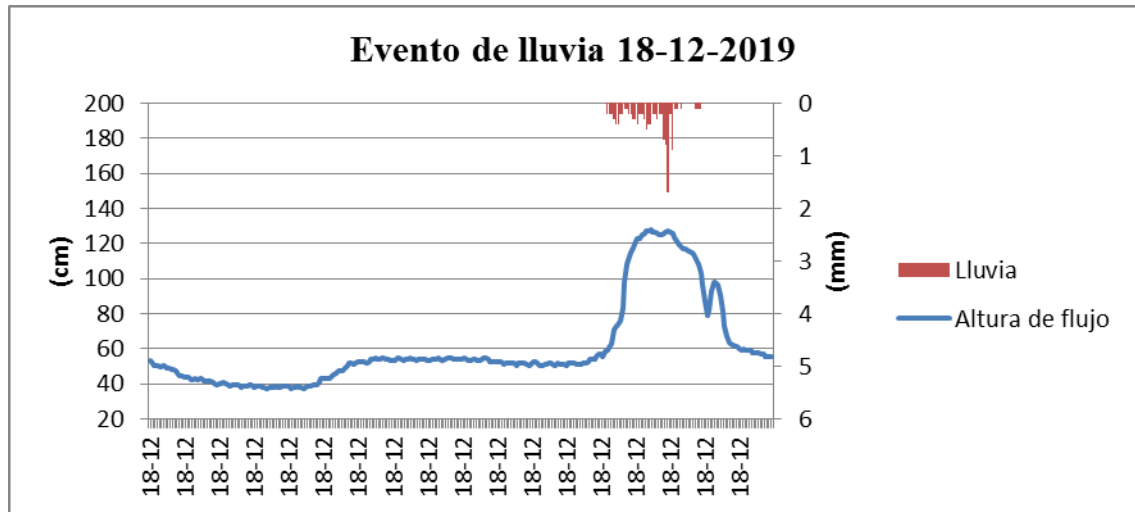


Figura 2.12 Gráfico Interceptor I, evento de lluvia 5.

Fuente: Autora.

Interceptor X

Evento 1

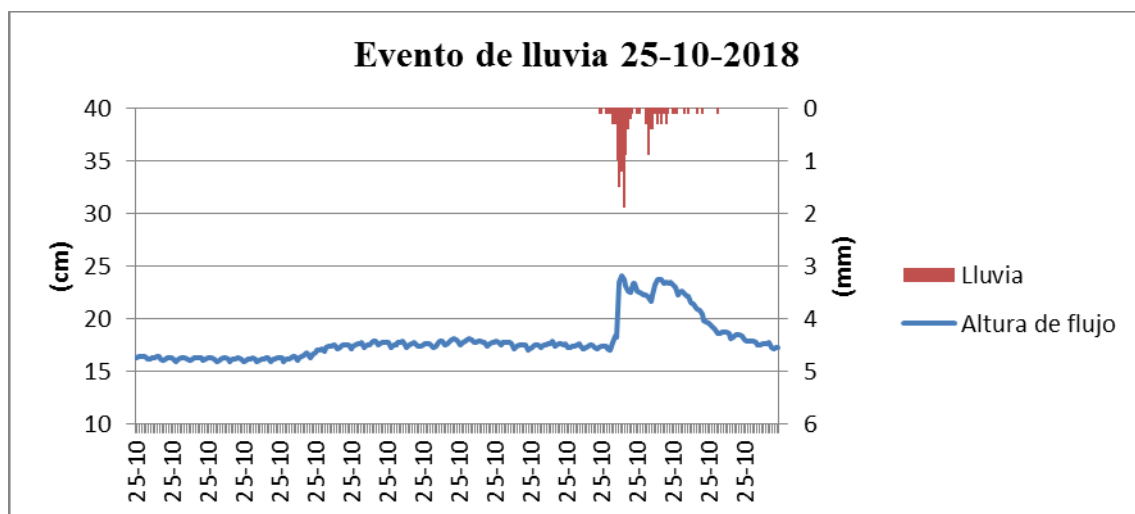


Figura 2.13 Gráfico Interceptor X, evento de lluvia 1.

Fuente: Autora.

Evento 2

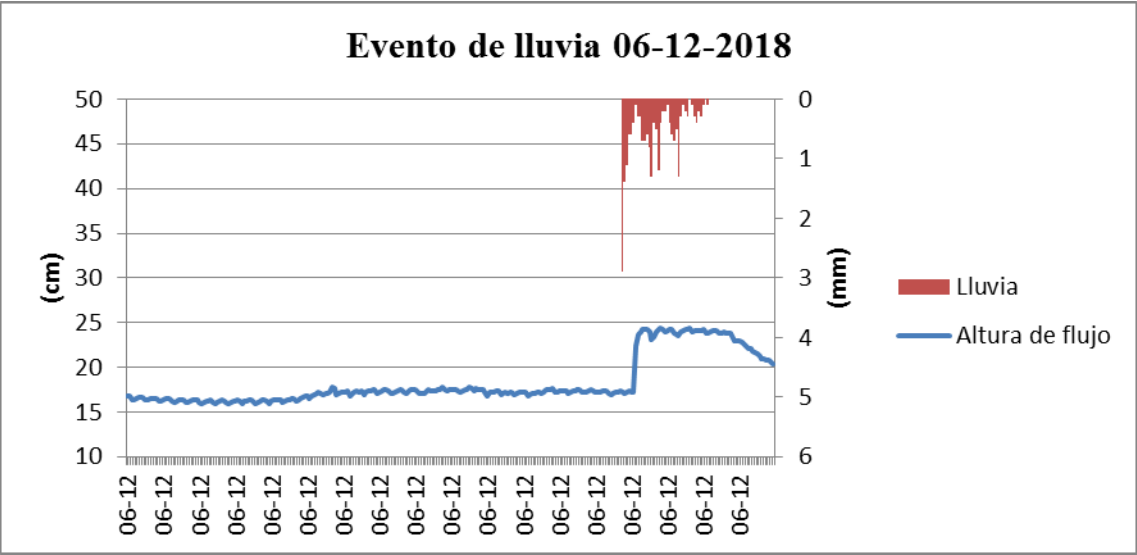


Figura 2.14 Gráfico Interceptor X, evento de lluvia 2.

Fuente: Autora.

Evento 3

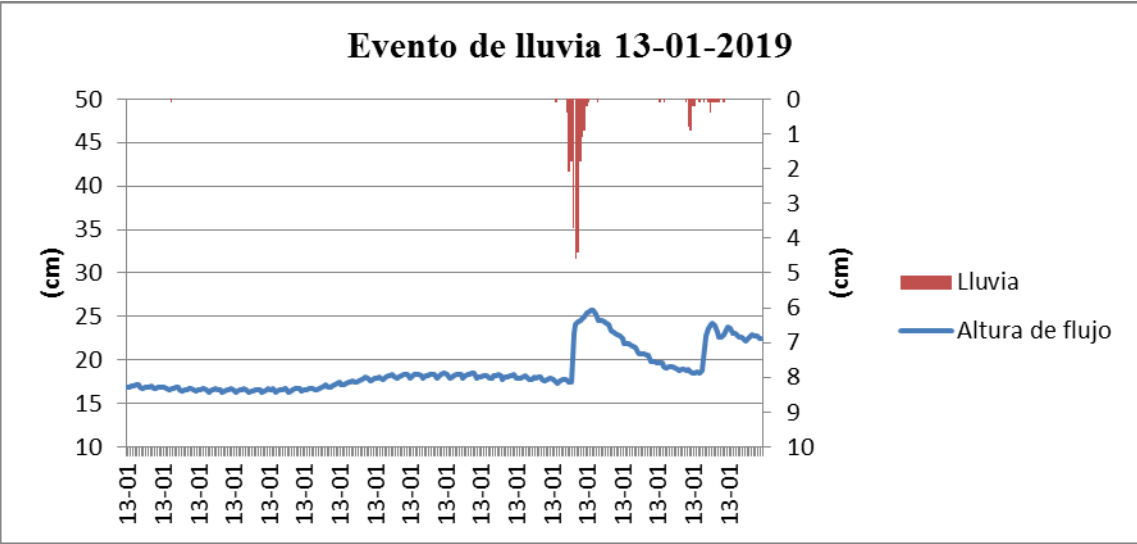


Figura 2.15 Gráfico Interceptor X, evento de lluvia 3.

Fuente: Autora.

Evento 4

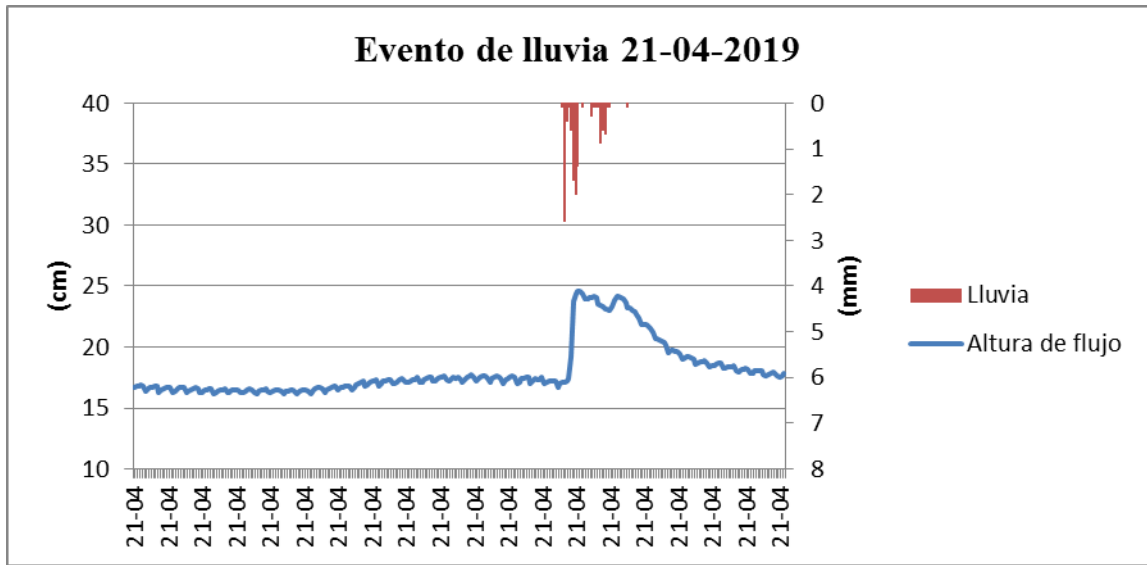


Figura 2.16 Gráfico Interceptor X, evento de lluvia 4.

Fuente: Autora.

Evento 5

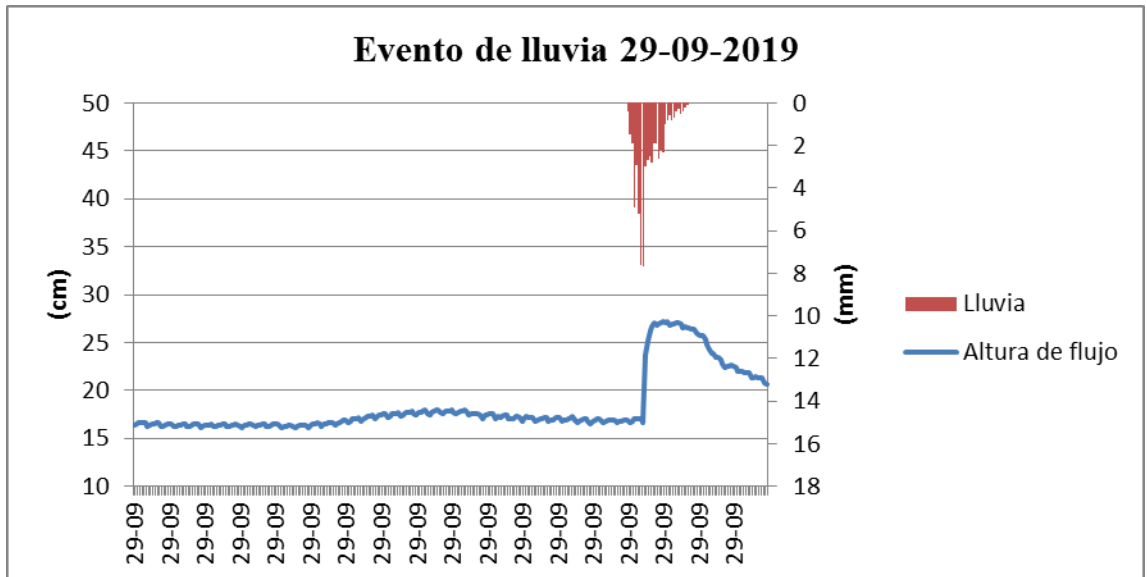


Figura 2.17 Gráfico Interceptor X, evento de lluvia 5.

Fuente: Autora.

Interceptor XII-A

Evento 1

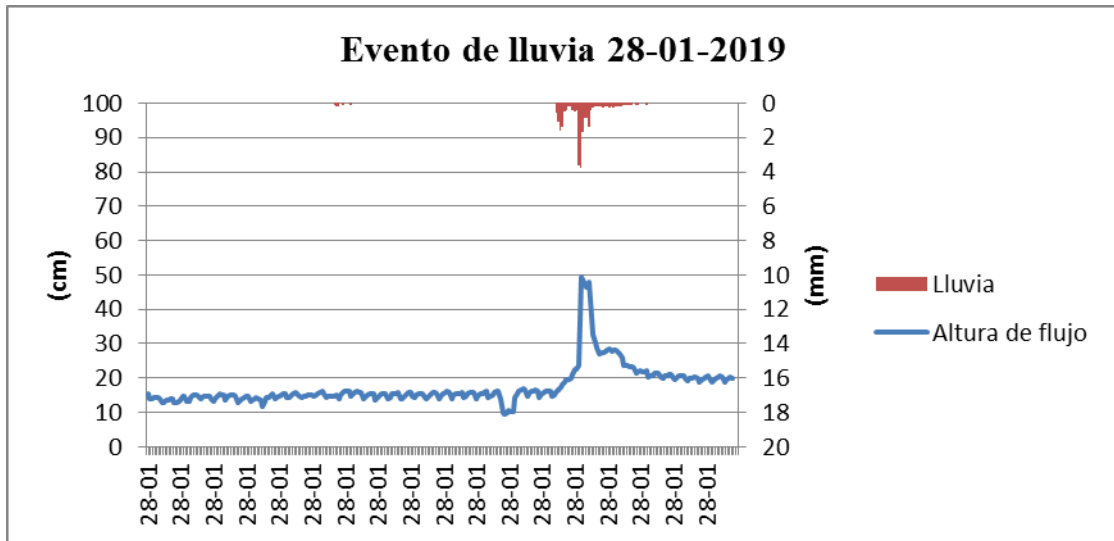


Figura 2.18 Gráfico Interceptor XII-A, evento de lluvia 1.

Fuente: Autora.

Evento 2

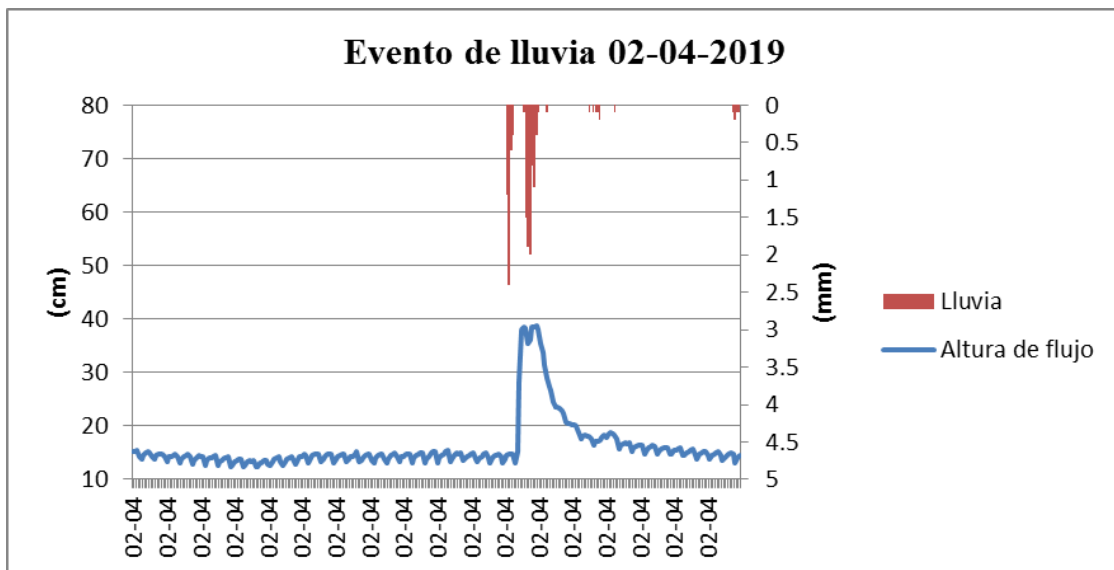


Figura 2.19 Gráfico Interceptor XII-A, evento de lluvia 2.

Fuente: Autora.

Evento 3

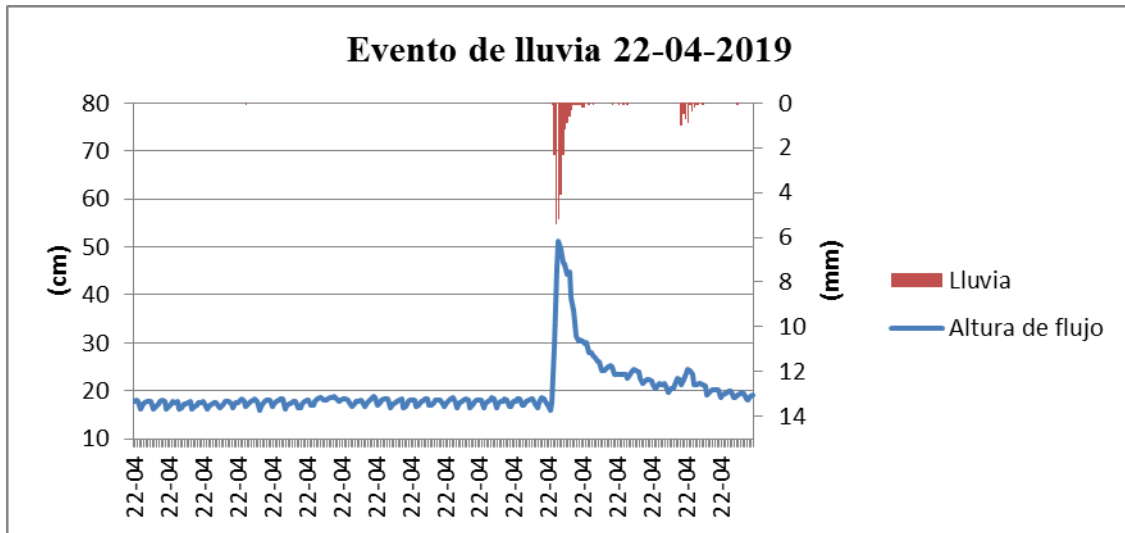


Figura 2.20 Gráfico Interceptor XII-A, evento de lluvia 3.

Fuente: Autora.

