



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL Y GERENCIA EN

CONSTRUCCIONES

**“Análisis del funcionamiento de los interceptores sanitarios II,
III, IX, XVI de la ciudad de Cuenca y su relación con la lluvia”**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERIA CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE CONSTRUCCIONES**

Autores

MICAELA GEOVANNA CORONEL GARCIA

Director

CARLOS JAVIER FERNÁNDEZ DE CÓRDOVA WEBSTER

CUENCA, ECUADOR

2020

DEDICATORIA

Este proyecto de tesis va dedicado a toda mi familia, que me han formado para saber cómo luchar y salir victoriosa, especialmente a mi abuelita que, durante todo este tiempo con todas sus enseñanzas, mensajes de aliento y su excelente manera de instruirme en este reto universitario fui igualmente concluyente.

A mis padres Fernando y Jenny que a pesar de la distancia siempre me han brindado su apoyo constante e incondicional.

A mi esposo Erick por estar siempre presente con su motivación y ayuda hasta donde sus alcances le permitían.

Y finalmente para mi principal motivación, razón de esfuerzo y dedicación de hoy y siempre, va dedicado a mis hijos Emiliano y Rafaella.

AGRADECIMIENTO

Al finalizar esta tesis quiero utilizar este espacio para agradecer a Dios por todas sus bendiciones, a mis Padres que han sabido darme su ejemplo de trabajo y honradez.

También quiero agradecer a la Universidad del Azuay por ser la sede de todo el conocimiento adquirido en estos años

Y finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento a mi tutor Ing. Javier Fernández de Córdova, principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de esta tesis.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
TABLA DE CONTENIDO	4
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE TABLAS	10
ÍNDICE DE ANEXOS	12
RESUMEN	13
ABSTRACT	13
INTRODUCCIÓN	15
JUSTIFICACIÓN	16
ESTADO DEL ARTE	17
OBJETIVOS	19
Objetivo general	19
Objetivos específicos	19
1. CAPITULO I	20
ANÁLISIS Y DEPURACION DE LA BASE DE DATOS DE LOS INTERCEPTORES	
20	
1.1 Marco teórico	20
1.1.1 Definiciones que actúan en la red de alcantarillado	20
1.2 Recopilación de datos	30
1.3 Depuración de datos erróneos	30
1.4 Descripción y ubicación de los interceptores:	32
1.5 Descripción y ubicación de las estaciones pluviométricas:	22
2. CAPITULO II	24
CÁLCULO DE ALTURAS DE FLUJO, CAUDALES Y ELABORACIÓN DE GRÁFICAS DE COMPORTAMIENTO	24

2.1	Cálculo de alturas de flujo en la tubería	24
2.2	Graficas de altura de flujo en la tubería vs tiempo.....	24
2.3	Cálculo de caudales.....	34
2.4	Elaboración de graficas de altura de flujo vs lluvia.....	37
2.5	Análisis de la época de lluvia de cada interceptor.....	37
2.5.1	Curvas de comportamiento en época lluviosa.....	37
2.6	Análisis de época seca de cada Interceptor.....	47
2.6.1	Curvas de comportamiento en época seca.....	48
3.	CAPITULO III.....	69
	ANALISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS	69
3.1	Tablas comparativas de lluvia, altura de flujo y caudales.....	69
3.2	Análisis de tabla resumen de la época de lluvia	76
3.3	Análisis de la tabla de la época de sequia.....	78
	CONCLUSIONES	80
	RECOMENDACIONES	82
	BIBLIOGRAFIA	83
	ANEXOS	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Interceptor de alcantarillado	20
Figura 1.2: Pozo de revisión y sus características.....	21
Figura 1.3: Trasmisor ultrasónico de nivel	22
Figura 1.4: Sistema de alcantarillado convencional.....	23
Figura 1.5: Estación meteorológica Tixan.	24
Figura 1.6: Estación meteorológica El Cebollar.	25
Figura 1.7: Pluviómetro estándar	25
Figura 1.8: Pluviómetro con tubo de descarga.....	26
Figura 1.9: Pluviómetro digitalizador	26
Figura 1.10: Pluviómetro totalizador	27
Figura 1.11: Pluviómetro de balancín, usado por la red de Etapa Ep.	27
Figura 1.12: Estación pluviográfica Ricaurte.....	28
Figura 1.13: Estación pluviográfica Totoracocha	28
Figura 1.14: Grafica altura de flujo en el pozo de revisión del INTERCEPTOR II.....	31
Figura 1.15: Grafica de altura de flujo en el pozo de revisión del INTERCEPTOR III.	32
Figura 1.16: Ubicación de interceptores II, III y XVI y puntos de monitoreo.....	20
Figura 1.17: Ubicación interceptor IX y puntos de monitoreo.	21
Figura 1.18: Ubicación de las estaciones meteorológicas de estudio	23
Figura 2.1: Grafica de altura de flujo en la tubería, Interceptor III.....	25
Figura 2.2: Grafica del mes de marzo de los años 2017, 2018, 2019 del INTERCEPTOR III.	26
Figura 2.3: Grafica del mes de septiembre de los años 2017, 2018, 2019 del INTERCEPTOR IX.	26
Figura 2.4: Sección de tubería cuando Y es mayor al radio.....	35
Figura 2.5: Sección de tubería cuando Y es menor al radio.....	36
Figura 2.6: Grafica altura de flujo vs lluvia, Interceptor III.....	38
Figura 2.7: Grafica altura de flujo vs lluvia, Interceptor III.....	38
Figura 2.8: Grafica de evento de lluvia día 8/3/2016, Interceptor II.....	38
Figura 2.9: Grafica de evento de lluvia día 5/11/2016, Interceptor II.....	38
Figura 2.10: Grafica de evento de lluvia día 11/1/2016, Interceptor II.....	39
Figura 2.11: Grafica de evento de lluvia día 16/6/2016, Interceptor II.....	40
Figura 2.12: Grafica de evento de lluvia día 28/2/2016, Interceptor II.....	40

Figura 2.13: Grafica de evento de lluvia día 30/1/2016, Interceptor III	40
Figura 2.14: Grafica de evento de lluvia día 5/3/2016, Interceptor III	41
Figura 2.15: Grafica de evento de lluvia día 16/12/2016, Interceptor III	41
Figura 2.16: Grafica de evento de lluvia día 11/1/2017, Interceptor II.....	42
Figura 2.17: Grafica de evento de lluvia día 6/10/2018, Interceptor III	42
Figura 2.18: Grafica de evento de lluvia día 8/3/2016, Interceptor IX	43
Figura 2.19: Grafica de evento de lluvia día 18/12/2016, Interceptor IX	43
Figura 2.20: Grafica de evento de lluvia día 21/3/2017, Interceptor IX	44
Figura 2.21: Grafica de evento de lluvia día 18/5/2017, Interceptor IX	44
Figura 2.22: Grafica de evento de lluvia día 24/3/2018, Interceptor IX	45
Figura 2.23: Grafica de evento de lluvia día 9/3/2016, Interceptor XVI	45
Figura 2.24: Grafica de evento de lluvia día 10/6/2016, Interceptor XVI	46
Figura 2.25: Grafica de evento de lluvia día 5/10/2018, Interceptor XVI	46
Figura 2.26: Grafica de evento de lluvia día 28/2/2019, Interceptor XVI	47
Figura 2.27: Grafica de evento de lluvia día 5/12/2019, Interceptor XVI	47
Figura 2.28: Curva de comportamiento en época de sequía, 5-7 de julio de 2016, interceptor II	49
Figura 2.29: Curva de comportamiento en época de sequía, 23-25 de agosto de 2016, interceptor II	49
Figura 2.30: Curva de comportamiento en época de sequía, 5-7 de junio de 2018, interceptor II	50
Figura 2.31: Curva de comportamiento en época de sequía, 18-20 de septiembre de 2018, interceptor II	50
Figura 2.32: Curva de comportamiento en época de sequía, 28-30 de agosto de 2018, interceptor II	51
Figura 2.33: Curva de comportamiento en época de sequía, 2 y 3 de julio de 2016, interceptor II	51
Figura 2.34: Curva de comportamiento en época de sequía, 27 y 28 de agosto de 2016, interceptor II	52
Figura 2.35: Curva de comportamiento en época de sequía, 23 y 24 de junio de 2018, interceptor II	52
Figura 2.36: Curva de comportamiento en época de sequía, 22 y 23 de septiembre de 2018, interceptor II	53
Figura 2.37: Curva de comportamiento en época de sequía, 4 y 5 de agosto de 2018, interceptor II	53

Figura 2.38: Curva de comportamiento en época de sequía, 20-22 de septiembre de 2016, interceptor III	54
Figura 2.39: Curva de comportamiento en época de sequía, 5-7 de julio de 2016, interceptor III	54
Figura 2.40: Curva de comportamiento en época de sequía, 11-13 de julio de 2017, interceptor III	55
Figura 2.41: Curva de comportamiento en época de sequía, 19-21 de septiembre de 2017, interceptor II	55
Figura 2.42: Curva de comportamiento en época de sequía, 16-18 de julio de 2019, interceptor II	56
Figura 2.43: Curva de comportamiento en época de sequía, 23 y 24 de julio de 2016, interceptor III	56
Figura 2.44: Curva de comportamiento en época de sequía, 2 y 3 de julio de 2016, interceptor III	57
Figura 2.45: Curva de comportamiento en época de sequía, 15 y 16 de julio de 2017, interceptor II	57
Figura 2.46: Curva de comportamiento en época de sequía, 23 y 24 de septiembre de 2017, interceptor II	58
Figura 2.47: Curva de comportamiento en época de sequía, 13 y 14 de julio de 2019, interceptor II	58
Figura 2.48: Curva de comportamiento en época de sequía, 28 - 30 de junio de 2016, interceptor IX.....	59
Figura 2.49: Curva de comportamiento en época de sequía, 23-25 de agosto de 2016, interceptor IX.....	59
Figura 2.50: Curva de comportamiento en época de sequía, 26 - 28 de julio de 2016, interceptor IX.....	60
Figura 2.51: Curva de comportamiento en época de sequía, 11-13 de julio de 2017, interceptor IX.....	60
Figura 2.52: Curva de comportamiento en época de sequía, 19-21 de septiembre de 2018, interceptor IX.....	61
Figura 2.53: Curva de comportamiento en época de sequía, 25 y 26 de junio de 2016, interceptor IX.....	61
Figura 2.54: Curva de comportamiento en época de sequía, 27 y 28 de agosto de 2016, interceptor IX.....	62
Figura 2.55: Curva de comportamiento en época de sequía, 30 y 31 de julio de 2016, interceptor IX.....	62
Figura 2.56: Curva de comportamiento en época de sequía, 15 y 16 de julio de 2017, interceptor IX.....	63

Figura 2.57: Curva de comportamiento en época de sequía, 23 y 24 de septiembre de 2018, interceptor IX.....	63
Figura 2.58: Curva de comportamiento en época de sequía, 7 - 9 de agosto de 2018, interceptor XVI.....	64
Figura 2.59: Curva de comportamiento en época de sequía, 14 - 16 de junio de 2016, interceptor XVI.....	64
Figura 2.60: Curva de comportamiento en época de sequía, 8 - 10 de agosto de 2017, interceptor XVI.....	65
Figura 2.61: Curva de comportamiento en época de sequía, 6 – 8 de junio de 2017, interceptor XVI.....	65
Figura 2.62: Curva de comportamiento en época de sequía, 4 - 6 de septiembre de 2018, interceptor XVI.....	66
Figura 2.63: Curva de comportamiento en época de sequía, 2 y 3 de julio de 2016, interceptor XVI.....	66
Figura 2.64: Curva de comportamiento en época de sequía, 3 y 4 de junio de 2017, interceptor XVI.....	67
Figura 2.65: Curva de comportamiento en época de sequía, 18 y 19 de agosto de 2018, interceptor XVI.....	67
Figura 2.66: Curva de comportamiento en época de sequía, 12 y 13 de agosto de 2017, interceptor XVI.....	68
Figura 2.67: Curva de comportamiento en época de sequía, 25 y 26 de agosto de 2018, interceptor XVI.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Descripción de los interceptores de estudio.....	19
Tabla 2.1: Ecuaciones para la determinación de las alturas de flujo en la tubería.....	24
Tabla 2.2: Coeficiente de rugosidad n para cada interceptor de estudio.....	34
Tabla 3.1: Tabla comparativa de lluvia, altura de flujo y caudal, Interceptor II.....	66
Tabla 3.2: Tabla comparativas de lluvia, altura de flujo y caudales, Interceptor III.	67
Tabla 3.3: Tabla comparativa de lluvia, altura de flujo y caudales, Interceptor IX.....	68
Tabla 3.4: .Tabla comparativa de lluvia, altura de flujo y caudales, Interceptor XVI.....	69
Tabla 3.5: Tabla comparativa época seca de altura de flujo y caudales entre semana, Interceptor II.....	70
Tabla 3.6: Tabla comparativa época seca de altura de flujo y caudales fines de semana Interceptor II.....	71
Tabla 3.7: Tabla comparativa época seca de altura de flujo y caudales entre semana, Interceptor III	72
Tabla 3.8: Tabla comparativa época seca de altura de flujo y caudales fines de semana Interceptor III.	73
Tabla 3.9: Tabla comparativa época seca de altura de flujo y caudales entre semana, Interceptor IX	74
Tabla 3.10: Tabla comparativa época seca de altura de flujo y caudales fines de semana Interceptor IX.....	75
Tabla 3.11: Tabla comparativa época seca de altura de flujo y caudales entre semana, Interceptor XVI.....	76
Tabla 3.12: Tabla comparativa época seca de altura de flujo y caudales fines de semana, Interceptor XVI.....	77
Tabla 3.13: Tabla resumen de valores de altura de flujo al inicio de la lluvia en cada interceptor.	77

Tabla 3.14: Tabla resumen de rango de valores de comportamiento normal de cada interceptor entre semana y fin de semana.79

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: anexo digital, Graficas de alturas de flujo en el pozo de revisión vs tiempo en el software Excel, GRAFICAS INTERCEPTOR II	85
Anexo 2: anexo digital, Graficas de alturas de flujo en el pozo de revisión vs tiempo en el software Excel, GRAFICAS INTERCEPTOR III	85
Anexo 3: anexo digital, Graficas de alturas de flujo en el pozo de revisión vs tiempo en el software Excel, GRAFICAS INTERCEPTOR IX	85
Anexo 4: anexo digital, Graficas de alturas de flujo en el pozo de revisión vs tiempo en el software Excel, GRAFICAS INTERCEPTOR XVI.....	85
Anexo 5: anexo digital, cálculos de caudales en el software Excel, INTERCEPTOR II	85
Anexo 6: anexo digital, cálculos de caudales en el software Excel, INTERCEPTOR III	85
Anexo 7: anexo digital, cálculos de caudales en el software Excel, INTERCEPTOR IX	85
Anexo 8: anexo digital, cálculos de caudales en el software Excel, INTERCEPTOR XVI	85
Anexo 9: anexo digital, graficas lluvia vs altura de flujo en el software Excel, INTERCEPTOR II	85
Anexo 10: anexo digital, graficas lluvia vs altura de flujo en el software Excel, INTERCEPTOR III.....	85
Anexo 11: anexo digital, graficas lluvia vs altura de flujo en el software Excel, INTERCEPTOR IX	85
Anexo 12: anexo digital, graficas lluvia vs altura de flujo en el software Excel, INTERCEPTOR XVI	85
Anexo 13: anexo digital, comportamiento de interceptores en el software Excel	85

ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS INTERCEPTORES SANITARIOS II, III, IX, XVI DE LA CIUDAD DE CUENCA Y SU RELACIÓN CON LA LLUVIA.

RESUMEN

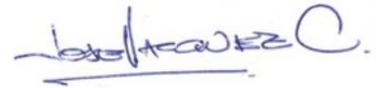
Este proyecto utilizará las alturas de flujo del agua que transportan los interceptores sanitarios II, III, IX, XVI de la ciudad de Cuenca que fueron medidos por los sensores ultrasónicos instalados por la empresa ETAPA EP, para analizar el comportamiento hidráulico de los mismos, de esta manera con la información recopilada se relacionará el caudal en épocas lluviosas y en épocas de sequía, mediante gráficas que permitan identificar el comportamiento de cada uno de los interceptores, especialmente en épocas de invierno.

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



Ing. Javier Fernández de Córdova Webster

Director del trabajo de titulación



Ing. José Vázquez Calero

Director de escuela



Micaela Geovanna Coronel García

Autora

ANALYSIS OF THE FUNCTIONING OF THE SANITARY INTERCEPTORS II, III, IX AND XVI OF THE CITY OF CUENCA AND ITS RELATION TO RAIN.

ABSTRACT

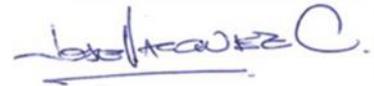
This project used the flow heights of the water transported by the sanitary interceptors II, III, IX, XVI of Cuenca, which were measured by the ultrasonic sensors installed by the company ETAPA EP to analyze their hydraulic behavior. With the information collected the flow was compared between rainy and dry seasons, through graphs that allow identifying the behavior of each one of the interceptors, especially in winter.

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



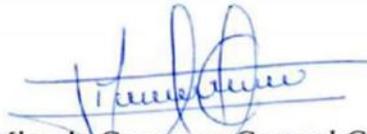
Ing. Javier Fernández de Córdova Webster

Director del trabajo de titulación



Ing. José Vázquez Calero

Director de escuela



Micaela Geovanna Coronel García

Autora



Translated by



Micaela Geovanna Coronel García

Análisis del funcionamiento de los interceptores sanitarios II, III, IX, XVI de la ciudad de Cuenca y su relación con la lluvia

INTRODUCCIÓN

La empresa ETAPA entre los años 2015 y 2016 instalaron sensores ultrasónicos de nivel en algunos interceptores de la ciudad de Cuenca para analizar el comportamiento de los mismos, con la información recolectada se ha obtenido el caudal que pasa por los interceptores y la altura de agua en tiempo real, sin embargo, no se ha analizado la relación que existe entre la lluvia y el caudal que fluye por los interceptores.

Los interceptores son componentes importantes en el funcionamiento de la red de alcantarillado ya que transportan las aguas residuales hacia la planta de tratamiento, además de alivianar el caudal que llega de los colectores, es por esta razón que es importante tener control y mantenimiento correspondiente a dicha red, de no ser así con el continuo crecimiento poblacional en la ciudad podrían llegar a sufrir daños, es por esto que en este tema de estudio se relacionará el caudal en épocas de lluvias y en épocas de sequía para identificar el comportamiento de los interceptores especialmente en épocas de invierno.

En 2019 se analizó la relación entre las alturas de flujo en el pozo y el nivel de agua en la tubería de llegada encontrando la ecuación de ajuste que permitirá al sensor instalado determinar la altura del agua y el caudal que pasa por el interceptor en tiempo real, (Carmona & Zhicay, 2019).

Mediante la base de datos depurada obtenida de la información de los sensores de los interceptores II, III, IX y XVI se tendrán las alturas de flujo y se calcularán los caudales, posteriormente se graficarán las curvas de comportamiento en la época seca y lluviosa, para comparar ambos resultados.

JUSTIFICACIÓN

La concepción del sistema de interceptores en los Planes Maestros de ETAPA EP fue en el año 1990 y se planificó su construcción en dos etapas, estando a la fecha concluida la primera. Como parte de la II Fase, se prevé a más de completar la construcción del sistema planificado, reforzar y optimizar los interceptores existentes y sus obras complementarias para atender la demanda de la población hasta el año 2030, bajo este marco, para recoger las aguas residuales provenientes de las nuevas áreas incorporadas al Proyecto, se han diseñado un total de 17 nuevos interceptores con una longitud de 67.6 Km, que conjuntamente con los 10 interceptores existentes conducirán las aguas residuales hacia los dos centros de depuración, (ETAPA EP, 2020).

En el año 2004 se planteó la ampliación de la red de interceptores existentes con un horizonte de diseño al año 2030, se realizaron varias modificaciones, un ajuste del estudio poblacional con respeto a la tasa decrecimiento de aquella época, después del año 2004 se construyeron algunos interceptores que se encontraban diseñados y se dio mantenimiento a los que lo ameritaban (Martinez Rodas, 2018).

Para el desarrollo de este proyecto analítico comparativo, es necesario la descripción de cada paso a seguir para lograr un correcto análisis del funcionamiento de los interceptores en relación con la lluvia, por lo tanto, previamente se ordenará y se validará la información de las alturas de agua en los pozos que fueron obtenidas por los sensores ultrasónicos de ETAPA EP. Después se calcularán las alturas de agua en las tuberías de los interceptores utilizando las ecuaciones determinadas por Carmona y Zhicay. Una vez obtenidas las alturas de agua en los pozos y en las tuberías se procederá a calcular los caudales, para finalmente realizar comparaciones entre las épocas secas y épocas lluviosas mediante curvas de comportamiento relacionando con la lluvia ocurrida en cada zona.

ESTADO DEL ARTE

En la actualidad existen una serie de métodos para medir caudales de aguas residuales, ya que a medida que pasa el tiempo estos caudales varían debido a diversos factores, desde el estado de flujo a la tecnología del medidor, es por esta razón que los sistemas de medición deben ser diseñados especialmente para periodos críticos de operación causadas por la presencia de precipitación donde el caudal aumenta para evitar problemas con la red de alcantarillado.

A continuación, se describirán métodos de medición de caudales que se han utilizado en diferentes partes del mundo.

En las plantas de tratamiento de Zona Federal del Lago de Texcoco que suministran al lago Nabor Carrillo se implementó una red WirelessHART que permite la comunicación de manera inalámbrica, permitiendo la medición de caudales a través de tuberías, así como de nivel en canales abiertos, cárcamos de bombeo y demás estructuras de almacenamiento fundamentales de aguas residuales, además se permite la visualización del comportamiento de las variables en un centro de monitoreo. (Cuéllar Castillo, Martínez Martínez, & Rivera Vergara, 2015)

En México, realizar el aforo de cuerpos de agua en cauces naturales no es tarea sencilla, ya que la gente encargada de esta actividad se introduce en el cuerpo de agua, poniendo en riesgo su salud e integridad física. Por esta razón, se decidió diseñar y construir el sistema de aforo (SA-1), que es un vehículo acuático teleoperado y cuya finalidad es evitar que el personal se introduzca en el cuerpo de agua para realizar el aforo de éste (Díaz et. al, 2011)

En 2004, la ciudad de South Bend situada en el río de St. Joseph en Indiana, los funcionarios de South Bend llevaron la tecnología de sensores inteligentes debajo de la ciudad al sistema de alcantarillado. Hoy en día, hay 150 pozos en South Bend que están equipados con sensores inteligentes. El sensor con un tamaño más pequeño que una botella de soda se instala en un cable azul en una tubería de PVC que se ejecuta en el agua con protectores de plástico negro en cada extremo.

La infraestructura de alcantarillado conectada a la tecnología IoT, ahora puede detectar el flujo y desviar el agua para evitar inundaciones (secureweek.com, 2017).

La Comisión de Servicios Públicos de San Francisco llevó a cabo un piloto de alcantarillado inteligente con la compañía de monitoreo remoto Ayyeka para determinar la efectividad de los sensores del IoT (Internet de las cosas). Buscan ver cómo estos y otros dispositivos podrían funcionar para el mantenimiento de aguas residuales urbanas de San Francisco, este alcantarillado inteligente puede monitorear continuamente las aguas residuales con el uso de un radar sin contacto y de la tecnología ultrasónica (Luciano, 2017).

