



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL



TEMA:

ESTIMACIÓN DE LOS HIDROGRAMAS SINTÉTICOS EN FUNCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LA CUENCA DEL RÍO PINDO GRANDE Y AFLUENTE S/N.

AUTORES:

- JENNY VIVIANA YANEZ NUÑEZ
- ANDRÉ LEANDRO TAPIA TAMAYO

DIRECTOR DEL PROYECTO:

Dr. RICARDO VINICIO ABRIL SALTOS

PUYO-ECUADOR

2017

Puyo, 31 de enero del 2018

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Por medio de la presente YO (YANEZ NUÑEZ JENNY VIVIANA) con CC 2100804216 Y (TAPIA TAMAYO ANDRÉ LEANDRO) con CC 1600643439, declaramos ser autores del trabajo titulado: “ESTIMACIÓN DE LOS HIDROGRAMAS SINTÉTICOS EN FUNCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LA CUENCA DEL RÍO PINDO GRANDE Y AFLUENTE S/N”, a la vez cedemos los derechos a la Universidad Estatal Amazónica, para que pueda realizar publicaciones sobre la misma así como su almacenamiento tanto en medios físicos como electrónicos

Firma

Jenny Yanez Nuñez

2100804216

André Tapia Tamayo

1600643439

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO.

Por medio de la presente yo RICARDO VINICIO ABRIL SALTOS con CC: 1803113321 docente de la Universidad Estatal Amazónica y Tutor del proyecto de investigación ESTIMACIÓN DE LOS HIDROGRAMAS SINTÉTICOS EN FUNCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LA CUENCA DEL RÍO PINDO GRANDE Y AFLUENTE S/N, certifico que el mismo fue desarrollado en su totalidad tanto en su fase de campo como la redacción final del documento por los alumnos: Jenny Viviana Yanez Nuñez con CC: 2100804216 y André Leandro Tapia Tamayo con CC: 1600643439, el cual ya ha culminado en todas sus etapas cumpliendo un total de 400 horas.

RICARDO ABRIL

DIRECTOR DEL PROYECTO

**CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE
PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO.**

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.

El proyecto de investigación y desarrollo, titulado: “ESTIMACIÓN DE LOS HIDROGRAMAS SINTÉTICOS EN FUNCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LA CUENCA DEL RÍO PINDO GRANDE Y AFLUENTE S/N”, fue aprobado por los siguientes miembros del tribunal.

Dr.C. Carlos Bravo

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Dr.C. Leobel Morel

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

MSc. Simon Leib

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTOS.

Primeramente, quiero agradecer a Dios por permitirme cumplir una meta más en mi vida.

Quiero agradecer a mis padres los Sres. Angel Yanez y María Nuñez por ser el pilar fundamental en mi vida y apoyarme siempre en las decisiones que yo tomo, a mis hermanos Diego y Manuel Yanez Nuñez y a mis hermanas Johanna y Estefanía por estar ahí siempre conmigo en altas y bajas.

Agradecer a la Universidad Estatal Amazónica y a cada uno de los ingenieros por el conocimiento impartido a lo largo de 5 años de carrera.

Agradecer a nuestro tutor el Dr. Ricardo Abril por ser nuestro profesor a lo largo de la carrera, por instruirnos para ser unos excelentes profesionales y por estar ahí siempre apoyándonos y sobre todo por dedicarnos el tiempo para la elaboración de nuestro proyecto.

Y a todas las personas que directamente o indirectamente estuvieron para brindarme su apoyo y sus consejos durante esta etapa.

Quiero agradecer a mi novio por ser mi apoyo incondicional día a día.

Jenny Yanez

Con lágrimas en los ojos quiero redactar mi agradecimiento principal a Jehovah de los Ejércitos por permitirme ser un varón de su pueblo y culminar una etapa más en mi vida.

Quiero agradecer a mis padres Sres. Heriberto Tapia y Magaly Tamayo por ser el motor de amor en mi vida y el ejemplo constante de que el esfuerzo, la constancia y la dedicación son el mejor camino para fructificar en la vida, a mis hermanitos Lesnin, Evelyn, Mishell y Jordán Tapia por estar presentes mostrándome su afecto y apoyo incondicional.

A mi tío Clever Tomas Torres Beltrán & Teresita Mayorga quien sin dudar me brindan de su apoyo incondicional y por mostrarme con ejemplo que la familia siempre es lo primero en la vida.

A la familia Coronel Arias por abrirme las puertas de su casa, brindarme de su amor y acogerme en ella como uno más de sus integrantes

Agradecido infinitamente a la Universidad Estatal Amazónica por abrirme sus puertas y permitirme formarme en el conocimiento y el respeto por la ciencia y la naturaleza.

A nuestro tutor el Dr. Ricardo Abril por ser nuestro profesor a lo largo de la carrera, por ser un ejemplo admirable de la sencillez y sabiduría, por el infinito apoyo en la elaboración de nuestro Proyecto y sobre todo por la gran amistad que ha inculcado en nosotros como sus alumnos.

André Tapia

DEDICATORIAS.

A mis padres por ser mi pilar fundamental en todo lo que hago y decido por estar siempre ahí apoyándome, dándome sus consejos y sobre todo por el amor incondicional que me brindan día a día.

A las personas que ya partieron y no están conmigo, pero sé que de donde estén siempre me apoyaran, estas personas son mi abuelita Transito Nuñez, mi papito Miguel Nuñez, mis tíos Enrique y Juan Nuñez Olalla.

A mi mami Margoth Olalla y a papito Luis Yanez ya que siempre están dándome palabras de apoyo y aliento.

A mis hermanos/as por ser mi apoyo y mi soporte, a mi novio Carlos Verdesoto por estar siempre conmigo brindándome su apoyo, por la paciencia, el cariño que hacia mí me brinda, y a todos mis familiares que con su apoyo y buenos consejos me han impulsado a terminar con éxito esta etapa de mi vida.

Jenny Yanez

A mi Padre Heriberto Tapia por ser mi ejemplo, apoyo y consejo en todo tiempo, y por inculcarme el amor y el temor a Dios desde los primeros pasos en mi vida.

A mi abuela que ya partió a la presencia del Señor, María Mercedes Beltrán Andrade por marcar mi corazón con cada uno de sus gestos de amor y dulzura.

A mi abuelo Segundo Hernán Tamayo por el incondicional apoyo, cariño y amor en cada etapa de mi formación.

A mi madre Magaly Tamayo y mis hermanos por ser parte de la fortaleza en mi vida, pues sus consejos y sobre todo el amor incondicional que han sabido brindarme me han llevado a buscar cada día la superación personal y familiar.

A todos mis familiares y amigos que con su apoyo, amistad y palabras de aliento han hecho de mí una mejor versión en calidad de persona y que me han impulsado a terminar con éxito esta etapa de mi vida.

André Tapia

RESUMEN EJECUTIVO Y PALABRAS CLAVES.

El presente estudio estuvo orientado a estimar los hidrogramas sintéticos en función de las características geomorfológicas de la cuenca del Río Pindo Grande y el afluente S/N. La metodología utilizada consistió en una observación directa, toma de datos en campo, un análisis estadístico y finalmente un modelamiento de software (HEC-HMS).

En el presente estudio se determinó las características geomorfológicas de la cuenca tales como área, perímetro, longitud de cauce, pendiente media del cauce, densidad de drenajes, orden de corrientes, coeficiente de compacidad, tiempo de concentración.

Se obtuvieron datos de precipitación de la estación meteorológica ubicada en la Estación Biológica Pindo Mirador, para luego obtener intensidades y precipitaciones máximas anuales y elaborar las curvas IDF para periodos de retorno de 2 y 5 años.

Se realizaron 6 mediciones de caudal (mensuales) en 5 puntos, 3 de ellos en el río Pindo Grande y 2 en el afluente S/N. además se realizó una práctica de infiltración en 12 puntos, 3 en cada río (en cada sitio se realizó a cada lado del río).

Finalmente, en el procesamiento estadístico se obtuvo el número de curva en condición II de humedad y en condiciones de humedad del suelo en atención a las precipitaciones previas, además se elaboró el hidrograma unitario del SCS, además se realizó una modelación en el programa HEC – HMS en donde se relaciona la precipitación con el caudal.

Los resultados obtenidos muestran que se trata de una cuenca muy pequeña de forma redonda oval redonda, presentando un relieve suave, posee un área de 7.55 km² y un perímetro es de 10.56 km, en el río Pindo Grande parte baja y en el afluente S/N parte baja se presentan los mayores caudales registrados en los 6 meses. El número de curva en condición II de humedad fue de 36 y en condiciones previas fue de 17.5

Palabras clave: Río Pindo Grande, Afluente S/N, Hidrograma unitario, numero de curva, caudal.

ABSTRACT, AND KEYWORDS.

The present study was aimed at estimating synthetic hydrographs based on the geomorphological characteristics of the Pindo Grande River basin and the S / N tributary. The used methodology consisted in a direct observation, data collection in the field, a statistical analysis and finally a software modeling (HEC-HMS).

In the present study the geomorphological characteristics of the basin were determined such as area, perimeter, length of channel, average slope of the channel, density of drainages, order of currents, coefficient of compactness, and time of concentration.

Precipitation data was obtained from the meteorological station located at the Pindo Mirador Biological Station, to obtain intensities and annual maximum precipitations and to elaborate the IDF curves for return periods of 2 and 5 years.

6 flow measurements (monthly) were made in 5 points, 3 of them in the Pindo Grande river and 2 in the S / N tributary. In addition, an infiltration practice was carried out in 12 points, 3 in each river (in each site it was carried out on each side of the river).

Finally, in the statistical processing the curve number was obtained in condition II of humidity and in soil moisture conditions in response to previous rainfall, in addition the unit hydrograph of the SCS was elaborated, and a modeling was carried out in the HEC HMS program, where precipitation is related to the flow.

The obtained results show that it is a very small oval basin, presenting a soft relief, and that it has an area of 7.55 km² and a perimeter of 10.56 km, in the cover part of the Pindo Grande river, and the cover part of the S/N tributary presents the highest flows recorded in the 6 months. The curve number in condition II of humidity was 36 and in previous conditions it was 17.5.

Key words: Pindo Grande River, Affluent S / N, Unit hydrograph, curve number, flow

TABLA DE CONTENIDO.

PORTADA.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	IV
DEDICATORIAS.....	IX
RESUMEN EJECUTIVO Y PALABRAS CLAVES.....	X
ABSTRACT, AND KEYWORDS.....	XI
TABLA DE CONTENIDO.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XV
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XVI
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	XVII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.4. HIPÓTESIS.....	3
1.5. OBJETIVOS.....	3
1.5.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
2.1. CUENCAS HIDROGRÁFICAS.....	4
2.1.1. TIPOS DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS.....	4
2.1.2. PARÁMETROS ASOCIADOS A LA FORMA DE LA CUENCA.....	5
2.1.3. PARÁMETROS RELATIVOS AL RELIEVE.....	5
2.1.4. PARÁMETROS RELATIVOS AL DRENAJE.....	5
2.1.5. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (TC).....	6
2.2. PLUVIOMETRÍA.....	6
2.2.1. PRECIPITACIONES.....	6
2.2.2. MEDICIÓN DE LA PRECIPITACIÓN.....	6
2.2.3. ANÁLISIS DE DATOS DE LLUVIA.....	7
2.2.4. CURVAS INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA (IDF).....	7
2.3. INFILTRACIÓN.....	8
2.3.1. VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN.....	9
2.3.2. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE LA INFILTRACIÓN.....	9
2.4. ESCORRENTÍA.....	9
2.5. CAUDALES DE AVENIDA.....	10
2.5.1. MODELOS EMPÍRICOS DE LA RELACIÓN LLUVIA-ESCURRIMIENTO.....	10
2.5.1.1. FÓRMULA RACIONAL.....	10
2.5.1.2. MÉTODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL.....	10
2.6. MODELAMIENTO HIDRÁULICO EN RÍOS.....	15
2.6.1. HEC-HMS (HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER- HYDROLOGIC MODELING SYSTEM).....	15
2.6.2. HEC RAS.....	16

2.7.	POSIBLES RIESGOS DE INUNDACIONES.....	16
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
3.1.	LOCALIZACIÓN.....	17
3.2.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	18
3.3.	MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....	18
3.4.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
3.4.1.	TRAZADO DE LOS AFLUENTES DEL RIO PINDO GRANDE Y EL AFLUENTE S/N.....	19
3.4.2.	DELIMITACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS.....	19
3.4.3.	PARÁMETROS ASOCIADOS A LA FORMA DE LA CUENCA.....	19
3.4.4.	PARÁMETROS RELATIVOS AL RELIEVE.....	20
3.4.5.	PARÁMETROS RELATIVOS AL DRENAJE.....	20
3.4.6.	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (TC).....	21
3.4.7.	PLUVIOMETRÍA.....	21
3.4.8.	CONSTRUCCIÓN DE CURVAS IDF.....	22
3.4.9.	HIETOGRAMA DE DISEÑO.....	22
3.4.10.	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DEL INFILTROMETRO DE CILINDRO SIMPLE.....	22
3.4.11.	ESTIMACIÓN DE CAUDALES.....	24
3.4.12.	ESTIMACIÓN DE MODELOS EMPÍRICOS DE LA RELACIÓN LLUVIA-ESCURRIMIENTO.....	26
3.4.12.1.	FÓRMULA RACIONAL.....	26
3.4.12.2.	MÉTODO DEL HIETOGRAMA UNITARIO DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL.....	26
3.4.13.	MODELAMIENTO CON EL HEC-HMS.....	30
3.5.	TALENTO HUMANOS Y MATERIALES.....	30
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
4.1.	CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA.....	31
4.1.1.	TRAZADO DE LOS AFLUENTES DEL RIO PINDO GRANDE Y EL AFLUENTE S/N.....	31
4.1.2.	DELIMITACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA.....	32
4.1.3.	PARÁMETROS ASOCIADOS A LA FORMA DE LA CUENCA.....	32
4.1.4.	PARÁMETROS RELATIVOS AL RELIEVE.....	33
4.1.5.	PARÁMETROS RELATIVOS AL DRENAJE.....	33
4.1.6.	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (TC).....	34
4.1.7.	PLUVIOMETRÍA.....	34
4.1.8.	CONSTRUCCIÓN CURVAS INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA (IDF).....	36
4.1.9.	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN.....	37
4.1.10.	ESTIMACIÓN DE CAUDALES DEL RÍO PINDO GRANDE Y EL AFLUENTE S/N.....	40
4.1.11.	ESTIMACIÓN DE MODELOS EMPÍRICOS DE LA RELACIÓN LLUVIA-ESCURRIMIENTO.....	44

4.1.11.1.	MÉTODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL (ESTIMACIÓN DEL NUMERO DE CURVA).....	44
4.1.11.2.	MODELACIÓN HIDROGRAMA UNITARIO DEL UNITED STATES SOIL CONSERVATION SERVICE, SCS.	45
4.1.12.	MODELAMIENTO HEC - HMS.....	48
4.2.	DISCUSIÓN.....	51
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	53
5.1.	CONCLUSIONES.....	53
5.2.	RECOMENDACIONES.	54
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	55
	ANEXOS.....	61
	ANEXO A. RESULTADOS DE VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN PROMEDIO E INFILTRACIÓN ACUMULADA.....	61
	ANEXO B. RESULTADOS DE CAUDAL EN CADA PUNTO.	66
	ANEXO C. FOTOS.	87

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Diferentes tamaños de una cuenca.	4
Tabla 2. Clase de orden de cauce.	5
Tabla 3. Clase de densidad de drenaje.....	6
Tabla 4. Clasificación de I_b	9
Tabla 5. Número de las curvas de escorrentía para complejos hidrológicos de tierras en condición II de humedad.	13
Tabla 6. Condiciones climáticas.....	18
Tabla 7. Características de la cuenca de acuerdo con el valor K_c	19
Tabla 8. Clasificación de la pendiente media del cauce.	20
Tabla 9. Tipos de suelo según sea su tasa mínima de infiltración.	26
Tabla 10. Condiciones de humedad del suelo en atención a las precipitaciones previas.....	28
Tabla 11. Conversión del número de curva de la condición II a las condiciones I Y III.....	28
Tabla 12. Talento humano y materiales.....	30
Tabla 13. Pendiente media del río Pindo Grande y afluente S/N.	33
Tabla 14. Tiempo de concentración del río Pindo Grande y afluente S/N.	34
Tabla 15. Precipitaciones máximas anuales de la Estación Biológica Pindo Mirador.	35
Tabla 16. Intensidades máximas anuales de la Estación Biológica Pindo Mirador.....	35
Tabla 17. Cálculos de periodos de retorno para 2 y 5 años para intervalos de tiempo.	36
Tabla 18. Puntos de medición de infiltración en el río Pindo Grande y el afluente S/N.	37
Tabla 19. Velocidad de infiltración en el río Pindo Grande.	39
Tabla 20. Velocidad de infiltración en el Afluente S/N.	40
Tabla 21. Puntos de medición de caudal.	40
Tabla 22. Ejemplo del perfil del cauce en el punto 1 (Pindo Grande parte alta) mes de agosto.....	41
Tabla 23. Ejemplo del perfil del cauce en el punto 1 (afluente S/N parte alta) mes de agosto.....	41
Tabla 24. Gasto base mensual de los sitios medidos en el Río Pindo Grande y Afluente S/N.....	44
Tabla 25. Parámetros para el modelamiento SCS.	46
Tabla 26. Parámetros para el modelamiento SCS.	47

ÍNDICE DE GRÁFICOS.

Grafico 1. Ubicación de los puntos de muestreo a estudiarse.	17
Grafico 2. Nomograma para la determinación de la condición hidrológica de un bosque.	27
Grafico 3. Definición del trazado de los afluentes del río Pindo Grande y el afluente S/N.	31
Grafico 4. Delimitación de la cuenca hidrográfica.	32
Grafico 5. Orden de corrientes del río Pindo grande y Afluente S/N.	33
Grafico 6. Curvas IDF para los periodos de retorno de 2 y 5 años.	36
Grafico 7. Infiltración acumulada y velocidad de infiltración promedio en el tiempo de infiltración en el P1 lado derecho del río Pindo Grande.	38
Grafico 8. Infiltración acumulada y velocidad de infiltración promedio en el tiempo de infiltración en el P1 lado derecho del Afluente S/N.	39
Grafico 9. Perfil de entrada del cauce en la parte alta del río Pindo Grande mes de agosto.	41
Grafico 10. Perfil de salida del cauce en la parte alta del río Pindo Grande mes de agosto.	41
Grafico 11. Perfil de entrada del cauce en la parte alta del río Pindo Grande mes de agosto.	42
Grafico 13. Estimación del gasto base en los puntos de monitoreo del Río Pindo Grande y Afluente S/N.	43
Grafico 14. Caudal en punta por milímetros de lluvia del río Pindo Grande.	46
Grafico 15. Caudal en punta por milímetros de lluvia del afluente S/N.	47
Grafico 16. Modelación HEC-HMS durante los meses de agosto y diciembre del río Pindo Grande.	49
Grafico 17: Modelación HEC-HMS durante los meses de agosto y diciembre del afluente S/N. ..	50

ÍNDICE DE ECUACIONES.

Ecuación 1: Coeficiente de compacidad.....	19
Ecuación 2: Pendiente media del cauce.....	20
Ecuación 3: Densidad de drenaje.....	20
Ecuación 4: Densidad de corrientes.....	21
Ecuación 5: Fórmula de Kirpich.....	21
Ecuación 6: Velocidad de infiltración promedio.....	23
Ecuación 7: Velocidad instantánea.....	23
Ecuación 8: Valor de N para velocidad instantánea.....	23
Ecuación 9: Teorema de Pitágoras.....	24
Ecuación 10: Área de mojado.....	25
Ecuación 11: Radio hidráulico.....	25
Ecuación 12: Pendiente.....	25
Ecuación 13: Velocidad.....	25
Ecuación 14: Valor de n para velocidad.....	25
Ecuación 15: Caudal.....	26
Ecuación 16: Caudal punta.....	29
Ecuación 17: Tiempo en punta.....	29
Ecuación 18: Duración de lluvia efectiva.....	29
Ecuación 19: Tiempo de retardo.....	30

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. INTRODUCCIÓN.

El agua es un recurso de vital importancia para el desarrollo de la vida y por ende un factor importante para la humanidad en todos los aspectos o sectores de aprovechamiento, por lo cual el estudio de las precipitaciones en una región, tiene importancia debido a las actividades predominantes que se relacionan con el aprovechamiento de recursos hídricos (García, 2011).

Una cuenca hidrográfica es el área que está limitado por la línea divisoria de las aguas, formando un sistema hídrico superficial conformado por una red de cursos de agua, que conlleva a formar un cauce principal (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2010). Se puede definir también como un área natural en donde cae la precipitación, la misma que recorre el escurrimiento hasta llegar a un punto de salida en el cauce principal (Umaña, 2002).

Los hidrogramas unitarios sintéticos permiten construir modelos lluvia escorrentía para determinar en una precipitación; duración, caudales máximos para distintos periodos de retorno. El tiempo de concentración es estimado en función de los parámetros geomorfológicos de la cuenca (área, pendiente media, cota mínima y máxima) (Rojo, 2010).

El estudio de las precipitaciones y su distribución temporal tiene varias aplicaciones que son motivo de interés para más de una rama científica, al tiempo que puede brindar índices para estudios de crecidas o permitir la alimentación de modelos precipitación-escorrentía que permite mejorar información disponible. Por ende, es necesario conocer, analizar y estudiar las intensidades de precipitación para distintos períodos de retorno, el presente estudio abordara el estudio del Río Pindo y afluente S/N del Río los cuales se estudiarán bajo dos enfoques, uno por la parte geomorfológico-histórico y otra parte desde una modelización hidrológica - hidráulica. El objetivo final será generar los hidrogramas sintéticos a través del sistema HEC-HMS.

Las inundaciones son fenómenos naturales que se dan por las cantidades inusuales de precipitación y que el cauce no puede drenar, por ende, es importante estudiar las precipitaciones para conocer la distribución hidrológica y determinar las intensidades de precipitación para distintos períodos de retorno en una cuenca (Brown, *et al.*, 2013).

La incidencia del presente Proyecto tiene un enfoque social, ya que es de gran aporte a la comunidad de Moravia y Shell. Es de conocimiento que los asentamientos poblacionales son circundantes a las cuencas de los ríos por lo cual en época de altas precipitaciones fluviales se ven afectados, tanto en sus actividades agrícolas como la infraestructura de sus viviendas ya que en ocasiones la creciente genera deslaves y erosión de las riveras por donde circula el afluente.

En la actualidad el gobierno parroquial de Shell y el Consejo Provincial han trabajado en minimizar el impacto de las crecidas en áreas frágiles, la cuestión es que no son suficiente ya que la fuerza de la naturaleza es impredecible. Sin embargo, un sistema de alerta temprana basado en las mediciones de caudales y una estimación de la variabilidad que estos afluentes producen sería una opción emergente que debe considerarse con miras a crear mediciones de crecida en áreas pobladas con el fin de que pueda medirse el caudal y considerar el desalojo de ciertas zonas frágiles para prevenir pérdidas humanas.

1.2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

La falta de información de la precipitación y de los caudales no permite establecer un patrón de comportamiento en una zona establecida y poder analizarlo para un uso posterior. Esta información es necesaria para diseñar y planificar actividades de construcción y planificación de obras, así como establecer planes de gestión de riesgos y áreas donde pueda haber afectaciones. Pero muchas veces no se dispone de un determinado registro de caudales, o en caso de haber estos no tienen una duración suficiente como para poder realizar un análisis de frecuencia es entonces que se usa la información pluviométrica para estimar crecidas de cierta frecuencia respecto a una tormenta o lluvia.

Para determinar los hidrogramas unitarios sintéticos en cuencas hidrográficas, se pueden realizar mediante las fórmulas teóricas o empíricas que relacionan el caudal máximo y las características de tiempo de la cuenca. Pero cabe recalcar que las fórmulas presentan unas ciertas restricciones que limitan su uso, por eso deben aplicarse con la máxima preocupación. Además, hay que considerar la escasa información que se tiene de estos métodos, a nivel mundial existen muchos estudios sobre la modelación de hidrogramas unitarios sintéticos. A nivel local, no existen estudios sobre hidrogramas unitarios sintéticos en las cuencas hidrográficas de la provincia.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

El desconocimiento de las características geomorfológicas no permite predecir el comportamiento de la cuenca en la zona del afluente del río Pindo Grande y el afluente S/N.

1.4. HIPÓTESIS.

Mediante los hidrogramas unitarios sintéticos se podrá estimar los caudales ante la presencia de crecidas y determinar las posibles zonas de inundación en la cuenca hidrográfica del río Pindo Grande y el afluente S/N.

1.5. OBJETIVOS.

1.5.1. OBJETIVO GENERAL.

Estimar los hidrogramas sintéticos en función de las características geomorfológicas de la cuenca del Río Pindo Grande y el afluente S/N.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Definir las características geomorfológicas de la cuenca del Río Pindo Grande y el afluente S/N.
- Determinar las características pluviométricas de la zona de la cuenca del Río Pindo Grande y el afluente S/N.
- Determinar el gasto base de la cuenca del Río Pindo Grande y el afluente S/N.
- Establecer los hidrogramas sintéticos de la cuenca del Río Pindo Grande y el afluente S/N en función del sistema de conservación del suelo (SCS).

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN.

2.1. CUENCAS HIDROGRÁFICAS.

Es un área natural en donde se reúnen todas las aguas que se precipitan, esta área puede ser un río, lago o mar, y aquí se relacionan entre si los seres vivos incluyendo al ser humano, la cuenca no solo es considerada la parte superficial, sino también la subterránea, que comprende hasta los estratos limitantes que están bajo la tierra (Cordero, 2013).

La cuenca hidrográfica está compuesta por: Recursos Naturales (agua, suelo, vegetación, fauna, recursos geofísicos, geológicos, geomorfológicos, climáticos), aspectos sociales (población, cultura, creencia, costumbres, ideologías), aspectos económicos (producción, productividad, mercadeo, consumo, comercialización, empleo) y aspectos jurídicos (tenencia de los recursos tanto de la tierra y el agua, participación de las organizaciones comunitarias e instituciones locales, gubernamentales y las no gubernamentales) (Montaguano & Salamea, 2012).

Los caudales de escurrimiento aumentan a medida de la superficie de la cuenca. Es más común detectar crecientes instantáneos en cuencas pequeñas, existen diferentes tamaños de cuenca, los cuales se muestran en la tabla 1 (Tingo, 2016).

Tabla 1. Diferentes tamaños de una cuenca.

Área de la cuenca (Km ²)	Descripción
< 25	Muy pequeña
25-250	Pequeña
250-500	Intermedia-pequeña
500-2.500	Intermedia-grande
2.500-5.000	Grande
>5.000	Muy grande

Fuente: (Tingo, 2016).

2.1.1. TIPOS DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS.

Las cuencas hidrográficas por la dirección de la evacuación de las aguas se clasifican en tipos:

- ✓ **Exorreicas:** Son aquellas cuencas que evacuan sus aguas al mar o al océano (Cacoango, 2014).
- ✓ **Endorreicas:** Son aquellas cuencas que desaguan en lagos, lagunas o salares y estas no tienen comunicación fluvial al mar (Geraldí, *et al.*, 2010).
- ✓ **Arreicas:** Las aguas de esta cuenca no se evacúan al mar o a los lagos, el agua se evapora o se filtra antes de llegar a una red de drenaje (Rodas, 2014).

2.1.2. PARÁMETROS ASOCIADOS A LA FORMA DE LA CUENCA.

A. Área (A): Es la extensión que posee la cuenca (km^2). Se determina en un plano horizontal de superficie de la cuenca y puede medirse directamente en el mapa topográfico, es el punto horizontal más importante de superficie real de la cuenca (Romero, 2011).

B. Perímetro (P): Es la distancia que se mide de manera horizontal, desde el punto más alto hasta el punto más bajo de la cuenca, expresado en metros o kilómetros (Anaya, 2012).

C. Longitud de cauce: Es la distancia horizontal que existe desde la cabecera de la cuenca hasta el límite de la misma (Carvallo & Delgado, 2013).

D. Coeficiente de compacidad (kc): Este coeficiente es adimensional, y es la relación entre dos parámetros, los cuales son Perímetro de la cuenca y Área de la cuenca, estos valores nunca toman el valor inferior a uno (Meza, *et al.*, 2014).

2.1.3. PARÁMETROS RELATIVOS AL RELIEVE.

Pendiente media: es la relación entre la diferencia de las elevaciones (cota máxima – cota mínima), entre la longitud total del cauce (Tutoriales al Día - Ingeniería Civil, 2013).

2.1.4. PARÁMETROS RELATIVOS AL DRENAJE.

A. Orden de los cauces: Sirve para determinar el grado de ramificación de una cuenca hidrográfica, se clasifica por órdenes, los de orden 1 no presentan ramificación, los de orden 2 es la unión de ramificaciones de primer orden, los de orden 3 es la unión de ramificaciones de segundo orden, y así sucesivamente, cuando dos órdenes de cauce se unen resulta un orden de cauce del que lleva el mayor orden, por lo expuesto el orden del cauce principal será el de la cuenca hidrográfica (Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, 2010).

Mientras mayor sea el orden los cauces, mayor será la red y su estructura definida y se clasifica de acuerdo a la tabla 2, mayor orden indica un drenaje más eficiente (Juárez, 2016).

Tabla 2. Clase de orden de cauce.

Rangos de ordenes	Clasificación
1-2	Bajo
2-4	Medio
4-6	Alto

Fuente: (Juárez, 2016).

B. Densidad de drenaje (Dd): Es la relación entre la suma total de los cauces y el área de la cuenca (Meza, *et al.*, 2014).

Este parámetro nos revela el régimen y la morfología de la cuenca, valores altos reflejan un fuerte escurrimiento tal como se aprecia en la tabla 3, además de indicar que es una cuenca de drenaje alta y que debería responder rápido, a la influencia de la precipitación (Juárez, 2016).

Tabla 3. Clase de densidad de drenaje.

Rangos de Densidad	Clases
0.1 – 1.8	Baja
1.9 – 3.6	Moderada
3.7 – 5.6	Alta

Fuente: (Juárez, 2016).

C. Densidad de corrientes (Ds): Es la relación entre el número de corrientes y el área de la cuenca (Breña & Jacobo, 2006).

2.1.5. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (TC).

Es el tiempo que se tarda una gota de agua que cae por precipitación en el extremo de la cuenca hasta llegar al punto de salida (Tutoriales al Día - Ingeniería Civil, 2013).

2.2. PLUVIOMETRÍA.

Es el estudio y procesamiento de los datos de precipitación obtenidos de las estaciones pluviométricas o de los pluviómetros situados a lo largo del territorio, dichos datos servirán para elaborar la climatología de la zona, los datos de pluviometría se expresan en milímetros de agua (cantidad de agua acumulada en 1m² de una superficie horizontal) (Mejía & Salamea, 2011).

Para la estimación de la pluviometría se realiza mediante la descarga de datos de la estación meteorológica, recopilando información sobre las lluvias máximas diarias registradas, formando una serie anual de lluvias máximas diarias, y de cada año seleccionando el registro del día más lluvioso, asociadas a distintos periodos de retorno, de acuerdo a los datos que se obtendrán se estimarán otros valores tales como duraciones, frecuencias (Fernández, 2008).

2.2.1. PRECIPITACIONES.

Es toda forma de humedad originada en las nubes y llega hasta el suelo en forma de lluvias, granizadas, garuas o nevadas. Para que se forme la precipitación se necesita que una masa de agua se eleve en la atmosfera y a la vez esta se enfría y su humedad se condensa (Villón, 2002).

2.2.2. MEDICIÓN DE LA PRECIPITACIÓN.

Según Villón (2002) para medir la precipitación se utiliza instrumentos que están expuestos a la intemperie, entre estos instrumentos están:

- El pluviómetro: recipiente cilíndrico de lámina con tapa en forma de embudo y una probeta que es menor que la tapa, se mide el agua de la probeta con una regla graduada cada 24 horas, para hacer mediciones mensuales o anuales se utiliza pluviómetros totalizadores.
- El pluviógrafo: sirve para medir la altura de la lluvia en un determinado tiempo, está formado de un embudo que está unido a flotadores, donde se origina un movimiento de agujas sobre un papel registrador, generando un gráfico llamado pluviograma.

Dichos equipos e instrumentos deben ser instalados de manera adecuada en zonas donde no haya edificaciones, árboles o elementos orográficos como rocas elevadas, ya que dichos elementos interfieren con la toma de datos (Escalona & Velazquez, 2006).

2.2.3. ANÁLISIS DE DATOS DE LLUVIA.

Para el análisis de pluviometría se debe realizar un análisis para saber si existe homogeneidad en la estación, por eso es necesario obtener una confianza respecto a los datos, ya que en ocasiones la estación es manipulada respecto a su ubicación y a condiciones meteorológicas y ambientales, y es necesario comparar con estaciones cercanas que no hayan sido modificadas. El análisis se ejecuta a manera gráfica que muestra condiciones de precipitaciones acumuladas a lo largo del tiempo de la estación en referencia con la estación distante de referencia, este análisis muestra si ambas estaciones están en el mismo grado de homogeneidad (Allen, 2007).

VALORES MEDIOS CARACTERÍSTICOS.

Allen (2007) menciona que los datos que se pueden obtener en las estaciones meteorológicas son; precipitación total mensual, precipitación durante 24 horas en el pluviómetro, precipitación máxima mensual en 24 horas en el pluviómetro, número de días de lluvia durante el mes en la estación, estos valores al pasar el tiempo se tornan complejos y por eso se debe recurrir a los procedimientos estadísticos que sintetizan la información en pocos parámetros.

2.2.4. CURVAS INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA (IDF).

Son relaciones existentes entre intensidad y duración de un evento máximo de lluvia, relacionado a la frecuencia, que se muestran de forma gráfica (Pizarro, *et al.*, 2013), ubicando la intensidad en un eje vertical y la duración en un eje horizontal, y conteniendo una serie de curvas para cada uno de los periodos de retorno (Cojulun, 2013).

Para la construcción de las curvas IDF, hay que examinar la frecuencia máxima de la precipitación, para cada duración. La medición de la precipitación se expresa en milímetros y representa el espesor de una lámina de agua que se acumularía en una superficie horizontal. Los datos para la elaboración de las curvas IDF se utilizarán los de las estaciones meteorológicas que registran los datos durante el año por medio de bandas milimetradas (Cojulun, 2013).