Evento 4

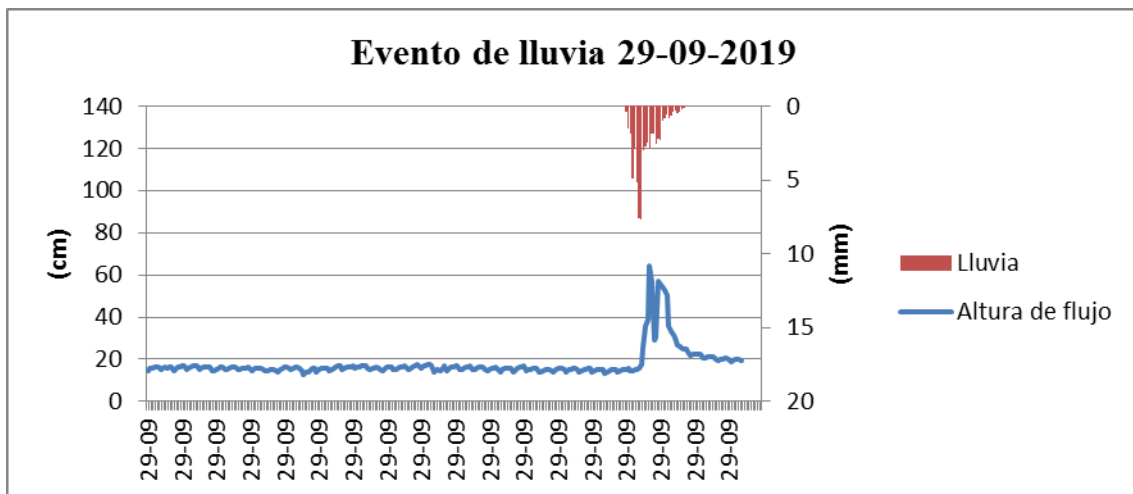


Figura 2.21 Gráfico Interceptor XII-A, evento de lluvia 4.

Fuente: Autora.

Evento 5

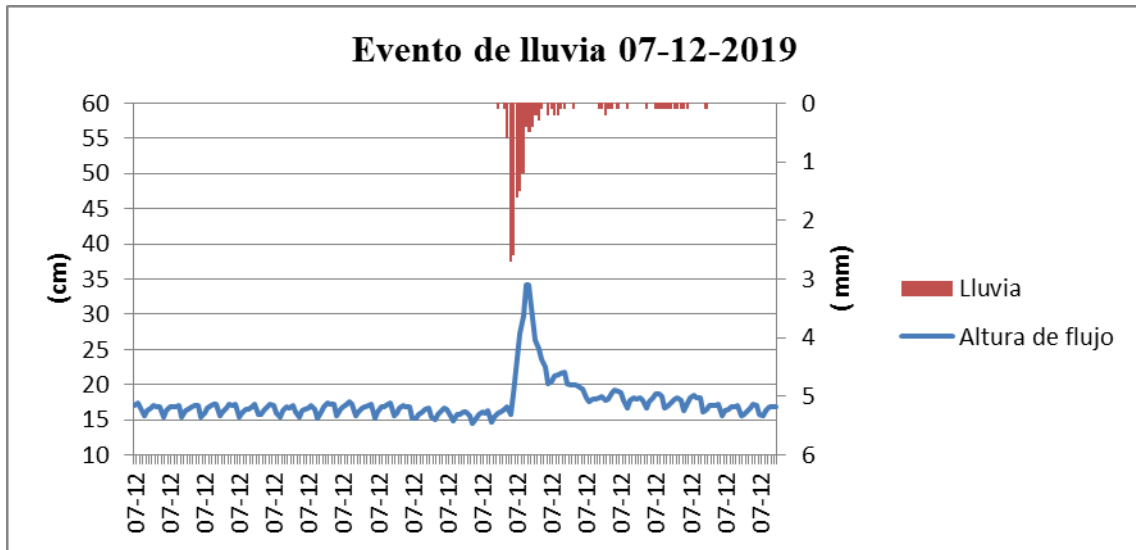


Figura 2.22 Gráfico Interceptor XII-A, evento de lluvia 5.

Fuente: Autora.

Interceptor XVIII

Evento 1

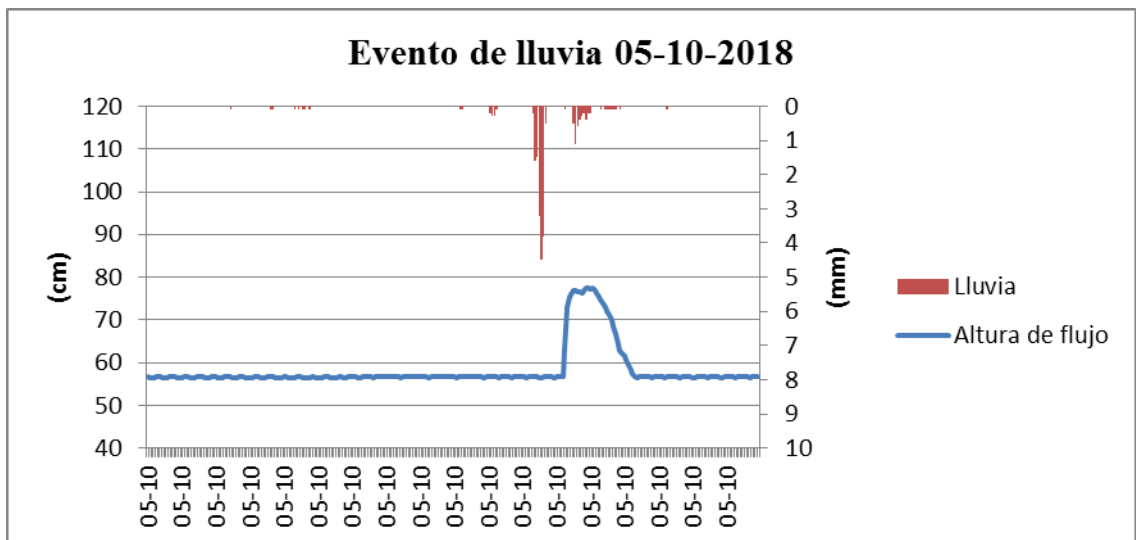


Figura 2.23 Gráfico Interceptor XVIII, evento de lluvia 1.

Fuente: Autora.

Evento 2

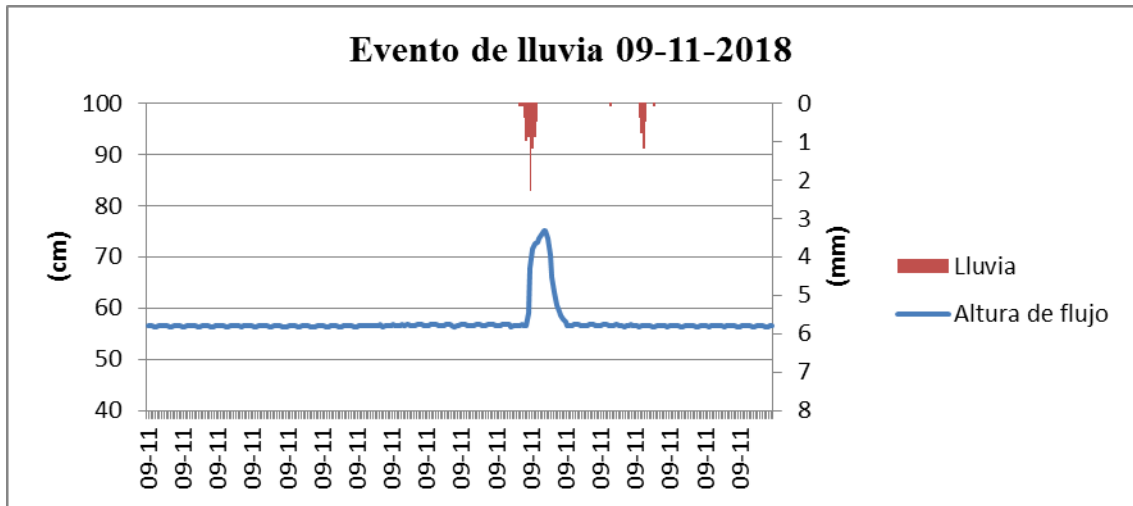


Figura 2.24 Gráfico Interceptor XVIII, evento de lluvia 2.

Fuente: Autora.

Evento 3

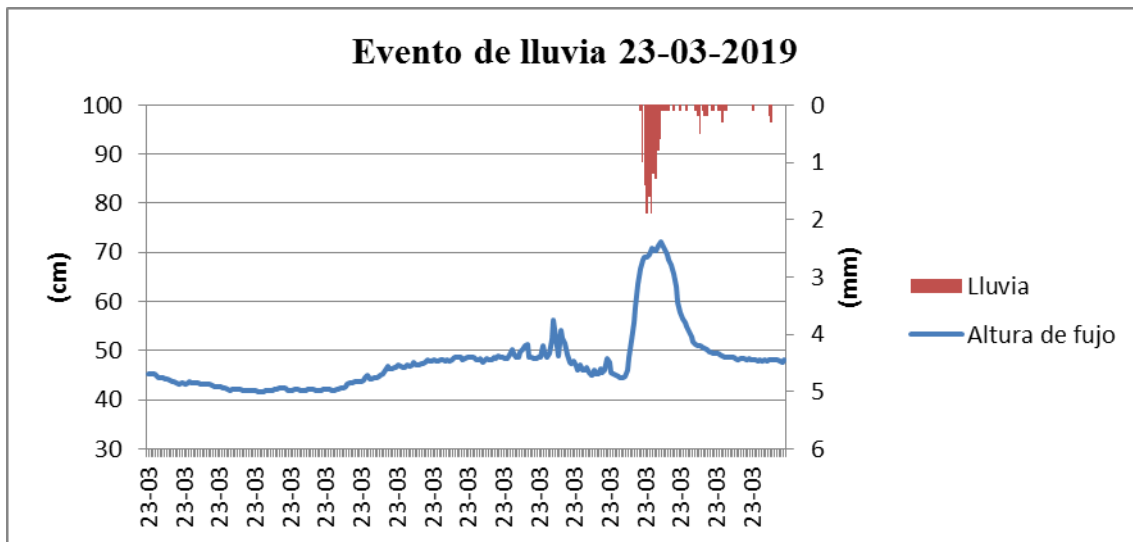


Figura 2.25 Gráfico Interceptor XVIII, evento de lluvia 3.

Fuente: Autora.

Evento 4

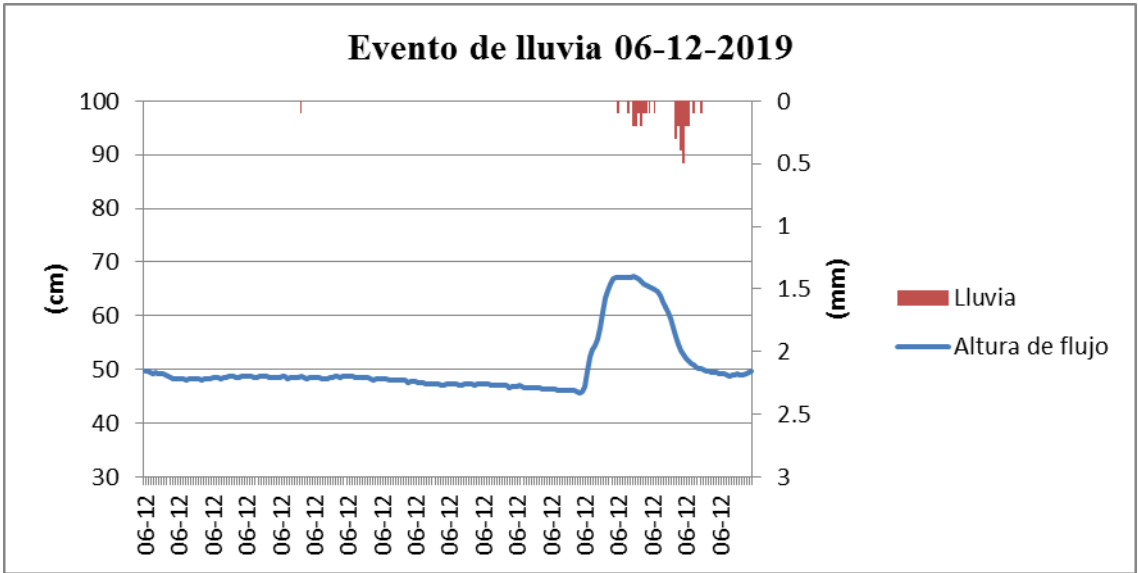


Figura 2.26 Gráfico Interceptor XVIII, evento de lluvia 4.

Fuente: Autora.

Evento 5

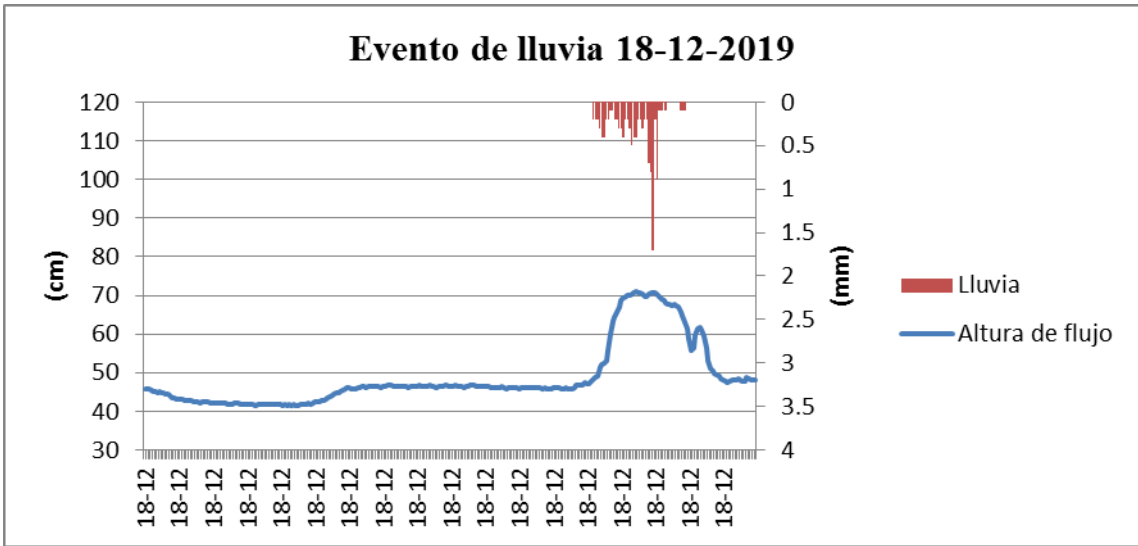


Figura 2.27 Gráfico Interceptor XVIII, evento de lluvia 5.

Fuente: Autora.

2.6 Análisis de la época seca de cada Interceptor

Para realizar el análisis en la época de sequía de cada interceptor, se tomó como referencia las gráficas mensuales de altura de flujo vs lluvia para facilitar la ubicación de los periodos de tiempo, en los cuales no existe precipitación. Posteriormente, se hicieron cinco gráficas, con datos escogidos aleatoriamente, desde el día martes a las 00:00 hasta el día jueves a las 23:55, para visualizar el comportamiento de cada interceptor cuando no hay lluvia entre semana.

Luego de esto, se efectuaron también cinco gráficas con datos desde el día sábado a las 00:00 hasta el día domingo a las 23:55 para analizar el comportamiento de la altura de flujo y del caudal de cada interceptor los fines de semana.

Estas gráficas permitieron comparar la altura de flujo al inicio y en el pico más alto de la gráfica, así mismo se pudo observar el incremento o disminución del caudal al inicio y durante el pico de la gráfica.

Todos estos datos son propicios para analizar el comportamiento normal del interceptor, sin que exista el agua lluvia, es decir los valores registrados son solamente de las aguas residuales que llegan al interceptor.

En los anexos del 17 al 20 se encuentran todas las gráficas realizadas para el análisis del comportamiento de los interceptores en la época de sequía.

2.6.1 Curvas de comportamiento en la época seca

Tanto en los gráficos entre semana como en los de fines de semana de los interceptores de estudio se observa un comportamiento similar, se puede notar un ligero crecimiento de la altura de flujo en cada gráfico en las horas del día y una disminución en las horas de la madrugada, debido a que el aporte domiciliario es mayor en el día. 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.

Interceptor I

Gráficos entre semana:

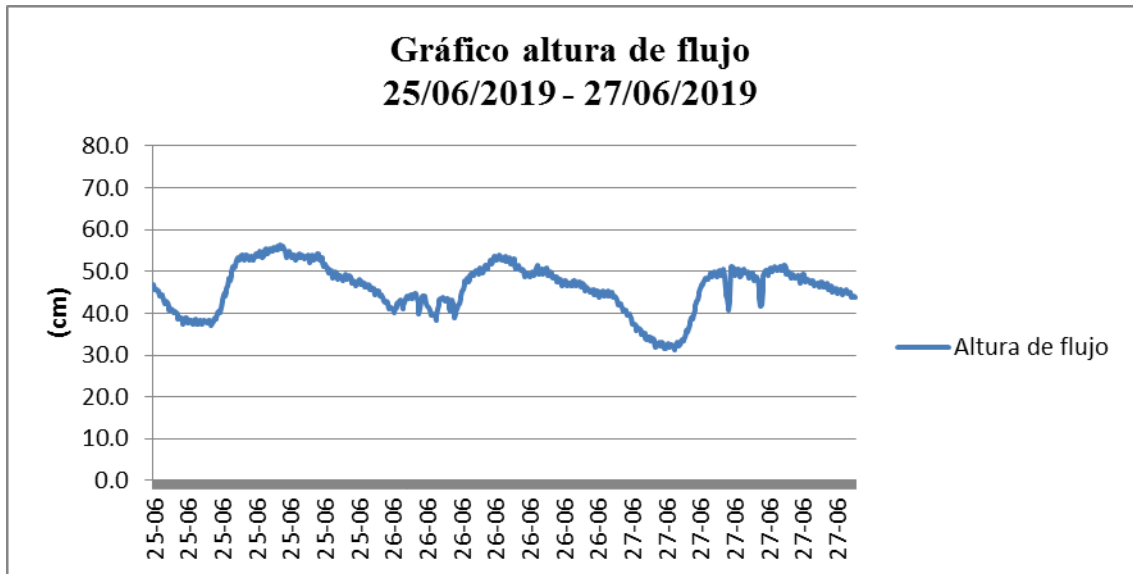


Figura 2.28 Gráfico1 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor I.

Fuente: Autora.