A partir de 2010, la ciudad de Kansas ubicada en el corazón de los Estados Unidos ha gastado \$ 505 millones en la prevención de la entrada de agua de alcantarillado y aguas pluviales en el río Missouri. Hoy Kansas City tiene la red de alcantarillado inteligente más grande del mundo, que se estima que ahorrará \$ 1 mil millones en los próximos años. El sistema de alcantarillado está equipado con cerca de 300 sensores en la base de las robustas tapas de pozo a lo largo de la red de alcantarillado. La ciudad está implementando sensores que forman parte de la tecnología IoT, esta tecnología describe la red de objetos físicos (cosas) que llevan sensores integrados, software y otras tecnologías con el fin de conectar e intercambiar datos con otros dispositivos y sistemas a través de Internet para monitorear y controlar los flujos de alcantarillado y aguas pluviales. Además, la compañía de tecnología EmNetha proporcionado un sistema de soporte de decisiones en tiempo real que controla activamente el flujo de agua, lo que evita las aguas residuales combinadas del río Missouri. El sistema aumenta la capacidad de almacenamiento en los sistemas de alcantarillado mediante el uso de las puertas en línea durante las fuertes lluvias, similar a los semáforos inteligentes que funcionan durante las horas pico (secureweek.com, 2017).

OBJETIVOS

Objetivo general

- Evaluar el comportamiento de los interceptores sanitarios II, III, IX, XVI tanto en época de lluvia como en época de sequía.

Objetivos específicos

- 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 II, III, IX, XVI.
- Graficar y analizar el comportamiento de los interceptores II, III, IX, XVI en épocas secas y lluviosas.

1. CAPITULO I

ANÁLISIS Y DEPURACION DE LA BASE DE DATOS DE LOS INTERCEPTORES

1.1 Marco teórico

1.1.1 Definiciones que actúan en la red de alcantarillado

Es necesario hacer uso de las siguientes definiciones para comprender el tema de estudio.

Colector

Son tuberías encargadas de la conducción de las aguas residuales y aguas lluvia hacia los interceptores o plantas de tratamiento.

Interceptor

Tuberías de mayor diámetro a comparación de los colectores, estos se encuentran enterrados en las vías públicas o veredas, según sea el caso y su función es interceptar caudales de toda la red de alcantarillado, para ser transferidos hacia una planta de tratamiento o un emisor.

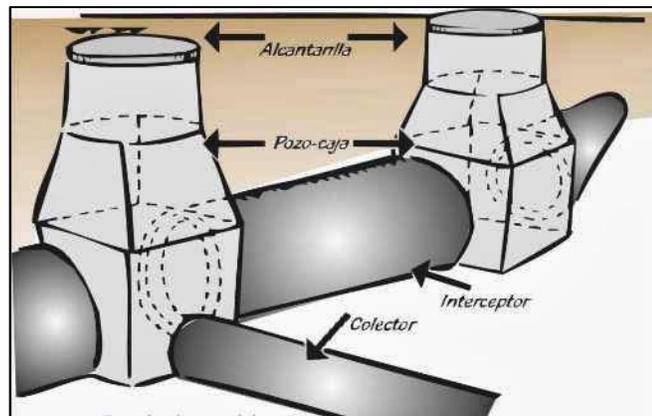


Figura 1.1: Interceptor de alcantarillado

Fuente: Miller López – Obras civiles

Pozos de revisión

Estas son cámaras verticales construidas por concreto reforzado o mampostería de piedra con espacio suficiente para el ingreso de una persona permitiendo el paso para el mantenimiento, limpieza y ventilación de la red de alcantarillado, generalmente son construidas cuando existen cambios de dirección, diámetro y pendiente.

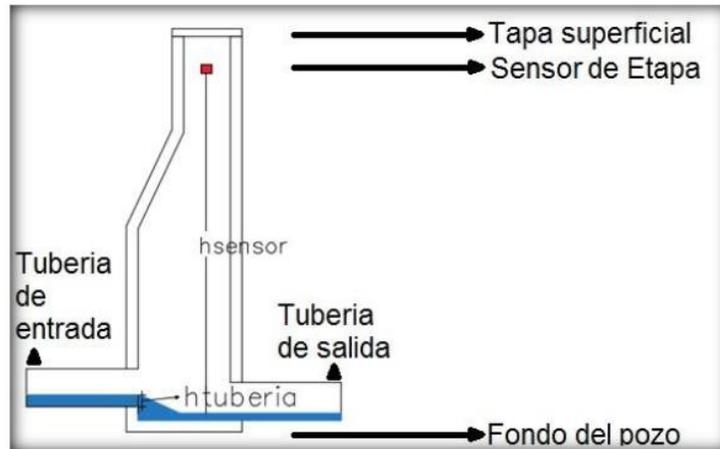


Figura 1.2: Pozo de revisión y sus características

Fuente: (Carmona & Zhicay, 2019)

Pozo derivador

Es un elemento usado en la hidráulica para dividir un caudal en dos o más direcciones, en periodos secos dirige el caudal sanitario por la tubería que conduce dicho caudal a la planta de tratamiento o disposición final y en periodos de lluvia dirige el caudal de exceso hacia un río, quebrada, etc. Debido a que se puede disponer de esta manera que el caudal procedente de las lluvias se diluirá con el caudal sanitario y no afectará al ecosistema de su destino (Ulloa, 2014).

Sensores ultrasónicos

Son detectores de proximidad que trabajan libre de roces mecánicos, el sensor emite un sonido y mide el tiempo que la señal tarda en regresar.

Para iniciar el proyecto se obtendrán los datos desde los sensores inalámbricos que proporciona la información de las alturas de flujo en el pozo de revisión.

El sensor de nivel instalado por la empresa ETAPA EP, permite medir líquidos en ambientes agresivos. La protección con la que cuentan el sensor y la electrónica garantizan su desempeño. Es importante considerar que algunos factores ópticos tales como la transparencia y el color no afectan el desempeño del sensor.

El sensor cuenta también con filtros que compensan la turbulencia del flujo a medir. Que junto con la sensibilidad ajustable del sensor permiten una excelente precisión.



Figura 1.3: Trasmisor ultrasónico de nivel

Fuente: Flo-corp

Características:

- Proporción mediciones hasta 10.67m
- Cuenta con tres salidas analógicas
- Cuenta con dos interruptores
- Rango de medición activo: 0.10m – 3.05m
- Precisión: 1.0mm +/- 1%
- Conexión de proceso: LTRP-10:3.81cm NPT, LTRP-35: 5.08cm NPT
- No se ve afectado por factores ópticos como el color y la transparencia.
- Interfaz serial RS-485 estándar
- Roscado en ambos extremos
- Compensación de temperatura para mayor precisión
- Sensibilidad ajustable
- Banda muerta de 0.10m a 0.30m
- Soporta temperaturas desde -40 a 158°F (-40 A 70°C)
- Rango de medición activo LTRP-10: 0.64cm- 3.05m LTRP-35: 0.30m - 10.67m
- Humedad 0 a 100% en funcionamiento.
- Potencia de entrada de 10-30 VCC, 50 mA máximo (no incluye corrientes de salida)
- Salida de voltaje 0-10, 0-5 VDC o PC personalizada; 10mA máx.

- Protección NEMA 4X, NEMA 6P, IP68

Tipos de sistemas de alcantarillado

Se clasifican según el tipo de agua que conducen y son:

- **Alcantarillado sanitario:** son tuberías que conducen exclusivamente las aguas residuales, domesticas e industriales.
- **Alcantarillado pluvial:** sistema de evacuación de la escorrentía superficial producida por la precipitación.
- **Alcantarillado combinado:** sistema que capta y conduce simultáneamente las aguas residuales, domesticas e industriales, y las aguas de lluvia, pero que dada su disposición dificulta su tratamiento posterior y causa serios problemas de contaminación al verterse a cauces naturales.



Figura 1.4: Sistema de alcantarillado convencional

Fuente: Miller López – Obras civiles

Aguas residuales: son aguas que resultan de la combinación de residuos sólidos, y al ser usadas por el hombre, representan un peligro, porque contienen una gran cantidad de sustancias y microorganismos, que deben ser desechadas y transportadas a una planta de tratamiento para su depuración (Gomez Gavilanes, 2006).

Dentro del concepto antes mencionado, incluyen aguas con diferentes orígenes y son:

- **Aguas residuales domesticas (aguas servidas):** son aguas de origen residencial (procedentes de las heces y orina del hombre, aseo personal, cocina) que llegan de establecimientos públicos, comerciales o edificación, y son recolectadas por sus diferentes sistemas de alcantarillado.
- **Aguas residuales industriales:** aguas generadas de los procesos industriales, su composición depende de la actividad productiva.
- **Aguas ilícitas:** consideradas aquellas contribuciones de aguas en el alcantarillado sanitario de carácter ilegal a través de conexiones clandestinas.
- **Aguas de infiltración:** aguas que ingresan a todo tipo de redes de alcantarillado, generalmente se da por aguas subterráneas, por el tipo de material de los componentes de alcantarillado, que incrementan la carga hidráulica.
- **Aguas de precipitación:** provenientes del agua lluvia.

Estación meteorológica

Lugar donde se realizan mediciones y observaciones de los diferentes parámetros meteorológico utilizando los instrumentos adecuados para establecer el comportamiento atmosférico.



Figura 1.5: Estación meteorológica Tixan.

Fuente: (Mora, 2019).



Figura 1.6: Estación meteorológica El Cebollar.

Fuente: (Mora, 2019)

Estación pluviométrica

Es el lugar destinado a la obtención de datos de precipitación mediante un pluviómetro, el cual da la cantidad precipitada, anotando los datos siguiendo el horario del día pluviométrico.

Tipos de pluviómetros

Pluviómetro estándar: consta de un cilindro de 50cm de alto con un embudo de 20cm de diámetro, sirve para medir la cantidad de lluvia que cae en un lugar y en un espacio de tiempo determinado, el agua recogida por él se mide en litros o milímetros por metro cuadrado.

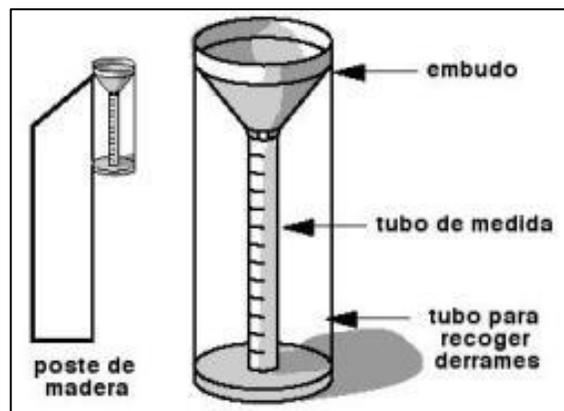


Figura 1.7: Pluviómetro estándar

Fuente: German Portillo

Pluviómetro con tubo de descarga: Es un dispositivo que permite determinar cuánta lluvia cayó durante ciertos períodos sin que ningún factor externo (controladores) esté en los lugares en el momento de la recolecta. Es decir, permite coleccionar agua por largos períodos.



Figura 1.8: Pluviómetro con tubo de descarga

Fuente: Celex

Pluviómetros digitalizadores: permiten medir la precipitación total de una lluvia, así como también su intensidad. Los datos que se recolectan se muestran en una pantalla y se mandan mediante dispositivos computarizados externos.



Figura 1.9: Pluviómetro digitalizador

Fuente: Maiker Castro

Pluviómetro Totalizador: posee un sistema que emplea cualquier contabilizador, permite recoger y sobre todo almacenar (la cual es su principal función) el líquido de una precipitación durante largo tiempo.



Figura 1.10: Pluviómetro totalizador

Fuente: Maiker Castro

Pluviómetro de balancín: mide de forma precisa la cantidad de lluvia caída mediante un balancín de vaciado automático. Dispone de un interruptor que se abre cada vez que el peso del agua acumulada hace bascular el balancín, lo que produce un pulso que puede ser registrado mediante un contador de pulsos.



Figura 1.11: Pluviómetro de balancín, usado por la red de Etapa Ep.

Fuente: (Tapia, 2016)

Estación pluviográfica

Lugar donde se realiza un registro de las precipitaciones de forma continua y mecánica, permitiendo conocer la cantidad, intensidad, duración y periodo de la lluvia.



Figura 1.12: Estación pluviográfica Ricaurte.

Fuente: (Muñoz, 2018)



Figura 1.13: Estación pluviográfica Totoracocha

Fuente: (Muñoz, 2018)

Tipos de precipitaciones

Los tipos de precipitaciones se dan en función de la forma y el tamaño de las gotas de agua que precipitan cuando se dan las condiciones adecuadas y de las condiciones ambientales en las que se forma la nube y del tipo de nube que se forma.

- **Según la forma y el tamaño de las gotas de agua que precipitan a la atmósfera:**

Lluvia: La lluvia es un fenómeno atmosférico de tipo hidrometeorológico que se inicia con la condensación del vapor de agua que forma gotas de agua, las cuales pasan a formar las nubes.

Llovizna: La llovizna son pequeñas precipitaciones cuyas gotitas de agua son muy pequeñas y caen de una forma uniforme. Normalmente, estas gotitas no llegan a mojar demasiado el suelo y dependen de otros factores como es la velocidad del viento y la humedad relativa.

Chubascos: Los chubascos son gotas con mayor tamaño que suelen caer de una forma violenta y durante un corto periodo de tiempo.

Granizo y copos de nieve: Las precipitaciones también se pueden dar en forma sólida. Para ello, en las nubes se deben de formar cristales de hielo en lo más alto de la nube y a temperaturas muy bajas que rondan los -40°C . Estos cristales pueden crecer a expensas de gotitas de agua a muy baja temperatura que se congelan sobre ellos (siendo el inicio de la formación del granizo) o bien uniéndose a otros cristales para formar los copos de nieve.

Rocío: El rocío o sereno es un fenómeno físico-meteorológico en el que la humedad del aire se condensa en forma de gotas por la disminución brusca de la temperatura, o el contacto con superficies frías.

- **Según las condiciones ambientales en las que se forma la nube y del tipo de nube que se forma:**

La precipitación frontal: es aquella en la que las nubes van asociadas a los frentes, tanto de cálidos como de fríos. El cruce entre un frente cálido y otro frío forma nubes que dan precipitaciones de tipo frontal. Un frente frío se forma cuando una masa de aire frío empuja y desplaza hacia arriba a una masa más cálida. En su ascenso, ésta se enfría y da

origen a la formación de nubosidad. En el caso de un frente cálido, una masa de aire cálido se desliza sobre otra más fría que ella.

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).

1.2 Recopilación de datos

Para la recopilación de datos se utilizó la información que fue proporcionada por la empresa Etapa Ep, para la recepción de valores de alturas de flujo en el pozo de revisión se colocó sensores ultrasónicos, mientras que para la recopilación de datos de precipitación fue receptada por la empresa ETAPA EP mediante las estaciones meteorológicas medidos por los equipos correspondientes.

Para el análisis de comportamiento en época seca y época lluviosa de los interceptores de estudio se utilizó la información correspondiente a los años 2016 hasta el 2019, durante las 24 horas cada 5 minutos.

1.3 Depuración de datos erróneos

Para la depuración de datos erróneos de las alturas de flujo en el pozo de revisión, primero se exporto a Excel toda la información clasificada por hora día y fecha de medición, después se organizó por años desde el 2016 al 2019, ya que al ser exportados se encontraban en desorden, luego de esto, se procedió a graficar por meses de enero a diciembre las alturas de flujo vs tiempo, donde algunas gráficas tenían datos de altura

de flujo negativas o alturas de flujo demasiado grandes, debido a que algunos interceptores trabajan a sección llena, por lo tanto, se revisó minuciosamente para eliminar datos erróneos que en el avance del presente tema de estudio iban afectar los cálculos y análisis.

A continuación, en las figuras 1.14 y 1.15 se mostrará un ejemplo de gráfico de altura de flujo en el pozo de revisión, estas sirvieron para la depuración de datos erróneos.

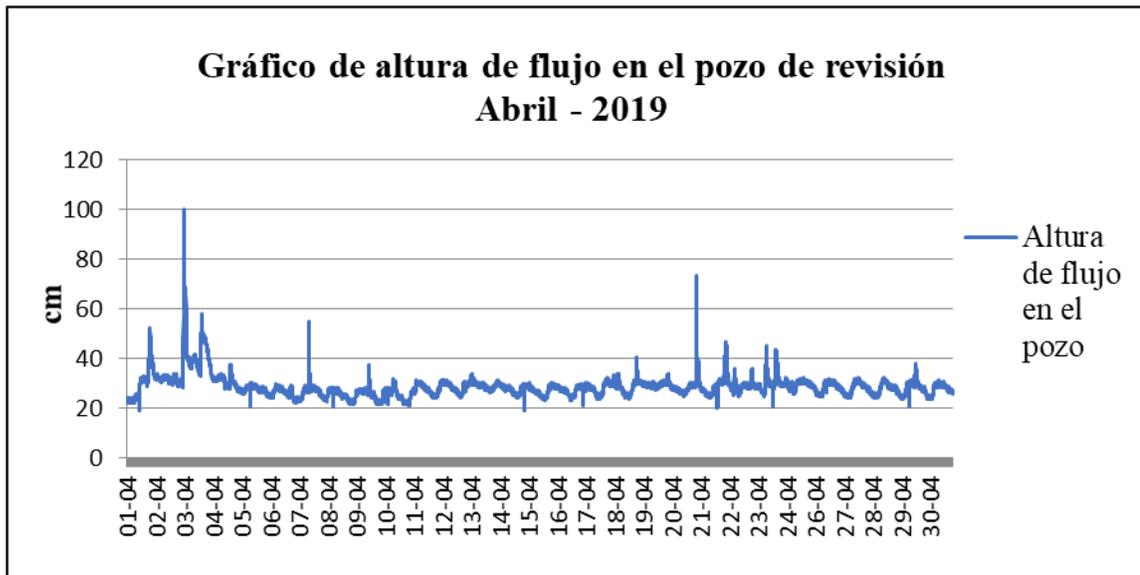


Figura 1.14: Gráfica altura de flujo en el pozo de revisión del INTERCEPTOR III

Fuente: Autora

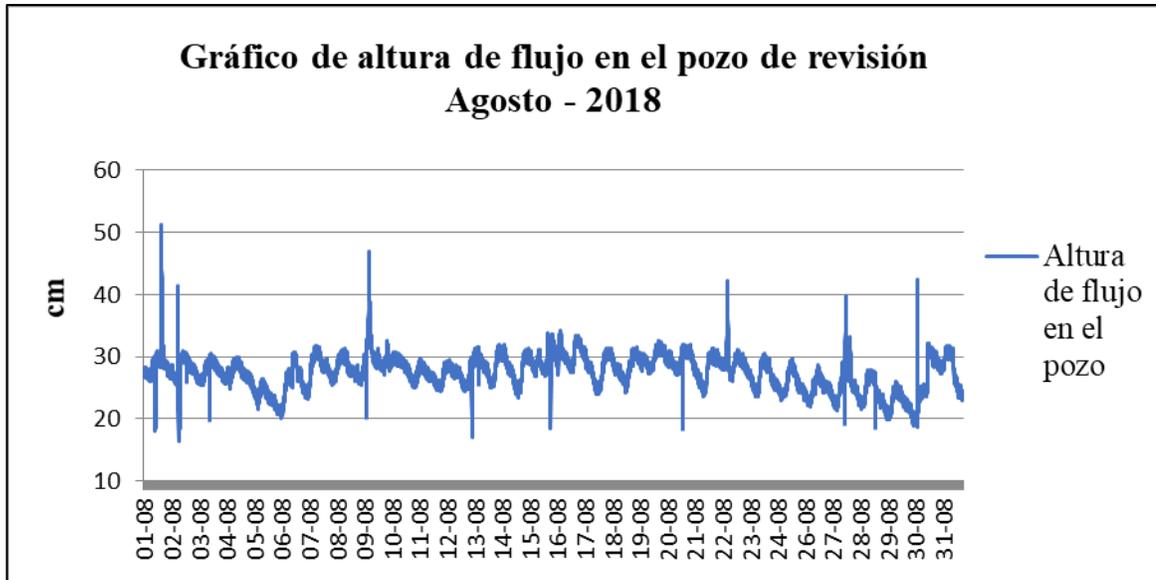


Figura 1.15: Gráfica de altura de flujo en el pozo de revisión del INTERCEPTOR III

Fuente: Autora

Las gráficas de alturas de flujo en el pozo vs tiempo de los interceptores II, III, IX, XVI de todos los meses y años se encuentra en el anexo 1 al 4.

1.4 Descripción y ubicación de los interceptores

Los interceptores son componentes importantes en el funcionamiento de la red de alcantarillado ya que transportan las aguas residuales hacia la planta de tratamiento Ucubamba, es por esta razón que es importante tener control y mantenimiento correspondiente a dicha red, de no ser así con el continuo crecimiento poblacional en la ciudad podrían llegar a sufrir daños, en la actualidad se cuentan con 21 interceptores de los cuales los interceptores II, III, IX, XVI serán analizados para el presente proyecto.

En la tabla 1 se encuentra de descripción de cada interceptor y en las figuras 1.15 y 1.16 se puede observar su ubicación.

Tabla 1.1: Descripción de los interceptores de estudio.

NOMBRE	RÍOS/QUEBRADAS	MARGEN	INICIA	TERMINA	LONGITUD(m)	DIÁMETRO(m)
Interceptor II	Tomebamba	Derecho	Puente de entrada a San Joaquín	A la altura del sector conicido como El Paraíso, al unirse al inteceptor I	7654.75	0.50
Interceptor III	Yanuncay	Izquierdo	Calle Felipe II y Primer de Mayo, a la altura del punte Felipe II	En el sector del parque El Paraiso, al unirse al inteceptor II	3490.19	0.85
Interceptor IX	Milchichig	Izquierdo y Derecho	Y de camino a Racar y Av. De los Cerezos	En el inteceptor I, en la desembocadura en el río Cuenca	9987.09	0.65
Interceptor XVI	Tarqui	Derecho	Calle Francisco de Orellana, altura de La Vía Gozo. A la altura de la fábrica DACA en una captación abandonada	A la altura del parque El Paraíso en el inteceptor XVIII	6323.57	0,65

Fuente: (Martinez Rodas, 2018)



Figura 1.16: Ubicación de interceptores II, III y XVI y puntos de monitoreo.

Fuente: Autora



Figura 1.17: Ubicación interceptor IX y puntos de monitoreo.

Fuente: Autora

1.5 Descripción y ubicación de las estaciones pluviométricas

La empresa ETAPA EP suministró datos de entrada de las precipitaciones que ocurren sobre cuencas definidas en el área de estudio, a través de los pluviómetros de balancín de las estaciones: Totoracocha, Tixán, El Cebollar y Matadero en Sayausí, éstas registran datos diarios, horarios y cada 5 minutos con su respectiva fecha y hora, permitiéndolo realizar graficas de comportamiento lluvia vs altura de flujo en la tubería.

Las estaciones de Matadero en Sayausí y la del Cebollar, aportan datos de la lluvia que llega hacia los Interceptores I, II y XVI, mientras que la estación de Tixán y Totoracocha aportan datos de lluvia al interceptor IX.