Mediante las curvas IDF se determinarán los eventos de lluvia, y se usara una tormenta de diseño, esto es un evento que involucra una relación entre la intensidad de lluvia o profundidad, duración de las mismas y frecuencia o periodos de retorno (Bacuilima & Cedillo, 2012).

HIETOGRAMAS.

Son gráficos que sirven para determinar la hora y la cantidad de precipitación sucedida (intensidad de una tormenta) en un determinado lugar, los hietogramas registran la cantidad de precipitación medidas en milímetros por hora (Villón, 2002).

Para estudiar un aguacero, también es esencial conocer el periodo de retorno del mismo, de este modo se puede predecir de cierta manera, cada que lapso de tiempo acontece un evento de esta naturaleza (Valverde, 2007).

Para la elaboración de los hietogramas de diseño se realizará utilizando las curvas IDF, mediante un método llamado método de bloque alterno, el hietograma que se obtendrá especificará la profundidad de precipitación que ocurre en n intervalos de tiempo sucesivos de duración Δt sobre una duración total (Bacuilima & Cedillo, 2012).

Bacuilima & Cedillo (2012) sugieren que una vez que ya se haya seleccionado el periodo de retorno, la intensidad será leída en una curva IDF para cada una de las duraciones y la profundidad de precipitación se encuentra al multiplicar la intensidad y la duración.

2.3. INFILTRACIÓN.

Es un proceso por el cual el agua ingresa al subsuelo desde la superficie, la tasa de infiltración depende de algunos componentes; condición del suelo, porosidad, conductividad hidráulica, contenido de humedad, duración de la lluvia, patrón de drenaje en la cuenca y la pendiente del suelo (Sistema Intermunicipal de los servicios de Agua Potable y Alcantarillado, 2014).

2.3.1. VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN.

Es la velocidad con que el agua ingresa al suelo y se expresa en mm/h o cm/h (Marano, 2011). Para medir la velocidad de infiltración se lo puede realizar por el método del infiltrometro de cilindro simple el mismo que consiste en enterrar un cilindro metálico a unos pocos centímetros en el suelo, después hay que llenarlo de agua a una altura no mayor a 10 cm, con una regla y un cronómetro, se medirá la variación de altura de agua en el tiempo, habría que considerar que la estabilización dependerá del tipo de suelo (Cox, 2006).

2.3.2. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE LA INFILTRACIÓN.

- **VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN INSTANTÁNEA:** Volumen de agua que penetra a través del suelo en un periodo de tiempo muy breve, al principio se presenta una disminución rápida, luego una disminución lenta, en el cabo de 3-4 horas se torna estable (Osorno, 2006).
- **VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN BÁSICA:** Velocidad constante que se obtiene después de unas 3 ó 4 horas (Osorno, 2006), la clasificación de la infiltración básica (I_b) se muestra en la tabla 4:

Tabla 4. Clasificación de I_b .

Clasificación	I_b (cm/h)
Muy lenta	< de 0.25
Lenta	0.25 – 1.5
Media	1.5 – 2.8
Alta	2.8 – 5.3
Muy alta	> de 5.3

Fuente: (Osorno, 2006)

2.4. ESCORRENTÍA.

Es el agua que procede de la lluvia y que llega a una corriente para ser drenada o escurrida a la a la superficie del suelo (Perez & Rodríguez, 2009), al momento de producirse escorrentía esta circula hasta los cauces llegándose a incrementar su volumen, esta agua a medida que llega a partes más lejanas empieza a decrecer su caudal (Gaspari, *et al.*, 2007).

ESTIMACIÓN DE CAUDALES – MANNING.

Es un método volumétrico para realizar cálculos de velocidad del agua en canales abiertos y tuberías, involucrando gradiente o pendiente, rugosidad, forma de los canales (FAO, 1997).

2.5. CAUDALES DE AVENIDA.

Este concepto está relacionado con el crecimiento de los niveles de agua a valores no usuales, debido a un crecimiento de caudal por las precipitaciones fuertes y que la cuenca no es capaz de equiparar totalmente. Para realizar el cálculo de caudales de avenida se requieren algunos datos relacionados con las precipitaciones. El objetivo consiste en calcular valores máximos para el dimensionamiento de obras o estudios de inundabilidad de márgenes (Robredo, 2014).

2.5.1. MODELOS EMPÍRICOS DE LA RELACIÓN LLUVIA- ESCURREIMIENTO.

En estos modelos se considera que los elementos principales del hidrograma de puede calcular con las características físicas promedios de la cuenca. A este grupo pertenecen el método racional, el de Burky-Ziegler y el gráfico alemán (Sánchez, 2016).

2.5.1.1.FÓRMULA RACIONAL.

Esta fórmula sirve para realizar las primeras aproximaciones de caudal durante una precipitación (Sánchez, 2016). Es un método simple empleado a estimar un caudal máximo en cuencas de drenaje pequeñas inferiores a 1.6 km² (Álvarez & Calle, 2013).

2.5.1.2.MÉTODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL.

A. HIDROGRAMA UNITARIO (HU).

Los hidrogramas unitarios en la actualidad tienen gran relevancia sobre todo en las cuencas de tamaño medio (Robredo, 2014).

El mismo autor señala el procedimiento de cálculo de avenidas mediante el hidrograma unitario que consiste en:

- Cálculo del H.U. correspondiente al intervalo de precipitación que esté considerando.
- Cálculo de los hidrogramas correspondientes a cada uno de los intervalos de precipitación, multiplicando el H.U. por la magnitud de la precipitación neta (escorrentía) del intervalo.
- Suma de los hidrogramas obtenidos en el apartado anterior, ordenada, teniendo en cuenta que cada hidrograma comienza cuando empieza su intervalo correspondiente de precipitación neta.

De esta forma, se podría reconstruir el hidrograma de avenida generado por cualquier tormenta, siempre que se disponga la distribución temporal de intensidades (Robredo, 2014).

Según Sánchez (2016) para obtener un HU se realiza un registro de avenida mediante un aforador y un pluviograma de la tormenta y del hidrograma generado en la salida de la cuenca, los pasos a seguir son:

- 1) En el hidrograma hay que separar escorrentía superficial y descarga superficial
- 2) Estimar la lluvia neta que genera la precipitación registrada, considerando que el volumen total de escorrentía sobre la cuenca debe coincidir con el volumen de agua que representa el hidrograma de avenida.

B. HIDROGRAMAS UNITARIOS SINTÉTICOS (SNYDER).

Snyder (1938) es el pionero en establecer relaciones entre la forma de la cuenca con parámetros básicos del HU y propuso la fórmula para cálculo del tiempo de retardo de la cuenca. Son simulados, artificiales y se obtienen a través del uso de fisiográficas y parámetros de la cuenca de interés. Su fin es simular un hidrograma representativo del fenómeno hidrológico, para calcular el caudal pico para su diseño (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008).

C. HIDROGRAMA UNITARIO DEL UNITED STATES SOIL CONSERVATION SERVICE, SCS.

Este método es adimensional, sirve para estimar la precipitación, a partir de datos de la precipitación total y las características de la cuenca. Para calcular el tiempo de respuesta, el SCS usa dos métodos: método del número de curva CN y método de velocidad. El CN, está limitado a cuencas hidrográficas menores a 8 km^2 , aunque estudios recientes se considera que se podría extender hasta cuencas mayores de 16 km^2 , se realiza en base a datos de precipitación y escorrentía durante 24 horas y por lo ende se limita el cálculo de la precipitación efectiva, ya que no considera las variaciones temporales de intensidad de lluvia (Jaramillo, 2009).

1. Estimación del numero de la curva en condición II de humedad

Según Ruiz & Martínez (2015) definen la clasificación de los cuatro grupos de suelo, según la tasa mínima de infiltración:

- **Grupo A.-** Son aquellos que presentan tasas bajas de escorrentía ya que poseen tienen tasas grandes de infiltración, los suelos presentan gran cantidad de arenas bien drenadas, gravas o gravillas.

- **Grupo B.-** Son aquellos que presentan moderadas capacidades de escorrentía e infiltración, y por ende son suelos moderadamente profundos y drenados, presentan texturas finas.
- **Grupo C.-** Son aquellos que presentan tasas moderadamente altas de escorrentía ya que las tasas de infiltración son demasiado bajas (infiltración lenta), esto es debido a que cercano a la superficie se presente alguna capa que dificulte el movimiento del agua, estos suelos presentan texturas finas.
- **Grupo D.-** Son aquellos que presentan tasas grandes de escorrentía, ya que la infiltración es demasiado lenta, son suelos arcillosos y pocos profundos.

Según Martínez *et al.*, 2003 se diferencian 14 tipos de vegetación, los mismos que se describen a continuación:

- 1 Barbecho.** - Los terrenos agrícolas no cultivados pueden estar desnudos o tener una cubierta de residuos vegetales que proteja el suelo, procedente de cultivos anteriores.
- 2 y 3 Cultivos alineados y no alineados o con surcos pequeños y mal definidos.** - Cuando las labores agrícolas se realizan en líneas pueden ejecutarse en la dirección de la pendiente, según curvas de nivel, o incluso en terrenos aterrizados. En todos estos casos se considera la posibilidad de que el suelo esté protegido por restos vegetales.
- 4 Cultivos densos de leguminosas o prados en alternancia.** - Sólo se consideran las posibilidades de cultivos a favor de la pendiente, según curvas y aterrizados de nivel.
- 5 y 6 Pastizales o pastos naturales y Pastizales.** - Se clasifican en tres grupos (pobres, regulares y buenos) teniendo en cuenta consideraciones hidrológicas y no la producción de forraje. Se consideran pobres los que soportan una alta carga ganadera por lo que tienen escasa materia orgánica sobre el terreno; también aquéllos en los que las plantas cubren menos del 50 % de la superficie total. Los regulares son los que tienen una cubierta vegetal que alcanza entre un 50 % y un 75 % de la superficie del terreno y son moderadamente pastados. Y, finalmente, los buenos son aquéllos cuya cubierta vegetal supera el 75 % de la superficie del terreno y son ligeramente pastados. Mientras que los pastizales la diferencia es que las labores se efectúan sobre curvas de nivel.
- 7 Prados permanentes.** - Este tipo de formaciones no son pastadas. Su vegetación es permanente, cubre el 100 % de la superficie del terreno. Son prados de siega para henificar.

8 Matorral-herbazal, siendo el matorral preponderante. - Dentro de este grupo se hacen 3 subdivisiones, en función de la superficie cubierta. Así, se distingue entre pobre (si la cubierta del suelo es inferior al 50 %), regular (del 50 % al 75 % de la cubierta vegetal) y buena (si hay una cubierta vegetal superior al 75 %).

9 Combinación arbolado-herbazal. - Los números de curva que se indican se refieren a un 50 % de la cubierta proporcionada por el arbolado y un 50 % por el herbazal.

10 Montes con pastos. - Se establecen 3 clases basadas en factores hidrológicos y no de producción. La diferenciación, se realiza mediante observación del terreno. De esta manera, los montes con pastos se consideran pobres cuando se dan labores al terreno o cuando son abundantemente pastados o incluso quemados, de modo que el monte está sin arbustos, matas, pastos y restos vegetales. Se consideran regulares cuando son pastados, pero nunca labrados o quemados, de manera que la superficie del terreno presenta pastos y mantillo.

Por último, son buenos aquéllos en que, protegidos del pastoreo, el terreno aparece cubierto de matas abundantes, pastos naturales y restos orgánicos de toda clase.

11 Bosques. - Establece 5 clases hidrológicas, desde muy pobre hasta muy buena. Se basan en la consideración de la profundidad y el grado de consolidación de las capas de mantillo, de modo que cuanto mayor sea el espesor de dichas capas y menos compactas e impermeables aparezcan tanto mejor será la condición hidrológica resultante para la infiltración. En este caso, la clase hidrológica se determina mediante un nomograma (grafico 2).

12 13 y 14 Caseríos, caminos en tierra y caminos con firme. - Existen tablas específicas del número de curva desarrolladas para zonas urbanas.

Para la determinación de la condición hidrológica del terreno se basó en la combinación de factores como se muestra en el grafico 2.

Para la obtención del número de curva, se basó en la guía de la tabla 9.

Tabla 5. Número de las curvas de escorrentía para complejos hidrológicos de tierras en condición II de humedad.

Tipo de vegetación	Tratamiento*	Condición Hidrológica	Tipo de suelo			
			A	B	C	D
Barbecho	Desnudo	-	77	86	91	94
	CR	Pobre	76	85	90	93
	CR	Buena	74	83	88	90

Cultivos alineados	R	Pobre	72	81	88	91
	R	Buena	67	78	85	89
	R + CR	Pobre	71	80	87	90
	R + CR	Buena	64	75	82	85
	C	Pobre	70	79	84	88
	C	Buena	65	75	82	86
	C + CR	Pobre	69	78	83	87
	C + CR	Buena	64	74	81	85
	C + T	Pobre	66	74	80	82
	C + T	Buena	62	71	78	81
	C + T + CR	Pobre	65	73	79	81
	C + T + CR	Buena	61	70	77	80
Cultivos no alineados, o con surcos pequeños o mal definidos	R	Pobre	65	76	84	88
	R	Buena	63	75	83	87
	R + CR	Pobre	64	75	83	86
	R + CR	Buena	60	72	80	84
	C	Pobre	63	74	82	85
	C	Buena	61	73	81	84
	C + CR	Pobre	62	73	81	84
	C + CR	Buena	60	72	80	83
	C + T	Pobre	61	72	79	82
	C + T	Buena	59	70	78	81
	C + T + CR	Pobre	60	71	78	81
	C + T + CR	Buena	58	69	77	80
Cultivos densos de leguminosas o prados en alternancia	R	Pobre	66	77	85	89
	R	Buena	58	72	81	85
	C	Pobre	64	75	83	85
	C	Buena	55	69	78	83
	C + T	Pobre	63	73	80	83
	C + T	Buena	51	67	76	80
Pastizales o pastos naturales	-	Pobres	68	79	86	89
	-	Regulares	49	69	79	84
	-	Buenas	39	61	74	80
Pastizales	C	Pobres	47	67	81	88
	C	Regulares	25	59	75	83
	C	Buenas	6	35	70	79
Prados permanentes	-	-	30	58	71	78
Matorral-herbazal, siendo el matorral preponderante	-	Pobres	48	67	77	83
	-	Regulares	35	56	70	77
	-	Buenas	≤30	48	65	73
Combinación de arbolado y herbazal, cultivos agrícolas leñosos	-	Pobres	57	73	82	86
	-	Regulares	43	65	76	82
	-	Buenas	32	58	72	79
Montes con pastos (aprovechamientos silvopastorales)	-	Pobres	45	66	77	83
	-	Regulares	36	60	73	79
	-	Buenas	25	55	70	77
Bosques	-	I Muy pobre	56	75	86	91
	-	II Pobre	46	68	78	84

	-	III Regular	36	60	70	76
	-	IV Buena	26	52	63	69
	-	V Muy buena	15	44	54	61
Caseríos	-	-	59	74	82	86
Caminos en tierra	-	-	72	82	87	89
Caminos con firme	-	-	74	84	90	92

Fuente: (Martínez, *et al.*, 2003).

***Significado de las abreviaturas:**

- CR=Con cubierta de residuos vegetales que ocupe al menos el 5% de la superficie del suelo durante todo el año.
- R=Si las labores de la tierra (labrar, gradear, sembrar, etc.) se realizan en línea recta, sin considerar la pendiente del terreno.
- C=Si el cultivo se realiza siguiendo las curvas de nivel.
- T=Si se trata de terrenos aterrizados

2.6. MODELAMIENTO HIDRÁULICO EN RÍOS.

Son modelos desarrollados por el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC-Hydrologic Engineering Center) del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (US Army Corps of Engineers), conocidos como los programas HEC HMS – Sistema de Modelado Hidrológico (HMS-Hydrologic Modeling System), son uno de los principales modelos para la realización de estudios hidrológicos de los diversos fenómenos que ocurren en la naturaleza son tan complejos que requieren mayor uso de modelos matemáticos de probada eficacia (Instituto Didactia, 2017).

2.6.1. HEC-HMS (HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER-HYDROLOGIC MODELING SYSTEM).

Es un modelo que simula una determinada tormenta, modeliza cuencas, inclusión de lluvias con creación de tormentas, función de pérdida, cálculo y supersición y tránsito de hidrogramas, laminación de embalses y otros efectos en el cauce (Martínez E. , 2005). Además, se utiliza para evaluar los efectos en los hidrogramas y delimitar zonas inundables (López, *et al.*, 2012).

Los datos para la realización de los hidrogramas son los datos físicos y precipitación y se puede dividir la cuenca en subcuencas, en la misma que se puede realizar cálculos; separación de lluvia

neta, escorrentía producida por la precipitación neta y calcula cómo evoluciona un hidrograma a medida que discurre a lo largo de un cauce (Otálvaro, 2016).

El método del hidrograma unitario del United States Soil Conservation Service, SCS, se aplica a partir de un mapa ráster de precipitación obtenido por interpolación de datos pluviométricos, donde se calcula la media ponderada de precipitación por cuencas, y es el dato que será empleado en HEC-HMS. A este volumen precipitado en 24 horas se aplicará una distribución temporal del tipo SCS, eligiendo el intervalo temporal más adecuado (García & Conesa, 2011).

2.6.2. HEC RAS.

HEC-RAS sirve para realizar una determinación de inundabilidad y cuáles son las zonas inundables, además este modelo puede generar datos geoespaciales para el análisis de la velocidad, el esfuerzo cortante, la potencia de la corriente, el espesor del hielo y los datos de invasión del canal de inundación (Departamento de Defensa de los Estados Unidos, 2013).

Esta aplicación modela el flujo del agua en ríos y canales, el sistema integrado de software permite un uso interactivo en tareas variadas. Este sistema se compone de una interfaz gráfica para el usuario, así puede separar, diferenciar y ordenar los componentes de análisis hidráulico, almacén de datos y administración de los mismos (Álvarez & Calle, 2013).

2.7. POSIBLES RIESGOS DE INUNDACIONES.

Inundación es el agua que sale de sus cauces y se dispone en los lugares que normalmente están secos por un periodo temporal, se dan por la combinación de varios factores como las crecidas de los ríos, las condiciones escasas de los sistemas de evacuación (Ferrando & Francisco, 2006).

Luego de la precipitación se realizan los hidrogramas de tormenta que sirven para valorar los riesgos de las inundaciones, en lo que se representan las variaciones de caudal en las horas siguientes de la precipitación. El tiempo que media entre el máximo de precipitaciones y el momento en que alcanza el caudal punta es el tiempo de respuesta, cuanto menor sea este tiempo existe mayor riesgo ya que existe menos tiempo para dar la alarma y tomar las medidas adecuadas para evacuar a la población (Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, 2012).

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. LOCALIZACIÓN.

El estudio se realizó en el río Pindo Grande y un afluente sin nombre del mismo río, en la parroquia Shell, cantón Mera, provincia de Pastaza. Se realizaron 6 mediciones mensuales de caudal (agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre y enero). En el Río Pindo Grande se midieron en tres puntos caudal, mientras que el afluente sin nombre dos puntos (Gráfico 1).

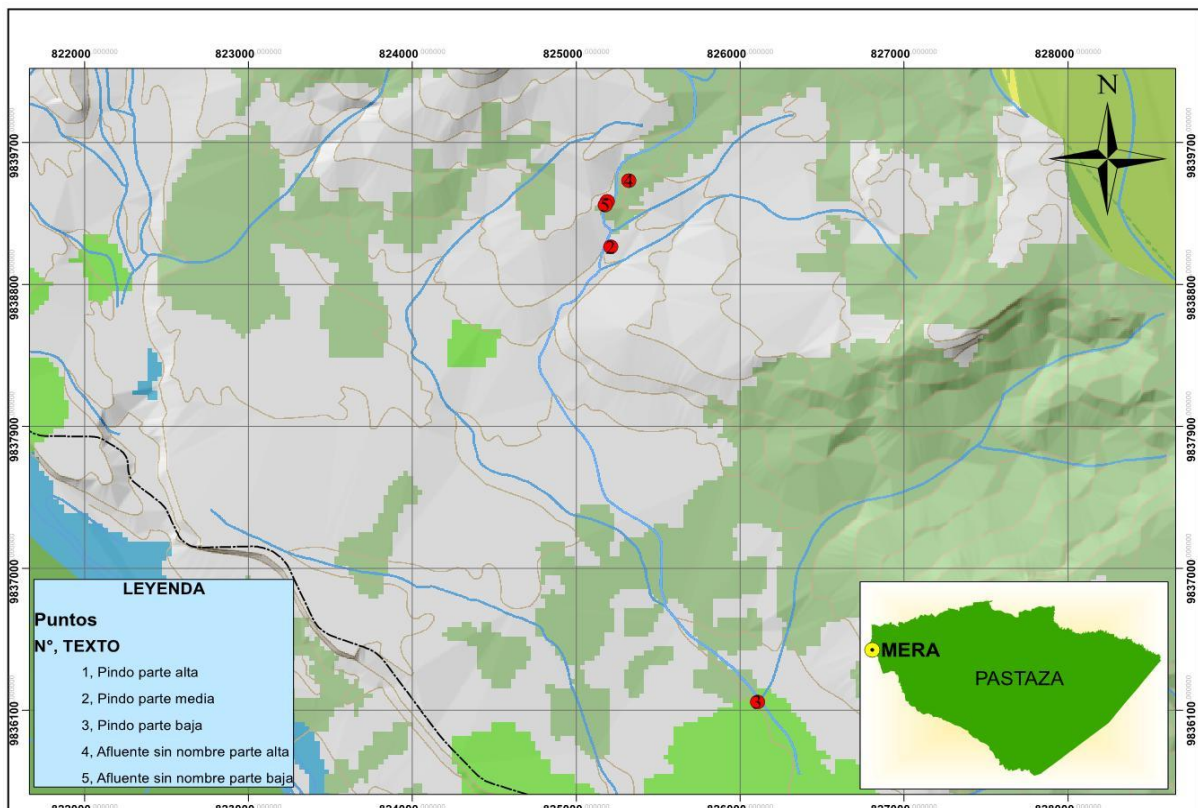


Gráfico 1. Ubicación de los puntos de muestreo a estudiarse.

De los 5 puntos donde se midió caudal 4 de ellos se encuentran en la Estación Biológica Pindo Mirador y la restante se encuentra en el sector la Moravia. Los ríos están ubicados en una zona de vida de tipo bosque muy húmedo Premontano (b.m.h.PM). Las condiciones climáticas presentan los valores señalados en la tabla 5.

Tabla 6. Condiciones climáticas.

Parámetros	Valores
Precipitación media mensual	452,1 mm
Temperatura máxima promedio mensual	28,4°C
Temperatura mínima promedio mensual	15,9°C
Temperatura promedio mensual	21,6°C
Humedad relativa del aire promedio mensual	84 %

Fuente: Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Shell, 2015.

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

El presente proyecto se enfocó en dos tipos de investigación:

- **Exploratoria:** Esta investigación se realizara basada en la literatura ya que se tomaran como referencia, estadísticas, análisis de datos para tener una vision sobre el tema a investigar.
- **Descriptiva:** El presente proyecto se enmarca en este tipo de investigacion ya que se describira las características cualitativas y cuantitativas de las áreas de interes como son el río Pindo Grande y afluente S/N con el fin de analizar minuciosamente los resultados y extraer generalidades significativas.

3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.

El presente proyecto tuvo cuatro metodos los cuales son:

- Observación directa.
- Toma de datos en campo.
- Analisis estadístico.
- Modelamiento de software estadístico (HEC-HMS).

3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

3.4.1. TRAZADO DE LOS AFLUENTES DEL RIO PINDO GRANDE Y EL AFLUENTE S/N.

Para el trazado de los afluentes se redefinió el trazado del cauce principal de los afluentes realizando un recorrido desde su nacimiento hasta su desembocadura, con la ayuda de un GPS para la determinación de los puntos, y luego con el programa Google Earth Pro, se realizó la identificación de los afluentes que componen el río Pindo Grande y el afluente S/N.

3.4.2. DELIMITACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS.

La delimitación de la cuenca hidrográfica se realizó mediante el programa ArcGIS siguiendo el parteaguas o divisoria de la cuenca, tal como lo sugiere Centeno (2015).

3.4.3. PARÁMETROS ASOCIADOS A LA FORMA DE LA CUENCA.

- A. Área (A), perímetro (P) y longitud de cauce:** Para la estimación de estos parámetros se realizó mediante el programa ArcGIS una vez que se delimitó la cuenca.
- B. Coeficiente de compacidad (Kc):** Este parámetro se calculó mediante la ecuación 1:

Ecuación 1: Coeficiente de compacidad.

$$Kc = \frac{0.28 * P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

- Kc = Coeficiente de Compacidad
- P = Perímetro de la cuenca (km)
- A = Área de la cuenca (km²)

De acuerdo al resultado que se obtuvo se estableció la categoría de la cuenca (tabla 6).

Tabla 7. Características de la cuenca de acuerdo con el valor Kc.

VALORES DE Kc	FORMA
1.00 – 1.25	Redonda a oval redonda
1.25 – 1.50	De oval redonda a oval oblonga
1.50 – 1.75	De oval oblonga a rectangular oblonga

Fuente: (Anaya, 2012).

3.4.4. PARÁMETROS RELATIVOS AL RELIEVE.

Pendiente media del cauce: Para la determinación de este parámetro se identificó las cotas máximas y mínimas tanto del río Pindo Grande y el afluente S/N y se calculó con la ecuación 2.

Ecuación 2: Pendiente media del cauce.

$$Sm = \frac{H_{\text{máx}} - H_{\text{mín}}}{Lc}$$

Donde:

- Sm = Pendiente media
- H_{máx} = Cota máxima
- H_{mín} = Cota mínima
- Lc = Longitud del cauce

Con el resultado obtenido y la tabla 7 se dio la clasificación de la pendiente media del cauce.

Tabla 8. Clasificación de la pendiente media del cauce.

Clasificación pendiente del cauce (%)	Tipo de relieve	Velocidad agua
0-3	Plano	Baja
3-7	Suave	
7-12	Mediano	Media
20-35	Accidentado	Alta
35-50	Fuerte	

Fuente: (Estrada & Rojas, 2013)

3.4.5. PARÁMETROS RELATIVOS AL DRENAJE.

A. Densidad de drenaje (Dd): Se calculo mediante la ecuación 3:

Ecuación 3: Densidad de drenaje.

$$Dd = \frac{\sum Lc}{A}$$

Donde:

- Dd = Densidad de drenaje
- $\sum Lc$ = Longitud total de los cauces (Km)
- A = Área de la cuenca (Km²)

B. Densidad de corrientes (Ds): Se cálculo mediante la ecuación 4:

Ecuación 4: Densidad de corrientes.

$$Ds \frac{Ns}{A}$$

Donde:

- Ds = Densidad de corrientes
- Ns = Numero de corrientes
- A = Área de la cuenca (Km²)

3.4.6. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (TC).

El tiempo de concentración se calculó mediante la fórmula de Kirpich (ecuación 5):

Ecuación 5: Fórmula de Kirpich.

$$tc = 0,06628 \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}}$$

Dónde:

- T= tiempo de concentración (horas)
- L= longitud del cauce más largo (Km)
- S= pendiente media del lecho (m/m)

3.4.7. PLUVIOMETRÍA.

ESTIMACIÓN A PARTIR DE DATOS DE LLUVIA DIARIA.

Para la estimación de la pluviometría se realizó mediante la descarga de datos de la estación meteorológica automática que se encuentran en la estación biológica Pindo Mirador, recopilando la información sobre las precipitaciones máximas e intensidades máximas anuales desde el año 2014 hasta el 2017, posteriormente se realizó el cálculo para periodos de retornos de 2 y 5 años para una duración de 1, 2, 4, 6, 8, 12 y 24 horas.

3.4.8. CONSTRUCCIÓN DE CURVAS IDF.

Para la construcción de las curvas IDF, se realiza con los datos de intensidades máximas anuales y para cada intervalo de duración, la medición de la precipitación se expresa en milímetros y representa el espesor de una lámina de agua que se acumularía en una superficie horizontal. Además, se calculó la media y la desviación estándar. Para la construcción de curvas IDF se realizó mediante el ajuste de probabilidad de Gumbel.

3.4.9. HIETOGRAMA DE DISEÑO.

Los hietogramas de diseño se emplearon para la modelación en el HEC-HMS, los datos utilizados fueron la precipitación por hora desde el 26 de marzo del 2014 hasta el 31 de diciembre del 2017.

3.4.10. VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DEL INFILTROMETRO DE CILINDRO SIMPLE.

El método utilizado para la infiltración fue el anillo simple, el mismo que consistió en utilizar cilindros plásticos (baldes), se realizaron un total de 6 pruebas de infiltración, 3 por cada cauce, buscando contrastes en la vegetación, en nuestro estudio se utilizaron mosaico, pasto y bosque secundario, estas pruebas en cada tipo de vegetación se realizó una réplica de infiltración, es decir a cada lado del cauce.

Primeramente, se procedió a buscar un lugar plano para instalar el infiltrometro, para luego limpiar la cobertura del suelo para así evitar la intervención en el flujo normal del agua, posteriormente se enterró el infiltrometro unos centímetros en el suelo, para luego nivelar el infiltrometro, colocando en el mismo una funda plástica y se rellenó con agua hasta la altura total del balde, se retiró la funda plástica, se con la regla y cronómetro, se midió la variación de la altura del agua en el tiempo. La medición con el cronometro se realizó en el minuto 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 90 y 120.

Además, se realizó una calicata de 50*50 y 20 cm de profundidad, para identificar los perfiles existentes.

En el procesamiento estadístico se determinó la infiltración parcial y acumulada, velocidad de infiltración promedio, velocidad constante, velocidad instantánea.

- **Infiltración parcial:** Cantidad de agua en centímetros que se infiltró en cada minuto de medición realizado.
- **Infiltración acumulada:** Cantidad de agua en centímetros que se infiltró en todos los minutos de medición realizados.
- **Velocidad de infiltración promedio:** Para determinar este parámetro se realizó mediante la ecuación 6:

Ecuación 6: Velocidad de infiltración promedio.

$$VIP = \frac{\text{Infiltración acumulada}}{\text{Tiempo acumulado}}$$

- **Velocidad constante:** Diferencias del 10% entre tomas de medidas de infiltración.
- **Velocidad instantánea:** Para determinar este parámetro se realizó mediante la ecuación 7:

Ecuación 7: Velocidad instantánea.

$$I = K * (T^N)$$

Donde:

- K = Velocidad de infiltración en el minuto 1
- T = Tiempo total acumulado de medición
- N = Se calcula mediante la ecuación 8.

Ecuación 8: Valor de N para velocidad instantánea.

$$N = \frac{(Y2 - Y1)}{(X2 - X1)}$$

Donde:

- Y=Son las coordenadas en Y que se forman en la gráfica de infiltración acumulada y velocidad de infiltración promedio en el tiempo de infiltración.
- X=Son las coordenadas en X que se forman en la gráfica de infiltración acumulada y velocidad de infiltración promedio en el tiempo de infiltración.

3.4.11. ESTIMACIÓN DE CAUDALES.

Se seleccionó los sitios en donde se midió caudal, los cuales están en un tramo uniforme, donde el agua fluye libremente. En cada sitio se eligió punto inicial (perfil de entrada) y punto final (perfil de salida), la distancia entre los puntos fue de 10 metros. En cada punto se midió el ancho del río y la profundidad fue medida a cada metro de distancia¹.

Se realizaron 6 mediciones, las mismas que fueron mensuales (agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre y enero), en la primera medición con la ayuda de un distanciómetro se midió la pendiente y se georreferencio en el punto final de cada sitio. Además, en el punto inicial y punto final se tomó el diámetro de 4 piedras grandes, 4 piedras medianas y 4 piedras pequeñas, y se determinó el porcentaje que ocupan cada tamaño de piedras en los sitios escogidos. En el resto de mediciones solo se midió el ancho y profundidad del cauce.

En el procesamiento estadístico se calculó: profundidad promedio, diferencias de las profundidades, perímetro de mojado, área de mojado, estos parámetros se realizaron para el punto inicial y final de cada sitio y perímetro de mojado promedio, área de mojado promedio, radio hidráulico, pendiente, velocidad y caudal, se realizó uno por los dos puntos (inicial y final).

- **Profundidad promedio (m):** Es la sumatoria de todas las profundidades, dividido para el número de puntos tomados en el sitio².
- **Diferencias de las profundidades (m):** es la resta entre cada profundidad tomada, con la profundidad superior.
- **Perímetro de mojado:** Corresponde a la longitud de la sumatoria de las paredes del lecho lo cual se estimó aplicando el teorema de Pitágoras (la ecuación 9):

Ecuación 9: Teorema de Pitágoras

$$c = \sqrt{((a)^2) + ((b)^2)}$$

Donde:

- a = diferencia de profundidad en cada metro.
- b = Diferencia entre el ancho en el que fueron tomados las profundidades.

¹ En el caso que el ancho del río no sea un número entero (Ejm 7,30 m), la profundidad debe tomarse cada metro, además hay que medir la profundidad en el punto 7.30 m.

² Para realizar la medición de la profundidad del río, se debe tomar la profundidad en el punto 0.

- **Área de mojado:** Se calcula mediante la ecuación 10:

Ecuación 10: Área de mojado.

$$AM = \text{Profundidad promedio} * \text{Ancho del río}$$

- **Perímetro de mojado promedio:** Es el promedio entre el perímetro de mojado en el punto inicial y punto final en cada sitio.
- **Área de mojado promedio:** Es el promedio entre el área de mojado en el punto inicial y punto final en cada sitio.
- **Radio hidráulico:** Se calcula mediante la ecuación 11 expuesta por Mott, 1996:

Ecuación 11: Radio hidráulico.

$$RH = \frac{\text{Área de mojado promedio}}{\text{Perímetro de mojado promedio}}$$

- **Pendiente:** Se calcula mediante la ecuación 12:

Ecuación 12: Pendiente.

$$S = \frac{\text{Pendiente tomada con el distanciometro}}{45}$$

- **Velocidad:** Se calcula mediante la ecuación 13 expuesta por Breña & Jacobo, 2006:

Ecuación 13: Velocidad.

$$V = \left(\frac{1}{n} * ((RH)^{2/3}) * ((S)^{1/2})\right)$$

Para cauces en lechos de grava n se calcula mediante la ecuación 14:

Ecuación 14: Ecuación de Bray (Valor de n para velocidad).

$$n = 0.0495 * D50^{0.16}$$

Con el diámetro de las piedras grandes, medianas y pequeñas, se realizó un promedio general, y con el porcentaje de área cubierta por tamaño de piedra, se calcula D50.

