



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE HIDRÁULICA

**ESTIMACIÓN DE FLUJOS BAJOS MEDIANTE EL MÉTODO DE RECESIÓN DE LA
CUENCA DEL RÍO PAUTE**

**PROPUESTA PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE
INGENIERO HIDRÁULICO**

AUTOR(ES):

Cristian Guillermo Calvopiña Tapia

Jhon Bryan Paz Ochoa

TUTOR:

Ing. Rudys Rafael Cusme Intriago MS.c

LATACUNGA, ABRIL – AGOSTO 202

Latacunga, 11 de agosto de 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Cristian Guillermo Calvopiña Tapia. declaro ser autor (a) del proyecto de titulación "Estimación de flujos bajos mediante método de recesión de la cuenca del río Paute", siendo el o la Ing. **Rudys Rafael Cusme Intriago** tutor (a) del presente trabajo de titulación; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo de titulación, son de mi exclusiva responsabilidad.



Cristian Guillermo Calvopiña Tapia
CC.0550059760

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte Cristian Guillermo Calvopiña Tapia, identificado con cedula N° 0550059760 de estado civil soltero y con domicilio en el barrio las Bethlemitas, Parroquia Ignacio Flores, Cantón Latacunga, a quien en lo sucesivo se denominará EL CEDENTE; y, de otra parte, la Dra. Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez Barrio El Ejido Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará LA CESIONARIA en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - EL CEDENTE es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Hidráulica, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**ESTIMACIÓN DE FLUJOS BAJOS MEDIANTE DEL MÉTODO DE RECESIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO PAUTE**” el cual se encuentra elaborado según los requerimientos académicos propios de la Facultad Académica según las características que a continuación se detallan:

Historial académico.

Inicio de la carrera: Octubre 2019 - Marzo 2020.

Finalización de la carrera: Abril 2026 – Agosto 2026

Aprobación HCA. Agosto 2026

Tutor. - Ing. Rudys Rafael Cusme Intriago. Mg.

Tema: “ESTIMACIÓN DE FLUJOS BAJOS MEDIANTE EL MÉTODO DE RECESIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO PAUTE”

CLÁUSULA SEGUNDA. - LA CESIONARIA es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.

c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.

d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.

f) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 14 días del mes de agosto del 2026.

Cristian Guillermo Calvopiña Tapia
EL CEDENTE

Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
LA CESIONARIA

c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.

d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.

f) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 14 días del mes de agosto del 2026.

Cristian Guillermo Calvopiña Tapia
EL CEDENTE

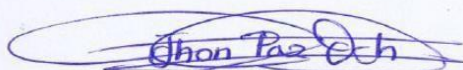
Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
LA CESIONARIA

Latacunga, 11 de agosto de 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo **Jhon Bryan Paz Ochoa**, declaro ser autor del proyecto de titulación “**Estimación de flujos bajos mediante método de recesión de la cuenca del río Paute**”, siendo el Ing. **Rudys Rafael Cusme Intriago** tutor del presente trabajo de titulación; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo de titulación, son de mi exclusiva responsabilidad.



Jhon Bryan Paz Ochoa
CC.0550059760

c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.

d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.

f) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 14 días del mes de agosto del 2026.

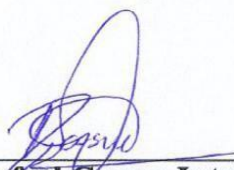

Jhon Bryan Paz Ochoa
EL CEDENTE

Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
LA CESIONARIA

Latacunga, agosto 11 de 2026

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: **“Estimación de flujos bajos mediante el método de recesión para de la cuenca de río Paute”**, propuesto por el estudiante **Cristian Guillermo Calvopiña Tapia** de la Carrera de **Ingeniería Hidráulica**, considero que dicho proyecto de titulación cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos al tribunal de lectores.



Ing. Rudys Rafael Cusme Intriago, Mg.
C.C. 1313770891
TUTOR

Latacunga, agosto 11 de 2026

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: **“Estimación de flujos bajos mediante el método de recesión para de la cuenca de río Paute”**, propuesto por el estudiante **Jhon Bryan Paz Ochoa** de la Carrera de **Ingeniería Hidráulica**, considero que dicho proyecto de titulación cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos al tribunal de lectores.