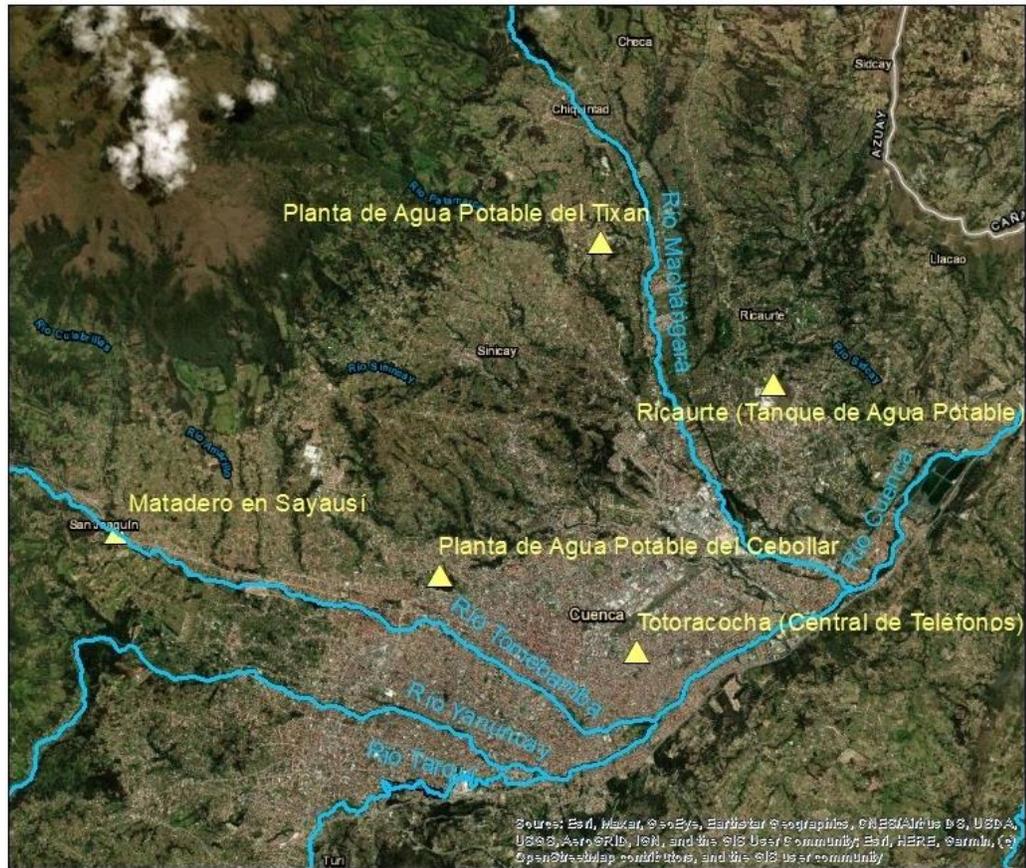
En la figura 2.8 se muestra la ubicación de las estaciones pluviométricas instaladas por la empresa ETAPA EP, que se ha utilizado para la recolección de información de lluvia para su respectivo interceptor y la tabla.

Tabla 1.2: Tipo de estaciones con su respectivo interceptor de estudio

Nombre	Tipo	Interceptor
Matadero en Sayausí	Pluviométrica + Limnimétrica	I, II, XVI
Planta de Agua Potable del Cebollar	Meteorológica	I, II, XVI
Planta de Agua de Tixan	Meteorológica	IX
Totoracocha (Central de Teléfonos)	Pluviográfica	IX

Fuente: Autora

UBICACION DE ESTACIONES PLUVIOMETRICAS



LEYENDA

-  Rios Principales_CRP_WGS84
-  ESTACIONES_PLUVIOMETRICAS_CUENCA

Figura 1.18: Ubicación de las estaciones meteorológicas de estudio

Fuente: Autora

2. CAPITULO II

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

2.1 Cálculo de alturas de flujo en la tubería

Una vez corregidas las gráficas de alturas de flujo en el pozo de revisión de todos los interceptores de estudio, se procedió a calcular las alturas de flujo en la tubería, para esto se utilizaron las siguientes ecuaciones, donde x es el nivel medido en el pozo de revisión (Carmona & Zhicay, 2019).

Tabla 2.1: Ecuaciones para la determinación de las alturas de flujo en la tubería.

INTERCEPTOR	ECUACION
II	$y = 0.8061x + 4.3207$
III	$y = 0.9407x - 13.912$
IX	$y = 0.0241x + 10.414$
XVI	$y = 0.1278x + 7.2622$

Fuente: Autora

2.2 Gráficas de altura de flujo en la tubería vs tiempo

Las ecuaciones antes mencionadas fueron necesarias para realizar las gráficas de comportamiento de altura de flujo en la tubería vs tiempo mensuales de todos los interceptores de estudio, como se indica en la figura 2.1.

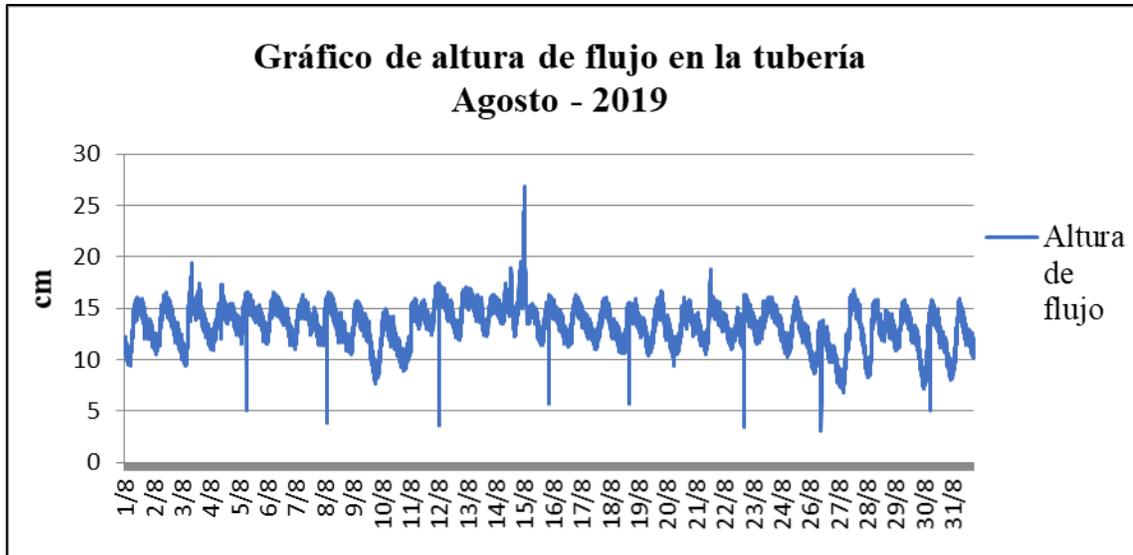


Figura 2.1: Gráfica de altura de flujo en la tubería, Interceptor III

Fuente: Autora

En el anexo 1 al 4 se encuentran todas las gráficas de alturas de flujo en la tubería de los interceptores II, III, IX, XVI.

Para un mejor análisis del comportamiento de los interceptores II, III, IX, XVI, se realizó una gráfica comparativa de los años 2017, 2018 y 2019 utilizando la información de alturas de flujo de cada mes insertados en la misma gráfica como se muestra en la figura 2.3 y 2.4, para proceder a visualizar con más detalle la variación del comportamiento de las alturas de flujo cada año.

Para el año 2016 se tenían datos faltantes en todos los interceptores por esa razón no fue tomado en cuenta para realizar la gráfica comparativa, ya que no resultaría congruente.

Como se puede observar en la figura 2.2 y 2.3 las alturas de flujo en los 3 años comparten el mismo comportamiento, donde existen picos relativamente altos, indicando que hubo lluvia considerable.

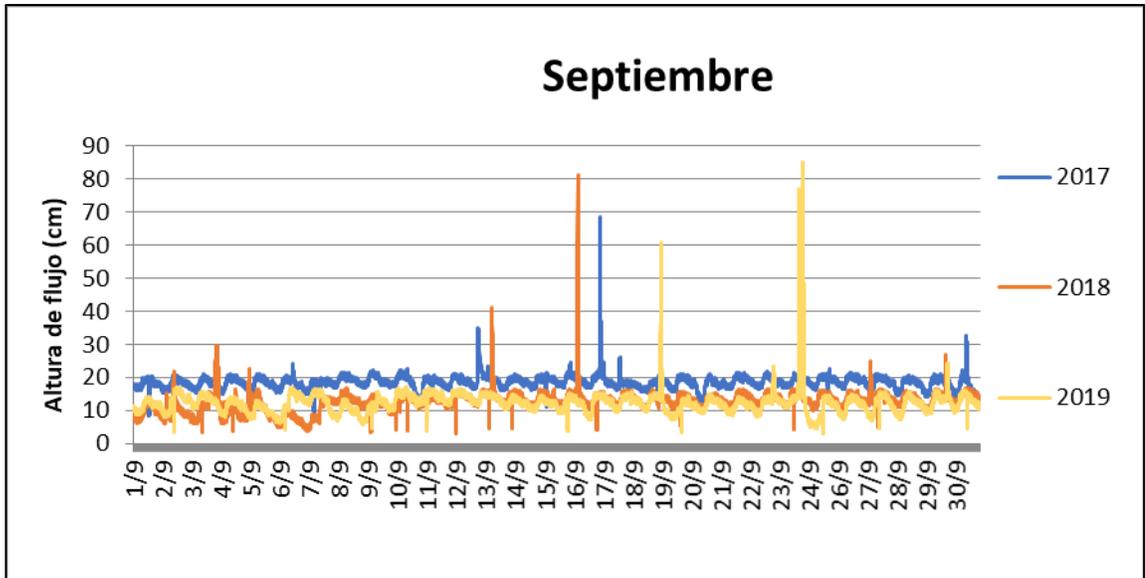


Figura 2.2: Gráfica del mes de marzo de los años 2017, 2018, 2019 del INTERCEPTOR III.

Fuente: Autora

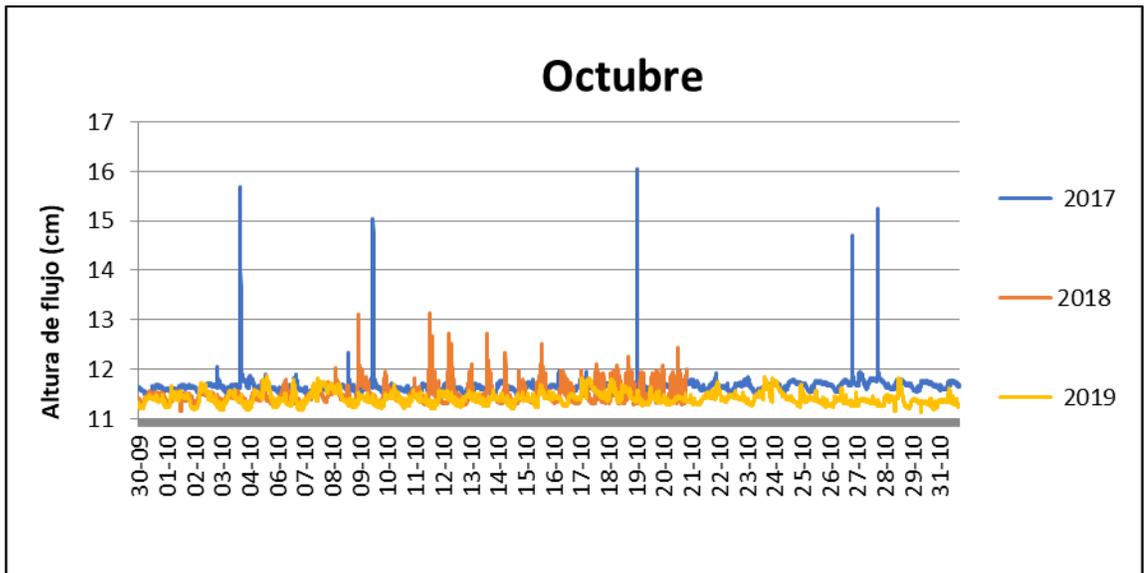


Figura 2.3: Gráfica del mes de septiembre de los años 2017, 2018, 2019 del INTERCEPTOR IX.

Fuente: Autora

2.3 Cálculo de caudales

Para calcular el caudal que fluye por las tuberías de los interceptores es necesario haber determinado con anterioridad las alturas de flujo, además de la información de las características de las tuberías como pendientes, coeficientes de rugosidad y diámetro de las tuberías de cada interceptor.

El caudal se determinó con la siguiente fórmula de Manning:

$$Q = \frac{A^{5/3} * S^{1/2}}{n * Pm^{2/3}} \quad (\text{Ecu 2.1})$$

Donde:

Q = Caudal de la sección en m^3/s

A = Área de la sección del fluido en m^2

S = Pendiente longitudinal del fluido m/m

n = Coeficiente de rugosidad del material por el cual viaja el fluido

Pm = Perímetro mojado de la sección de caudal en m

Las pendientes a utilizarse fueron obtenidas de (Carmona y Zhicay, 2019)

Tabla 2.2: Coeficiente de rugosidad n para cada interceptor de estudio.

INTERCEPTOR	COEFICIENTE DE RUGOSIDAD
II	0.014
III	0.014
IX	0.014
XVI	0.009

Fuente: Autora

Debido a las alturas de flujo variantes se originaron dos casos de estudio para calcular el caudal en las tuberías que consta de lo siguiente:

Caso 1: Cuando la altura de agua (Y) en la tubería es mayor a la longitud del radio.

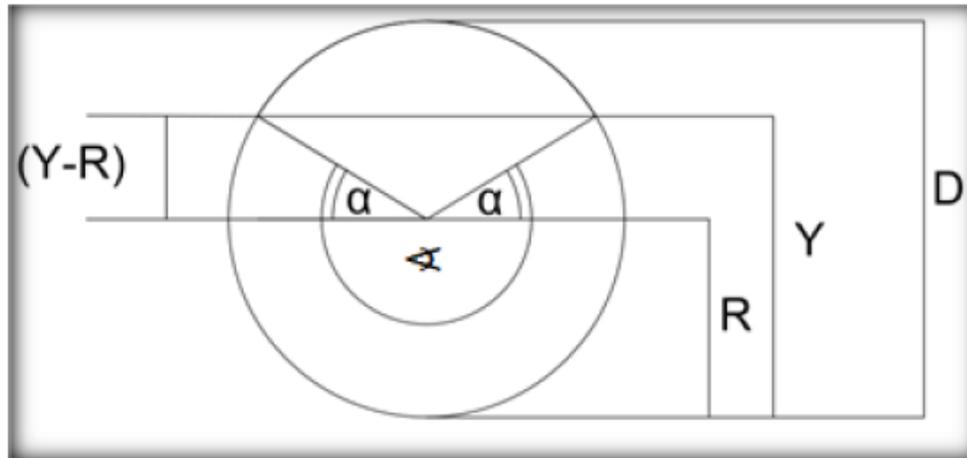


Figura 2.4: Sección de tubería cuando Y es mayor al radio.

Fuente: (Carmona & Zhicay, 2019)

Cuando el fluido se encuentra por encima del centro de la tubería de sección circular se calcula de la siguiente manera:

$$Alfa (\alpha) = \arcseno \frac{Y-R}{R} \quad (\text{rad}) \quad (\text{Ecu 2.2})$$

$$Angulo (\phi) = \pi + 2 * \alpha \quad (\text{rad}) \quad (\text{Ecu 2.3})$$

$$Radio = \frac{D}{2} \quad (\text{m}) \quad (\text{Ecu 2.4})$$

$$Area \text{ fluido} = \sqrt{R^2 - (Y - R)^2} * (Y - R) + \frac{\phi \text{ rad}}{2} * \frac{D^2}{4} \quad (\text{m}^2) \quad (\text{Ecu 2.5})$$

$$Pm \text{ (perímetro mojado)} = R * \phi \quad (\text{m}) \quad (\text{Ecu 2.6})$$

Caso 2: cuando la altura de agua (Y) en la tubería es menor a la longitud del radio.

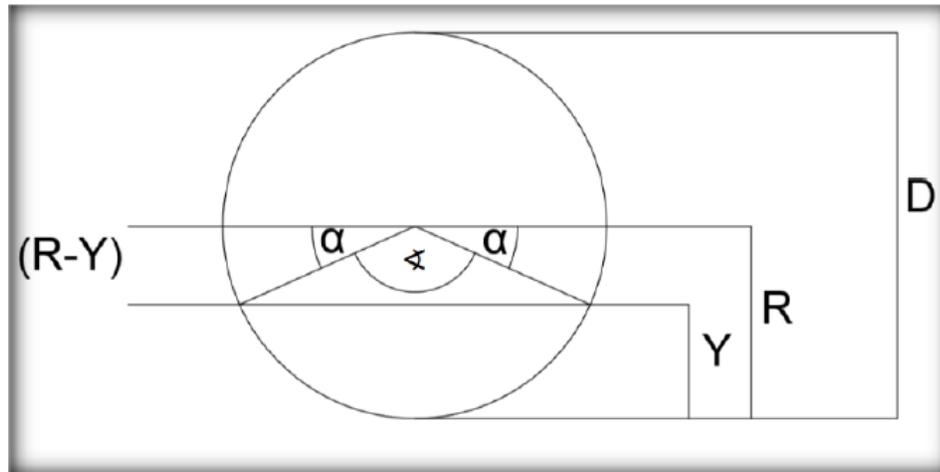


Figura 2.5: Sección de tubería cuando Y es menor al radio.

Fuente: (Carmona & Zhicay, 2019)

Cuando el fluido se encuentra por debajo del centro de la tubería de sección circular se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Alfa } (\alpha) = \arcseno \frac{Y-R}{R} \quad (\text{rad}) \quad (\text{Ecu 2.7})$$

$$\text{Angulo } (\varphi) = \pi - 2 * \alpha \quad (\text{rad}) \quad (\text{Ecu 2.8})$$

$$\text{Radio} = \frac{D}{2} \quad (\text{m}) \quad (\text{Ecu 2.9})$$

$$\text{Area fluido} = \frac{\varphi \text{rad}}{2} * \frac{D^2}{4} - \sqrt{R^2 - (R - Y)^2} * (R - Y) \quad (\text{m}^2) \quad (\text{Ecu 2.10})$$

$$\text{Pm (perímetro mojado)} = R * \varphi \quad (\text{m}) \quad (\text{Ecu 2.11})$$

Para el cálculo del ángulo del sector circular (φ) y el área del fluido se utilizó la función SI en el software Excel, de esta manera elegirá entre uno de los dos casos según corresponda, verificando en cada uno de los valores de altura de flujo determinando si es mayor o menor que el radio.

Las ecuaciones 2.1 a la 2.11 fueron utilizadas en una tabla de Excel para el cálculo de caudal en las tuberías, cada interceptor cuenta con sus respectivos datos dependiendo de sus características y material, dichas tablas se encuentran en el anexo 5 al 8.

2.4 Elaboración de gráficas de altura de flujo vs lluvia

Para la determinación del comportamiento de los interceptores tanto en época de lluvia como en época seca, se realizaron graficas de altura de flujo vs lluvia de cada mes con su respectivo año de estudio, con la finalidad de visualizar los periodos donde existe mayor o menor precipitación, para la posterior elaboración de gráficas de eventos de lluvia y curvas de comportamiento en época seca.

Cabe recalcar que existían graficas visiblemente dispares por la ausencia de información, provocando que los datos de altura de flujo no concuerden con los datos de lluvia, además se eligió datos de lluvia de la estación pluviográfica donde la lluvia era más significativa para un mejor análisis.

En la figura 2.6 se puede verificar el comportamiento homogéneo tanto de la altura de flujo como la lluvia, observándose que los picos de ambos datos coinciden, demostrando que debido a la aparición de lluvia la altura de flujo crece visiblemente y al contrario cuando no existe precipitación la gráfica se comporta uniforme hasta cuando exista lluvia como se muestra en la figura 2.7 donde la lluvia es casi todo el mes.

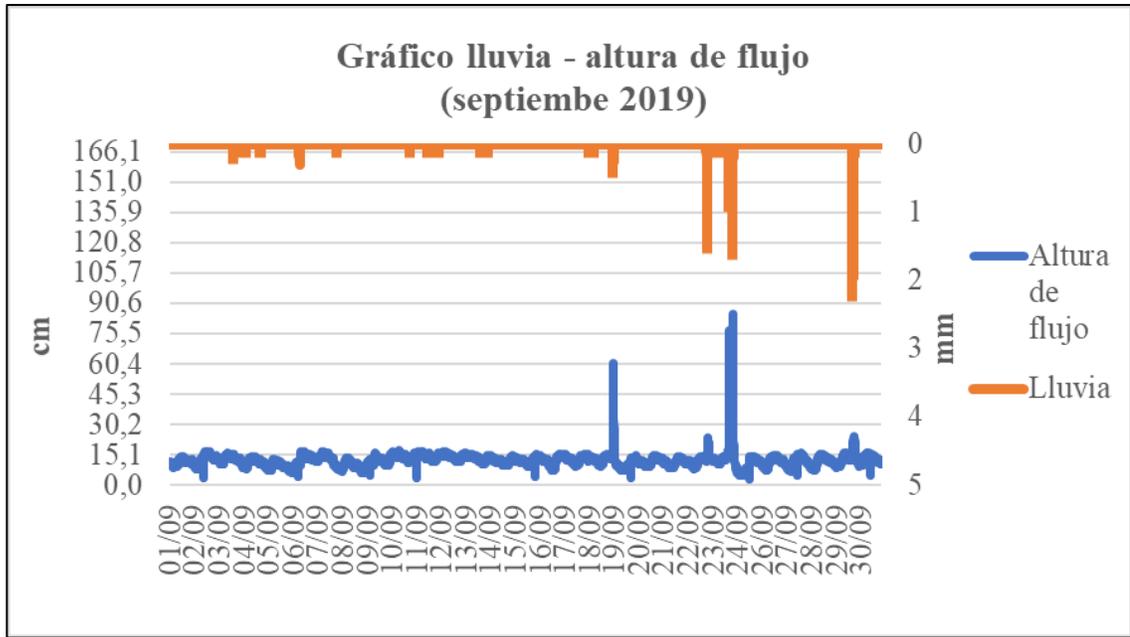


Figura 2.6: Gráfica altura de flujo vs lluvia, Interceptor III

Fuente: Autora

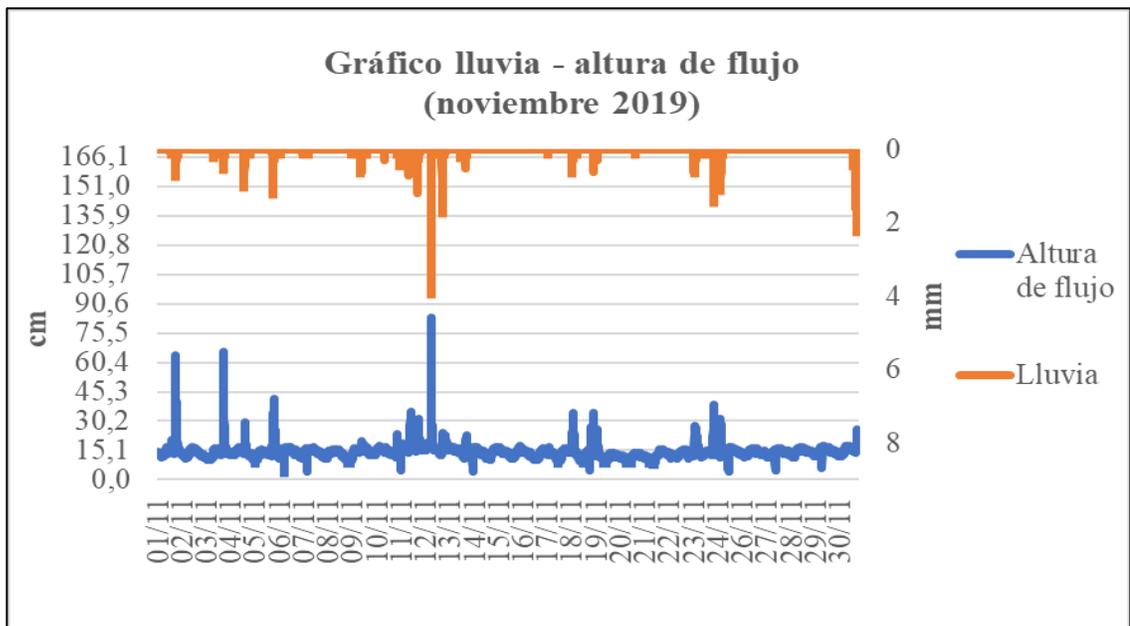


Figura 2.7: Gráfica altura de flujo vs lluvia, Interceptor III

Fuente: Autora

En el anexo 9 al 12 se encontrarán todas las gráficas de altura de flujo vs lluvia de cada interceptor

2.5 Análisis de la época de lluvia de cada interceptor

Con la eliminación de datos erróneos, tabulación de información, cálculo de alturas de flujo en la tubería, cálculos de caudales y realización de gráficas de comportamiento finalmente se podrá interpretar el análisis comparativo de los interceptores II, III, IX, XVI para ello se escogieron únicamente 15 días de los 4 años de análisis, verificando que en esos días exista lluvia.