D50= promedio general del tamaño de las piedras que ocupan un porcentaje igual o mayor a 50% de área en el cauce³.

³ En el caso que el porcentaje de piedras en los sitios no supere el 50%, tomar el porcentaje mayor encontrado.

- **Caudal m³/s:** se calcula con la ecuación 15 expuesta por Breña & Jacobo, 2006:

Ecuación 15: Caudal.

$$Q = \text{Velocidad} * \text{Área de mojado en el punto final}$$

3.4.12. ESTIMACIÓN DE MODELOS EMPÍRICOS DE LA RELACIÓN LLUVIA-ESCURRIMIENTO.

3.4.12.1.FÓRMULA RACIONAL.

La fórmula racional no se empleó en el presente proyecto, ya que la misma se emplea para cuencas inferior a 3 km², y el área de la cuenca en el presente estudio es de 7.551 km².

3.4.12.2.MÉTODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL.

A. Hidrograma Unitario del United States Soil Conservation Service, SCS.

2. Estimación del numero de la curva en condición II de humedad

Para la determinación del numero de la curva se siguió el siguiente procedimiento:

- Se fijó el tipo de suelo según su tasa mínima de infiltración.
- Se determino el tipo de vegetación presente en el sitio de las mediciones de infiltración.
- Se determinó la condición hidrológica del terreno.
- Se obtuvo el número de curva.

Para la determinación del tipo de suelo se seleccionaron los datos de infiltración acumulada a 1 y 2 horas respectivamente de cada sitio de medición de infiltración, de estos valores se seleccionó el mínimo valor de infiltración y se fijó el tipo de suelo con los datos de la tabla 9, este procedimiento se realizó para cada uno de los ríos utilizados en el presente estudio.

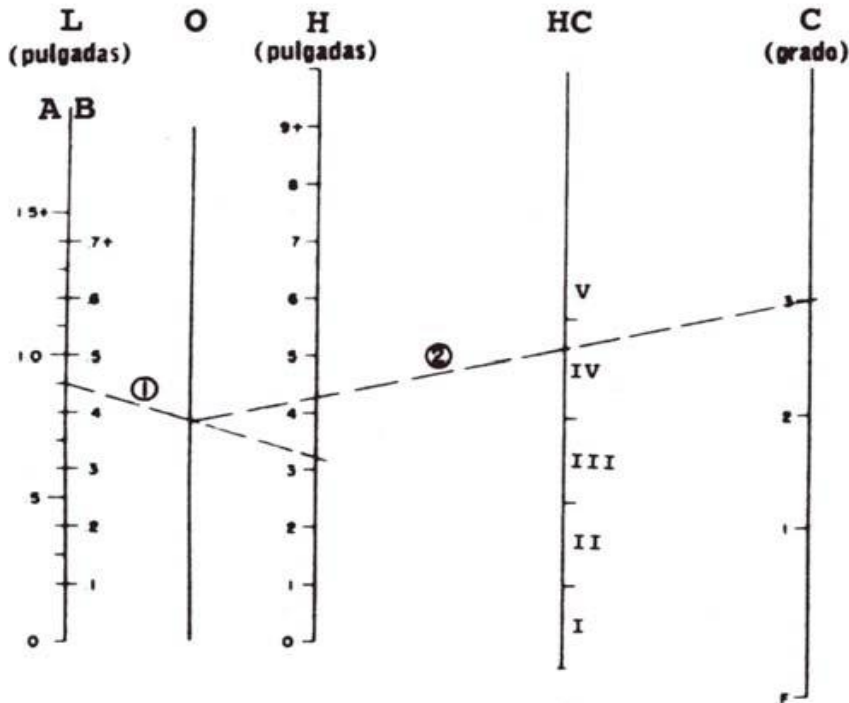
Tabla 9. Tipos de suelo según sea su tasa mínima de infiltración.

GRUPO	TASA DE INFILTRACIÓN MÍNIMA (f_c según el modelo de Horton) (mm·h ⁻¹)
A	7,62 - 11,43
B	3,81 - 7,62
C	1,27 - 3,81
D	0,00 - 1,27

Fuente: (Martínez, *et al.*, 2003).

Para la determinación del tipo de vegetación se realizó según la clasificación de Martínez *et al.*, 2003 expuestas anteriormente

Para la determinación de la condición hidrológica del terreno se basó en la combinación de factores como se muestra en el grafico 2.



L = Espesor del "arropo" (espesor de la pinocha u hojarasca)
 A = Hojarasca o pinocha sin compactar
 B = Hojarasca o pinocha compactada
 H = Espesor de humus
 HC = Clase de condición hidrológica
 C = Compacidad del suelo
 F = Suelo congelado y compacto
 1 = Suelo compacto, apretado
 2 = Suelo moderadamente compacto
 3 = Suelo no compacto, friable
 0 = Eje auxiliar
 1 pulgada = 2,54 cm

Fuente: (Martínez, *et al.*, 2003)

Grafico 2. Nomograma para la determinación de la condición hidrológica de un bosque.

Para la obtención del número de curva, se basó en los tres pasos anteriores, y con la guía de la tabla 5 se estimó el número de la curva.

2 Estimación del número de la curva en condiciones precedentes a humedad.

Para establecer el número de curva en condiciones precedentes a humedad se realizó con el dato de tasa mínima de infiltración y con los datos de la Estación Biológica Pindo Mirador y se calculó el dato de precipitación (mm) de los 5 días antes de la medición de infiltración y se determinó la condición con la tabla 10.

Tabla 10. Condiciones de humedad del suelo en atención a las precipitaciones previas.

LLUVIA TOTAL CAÍDA DURANTE LOS CINCO DÍAS ANTERIORES		
Condición	En el periodo húmedo (oct-mar) o durante la dormancia	En el periodo seco (abr-sep) o durante el crecimiento
I	Menos de 12,5 mm	Menos de 35,5 mm
II	De 12,5 a 28 mm	De 35,5 a 53 mm
III	Más de 28 mm	Más de 53 mm

Fuente: (Ibáñez, Moreno, & Gisbert, 2011).

Posteriormente identificada la condición precedente de humedad, se realiza una conversión del número de curva de la condición II a las condiciones I y III, mediante la tabla 11, la condición II fue la obtenida en la estimación del número de la curva en condición II de humedad.

Tabla 11. Conversión del número de curva de la condición II a las condiciones I y III.

CONVERSIÓN DEL NÚMERO DE CURVA DE LA CONDICIÓN II A LAS CONDICIONES I Y III		
Número de curva en las correspondientes condiciones		
II	I	III
100	100	100
95	87	99
90	78	98
85	70	97
80	63	94
75	57	91
70	51	87
65	45	83
60	40	79
55	35	75
50	31	70
45	27	65
40	23	60
35	19	55
30	15	50
25	12	45
20	9	39
15	7	33

10	4	26
5	2	17
0	0	0

Fuente: (Ibáñez, Moreno, & Gisbert, 2011).

3 Modelación Hidrograma Unitario del United States Soil Conservation Service, SCS.

Para la modelación del hidrograma unitario del SCS se realizó con el dato de Caudal punta (Q_p) y el dato de precipitación (cm). El caudal en punta se calculó mediante la ecuación 16:

Ecuación 16: Caudal punta.

$$Q_p = \frac{2,08 * A}{T_p}$$

Donde:

- Q_p = Caudal en punta (m³/s)
- A = Área de la cuenca (km²)
- T_p = Tiempo en punta (h).

El tiempo en punta se calculó mediante la ecuación 17:

Ecuación 17: Tiempo en punta.

$$T_p = \frac{D}{2} + t_r$$

Donde:

- T_p = Tiempo en punta
- D = Duración de la lluvia efectiva
- t_r = Tiempo de retardo

La duración de lluvia efectiva se calculó mediante la ecuación 18:

Ecuación 18: Duración de lluvia efectiva.

$$D = 0.133 * T_c$$

Donde:

- D = Duración de la lluvia efectiva
- T_c = Tiempo de concentración en horas

El tiempo de retardo se calculó mediante la ecuación 19:

Ecuación 19: Tiempo de retardo.

$$tr = 0.6 * Tc$$

Donde:

- tr = Tiempo de retardo
- Tc = Tiempo de concentracion en horas

3.4.13. MODELAMIENTO CON EL HEC-HMS.

Para el modelamiento con el HEC-HMS se creo los componentes Modelos de cuenca, Modelos meteorologicos, Especificaciones de control y Datos de series de tiempo.

- En los modelos de cuenca se creo una modelo de subcuenca en el cual se coloco el área de la cuenca, se llenaron los datos de metodos de perdida (SCS numero de curva), metodo de transformacion (SCS hidrograma unitario) y metodo de flujo de base (constante mensual), numero de curva en condiciones precedentes a humedad, en tipo de grafico se eligio estándar (PRF 484), en flujo base se llenaron los datos de caudal en la desembocadura.
- En los modelos meteorologicos se realizaron especificaciones del hidrograma.
- En especificaciones de control se definio las fechas para la modelacion (agosto -diciembre).
- En datos de series de tiempo se definio las unidades (milímetros acumulativos) y el intervalo de tiempo para colocar las precipitaciones (1 hora), que se realizaron desde el marzo del 2014 hasta diciembre de 2017, finalmente se colocaron las precipitaciones obtenidas de la Estacion Biologica Pindo Mirador y finalmente se calculo el grafico en el mpedelo HEC-HMS.

3.5. TALENTO HUMANOS Y MATERIALES.

El talento humano y materiales utilizados en la investigacion se muestran en la tabla 12.

Tabla 12. Talento humano y materiales.

Talento humano	
Ing. Ricardo Abril (Tutor)	André Tapia (Tesisista)
Jenny Yanez (Tesisista)	Estudiantes de la Universidad Estatal Amazónica (vinculación)
Materiales	
Distanciómetro	Material de oficina
GPS	Cinta métrica
Cámara Fotográfica	Flexómetro
Computadora	Palo de escoba
GPS de precisión	Nivel
Balde (infiltración de con el método del anillo simple)	

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA.

4.1.1. TRAZADO DE LOS AFLUENTES DEL RÍO PINDO GRANDE Y EL AFLUENTE S/N.

La redefinición del trazado del cauce principal en el caso del río Pindo Grande se realizó el recorrido hasta la captación de agua de la Estación Biológica Pindo Mirador, y en el afluente S/N se realizó el recorrido hasta la unión con el río Pindo Grande (grafico 3).



Grafico 3. Definición del trazado de los afluentes del río Pindo Grande y el afluente S/N.

4.1.2. DELIMITACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA.

Para el presente estudio se delimito la cuenca hidrografica formada por los ríos Pindo Grande y el afluente S/N mediante el programa ArcGIS, la cuenca se delimito siguiendo el parteaguas. La cuenca es de tipo exorreica. En el grafico 4 se observa la delimitacion de la cuenca.

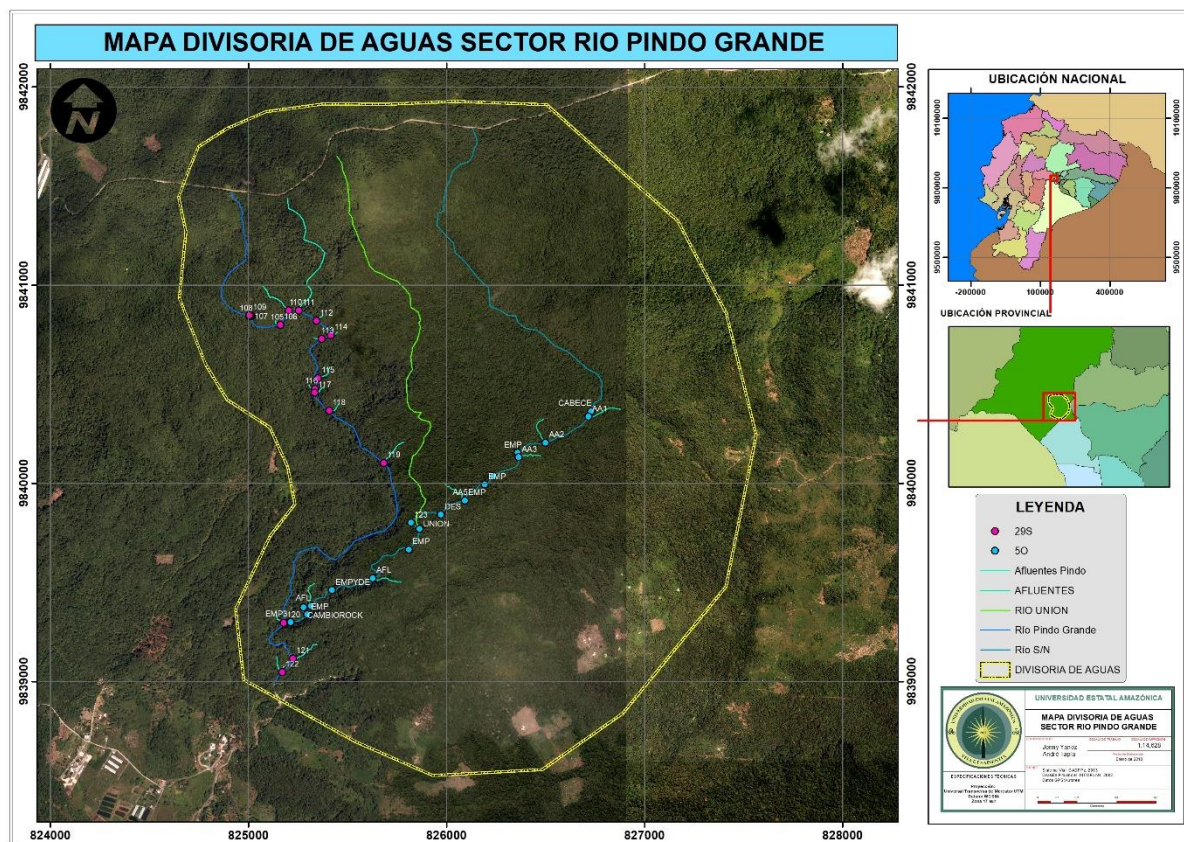


Grafico 4. Delimitación de la cuenca hidrográfica.

4.1.3. PARÁMETROS ASOCIADOS A LA FORMA DE LA CUENCA.

A. Área (A) (km²): Para el presente trabajo se realizó una única estimación de área para los dos ríos, debido a que los ríos se encuentran en la misma cuenca hidrográfica, el área de la cuenca hidrográfica es de **7.551**.

B. Perímetro (P) (km): Para este resultado ocurre lo mismo que para el resultado del área, se estima un solo valor para perímetro por los dos ríos, el resultado fue de **10.56**.

C. Longitud de cauce (m): Para el caso del río Pindo Grande la longitud de cauce fue de **3874**, y para el afluente S/N la longitud de cauce fue de **4202**.

D. Coeficiente de compacidad (kc): el resultado fue de **1.076**. Con el resultado obtenido y de acuerdo a la tabla 7 la cuenca tiene una forma Redonda a oval redonda.

4.1.4. PARÁMETROS RELATIVOS AL RELIEVE.

Pendiente media: El área del río Pindo Grande se encuentra entre los 1160 y 1400 m.s.n.m., presentando una longitud de 3.874 km (3874 m), el afluente S/N se encuentra entre los 1200 y 1380 m.s.n.m., presentando una longitud de 4.202 km (4202 m), los resultados obtenidos para este parámetro se presentan en la tabla 13.

Tabla 13. Pendiente media del río Pindo Grande y afluente S/N.

Río	Pendiente (m)
Pindo Grande	0.06195
Afluente S/N	0.04284

4.1.5. PARÁMETROS RELATIVOS AL DRENAJE.

A. Orden de cauce: Se contabilizaron un total de 26 ríos, de los cuales 23 pertenecen al orden 1, 2 pertenecen al orden 2 y existe 1 de orden 3, por ende, el orden de la cuenca es de orden 3 (gráfico 5), que según la tabla 2 la cuenca pertenece a una clase de orden medio

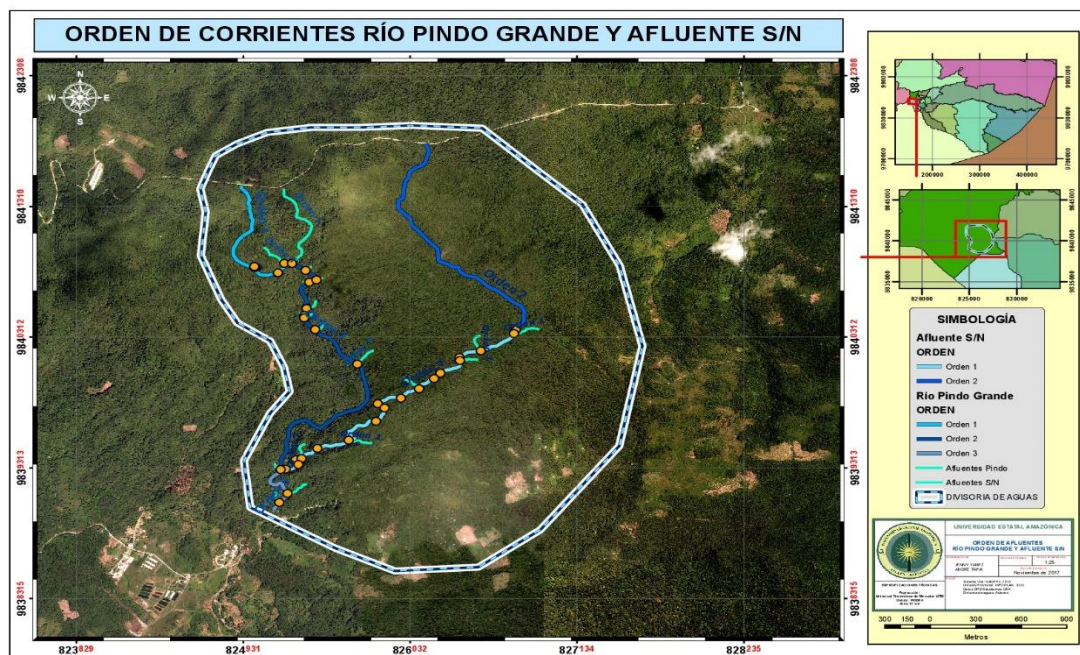


Grafico 5. Orden de corrientes del río Pindo grande y Afluente S/N.

B. Densidad de drenaje (Dd): La densidad de drenaje para la cuenca fue de 1.51 km (la longitud total de los cauces fue de 11.393 km), lo que indica según la tabla 3 presenta una densidad de drenaje baja:

C. Densidad de corrientes (Ds): el resultado obtenido para este parámetro fue de 3.44 km², ya que obtuvimos un total de 26 ramificaciones.

4.1.6. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (TC).

Los resultados del tiempo de concentración se presentan en la tabla 14.

Tabla 14. Tiempo de concentración del río Pindo Grande y afluente S/N.

Río	Tiempo de concentración (Tc) (hr)	Tiempo de concentración (Tc) (min)
Pindo Grande	0.5486931	32.92
Afluente S/N	0.6732	40.39

En el presente estudio se trató de una cuenca muy pequeña ya que presenta un área de 7.551 km², presentado una forma redonda a oval redonda (coeficiente de compacidad 1.076), un perímetro de 10.56 km, en cuanto en longitud del cauce para el río Pindo Grande fue de 3874 m, y para el afluente S/N fue de 4202 m. La pendiente media para el río Pindo Grande se fue del 6% y el afluente S/N 4%, el tipo de relieve para los dos tributarios es suave. En la cuenca del río Pindo Grande existe un total de 26 ríos, la cuenca presenta una clase de orden medio (orden 3). La densidad de drenaje fue baja (1.51 km), la densidad de corrientes fue de 3.44 km². El tiempo de concentración del río Pindo Grande fue de 0.55 horas (32.92 min) y del afluente S/N 0.67 horas (40.39 min). Conocer los parámetros morfométricos de la cuenca es de gran importancia ya que servirá para interpretar el comportamiento hidrológico y comprender la incidencia ante la presencia de eventos climatológicos, además servirá para establecer planes de ordenamiento territorial para la prevención de riesgos para las personas aledañas a la cuenca del río Pindo Grande para así evitar daños a la producción agropecuaria.

4.1.7. PLUVIOMETRÍA.

ESTIMACIÓN A PARTIR DE DATOS DE LLUVIA DIARIA.

A. Precipitaciones máximas anuales

Para este resultado se seleccionó el valor máximo anual de precipitación (2014-2017), para cada intervalo de evaluación (1, 2, 4, 6, 8, 12 y 24 horas), los resultados se muestran en la tabla 15.

Tabla 15. Precipitaciones máximas anuales de la Estación Biológica Pindo Mirador.

PRECIPITACIONES MÁXIMAS ANUALES (mm)							
AÑOS	HORAS						
	1	2	4	6	8	12	24
2014	48.2	62.4	82.2	114.2	119.4	119.4	123.4
2015	72	76.2	79.2	82.2	83	100.4	127.6
2016	86.6	121.2	178.6	217.2	234	246.2	271.2
2017	43.8	52.3	84.4	89.4	98	126.4	151.6

Fuente: (Estación meteorológica Gobierno provincial de Pastaza, 2017).

B. Intensidades máximas anuales en función de ajuste de bondad de Gumbel

Para este resultado se seleccionó el valor máximo anual de intensidad (2014-2017), para cada intervalo de evaluación (1, 2, 4, 6, 8, 12 y 24 horas), además a estos datos se calculó la media (promedio) y la desviación estándar, los resultados se muestran en la tabla 16.

Tabla 16. Intensidades máximas anuales de la Estación Biológica Pindo Mirador.

INTENSIDADES MÁXIMAS ANUALES (mm)							
AÑOS	HORAS						
	1	2	4	6	8	12	24
2014	48.2	31.2	20.55	19.03333333	14.925	9.95	5.14166667
2015	72	38.1	19.8	13.7	10.375	8.36666667	5.31666667
2016	86.6	60.6	44.65	36.2	29.25	20.51666667	11.3
2017	43.8	26.15	21.1	14.9	12.25	10.53333333	6.31666667
Media	62.65	39.0125	26.525	20.95833333	16.7	12.34166667	7.01875
Desviación estándar	20.208	15.202	12.095	10.415	8.572	5.526	2.900

Fuente: (Estación meteorológica Gobierno provincial de Pastaza, 2017)

C. Cálculos de periodo de retorno para 2 y 5 años.

Se calculo el periodo de retorno para 2 y 5 años, para cada intervalo de evaluación (1, 2, 4, 6, 8, 12 y 24 horas), los resultados se muestran en la tabla 17.

Tabla 17. Cálculos de periodos de retorno para 2 y 5 años para intervalos de tiempo.

AÑO	HORAS						
	1	2	4	6	8	12	24
2	60.4594362	37.3645962	25.2139162	19.829394	15.7707611	11.7426213	6.70431716
5	91.7729778	60.9209539	43.9555195	35.9672891	29.053991	20.3058194	11.1990532
	2 años	5 años					
Yt	0.36651	1.49994					
Yn	0.4458						
Sn	0.73147						

Fuente: Gobierno Provincial de Pastaza.

4.1.8. CONSTRUCCIÓN CURVAS INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA (IDF).

Con los valores de intensidades máximos calculados, se procedió a generar la curva de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) para cada período de retorno (2 y 5 años). El grafico 6 muestra las curvas IDF resultantes para cada período de retorno para 2 y 5 años y una duración de 24 horas, en el periodo de retorno de 2 años la intensidad de precipitación máxima en 1 hora es de 60.45 mm, mientras que en el periodo de retorno la intensidad máxima es de 91.77 mm.

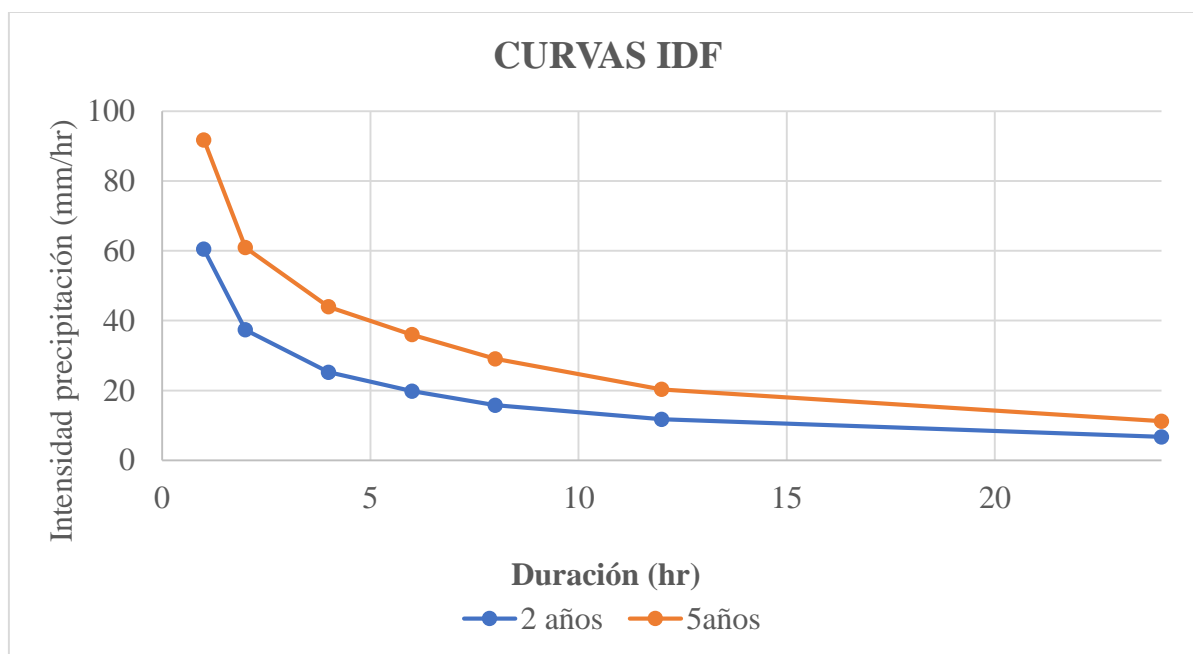


Grafico 6. Curvas IDF para los periodos de retorno de 2 y 5 años.

4.1.9. VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN.

Para la velocidad de infiltración se realizó infiltración en 12 puntos los cuales se muestran en la tabla 18, además se indica el tipo de cobertura, los horizontes presentes en cada sitio y finalmente el sitio de muestreo de mediciones de caudal.

Tabla 18. Puntos de medición de infiltración en el río Pindo Grande y el afluente S/N.

Río	Punto	X	Y	Altitud	Tipo de cobertura	Horizontes	Sitio de muestreo de caudal
Pindo Grande	P1 lado derecho	825183	9839302	1194	Mosaico	3	Pindo parte alta
	P1 lado izquierdo	825160	9839306	1185		4	
	P2 lado derecho	825296	9840862	1323	Bosque secundario	3	
	P2 lado izquierdo	825277	9840843	1345		3	
	P3 lado derecho	825362	9840743	1297	Pasto	2	
	P3 lado izquierdo	825349	9840731	1286		3	
Afluente S/N	P1 lado derecho	825351	9839243	1250	Mosaico	2	Afluente S/N parte baja
	P1 lado izquierdo	825313	9839382	1200		3	
	P2 lado derecho	825327	9839446	1201	Bosque de realce	4	
	P2 lado izquierdo	825327	9839456	1202		2	
	P3 lado derecho	825391	9839449	1205	Bosque secundario	2	Afluente S/N parte alta
	P3 lado izquierdo	825386	9839433	1206		2	

Una vez tabulado los datos, se los presenta en un gráfico que muestra la velocidad de infiltración promedio (cm/h) y la infiltración acumulada (cm) en el tiempo (minutos), a continuación, en los gráficos 7 y 8 se presenta un ejemplo del río Pindo Grande y Afluente S/N, los demás resultados están en el Anexo A. en el grafico 7 y 8 se muestra la relación que existe entre la infiltración acumulada y velocidad de infiltración promedio en el tiempo, en el grafico 7 que se refiere al río Pindo grande se muestra que la velocidad se torna constante desde el minuto 15 que es donde se empieza a estabilizar la curva, la velocidad de infiltración promedio es 0.827 cm/h y la infiltración acumulada es de 12.4 cm en el minuto 15, mientras que en el grafico 8 la curva se torna constante en el minuto 2 con una velocidad de infiltración promedio es 2.750 cm/h y la infiltración acumulada es de 5.5 cm

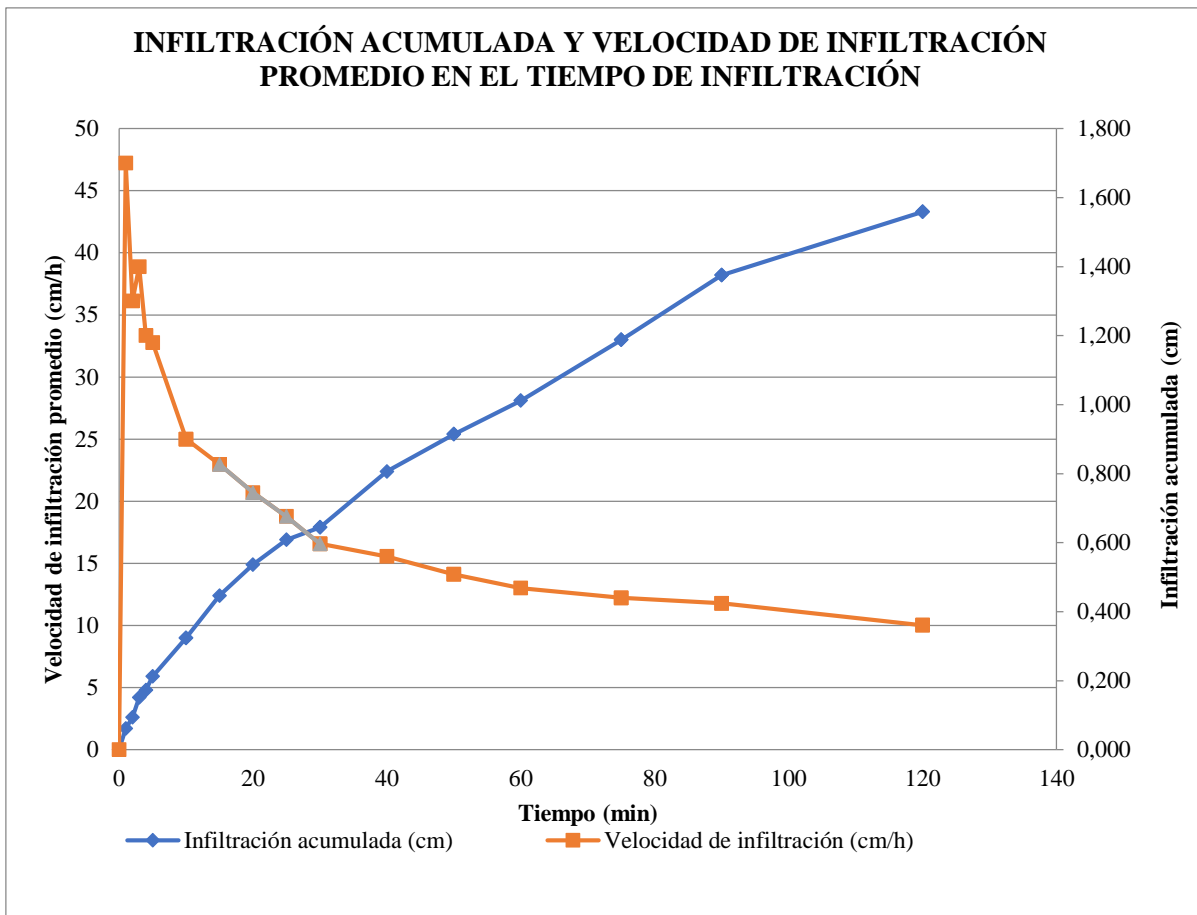


Grafico 7. Infiltración acumulada y velocidad de infiltración promedio en el tiempo de infiltración en el P1 lado derecho del río Pindo Grande.

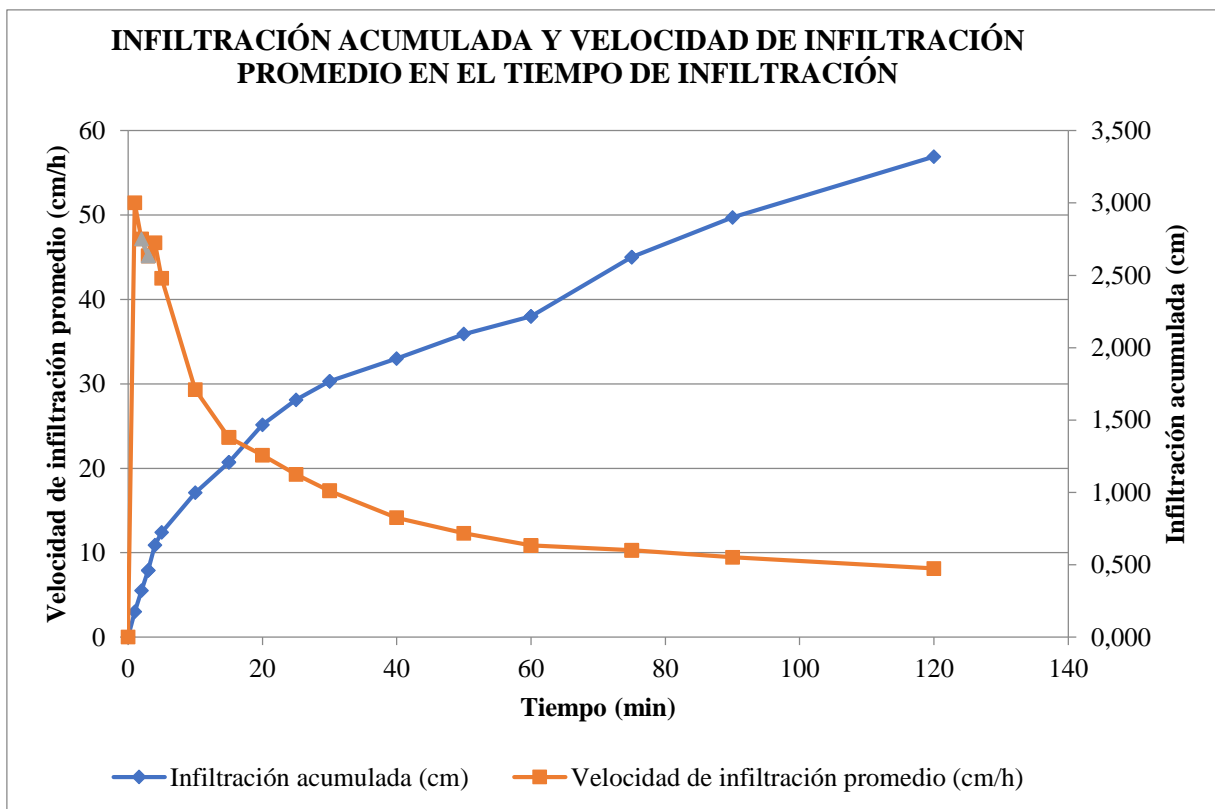


Grafico 8. Infiltración acumulada y velocidad de infiltración promedio en el tiempo de infiltración en el P1 lado derecho del Afluente S/N.