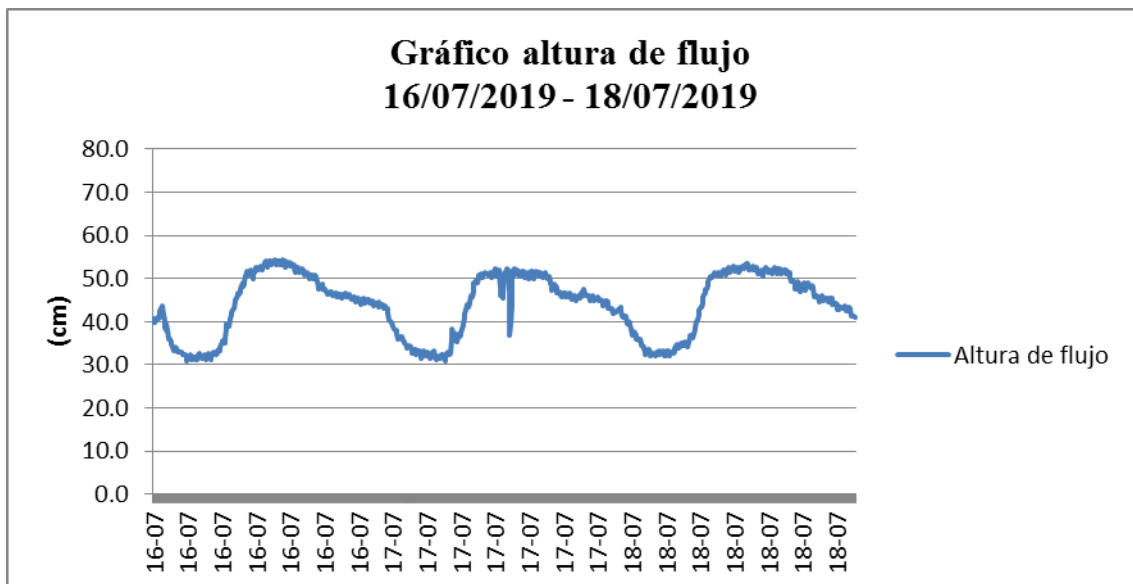


Figura 2.29 Gráfico2 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor I.

Fuente: Autora.

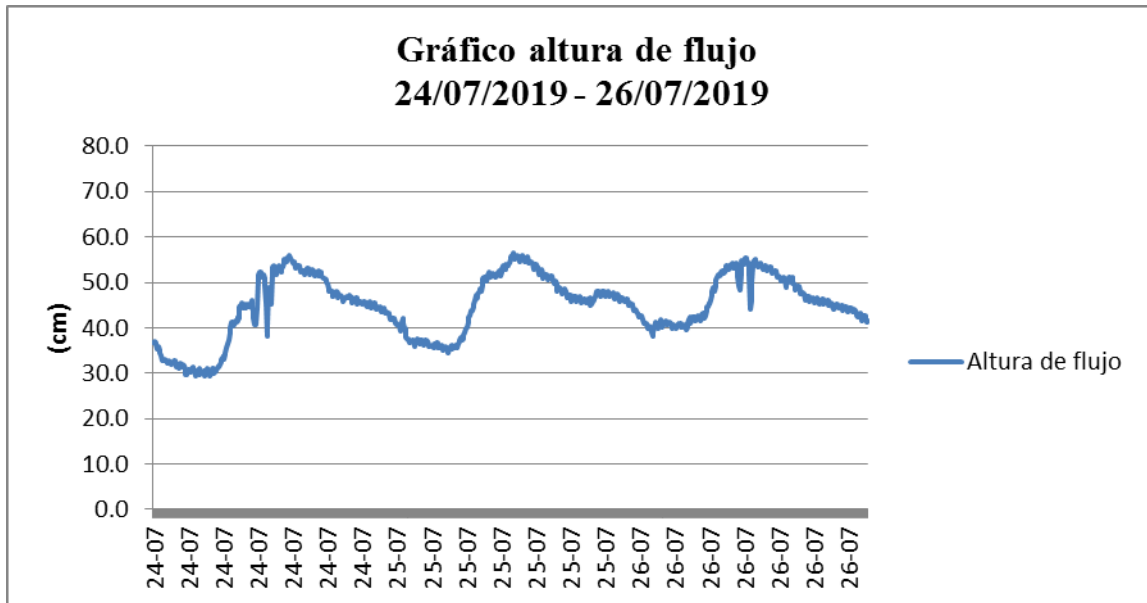


Figura 2.30 Gráfico 3 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor I.

Fuente: Autora.

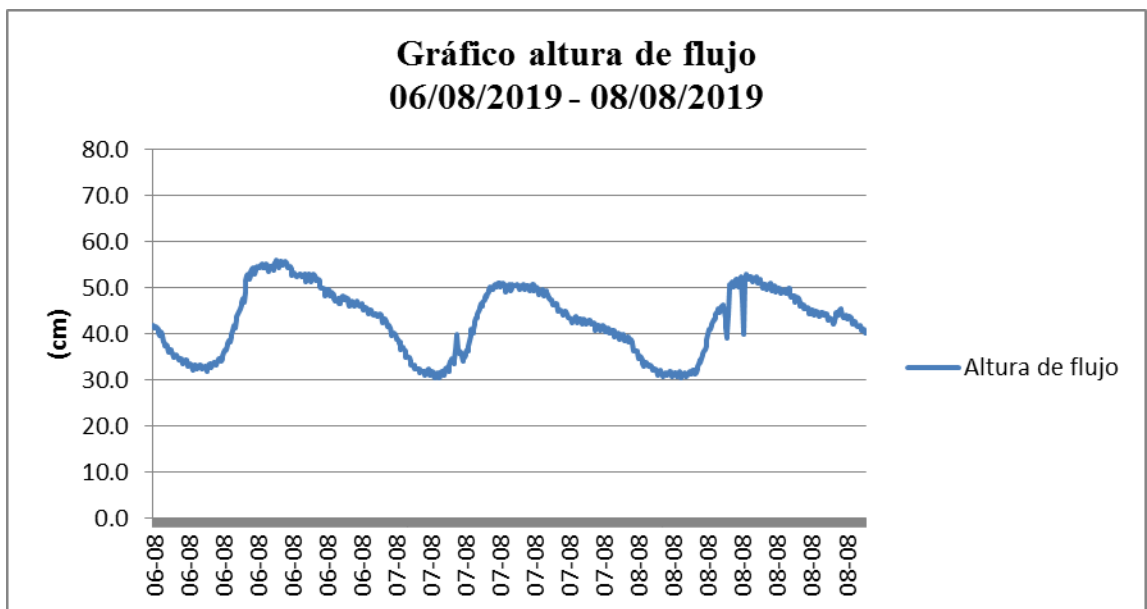


Figura 2.31 Gráfico 4 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor I.

Fuente: Autora.

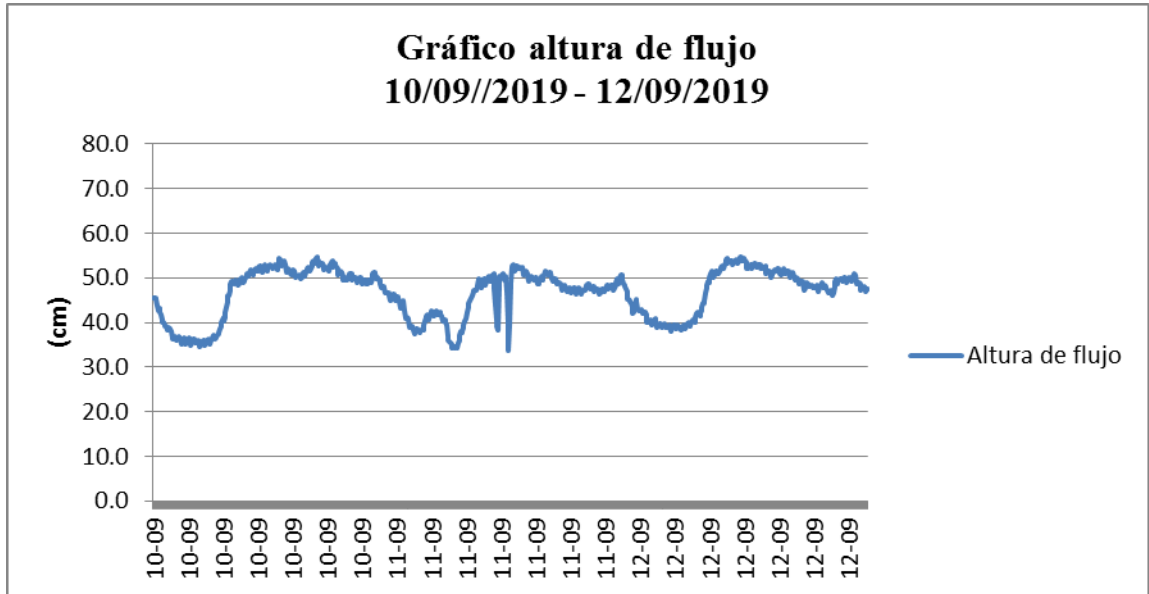


Figura 2.32 Gráfico 5 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor I.

Fuente: Autora.

Gráficos de fines de semana:

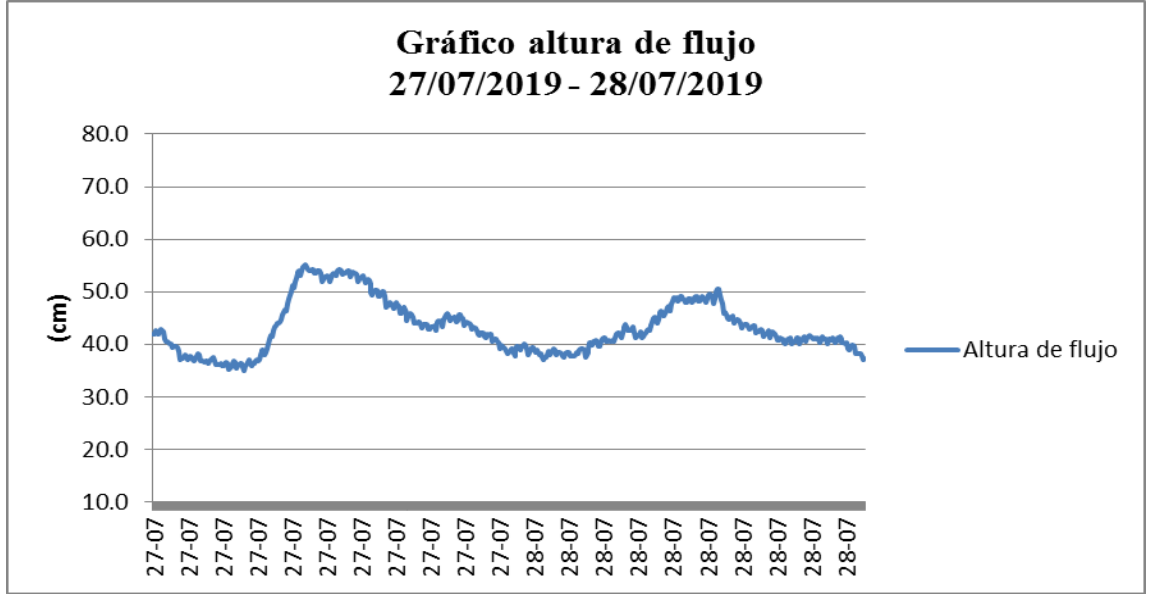


Figura 2.33 Gráfico 1 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor I.

Fuente: Autora.

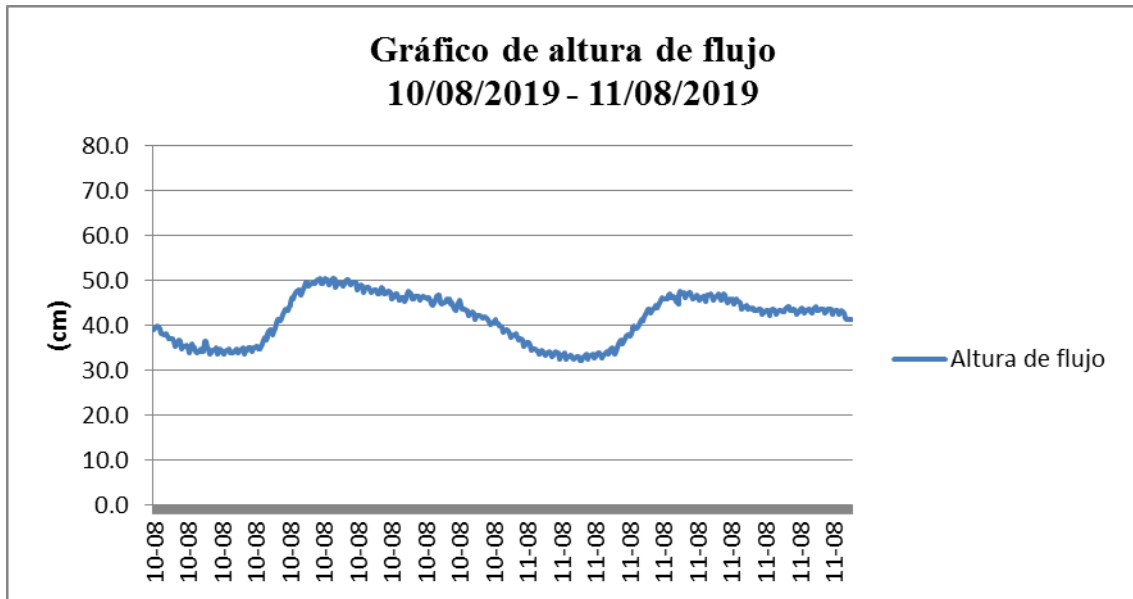


Figura 2.34 Gráfico 2 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor I.

Fuente: Autora.

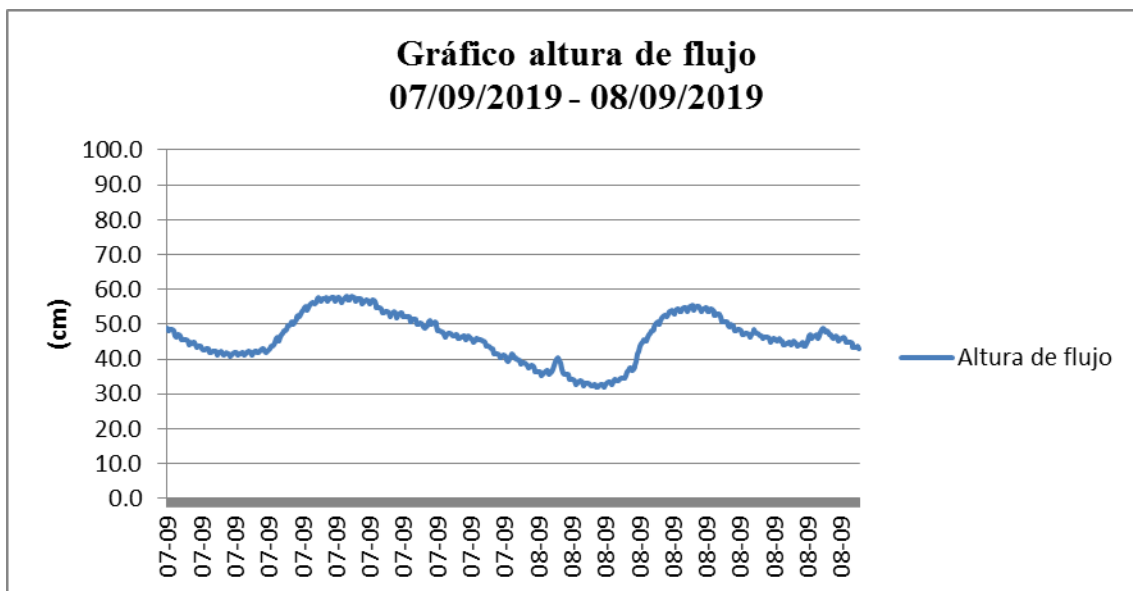


Figura 2.35 Gráfico 3 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor I.

Fuente: Autora.

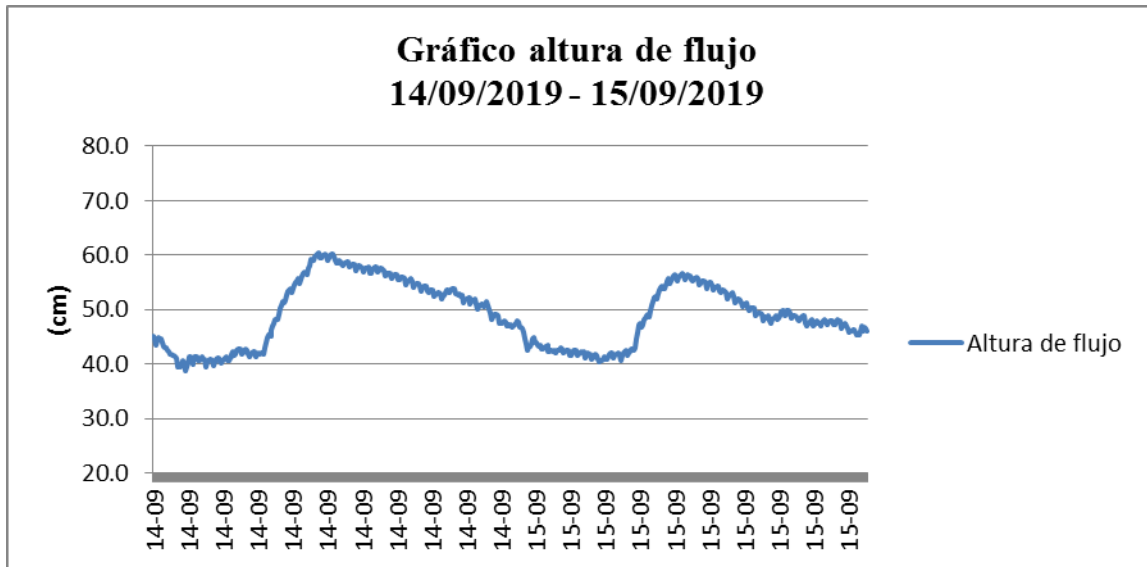


Figura 2.36 Gráfico 4 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor I.

Fuente: Autora.

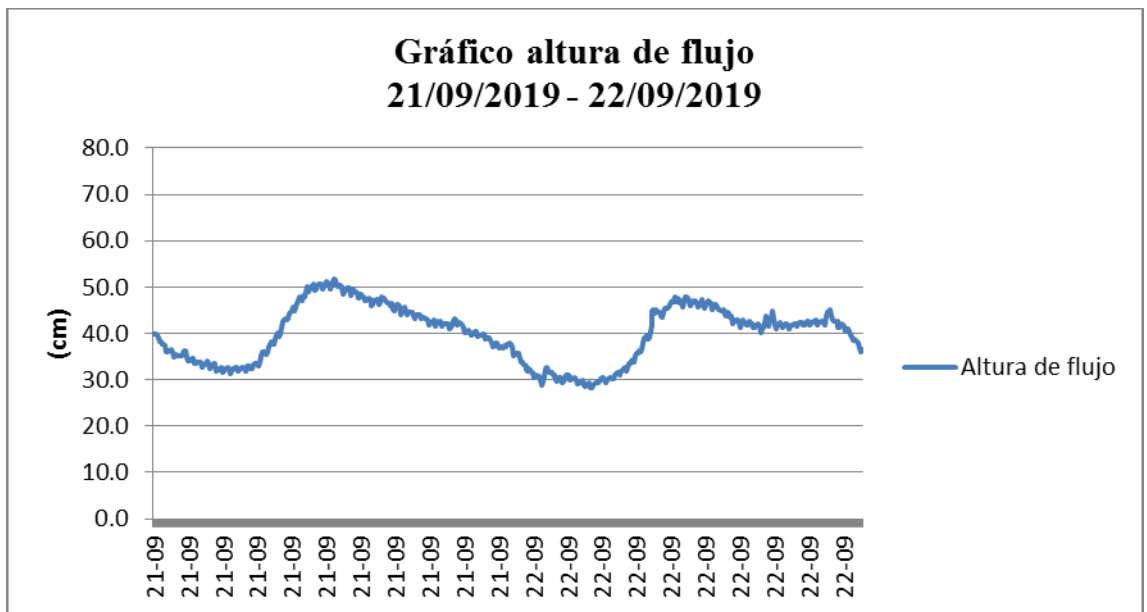


Figura 2.37 Gráfico 4 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor I.