Ing. Rudys Rafael Cusme Intriago, Mg.
C.C. 1313770891
TUTOR

Latacunga, agosto del 2026

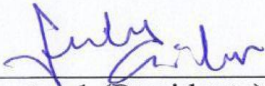
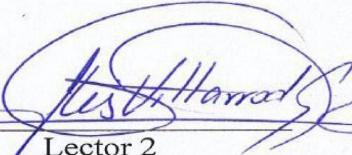
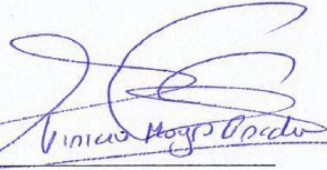
AVAL DE APROBACIÓN DE LECTORES

Cumpliendo con el Reglamento de Titulación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en calidad de Lectores de Tribunal del Proyecto de Investigación con el Título **“Estimación de flujos bajos mediante el método de recesión de la cuenca del río Paute”**, propuesto por los estudiantes Cristian Guillermo Calvopiña Tapia y Jhon Bryan Paz Ochoa de la Carrera de Hidráulica, nos permitimos indicar que los estudiantes han concluido todas las observaciones y realizado las correcciones señaladas por el Tribunal de Lectores, por lo cual presentamos el Aval de aprobación del Proyecto de Titulación correspondiente a la modalidad presencial en virtud de lo cual los postulantes pueden presentarse a la Defensa de su Proyecto de Titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Particular que pongo en su conocimiento para los fines legales pertinentes.

Atentamente,

		
Lector 1 (Presidente)	Lector 2	Lector 3
Andy Miguel Giler Ormaza	Jorge Luis Villarroel Guerrero	Yenson Vinicio Mogro Cepeda
CC: 1312820325	CC:0502943491	CC:0501657514

AGRADECIMIENTO

Agradezco en mi primer lugar a Dios el cual ha estado conmigo en toda la etapa de mi vida, al

siempre sentir su presencia me ha dado la inspiración y la sabiduría para salir adelante aun en momentos difíciles, gracias a el estoy aquí de pie luchando por mis sueños, gracias infinitas Padre celestial con su grandeza todo es posible.

El agradecimiento con todo cariño a la persona más importante de mi vida mi madre, por su gran crianza y por enseñarme que en la vida nada es gratis, le agradezco por sus esfuerzos y por siempre brindarme lo mejor, este logro sé que es más suyo que mío propio.

Quiero agradecer a mi familia que fueron los que estuvieron siempre conmigo cuando hubieron caídas de manera especial a mis primos Sixto, Guido, Bertha, Vero, Josué y Anderson a mis tíos Rene y Luzmila su apoyo incondicional fue fundamental para no darme por vencido y culminar la carrera.

Finalmente, agradezco al Ingeniero Rudys Cusme tutor de nuestra tesis, por su paciencia y acompañamiento en todo el trabajo de titulación.

A todos ustedes, muchas gracias.

Cristian Guillermo Calvopiña Tapia

DEDICATORIA

Con todo el amor del mundo, dedico este logro a todas las personas que estuvieron conmigo a lo largo de mi vida universitaria ya que han sido un pilar fundamental para seguir adelante y nunca darme por vencido.

A mi madre Ligia, quien a estado de forma incondicional, hemos pasado por muchas cosas que solo Dios sabe, él ha sido el testigo, nuestro cómplice perfecto de tantos fracasos, triunfos, desvelos solo puedo hacerle un sentido homenaje dedicándole este trabajo de titulación.

Quiero dedicar este triunfo de manera muy especial a mi primo Sixto Gallardo, por su apoyo incondicional, por sus consejos y por enseñarme la humildad y perseverancia, gracias por ser el ejemplo vivo de lo que proclamaba nuestra mamita Delfa, este logro te lo dedico con mucho cariño.

Cristian Guillermo Calvopiña Tapia

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por darme la vida, y a la virgencita de las Lajas, a quien le tengo una profunda devoción. Ambos me han ayudado a mantenerme en el buen camino y me dieron la sabiduría necesaria para superar los retos académicos durante este proceso.

Con el mayor cariño del mundo, a mis abuelitos, papá Antonio y mamá María, las personas más importantes de mi vida. Gracias por creer en mí y por darme siempre su bendición. Este logro lleva su nombre, porque sin su bendición no habría podido llegar hasta aquí.

También quiero agradecer a la persona que me dio la vida, mi madre Pilar, quien fue padre y madre para mí a lo largo de todo mi camino. Gracias por tu apoyo incondicional, por tus bendiciones en cada etapa de mi vida y por recordarme siempre lo valioso que soy para ti, demostrándome a mí y a mis hermanos ese amor incondicional de madre.

Finalmente, quiero agradecer al Ing. Rudys Cusme por guiarme en este proceso de aprendizaje, y al Ing. Andy Giler por sus sabios consejos; su experiencia y conocimiento fueron fundamentales para el desarrollo de esta investigación.

Gracias a todos ustedes.

Jhon Bryan Paz Ochoa

DEDICATORIA

A mis abuelitos, Antonio Ochoa y María Parra, por ser mi mayor inspiración. Todo mi esfuerzo y dedicación han sido siempre para ustedes, y este trabajo lleva impreso su amor y su cariño. Gracias por enseñarme, con su ejemplo de vida, que solo con esfuerzo y perseverancia se logran los objetivos. Este logro es más de ustedes que mío.