A. Velocidad de infiltración instantánea y básica, y velocidad de infiltración a 1 y 2 horas.

Río Pindo Grande: Los resultados de la velocidad de infiltración se muestra en la tabla 19.

Tabla 19. Velocidad de infiltración en el río Pindo Grande.

Punto		Velocidad básica		Velocidad instantánea	Clasificación velocidad instantánea (tabla 1)	Infiltración	
		Minuto	Valor			1 hora	2 horas
Punto 1	Lado derecho	15	0.92	1.416995066	Lenta	28.1	21.65
	Lado izquierdo	5	0.90	0.574696589	Lenta	13.3	9.55
Punto 2	Lado derecho	75	0.93	0.177439565	Muy lenta	1.9	1.25
	Lado izquierdo	75	0.94	0.546390787	Lenta	7.6	6.05
Punto 3	Lado derecho	30	0.94	0.649940631	Lenta	5.8	5
	Lado izquierdo	60	0.92	0.2708335	Lenta	3.3	2.4

A. Afluente S/N: Los resultados de la velocidad de infiltración se muestra en la tabla 20.

Tabla 20. Velocidad de infiltración en el Afluente S/N.

Punto		Velocidad básica		Velocidad instantánea	Clasificación velocidad instantánea (tabla 1)	Infiltración	
		Minuto	Valor			1 hora	2 horas
Punto 1	Lado derecho	2	0.92	1.934163412	Media	38	28.45
	Lado izquierdo	20	0.94	0.47248	Lenta	9.3	6.5
Punto 2	Lado derecho	50	0.97	0.387597679	Lenta	11.2	9.5
	Lado izquierdo	3	0.90	1.467000857	Lenta	32.05	23.05
Punto 3	Lado derecho	60	0.90	3.314907	Alta	102.7	81.55
	Lado izquierdo	90	0.88	0.823780932	Lenta	26.1	16.1

4.1.10. ESTIMACIÓN DE CAUDALES DEL RÍO PINDO GRANDE Y EL AFLUENTE S/N.

Para la estimación de caudal se realizaron en 5 puntos, las características y coordenadas de los sitios de muestreo se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 21. Puntos de medición de caudal.

Punto de medición	X	Y	Altitud (m.s.n.m)	Pendiente (%)	Tipo de cobertura
Pindo Grande Parte Alta	825201	9839427	1196	1.8	Bosque secundario
Pindo Grande Parte Media	825200	9839112	1194	1.3	Mosaico
Pindo Grande Parte Baja	826098	9836160	1048	1	Pasto
Afluente S/N Parte Alta	825345	9839445	1208	2.2	Mosaico
Afluente S/N Parte Baja	825185	9839280	1192	1.4	Bosque secundario

Caudales en cada punto.

A continuación, se muestra un ejemplo de perfil de entrada y salida del río Pindo grande y el afluente S/N correspondiente al mes de agosto, los demás resultados se encuentran en el Anexo B.

Tabla 22. Ejemplo del perfil del cauce en el punto 1 (Pindo Grande parte alta) mes de agosto.

Rio Pindo Grande parte alta mes de agosto	Ancho entrada (m)	Ancho salida (m)
	7.6	7

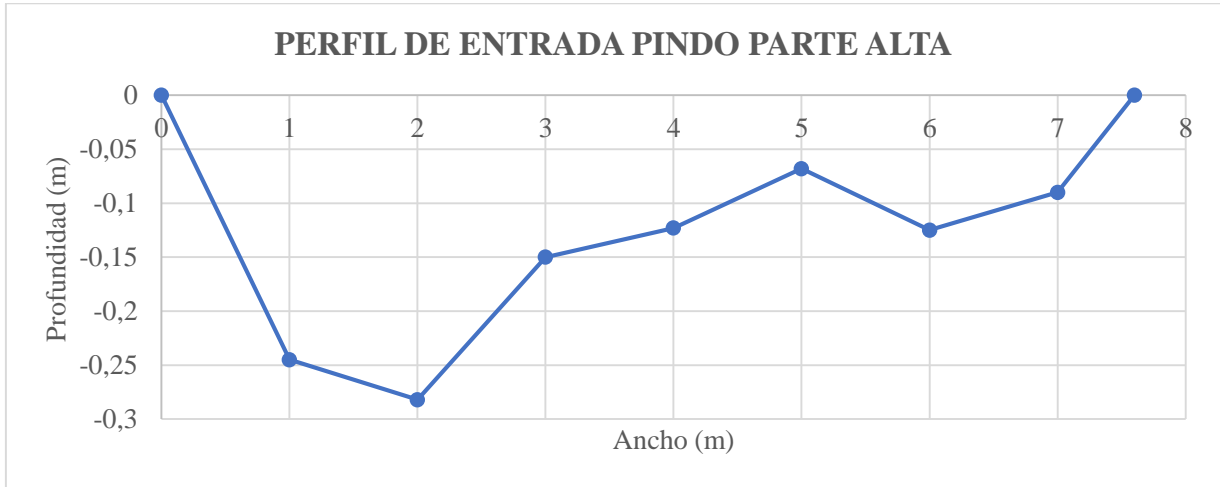


Grafico 9. Perfil de entrada del cauce en la parte alta del río Pindo Grande mes de agosto.

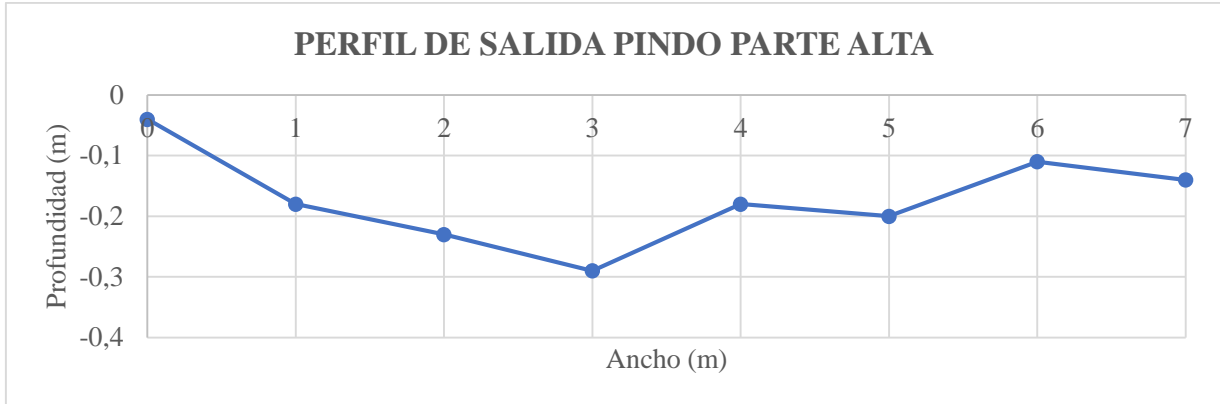


Grafico 10. Perfil de salida del cauce en la parte alta del río Pindo Grande mes de agosto.

Tabla 23. Ejemplo del perfil del cauce en el punto 1 (afluente S/N parte alta) mes de agosto.

Afluente S/N parte alta mes de agosto	Ancho entrada (m)	Ancho salida (m)
	3.82	5.4

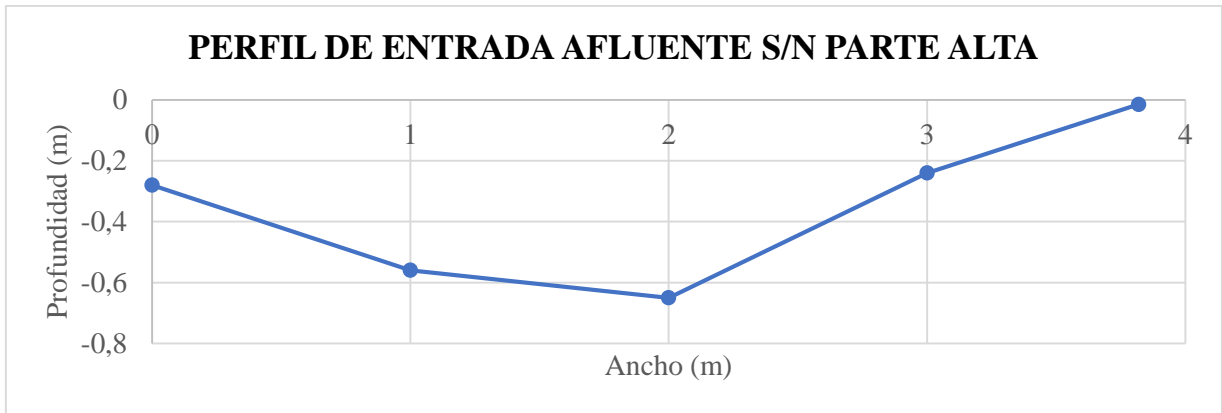


Grafico 11. Perfil de entrada del cauce en la parte alta del río Pindo Grande mes de agosto.

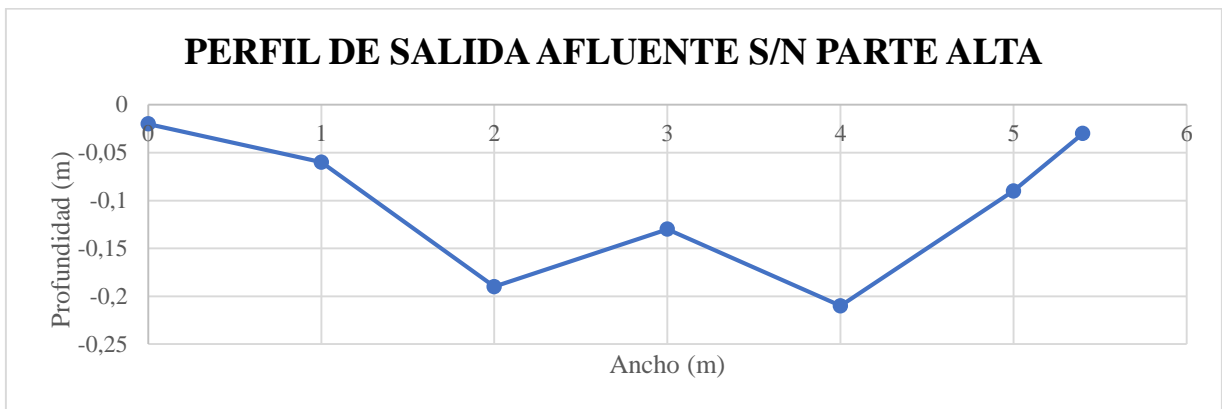


Grafico 12. Perfil de salida del cauce en la parte alta del río Pindo Grande mes de agosto.

Los resultados obtenidos de los caudales mensuales en la sección de salida de los sitios en el río Pindo Grande y el afluente S/N, se muestran en el grafico 13, en el mismo se observa que el sitio que mayor caudal registra durante los 6 meses, fue el río Pindo Grande parte baja, los valores de caudal de este sitio supera los $3\text{m}^3/\text{s}$, mientras que los sitios restantes no superan los $2\text{m}^3/\text{s}$.

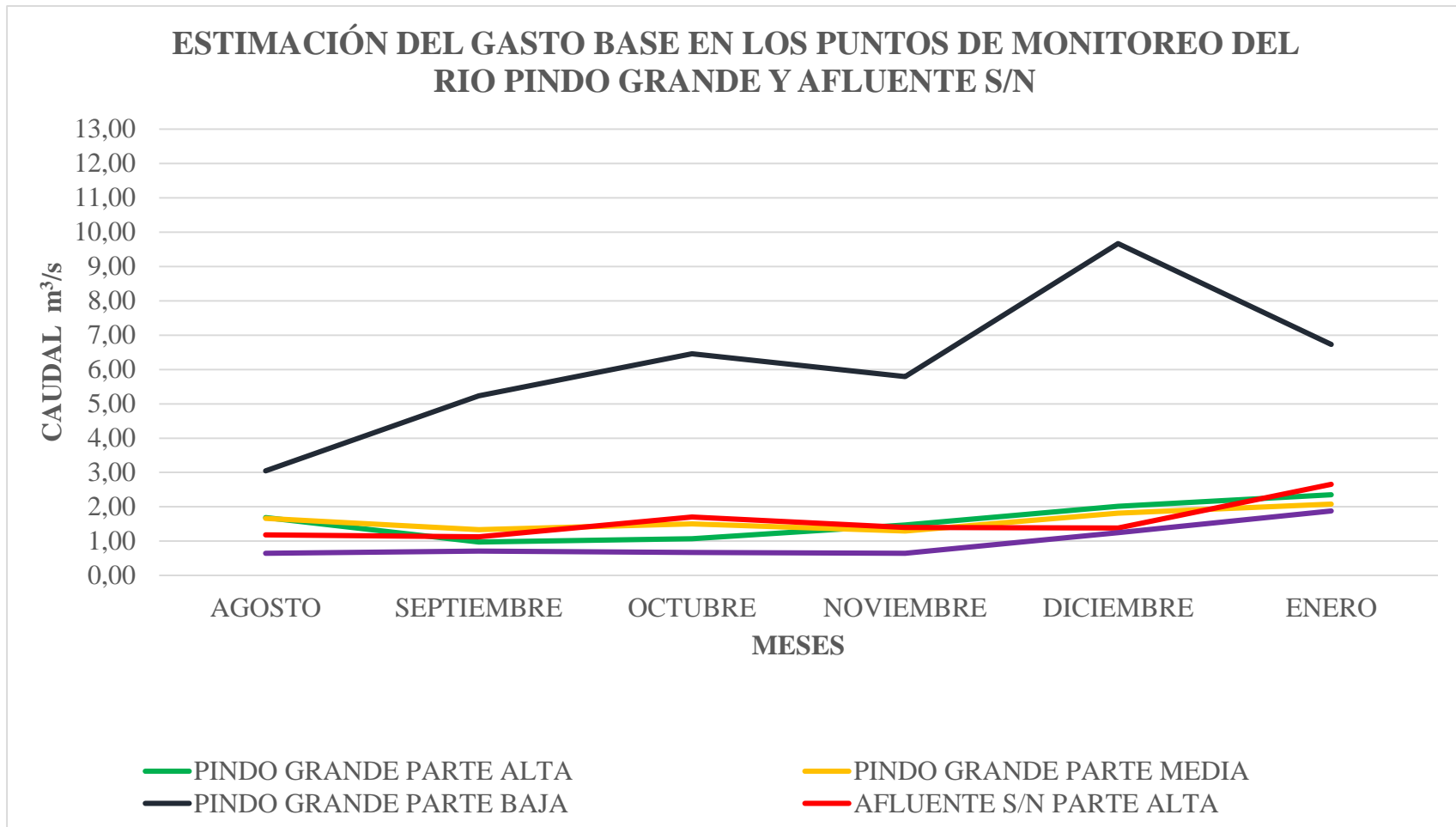


Grafico 13. Estimación del gasto base en los puntos de monitoreo del Río Pindo Grande y Afluente S/N.

En el mes de enero se registran los mayores caudales en todos los sitios medidos, a excepción del Pindo Grande parte baja que registra mayor caudal en el mes de diciembre, en el mes de agosto se registra menor caudal en el Pindo grande parte baja, en el mes de septiembre se registra menor caudal en el Pindo Grande y afluente S/N parte alta, en el mes de noviembre se registran menor caudal el Pindo Grande parte media y Afluente S/N parte baja (tabla 24). Entre el río Pindo grande y el Afluente S/N existe una diferencia significativa entre los resultados de caudal en la parte alta y la desembocadura, en el río Pindo grande existe un aumento de caudal entre la parte alta y la parte baja, mientras que en el Afluente S/N existe más caudal en la parte alta que en la parte baja.

Tabla 24. Gasto base mensual de los sitios medidos en el Río Pindo Grande y Afluente S/N.

SITIO	GASTO BASE MENSUAL (m ³ /s)					
	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO
Pindo Grande parte alta	1.687	0.975	1.072	1.470	2.017	2.351
Pindo Grande parte media	1.664	1.337	1.505	1.293	1.815	2.080
Pindo grande parte baja	3.051	5.232	6.4551	5.792	9.669	6.728
Afluente S/N parte alta	1.183	1.128	1.705	1.396	1.381	2.652
Afluente S/N parte baja	0.644	0.709	0.673	0.642	1.248	1.877

4.1.11. ESTIMACIÓN DE MODELOS EMPÍRICOS DE LA RELACIÓN LLUVIA-ESCURRIMIENTO.

4.1.11.1. MÉTODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL (ESTIMACIÓN DEL NUMERO DE CURVA).

A. Río Pindo Grande.

- **Número de la curva en condición II de humedad.**

El suelo para el río Pindo Grande según su tasa mínima de infiltración según la tabla 9 corresponde al grupo A, ya que el valor mínimo de infiltración fue de 12.5 mm. Por otro lado la condición hidrológica del suelo es de Condición III, que es regular según el grafico 2. El tipo de vegetación es BOSQUE. El numero de curva de escorrentía según la tabla 5 corresponde al numero 36.

- **Número de la curva en condiciones precedentes a humedad.**

De acuerdo a la tabla 10 la condición precedente a humedad es de condición III, ya que el total de precipitación caída durante los 5 días antes de la infiltración fue de 120 mm de lluvia. Con la tabla 11 se modifica el número de curva a 17.5

B. Afluente S/N.

- **Número de la curva en condición II de humedad.**

El suelo para el Afluente S/N según su tasa mínima de infiltración según la tabla 9 corresponde al grupo A, ya que el valor mínimo de infiltración fue de 65 mm. Por otro lado la condición hidrológica del suelo es de Condición III, que es regular según el gráfico 2. El tipo de vegetación es BOSQUE, el número de curva de escurrimiento según la tabla 5 corresponde al número 36.

- **Número de la curva en condiciones precedentes a humedad.**

De acuerdo a la tabla 10 la condición precedente a humedad es de condición III, ya que el total de precipitación caída durante los 5 días antes de la infiltración fue de 108.1 mm de lluvia. Con la tabla 11 se modifica el número de curva a 17.5

4.1.11.2. MODELACIÓN HIDROGRAMA UNITARIO DEL UNITED STATES SOIL CONSERVATION SERVICE, SCS.

A. Río Pindo Grande

Los resultados para el modelamiento SCS se muestran en la tabla 25 y en el gráfico 14, en el mismo que se muestra la cantidad de caudal punta que se genera por milímetro de lluvia, con 60 milímetros de lluvia (cantidad máxima en el periodo de retorno de 2 años) se genera un caudal punta de 261.98 m³/s, mientras que con 91 milímetros de lluvia (cantidad máxima en el periodo de retorno de 5 años) el caudal punta es de 390.818 m³/s, además, cabe recalcar que por cada milímetro de lluvia se genera un caudal punta de 4.30 m³/s.

Tabla 25. Parámetros para el modelamiento SCS.

Parámetro	Resultado
Área (km ²)	7.551
Tiempo de concentración (Hr)	0.5487
Duración de lluvia efectiva (Hr)	0.0729771
Tiempo de retardo (Hr)	0.32922
Tiempo en punta (Hr)	0.36570855
Caudal punta (m ³ /s)	42.94698606

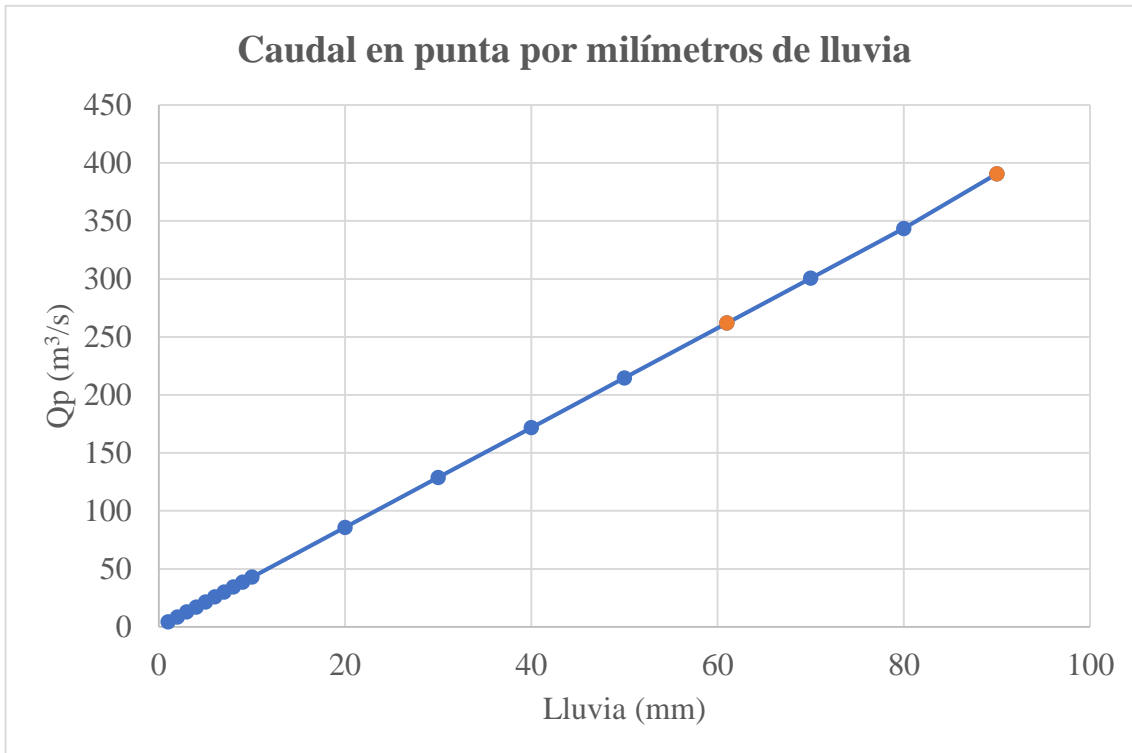


Gráfico 14. Caudal en punta por milímetros de lluvia del río Pindo Grande.

B. Afluente S/N

Los resultados para el modelamiento SCS se muestran en la tabla 26 y en el gráfico 15 que muestra la cantidad de caudal punta que se genera por milímetro de lluvia, con 60 milímetros de lluvia (cantidad máxima en el periodo de retorno de 2 años) se genera un caudal punta de 213.53 m³/s, mientras que con 91 milímetros de lluvia (cantidad máxima en el periodo de retorno de 5 años) el caudal punta es de 318.54, además, cabe recalcar que por cada milímetro de lluvia se genera un caudal punta de 3.5 m³/s.

Tabla 26. Parámetros para el modelamiento SCS.

Parámetro	Resultado
Área (km ²)	7.551
Tiempo de concentración (Hr)	0.6732
Duración de lluvia efectiva (Hr)	0.0895356
Tiempo de retardo (Hr)	0.40392
Tiempo en punta (Hr)	0.4486878
Caudal punta (m ³ /s)	35.00447304

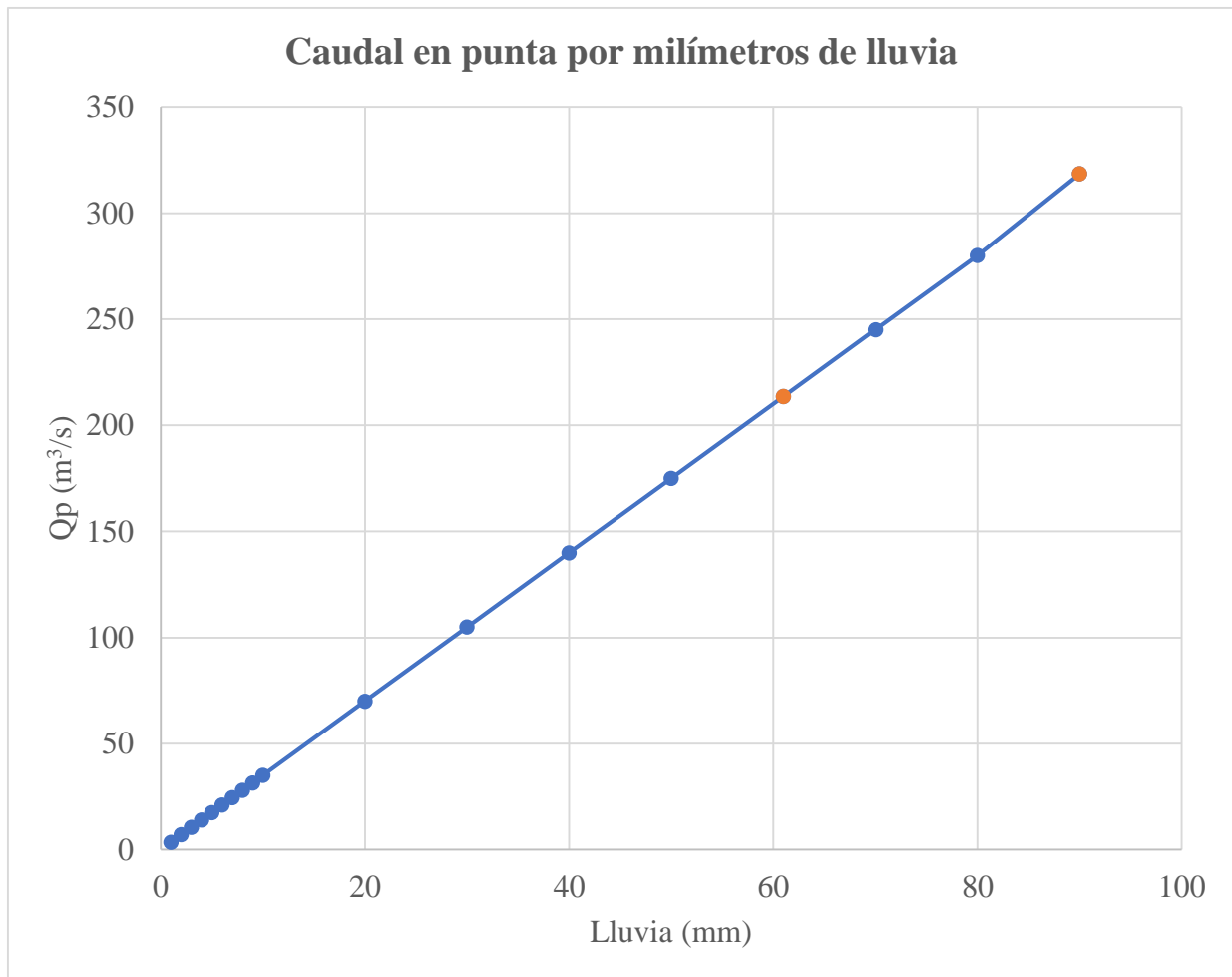


Gráfico 15. Caudal en punta por milímetros de lluvia del afluente S/N.

4.1.12. MODELAMIENTO HEC - HMS.

Una vez ingresado los datos al programa HEC-HMS obtenemos los graficos 16 y 17

En los gráficos 16 y 17 se muestra la relación entre precipitación y caudal, es decir muestra la cantidad de caudal que aumenta por milímetro de lluvia, mediante el modelamiento nos indica que el máximo caudal en el río Pindo grande se alcanzó en el 30 de diciembre con $30,2 \text{ m}^3/\text{s}$, debido a los $20,8 \text{ mm}$ de precipitación registrada, mientras que en el afluente S/N se registró un máximo caudal de $25.9 \text{ m}^3/\text{s}$, cabe recalcar que el 3 de noviembre es donde se presenta mayor precipitación 43.8 mm pero el caudal no es mayor debido a que en el mes de noviembre el caudal medido en los puntos en inferior que el medido en diciembre.

Río Pindo Grande

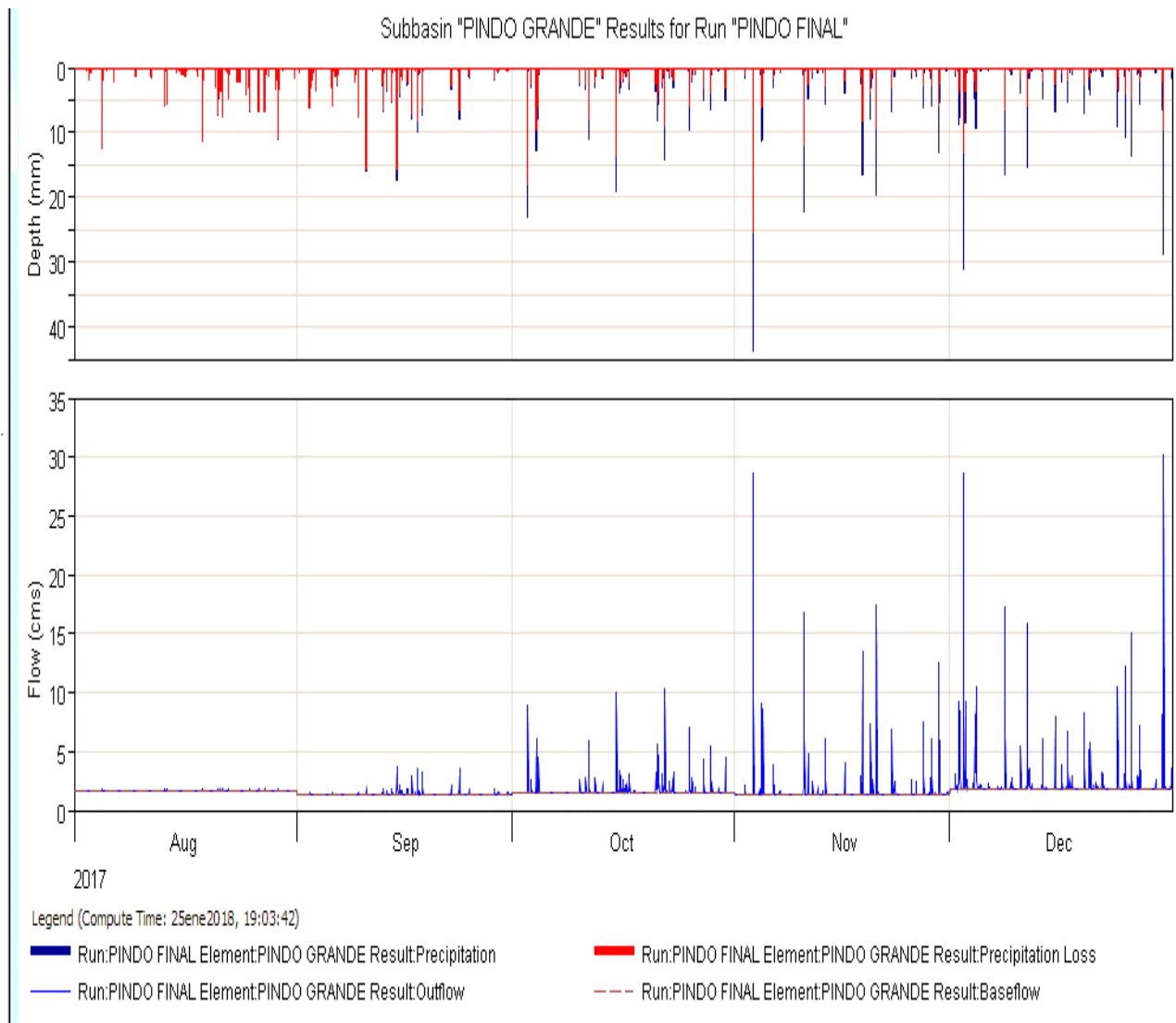


Grafico 16. Modelación HEC-HMS durante los meses de agosto y diciembre del río Pindo Grande.

A. Afluente S/N

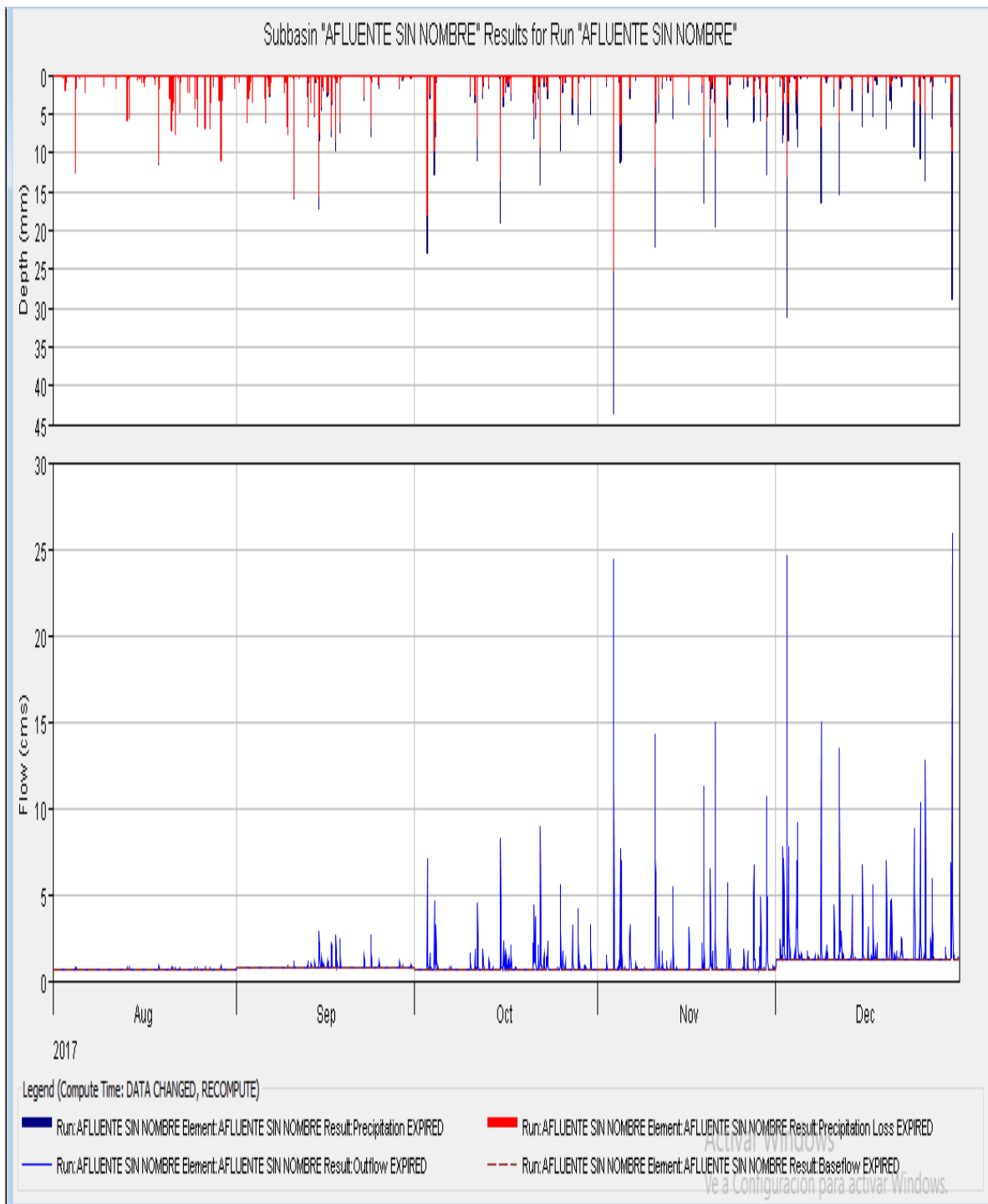


Grafico 17: Modelación HEC-HMS durante los meses de agosto y diciembre del afluente S/N.