Fuente: Autora.

Interceptor X

Gráficos entre semana:

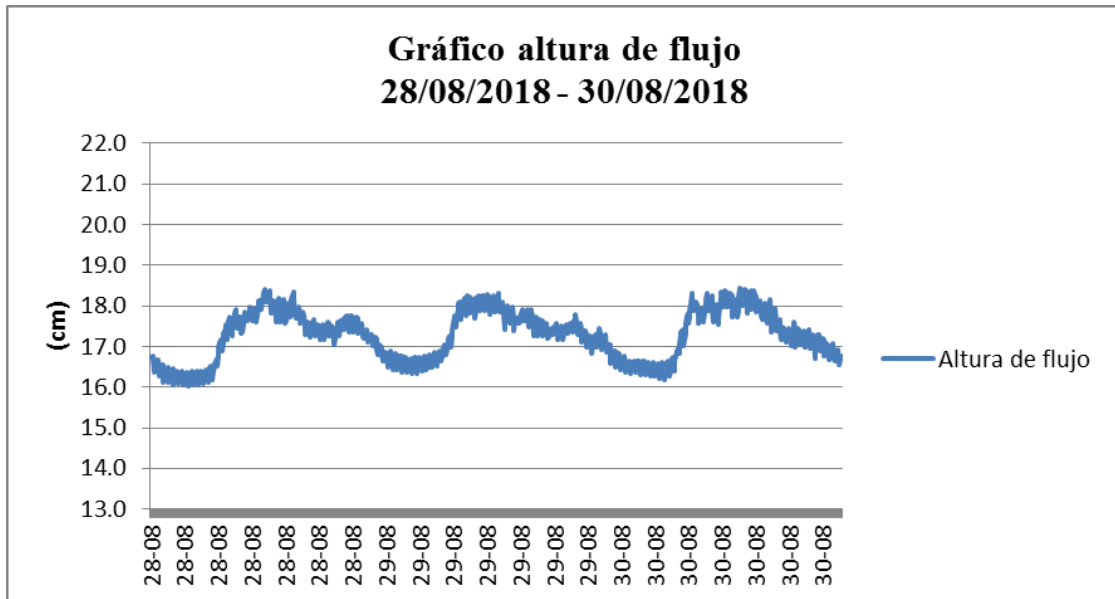


Figura 2.38 Gráfico 1 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor X.

Fuente: Autora.

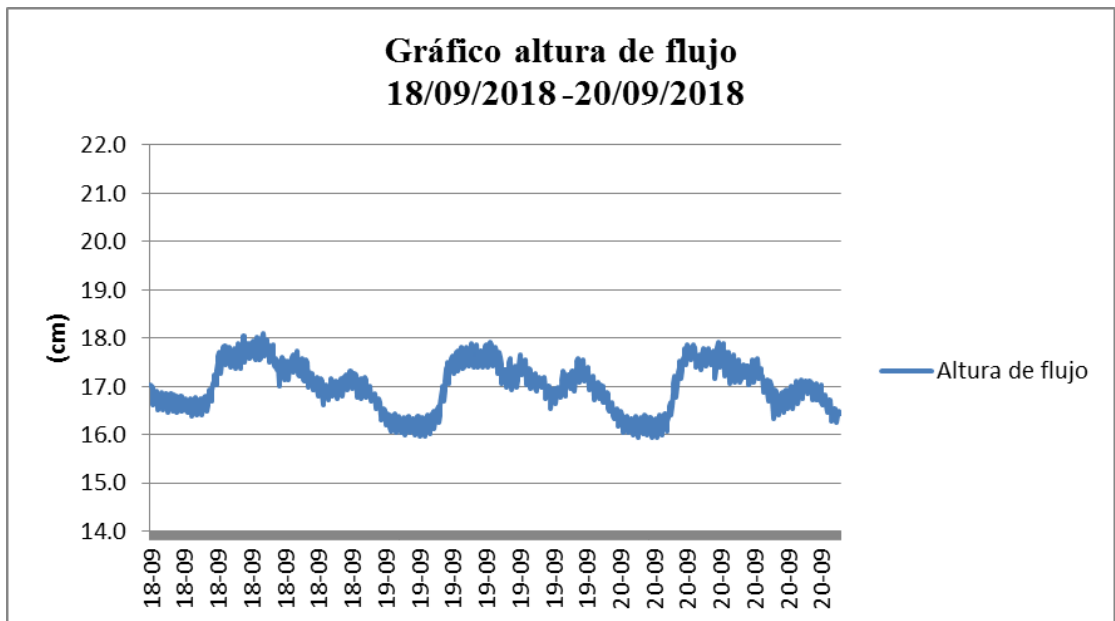


Figura 2.39 Gráfico 2 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor X.

Fuente: Autora.

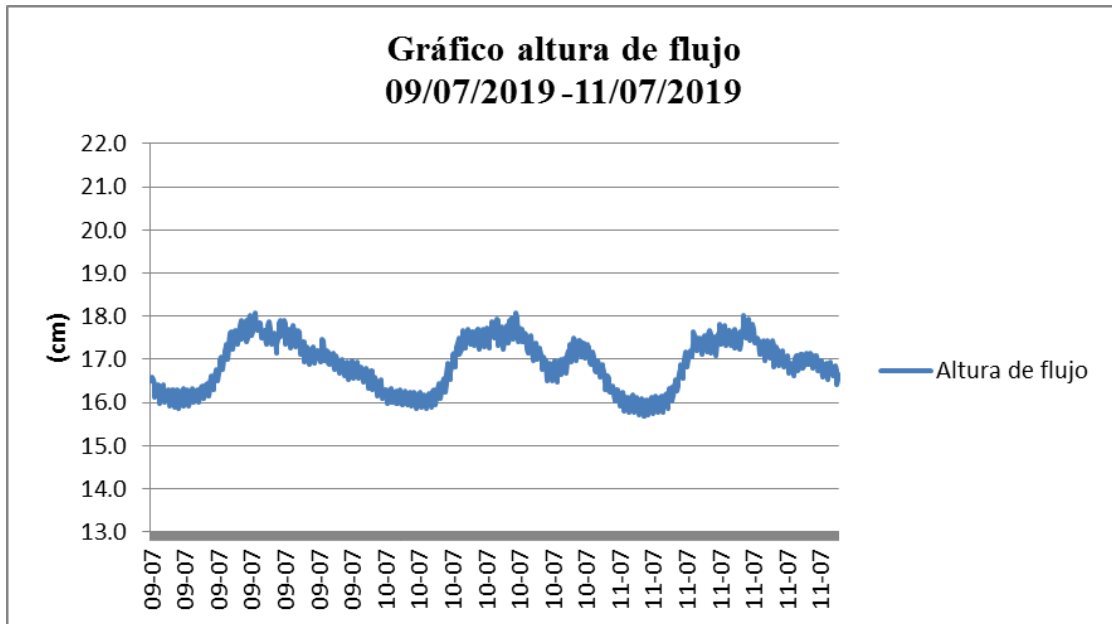


Figura 2.40 Gráfico 3 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor X.

Fuente: Autora.

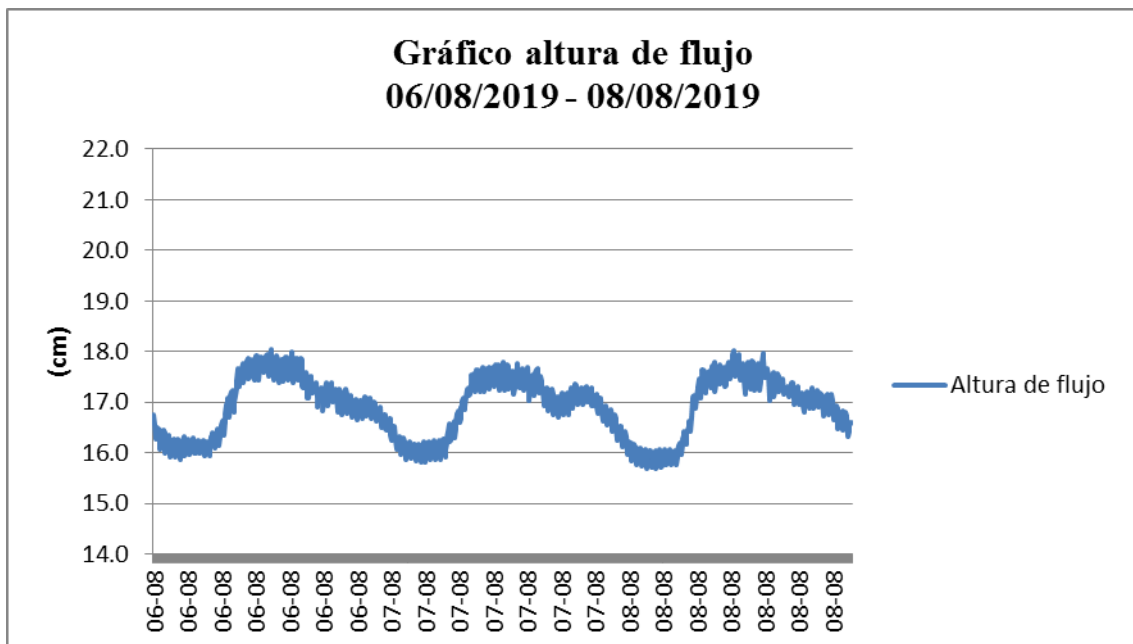


Figura 2.41 Gráfico 4 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor X.

Fuente: Autora.

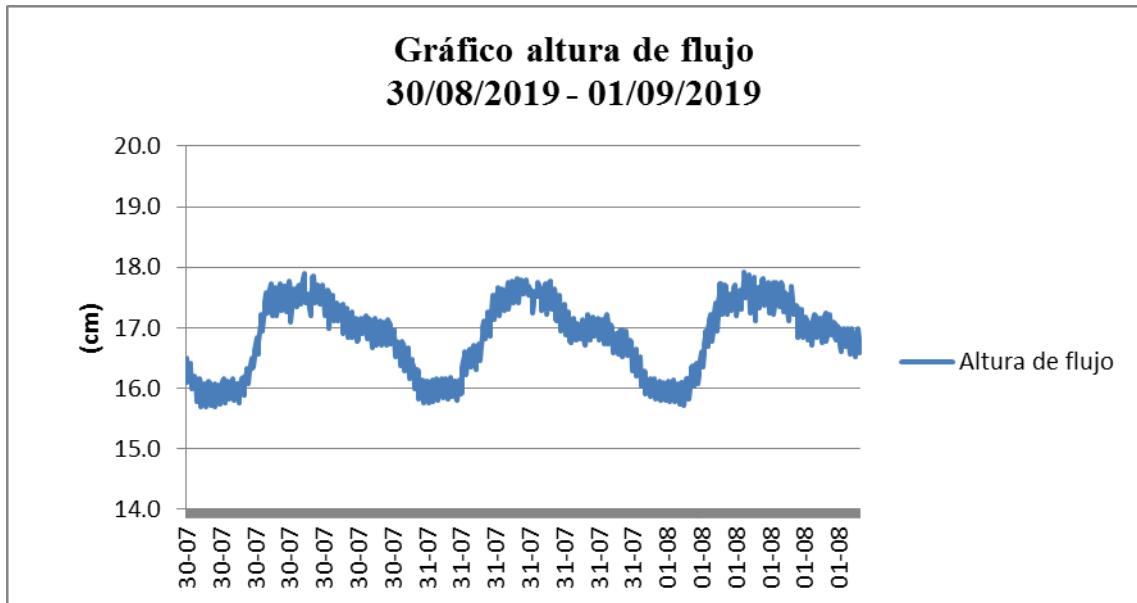


Figura 2.42 Gráfico 5 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor X.

Fuente: Autora.

Gráficos de fines de semana:

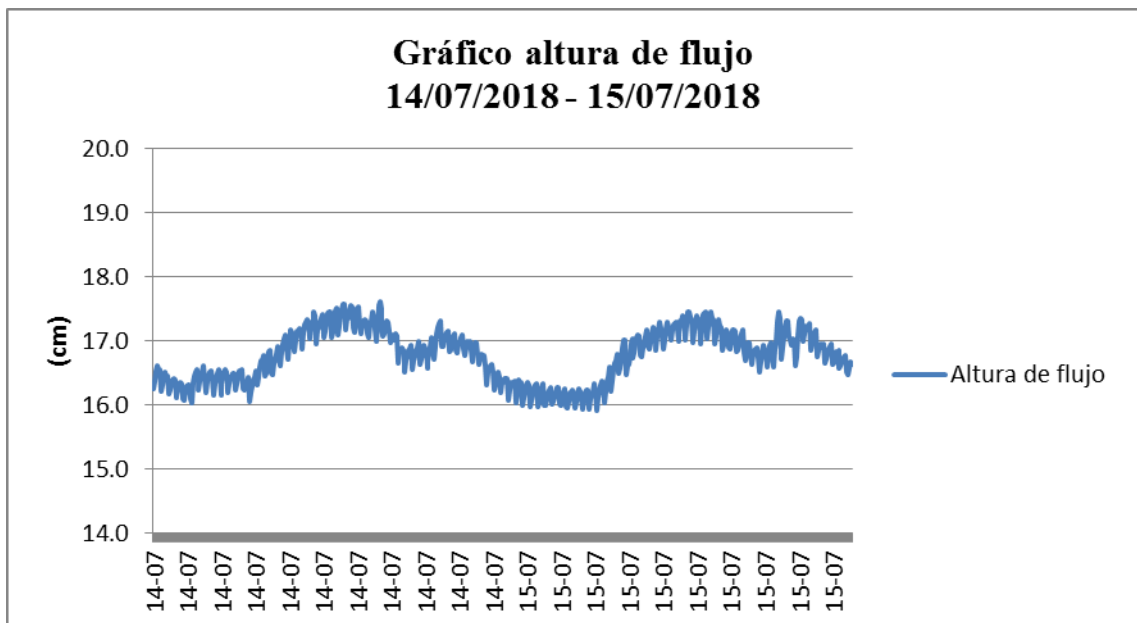


Figura 2.43 Gráfico 1 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor X.

Fuente: Autora.

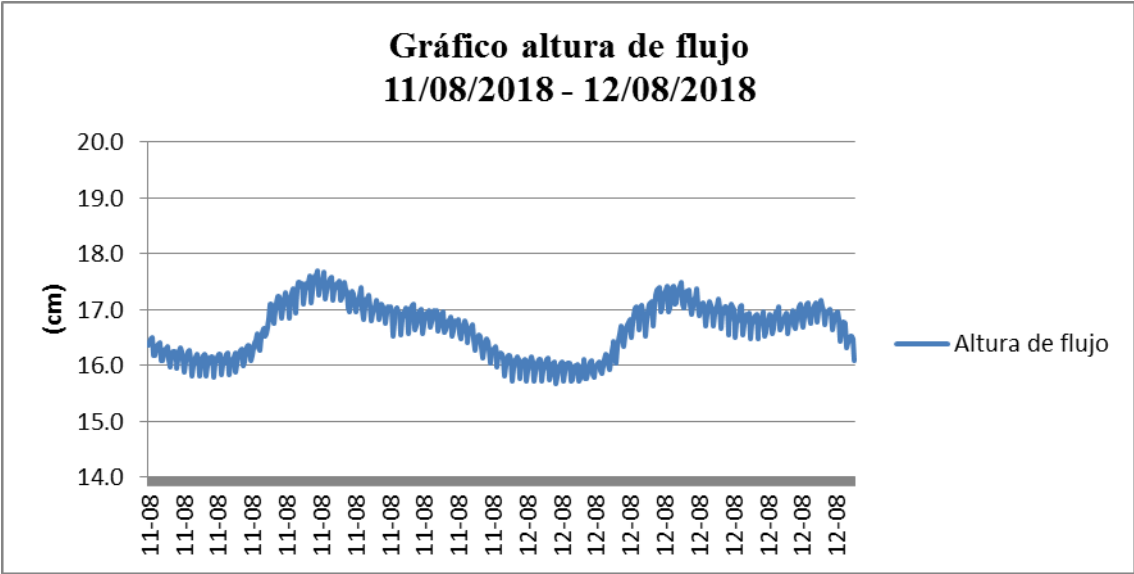


Figura 2.44 Gráfico 2 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor X.
Fuente: Autora.

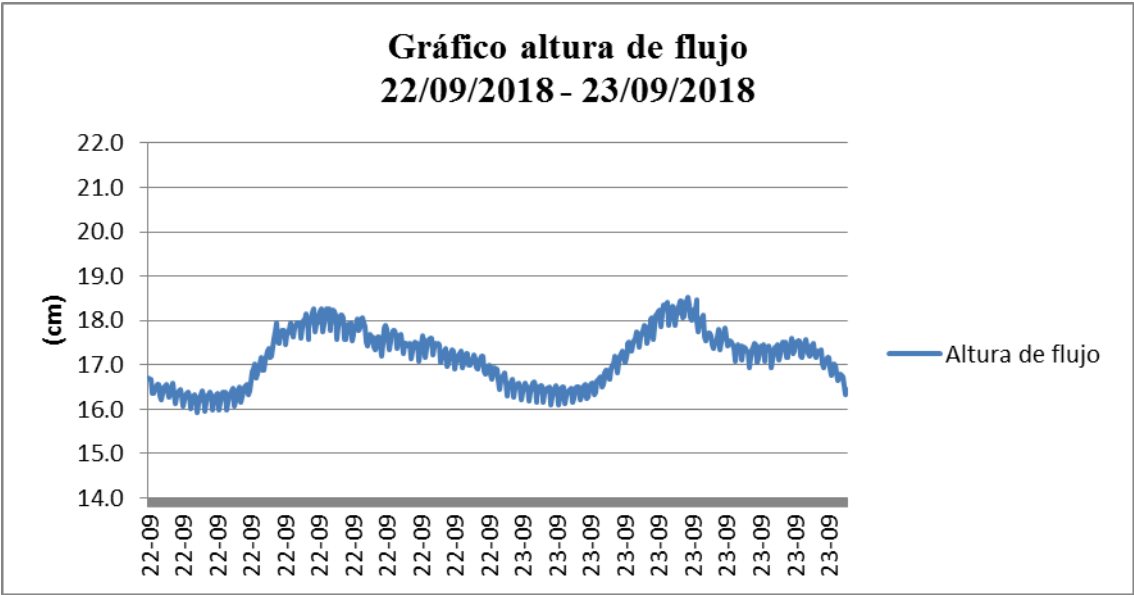


Figura 2.45 Gráfico 3 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor X.
Fuente: Autora.