Para el análisis del comportamiento en época lluviosa se analizó previamente todas las gráficas mensuales de altura de flujo vs lluvia de los interceptores II, III, IX, XVI, para escoger días al azar en donde exista lluvia, concluyente a esto se graficaron 15 eventos de lluvia de cada interceptor con valores altos, medios y bajos que fueron escogidos entre los años 2016, 2017, 2018 y 2019.

Estos eventos de lluvia nos proporcionaron una tabla resumen de cada interceptor con datos como: altura de flujo acumulada, altura de flujo inicial/final y caudal inicial/final de cada evento de la precipitación.

2.5.1 Curvas de comportamiento en época lluviosa

A continuación, se muestran los 5 eventos de lluvia más representativos de los 15 realizados de cada interceptor (figura 2.8 a la 2.27), para identificar el comportamiento en época de lluvia, estas curvas fueron graficadas mediante un análisis previo mes a mes entre los años 2016 al 2019 y de esta manera concluir con un análisis comparativo entre todos los interceptores de estudio.

En dichas gráficas se puede observar que la altura de flujo en la tubería incrementa a medida que la precipitación aumenta y viceversa, mostrando picos donde evidentemente son producidos por la existencia de precipitación.

Evento 3



Figura 2.10: Gráfica de evento de lluvia día 11/1/2016, Interceptor II

Fuente: Autora

Evento 4



Figura 2.11: Gráfica de evento de lluvia día 16/6/2016, Interceptor II

Fuente: Autora

Evento 2



Figura 2.14: Gráfica de evento de lluvia día 5/3/2016, Interceptor III

Fuente: Autora

Evento 3

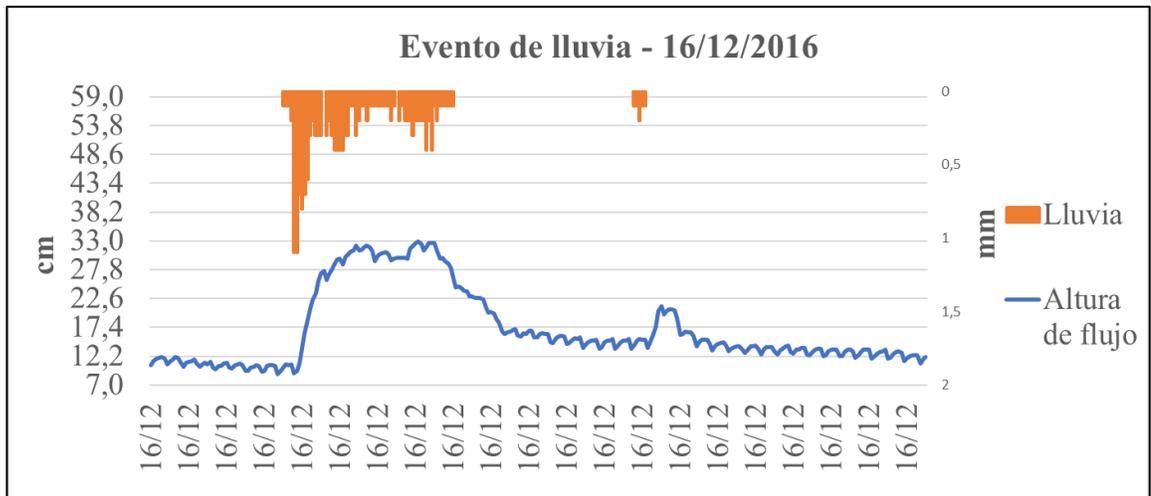


Figura 2.15: Gráfica de evento de lluvia día 16/12/2016, Interceptor III

Fuente: Autora

Evento 4



Figura 2.16: Gráfica de evento de lluvia día 11/1/2017, Interceptor II

Fuente: Autora

Evento 5

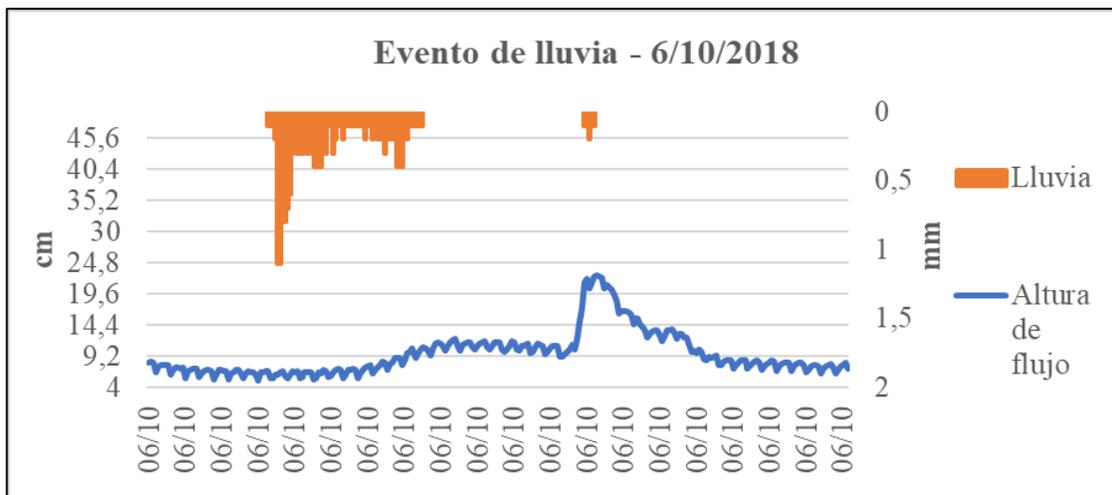


Figura 2.17: Gráfica de evento de lluvia día 6/10/2018, Interceptor III

Fuente: Autora

INTERCEPTOR IX

Evento 1

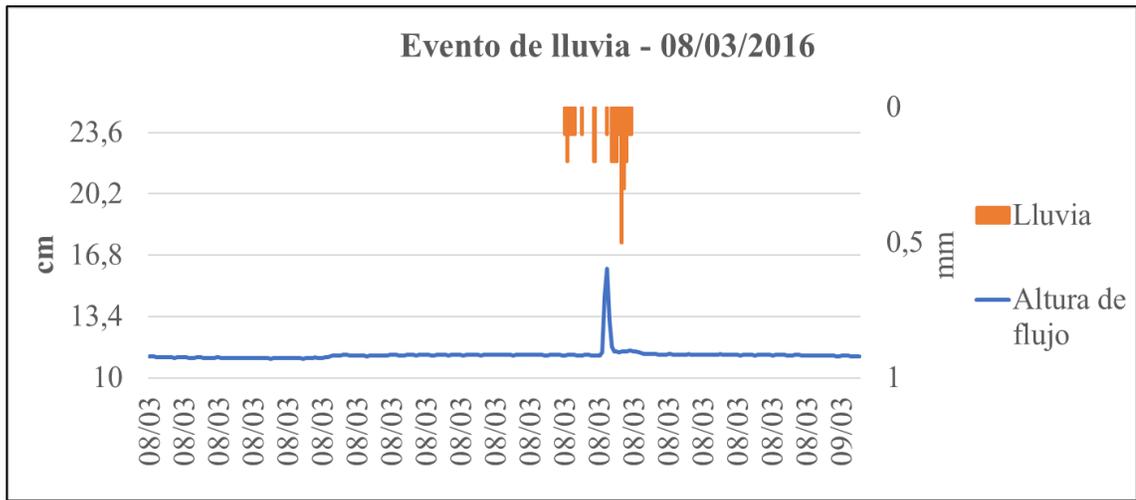


Figura 2.18: Gráfica de evento de lluvia día 8/3/2016, Interceptor IX

Fuente: Autora

Evento 2

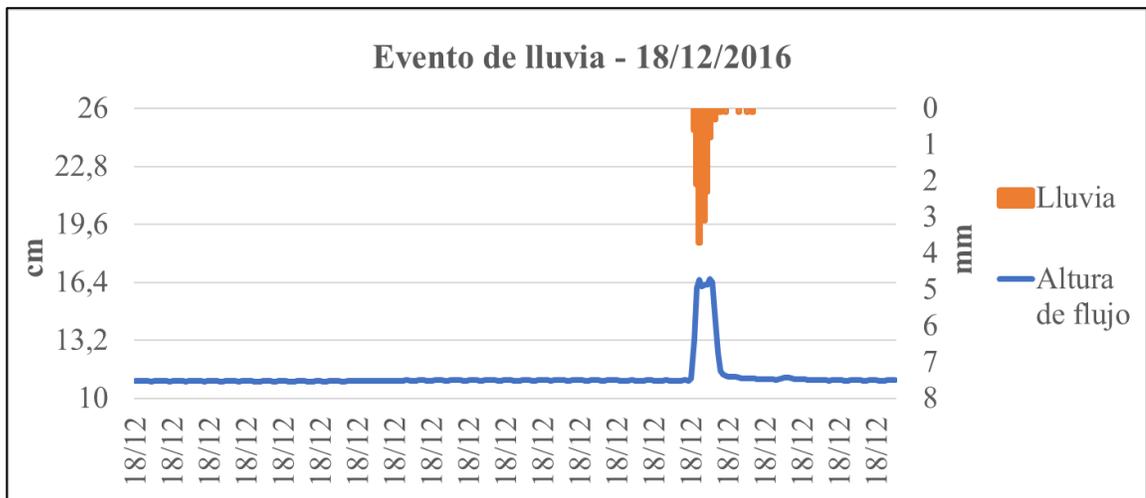


Figura 2.19: Gráfica de evento de lluvia día 18/12/2016, Interceptor IX

Fuente: Autora

Evento 3



Figura 2.20: Gráfica de evento de lluvia día 21/3/2017, Interceptor IX

Fuente: Autora

Evento 4

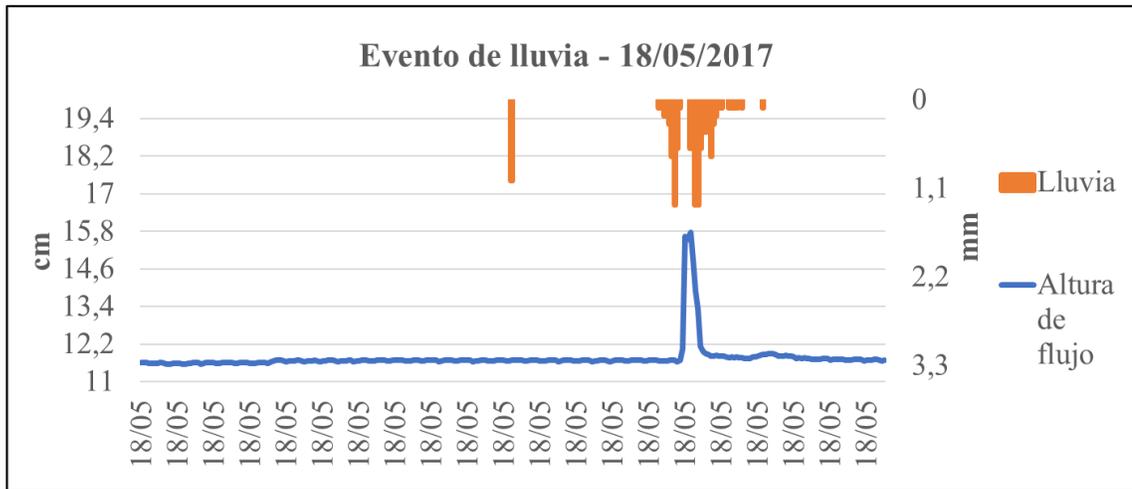


Figura 2.21: Gráfica de evento de lluvia día 18/5/2017, Interceptor IX

Fuente: Autora

Evento 2

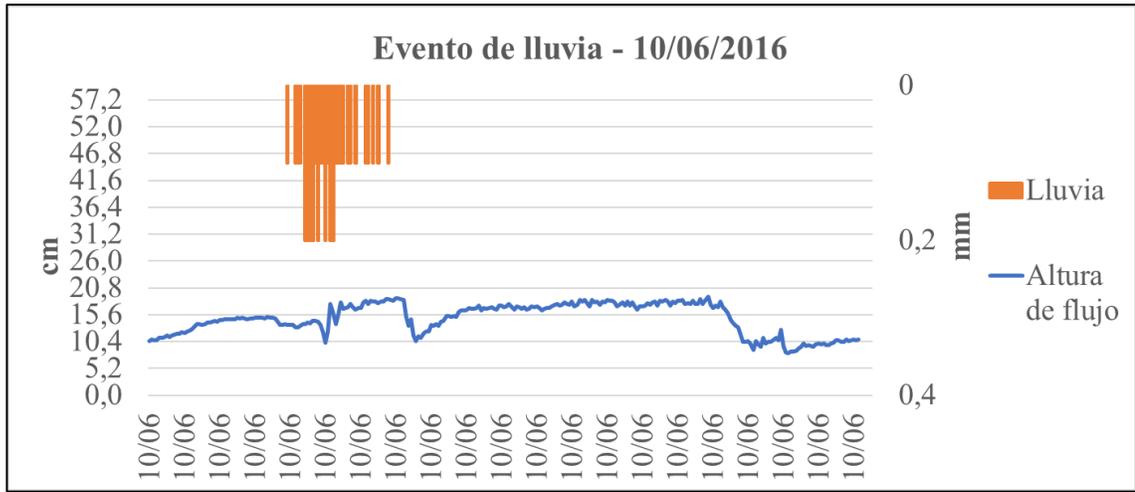


Figura 2.24: Gráfica de evento de lluvia día 10/6/2016, Interceptor XVI

Fuente: Autora

Evento 3

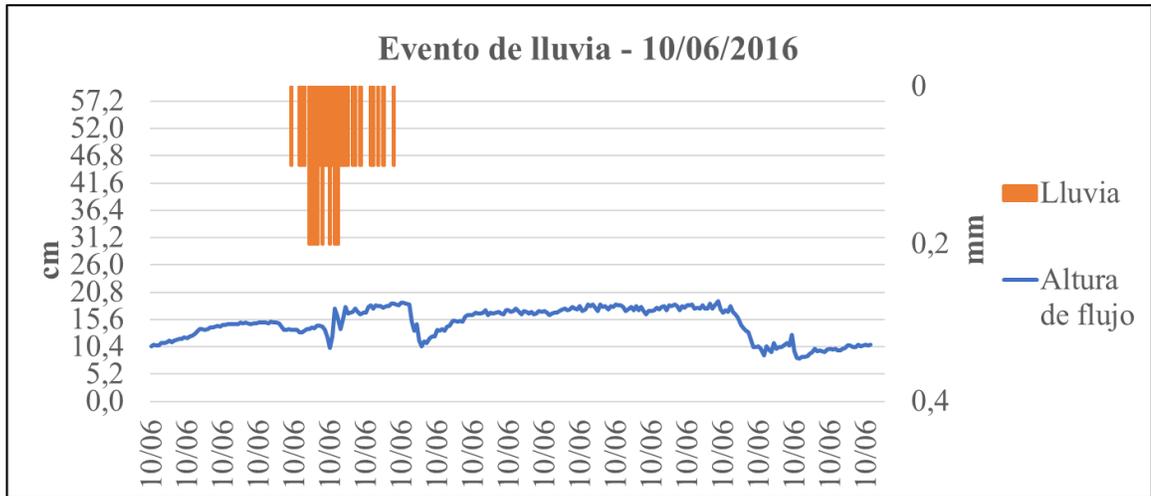


Figura 2.25: Gráfica de evento de lluvia día 5/10/2018, Interceptor XVI

Fuente: Autora

lluvia, para esto se utilizaron las gráficas de altura de flujo vs tiempo para lograr ubicar los periodos donde no existe lluvia y proceder a graficarlos.

Para el comportamiento en época de sequía se realizaron gráficas evaluadas en dos periodos el primero fue entre semana empezando desde el día martes a las 00:00 hasta las 23:55 del día jueves y el segundo período los fines de semana empezando desde las 00:00 del día sábado hasta las 23:00 del día domingo, en su mayoría los dos periodos fueron elegidos de la misma semana para una mejor observación del comportamiento de los interceptores de alcantarillado.

Estas gráficas permitieron identificar la disminución e incremento del caudal, mediante la visualización de los picos más altos o más bajos.

Al analizar las curvas de comportamiento en época seca se identificó el comportamiento normal, creando una conclusión para cada interceptor mediante una tabla resumen que indica la altura de flujo al inicio de la gráfica con la altura de flujo más alta y de la misma manera con el caudal para identificar cual es la variación de datos.

2.6.1 Curvas de comportamiento en época seca

A continuación, en las gráficas 2.28 a la 2.67 se muestran las curvas de comportamiento en época seca de cada interceptor, en las cuales se identificó periodos de tiempo en que los interceptores se comportan de manera normal, para lograr determinar los periodos de sequía entre los años 2016 al 2019 de cada interceptor de estudio, dando como resultado que los meses de Junio, Julio, Agosto y Septiembre son los que menos precipitación ha existido.

INTERCEPTOR II

Gráficos entre semana:

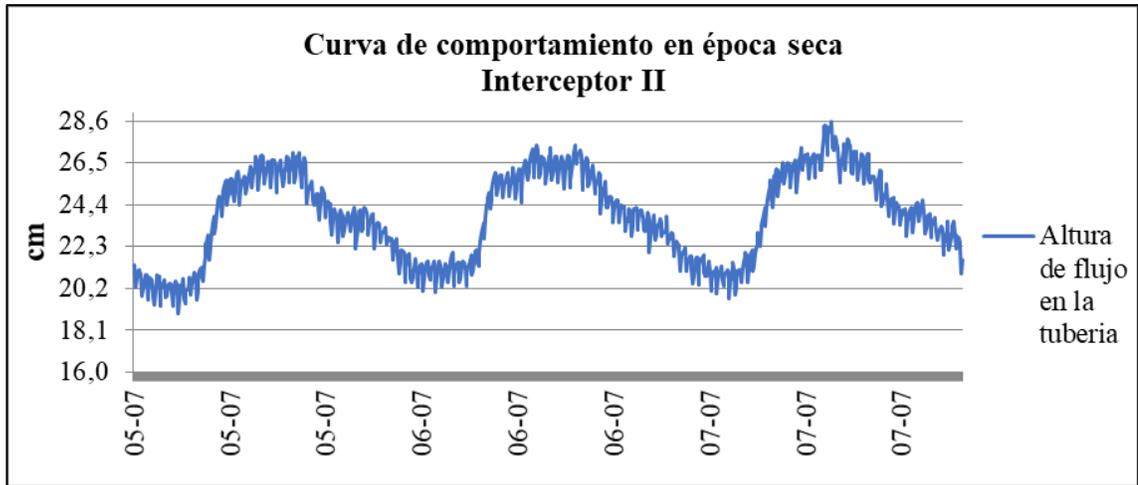


Figura 2.28: Curva de comportamiento en época de sequía, 5-7 de julio de 2016, interceptor II

Fuente: Autora



Figura 2.29: Curva de comportamiento en época de sequía, 23-25 de agosto de 2016, interceptor II

Fuente: Autora



Figura 2.30: Curva de comportamiento en época de sequía, 5-7 de junio de 2018, interceptor II

Fuente: Autora



Figura 2.31: Curva de comportamiento en época de sequía, 18-20 de septiembre de 2018, interceptor II

Fuente: Autora

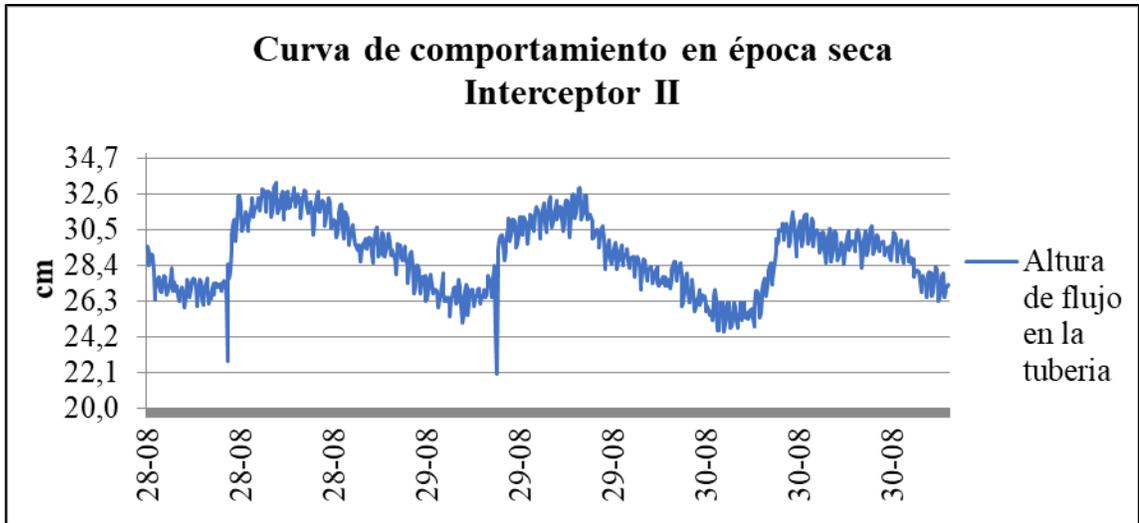


Figura 2.32: Curva de comportamiento en época de sequía, 28-30 de agosto de 2018, interceptor II

Fuente: Autora

Gráficos de fines de semana:

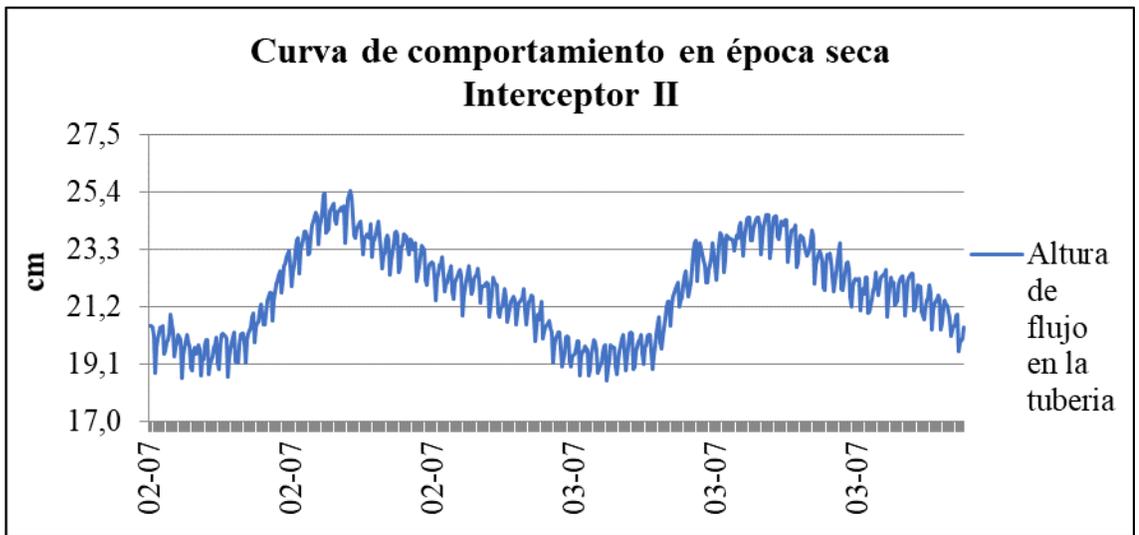


Figura 2.33: Curva de comportamiento en época de sequía, 2 y 3 de julio de 2016, interceptor II

Fuente: Autora

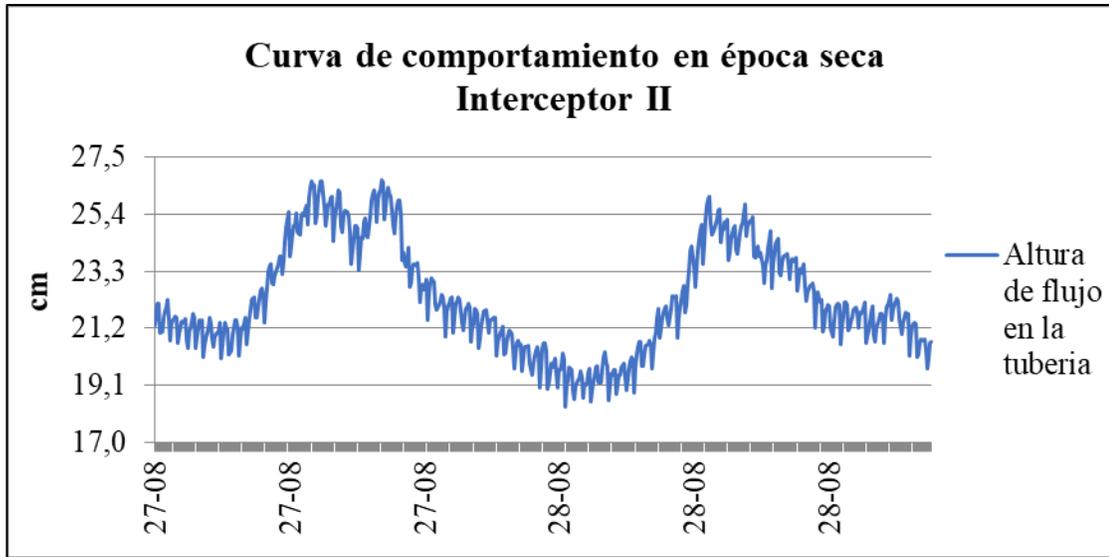


Figura 2.34: Curva de comportamiento en época de sequía, 27 y 28 de agosto de 2016, interceptor II

Fuente: Autora

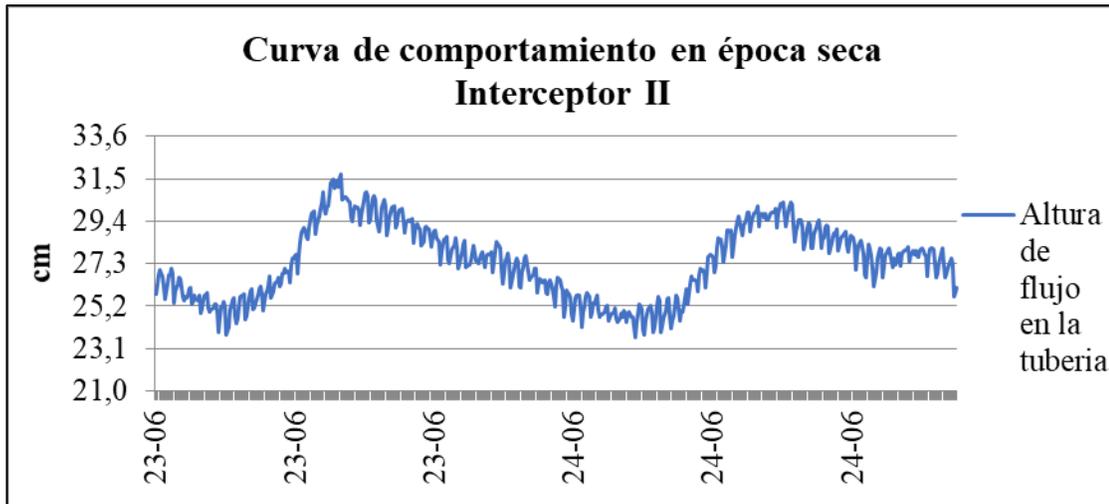


Figura 2.35: Curva de comportamiento en época de sequía, 23 y 24 de junio de 2018, interceptor II

Fuente: Autora

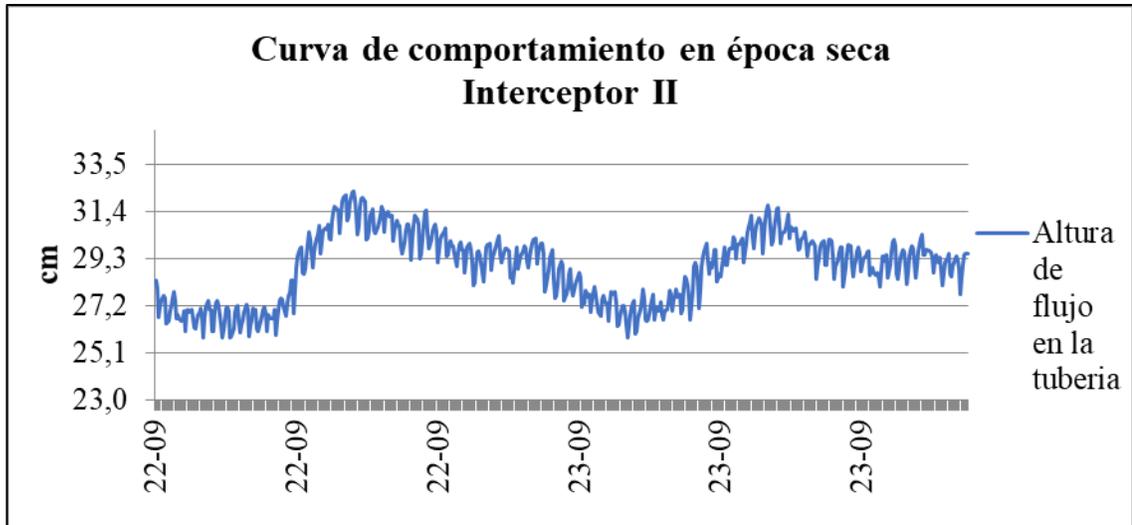


Figura 2.36: Curva de comportamiento en época de sequía, 22 y 23 de septiembre de 2018, interceptor II

Fuente: Autora

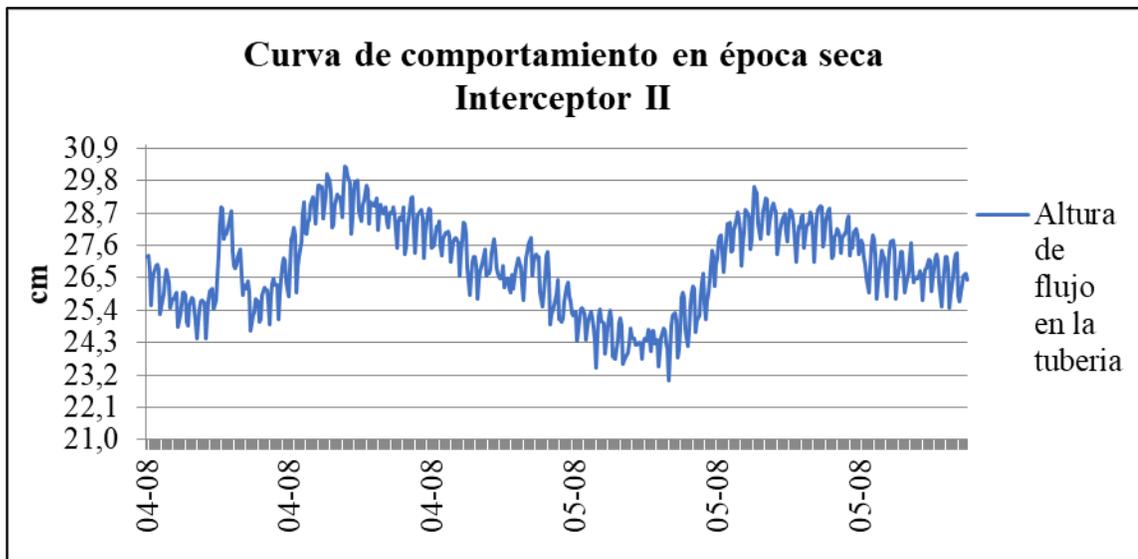


Figura 2.37: Curva de comportamiento en época de sequía, 4 y 5 de agosto de 2018, interceptor II

Fuente: Autora

INTERCEPTOR III

Gráficos entre semana:

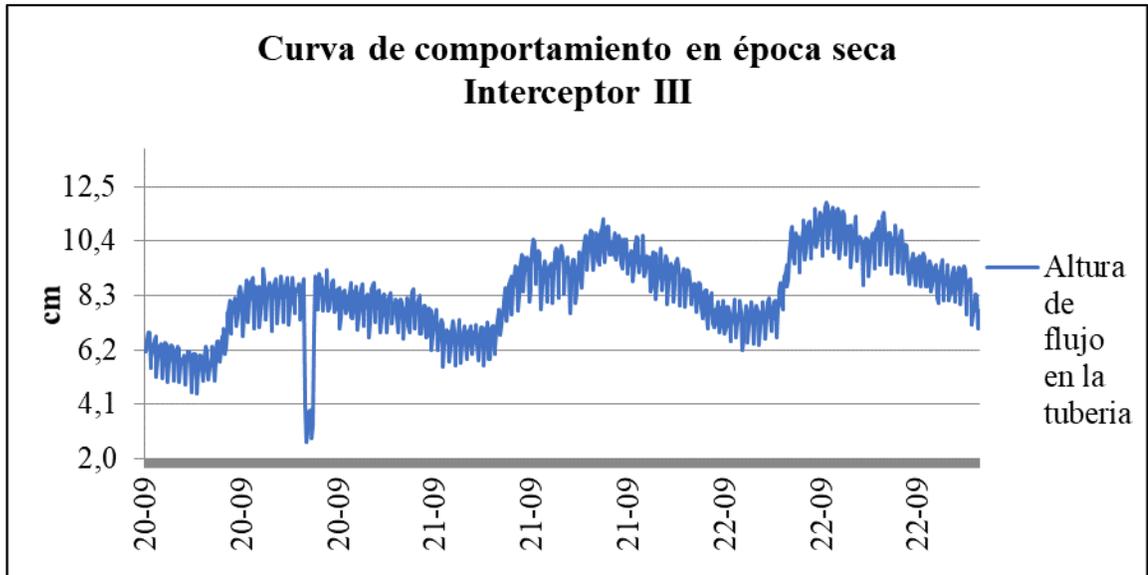


Figura 2.38: Curva de comportamiento en época de sequía, 20-22 de septiembre de 2016, interceptor III

Fuente: Autora

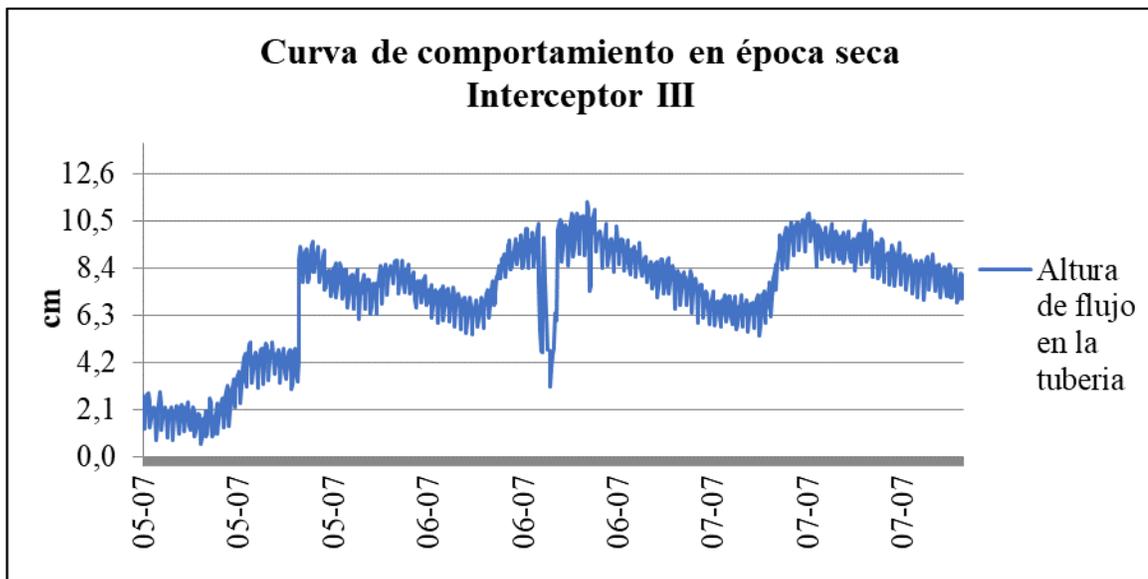


Figura 2.39: Curva de comportamiento en época de sequía, 5-7 de julio de 2016, interceptor III

Fuente: Autora

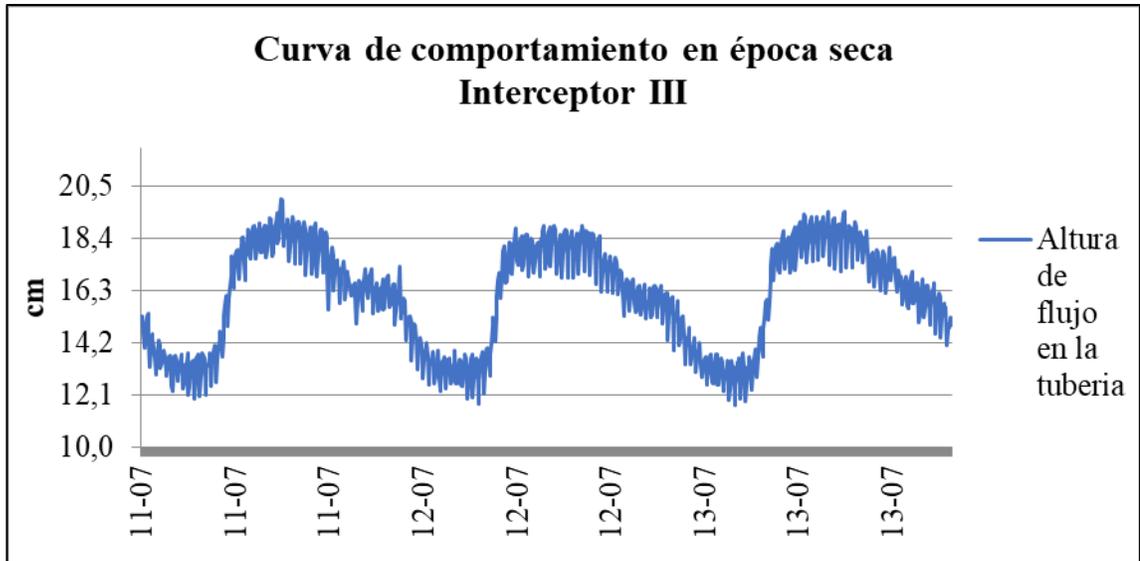


Figura 2.40: Curva de comportamiento en época de sequía, 11-13 de julio de 2017, interceptor III

Fuente: Autora

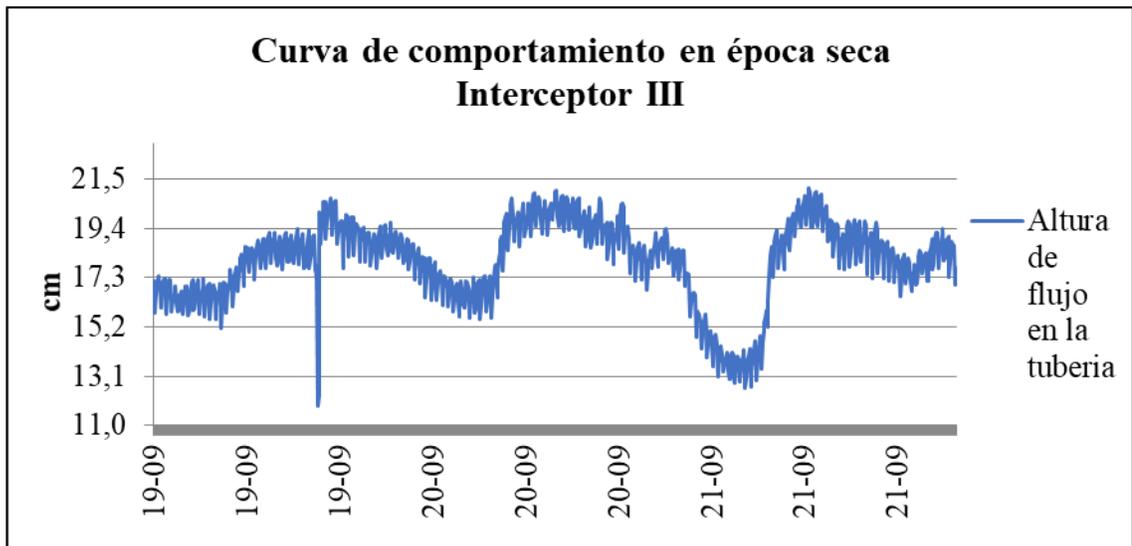


Figura 2.41: Curva de comportamiento en época de sequía, 19-21 de septiembre de 2017, interceptor II

Fuente: Autora

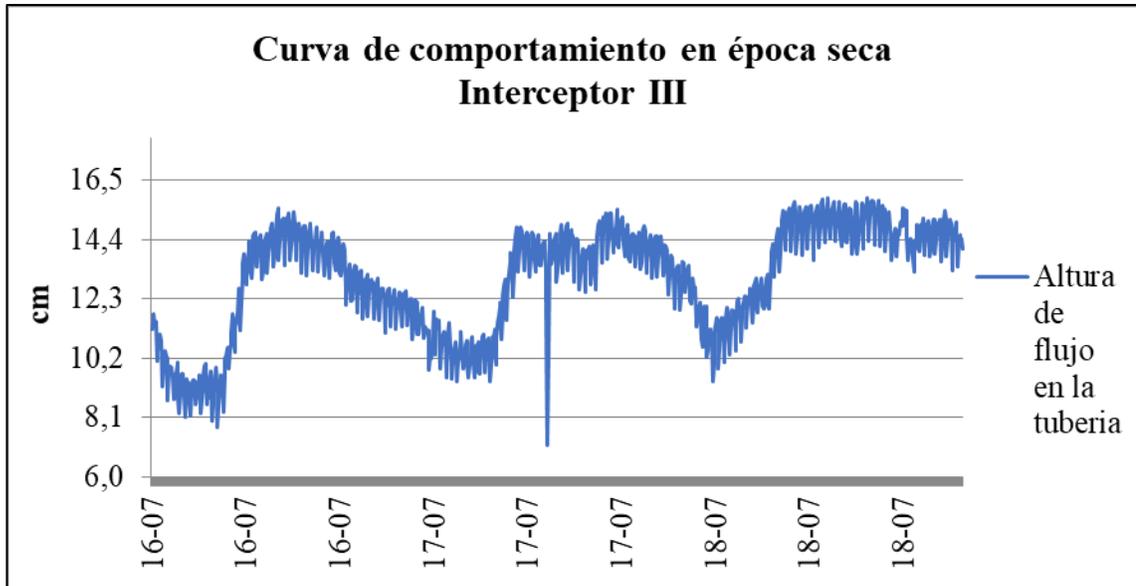


Figura 2.42: Curva de comportamiento en época de sequía, 16-18 de julio de 2019, interceptor II

Fuente: Autora

Gráficos de fines de semana:

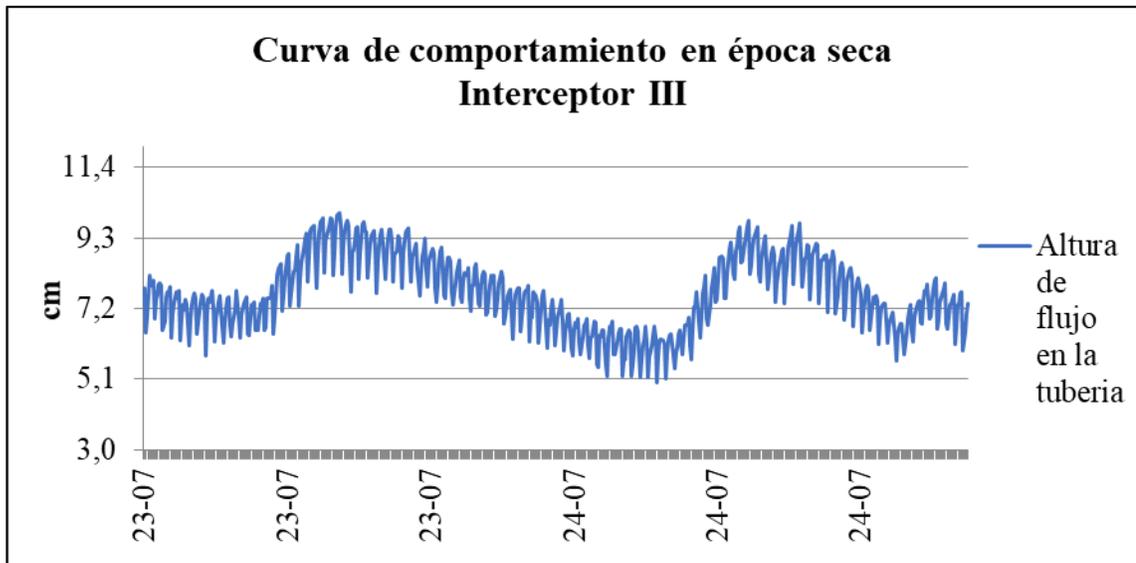


Figura 2.43: Curva de comportamiento en época de sequía, 23 y 24 de julio de 2016, interceptor III