A mi mamá, Pilar Rocío, porque me dio el regalo más importante de la vida: la educación. Gracias por tu ayuda en cada momento en que la necesité, por tus consejos y por tu paciencia. Tu apoyo constante me impulsó a convertirme en una persona de bien para la sociedad, y sin ti no habría podido culminar esta etapa tan importante de mi vida. Este triunfo también es tuyo.

A la familia Monge, porque siempre me abrieron las puertas de su hogar y me brindaron un apoyo incondicional que jamás olvidaré. Especialmente a mi enamorada, Melva Monge, y a su madre, la señora Hilda Monge, les agradezco de todo corazón sus sabias palabras y su ayuda en los momentos difíciles de mis estudios.

A mi familia en general, porque con su apoyo y sus palabras de aliento me dieron la fuerza y la motivación necesarias para enfrentar los retos que trajo consigo la vida universitaria.

Jhon Bryan Ochoa Paz

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULO: “ESTIMACIÓN DE FLUJOS BAJOS MEDIANTE EL MÉTODO DE RECESIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO PAUTE”

Autores: Cristian Guillermo Calvopiña Tapia

Jhon Bryan Paz Ochoa

RESUMEN

Este trabajo estima los flujos bajos de la cuenca del río Paute mediante análisis de recesión hidrológica, con el fin de caracterizar cómo se comporta el flujo base cuando las lluvias escasean. Se usaron caudales diarios de tres estaciones del INAMHI entre 1980 y 2016, aplicando el método de Bako y Owoade para aislar los tramos de recesión y calcular la constante K en cinco años representativos (2003, 2005, 2010, 2012 y 2014), cuyo promedio general fue de 0,836. Los resultados se validaron contrastando caudales simulados y observados en la estación H0894 con el coeficiente de Nash-Sutcliffe; el año 2010 mostró un ajuste débil ($R^2 = 0,534$) y se excluyó del análisis final, tras lo cual el modelo ganó consistencia. Los hallazgos confirman que el método de recesión es una herramienta confiable para estimar caudales mínimos en cuencas andino-amazónicas con registros continuos, y ofrecen información útil para la planificación del recurso hídrico, la operación de infraestructura hidroeléctrica y la gestión del estiaje en el río Paute.

Palabras clave: recesión hidrológica, flujo base, caudales mínimos, cuenca del río Paute, validación.

COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY
COLLEGE OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TITLE: “EVALUATION OF SPECTRAL INDICES AS PREDICTORS OF SOIL MOISTURE IN THE PAUTE RIVER BASIN”

Authors: Cristian Guillermo Calvopiña Tapia

Jhon Bryan Paz Ochoa

ABSTRACT

This study estimates low flows in the Paute River basin using hydrological recession analysis to characterize base flow behavior during periods of low rainfall. Daily discharge data from three INAMHI stations between 1980 and 2016 were used, applying the Bako and Owoade method to isolate the recession periods and calculate the constant K for five representative years (2003, 2005, 2010, 2012, and 2014), with an overall average of 0.836. The results were validated by comparing simulated and observed discharge data at station H0894 using the Nash-Sutcliffe coefficient; the year 2010 showed a poor fit ($R^2 = 0.534$) and was excluded from the final analysis, after which the model became more consistent. The findings confirm that the recession method is a reliable tool for estimating minimum flows in Andean-Amazonian watersheds with continuous records, and they provide useful information for water resource planning, the operation of hydroelectric infrastructure, and low-flow management on the Paute River.

Keywords: Hydrological recession, Base flow, Minimum flows, Paute River basin, Validation.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA: HIDRÁULICA

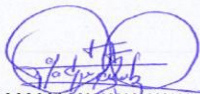
Autores: Calvopiña Tapia Cristian Guillermo
Jhon Bryan Paz Ochoa

AVAL DE TRADUCCIÓN DE PROFESIONAL EXTERNO

Blanca Gladys Sánchez Avila con cédula de identidad número: 2100275375, Licenciada en Ciencias de la Educación. Mención Inglés. con número de registro de la SENESCYT: 1020-11-1068652; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma Inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: **“ESTIMACIÓN DE FLUJOS BAJOS MEDIANTE EL MÉTODO DE RESECCIÓN PARA LA CUENCA DEL RÍO PAUTE”** de: Cristian Guillermo Calvopiña Tapia y Jhon Bryan Paz Ochoa, egresados de la carrera de **Ingeniería Hidráulica**, perteneciente a la Facultad de: Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

En virtud de lo expuesto y para constancia de lo mismo, se registra la firma respectiva.