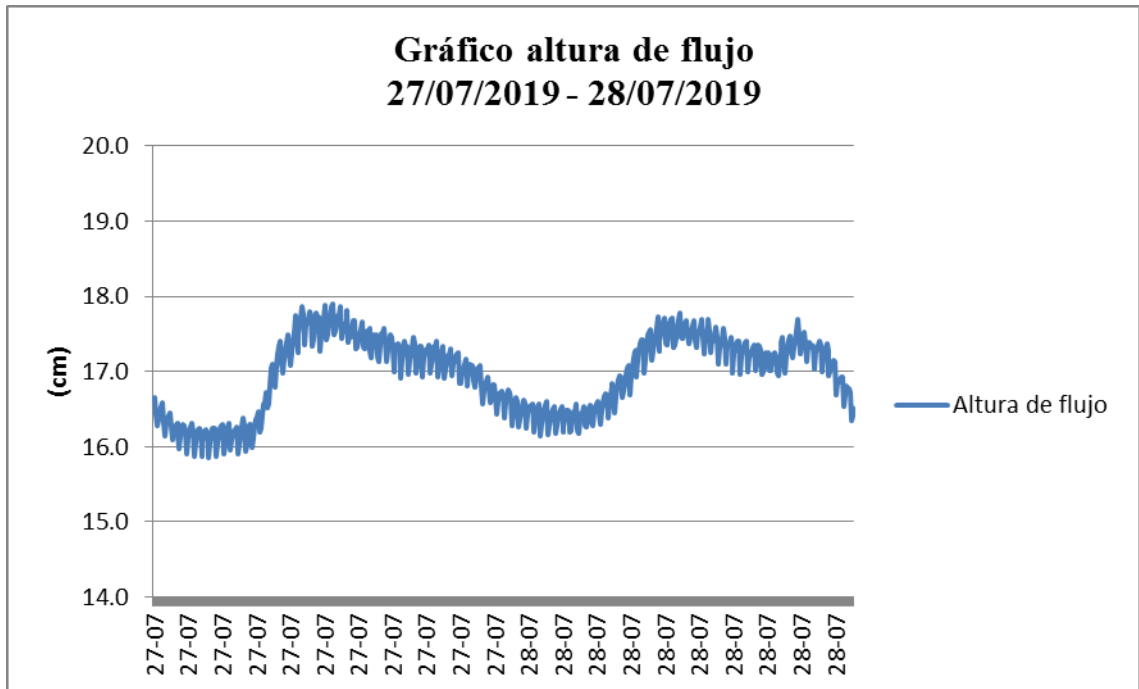


Figura 2.46 Gráfico 4 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor X.

Fuente: Autora.

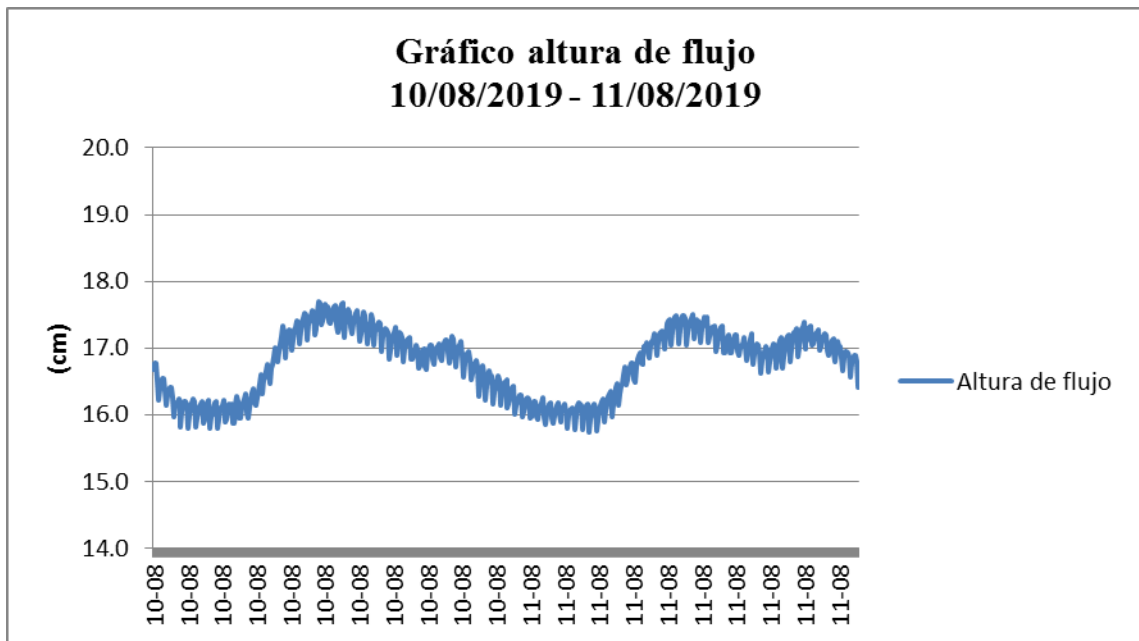


Figura 2.47 Gráfico 5 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor X.

Fuente: Autora.

Interceptor XII-A

Gráficos entre semana:

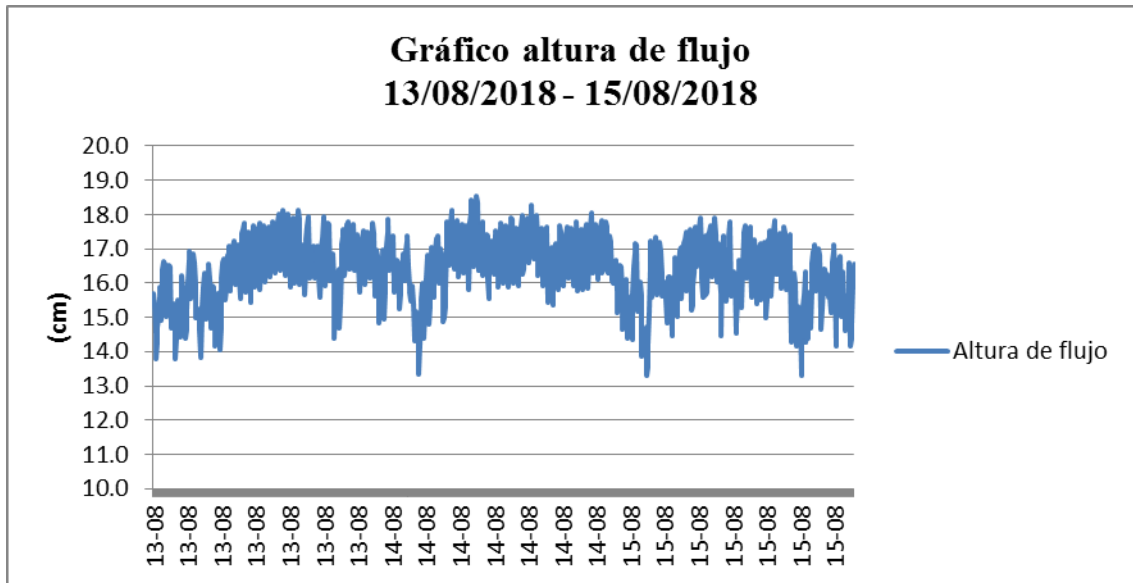


Figura 2.48 Gráfico 1 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor XII-A.

Fuente: Autora.

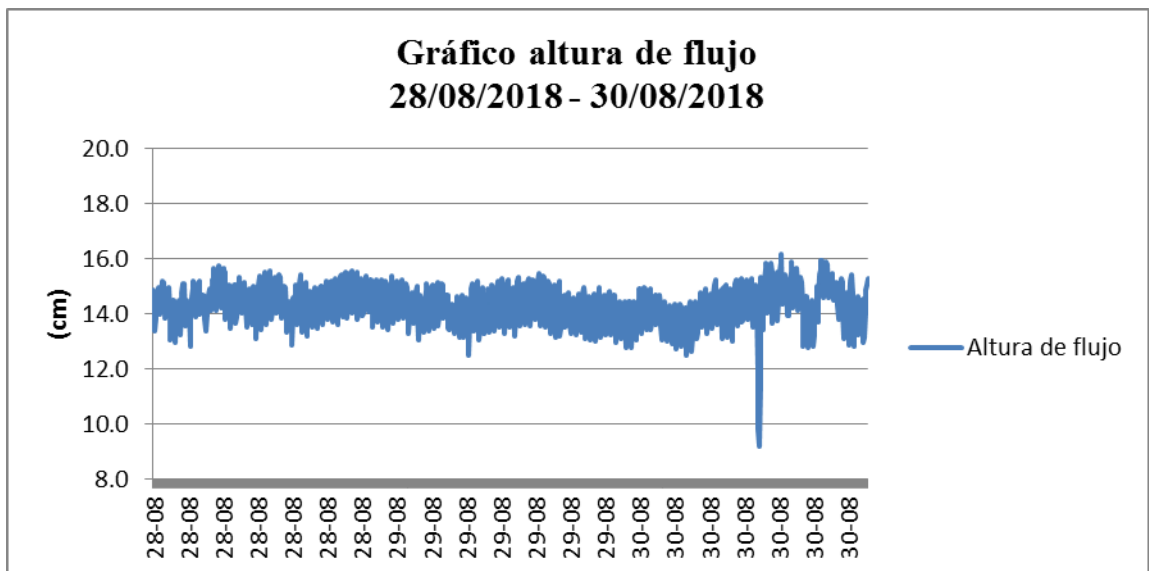


Figura 2.49 Gráfico 2 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor XII-A.

Fuente: Autora.

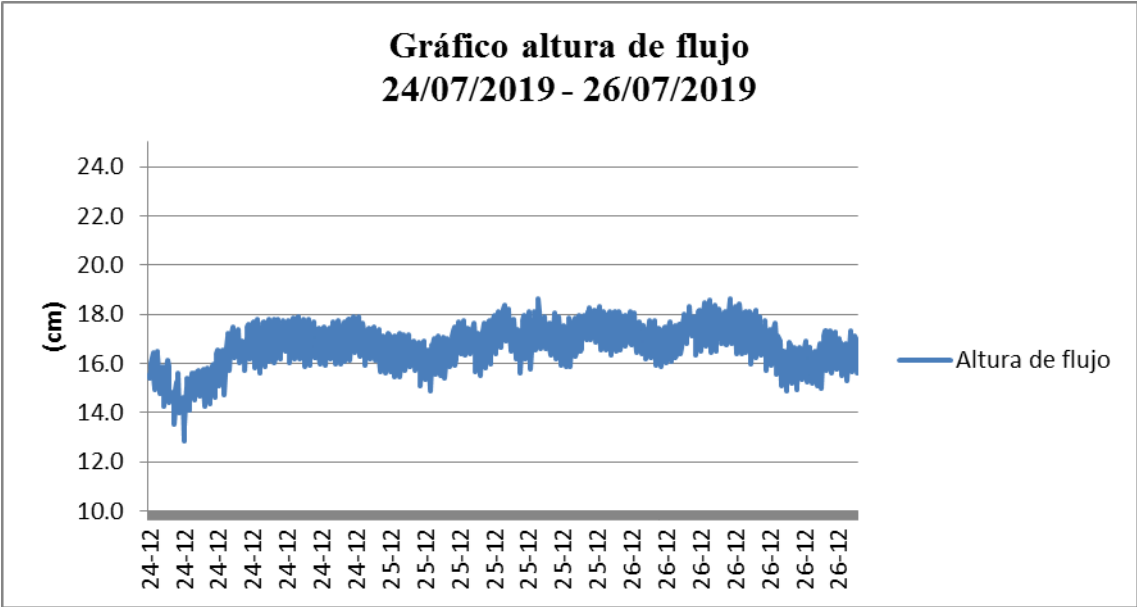


Figura 2.50 Gráfico 3 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor XII-A.

Fuente: Autora.

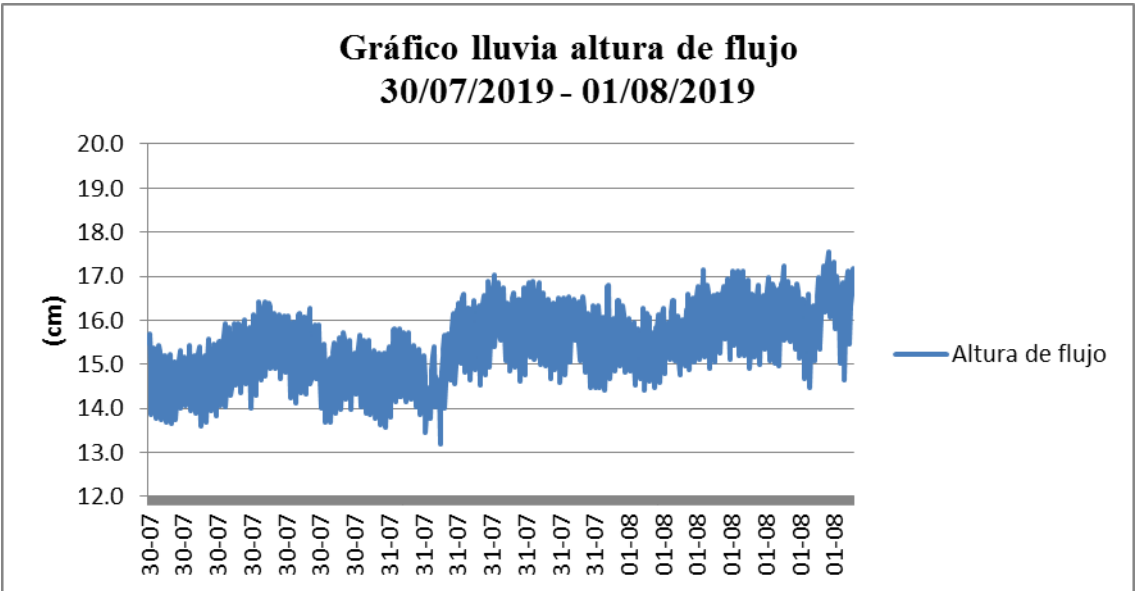


Figura 2.51 Gráfico 4 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor XII-A.

Fuente: Autora.

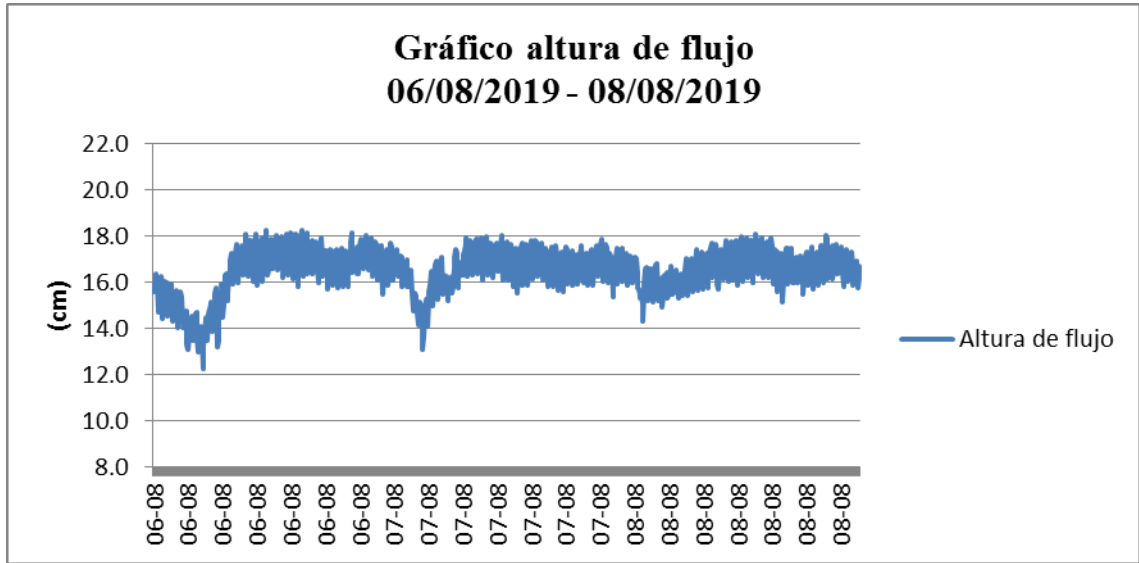


Figura 2.52 Gráfico 5 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor XII-A.

Fuente: Autora.

Gráficos de fines de semana:

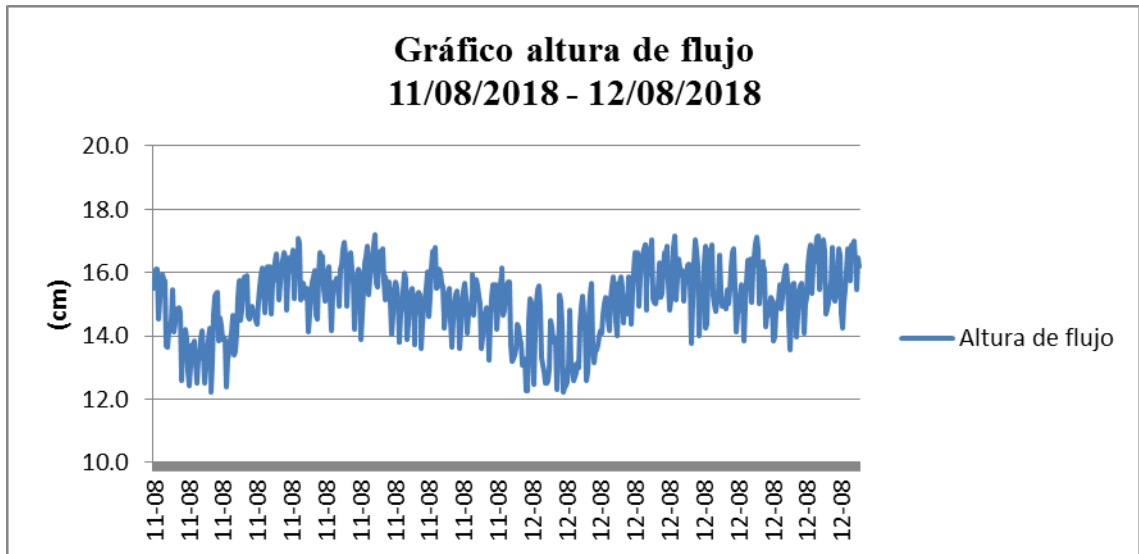


Figura 2.53 Gráfico 1 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor XII-A.

Fuente: Autora.

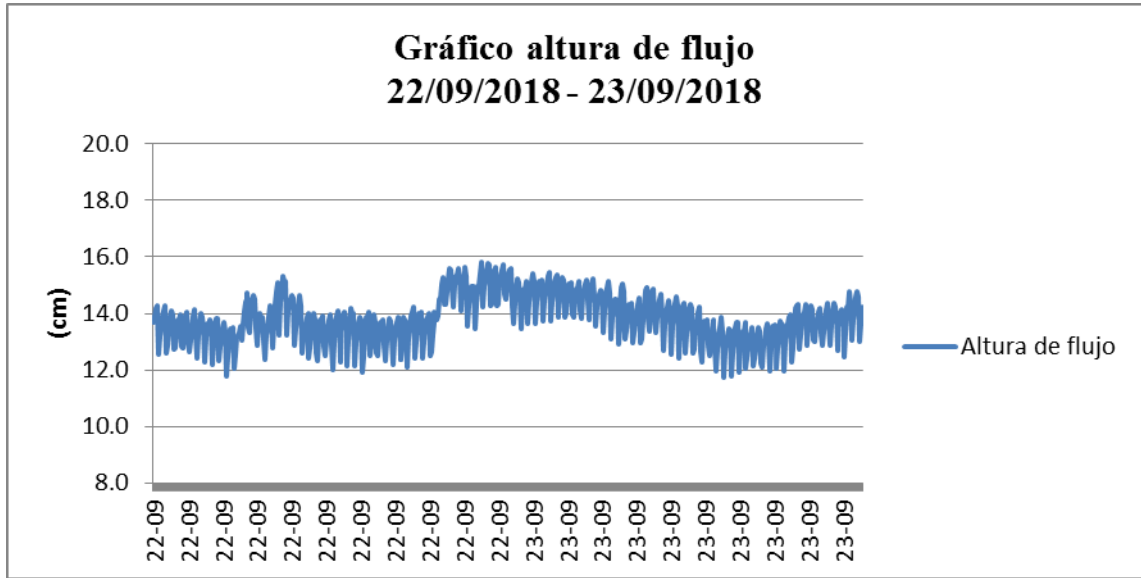


Figura 2.54 Gráfico 2 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor XII-A.