Fuente: Autora

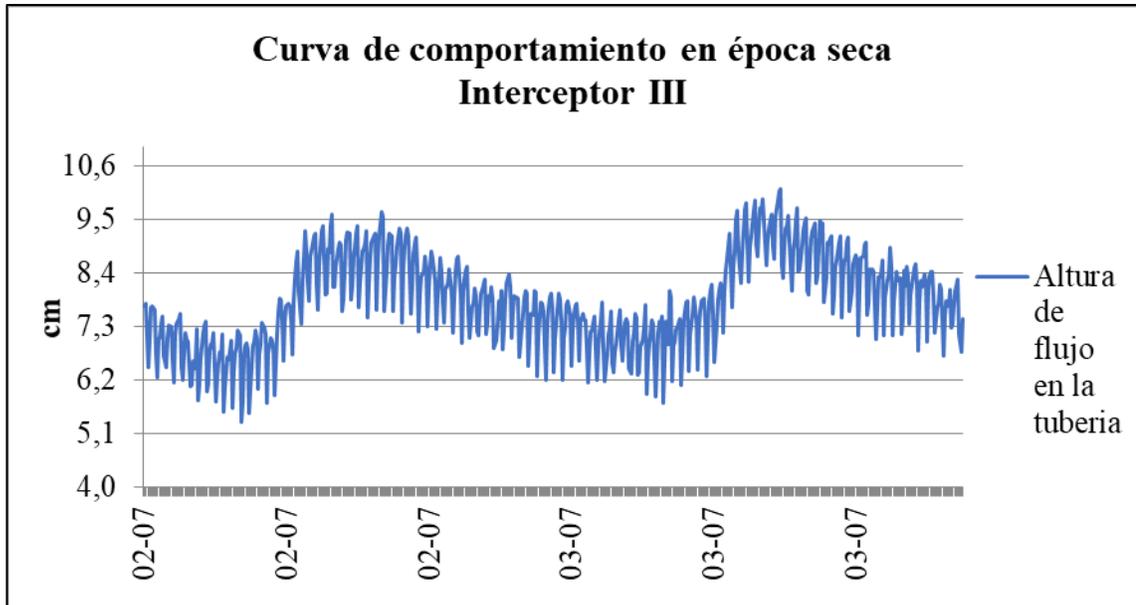


Figura 2.44: Curva de comportamiento en época de sequía, 2 y 3 de julio de 2016, interceptor III

Fuente: Autora

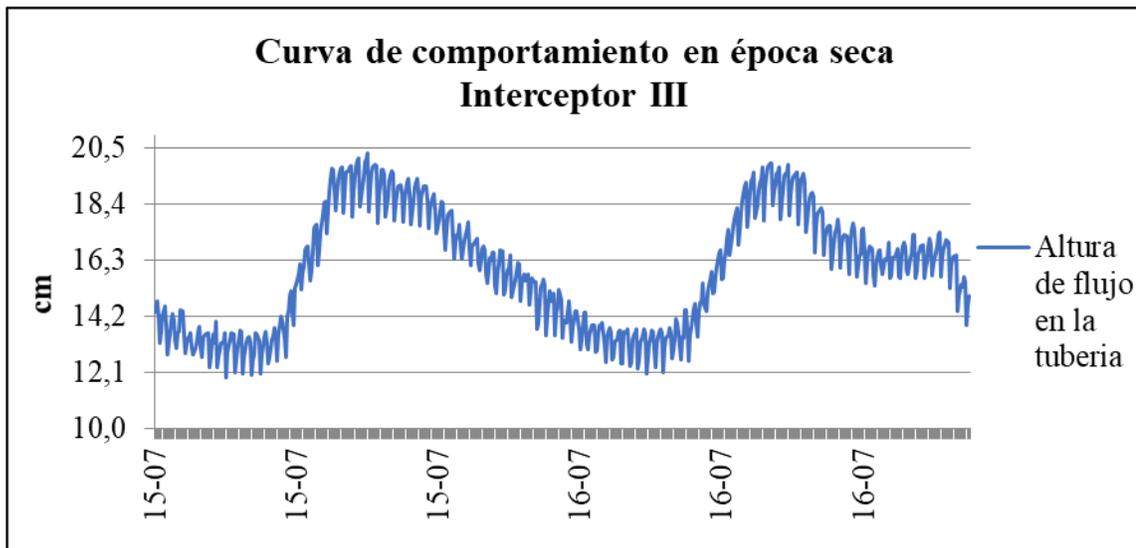


Figura 2.45: Curva de comportamiento en época de sequía, 15 y 16 de julio de 2017, interceptor II

Fuente: Autora

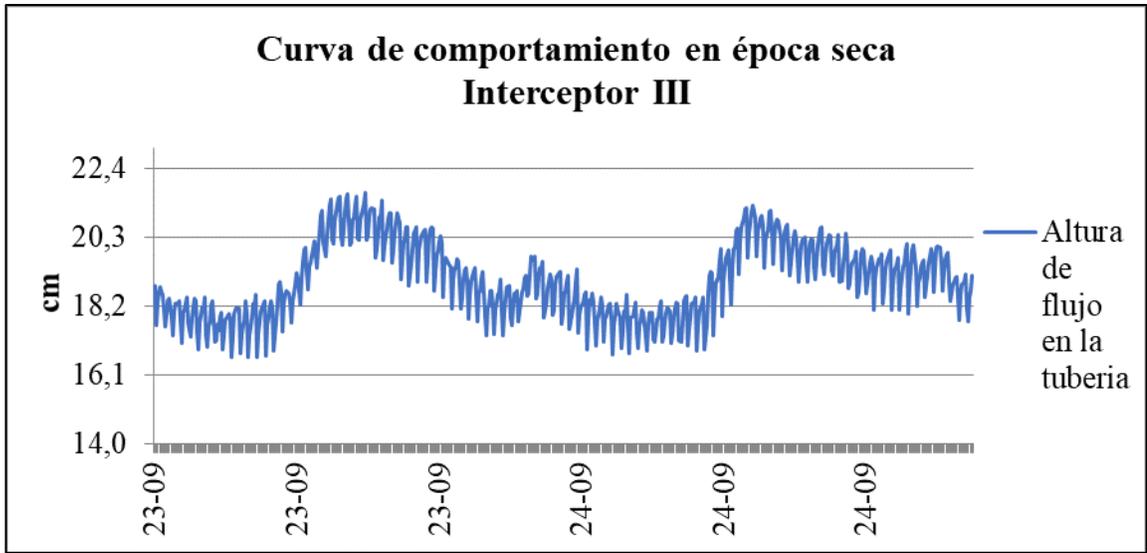


Figura 2.46: Curva de comportamiento en época de sequía, 23 y 24 de septiembre de 2017, interceptor II

Fuente: Autora

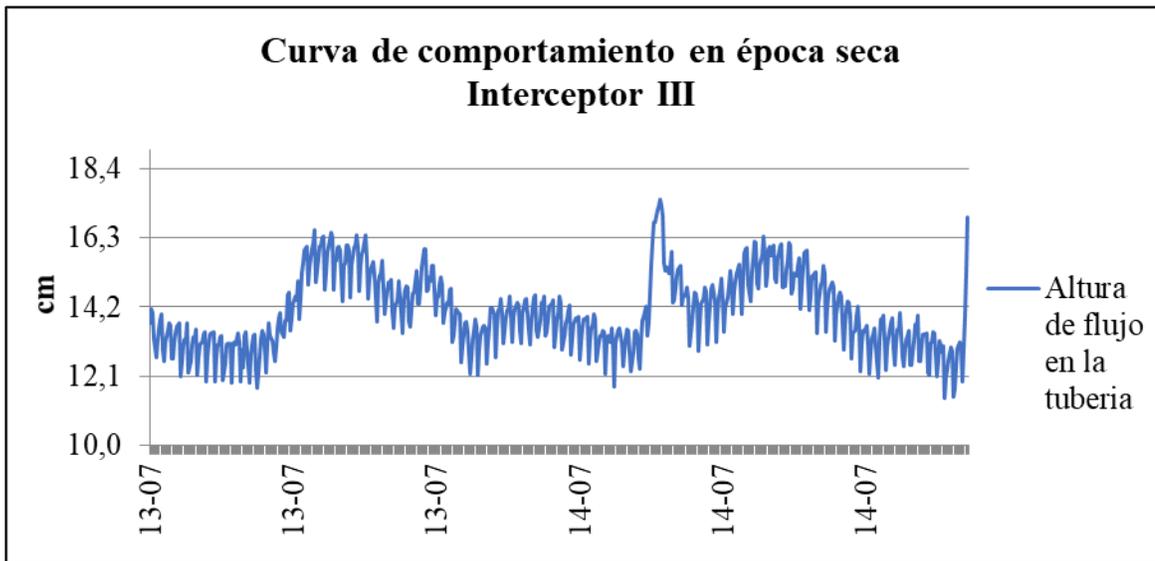


Figura 2.47: Curva de comportamiento en época de sequía, 13 y 14 de julio de 2019, interceptor II

Fuente: Autora

INTERCEPTOR IX

Gráficos entre semana:



Figura 2.48: Curva de comportamiento en época de sequía, 28 - 30 de junio de 2016, interceptor IX

Fuente: Autora

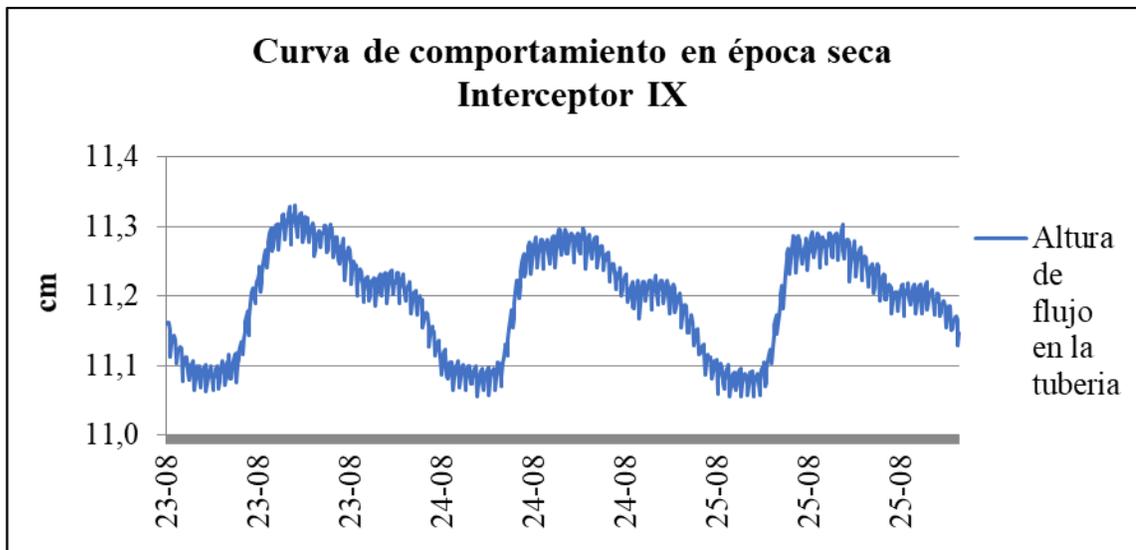


Figura 2.49: Curva de comportamiento en época de sequía, 23-25 de agosto de 2016, interceptor IX

Fuente: Autora

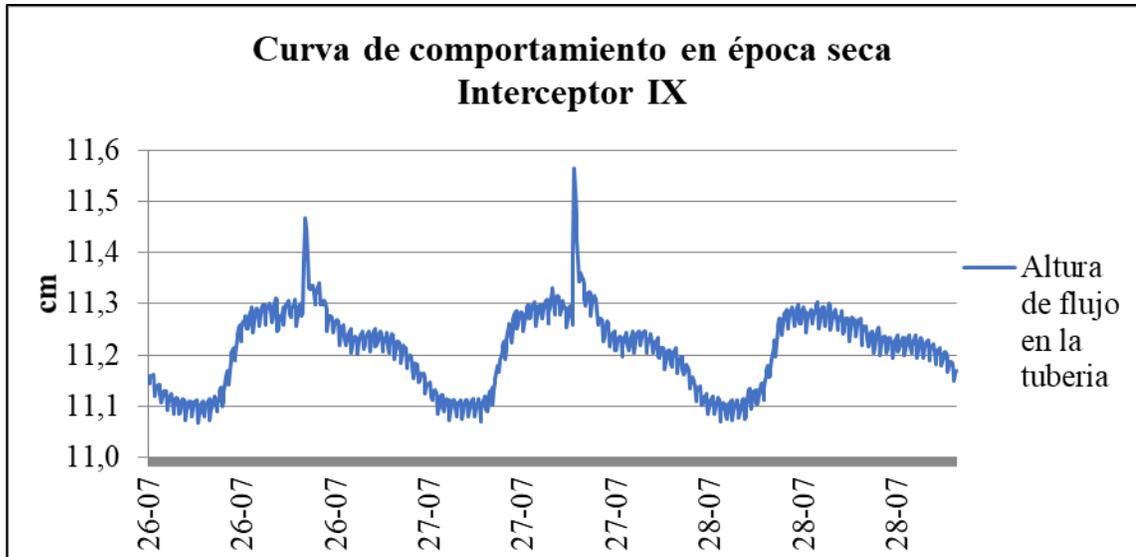


Figura 2.50: Curva de comportamiento en época de sequía, 26 - 28 de julio de 2016, interceptor IX

Fuente: Autora

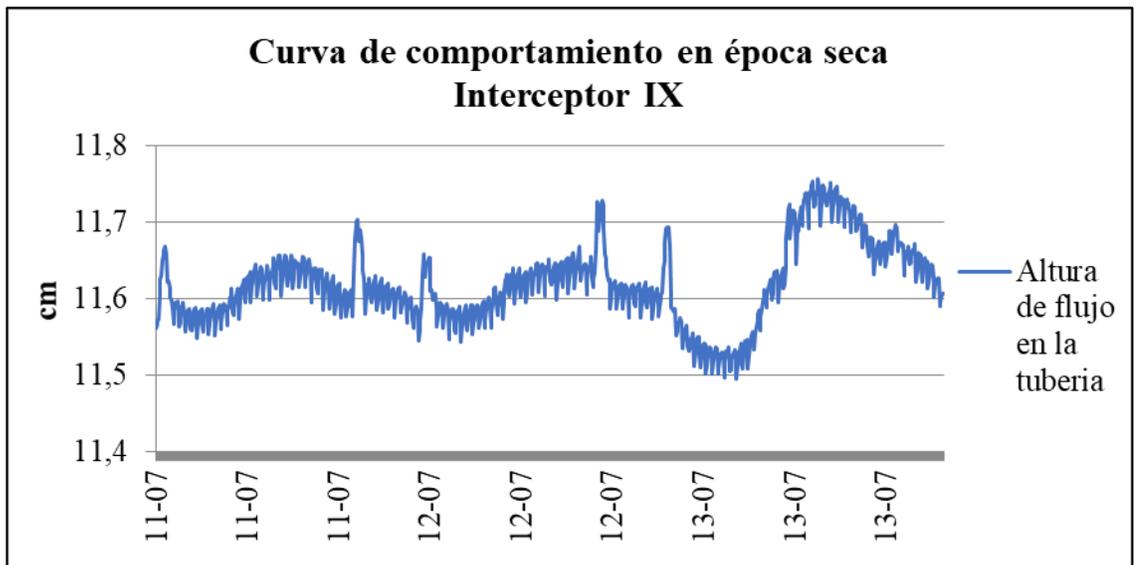


Figura 2.51: Curva de comportamiento en época de sequía, 11-13 de julio de 2017, interceptor IX

Fuente: Autora



Figura 2.52: Curva de comportamiento en época de sequía, 19-21 de septiembre de 2018, interceptor IX

Fuente: Autora

Gráficos de fines de semana:

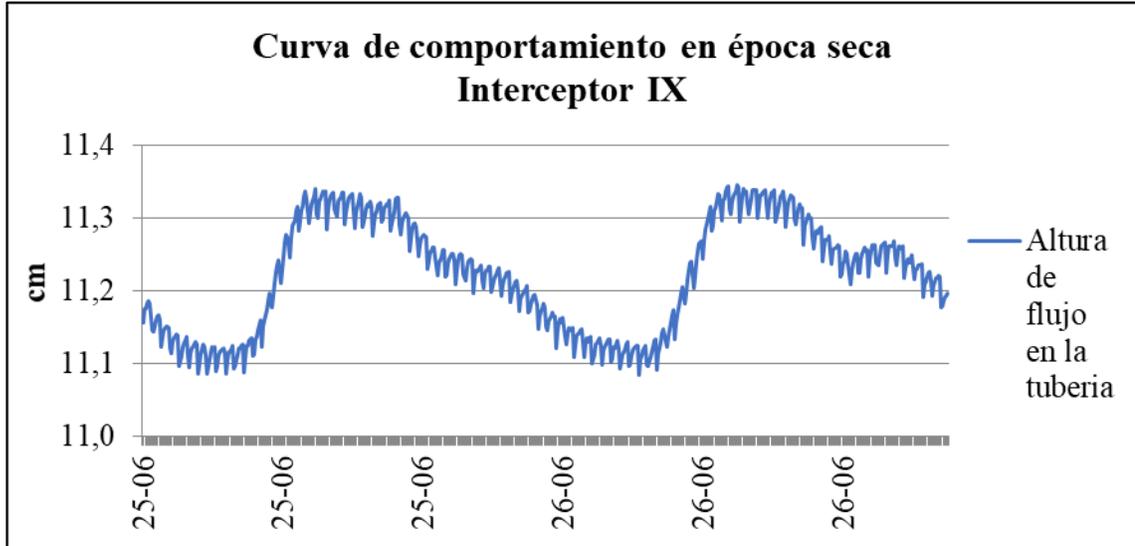


Figura 2.53: Curva de comportamiento en época de sequía, 25 y 26 de junio de 2016, interceptor IX

Fuente: Autora

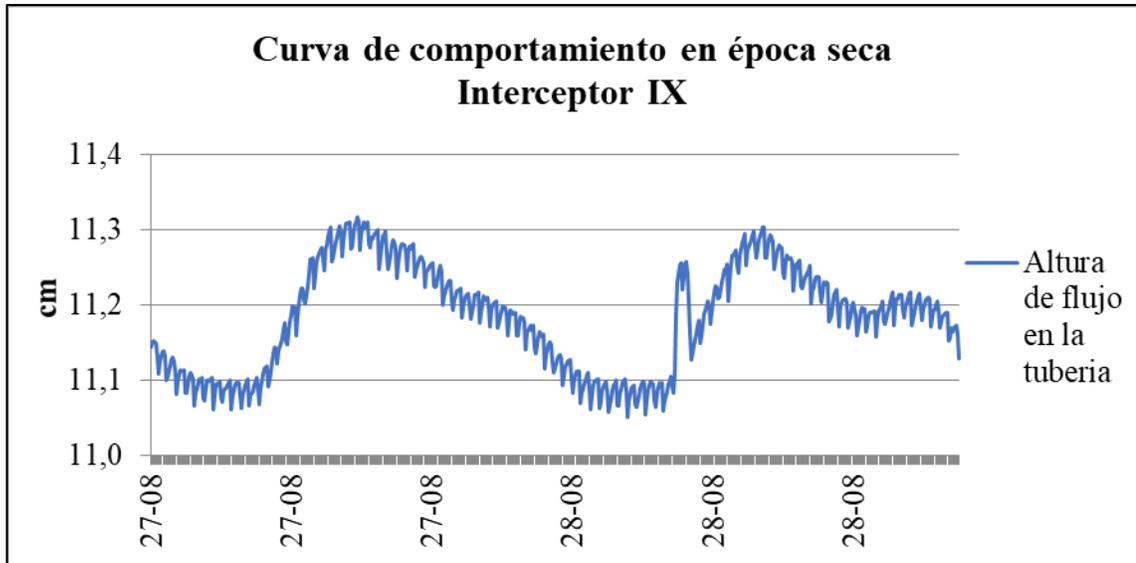


Figura 2.54: Curva de comportamiento en época de sequía, 27 y 28 de agosto de 2016, interceptor IX

Fuente: Autora

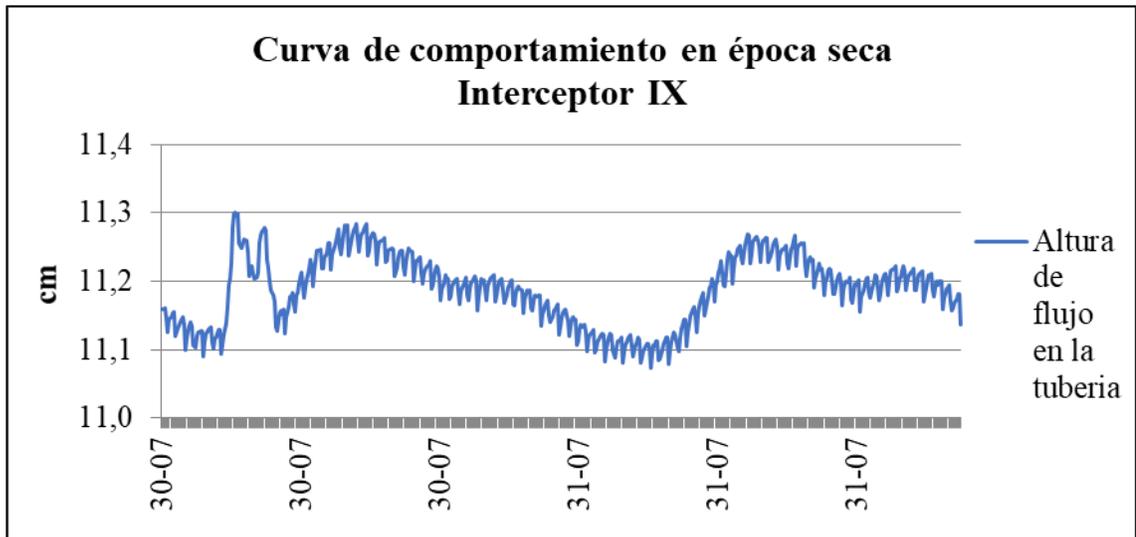


Figura 2.55: Curva de comportamiento en época de sequía, 30 y 31 de julio de 2016, interceptor IX