Latacunga, 14 agosto, 2026



.....
Blanca Gladys Sánchez Avila
CI: 2100275375

INDICE DE CONTENIDO

1.	INFORMACIÓN GENERAL.....	1
1.1	TEMA DEL PROYECTO:	1
1.2	MODALIDAD DE TITULACIÓN:	1
1.3	TRABAJO DE TITULACIÓN VINCULADO AL PROYECTO:.....	1
1.4	EQUIPO DE TRABAJO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:.....	1
1.5	ÁREA DE CONOCIMIENTO:.....	2
1.6	LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.7	SUBLÍNEAS DE INVESTIGACIÓN DE LA CARRERA	2
2.	INTRODUCCIÓN	2
2.1	SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	5
2.2	Formulación de problema	5
2.3	Objetivo y campo de acción.....	6
2.3.1.	Objetivo de Investigación.....	6
2.3.2.	Campo de acción.....	6
2.4	Beneficiarios	6
2.4.1.	Directos	7
2.4.2.	Indirectos.....	7
2.5	Justificación	7
2.6	OBJETIVOS	8
2.6.1.	General	8
2.6.2.	Específicos.....	8
5.	Sistema de tareas	9
3.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	11
3.1	Antecedentes	11
3.1.1.	Ciclo Hidrológico	13
3.2	Procesos hidrológicos en cuencas hidrográficas	15
3.2.1.	Precipitación	15
3.2.2.	Precipitación media.....	15

3.2.3.	Régimen hidrológico fluvial.....	18
3.2.4.	Caudal de estiaje.....	20
3.2.5.	Hidrograma de caudal	20
3.2.6.	El escurrimiento.....	22
3.2.7.	Caudal Base.....	23
3.2.8.	Recesión de caudales o (Curvas de recesión).....	24
3.2.9.	Curva de duración de flujo	25
3.2.10.	Algoritmos de selección de recesión.....	25
3.2.11.	Curva Maestra de Recesión (MRC)	26
3.2.12.	Caracterización del vaciamiento de almacenamiento mediante curvas de recesión.....	26
3.2.13.	Índice de caudales bajos	27
3.2.14.	Modelos conceptuales de almacenamiento descarga de las cuencas.....	27
3.2.15.	Representación de caudales base en modelos lluvia escorrentía.....	28
3.2.16.	Balance hídrico	28
3.2.17.	Intercepción	31
3.2.18.	Infiltración	31
3.2.19.	Escorrentía superficial.....	31
3.2.20.	Flujo subsuperficial.....	32
3.2.21.	Evapotranspiración.....	32
3.2.22.	Flujos bajos.....	32
3.2.23.	Flujo base	33
3.2.24.	Curva de recesión.....	34
3.2.25.	Método de recesión para la estimación de flujos bajos	35
3.2.26.	Coeficiente de recesión	36
3.2.27.	Importancia de la estimación de flujos bajos en la gestión hídrica	37
4.	METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO	37
4.1	Descripción del proyecto	37
4.2	Enfoque metodología.....	38
4.3	Esquema metodológico.....	39
4.3.1.	Fase 1 Recolección y organización de la información	39

4.3.2.	Fase 2 Aplicación del método de recesión y estimación de flujos bajos.....	40
4.4	Área de estudio.....	40
4.4.1.	Localización geográfica	40
4.4.2.	Características climáticas	41
4.5	SELECCIÓN DE ESTACIONES HIDROLÓGICAS Y METEOROLÓGICAS	42
4.6	PROCESAMIENTO Y CONTROL DE DATOS	43
4.6.1.	Control de datos.....	44
4.6.2.	Relleno de datos faltantes.....	44
4.7	Información derivada de ArcGIS Pro	45
4.7.1.	Delimitación de la cuenca hidrográfica.....	46
4.7.2.	Cálculo del área de la cuenca	46
4.7.3.	Red de drenaje	48
4.7.4.	Polígonos de Thiessen.....	48
4.8	APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE RECESIÓN	49
4.9	CRITERIOS DE SELECCIÓN DE PERIODO DE RECESIÓN	50
4.10	VARIABLES HIDROGRÁFICAS	51
4.10.1.	Caudal (Q)	52
4.10.2.	Tiempo (t).....	52
4.10.3.	Precipitación (P).....	52
4.11	ÁREAS DE INFLUENCIA DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS	53
5.1.	CRITERIOS POR MEDIO DE LA SENSIBILIDAD DE LA CONSTANTE K	53
4.12	DETERMINACION DE LA CONSTANTE K.....	54
4.13	Coeficiente de eficiencia Nash-Sutcliffe (NSE).....	55
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	56
5.1	ESTACIONES SELECCIONADAS PARA EL ANÁLISIS	56
5.2.	ANALISIS DE HIDROGRAMAS Y DETERMINACION DE PARAMETROS DE RECESIÓN	58
5.3.	VALIDACIÓN.....	84
5.4.	COEFICIENTE NASH SUTCLIFFE	86
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	88