Fuente: Autora.

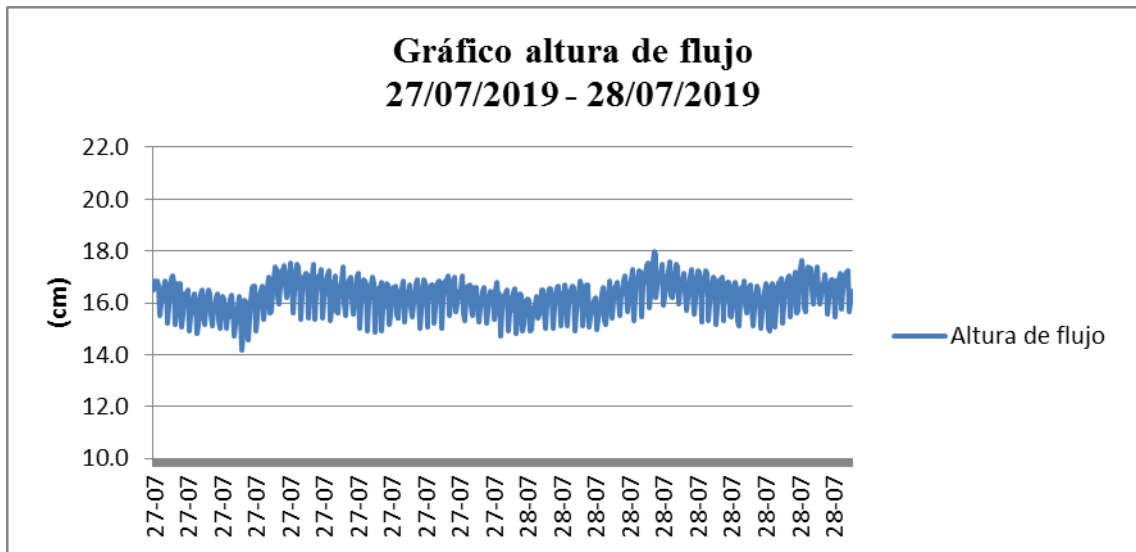


Figura 2.55 Gráfico 3 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor XII-A.

Fuente: Autora.

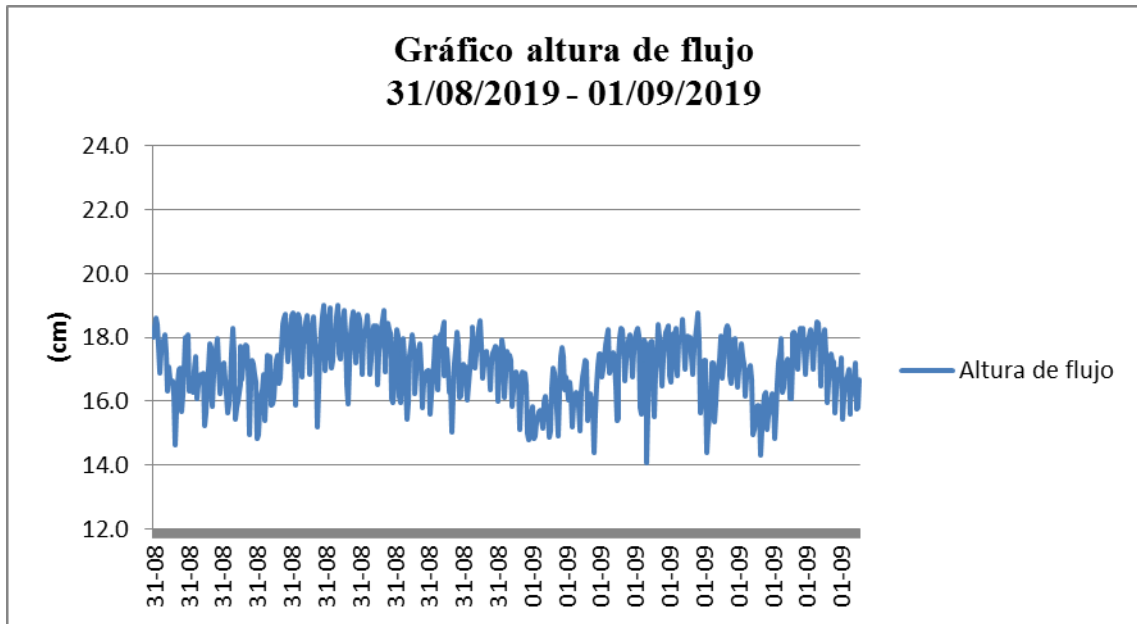


Figura 2.56 Gráfico 4 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor XII-A.

Fuente: Autora.

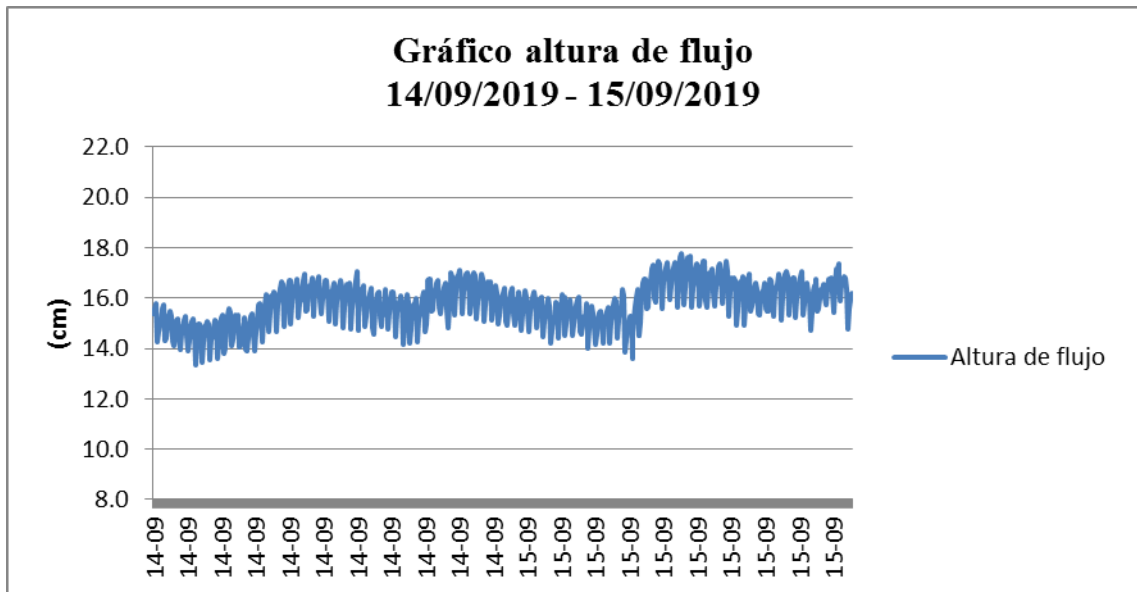


Figura 2.57 Gráfico 5 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor XII-A.

Fuente: Autora.

Interceptor XVIII

Gráficos entre semana:

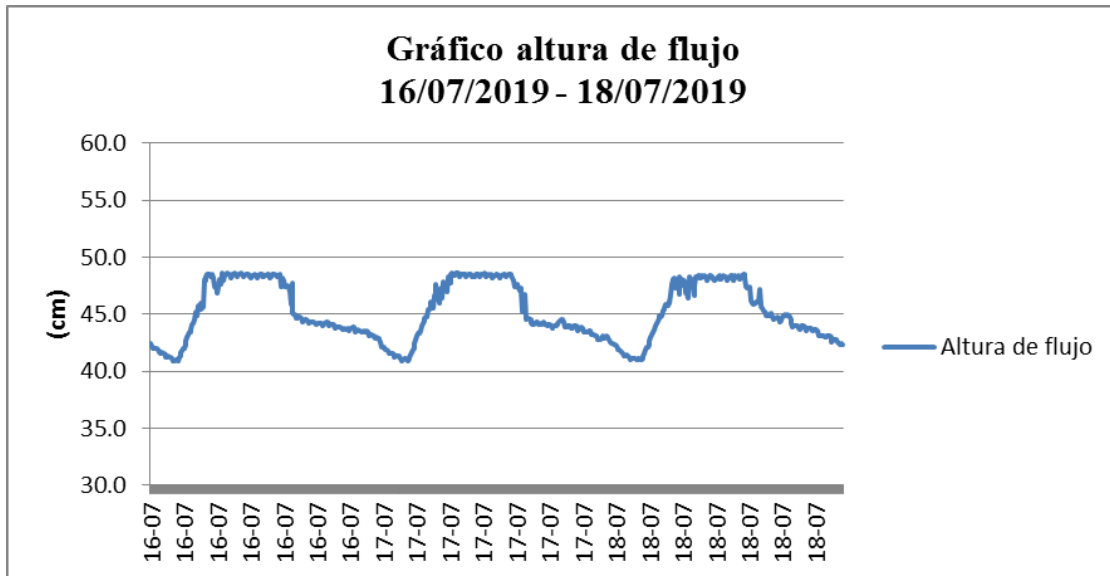


Figura 2.58 Gráfico 1 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor XVIII.

Fuente: Autora.

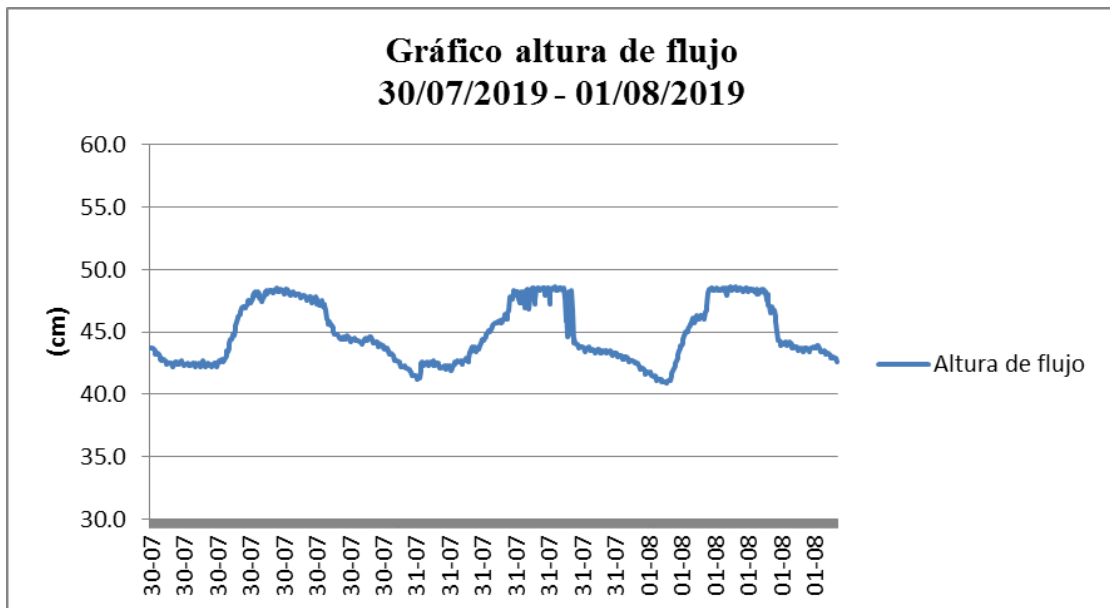


Figura 2.59 Gráfico 2 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor XVIII.

Fuente: Autora.

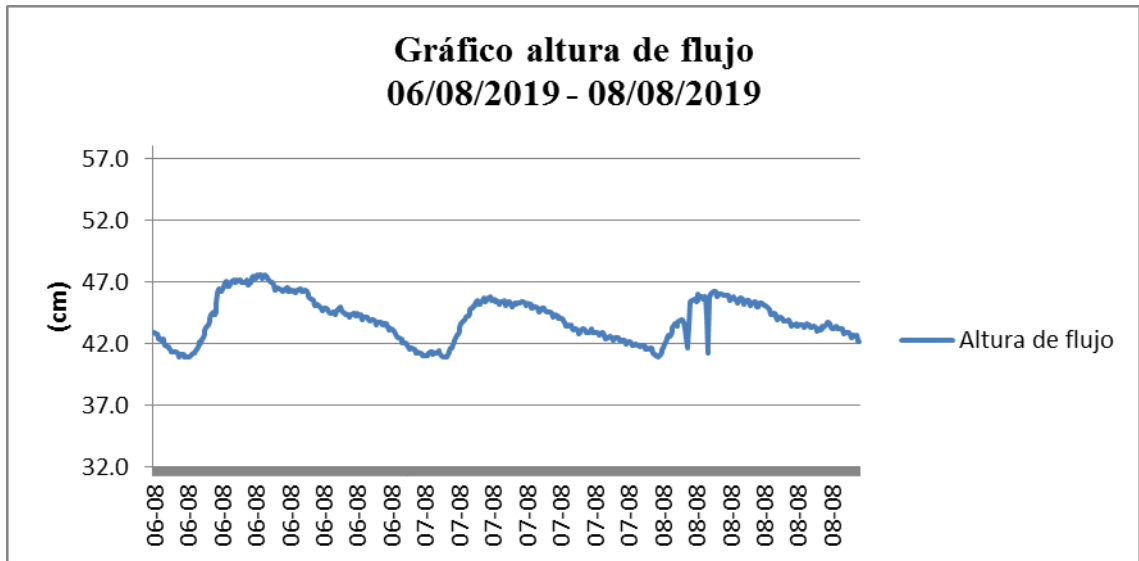


Figura 2.60 Gráfico 3 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor XVIII.

Fuente: Autora.

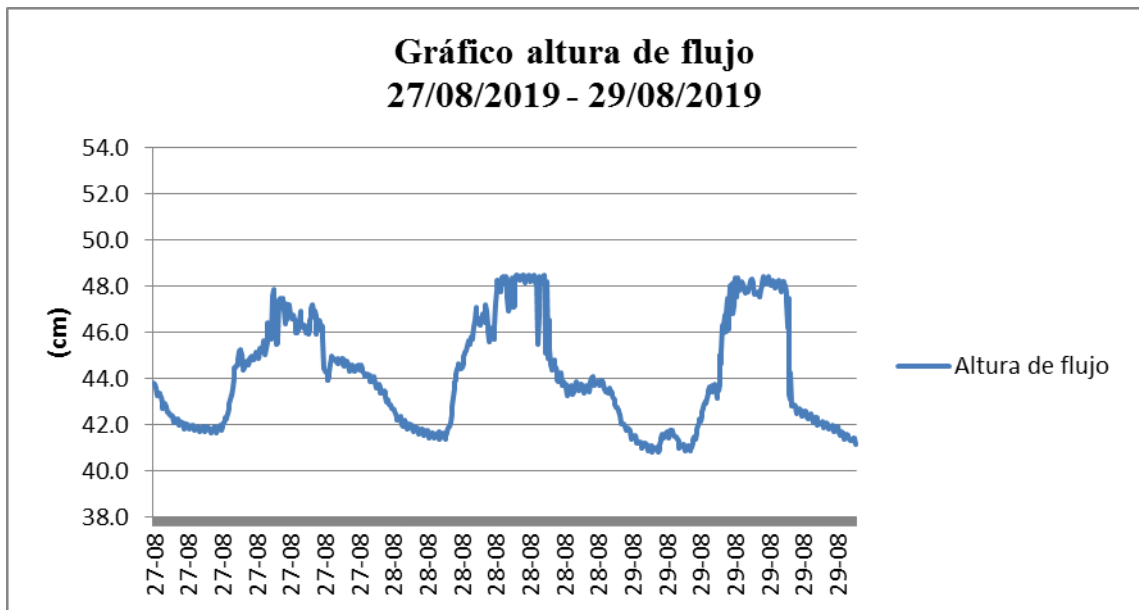


Figura 2.61 Gráfico 4 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor XVIII.

Fuente: Autora.

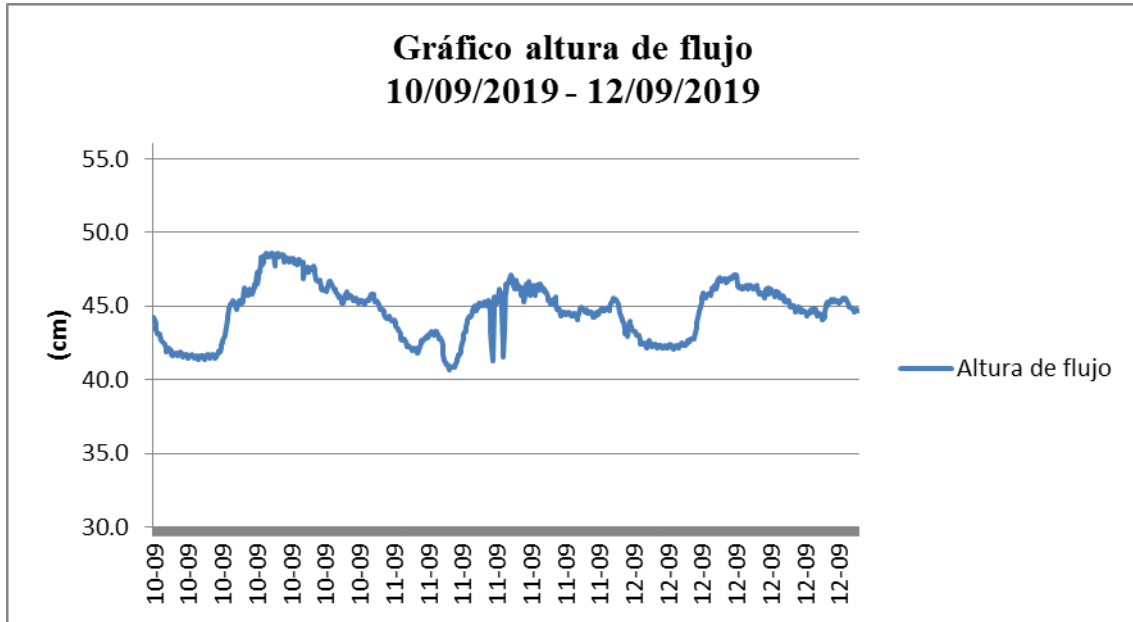


Figura 2.62 Gráfico 5 de comportamiento sin lluvia entre semana, Interceptor XVIII.

Fuente: Autora.