Fuente: Autora

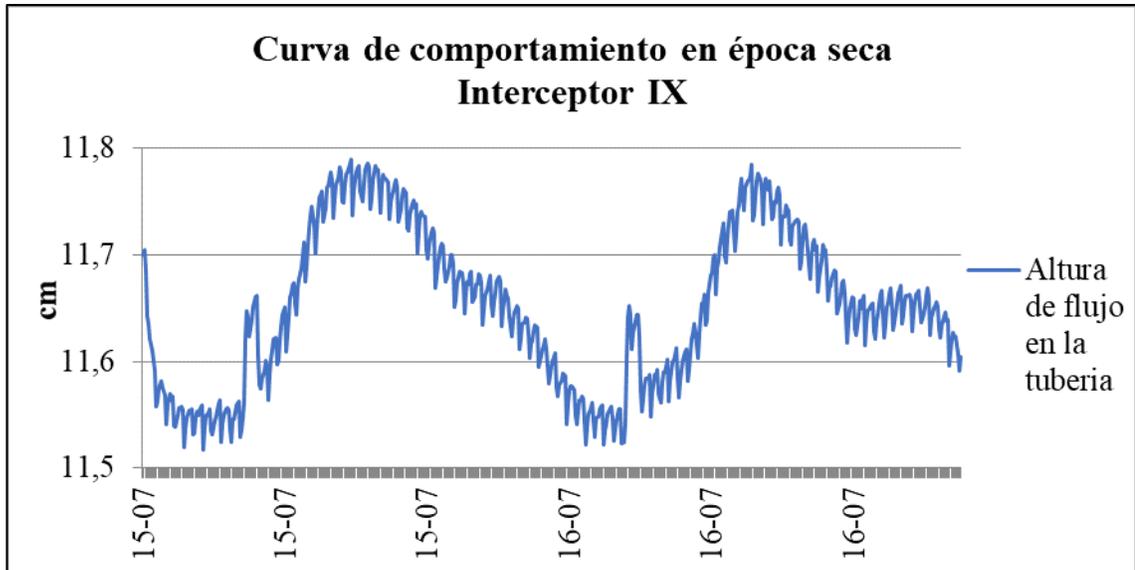


Figura 2.56: Curva de comportamiento en época de sequía, 15 y 16 de julio de 2017, interceptor IX

Fuente: Autora



Figura 2.57: Curva de comportamiento en época de sequía, 23 y 24 de septiembre de 2018, interceptor IX

Fuente: Autora

INTERCEPTOR XVI

Gráficos entre semana:

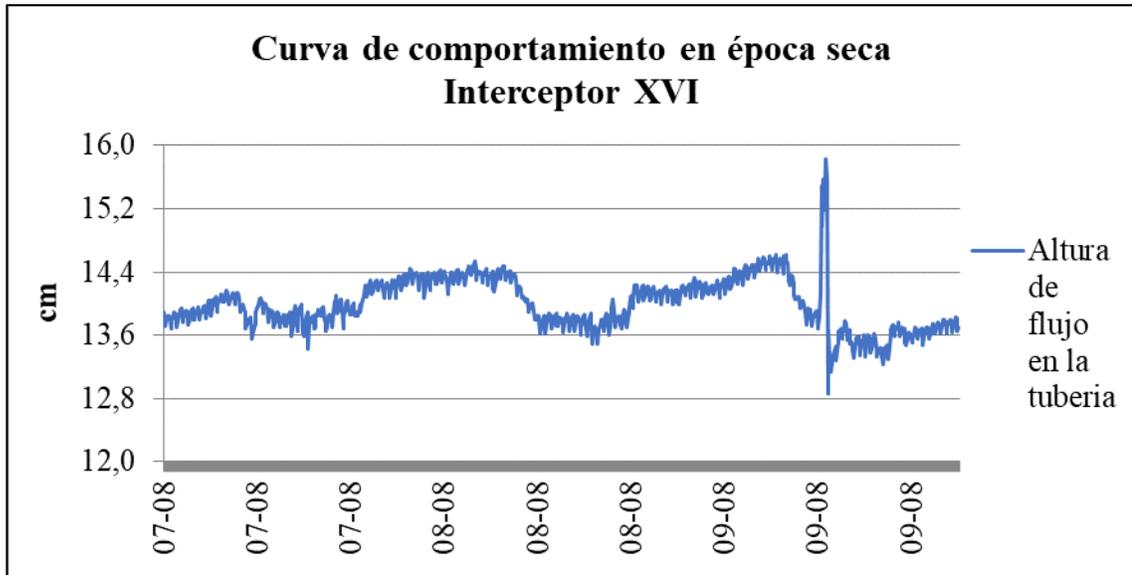


Figura 2.58: Curva de comportamiento en época de sequía, 7 - 9 de agosto de 2018, interceptor XVI

Fuente: Autora

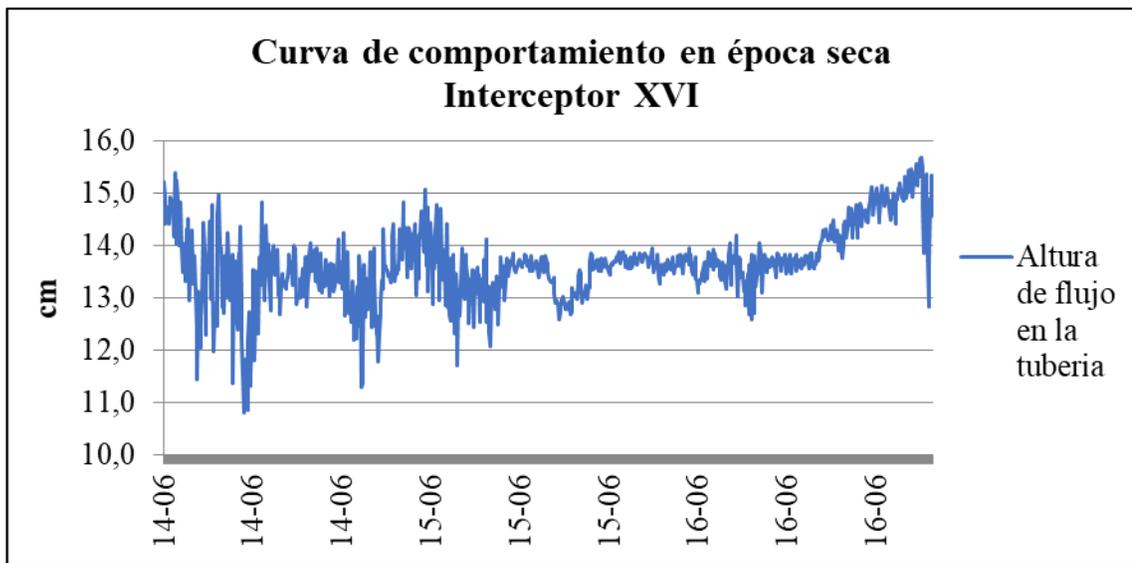


Figura 2.59: Curva de comportamiento en época de sequía, 14 - 16 de junio de 2016, interceptor XVI

Fuente: Autora

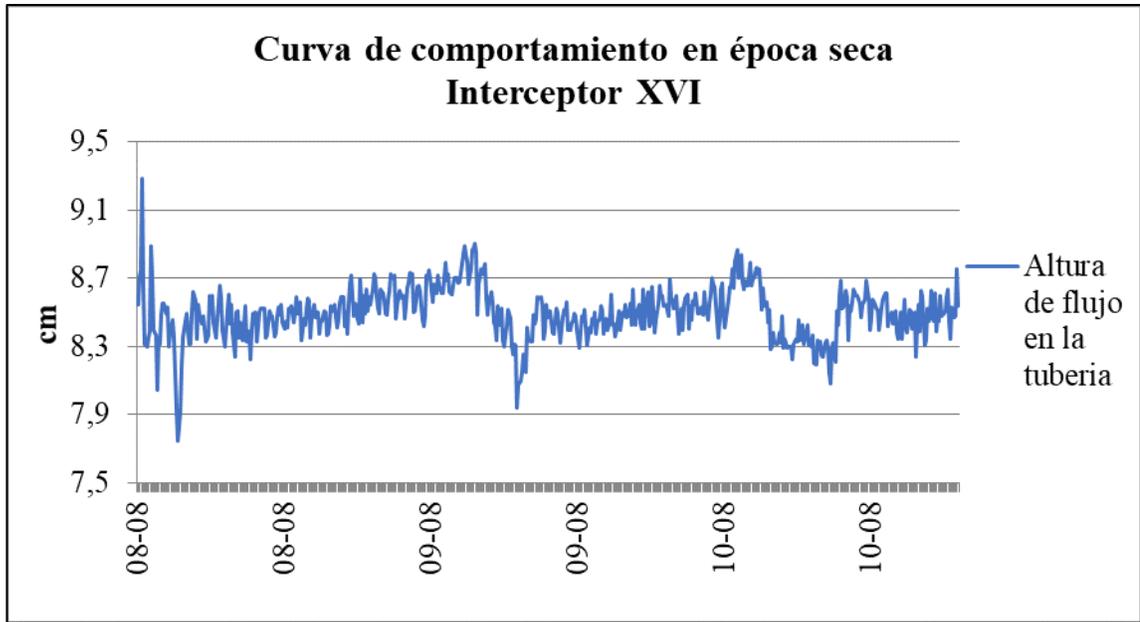


Figura 2.60: Curva de comportamiento en época de sequía, 8 - 10 de agosto de 2017, interceptor XVI

Fuente: Autora

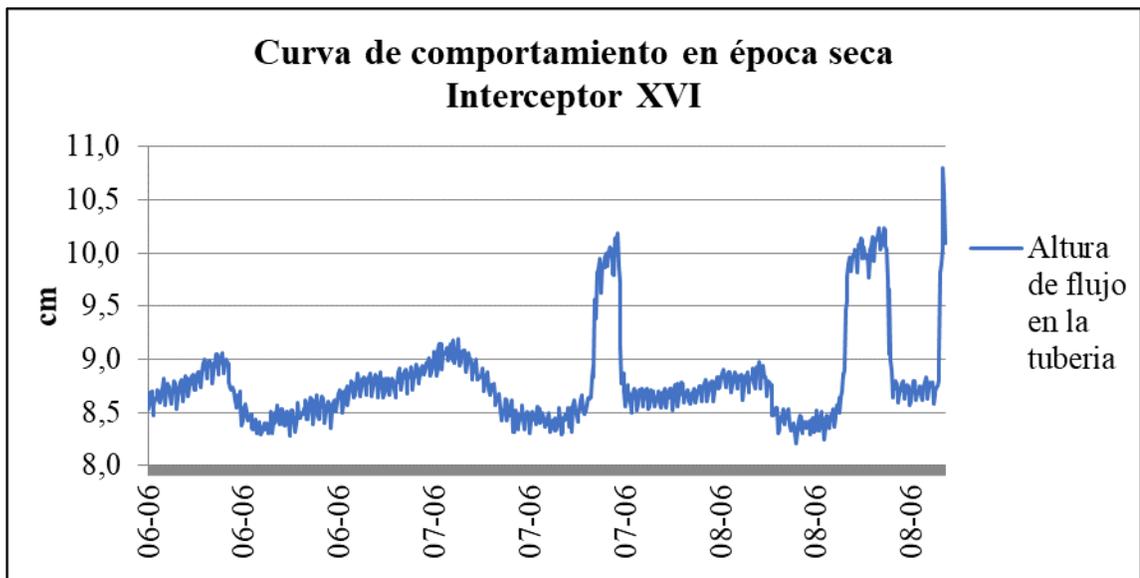


Figura 2.61: Curva de comportamiento en época de sequía, 6 – 8 de junio de 2017, interceptor XVI

Fuente: Autora

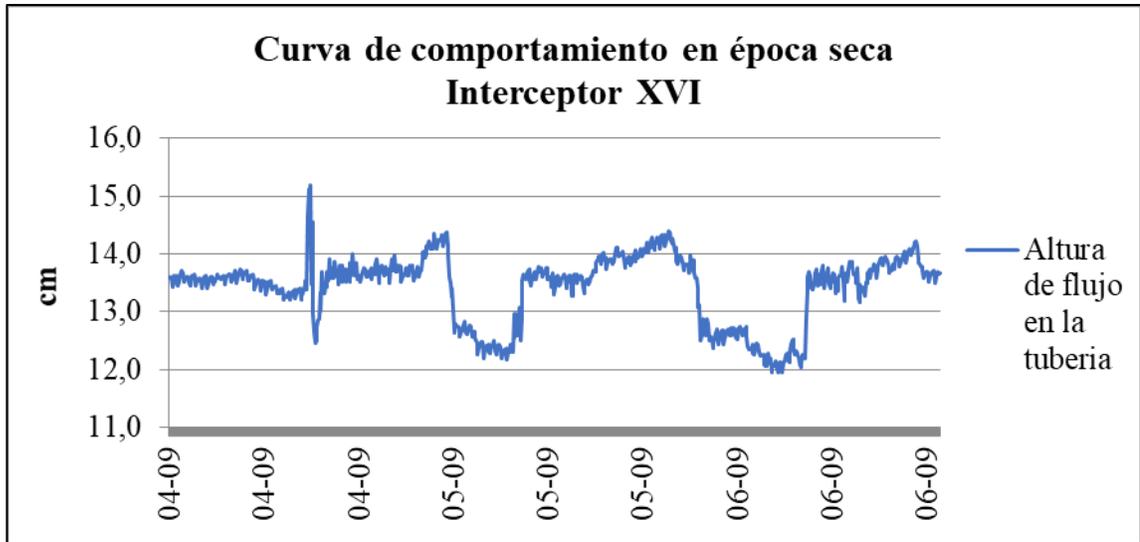


Figura 2.62: Curva de comportamiento en época de sequía, 4 - 6 de septiembre de 2018, interceptor XVI

Fuente: Autora

Gráficos de fines de semana:

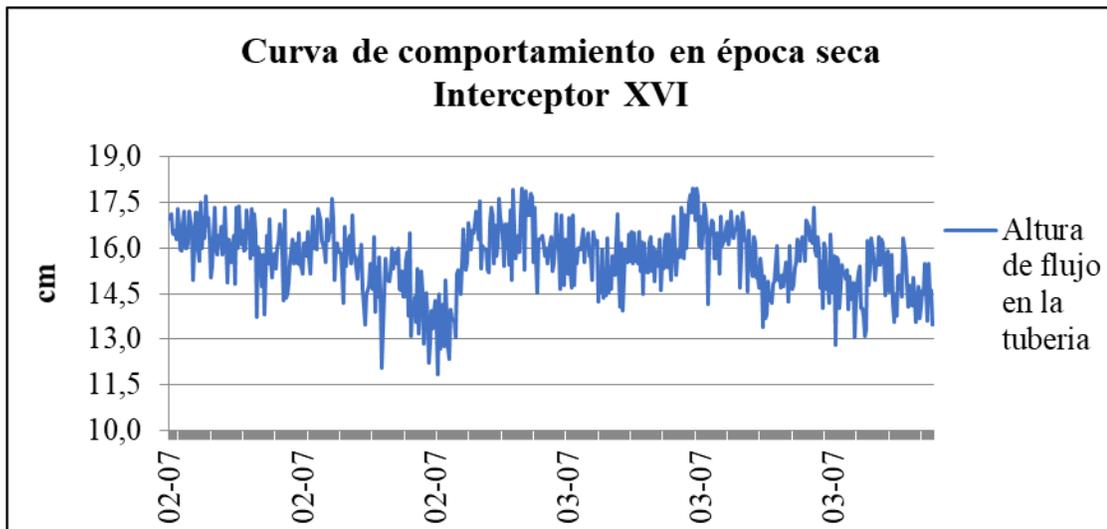


Figura 2.63: Curva de comportamiento en época de sequía, 2 y 3 de julio de 2016, interceptor XVI

Fuente: Autora

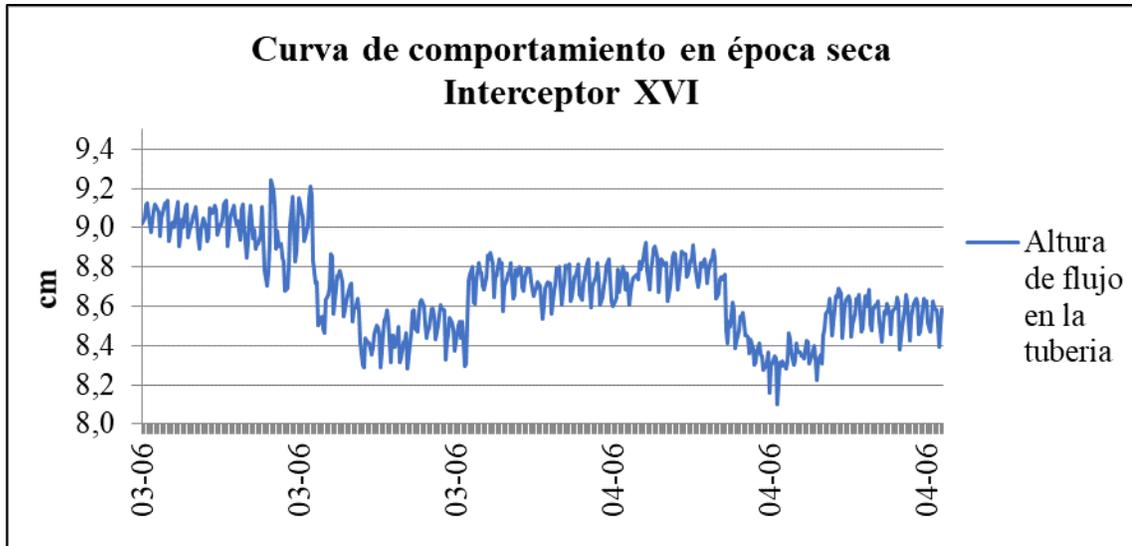


Figura 2.64: Curva de comportamiento en época de sequía, 3 y 4 de junio de 2017, interceptor XVI

Fuente: Autora

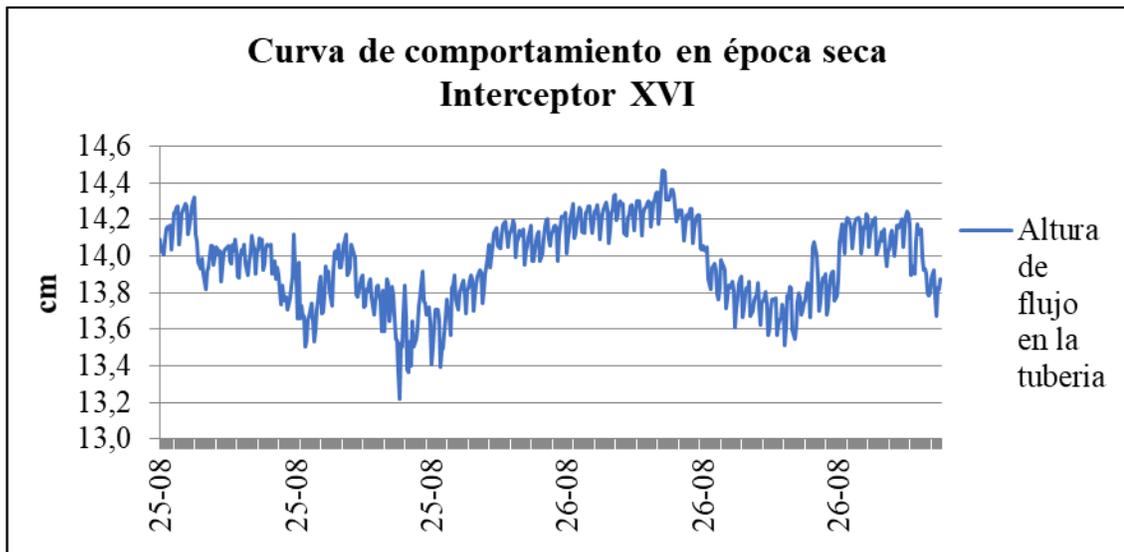


Figura 2.65: Curva de comportamiento en época de sequía, 18 y 19 de agosto de 2018, interceptor XVI

Fuente: Autora

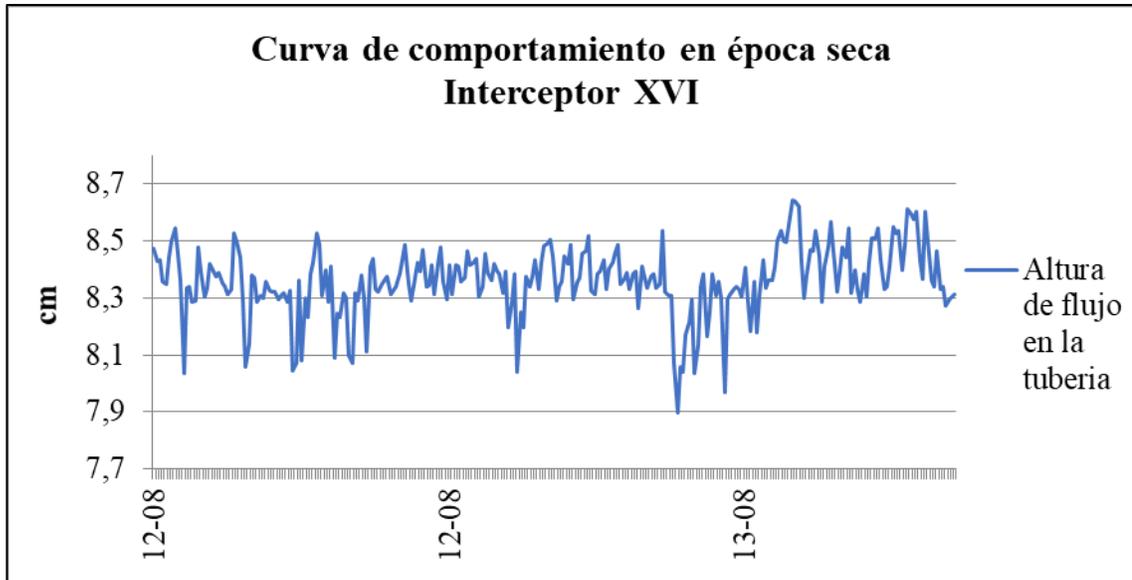


Figura 2.66: Curva de comportamiento en época de sequía, 12 y 13 de agosto de 2017, interceptor XVI

Fuente: Autora

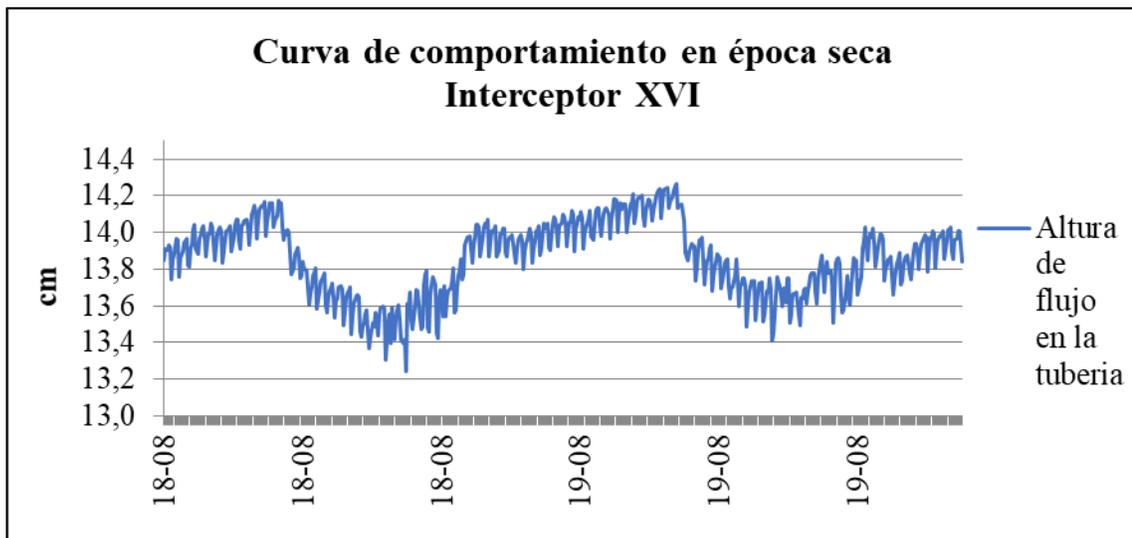


Figura 2.67: Curva de comportamiento en época de sequía, 25 y 26 de agosto de 2018, interceptor XVI

Fuente: Autora

3. CAPITULO III

ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

3.1 Tablas comparativas de lluvia, altura de flujo y caudales

Para el análisis comparativo de resultados fue necesario realizar tablas resumen de los 15 eventos de lluvia de cada interceptor de estudio, para identificar los valores de altura de flujo que indiquen cuando empezó la lluvia.