6.1.	CONCLUSIONES.....	88
6.2.	RECOMENDACIONES.....	89
7.	REFERENCIAS.....	92
8.	ANEXOS.....	99

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Modalidad de Titulación.....	1
Tabla 2	Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO.....	2
Tabla 3	Sistema de tareas en relación con los objetivos.	9
Tabla 4	Cantidades estimadas de agua en el mundo [19].....	29
Tabla 5:	Balance hídrico anual mundial [19]	30
Tabla 6	Estaciones meteorológicas e hidrológicas del área de estudio.	42
Tabla 7	Área de la cuenca	48
Tabla 8	Selección de períodos de recesión según Bako & Owoade (1988) y Tallaksen (1995).....	50
Tabla 9	Área de polígonos de Thiessen.	53
Tabla 10	Rango e interpretación de la eficiencia de Nash Sutcliffe (NSE).....	56
Tabla 11	Estación hidrológica del INAHMI	57
Tabla 12:	Estaciones meteorológicas de Instituto Nacional Meteorológica e Hidrología INAMHI.	57
Tabla 13:	Resumen anual de las relación-caudal y disponibilidad de datos para el análisis de recesión de los años 2003 al 2014.....	69
Tabla 14	Porcentaje de datos de la estación hidrológica.	77
Tabla 15	Leyenda de porcentajes de datos de las estaciones hidrológicas.....	78
Tabla 16	Porcentajes de datos de estaciones meteorológicas.	79
Tabla 17	Calculo de constante (K) por el método de lluvias mensuales.....	80
Tabla 18	Coeficiente de determinación (R^2) obtenidos del ajuste lineal.....	83
Tabla 19	Constante de recesión (K).....	84
Tabla 20	Validación del método en la estación	85
Tabla 21	Resultados de coeficiente de Nash para la constante de recesión.	87

Tabla 22 Resultados de coeficiente de Nash para constante de recesión de 4 bloques.....	87
---	----

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ciclo hidrológico con balance hídrico anual.[19].....	14
Figura 2 Hidrograma [21].....	19
Figura 3 Hidrograma y sus partes.[21].....	22
Figura 4 Componentes de la escorrentía [21]	23
Figura 5 Esquema de separación del hidrograma [21].....	24
Figura 6 Esquema metodológico.	39
Figura 7 Ubicación de la cuenca hidrográfica del río Paute.[31].....	41
Figura 8 curva de descarga de la estación H0894.....	45
Figura 9 Hidrograma de la estación hidrológica Paute en Paute.	59
Figura 10 Muestra de los hidrogramas vs hietograma de estación del año 2003.....	60
Figura 11 muestra de los hidrogramas vz hietograma de estación del año 2005.....	62
Figura 12 Muestra de hidrogramas vz hietograma de la estación del año 2010.	64
Figura 13 Muestra de hidrogramas vz hietograma de la estación del año 2012.	66
Figura 14 Muestra de hidrogramas vz hietograma de la estación del año 2014.	68
Figura 15 Muestra de umbral del año 2003.....	71
Figura 16 Muestra de umbral del año 2005.....	72
Figura 17 muestra de umbral del año 2010.	73
Figura 18 Muestra de umbral del año 2012.....	74
Figura 19 Muestra de umbral del año 2014.....	75
Figura 20 Sensibilidad de la constante de K.....	82
Figura 21 Pendiente de regresión.....	83
Figura 22 Caudal de simulación vz caudal observado.	86

1. INFORMACIÓN GENERAL

1.1 TEMA DEL PROYECTO:

Estimación de flujos bajos mediante el método de recesión de la cuenca del río Paute.

1.2 MODALIDAD DE TITULACIÓN:

Tabla 1 Modalidad de Titulación

MODALIDAD DE TITULACIÓN	HOMOLOGACIONES PARA INFORME FINAL DE TITULACIÓN	SELECCIÓN
Proyecto de investigación	Informe de proyecto de investigación	X
	Artículo científico	
	Patente, Modelo de utilidad, Certificado de propiedad intelectual.	

1.3 TRABAJO DE TITULACIÓN VINCULADO AL PROYECTO:

AguaQuest: Potenciado la investigación en recursos hídricos aplicados a la solución de problemas reales del medio.

1.4 EQUIPO DE TRABAJO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:

Cristian Guillermo Calvopiña Tapia

Jhon Bryan Paz Ochoa

Tutor de titulación: Ing. Rudys Rafael Cusme Intriago

1.5 ÁREA DE CONOCIMIENTO:

Tabla 2 Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO

25 ciencias de la Tierra y del Espacio	2508 Hidrología	2509 Meteorología	2509.04 Hidrometeorológica
			2509.09 Predicción Numérica Meteorológica
			2509.11 Predicción Operacional Meteorológica

1.6 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Meteorología, hidrología, mecánica de fluidos, sistemas y obras públicas.

1.7 SUBLÍNEAS DE INVESTIGACIÓN DE LA CARRERA

Gestión y manejo sostenibles y/o sustentables del recurso hídrico.