Gráficos de fines de semana:

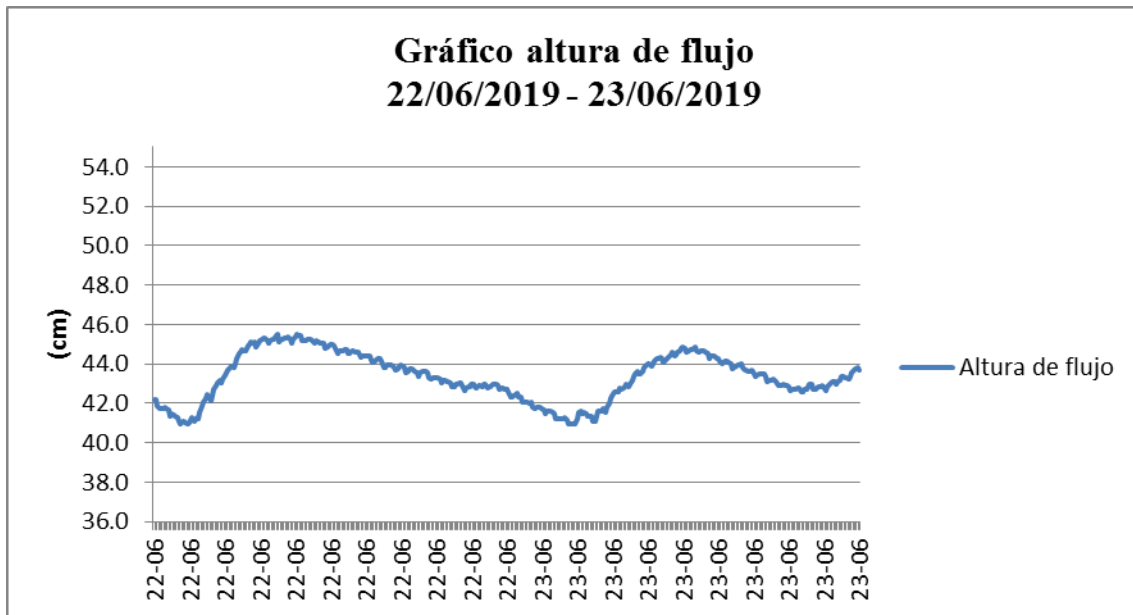


Figura 2.63 Gráfico 1 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor XVIII.

Fuente: Autora.

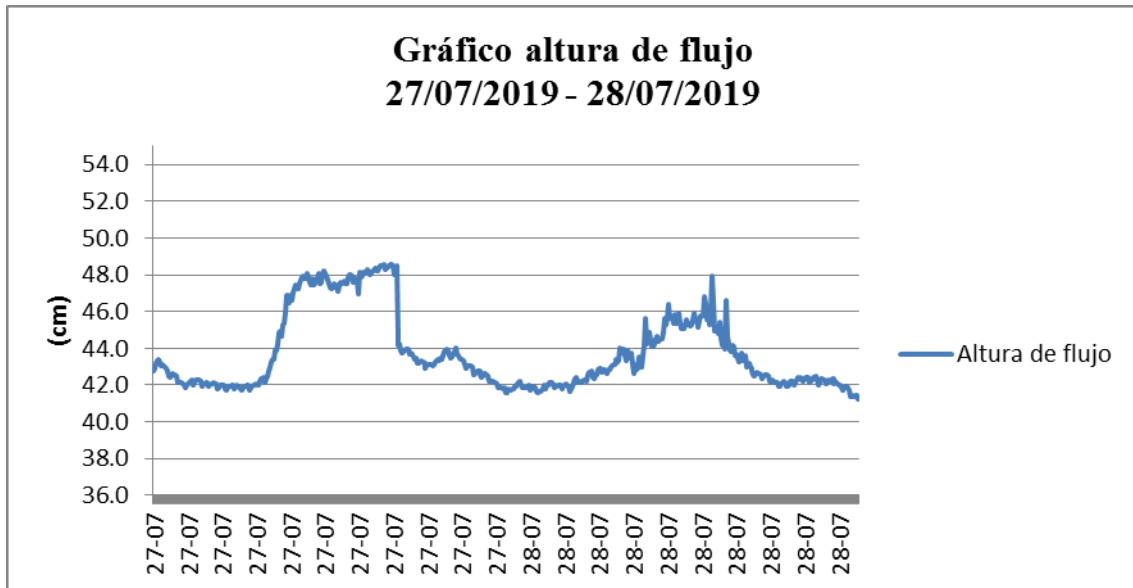


Figura 2.64 Gráfico 2 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor XVIII.

Fuente: Autora.

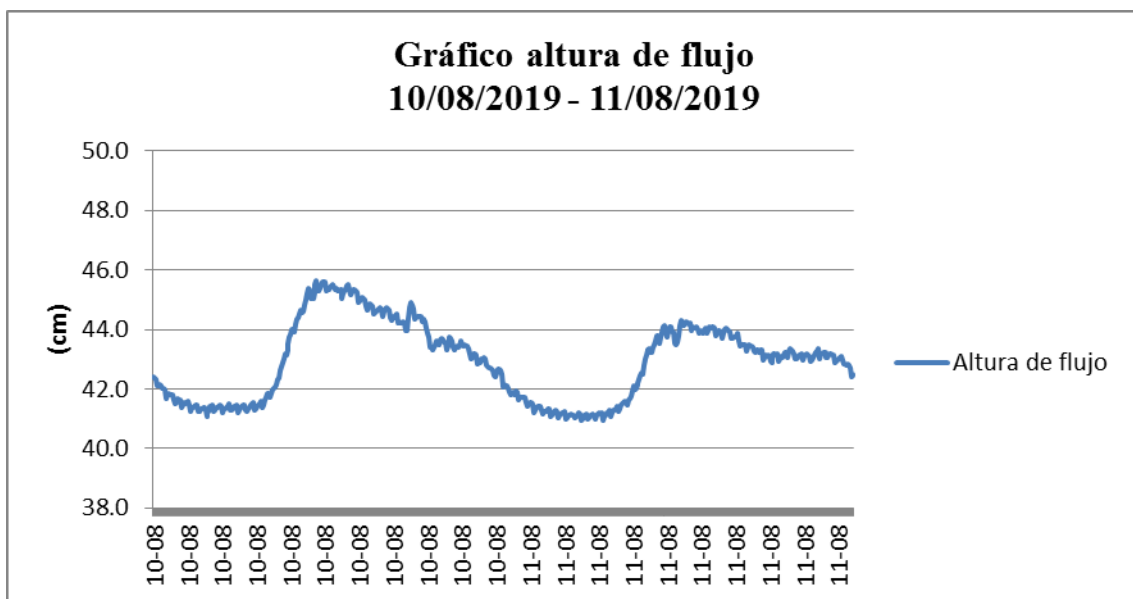


Figura 2.65 Gráfico 3 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor XVIII.

Fuente: Autora.

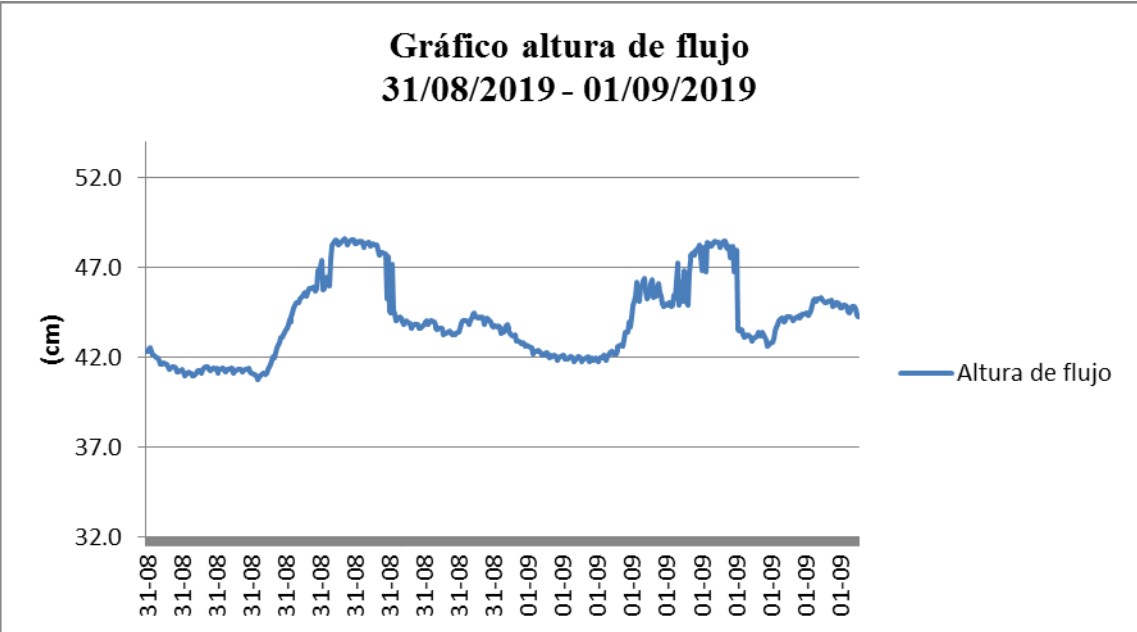


Figura 2.66 Gráfico 4 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor XVIII.

Fuente: Autora.

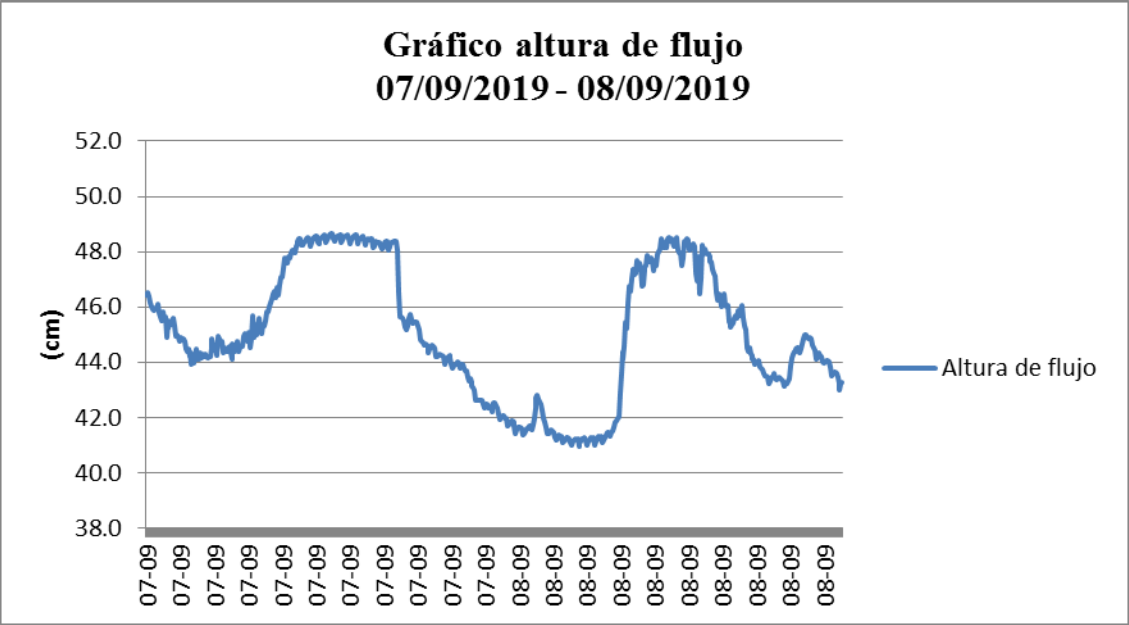


Figura 2.67 Gráfico 5 de comportamiento sin lluvia fin de semana, Interceptor XVIII.

Fuente: Autora.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

3.1 Tablas comparativas de lluvia, altura de flujo y caudales

A continuación se presentan las tablas de la época lluviosa que muestran los valores de la lluvia acumulada, la altura de flujo y los caudales al inicio y al final del evento de lluvia en cada interceptor. No se analizan datos del año 2016 y 2017 debido a que los datos proporcionados por los sensores ultrasónicos de altura de flujo están incompletos y no concuerdan con los datos medidos por las estaciones de lluvia.

También se encuentran las tablas de la época seca de cada interceptor con los valores de alturas de flujo y caudales del inicio y del pico más alto del gráfico. En esta tabla se analizan solo los periodos en los cuales no exista lluvia.

Tabla 3.1 Tabla comparativa de lluvia, altura de flujo y caudal Interceptor I.

INTERCEPTOR I					
Lluvia acumulada (mm)	Altura de flujo al inicio de la lluvia (cm)	Altura de flujo al final de la lluvia (cm)	Caudal al inicio de la lluvia(m³/s)	Caudal al final de la lluvia (m³/s)	Fecha
0.9	53.22	69.03	0.618	0.876	23-07-2019
1.9	53.90	58.06	0.616	0.614	21-07-2019
2.7	50.93	99.48	0.693	1.446	09-05-2019
2.8	53.51	78.56	0.688	1.071	13-11-2019
3	52.10	103.73	0.689	1.503	05-11-2019
4.3	94.33	125.00	1.365	1.487	13-01-2019
4.9	56.52	110.16	0.715	1.569	10-12-2019
6.4	54.54	100.05	0.674	1.454	04-03-2019
6.8	52.94	107.90	0.700	1.549	06-12-2019
6.8	125.00	125.00	1.487	1.487	29-01-2019
7.4	110.37	125.00	1.541	1.487	09-11-2018
11.2	103.38	125.00	1.498	1.487	12-12-2018
11.6	98.01	118.22	0.728	1.491	18-12-2019
15.3	94.39	123.38	1.569	0.718	23-03-2019
20.1	104.08	125.00	1.391	1.487	05-10-2018

Fuente: Autora.

Tabla 3.2 Tabla comparativa de lluvia, altura de flujo y caudal Interceptor X.

INTERCEPTOR X					
Lluvia acumulada (mm)	Altura de flujo al inicio de la lluvia (cm)	Altura de flujo al final de la lluvia (cm)	Caudal al inicio de la lluvia(m³/s)	Caudal al final de la lluvia (m³/s)	Fecha
0.3	17.24	17.45	0.050	0.050	21-07-2019
0.6	17.24	17.51	0.050	0.050	23-08-2018
1.2	17.58	19.86	0.050	0.050	01-06-2019
1.3	17.48	18.15	0.050	0.050	05-12-2018
3.7	17.05	22.96	0.050	0.054	06-05-2019
4.5	17.12	19.57	0.050	0.051	09-04-2019
4.9	18.30	18.99	0.050	0.051	01-11-2019
8.5	19.52	24.31	0.051	0.055	08-12-2019
10.7	17.01	23.76	0.050	0.054	26-11-2018
11.2	17.60	23.56	0.050	0.054	29-01-2019
12.0	17.13	23.00	0.050	0.053	21-04-2019
12.5	17.24	20.47	0.050	0.052	25-10-2018
20.7	17.26	23.88	0.050	0.054	06-12-2018
21.29	17.49	24.56	0.050	0.055	13-01-2019
59.79	23.76	26.59	0.050	0.061	29-09-2019

Fuente: Autora.

Tabla 3.3 Tabla comparativa de lluvia, altura de flujo y caudal Interceptor XII-A.

INTERCEPTOR XII-A					
Lluvia acumulada (mm)	Altura de flujo al inicio de la lluvia (cm)	Altura de flujo al final de la lluvia (cm)	Caudal al inicio de la lluvia(m³/s)	Caudal al final de la lluvia (m³/s)	Fecha
1.2	17.10	18.73	0.157	0.156	01-06-2019
1.7	17.54	23.52	0.156	0.158	31-10-2018
3.2	17.42	21.92	0.156	0.157	06-03-2019
3.3	25.00	16.27	0.160	0.157	18-09-2019
3.7	37.29	36.59	0.325	0.332	29-11-2018
4.8	21.80	19.63	0.157	0.156	23-03-2019
6.1	17.69	23.88	0.156	0.158	04-03-2019
7.1	17.89	24.41	0.156	0.159	19-03-2019
11.2	17.90	27.28	0.156	0.163	07-02-2019
12.3	17.14	19.69	0.156	0.156	25-10-2018
12.5	18.66	38.06	0.160	0.225	02-04-2019
13.3	18.66	20.04	0.160	0.156	07-12-2019
23.29	17.62	27.36	0.156	0.163	22-04-2019
24.09	18.81	22.99	0.158	0.157	28-01-2019
59.79	25.64	52.59	0.160	0.343	29-09-2019

Fuente: Autora.

Tabla 3.4 Tabla comparativa de lluvia, altura de flujo y caudal Interceptor XVIII.

INTERCEPTOR XVIII					
Lluvia acumulada (mm)	Altura de flujo al inicio de la lluvia (cm)	Altura de flujo al final de la lluvia (cm)	Caudal al inicio de la lluvia(m³/s)	Caudal al final de la lluvia (m³/s)	Fecha
0.6	48.58	48.66	0.604	0.606	31-10-2019
1.7	47.79	52.46	0.522	0.683	23-09-2019
1.9	48.59	50.69	0.566	0.604	21-07-2019
3.2	47.37	61.21	0.613	0.857	25-11-2019
3.6	56.27	56.39	0.760	0.763	31-10-2018
4.2	56.69	65.23	0.768	0.931	13-09-2018
4.3	55.92	75.99	0.753	1.09	13-01-2019
4.9	47.57	64.48	0.583	0.917	10-12-2019
5.2	56.70	72.49	0.769	1.046	16-09-2018
6.6	46.92	65.68	0.570	0.938	06-12-2019
7.3	55.86	67.14	0.869	0.963	29-09-2019
7.4	56.68	72.75	0.768	1.049	09-11-2018
11.4	48.42	67.99	0.600	0.978	18-12-2019
14.7	48.75	54.92	0.613	0.683	23-03-2019
20.09	56.82	62.78	0.771	0.886	05-10-2018

Fuente: Autora.

Tabla 3.5 Tabla comparativa época seca de altura de flujo y caudales entre semana Interceptor I.

INTERCEPTOR I				
Altura de flujo (cm)		Caudal (m³/s)		Fecha
Altura inicial	Altura máxima	Caudal inicial	Caudal máximo	
36.78	56.02	0.667	0.713	24/07/2019 – 26/07/2019
40.73	54.32	0.669	0.706	16/07/2019 – 18/07/2019
41.92	55.88	0.671	0.712	06/08/2019 – 08/08/2019
45.38	54.60	0.677	0.707	10/09/2019 – 12/09/2019
46.98	56.47	0.681	0.715	25/06/2019 – 27/06/2019

Fuente: Autora.

Tabla 3.6 Tabla comparativa época seca de altura de flujo y caudales fines de semana Interceptor I.

INTERCEPTOR I				
Altura de flujo (cm)		Caudal (m³/s)		Fecha
Altura inicial	Altura máxima	Caudal inicial	Caudal máximo	
38.95	50.59	0.668	0.692	10/08/2019 – 11/08/2019
39.79	51.79	0.668	0.695	21/09/2019 – 22/09/2019
41.94	55.15	0.671	0.709	27/07/2019 – 28/07/2019
45.19	60.38	0.677	0.733	14/09/2019 – 15/09/2019
48.76	57.97	0.686	0.722	07/09/2019 – 08/09/2019

Fuente: Autora.

Tabla 3.7 Tabla comparativa época seca de altura de flujo y caudales entre semana Interceptor X.

INTERCEPTOR X				
Altura de flujo (cm)		Caudal (m³/s)		Fecha
Altura inicial	Altura máxima	Caudal inicial	Caudal máximo	
16.49	17.91	0.050	0.050	30/08/2019 – 01/09/2019
16.50	18.06	0.050	0.050	09/07/2019 – 11/07/2019
16.73	18.41	0.050	0.051	28/08/2018 – 30/08/2018
16.75	18.04	0.050	0.050	06/08/2019 – 08/08/2019
17.05	18.09	0.050	0.050	18/09/2018 – 20/09/2018

Fuente: Autora.