4.2. DISCUSIÓN

El resultado de coeficiente de compacidad para el presente estudio fue de 1.06 el mismo que indica que la forma de la cuenca pertenece a la clase I y es redonda oval redonda, el mismo que coincide con un estudio realizado por Tingo en el año 2016 en Ambato, donde el coeficiente de compacidad es de 1.24 por lo que la precipitación que recibe tarda más en llegar a la salida, además, menciona que entre más bajo sea el coeficiente de compacidad, mayor será la concentración de agua. Por otro lado, las pendientes medias del cauce se encuentran entre los valores de 6,19% (río Pindo Grande) y 4,28% (afluente S/N) lo que indica que presentan relieve suave y una velocidad baja de agua, donde los fenómenos de evaporación e infiltración se presentan más fácilmente a lo largo del cauce según lo que indica Estrada & Rojas (2013) en un estudio realizado en Bogotá.

Realizando un análisis de la velocidad de infiltración se determinó que el tipo de vegetación donde se presenta mayor infiltración es el bosque o mosaico estos resultados dieron en el Punto 3 , lado derecho (bosque) del Afluente S/N un valor de 2,405 cm/h, mientras que en el Punto 1, lado derecho (mosaico) del río Pindo Grande con un valor de 0,685 cm/h, concuerdan con los estudios de Abril, *et al.*, (2017) que mencionan que las áreas de mayor infiltración son aquellas que presentan porcentajes de cobertura vegetal de dosel alto puesto que el turno radicular de los arboles va de 0,5 a 1 metro de profundidad lo que plantea que la cobertura vegetal evita la degradación del suelo por escorrentía, disminuyendo el flujo total, aumentando la capacidad de infiltración.

La variación de caudal entre la cabecera y la desembocadura en el río Pindo grande del presente estudio coinciden con los estudios realizados por Rodríguez, en el 2013 en el que menciona que el aumento de caudal se debe al aporte de afluentes naturales y a la infiltración de aguas subterráneas.

La mayor precipitación registrados en el presente proyecto son para el Río Pindo Grande y Afluente S/N en los meses de noviembre y diciembre donde influye directamente en la relación precipitación-caudal en el que la mayor incidencia de esta genera mayor aporte hacia el caudal registrando un aporte significativo, esto se debe a que los mecanismos de la vegetación

del sector de estudio han desarrollado su entorno radicular a profundidades de 0,5 a 1 m, generando así el hecho de que la saturación por infiltración llegue a un tiempo de infiltración saturada, posterior se produce la escorrentía superficial que llegara hacia el caudal incrementándolo en gran manera, mientras que Díaz en el año 2012 en un estudio de precipitación en Mallorca muestra que los meses de mayor precipitación son octubre y noviembre sin embargo gracias a los mecanismos de la vegetación de zona que retiene agua a una profundidad significativa, el agua de las precipitaciones es aprovechada e infiltrada por las plantas, lo cual muestra que no hay un aporte significativo hacia los cauces como en este proyecto donde la vegetación contribuye a un aumento del mismo.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. CONCLUSIONES.

- Las áreas de mayor infiltración fueron aquellas que presentan gran cobertura vegetal, mismas que benefician a la disminución de escorrentía superficial.
- La proyección de las coordenadas tomadas en trabajo de campo respecto a los puntos de monitoreo en medición de caudales e infiltración no son reflejadas con exactitud en los mapas de cartográficos existentes del INAMHI, IGM y SIN, sobre el río Pindo Grande y el Afluente S/N, puesto que son datos geográficos con mayor precisión y sobre todo actuales levantados en el presente proyecto.
- La cuenca del área de estudio presenta una forma Redonda a oval redonda y es una cuenca muy pequeña, el área del río Pindo Grande y del afluente S/N es de 7.55 km^2 y el perímetro es de 10.56 km , se trata de una cuenca muy pequeña, la longitud del cauce del río Pindo Grande es de 3.874 km y el afluente S/N es de 4.202 km , el coeficiente de compacidad es de 1.076 . la pendiente del río Pindo Grande es de 6.19% y del afluente S/N es de 4.28% , el cauce es de orden 3, la densidad de drenaje fue de 1.51 km/km^2 y la densidad de corrientes fue de 3.44 km^2 .
- La precipitación e intensidad máxima anual se presentan en el año 2016 en todos los intervalos de duración (1, 2, 4, 6, 8, 12, 24 horas), la precipitación máxima presentada es de 271.2 mm , la intensidad máxima anual es de 86.6 mm .
- Se construyeron las curvas IDF para periodos de retorno de 2 y 5 años, la intensidad de precipitación máxima en q hora para el periodo de retorno de 2 años es de 60.45 mm , mientras que en el periodo de retorno la intensidad máxima es de 91.77 mm .
- Se determinó el gasto base durante 6 meses, en la que el máximo caudal registrado se dio entre el mes de diciembre y enero, los puntos donde se registraron mayor caudal fueron Afluente S/N parte baja y Pindo Grande parte baja.
- El número de curva en condición II de humedad tanto para el río Pindo grande y el afluente S/N fue de 36, mientras que el número de la curva en condiciones precedentes a humedad para los dos ríos fue de 17.5.

- El tiempo de concentración para el río Pindo Grande es de 0.5487 horas, y el caudal punta es de 42.95 m³/s y para el afluente S/N el tiempo de concentración es de 0.6732 horas y la caudal punta es de 35.00 m³/s.

5.2. RECOMENDACIONES.

- Al no existir información de caudales ni del río Pindo Grande ni del afluente S/N se recomienda realizar mediciones de todos los meses, ya que el presente proyecto cuenta con 6 meses de mediciones.
- Se recomienda que mediante una carta topográfica se defina la parte alta, baja y media para así obtener valores más exactos en las mediciones de caudal y de ser posible incrementar puntos de medición de caudal.
- Se recomienda realizar más mediciones de infiltración en los mismos sitios para tener resultados más exactos, ya que en el presente estudio se realizó una única vez.
- Se recomienda hacer estudios posteriores con el fin de ampliar y completar la información obtenida en el presente estudio.
- Es recomendable que se realicen estudios de escorrentía para tiempos superiores a un año que reflejen datos viables para la elaboración de dicho estudio.

6. BIBLIOGRAFÍA.

- Abril, R., López, A., & Reyes, J. (2017). Influencia del dosel y sotobosque en pérdida de suelo por escorrentía en bosque de realce. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 38(2). Recuperado el 28 de 01 de 2018, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382017000200002
- Allen, B. (2007). Hidrología Básica y Aplicada. Barcelona, España: Grupo de investigación en Transporte de Sedimentos. Recuperado el 26 de 11 de 2017, de <https://www.upct.es/~minaees/hidrologia.pdf>
- Álvarez, J., & Calle, G. (2013). Estudio de parámetros hidráulicos e hidrológicos para el dimensionamiento de obras para drenaje vial en la vía de acceso al sector "La Unión" en Santa Isabel- Azuay". *Tesina previa a la obtención de título de Ingeniero Civil*. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca. Recuperado el 26 de 11 de 2017, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4472/1/TESINA.pdf>
- Anaya, O. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca hidrográfica Chinchao, distrito de Chinchao, Provincia de Huánuco, Región Huánuco. *Práctica Preprofesional*. Tingo María: Universidad Nacional Agraria de la Selva. Recuperado el 20 de 11 de 2017
- Bacuilima, M., & Cedillo, P. (2012). Estudio hidrológico para el diseño de una obra de drenaje mayor. *Tesis de Pregrado*. Cuenca: Universidad de Cuenca. Recuperado el 20 de 11 de 2017, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/769/1/ti895.pdf>
- Breña, A., & Jacobo, M. (2006). Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial. Ciudad de México. Recuperado el 20 de 11 de 2017, de http://www.uamenlinea.uam.mx/materiales/licenciatura/hidrologia/principios_fundamentos/libro-PFHS-05.pdf
- Brown, O., Gallardo, Y., & Valdés, J. (2013). Curva de intensidad frecuencia y duración de inundaciones (IFD) para el municipio Venezuela, provincia Ciego de Ávila, Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22. Recuperado el 20 de 11 de 2017, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542013000500011
- Cacoango, I. (2014). Modelamiento de la Microcuenca del río Illangama con la Utilización del modelo Hidrológico Soil and Water Assessment Tool "SWAT". *Tesis de Grado Previo a la Obtención del Título de ingeniero Agrónomo*. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador. Recuperado el 20 de 11 de 2017
- Carvalho, P., & Delgado, J. (2013). Estudio Hidrológico del Puente sobre el Río Jadán, Parroquia Jadán, Cantón Gualaceo, Provincia de Azuay. *Monografía de Grado previo a la obtención del Título de ingeniero Civil*. Cuenca: Universidad de Cuenca. Recuperado el 21 de 11 de 2017
- Centeno, M. (2015). Análisis hidrológico – hidráulico para los puentes en zonas de inundación generadas por el proyecto “Pacalori”. *Tesis Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Civil*. Cuenca: Universidad de Cuenca. Recuperado el 21 de 11 de 2017

- Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. (2012). *Riesgo de inundaciones*. Recuperado el 21 de 11 de 2017, de http://centros.edu.xunta.es/iesbeade/Departamento_biologia-xeologia/CTMA_Riscos_naturais-As_avenidas.pdf
- Cojulun, R. (2013). Comparación del modelo Insivumeh contra el modelo Wenzel para la elaboración de curvas IDF en los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango, Sololá y Retalhuleu. *Trabajo de Graduación*. Ciudad de Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado el 22 de 11 de 2017
- Cordero, I. (2013). Evaluación de la gestión territorial de la cuenca del río Paute, estrategias y líneas de acción para superarlas. *Trabajo previo a la obtención del grado de magíster en ordenación territorial*. Cuenca: Universidad de Cuenca. Recuperado el 25 de 11 de 2017, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3358/1/TESIS%20.pdf>
- Cox, C. (2006). Determinación de la Conductividad Hidráulica en la Zona No Saturada con el Infiltrómetro de Anillo. *Hidrogeología*. Santiago de Chile: Universidad de Chile. Recuperado el 22 de 11 de 2017, de http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/Hidro_MOD3/Guia%20Estudiantes%20Infiltr%F3metro.pdf
- Departamento de Defensa de los Estados Unidos. (2013). *HEC-RAS*. Recuperado el 22 de 11 de 2017, de <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/features.aspx>
- Díaz, V. (2012). Análisis hidrológico e hidráulico mediante técnicas SIG de la peligrosidad por inundaciones en el cuenca del Pla de Sant Jordi (Mallorca). *Máster en Tecnologías de la Información Geográfica (TIG)*. Mallorca: Universidad Complutense. Recuperado el 30 de 01 de 2018, de http://eprints.ucm.es/38292/1/TFM_Virginia_Diaz_de_la_Cruz%20%281%29.pdf
- Escalona, W., & V. M. (2006). Análisis Climatológico de la Península de Paraguana. *Trabajo Especial de Grado*. Maracaibo: Universidad Rafael Urdaneta. Recuperado el 23 de 11 de 2017
- Estación meteorológica Gobierno provincial de Pastaza. (2017). Estimación a partir de datos de lluvia diaria. Puyo. Recuperado el 05 de 01 de 2018
- Estrada, Y., & Rojas, D. (2013). Comparación entre el método racional y el método del número de curva para la estimación de caudales, caso de estudio puente vehicular del proyecto residencial refugio de Bassedonia I. *Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Recursos Hídricos*, 65. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Recuperado el 28 de 01 de 2018, de <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1003/6/PROYECTO%20DE%20GRADO%20ESP%20%20RH.pdf>
- FAO. (1997). *Medición sobre el Terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentía*. (Boletín de Suelos de la FAO - 68)- Capítulo 4 - Caudal. Recuperado el 12 de 12 de 2017, de <http://www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s06.htm>
- Fernández, A. (2008). Estudio de habilitación de terrenos en el Sector de las ánimas: factibilidad de desagüe al Estero santa Rosa. *Tesis para optar al título de Ingeniero Civil en Obras Civiles*. Valdivia: Universidad Austral de Chile. Recuperado el 28 de 01 de 2018, de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfci363e/doc/bmfci363e.pdf>
- Ferrando, A., & Francisco, J. (2006). Sobre inundaciones y anegamientos. *Revista Electrónica del Departamento de Urbanismo*(15). Recuperado el 21 de 11 de 2017, de

http://web.uchile.cl/vignette/revistaurbanismo/CDA/urb_completa/0,1313,ISID%253D668%2526IDG%253D2%2526ACT%253D0%2526PRT%253D19141,00.html

- García, A. (2011). Proyecto educativo sobre consumo de agua segura dirigido a las familias de la comunidad los Tillales parroquia Sucre. *Tesis de Grado*. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politecnica del Chimborazo. Recuperado el 15 de 11 de 2017, de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6726/1/104T0020.pdf>
- García, R., & Conesa, C. (2011). Estimación de caudales de avenida y delimitación de áreas inundables mediante métodos hidrometeorológicos e hidráulicos y técnicas S.I.G., estudio aplicado al litoral sur de la región de Murcia. *Papeles de Geografía*(53-54). Recuperado el 26 de 01 de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40721572008>
- Gaspari, F., Senisterra, G., & Marlats, R. (2007). Relación precipitación - escorrentía y número de curva bajo diferentes condiciones de uso del suelo. Cuenca modal del sistema serrano de La Ventana, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 39(1), 21-28. Recuperado el 22 de 01 de 2018, de <http://www.redalyc.org/pdf/3828/382837653003.pdf>
- Geraldi, A., Piccolo, C., & Perillo, G. (2010). Delimitación y Estudios de Cuencas Hidrográficas con Modelos Hidrológicos. *Investigaciones Geográficas*. Bahía Blanca, España: Instituto de Geografía Universidad de Alicante. Recuperado el 20 de 11 de 2017, de https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/21208/1/Investigaciones_Geograficas_52_08.pdf
- Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Shell. (2015). *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial*. Recuperado el 19 de 11 de 2017, de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1660012930001_DIAGNOSTICO%20PD%20yOT%20SHELL%202015_15-05-2015_15-07-49.pdf
- Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2011). Valores del n° de curva (cálculo de la escorrentía). Valencia: Universidad Politecnica de Valencia. Recuperado el 26 de 01 de 2018, de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10783/Valores%20del%20n%C2%BA%20de%20curva.pdf>
- Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental. (2010). *Curso de Hidrología Aplicada*. Recuperado el 28 de 01 de 2018, de Sistema Hidrológico: https://www.fing.edu.uy/imfia/imfiaweb/sites/default/files/01_Sistema_Hidrologico_2010.pdf
- Instituto Didactia. (2017). *Especialista en Modelado Hidráulico de Cauces, Avenidas e Inundación con HEC (HEC-RAS + HEC-HMS)*. Recuperado el 18 de 02 de 2018, de <http://www.ididactia.com/course/especialista-en-modelado-hidraulico-de-cauces-avenidas-e-inundacion-con-hec-hec-ras-hec-hms/>
- Jaramillo, J. (2009). *Estimación de escorrentía superficial a través de los datos de lluvia*. Recuperado el 26 de 01 de 2018, de <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:6P9NAW5BB9sJ:https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6083/7/CAPITULO%25203.-CAUDAL.doc+&cd=3&hl=es&ct=clnk&gl=ec>

- Juárez, M. (2016). Delimitación de la cuenca y unidades hidrográficas del Arroyo la Encantada Saltillo Coahuila mediante el método Pfafstetter. *Tesis como requisito parcial para obtener el título de Ingeniero Agrónomo en Irrigación.*, 31. Coahuila: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Recuperado el 30 de 01 de 2018, de <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/8089/64092%20JUAREZ%20GOMEZ%20MATEO%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- López, J., González, M., Scaini, A., Goñi, M., Valdenebro, J., & Gimena, F. (2012). Caracterización del modelo HEC-HMS en la cuenca de río Arga en Pamplona y su aplicación a cinco avenidas significativas. *Obras y proyectos*(12), 15-30. Recuperado el 30 de 01 de 2018, de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-28132012000200002
- Marano, R. (2011). *Planificación y manejo del agua en la agricultura irirgada*. Recuperado el 17 de 11 de 2017, de Relación suelo - agua: <https://dytaguas.files.wordpress.com/2011/10/1-agua-en-suelo-marano-2011.pdf>
- Martínez, A., Mongil, J., & Del Río, J. (2003). *Pequeña guía de uso del modelo MODIPÉ*. Recuperado el 26 de 01 de 2018, de Oasificación: <http://www.oasification.com/archivos/Peque%C3%B1a%20gu%C3%ADa%20de%20uso%20del%20modelo%20MODIP%C3%89.pdf>
- Martínez, A., Rojo, L., Manso, J., Del Río, J., Pando, V., Hospital, J., & Rivas, J. (2003). *Tablas del número de curva*. Recuperado el 26 de 11 de 2017, de <http://www.oasification.com/tablasden.htm>
- Martínez, E. (2005). *Hidrología práctica*. Madrid: Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos. Recuperado el 28 de 11 de 2017
- Mejía, G., & Salamea, A. (2011). Diseño de un sistema para reciclado, control y utilización de agua lluvia en la ciudad de Cuenca. *Tesis previa a la obtención del título de ingeniero mecánico*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana. Recuperado el 23 de 11 de 2017, de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1420>
- Meza, M., Rodríguez, A., Corvacho, O., & Tapia, A. (2014). Análisis morfométrico de microcuencas afectadas por flujos de detritos bajo precipitación intensa en la quebrada de Camiña, norte grande de Chile. *Diálogo andino*(44), 15-24. Recuperado el 17 de 11 de 2017, de <http://www.scielo.cl/pdf/rda/n44/art03.pdf>
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2010). *Conceptos básicos de Cuencas*. Recuperado el 27 de 01 de 2018, de Manual de Manejo de Cuencas: http://www.colsan.edu.mx/investigacion/aguaysociedad/proyectogro2/Biblioteca/Bibliografia/M%F3dulo%204/manual_manejo_de_cuencas_modulo_1%5B1%5D.pdf
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008). Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. Lima: Laboratorio DEE. Recuperado el 17 de 11 de 2017, de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/970.pdf
- Montaguano, H., & Salamea, A. (2012). Plan de manejo ambiental de la cuenca baja del río Ambato tramo comprendido de la quebrada Jarupana a la quebrada seca. *Tesis previa a la obtención del*

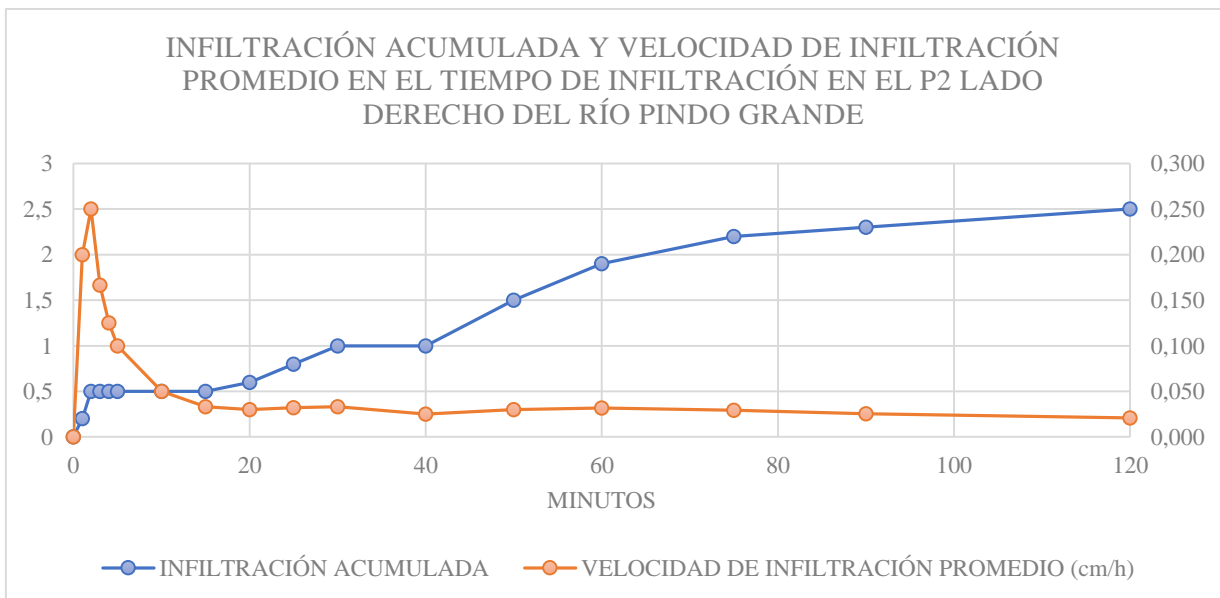
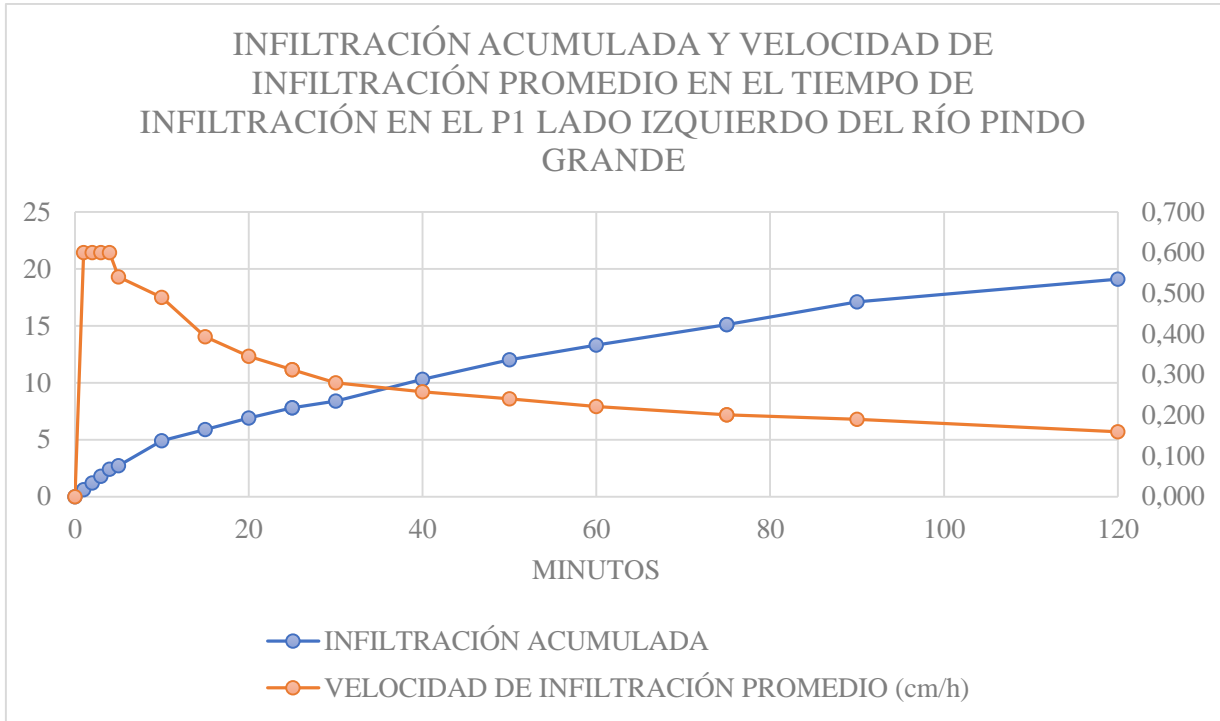
- título de ingeniero ambiental*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana. Recuperado el 19 de 11 de 2017, de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/3589>
- Mott, R. (1996). *Mecánica de fluidos aplicada* (4ta ed.). Ciudad de México: Prentice Hall. Recuperado el 19 de 02 de 2018
- Osorno, N. (2006). Infiltración del agua en el suelo manejado bajo enfoques orgánico y convencional con cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Tesis profesional*. Texcoco: Universidad Autónoma Chapingo. Recuperado el 19 de 11 de 2017
- Otálvaro, M. (2016). Consideraciones generales para realizar el diseño hidrológico e hidráulico de obras de drenaje para vías de bajos volúmenes de tránsito. caso de estudio pista de prueba Urrao-Antioquia. *Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniera Civil*. Medellín: Universidad de Medellín. Recuperado el 25 de 11 de 2017, de http://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/2203/TG_IC_4.PDF?sequence=1&isAllowed=y
- Perez, G., & Rodríguez, A. (2009). Hidrología superficial. *Nuevo plan 2009*. Ciudad de México: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Recuperado el 20 de 11 de 2017
- Pizarro, R., Sangüesa, C., Bjarne, P., Vera, M., Vallejos, C., Morales, C., . . . Valdés, R. (2013). Curvas Intensidad Duración Frecuencia para las regiones Metropolitana, Maule y Biobío. Intensidades desde 15 minutos a 24 horas. *Documentos Técnicos del PHI-LAC, N° 29*. Recuperado el 23 de 11 de 2017, de http://eias.entalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/libros/IDF_15_24_horas.pdf
- Robredo, J. (2014). *Calculo de caudales de avenida*. Recuperado el 26 de 11 de 2017, de <http://www.hidrojing.com/wp-content/uploads/2014/04/CALCULO-DE-CAUDALES-DE-AVENIDA.pdf>
- Rodas, F. (2014). Planificación de la cuenca Hidrográfica como Generadora de Desarrollo en la República de Guatemala. *Trabajo de Graduación*. Ciudad de Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado el 26 de 11 de 2017, de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3787_C.pdf
- Rodríguez, L. (2013). Análisis de la contaminación y modelamiento de parámetros físico químicos en el curso medioalto del río Puyo. *Proyecto de grado presentado como requisito parcial para la obtención del título de: magister en sistemas de gestión ambiental*. Puyo: Escuela Superior Politécnica del Ejército. Recuperado el 29 de 01 de 2018, de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/7523/1/T-ESPE-047407.pdf>
- Rojo, J. (2010). *Estimación de caudales máximos usando hidrogramas unitarios sintéticos y el método racional*. Recuperado el 28 de 01 de 2018, de http://julianrojo.weebly.com/uploads/1/2/0/0/12008328/modelos_lluvia_escorrentia.pdf
- Romero, J. (2011). Gestor de Datos de Estaciones Pluviométricas en Access. *Tesis*. Morelia Michoacán: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Recuperado el 28 de 11 de 2017
- Ruiz, E., & Martínez, M. (2015). *Hidrología Aplicada*. Recuperado el 26 de 01 de 2018, de https://ocw.ehu.es/pluginfile.php/4575/mod_resource/content/1/Material_Docente/Tema_4.pdf

- Sánchez, J. (2016). *Hidrología superficial III*. Recuperado el 23 de 11 de 2017, de http://hidrologia.usal.es/temas/Hid_sup_3.pdf
- Sistema Intermunicipal de los servicios de Agua Potable y Alcantarillado. (2014). *Criterios y lineamientos técnicos para factibilidades en la A.M.G.* Recuperado el 28 de 11 de 2017, de Infiltración Pluvial: http://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/capitulo_5._infiltracion_pluvial.pdf
- Tingo, W. (2016). Plan de Manejo de la Intercuenca Zona Media del Río Ambato, nivel 7-código Pfasterter: 4996927, ubicada en el Cantón Ambato provincia de Tungurahua. *Trabajo de grado previo a la obtención del Título de Ingeniero Ambiental*, 107. Ambato: Universidad Nacional de Chimborazo. Recuperado el 30 de 11 de 2018, de <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/1360>
- Tutoriales al Día - Ingeniería Civil. (2013). *Algunos parámetros de forma y drenaje de la cuenca hidrográfica y su relación con el tiempo de concentración*. Recuperado el 28 de 11 de 2017, de <http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/algunos-parametros-de-forma-y-drenaje-de-la-cuenca-hidrografica-y-su-relacion-con-el-tiempo-de-concentracion/>
- Tutoriales al Día - Ingeniería Civil. (2013). *Cálculo de la pendiente media del cauce principal de una cuenca hidrográfica*. Recuperado el 28 de 11 de 2017, de <http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/calculo-de-la-pendiente-media-del-cauce-principal-de-una-cuenca-hidrografica/>
- Umaña, E. (2002). Educación ambiental con enfoque en manejo cuencas y prevención de desastres. *Manejo de cuencas hidrógraficas y protección de fuentes de agua*. San Nicolás: Universidad Nacional Agraria. Recuperado el 27 de 11 de 2017, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsade/fulltext/cuencas.pdf>
- Valverde, J. (2007). *Riego y Drenaje*. San José: EUNED Editorial Universidad Estatal a Distancia. Recuperado el 29 de 11 de 2017
- Villón, M. (2002). *Hidrología* (1ra ed.). San José. Recuperado el 27 de 11 de 2017

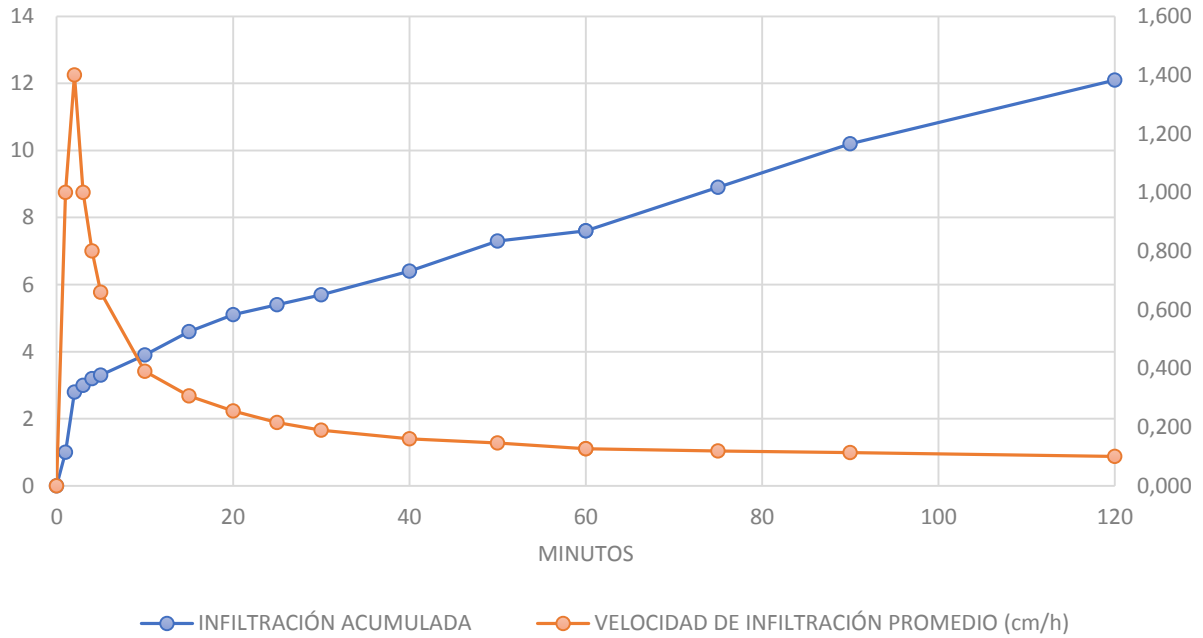
ANEXOS.

ANEXO A. RESULTADOS DE VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN PROMEDIO E INFILTRACIÓN ACUMULADA.

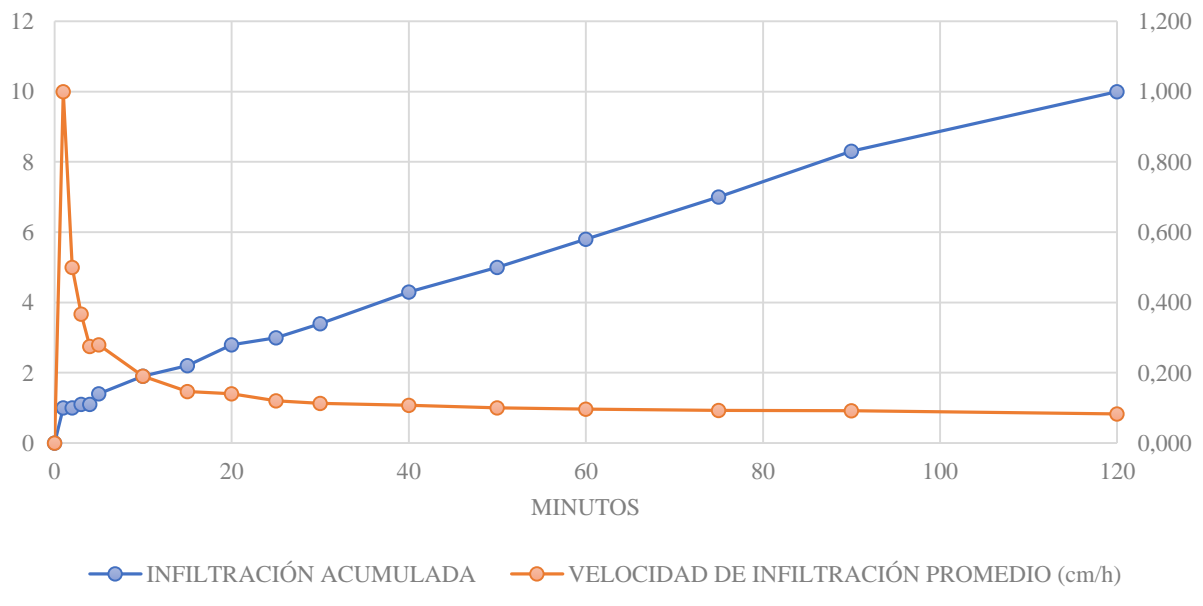
RIO PINDO GRANDE.