2. INTRODUCCIÓN

El agua constituye uno de los pilares del desarrollo social, económico y ambiental de cualquier territorio, al sostener el abastecimiento humano, la generación de energía, la producción y la conservación de los ecosistemas. En el sur de Ecuador, la cuenca del río se tiene uno de los sistemas hidrológicos de gran relevancia, debido a que cumple con gran parte de la generación hidroeléctrica por medio del complejo Paute. Esta cuenca se extiende a varias provincias de Chimborazo, Azuay, Cañar y Morona Santiago.[1], [2]

Gestionar el agua de manera sostenible es hoy uno de los mayores retos para la planificación territorial y el desarrollo socioeconómico, sobre todo en zonas donde su disponibilidad varía fuertemente entre estaciones y entre años. Dentro de este panorama cobran especial peso los flujos bajos o caudales de estiaje: el volumen mínimo de agua que un río conserva durante los períodos prolongados de escasa lluvia, sostenido principalmente por la descarga de los acuíferos y el almacenamiento subterráneo, junto con las características fisiográficas propias de cada cuenca.[3] Conocer estos caudales con precisión es indispensable para garantizar la seguridad hídrica, operar de forma óptima los aprovechamientos hidroeléctricos, asegurar el agua para consumo humano y riego, proteger los ecosistemas acuáticos y sustentar la planificación de las actividades económicas que dependen del recurso.[1]

El estudio de los flujos bajos (análisis o medición de caudales bajos) siendo estos en época de sequía, también aporta las bases para entender cómo responden las cuencas ante la sequía y para diseñar estrategias de adaptación frente a la variabilidad y el cambio climático. Los métodos de análisis de la recesión, permite la caracterización del comportamiento del flujo base, estimando la cantidad de agua cuando no hay lluvias existentes. Analizar el flujo de la cuenca tienen valor científico que contribuye al desarrollo sostenible [4]

El método de recesión se ha consolidado como una de las metodologías más utilizadas para estimar flujos bajos, gracias a su sustento físico y a que puede aplicarse directamente sobre registros históricos de caudal. Consiste, en esencia, en analizar cómo disminuye el caudal de forma exponencial durante los períodos sin precipitación relevante, para así obtener constantes de recesión y parámetros que representan el comportamiento hidrológico de la cuenca.[5] Distintos estudios realizados en Ecuador muestran que este método funciona adecuadamente en diversas regiones hidrográficas del país, lo que abre la puerta a herramientas predictivas útiles para la planificación del recurso.[4], [6]

Por su extensión, diversidad ecológica y peso estratégico en el aprovechamiento del agua, la cuenca del río Paute es una de las más importantes del Ecuador. Nace de la unión de los ríos Cuenca y Santa Bárbara y recorre un marcado gradiente altitudinal que conecta los Andes con la Amazonía, aportando agua para la generación hidroeléctrica, el abastecimiento poblacional, la agricultura y la conservación de ecosistemas de alta biodiversidad. Dada esta complejidad hidrológica, resulta necesario profundizar en cómo se comporta la cuenca durante los períodos de caudal mínimo, con miras a fortalecer su planificación y manejo sostenible.[7]

Analizar los flujos bajos en el río Paute cobra además urgencia por las presiones que enfrenta la cuenca: el crecimiento poblacional, la expansión de actividades productivas, los cambios en el uso del suelo y la variabilidad climática. Todos estos factores pueden alterar la capacidad de regulación hídrica de la cuenca y reducir el agua disponible en épocas de estiaje, aumentando la vulnerabilidad tanto de los ecosistemas como de quienes dependen del recurso. Estimar con precisión los caudales mínimos se vuelve, entonces, un elemento clave para diseñar estrategias de gestión integrada, conservación ambiental y adaptación frente a eventos hidrológicos extremos.[4], [7]

Desde el punto de vista metodológico, las curvas de recesión permiten identificar los parámetros que representan el drenaje natural de la cuenca y cuantificar cuánto aporta el flujo base al caudal total del río.[8] Contar con registros hidrométricos históricos facilita ubicar los períodos de recesión adecuados para calibrar modelos exponenciales y estimar las constantes hidrológicas ligadas al comportamiento del almacenamiento subterráneo. Este tipo de herramientas se ha aplicado con éxito en investigaciones tanto nacionales como internacionales, para evaluar la respuesta hidrológica de cuencas con condiciones climáticas y geomorfológicas muy distintas entre sí.[9]

Dentro de este contexto, la investigación busca la estimación de los flujos de la cuenca del río Paute por medio del método de recesión, considerando la información hidrológica disponible caracterizando el comportamiento del flujo base y el análisis de los parámetros de la recesión de la

cuenca.[6] Se espera que el resultado amplíe la información científica acerca del régimen hidrológico local, brindando información de la utilidad de la gestión sostenible del agua, la evaluación ambiental y el diseño de las políticas conforme los recursos hídricos de las cuencas relevantes.