Tabla 3.8 Tabla comparativa época seca de altura de flujo y caudales fines de semana Interceptor X.

INTERCEPTOR X				
Altura de flujo (cm)		Caudal (m³/s)		Fecha
Altura inicial	Altura máxima	Caudal inicial	Caudal máximo	
16.26	17.61	0.050	0.050	14/07/2018 – 15/07/2018
16.37	17.69	0.050	0.050	11/08/2018 – 12/08/2018
16.63	17.89	0.050	0.050	27/07/2019 – 28/07/2019
16.67	17.69	0.050	0.050	10/08/2019 – 11/08/2019
16.69	18.53	0.050	0.051	22/09/2018 – 23/09/2018

Fuente: Autora.

Tabla 3.9 Tabla comparativa época seca de altura de flujo y caudales entre semana Interceptor XII-A.

INTERCEPTOR XII-A				
Altura de flujo (cm)		Caudal (m³/s)		Fecha
Altura inicial	Altura máxima	Caudal inicial	Caudal máximo	
14.86	16.72	0.159	0.157	28/08/2018 – 30/08/2018
15.48	17.54	0.158	0.156	30/07/2019 – 01/08/2019
15.51	18.61	0.158	0.156	24/07/2019 – 26/07/2019
15.62	18.28	0.158	0.156	06/08/2019 – 08/08/2019
15.70	18.55	0.158	0.156	13/08/2018 – 15/08/2018

Fuente: Autora.

Tabla 3.10 Tabla comparativa época seca de altura de flujo y caudales fines de semana Interceptor XII-A.

INTERCEPTOR XII-A				
Altura de flujo (cm)		Caudal (m³/s)		Fecha
Altura inicial	Altura máxima	Caudal inicial	Caudal máximo	
13.69	15.79	0.161	0.158	22/09/2018 – 23/09/2018
15.36	17.77	0.158	0.156	14/09/2019 – 15/09/2019
15.51	17.08	0.158	0.157	11/08/2018 – 12/08/2018
16.49	17.99	0.157	0.156	27/07/2019 – 28/07/2019
17.99	18.93	0.156	0.156	31/08/2019 – 01/09/2019

Fuente: Autora.

Tabla 3.11 Tabla comparativa época seca de altura de flujo y caudales entre semana Interceptor XVIII.

INTERCEPTOR XVIII				
Altura de flujo (cm)		Caudal (m³/s)		Fecha
Altura inicial	Altura máxima	Caudal inicial	Caudal máximo	
42.44	48.60	0.519	0.604	16/07/2019 – 18/07/2019
42.91	47.63	0.521	0.585	06/08/2019 – 08/08/2019
43.71	48.52	0.525	0.603	30/07/2019 – 01/08/2019
43.79	48.52	0.526	0.603	27/08/2019 – 29/08/2019
44.22	48.57	0.528	0.604	10/09/2019 – 12/09/2019

Fuente: Autora.

Tabla 3.12 Tabla comparativa época seca de altura de flujo y caudales fines de semana Interceptor XVIII.

INTERCEPTOR XVIII				
Altura de flujo (cm)		Caudal (m³/s)		Fecha
Altura inicial	Altura máxima	Caudal inicial	Caudal máximo	
42.17	45.47	0.518	0.541	22/06/2019 – 23/06/2019
42.31	48.60	0.519	0.605	31/08/2019 – 01/09/2019
42.41	45.63	0.519	0.544	10/08/2019 – 11/08/2019
42.74	48.56	0.521	0.604	27/07/2019 – 28/07/2019
46.43	48.68	0.560	0.606	07/09/2019 – 08/09/2019

Fuente: Autora.

Al momento de analizar las tablas se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- En las tablas de lluvia altura de flujo y caudal, el cálculo se lo realizó solo con los valores del 2018 y 2019, por motivo que el resto de valores no coincidían con los datos de las estaciones que miden la lluvia.
- Para el cálculo de las tablas de altura de flujo entre semana y fines de semana, se tomó datos de los años 2018 y 2019 en los que no exista lluvia en ninguna de las estaciones que afecten a los interceptores.
- En el Interceptor XII-A se presentaron problemas con el cálculo de altura de flujo en la tubería del interceptor, debido a que resultaron muchos valores negativos.
- En los valores de altura de flujo del interceptor I que resultaron mayores que el diámetro, se colocó el dato del diámetro de la tubería ya que sería incoherente registrar valores mayores a este.

3.2 Análisis de las tablas de la época de lluvia

Se presenta un análisis de las tablas 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4 en el cual se detalla el comportamiento de cada interceptor con la influencia de la lluvia. Mediante este análisis se define la capacidad hidráulica de cada interceptor en el evento con mayor precipitación acumulada, además se comprueba si los datos obtenidos tienen coherencia según la longitud de los interceptores.

INTERCEPTOR I: Los valores obtenidos tanto de altura de flujo como de caudal, son coherentes, sobre todo debido a la gran longitud de más de veinte kilómetros que tiene este Interceptor, por lo tanto, este recibe, gran parte del caudal sanitario y del caudal de aguas lluvias de la ciudad. Por este motivo se pudo comprobar que en algunas fechas la altura de flujo calculada está por encima del valor del diámetro de la tubería, lo cual representa que la tubería se encontraba trabajando a sección llena.

De los datos analizados, se puede observar que el día en que existe la mayor precipitación acumulada es el 05 de Octubre del 2018, día en que la altura de flujo,

resulta mayor que el valor del diámetro de la tubería, lo cual pudo haber generado problemas en los pozos de revisión con posibles desbordamientos e inundaciones, por lo que es necesario tener en observación constante el funcionamiento de este interceptor.

INTERCEPTOR X: Este interceptor cuenta con aproximadamente cinco kilómetros de longitud, se puede verificar que tiene un diámetro de 50 cm, aunque en el día 29 de septiembre del 2019 se registró un evento con lluvia acumulada de casi 60 mm, la altura de flujo llenó solo un poco más de la mitad de la tubería. De este análisis se puede concluir que este interceptor no representa un mayor problema para la empresa ya que el aporte de caudal que recibe, es normal y el diámetro instalado está acorde a la realidad del sector.

INTERCEPTOR XII-A: A pesar que se tuvieron varios problemas durante el cálculo de las alturas de flujo en la tubería de este interceptor, debido a que la ecuación que se utilizó no refleja la realidad del comportamiento del mismo, para este análisis se tomó como referencia dos eventos de precipitación, el del 29 de septiembre del 2019, con una lluvia acumulada de casi 60mm, la tubería estuvo llena en un 80% al final de este evento, y el evento del 29 de Noviembre del 2018 donde la tubería se llenó hasta un poco más de la mitad, lo que igual demuestra que los diámetros instalados están funcionando de manera normal es decir son acordes a la realidad de la zona.

INTERCEPTOR XVIII: Es el más corto de los interceptores estudiados porque cuenta con una longitud de aproximadamente un kilómetro, es decir que recibe menos aporte de caudal, sin embargo la tubería está llena en más de la mitad al inicio de la mayoría de los eventos de lluvia. La tubería se mantuvo llena en más del 60% al final del evento de lluvia del 05 de octubre del 2018 que de los datos analizados es el que más lluvia acumulada registra en este interceptor, es decir no tiene mayores inconvenientes en su funcionamiento.

La tabla resumen 3.13 muestra los valores promedio de altura de flujo que indican que la lluvia comenzó en el interceptor.

Tabla 3.13 Tabla resumen de valores de altura de flujo al inicio de la lluvia en cada interceptor.

Nombre	Lluvia acumulada (mm)	Altura de flujo (cm)
Interceptor I	0.9 - 3	52.73
	4.3 – 6.8	76.66
	7.4 - 20.1	102.04
Interceptor X	0.3 – 3.7	17.32
	4.5 – 11.2	17.91
	12 – 59.79	18.58
Interceptor XII-A	1.2 – 3.7	18.48
	4.8 – 12.3	19.87
	12.5 - 59.79	22.87
Interceptor XVIII	0.6 – 3.6	49.72
	4.2 – 6.6	52.76
	7.3 – 20.09	53.31

Fuente: Autora.

3.3 Análisis de las tablas de la época de sequía

Este análisis de cada interceptor permite definir los valores de altura de flujo que representan el comportamiento normal de estos y hace referencia a las tablas de época seca 3.5, 3.7, 3.9 y 3.11 en las cuales los valores que se presentan son de datos entre

semana, y las tablas de época seca 3.6, 3.8, 3.10 y 3.12, que los valores son de los datos obtenidos de las gráficas de fines de semana.

INTERCEPTOR I: Los meses en los cuales se registran periodos más largos sin lluvia son Julio, Agosto y Septiembre y se puede observar que los menores valores de altura de flujo, se dan en las horas de la madrugada y los valores más altos son aproximadamente al medio día, al ser las horas pico y de mayor demanda del uso del alcantarillado sanitario por los aportes domiciliarios. Se comprueba que el comportamiento cuando no existe lluvia en este interceptor, es parecido entre semana y en los fines de semana, pero en los meses de julio y agosto existen valores más bajos de altura de flujo y caudal, probablemente se deba a la época vacacional, donde parte de la población en muchos casos está fuera de la ciudad.

INTERCEPTOR X: En este interceptor, existen periodos sin precipitaciones en los meses de Julio, Agosto y Septiembre y se observa un comportamiento parecido entre semana y los fines de semana. Los valores más bajos tanto de altura de flujo como de caudal son en las horas de la madrugada, la respuesta a este comportamiento sería que la población está descansando y no hay mayores aportes domiciliarios.

INTERCEPTOR XII-A: Para este interceptor los periodos en los que se encontró menor cantidad de lluvia, fueron igualmente en los meses de Julio, Agosto y Septiembre. Los valores de altura de flujo son similares tanto entre semana, como los fines de semana.

INTERCEPTOR XVIII: En este interceptor se puede observar también un comportamiento parecido de la altura de flujo entre semana y los fines de semana. Los meses con periodos más largos sin lluvia en este interceptor son Julio, Agosto y Septiembre.

La tabla resumen 3.14 muestra los valores promedio de comportamiento normal entre semana y en fin de semana de los interceptores de estudio.

Tabla 3.14 Tabla resumen de rango de valores de comportamiento normal de cada interceptor entre semana y fin de semana.

Nombre	Valores entre semana		Valores fin de semana	
	Altura inicial (cm)	Altura máxima (cm)	Altura inicial (cm)	Altura máxima (cm)
Interceptor I	42.36	55.46	42.93	55.18
Interceptor X	16.70	18.10	16.52	17.88
Interceptor XII-A	15.43	17.94	15.88	17.51
Interceptor XVIII	43.41	48.37	43.21	47.38

Fuente: Autora.

CONCLUSIONES

- La recopilación de la información se la realizó mediante los datos calculados por los sensores instalados por la empresa ETAPA EP, y una vez obtenida la información se eliminó los datos incoherentes que no sirvan para el resto de cálculos del proyecto.
- En el presente trabajo se ha realizado el análisis del comportamiento de los interceptores y su relación con la lluvia, verificándose que el crecimiento de la altura de flujo depende de los eventos de precipitación. Los cálculos realizados muestran que el interceptor I trabaja a sección llena debido a que por su extensa longitud recibe grandes aportes de caudal.
- En el capítulo 1 se describe los interceptores estudiados en este proyecto, se indica su nombre, ubicación, longitud, diámetro y también se detalla el proceso de la depuración de la base de datos.
- El proceso de cálculo de alturas de flujo, caudales se muestra detallado en el capítulo 2. Además se muestran los gráficos de las alturas de flujo con los eventos de lluvia más representativos y las ilustraciones de la altura de flujo cuando no existe lluvia.
- Por último la comparación de los valores obtenidos de lluvia, altura de flujo y caudal se encuentran en el capítulo 3 en el cual se analizan las alturas de agua y caudales al inicio y final de los eventos de precipitación y también cuando no existe lluvia.
- Como conclusión general del comportamiento de los interceptores en la época lluviosa, los aportes de aguas lluvias son considerablemente superiores y en ciertas horas de máxima intensidad de lluvia están funcionando a su máxima capacidad lo cual pone a prueba su instalación, durabilidad y tipo de materiales. Los meses en los

que se registra, mayor número de precipitaciones en los cuatro interceptores de estudio son: Febrero, Marzo y Abril.

- En la época seca las tuberías reciben generalmente solo los aportes domiciliarios, por lo que se observa que el caudal aumenta un poco en las horas pico y además coincide que en los meses de Julio y Agosto las familias se encuentran vacacionando fuera de la ciudad lo que influye, para que los aportes sean aún menores. Los meses que contienen más periodos sin precipitación son Julio, Agosto y Septiembre.

RECOMENDACIONES

Luego de haber analizado los interceptores y su relación con la lluvia se puede recomendar lo siguiente:

- Realizar un control periódico de los sensores en el alcantarillado ya que existieron muchos datos faltantes debido a una posible avería de estos, lo cual dificultó el cálculo de varios parámetros de estudio.
- Realizar un mantenimiento preventivo y correctivo de los interceptores para garantizar su buen funcionamiento y de esta manera prolongar su vida útil.
- Analizar periódicamente el comportamiento de los interceptores para verificar que cuenten con la capacidad suficiente para transportar los caudales y que se eviten de esta forma las molestias en la ciudadanía por daños en el sistema de alcantarillado.
- Pensar en la posibilidad de futuras ampliaciones del interceptor I para asegurar su buen funcionamiento debido a que existe la posibilidad de que el sistema falle en esta zona por la falta de capacidad de transportación.
- Preparar un sistema de alerta, mediante un rango de valores de altura de flujo que indique el momento que existe la presencia de agua lluvia en el interceptor.

BIBLIOGRAFÍA

Armijos, E., & Martínez, G. (1995). Plan maestro de alcantarillado de la ciudad de Managua. Managua.

Bianciotto, C. (2020). El Govern Balear y la UIB colaboran para la creación de un servicio de alerta temprana de desbordamientos de torrentes. Barcelona.

Blazquez, P., & Montero, M. (2010). Reutilización de agua en Bahía Blanca Plata 3era cuenca(maestría). Buenos Aires: Universidad Tecnológica Nacional.

Carmona, A., & Zhicay, J. (2019). Deterrminación 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,Ecuador: Universidad del Azuay.

Castillo, C., & Ullagari, 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.

Curco, J. (2014). Sistema de alcantarillado.

EPMAPS. (2019). Inspecciones televisivas en colectores de Quito. Quito.

Etapa EP. (2020). Obtenido de <https://www.etapa.net.ec/Principal/Agua-potable/Operaci%C3%B3n-y-Mantenimiento/Centro-de-monitoreo-y-control>

Fernández de Córdova, J., & Rodríguez, Y. (2015). Primeros resultados de la red actual de monitoreo hidrometereológico de Cuenca, Ecuador. La Habana.

García, J. (2004). Modelo de pérdidas para determinar precipitación efectiva usando sistemas de información geográfica. Piura.

Genovez, D. (2018). Análisis de precipitaciones y elaboración de hietogramas de diseño para la ciudad de Cuenca. Cuenca: Universidad del Azuay.

Gómez, J. (2006). Diseño del sistema de alcantarillado sanitario de la comunidad de "Huaycopungo". Quito.

Grieshabe, V. (2018). Sensor radar para detección de nivel en depósitos de contención. Schiltach.

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.

Monjo, R. (2010). El índice n de la precipitación intensa. Valencia.

Mora, M. (2019). Análisis de la variación estacional del consumo residencial de agua potable de la ciudad de Cuenca. Cuenca: Universidad del Azuay.

Palaguachi, S. (2018). Diseño, desarrollo e implementación de una estación meteorológica basada en una red jerárquica de sensores, software libre y sistemas embebidos para la empresa ELECAUSTRO en la minicentral Gualaceo utilizando comunicación MQTT Y MODBUS. Cuenca.

Prieto, J., & Felipe, G. (2013). Geo-estadística de infraestructura en la ciudad de Cuenca mediante la utilización de sistemas de información geográfica. Cuenca.

Reichel, R. (2020). Análisis de las mejores Pluviómetros Digitales del 2020. Buenos Aires.

Ríos, Y. (31 de Enero de 2018). Equipo de video para monitorear los colectores sanitarios.

Sánchez Segura, A. (2009). Proyecto de sistemas de alcantarillado. Zacatenco.

Tapia, J. (2016). Estructura de la precipitación y su variabilidad espacio - temporal a lo largo de una gradiente altitudinal. Cuenca.

Téllez, L. (2004). Diseño del sistema de alcantarillado sanitario para la colonia Chinchilla y puente vehicular para la colonia Los Laureles, municipio de Jalapa, Jalapa.

Toral, F. (2014). Evaluación hidráulica del derivador de caudal tipo vertedero. Cuenca: Universidad del Azuay.

Vera, L. (2000). Análisis de aforo de la estación hidrométrica Obrajillo. Lima.

ANEXOS

Anexo 1: Anexo digital en el software Excel de gráficos de altura de flujo en el pozo de revisión Interceptor I.

Anexo 2: Anexo digital en el software Excel de gráficos de altura de flujo en el pozo de revisión Interceptor X.

Anexo 3 Anexo digital en el software Excel de gráficos de altura de flujo en el pozo de revisión Interceptor XII-A.

Anexo 4 Anexo digital en el software Excel de gráficos de altura de flujo en el pozo de revisión Interceptor XVIII.

Anexo 5: Anexo digital en el software Excel de gráficos de altura de flujo en la tubería interceptor I.

Anexo 6: Anexo digital en el software Excel de gráficos de altura de flujo en la tubería interceptor X.

Anexo 7: Anexo digital en el software Excel de gráficos de altura de flujo en la tubería interceptor XII-A.

Anexo 8: Anexo digital en el software Excel de gráficos de altura de flujo en la tubería interceptor XVIII.

Anexo 9: Anexo digital en el software Excel cálculo de caudales Interceptor I.

Anexo 10: Anexo digital en el software Excel cálculo de caudales Interceptor X.

Anexo 11: Anexo digital en el software Excel cálculo de caudales Interceptor XII-A.

Anexo 12: Anexo digital en el software Excel cálculo de caudales Interceptor XVII.I

Anexo 13: Anexo digital en el software Excel de gráficos altura de flujo vs lluvia interceptor I.

Anexo 14: Anexo digital en el software Excel de gráficos altura de flujo vs lluvia interceptor X.

Anexo 15: Anexo digital en el software Excel de gráficos altura de flujo vs lluvia interceptor XII-A.

Anexo 16: Anexo digital en el software Excel de gráficos altura de flujo vs lluvia interceptor XVIII.

Anexo 17: Anexo digital en el software Excel gráficos de comportamiento época lluviosa y seca interceptor I.

Anexo 18: Anexo digital en el software Excel gráficos de comportamiento época lluviosa y seca interceptor X.

Anexo 19: Anexo digital en el software Excel gráficos de comportamiento época lluviosa y seca interceptor XII-A.

Anexo 20: Anexo digital en el software Excel gráficos de comportamiento época lluviosa y seca interceptor XII-A.