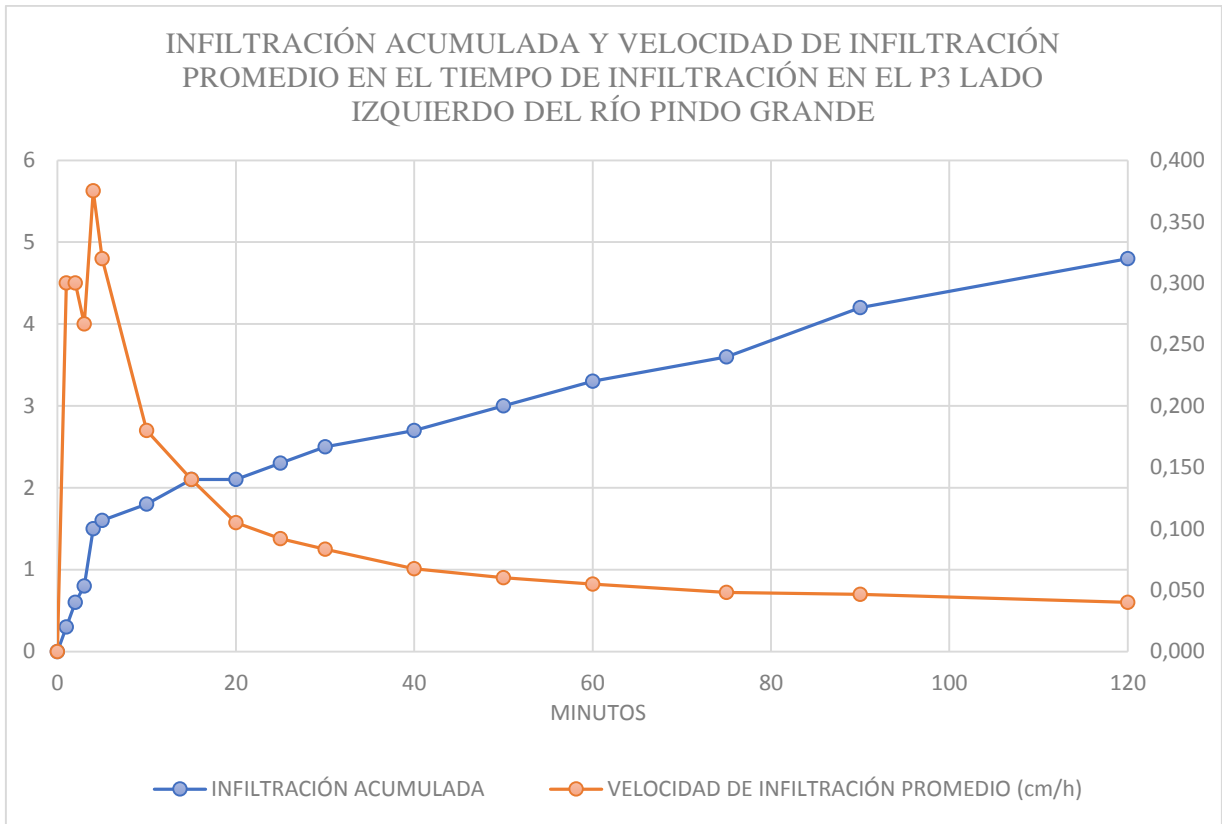


INFILTRACIÓN ACUMULADA Y VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN PROMEDIO EN EL TIEMPO DE INFILTRACIÓN EN EL P2 LADO IZQUIERDO DEL RÍO PINDO GRANDE

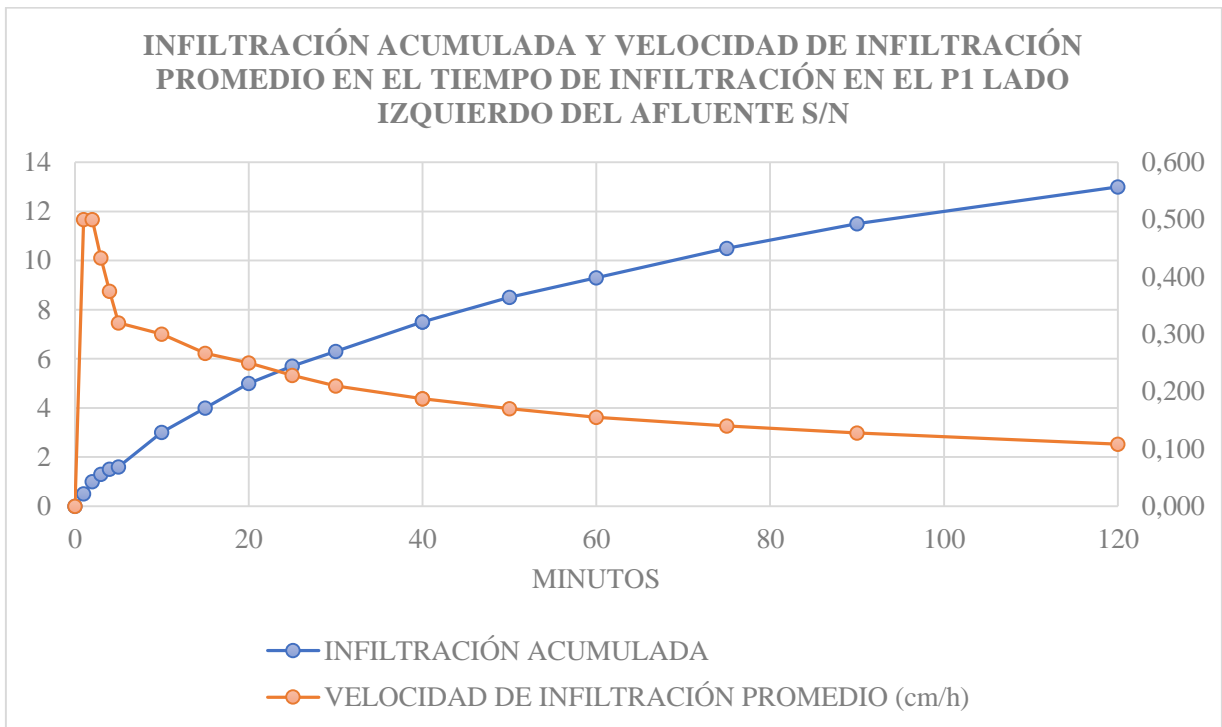


INFILTRACIÓN ACUMULADA Y VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN PROMEDIO EN EL TIEMPO DE INFILTRACIÓN EN EL P3 LADO DERECHO DEL RÍO PINDO GRANDE

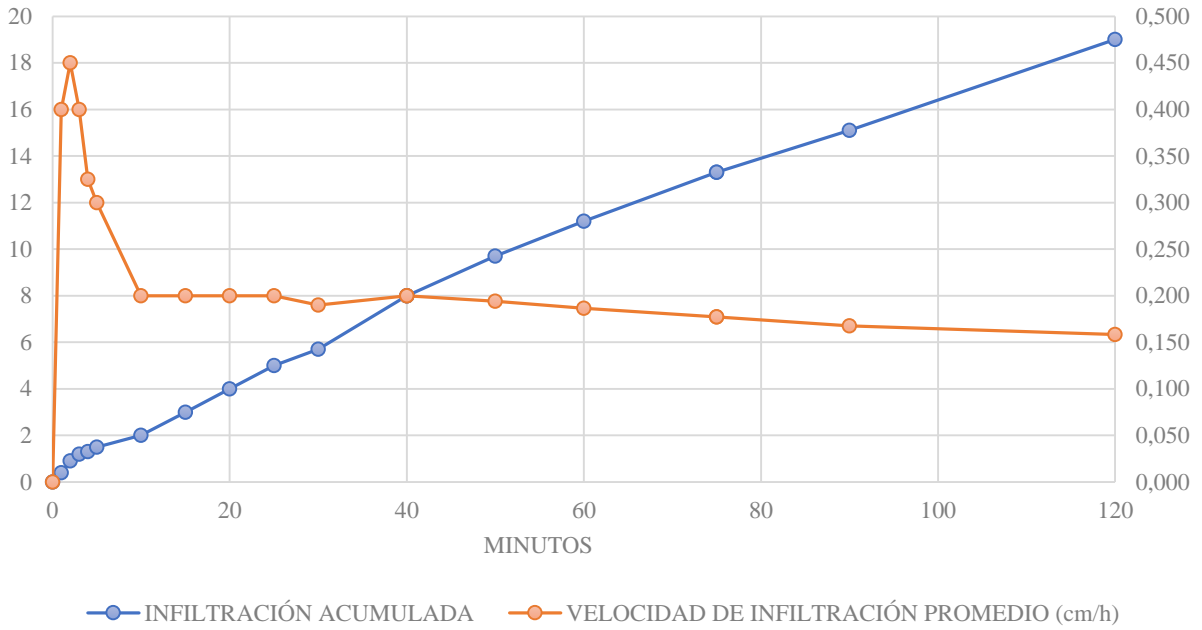




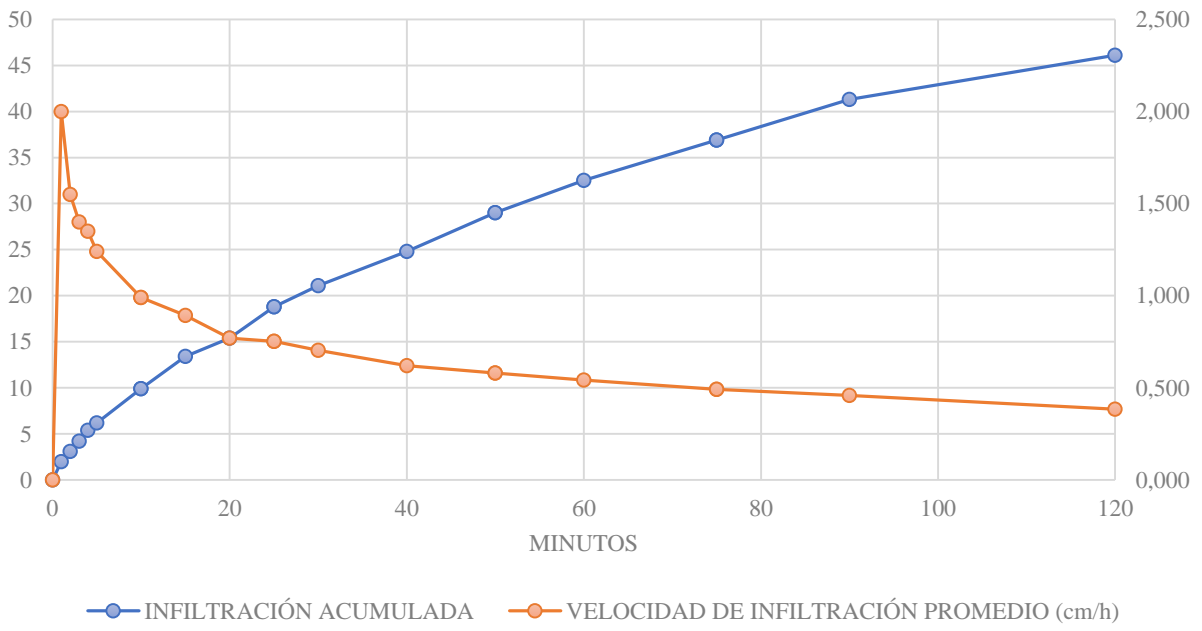
AFLUENTE S/N.



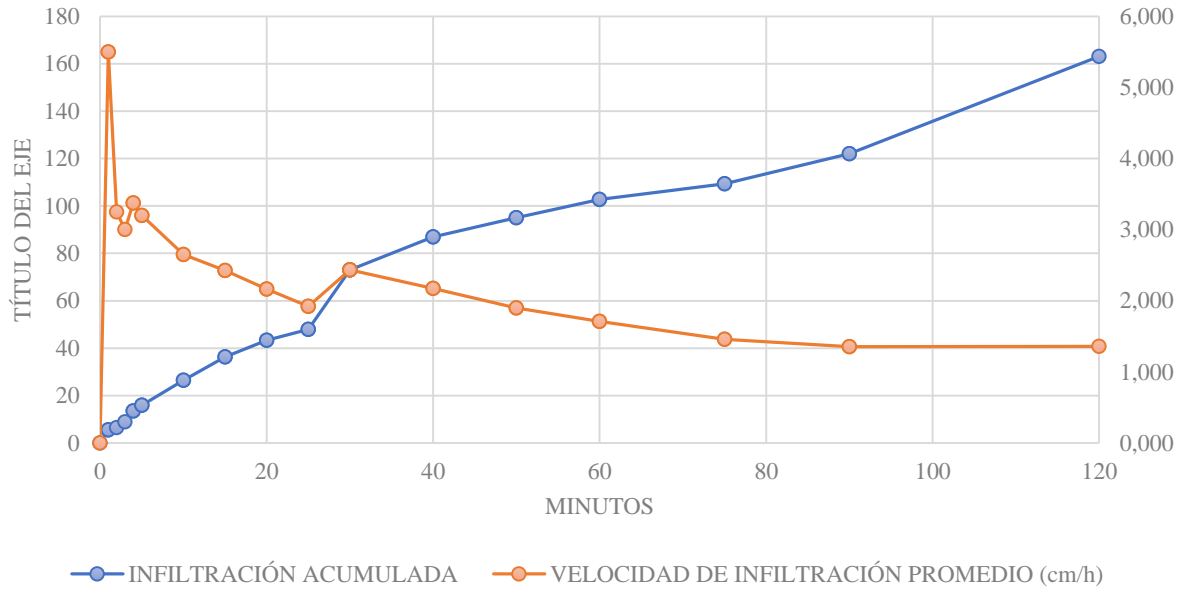
INFILTRACIÓN ACUMULADA Y VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN PROMEDIO EN EL TIEMPO DE INFILTRACIÓN EN EL P2 LADO DERECHO DEL AFLUENTE S/N



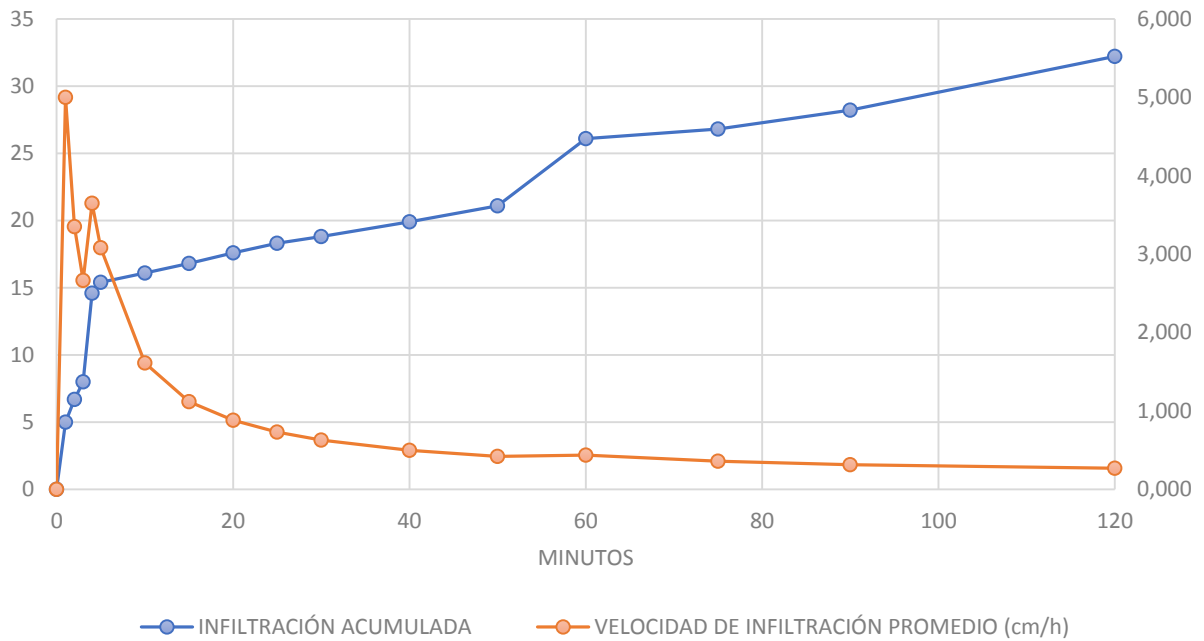
INFILTRACIÓN ACUMULADA Y VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN PROMEDIO EN EL TIEMPO DE INFILTRACIÓN EN EL P2 LADO IZQUIERDO DEL AFLUENTE S/N



INFILTRACIÓN ACUMULADA Y VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN PROMEDIO EN EL TIEMPO DE INFILTRACIÓN EN EL P3 LADO DERECHO DEL AFLUENTE S/N



INFILTRACIÓN ACUMULADA Y VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN PROMEDIO EN EL TIEMPO DE INFILTRACIÓN EN EL P3 LADO IZQUIERDO DEL AFLUENTE S/N

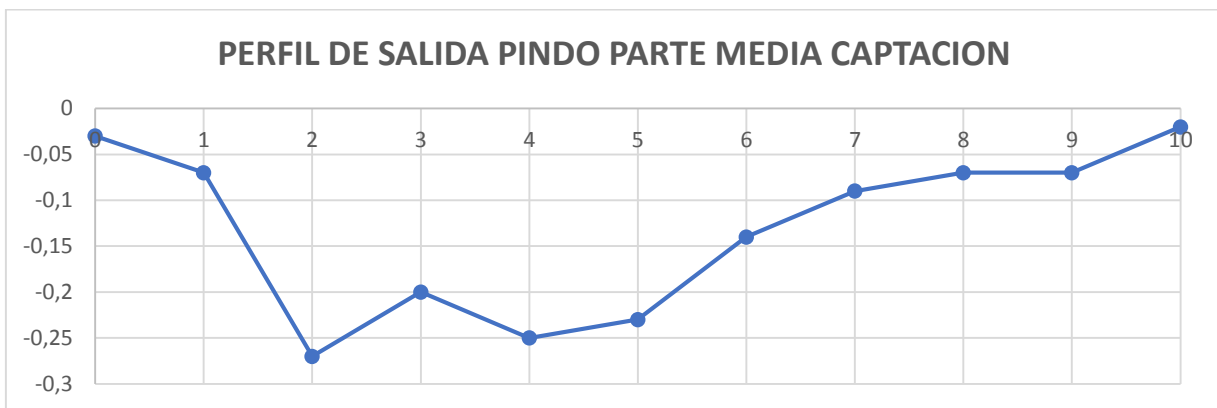
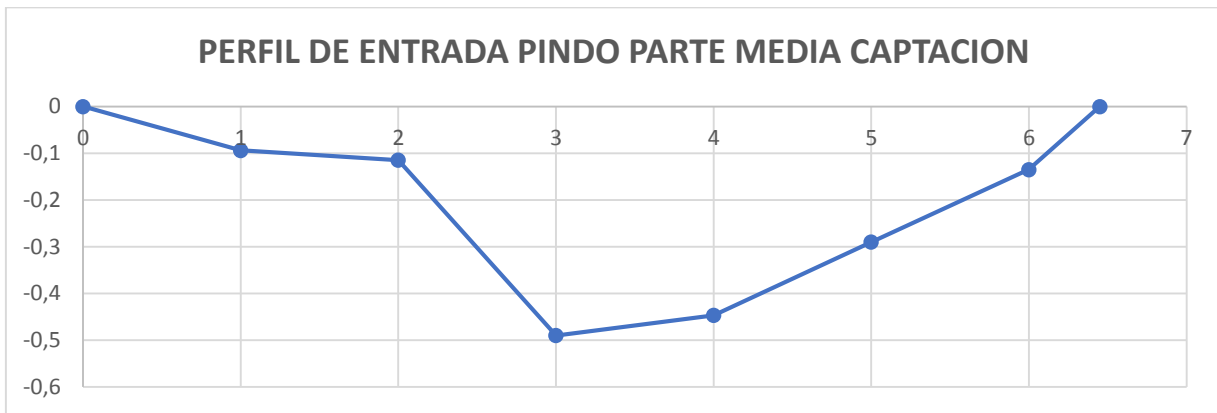


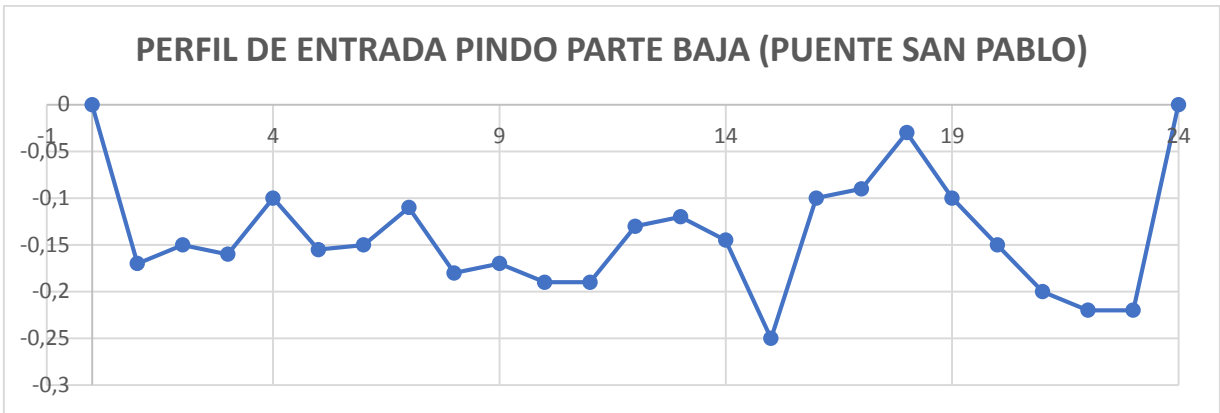
ANEXO B. RESULTADOS DE CAUDAL EN CADA PUNTO.

MES DE AGOSTO.

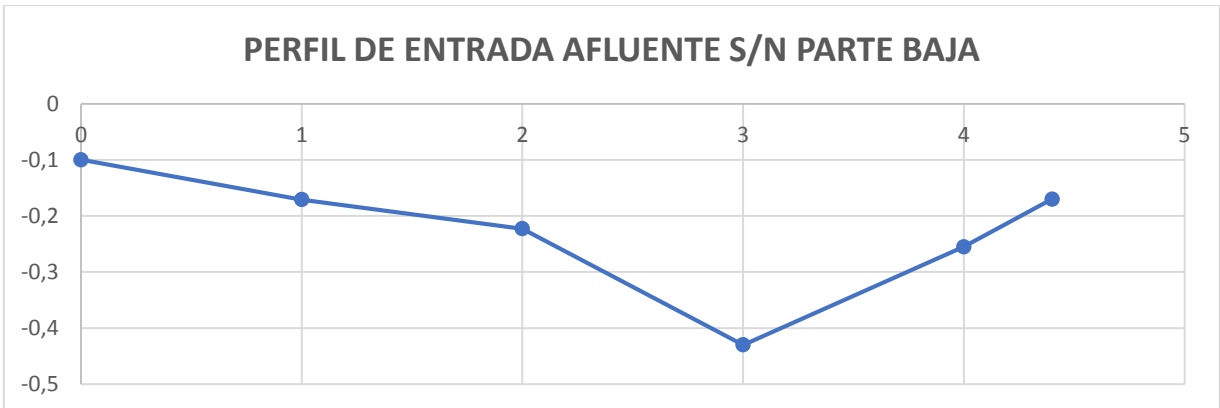
		AGOSTO	
		ANCHO ENTRADA	ANCHO SALIDA
PINDO GRANDE	PARTE ALTA	7.6	7
	PARTE MEDIA	6.45	10
	PARTE BAJA	24	16.1
AFLUENTE S/N	PARTE ALTA	3.82	5.4
	PARTE BAJA	4.4	4.1

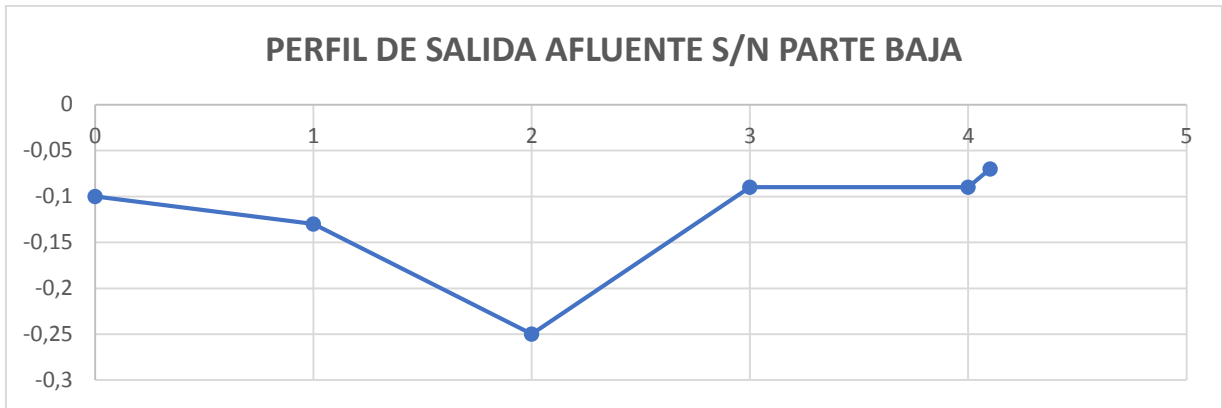
RIO PINDO GRANDE





AFLUENTE S/N.

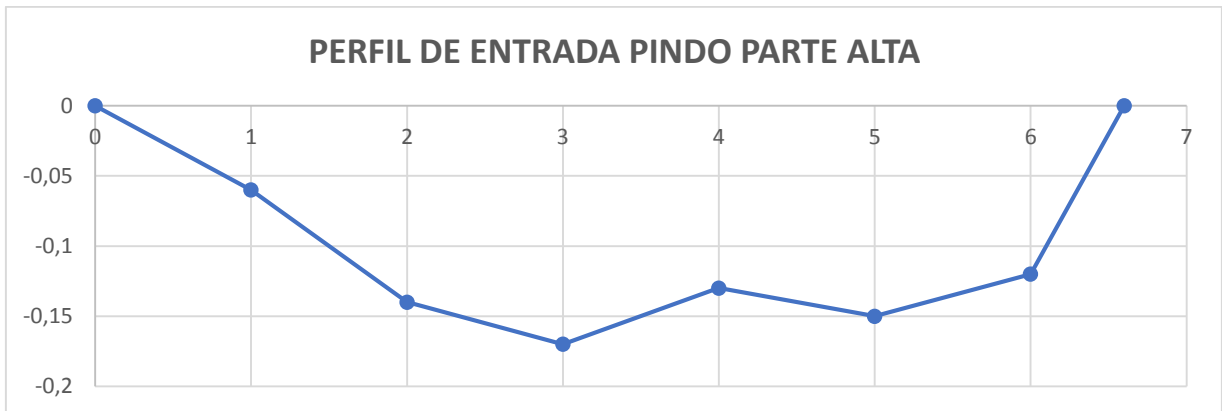


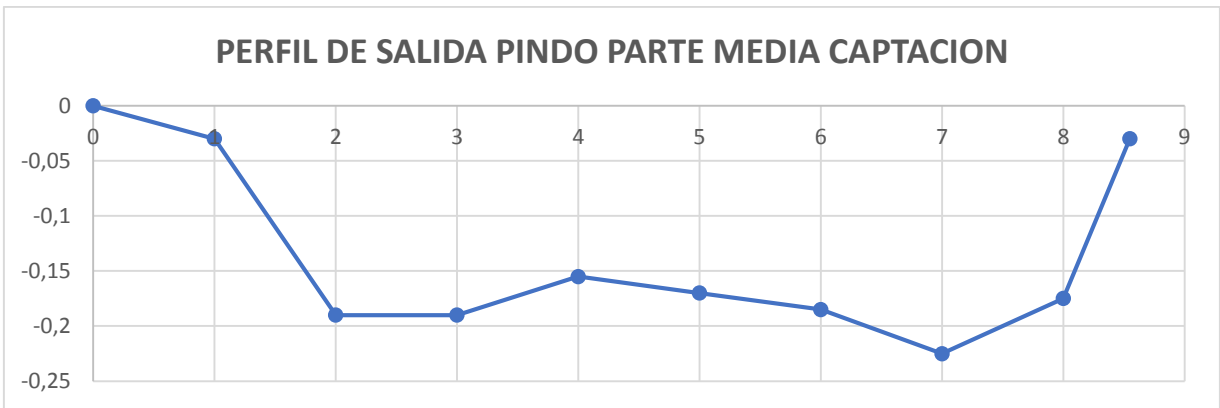
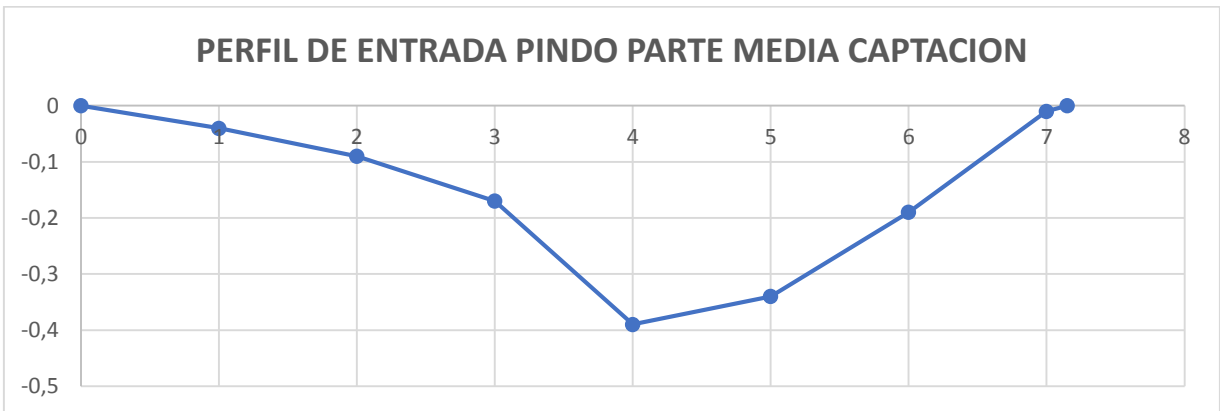
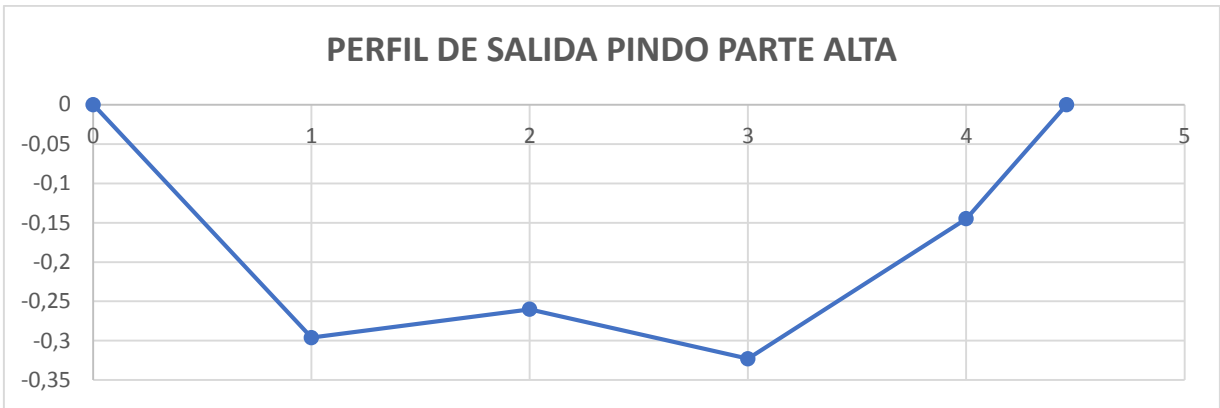


MES DE SEPTIEMBRE

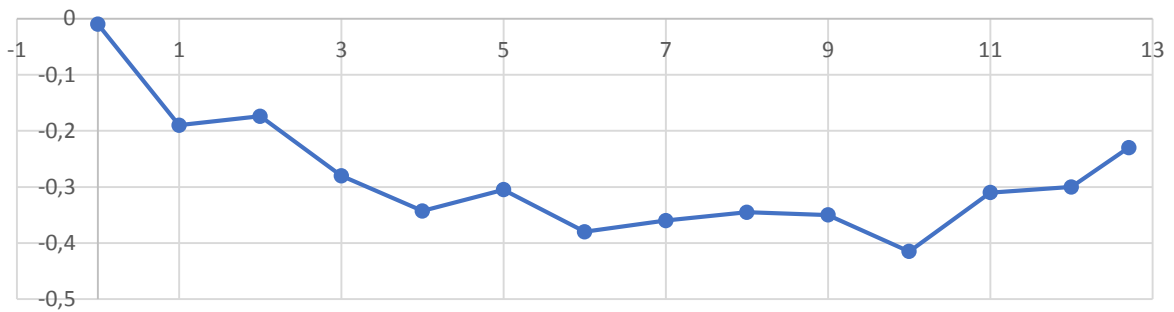
		SEPTIEMBRE	
		ANCHO ENTRADA	ANCHO SALIDA
PINDO GRANDE	PARTE ALTA	6.6	4.46
	PARTE MEDIA	7.15	8.55
	PARTE BAJA	12.71	23.65
AFLUENTE S/N	PARTE ALTA	3.82	5.1
	PARTE BAJA	4.4	4

RÍO PINDO GRANDE

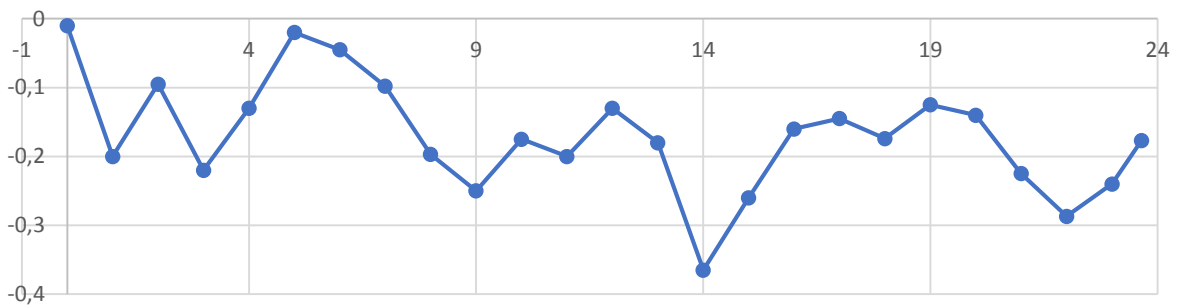




PERFIL DE ENTRADA PINDO PARTE BAJA (PUENTE SAN PABLO)