2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

En la cuenca del río Paute, los caudales se concentran entre octubre y marzo al momento que la disminución de las lluvias tiene reducción del escurrimiento superficial como el porte del agua a los causales [10] Lo que compromete el sistema de riesgo y el uso productivos, produciendo los riesgos operativos.

Con respecto a este problema, la estimación del flujo bajo por medio del método de recesión es una alternativa técnica valiosa para que se entienda la dinámica del drenaje natural de la cuenca, cuantificando el aporte del flujo base en las épocas secas y aplicando el enfoque del río Paute fortaleciendo la planificación hidrológica, respaldado conforme con las estrategias de adaptación a la creciente variabilidad climática.[10], [11]

2.2 Formulación de problema

La cuenca del río Paute es fundamental para el abastecimiento de agua principalmente para el funcionamiento de la hidroeléctrica en la región, pero aún no existen suficientes datos que permitan conocer cómo se comportan sus flujos bajos en épocas de sequía. Esta falta de información complica la planificación de un uso sostenible del agua, especialmente cuando el recurso escasea. Por ello, surge la siguiente pregunta: ¿cómo se pueden estimar los flujos bajos de la cuenca del río Paute?

2.3 Objetivo y campo de acción

2.3.1. *Objetivo de Investigación*

Esta investigación tiene como objetivo la evaluación del comportamiento del flujo base en la cuenca del río Paute, es decir, la fracción del caudal que sostiene el escurrimiento durante los períodos de escasez hídrica o épocas de sequía. Para ello, se aborda la medición de flujos bajos, entendida de manera sencilla como el proceso de cuantificar la cantidad mínima de agua que un río mantiene incluso en épocas secas, cuando ya no recibe aporte directo de lluvia y depende únicamente de las reservas subterráneas. Con este fin, nosotros proponemos el método de recesión ya que este analiza la respuesta hidrológica de la cuenca caracterizando los parámetros de recesión, obtenidos a partir del estudio de las curvas de recesión de los hidrogramas, que describen la forma en que el caudal disminuye progresivamente una vez finalizado un evento de precipitación.

Para el análisis de estos parámetros se emplea el método propuesto por Bako y Owoade (1988), el cual permite identificar y separar los distintos segmentos de la curva de recesión, facilitando así el cálculo de la constante de recesión característica de la cuenca.

De esta manera, el enfoque permite la comprensión de la dinámica de flujos bajos, generando la información relevante en la gestión sostenible del agua, planificando el aprovechamiento de la cuenca.

2.3.2. *Campo de acción*

El campo de acción de la investigación corresponde al 2509.04 Hidrometeorológica.

2.4 Beneficiarios

En este trabajo se identificaron los beneficiarios directos e indirectos vinculados a la cuenca del río Paute, clasificados según su nivel de relación e influencia sobre el área de estudio.

2.4.1. *Directos*

- La población de las provincias del Azuay, Cañar, Chimborazo y Morona Santiago, y de los alrededores de la cuenca del río Paute.
- Agricultores y ganaderos.
- Sector industrial y energético.
- Comunidades locales y pueblos asentados en la cuenca.

2.4.2. *Indirectos*

- Autoridades ambientales, estudiantes e instituciones académicas.
- Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD).
- Empresas hidroeléctricas presentes en la cuenca.
- Instituciones encargadas de la planificación y el Ministerio para la Transición Ecológica, el Agua y la Agricultura.

2.5 Justificación

Esta investigación responde a la necesidad de profundizar en el comportamiento hidrológico de la cuenca del río Paute y de generar información cuantificable, actualizada y confiable sobre sus caudales mínimos durante el estiaje. Esos episodios tienen efectos serios dentro de la disponibilidad del recurso hídrico, comprometiendo el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos de la producción hidroeléctrica. A la vez, la estimación de los flujos bajos por medio del método de recesión es una herramienta hidrológica valiosa, permitiendo el análisis del descenso natural del caudal y estimando los aportes mínimos que sostiene el flujo del río dentro de las épocas secas.[12], [13]

Esta investigación tiene además relevancia científica y aplicada, pues contribuye a fortalecer las metodologías de análisis hidrológico en las cuencas andino-amazónicas del Ecuador, donde los registros hidrométricos suelen ser limitados tanto en disponibilidad como en continuidad. Sus resultados podrán servir de apoyo técnico a instituciones públicas, entidades gestoras del agua e investigadores en la toma de decisiones sobre la gestión del estiaje, la asignación eficiente del recurso, el diseño de estrategias frente a las sequías y la evaluación de la disponibilidad de agua para distintos usos. El estudio, en definitiva, sentará una base metodológica para futuras investigaciones sobre la estimación de flujos bajos mediante el método de recesión en otras cuencas.[13]

2.6 OBJETIVOS

2.6.1. General

- Estimar los flujos bajos en la cuenca del río Paute mediante un análisis de recesión hidrológica a partir de datos históricos de caudal diario.