En las tablas 3.1 a la 3.4 muestran los valores de altura de flujo acumulada, altura de flujo y caudal inicial y final de los 15 eventos de lluvia escogidos en los 4 años de estudio del presente proyecto.

En las tablas 3.5 a la 3.8 se muestra los valores de alturas de flujo y caudales de inicio y de los picos más altos de cada evento de lluvia, para proceder a identificar cual es el rango del comportamiento normal de cada interceptor de alcantarillado.

Tabla 3.1: Tabla comparativa de lluvia, altura de flujo y caudal, Interceptor II

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
5,4	29,37	40,78	0,177	0,270	8/3/2006
13	48,07	38,89	0,291	0,258	4/2/2006
9,1	41,40	40,18	0,274	0,267	26/04/20016
10,6	49,32	36,19	0,285	0,237	6/10/2006
0,9	46,49	46,27	0,292	0,292	5/11/2016
6	36,64	36,31	0,291	0,238	19/12/2016
8,7	46,35	47,10	0,292	0,292	11/1/2017
2,5	29,27	32,59	0,176	0,206	16/6/2018
4,9	30,75	37,82	0,189	0,25	22/7/2018
2,3	31,80	32,84	0,199	0,208	27/8/2018
5,7	28,61	45,77	0,17	0,291	13/9/2018
3,8	27,62	46,32	0,16	0,292	18/10/2018
14,2	28,26	46,45	0,166	0,292	28/2/2019
13,5	24,41	32,47	0,443	0,205	19/3/2019
2,2	26,01	48,72	0,145	0,289	12/5/2019

Fuente: Autora

Tabla 3.2: Tabla comparativas de lluvia, altura de flujo y caudales, Interceptor III.

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
3,3	6,38	13,54	1,863	1,789	5/3/2016
10	31,36	18,62	1,265	1,675	3/4/2016
16	10,09	26,44	1,822	1,495	16/12/2016
43,9	13,80	22,60	1,749	1,530	11/1/2017
25,5	15,38	40,24	1,722	0,966	20/6/2017
7,7	17,93	31,07	1,638	1,351	17/9/2017
11,3	13,79	37,67	1,757	1,097	2/12/2017
4,4	20,02	21,25	1,601	1,568	15/1/2018
4,5	22,72	26,70	1,563	1,410	9/5/2018
11,9	13,81	29,69	1,749	1,315	21/3/2019
3,9	11,04	13,47	1,818	1,773	6/10/2018
15,8	14,59	24,98	1,732	1,461	24/10/2019
7,4	15,81	16,32	1,705	1,694	18/12/2019

Fuente: Autora

Tabla 3.3: Tabla comparativa de lluvia, altura de flujo y caudales, Interceptor IX

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
33,7	11,28	11,54	1,492	1,486	2/4/2016
16,1	13,29	11,10	1,541	1,488	18/12/2016
20,2	11,31	11,38	1,492	1,491	21/3/2017
4,4	10,99	11,33	1,500	1,492	13/4/2017
10,4	15,54	11,82	1,378	1,479	18/5/2017
14	15,04	11,92	1,392	1,477	9/10/2017
0,3	17,27	11,79	1,327	1,48	22/11/2017
2,4	11,60	11,80	1,485	1,48	19/2/2018
12,4	11,71	11,85	1,482	1,479	24/3/2018
1	14,91	14,90	1,396	1,396	29/6/2018
17,6	13,14	14,15	1,452	1,414	26/11/2018
20,3	11,30	11,70	1,493	1,483	29/1/2019
8	11,41	11,67	1,489	1,497	21/4/2019
4,7	11,64	11,70	1,483	1,481	7/12/2019

Fuente: Autora

Tabla 3.4: Tabla comparativa de lluvia, altura de flujo y caudales, Interceptor XVI.

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
16,5	13,36	17,50	0,629	0,558	11/4/2016
10	18,14	17,79	0,555	0,569	7/5/2016
3,6	13,56	18,66	0,628	0,551	10/6/2016
5,5	11,05	11,01	0,647	0,677	15/1/2017
8,9	11,90	12,88	0,638	0,614	23/11/2017
2,1	9,15	11,85	0,663	0,63	19/2/2018
3	7,26	6,20	0,667	0,678	2/4/2018
4,5	5,36	5,52	0,689	0,693	9/5/2018
3,8	13,50	17,55	0,618	0,569	17/6/2018
10,3	12,60	13,07	0,674	0,624	5/10/2018
11,5	18,91	20,63	0,549	0,518	9/11/2018
2,5	13,60	13,62	0,618	0,618	28/2/2019
14,8	21,93	18,34	0,509	0,569	29/9/2019
11,7	12,30	11,96	0,631	0,647	5/12/2019

Fuente: Autora

Tabla 3.5: Tabla comparativa época seca de altura de flujo y caudales entre semana, Interceptor II

INTERCEPTOR II				
Altura de flujo (cm)		Caudal (m³/s)		Fecha
Altura inicial	Altura máxima	Caudal inicial	Caudal máximo	
21,38	28,57	0,128	0,169	5 - 7 Julio 2016
22,84	28,23	0,131	0,166	23 - 25 Agosto 2016
26,63	30,26	0,151	0,185	5-7 Junio 2018
25,94	31,84	0,145	0,200	18-20 Septiembre 2018
29,54	28,23	0,178	0,178	28 - 30 Agosto 2018

Fuente: Autora

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

INTERCEPTOR II				
Altura de flujo (cm)		Caudal (m³/s)		Fecha
Altura inicial	Altura máxima	Caudal inicial	Caudal máximo	
20,52	25,46	0,127	0,140	2 - 3 Julio 2016
24,36	30,60	0,444	0,186	27 - 28 Agosto 2016
25,81	31,71	0,143	0,198	23-24 Junio 2018
28,31	32,28	0,167	0,203	22-23 Septiembre 2018
27,22	30,03	0,156	0,183	4 - 5 Agosto 2018

Fuente: Autora

Tabla 3.7: Tabla comparativa época seca de altura de flujo y caudales entre semana, Interceptor III

INTERCEPTOR III				
Altura de flujo (cm)		Caudal (m³/s)		Fecha
Altura inicial	Altura máxima	Caudal inicial	Caudal máximo	
6,14	11,90	0,839	0,693	20-22 Septiembre 2016
8,72	10,38	0,987	0,721	5 - 7 Julio 2016
15,23	19,94	0,657	0,620	11-13 Julio 2017
17,14	21,10	0,645	0,615	19-21 Septiembre 2017
11,21	15,85	0,709	0,652	16-18 Julio 2019

Fuente: Autora

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

INTERCEPTOR III				
Altura de flujo (cm)		Caudal (m³/s)		Fecha
Altura inicial	Altura máxima	Caudal inicial	Caudal máximo	
6,14	11,90	0,839	0,693	20-22 Septiembre 2016
7,71	10,14	0,783	0,724	2 - 3 Julio 2016
14,37	20,08	0,669	0,625	15-16 Julio 2017
18,83	21,67	0,630	0,615	23-24 Septiembre 2017
13,71	17,47	0,674	0,639	13-14 Julio 2019

Fuente: Autora

Tabla 3.9: Tabla comparativa época seca de altura de flujo y caudales entre semana, Interceptor IX

INTERCEPTOR IX				
Altura de flujo (cm)		Caudal (m³/s)		Fecha
Altura inicial	Altura máxima	Caudal inicial	Caudal máximo	
11,24	11,33	0,390	0,389	28-30 Junio 2016
11,16	11,33	0,390	0,389	23-25 Agosto 2016
11,16	11,57	0,390	0,395	26-28 Julio 2016
11,56	11,75	0,387	0,387	11-13 Julio 2017
11,27	11,57	0,389	0,387	19-21 Septiembre 2018

Fuente: Autora

Tabla 3.10: Tabla comparativa época seca de altura de flujo y caudales fines de semana Interceptor IX

INTERCEPTOR IX				
Altura de flujo (cm)		Caudal (m³/s)		Fecha
Altura inicial	Altura máxima	Caudal inicial	Caudal máximo	
11,16	11,34	0,390	0,389	25-26 Junio 2016
11,14	11,32	0,391	0,391	27-28 Agosto 2016
11,16	11,30	0,389	0,391	30-31 Julio 2016
11,70	11,79	0,386	0,385	15-16 Julio 2017
11,40	11,58	0,388	0,387	23-24 Septiembre 2018

Fuente: Autora

Tabla 3.11: Tabla comparativa época seca de altura de flujo y caudales entre semana, Interceptor XVI

INTERCEPTOR XVI				
Altura de flujo (cm)		Caudal (m³/s)		Fecha
Altura inicial	Altura máxima	Caudal inicial	Caudal máximo	
13,89	15,57	0,161	0,155	7-9 Agosto 2018
15,20	15,69	0,157	0,157	14-16 Junio 2016
7,96	10,32	0,185	0,169	8-10 Agosto 2017
8,54	10,81	0,180	0,166	6-8 Junio 2017
13,57	14,36	0,162	0,160	4-6 Septiembre 2018

Fuente: Autora

Tabla 3.12: Tabla comparativa época seca de altura de flujo y caudales fines de semana, Interceptor XVI

INTERCEPTOR XVI				
Altura de flujo (cm)		Caudal (m³/s)		Fecha
Altura inicial	Altura máxima	Caudal inicial	Caudal máximo	
16,95	17,96	0,157	0,155	2-3 Julio 2016
13,85	14,22	0,161	0,160	18-19 Agosto 2018
9,02	11,27	0,178	0,176	3-4 Junio 2017
14,09	14,29	0,161	0,160	25-26 Agosto 2018
8,48	8,60	0,180	0,179	12-13 Agosto 2017

Fuente: Autora

3.2 Análisis de tabla resumen de la época de lluvia

A continuación, se presentará una breve descripción del análisis del comportamiento de cada interceptor, después de haber analizado los 15 eventos de lluvia, para encontrar el valor de altura de flujo que indique cuando empezó la lluvia.

INTERCEPTOR II: El comportamiento en el interceptor II es similar en todas sus gráficas de eventos de lluvia puesto que no ha existido variaciones drásticas de caudal en los años 2016 al 2019, ya que el rango de alturas de flujo y lluvia son iguales en todos los años antes mencionados, pero cuando existe lluvia las tuberías trabajan a sección llena que podría dificultar el levantamiento de información.

Para este interceptor el promedio de altura de flujo máximo es de 44,39cm con un rango de lluvia acumulada de 11 a 15 mm (tabla 3.13).

Cabe mencionar que en este interceptor las variaciones con respecto a población no han sido significativas, por lo que se asumen que en este sector de la ciudad no ha variado ni la distribución de la población ni el número de habitantes que aportan caudales al sistema de interceptores hasta el año 2018, (Martínez, 2018).

INTERCEPTOR III: De igual manera que en el interceptor II, el interceptor III cuenta con el mismo comportamiento en los 4 años de análisis, debido a que su altura de flujo se comporta siempre de la misma manera en todos los meses, con excepción de algunos días donde a llovido exponencialmente.

La población y los caudales calculados son menores a lo que se tenía previsto en el Plan Maestro, por lo que se asume que la población no crecerá como se creía, es decir el incremento de población en esta zona va a disminuir con los años con respecto a lo que se tenía previsto en el Plan Maestro (Martínez, 2018).

La mayoría de alturas de flujo en este interceptor son relativamente bajas con respecto al diámetro de su tubería, presentando una capacidad máxima de altura de flujo aproximadamente de 31,42 cm (tabla 3.13), con este valor se concluye que la tubería del interceptor trabaja normalmente si presentar ningún problema.

INTERCEPTOR IX: según las gráficas de comportamiento de época lluviosa de este interceptor no representa un mayor problema ya que el promedio de altura de flujo máxima

cuando hubo lluvia fue de 11,54 cm perteneciente a una lluvia acumulada de 23 a 34 mm (tabla 3.13), esto quiere decir que no logro llenar ni la mitad de la tubería del interceptor, dando lugar al correcto funcionamiento de acuerdo al comportamiento que se analizó con los eventos de lluvia elegidos en los 4 años de estudio.

INTERCEPTOR XVI: este interceptor al igual que el interceptor IX cuentan con un promedio parecido de altura de flujo ya que su comportamiento en presencia de agua lluvia es muy similar, sin embargo, cabe mencionar que los interceptores IX y XVI cuando existe mucha precipitación sus tuberías trabajan a sección llena, presentando valores de alturas de flujo más grandes que los diámetros de la tubería, este interceptor presento una altura de flujo máxima de 17,90 cm con una lluvia acumulada de 13 a 17 mm (tabla 3.13).

A continuación, se muestra una tabla resumen de los valores promedio de alturas de flujo cuando existe presencia de precipitación de los días escogidos en los eventos de lluvia graficados.

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

Interceptor	Lluvia Acumulada	Altura de flujo promedio en la tubería (cm)
II	(1 a 6 mm)	40,82
	(7 a 10 mm)	43,64
	(11 a 15 mm)	44,39
III	(0 a 10 mm)	19,22
	(11 a 25 mm)	26,40
	(25 a 45 mm)	31,42
IX	(0 a 11 mm)	11,51
	(12 a 22 mm)	11,53
	(23 a 34 mm)	11,54
XVI	(1 a 7 mm)	12,06
	(8 a 12 mm)	15,27
	(13 a 17 mm)	17,90

Fuente: Autora

3.3 Análisis de la tabla de la época de sequía

Al interpretar la tabla resumen con los valores de altura de flujo en época seca de cada interceptor se puede mencionar los siguientes:

INTERCEPTOR II: Los meses que registran periodos más largos sin lluvia son los de junio, julio, agosto y septiembre, además los valores mayores de altura de flujo en la tubería se registran al medio día debido a que la población realiza sus actividades a dicha hora, aportando mayor caudal residual.

Todas las curvas de comportamiento tanto entre semana como fin de semana muestran similitud, dando como resultado de análisis un funcionamiento homogéneo en este interceptor ya que el rango de alturas de flujo es el mismo en todas sus gráficas.

INTERCEPTOR III: Tanto en el interceptor II como en el interceptor III, se identifica que el comportamiento en época de sequía de las alturas del interceptor es parecido, demostrando que no existen variaciones disparadas de alturas de flujo.

Los meses de junio, julio, agosto y septiembre registran valores de alturas de flujo con periodos más largos de ausencia de agua lluvia, pero para el mes de Julio se registran valores de alturas de flujo más bajas debido a que es un periodo vacacional donde la población va fuera de la ciudad, sin embargo, para el mes de septiembre donde la gente regresa de su periodo vacacional se registra valores más altos de alturas de flujo.

INTERCEPTOR IX: en este interceptor ya hubo un cambio en cuanto a la homogeneidad de sus curvas, pero todas registran valores entre 10 y 12 cm de altura de flujo (tabla 3.14).

De igual manera para este interceptor los meses con más periodos prolongados de ausencia de agua lluvia son los de junio, julio, agosto y septiembre

INTERCEPTOR XVI: las gráficas de comportamiento en época seca de este interceptor muestran que sus curvas no son regulares, ya que en el proceso de depuración de datos se eliminó valores de alturas de flujo representativamente grandes que no demostraban la realidad del comportamiento de dicho interceptor, sin embargo, se buscó minuciosamente periodos de época seca donde las curvas mostraban un mejor comportamiento homogéneo.

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 II	25,27	29,43	25,24	30,02
Interceptor III	12,02	15,46	12,15	16,25
Interceptor IX	11,28	11,51	11,31	11,47
Interceptor XVI	11,83	13,35	12,48	13,27

Fuente: Autora

CONCLUSIONES

- Para empezar con el análisis de los interceptores se recopiló la información calculada por los sensores ordenándolos según el mes y año de estudio, luego se eliminaron datos erróneos de alturas de flujo negativas y mayores al diámetro de las tuberías que no correspondían con el comportamiento real de los interceptores ya que posterior a esto dificultaría el resto de procesos de cálculo.
- En el capítulo 1 se describen los datos que se utilizaron de cada interceptor, para elaborar con las gráficas de curvas de comportamiento.
- En el capítulo 2 se calcula los caudales de cada interceptor, demostrando que debido a la precipitación las alturas de flujo aumentan, además en este capítulo se muestran eventos de lluvia más representativos de cada interceptor y curvas de comportamiento en época seca.
- En el capítulo 3 se realizaron tablas comparativas entre la época lluviosa y época seca, para esto se utilizaron los valores iniciales y máximos de alturas de flujo en las tuberías de cada interceptor.
- Como conclusión general se puede acotar que los meses de febrero, marzo y abril son los que más precipitación hubo, provocando que los interceptores IX y XVI trabajen a sección llena.
- En cambio, para el análisis del comportamiento normal de los interceptores con la ausencia de agua lluvia, se pudo observar que los meses donde menos aportes de caudal pluvial existen son los de junio, julio, agosto y septiembre para todos los interceptores estudiados.
- Para el interceptor II las alturas de flujo en época lluviosa varía entre 40 a 45 cm, pero en época seca se reduce casi a la mitad con valores entre 25 a 30cm debido a la ausencia de precipitación.
- Para el interceptor III las alturas de flujo cuando hay presencia de agua lluvia varia de 19 a 32 cm y en época seca las alturas de flujo disminuyen con valores de 12 a 17cm.
- Para el interceptor IX se obtuvieron valores de alturas de flujo iguales tanto en época seca como en época lluviosa, estos valores están entre 11 a 12cm.

- Los valores de alturas de flujo en el interceptor XVI en época lluviosa no cambia considerablemente con respecto a la época seca, presentando valores de 12 a 18 cm y 11 a 14 cm respectivamente.

RECOMENDACIONES

Después de haber completado el análisis de los interceptores II, III, IX y XVI en época seca y época de lluvia se puede tomar en cuenta las siguientes recomendaciones.

- Se recomienda revisar periódicamente de los sensores ultrasónicos especialmente en épocas lluviosas, ya que al momento de analizar el comportamiento hidráulico de los interceptores se observó claramente, que ciertos períodos de la información recopilada por los sensores de nivel instalados por la empresa ETAPA EP no es la correcta, por la obtención de varios datos erróneos que impedían analizar el comportamiento de las alturas de flujo.
- Evaluar el funcionamiento de los interceptores cada 5 años, especialmente si sufren cambios de áreas de aporte.
- Diseñar un sistema que indique cuando la altura de flujo llega a su límite.

BIBLIOGRAFIA

- Carmona, & Zhicay. (2019). Determinación 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. Cuenca: Universidad del Azuay.
- Cuéllar Castillo, L. U., Martínez Martínez, J. I., & Rivera Vergara, J. A. (2015). Propuesta de un sistema de instrumentación y monitoreo de nivel y flujo de la planta de tratamiento de aguas residuales Lago Nabor Carrillo. Instituto Politécnico Nacional.
- Díaz et. al. (2011). MEDICIÓN DE CAUDALES MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN VEHÍCULO ACUÁTICO TELEOPERADO. Toluca: Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares.
- ETAPA EP. (2020). Obtenido de <https://www.etapa.net.ec/Principal/Agua-potable/Operaci%C3%B3n-y-Mantenimiento/Centro-de-monitoreo-y-control>
- Genovez, D. (2018). Análisis de precipitaciones y elaboración de hietogramas de diseño para la ciudad de Cuenca. Cuenca: Universidad del Azuay.
- Gomez Gavilanes, J. (2006). Diseño del sistema de alcantarillado sanitario de la Comunidad de "Huaycopungo". Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Luciano, M. (3 de 7 de 2017). Obtenido de <https://www.wndgroup.io/2017/07/03/sigfox-sensores-del-iot-que-mantienen-las-alcantarillas-de-san-francisco-en-la-bahia/>
- Martinez Rodas, P. (2018). Analisis de la distribucion de caudales para el sistema de interceptores sanitarios para la ciudad de Cuenca. Cuenca: Universidad del Azuay.
- 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.
- Mora, M. A. (2019). Análisis de la Variación Estacional del Consumo Residencial de Agua Potable de la Ciudad de Cuenca. Cuenca: Universidad del Azuay.
- Muñoz, D. G. (2018). Análisis de precipitaciones y elaboración de hietogramas de diseño para la ciudad de Cuenca. Cuenca: Universidad del Azuay.
- Núñez Rivadeneira, J., Ullauri, A., & Barzola, J. (2018). Diagnóstico, Modelación y Determinación de la Capacidad Hidráulica de sistemas de Alcantarillado. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- Ramirez Corredor, L. (2016). ESTUDIO Y DIAGNOSTICO DE LA RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL PARA EL PROCESO DE DENSIFICACION DE UN SECTOR DEL CENTRO DE BOGOTA. Bogota: Universidad Católica de Colombia.

- secureweek.com. (27 de Octubre de 2017). Obtenido de
https://www.secureweek.com/alcantarillas-inteligentes-historias-que-fluyen-debajo-de-las-ciudades-inteligentes-de-los-ee-uu/?fbclid=IwAR1AJ5n88LOxdUzMSkOuGukuT4fuozh9kk-J_KWKPSS3pThBQcl_ubDEehE
- Tapia, J. D. (2016). Estructura de la precipitación y su variabilidad espacio-temporal a lo largo de una gradiente altitudinal. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Ulloa, F. M. (2014). Evaluación hidráulica del derivador de caudal tipo vertedero. Cuenca: Universidad del Azuay.
- Ven-te-Chaw. (1959). Hidraulica de canales abiertos. New York: McGraw-hill.

ANEXOS

Anexo 1: anexo digital, Graficas de alturas de flujo en el pozo de revisión vs tiempo en el software Excel, GRAFICAS INTERCEPTOR II

Anexo 2: anexo digital, Graficas de alturas de flujo en el pozo de revisión vs tiempo en el software Excel, GRAFICAS INTERCEPTOR III

Anexo 3: anexo digital, Graficas de alturas de flujo en el pozo de revisión vs tiempo en el software Excel, GRAFICAS INTERCEPTOR IX

Anexo 4: anexo digital, Graficas de alturas de flujo en el pozo de revisión vs tiempo en el software Excel, GRAFICAS INTERCEPTOR XVI

Anexo 5: anexo digital, cálculos de caudales en el software Excel, INTERCEPTOR II

Anexo 6: anexo digital, cálculos de caudales en el software Excel, INTERCEPTOR III

Anexo 7: anexo digital, cálculos de caudales en el software Excel, INTERCEPTOR IX

Anexo 8: anexo digital, cálculos de caudales en el software Excel, INTERCEPTOR XVI

Anexo 9: anexo digital, graficas lluvia vs altura de flujo en el software Excel, INTERCEPTOR II

Anexo 10: anexo digital, graficas lluvia vs altura de flujo en el software Excel, INTERCEPTOR III

Anexo 11: anexo digital, graficas lluvia vs altura de flujo en el software Excel, INTERCEPTOR IX

Anexo 12: anexo digital, graficas lluvia vs altura de flujo en el software Excel, INTERCEPTOR XVI

Anexo 13: anexo digital, comportamiento de interceptores en el software Excel