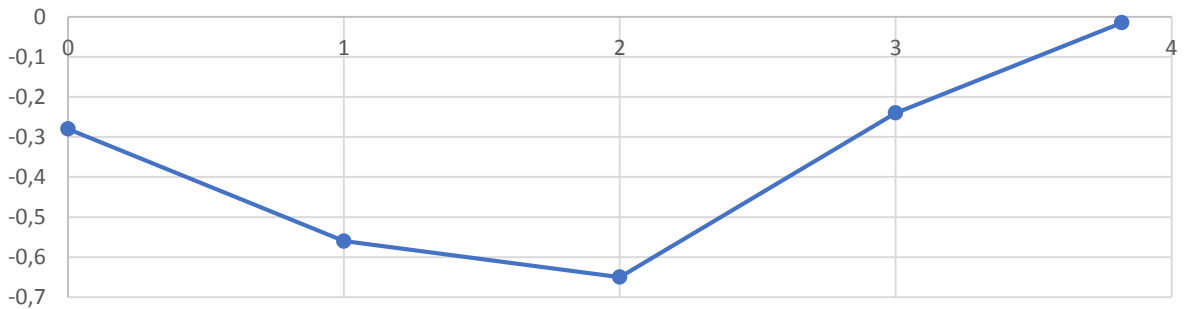


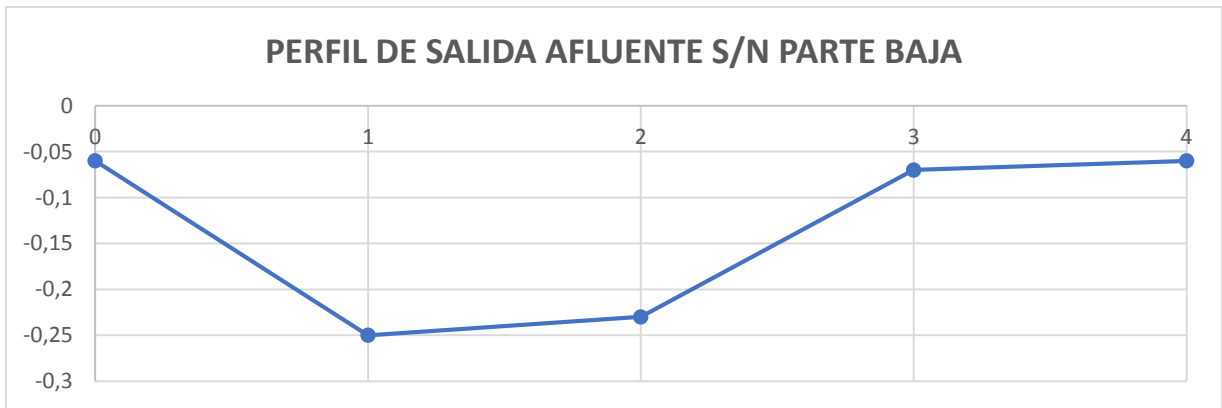
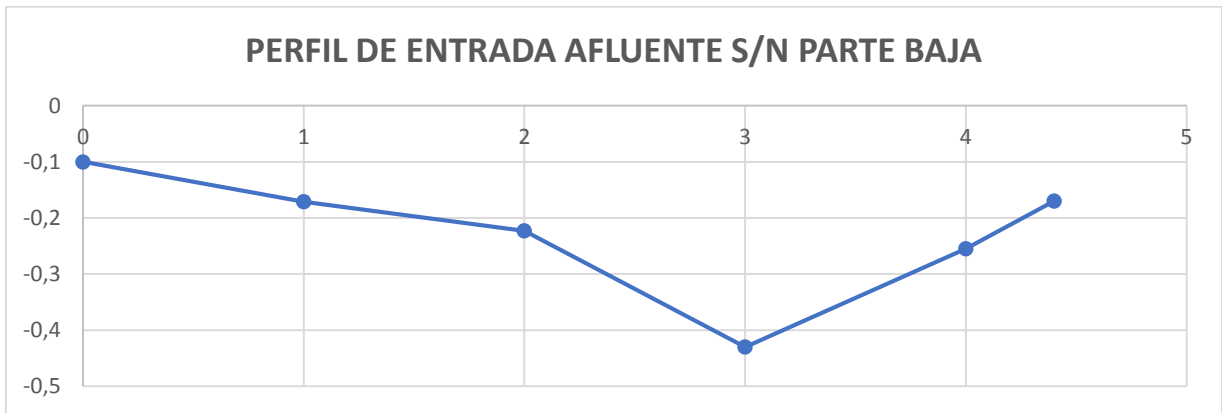
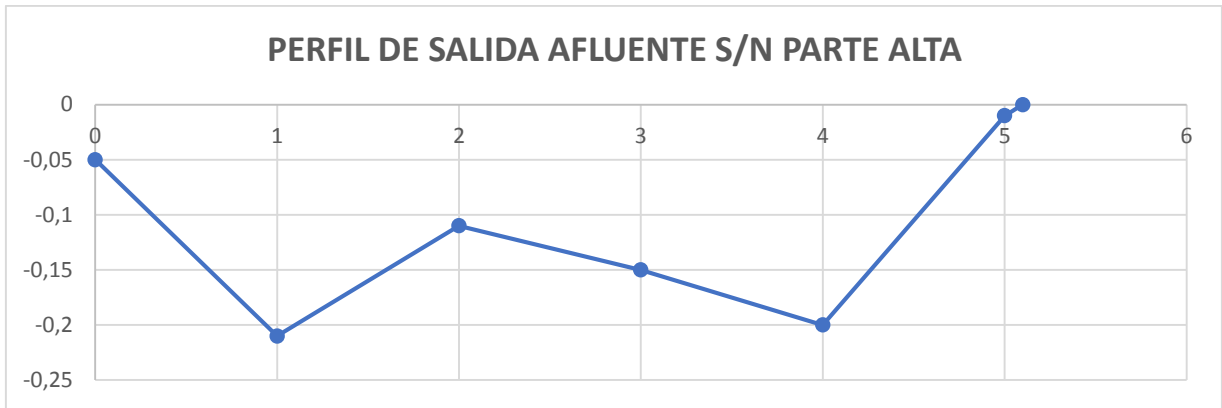
PERFIL DE SALIDA PINDO PARTE BAJA (PUENTE SAN PABLO)



AFLUENTE S/N

PERFIL DE ENTRADA AFLUENTE S/N PARTE ALTA

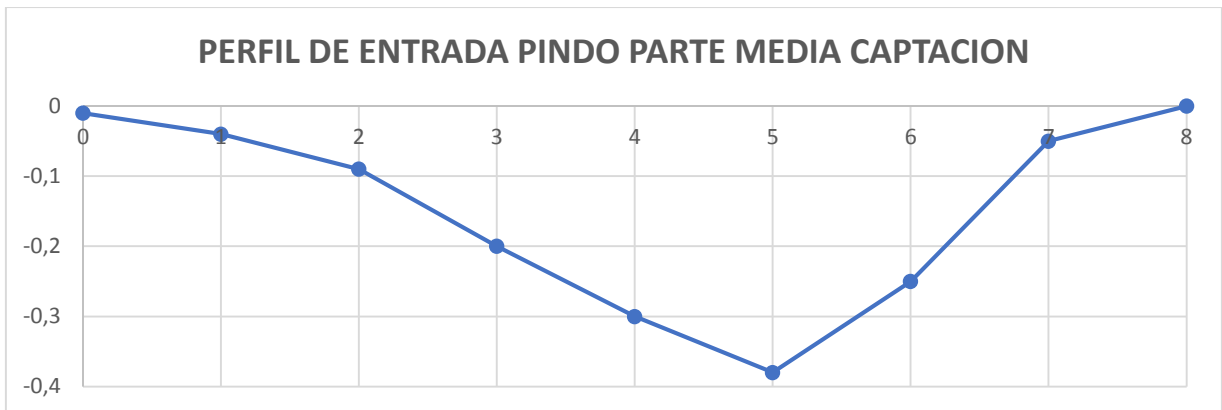
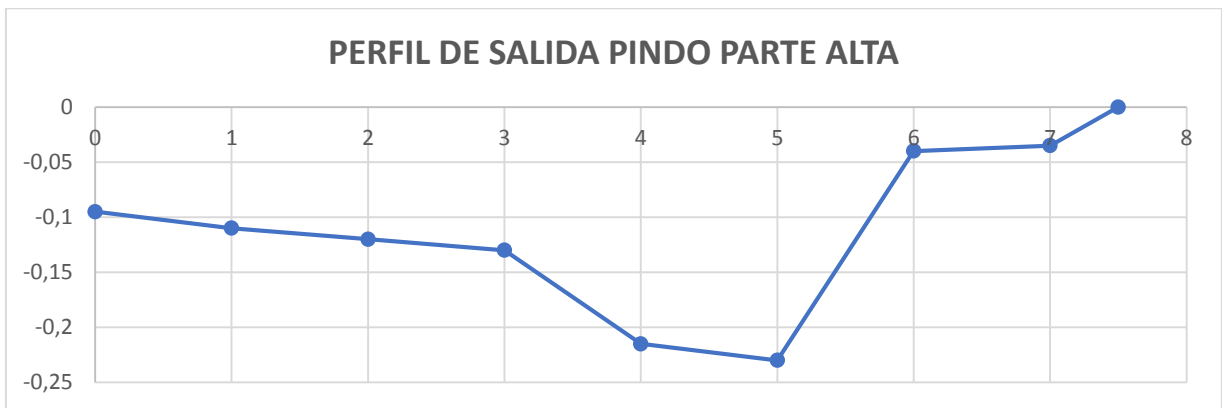




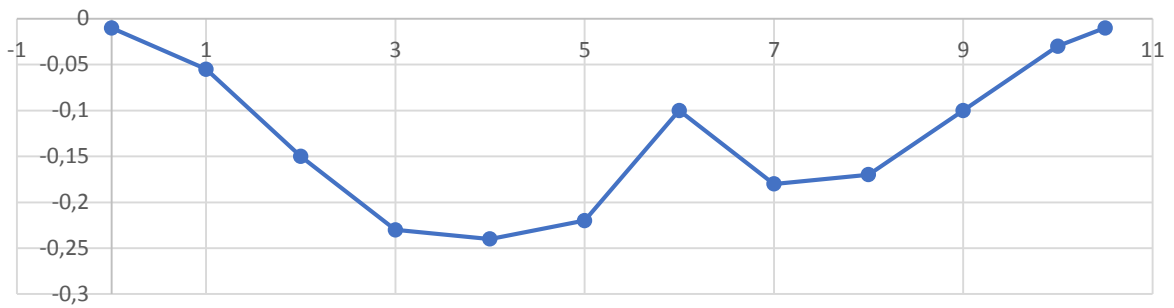
MES DE OCTUBRE.

		OCTUBRE	
		ANCHO ENTRADA	ANCHO SALIDA
PINDO GRANDE	PARTE ALTA	7.7	7.5
	PARTE MEDIA	8	10.5
	PARTE BAJA	23.35	23.5
AFLUENTE S/N	PARTE ALTA	3.82	5
	PARTE BAJA	4.4	5.33

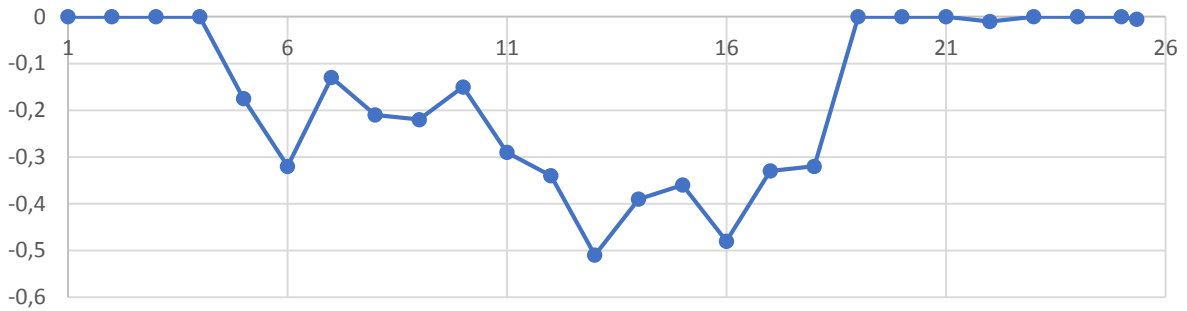
RÍO PINDO GRANDE.



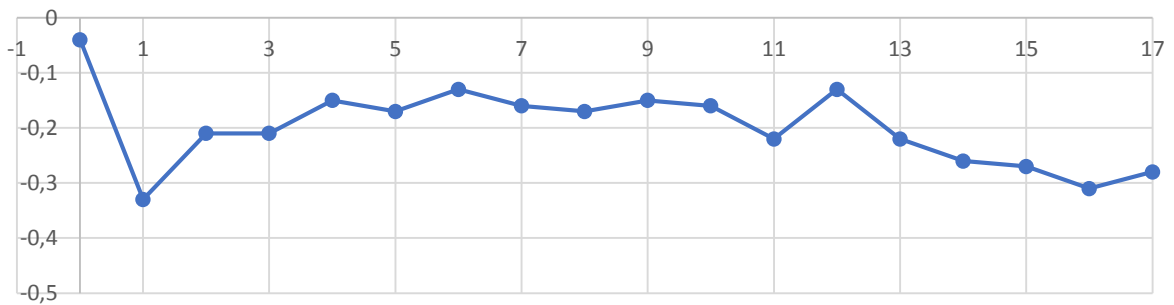
PERFIL DE SALIDA PINDO PARTE MEDIA CAPTACION



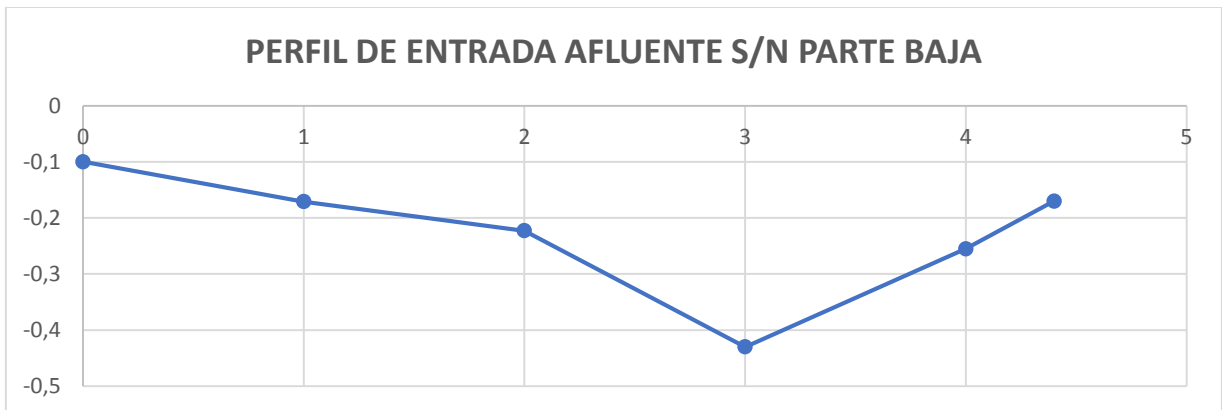
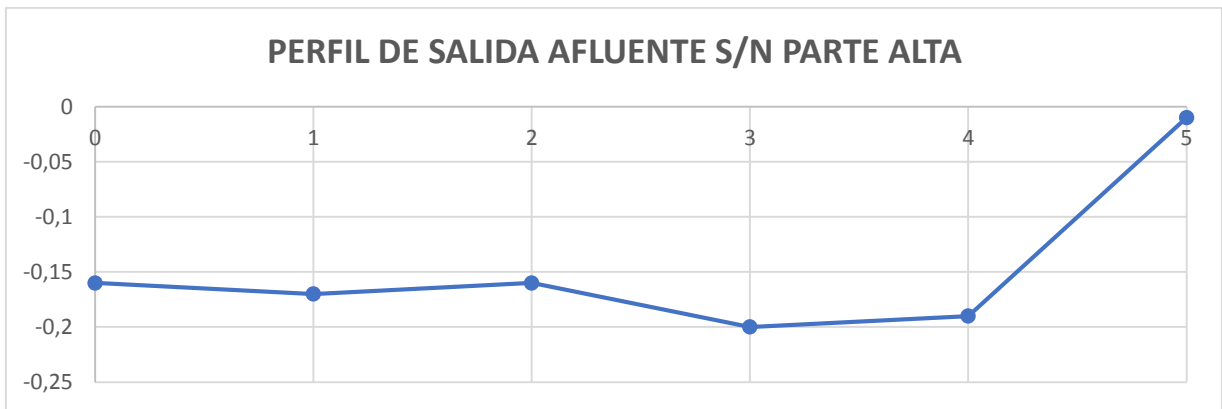
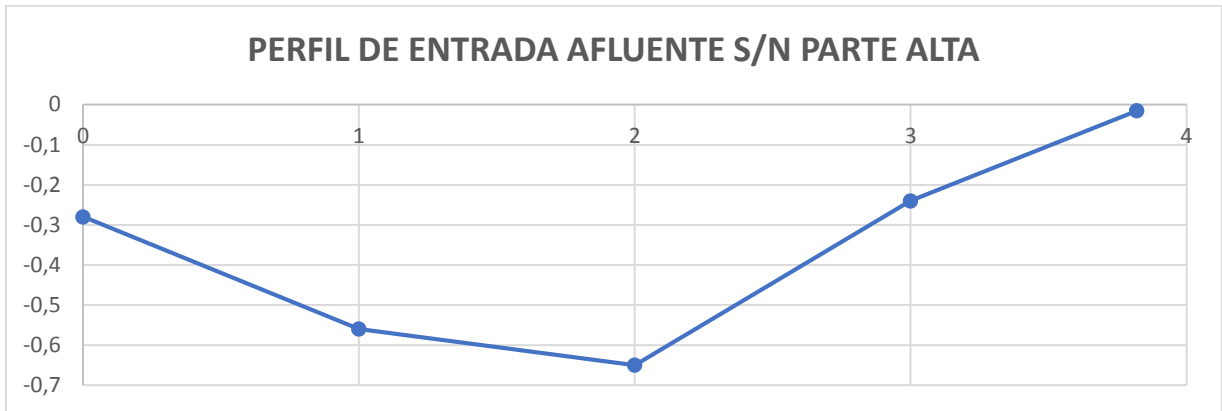
PERFIL DE ENTRADA PINDO PARTE BAJA (PUENTE SAN PABLO)

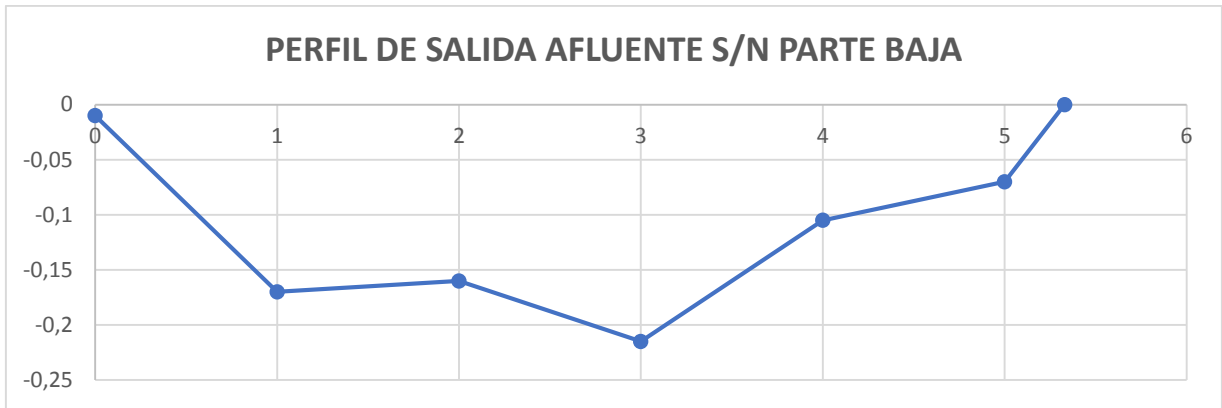


PERFIL DE SALIDA PINDO PARTE BAJA (PUENTE SAN PABLO)



AFLUENTE S/N.

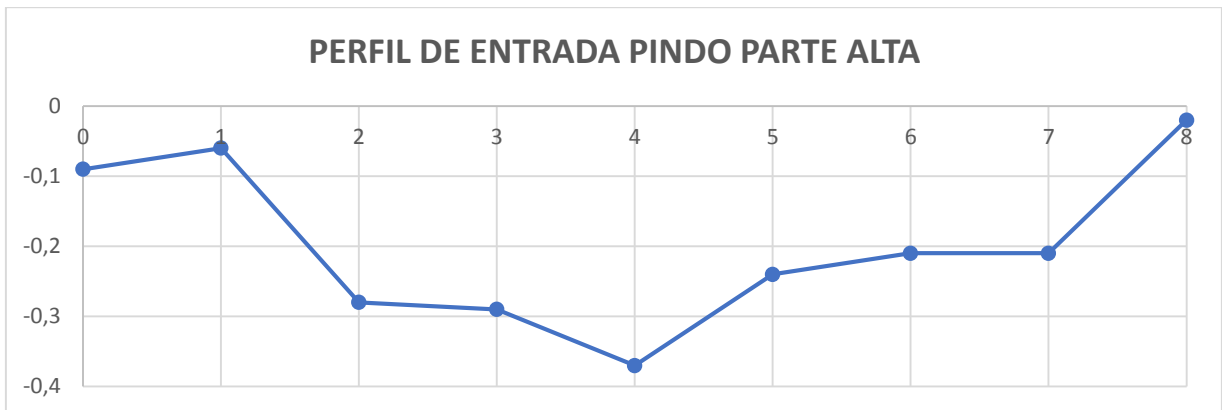


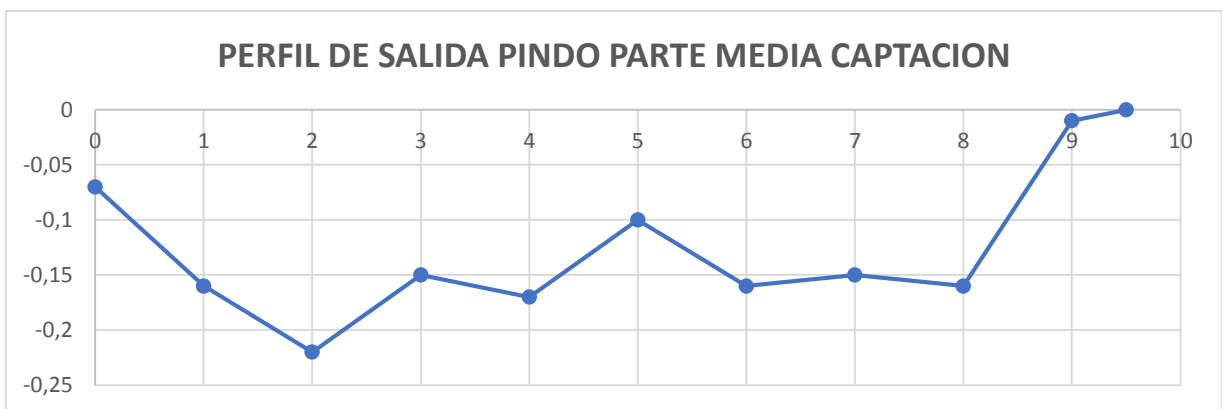
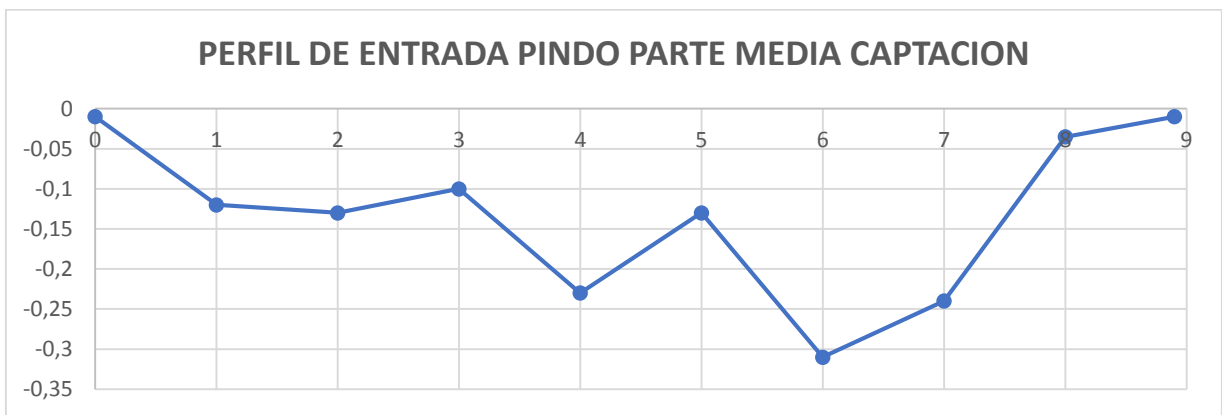
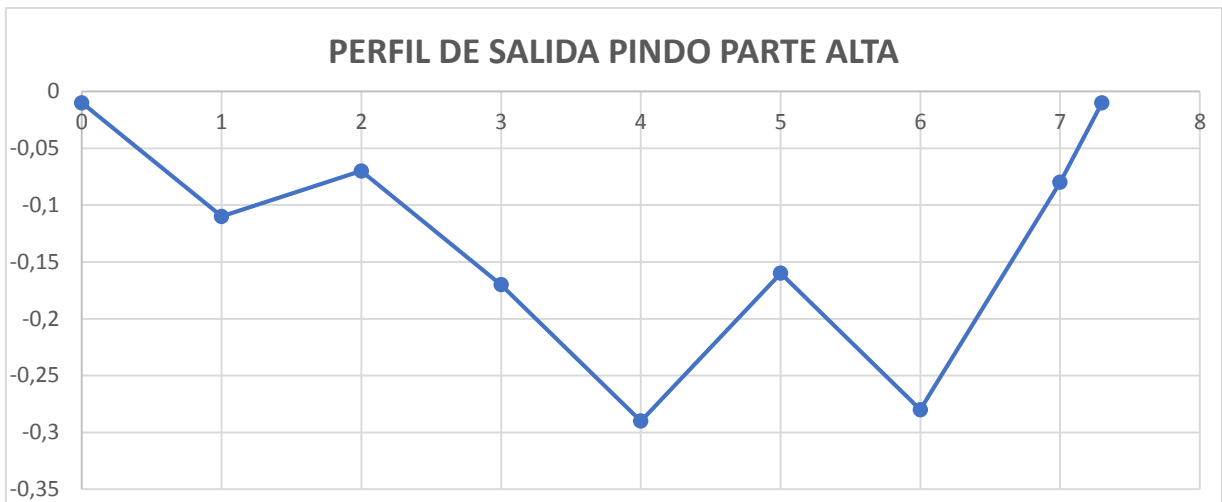


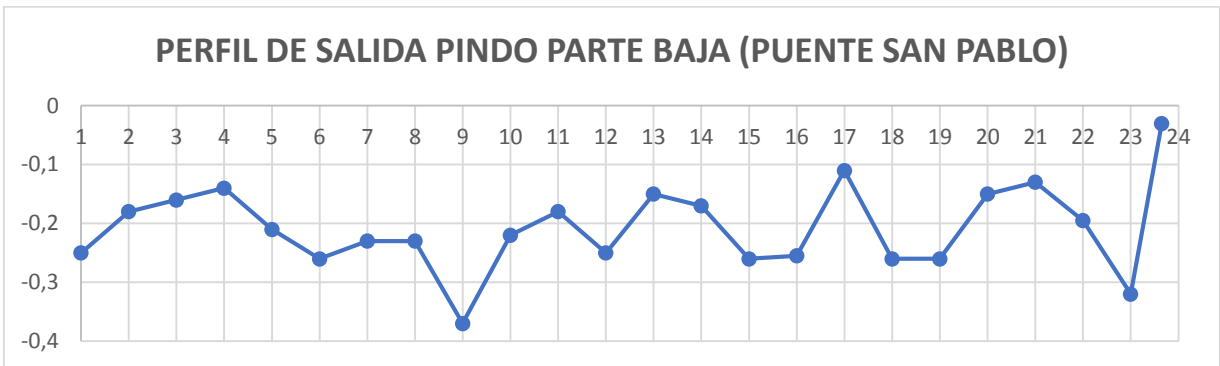
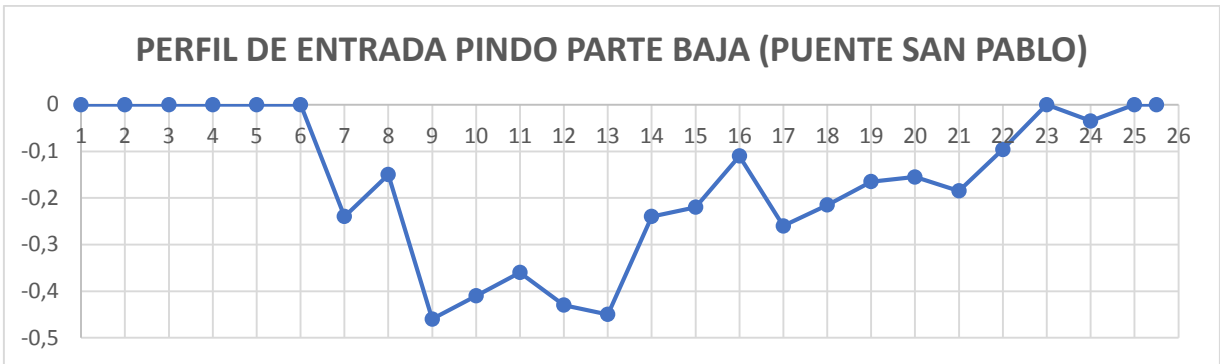
MES DE NOVIEMBRE.

		NOVIEMBRE	
		ANCHO ENTRADA	ANCHO SALIDA
PINDO GRANDE	PARTE ALTA	8	7.3
	PARTE MEDIA	8.9	9.5
	PARTE BAJA	25.5	23.65
AFLUENTE S/N	PARTE ALTA	3.3	4.9
	PARTE BAJA	4.3	4.5

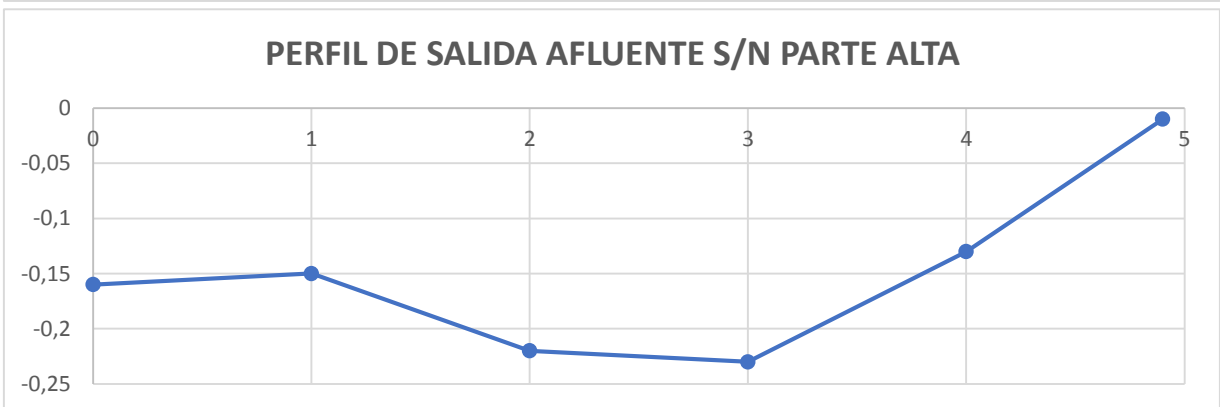
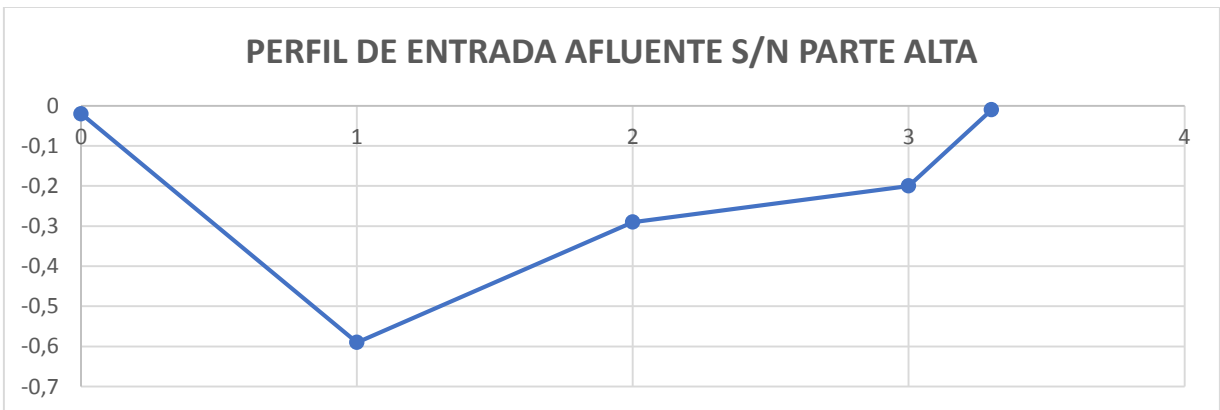
RÍO PINDO GRANDE.

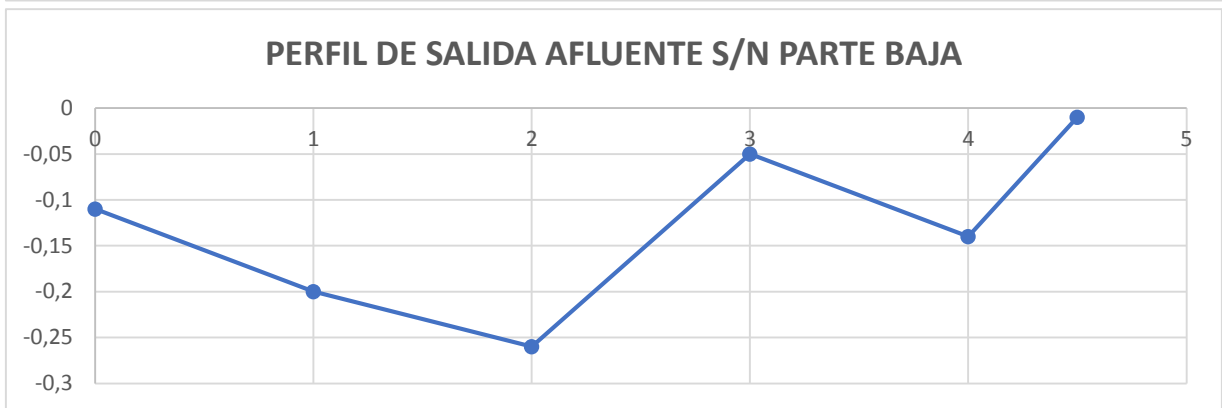
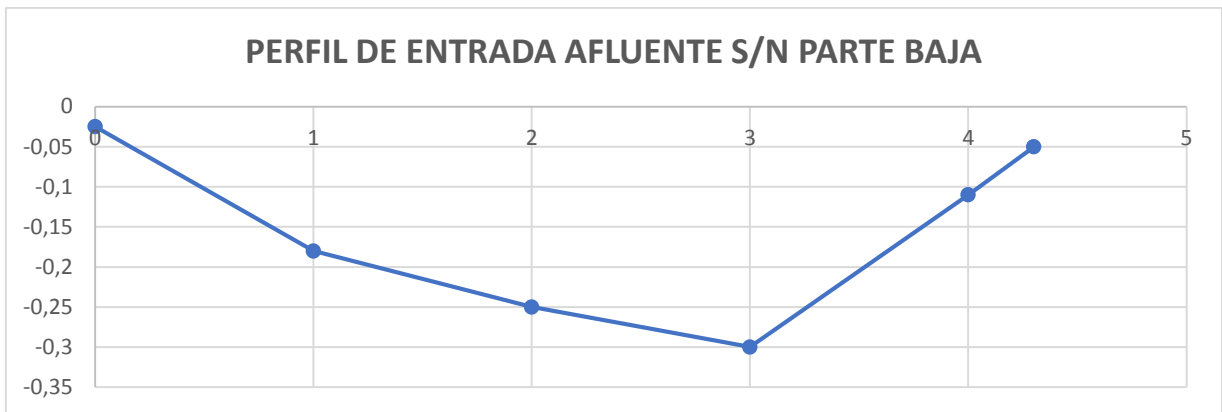






AFLUENTE S/N.

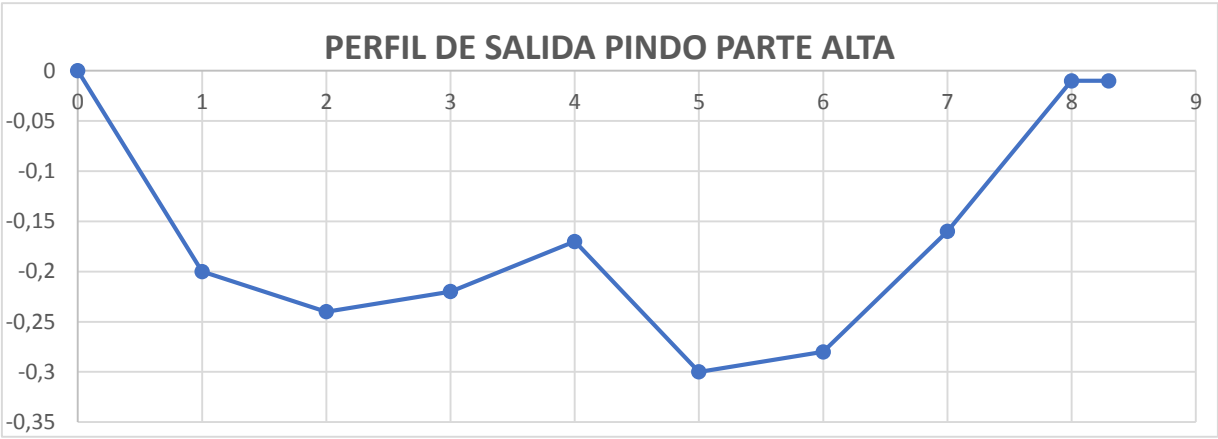
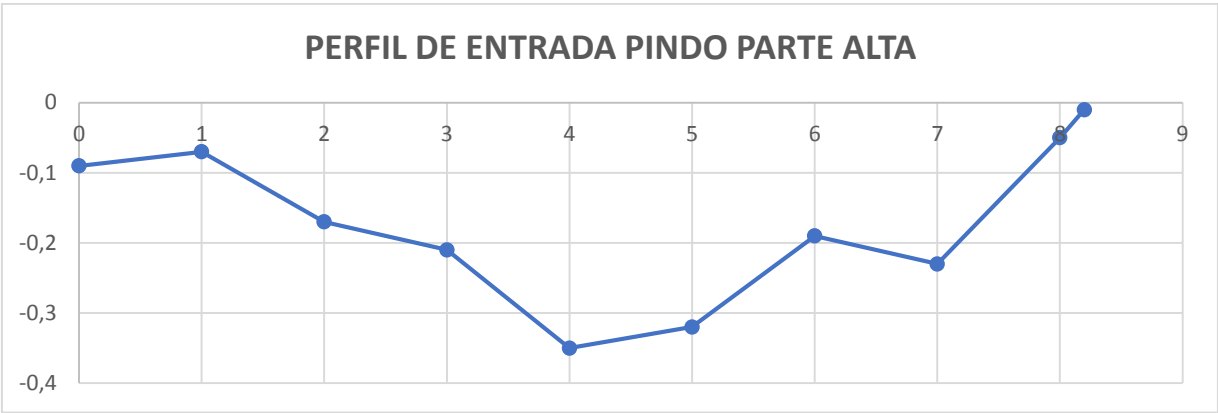




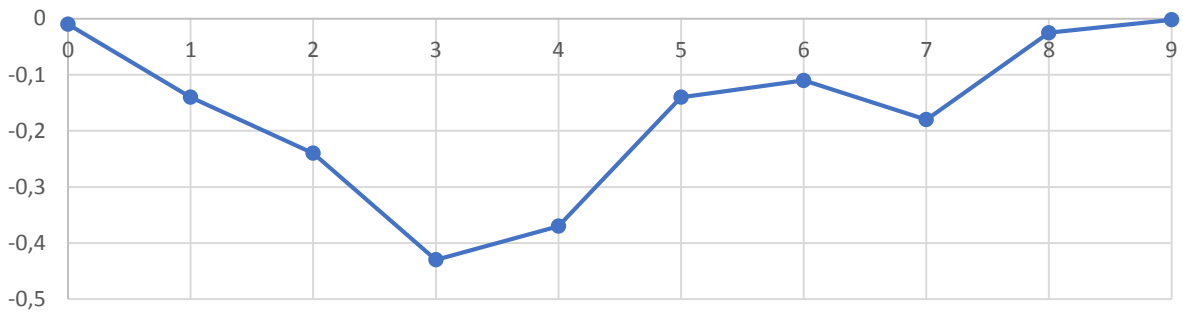
MES DE DICIEMBRE.

		DICIEMBRE	
		ANCHO ENTRADA	ANCHO SALIDA
PINDO GRANDE	PARTE ALTA	8.2	8.3
	PARTE MEDIA	9	10
	PARTE BAJA	25.3	23.4
AFLUENTE S/N	PARTE ALTA	4.5	3.9
	PARTE BAJA	4.6	5.5

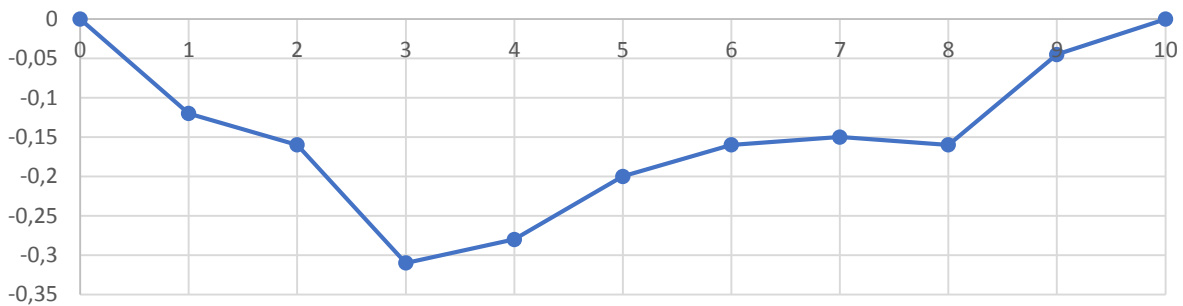
RÍO PINDO GRANDE.



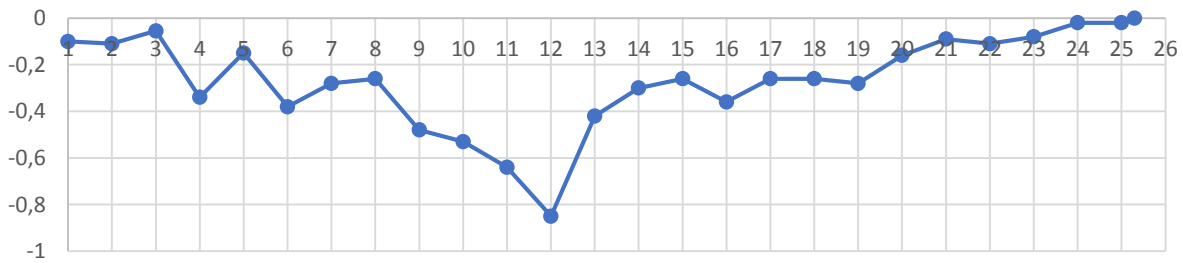
PERFIL DE ENTRADA PINDO PARTE MEDIA CAPTACION



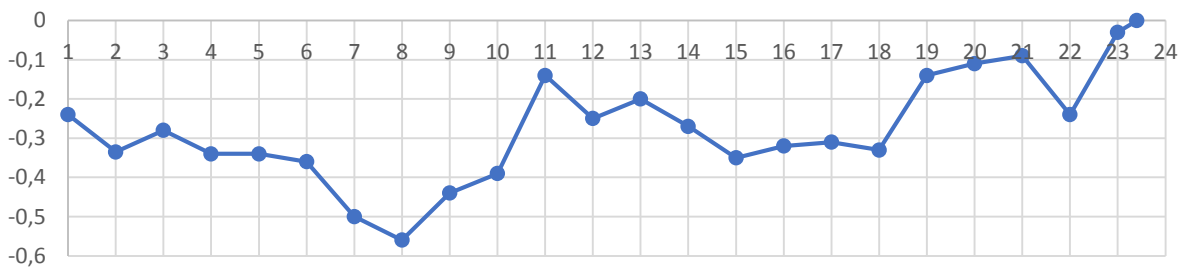
PERFIL DE SALIDA PINDO PARTE MEDIA CAPTACION



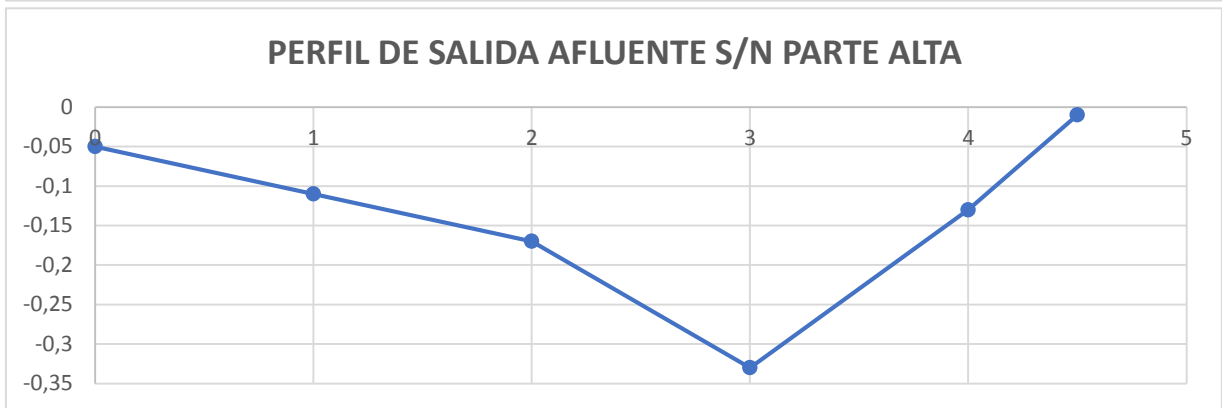
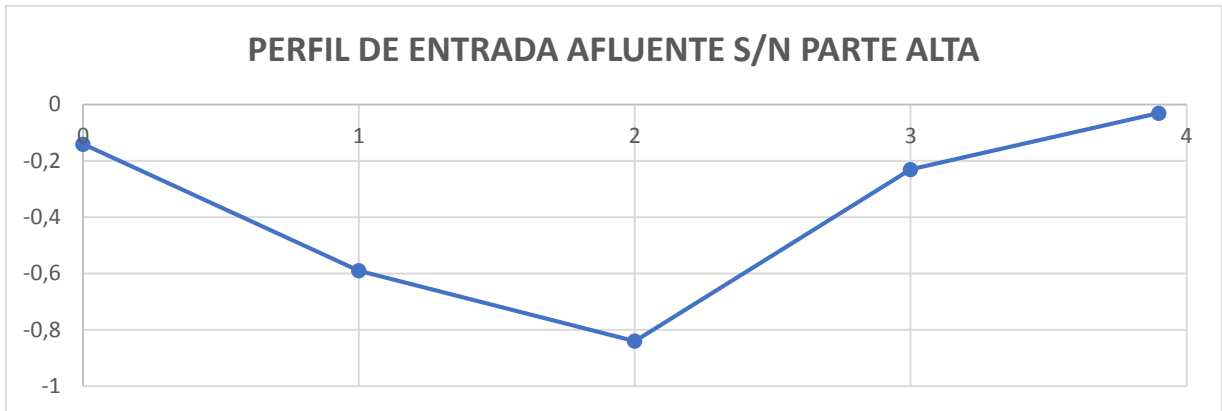
PERFIL DE ENTRADA PINDO PARTE BAJA (PUENTE SAN PABLO)

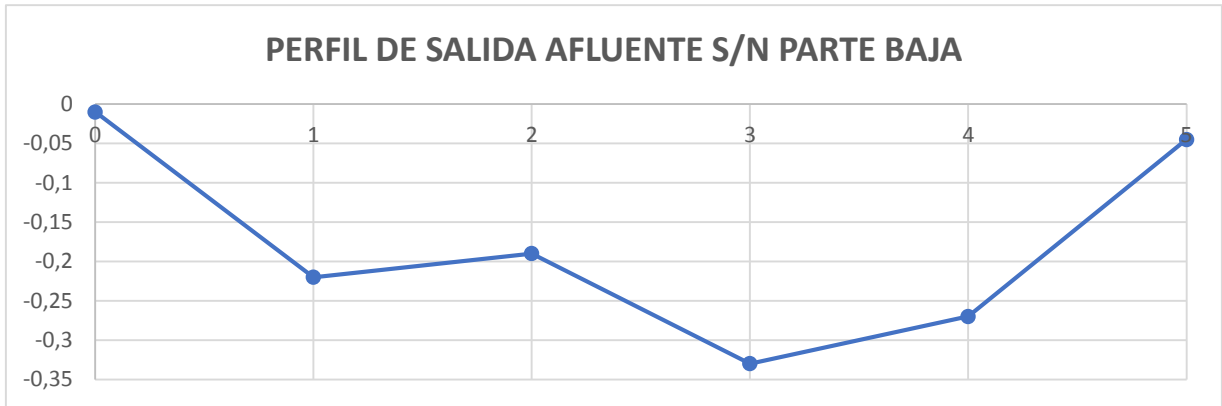
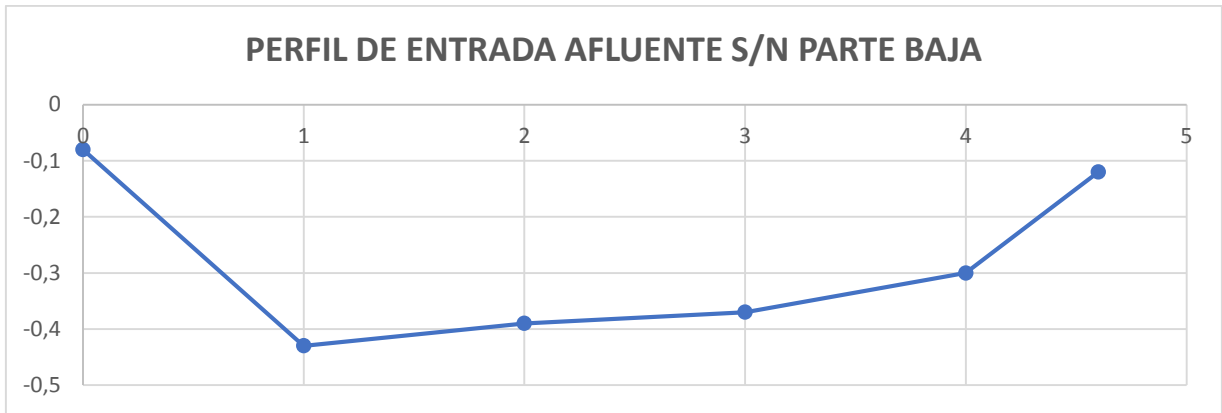


PERFIL DE SALIDA PINDO PARTE BAJA (PUENTE SAN PABLO)



AFLUENTE S/N.

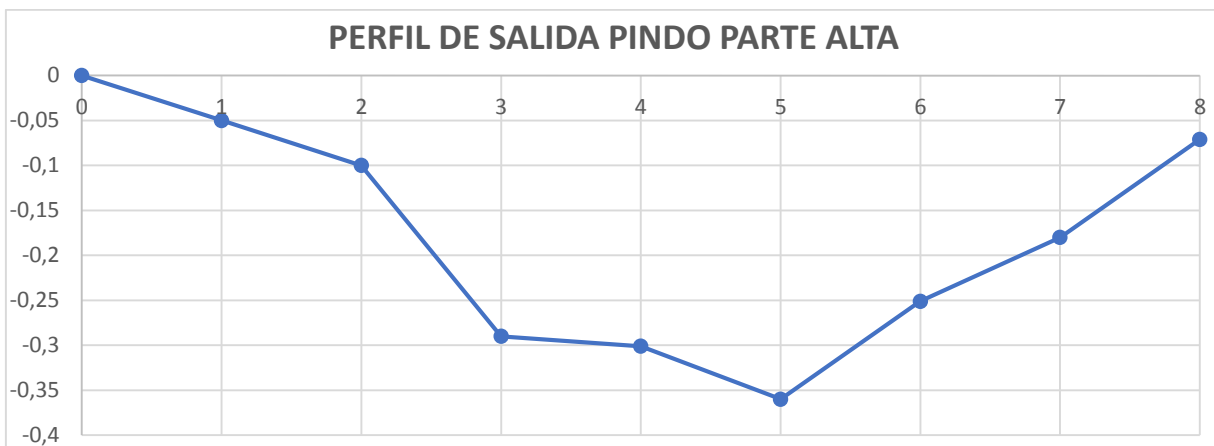
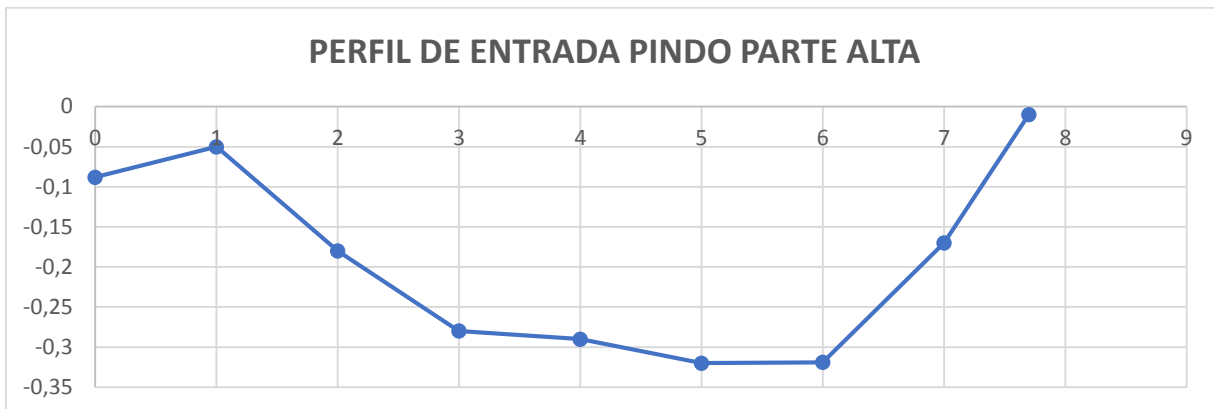




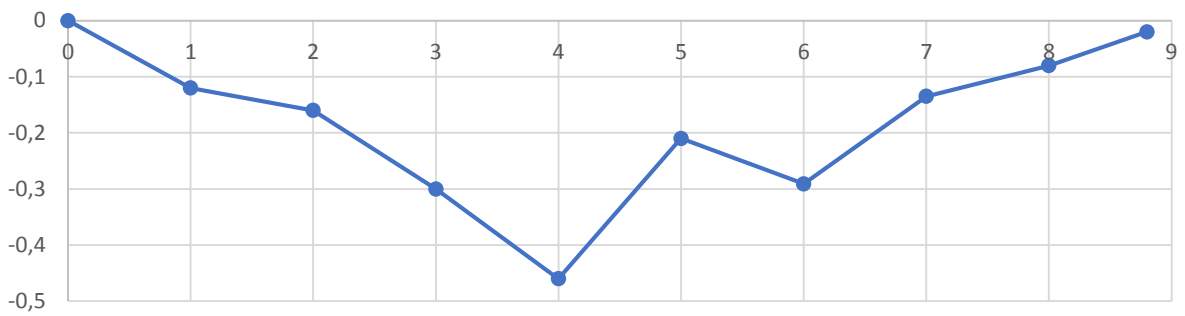
MES DE ENERO.

		ENERO	
		ANCHO ENTRADA	ANCHO SALIDA
PINDO GRANDE	PARTE ALTA	7.7	8
	PARTE MEDIA	8.8	10.2
	PARTE BAJA	25.5	24.2
AFLUENTE S/N	PARTE ALTA	3.86	4.98
	PARTE BAJA	4.4	4.9

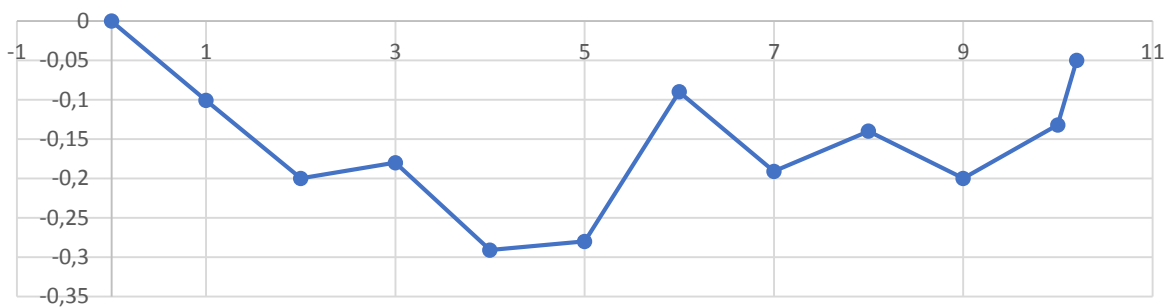
RÍO PINDO GRANDE.



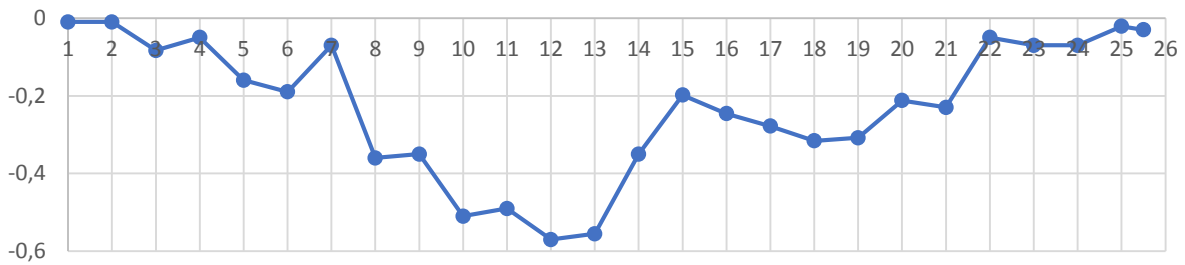
PERFIL DE ENTRADA PINDO PARTE MEDIA CAPTACION



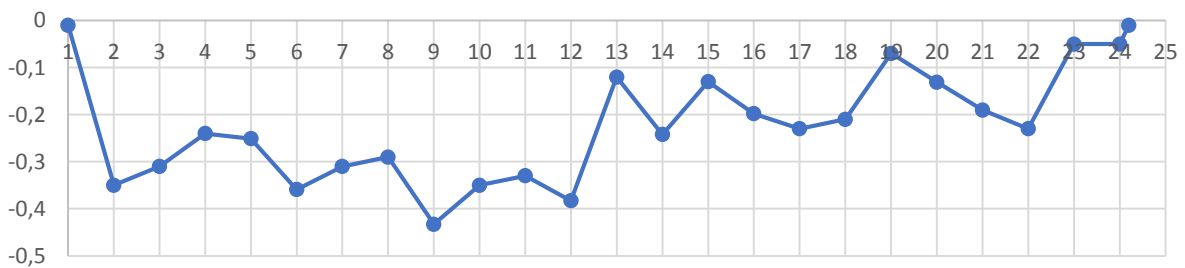
PERFIL DE SALIDA PINDO PARTE MEDIA CAPTACION



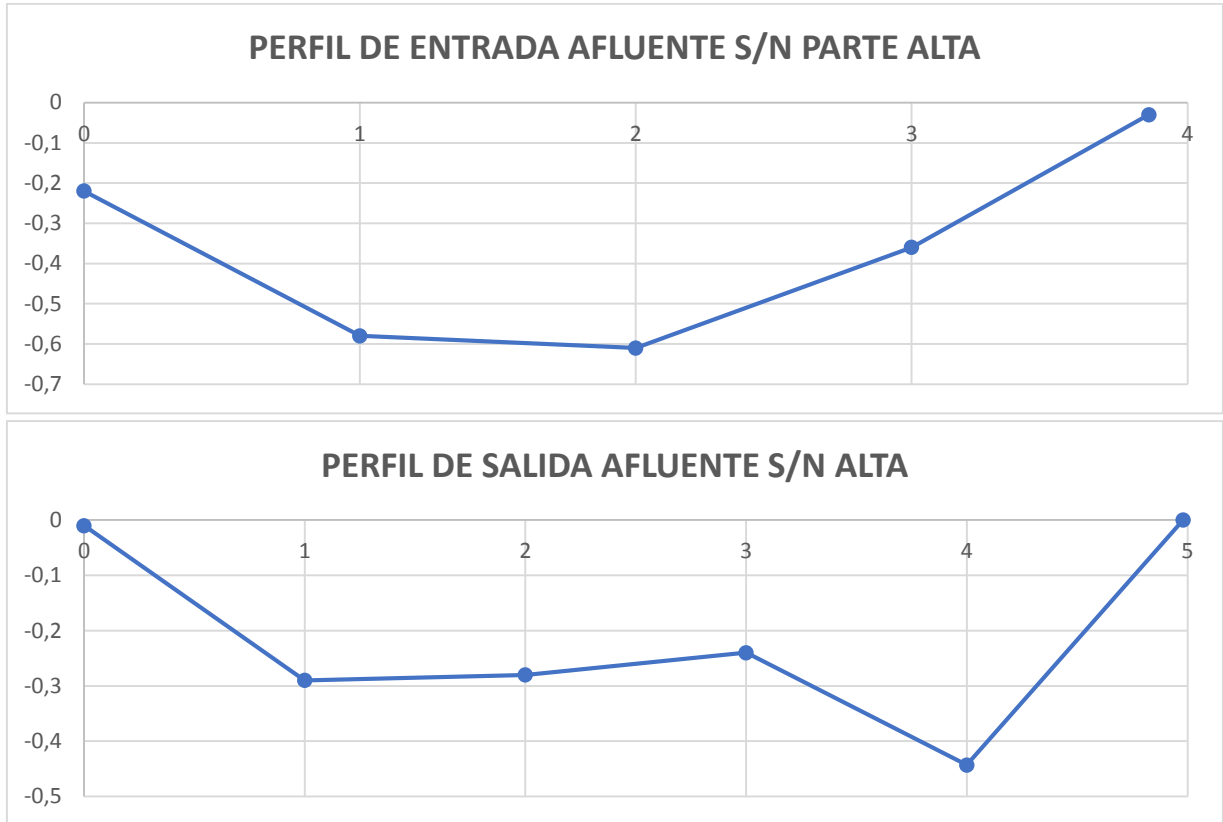
PERFIL DE ENTRADA PINDO PARTE BAJA (PUENTE SAN PABLO)

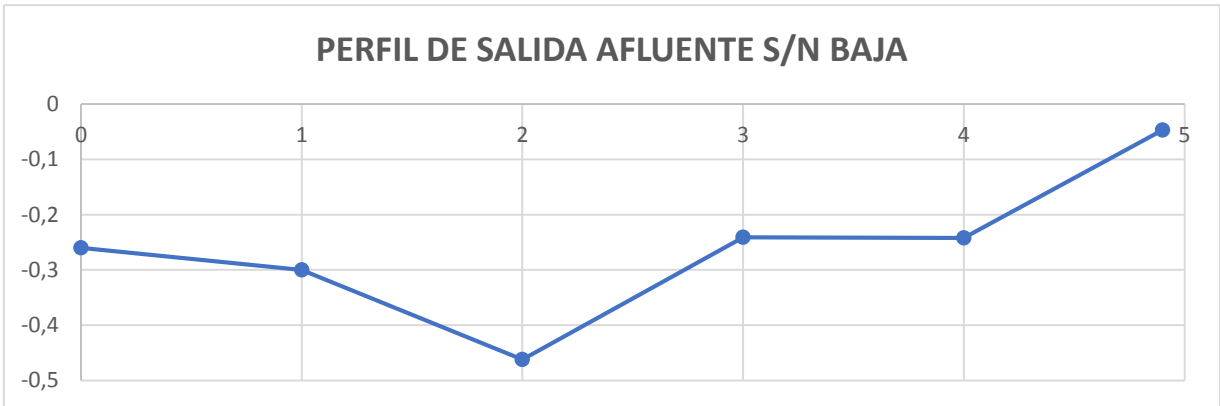
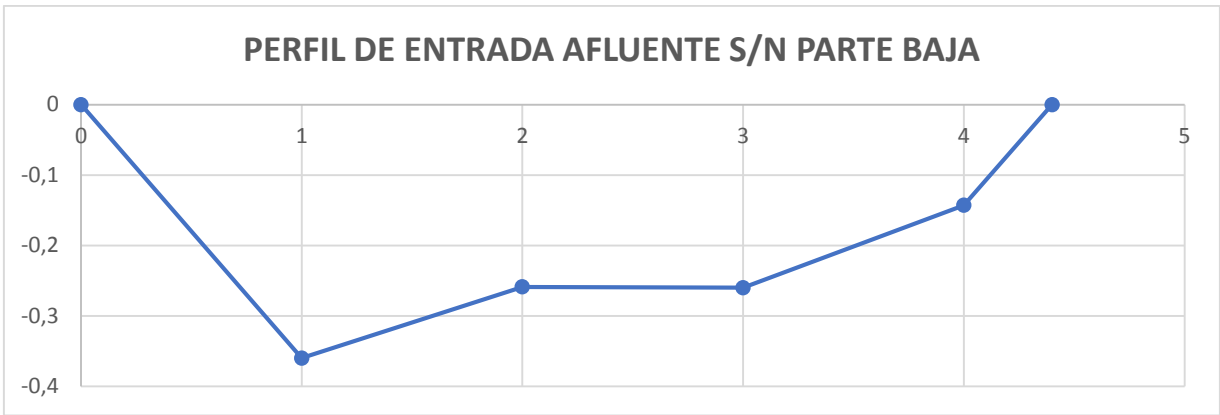


PERFIL DE SALIDA PINDO PARTE BAJA (PUENTE SAN PABLO)



AFLUENTE S/N.





ANEXO C. FOTOS.



Foto 1: Toma de coordenadas en el afluyente S/N parte alta.



Foto 2: Medición del perfil del afluyente S/N parte alta.



Foto 3: Medición de infiltración en el punto 2 lados derecho del río Pindo Grande.



Foto 4: Calicata para identificación de perfiles en el punto 3 lado izquierdo río Pindo Grande.



Foto 5: Punto de medición de caudal en el afluente S/N parte alta.

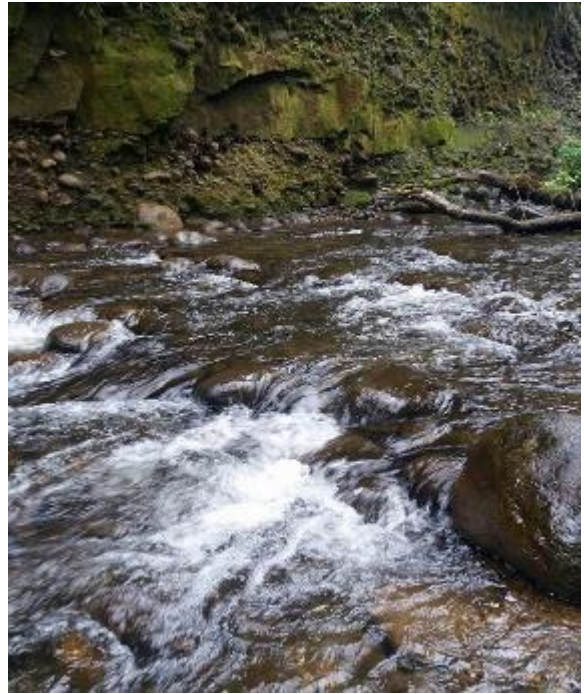


Foto 6: Punto de medición de caudal en el río Pindo Grande parte alta.



Foto 7: Realización del track en el río Pindo Grande.



Foto 8: Cabeceras del río Pindo Grande.