2.6.2. Específicos

- Recolectar y organizar datos históricos de caudales diarios de estaciones ubicadas en la cuenca del río Paute.
- Determinar los criterios y las variables para la elección de los periodos de estiaje por medio del análisis de hidrogramas anuales e histogramas de precipitación mensual de las estaciones meteorológicas situadas en el área de estudio.
- Aplicar el método de recesión hidrológica para el análisis de los caudales en periodos de estiaje.
- Comprobar la validez de los resultados en base a la contrastación de los flujos base calculados mediante algoritmos con los datos observados en distintos períodos de tiempo.

5. Sistema de tareas

Tabla 3 Sistema de tareas en relación con los objetivos.

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
1. Recolectar y organizar datos históricos de caudales diarios de estaciones ubicadas en la cuenca del río Paute.	Compilación de datos de las cuencas hidrológicas y meteorológicas de la cuenca del río Paute y localización de estaciones del INAMHI disponibles en la cuenca de estudio y en sus alrededores.	Base de datos integrada por datos históricos hidrológicos y meteorológicos de los periodos (1980 - 2016)	Registros del INAMHI, bases de datos hidrológicas,
	Depuración y validación de datos faltantes o inconsistentes para crear una base de datos de todas las estaciones meteorológicas e hidrológicas activas y en uso.	Base de datos histórica confiable y organizada para el análisis hidrológico.	Hoja de cálculo en Excel
2. Determinar los criterios y las variables para la elección de los periodos de estiaje por medio del análisis de hidrogramas anuales e histogramas de	Análisis de los hidrogramas anuales del caudal para la identificación de los periodos de estiaje y evaluando el	Identificación de los periodos del estiaje y el establecimiento de los criterios hidrológicos y los meteorológicos que servirán de base para la	Registros históricos de caudales y precipitación del INAMHI, hidrogramas, hietogramas,

precipitación mensual de las estaciones meteorológicas situadas en el área de estudio.	comportamiento temporal de los caudales en la cuenca del río Paute.	aplicación del método de recesión	Microsoft Excel, ArcGIS Pro y análisis estadístico de series temporales.
	Análisis de los hietogramas de la precipitación mensual y la definición de los criterios y las variables que permitan a selección de los periodos representativos de estiaje para su posterior estudio.	Identificación de los periodos del estiaje y establecimiento de los criterios hidrológicos y los meteorológicos que servirán de base para la aplicación del método de recesión	Registros históricos de caudales y precipitación del INAMHI, hidrogramas, hietogramas, Microsoft Excel, ArcGIS Pro y análisis estadístico de series temporales.
	Demarcación de los periodos de recepción de la cuenca hidrográfica.		
3. Aplicar el método de recesión hidrológica para el análisis de los caudales en los periodos de estiaje.	Delimitación de los tramos de recesión correspondientes a los periodos de estiaje identificados y preparación de las series de caudales para su procesamiento.	Obtención de las curvas y parámetros de recesión hidrológica que permitan caracterizar el comportamiento de los caudales durante los periodos de estiaje y estimar los flujos bajos de la cuenca.	Series históricas de caudales, Microsoft Excel, software de análisis hidrológico (R, hojas de cálculo, gráficos de recesión y métodos estadísticos de análisis.
	Aplicación del método de recesión hidrológica para estimar los parámetros de recesión y analizar el		

	comportamiento de los caudales bajos en la cuenca del río Paute.		
4. Comprobar la validez de los resultados obtenidos, contrastando los flujos base calculados mediante algoritmos con los datos observados en distintos períodos de tiempo.	Evaluación del desempeño de los modelos mediante indicadores estadísticos y análisis gráfico, con el fin de determinar el grado de concordancia entre los valores estimados y los registros históricos.	Resultados validados mediante la comparación entre los flujos base estimados y los datos observados, identificando el algoritmo con mejor desempeño y un nivel de confiabilidad adecuado para la estimación de flujos bajos en la cuenca del río Paute.	Series históricas de caudales del INAMHI, procesamiento y análisis de datos Excel, algoritmos de separación de flujo base, indicadores estadísticos NSE, R ² , tablas comparativas y gráficos de validación.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 Antecedentes

El estudio del caudal y flujo base constituye la línea de investigación importante en la hidrología aplicada, en especial dentro del análisis de la disponibilidad hídrica en los periodos secos. Lo que deduce que el flujo base es parte del caudal del río del que proviene el agua almacenada en el subsuelo, que sostiene dentro del escurrimiento del cauce incluso cuando no llueve; por ello, el caudal se expresa en metros cúbicos por segundo. Bajo este contexto, diversos estudios como Bako y Hunt (1988) plantea que la metodología numérica estima a la constante de recesión del flujo base mediante el análisis de la varianza del factor, permitiendo la mejora de la identificación de los parámetros hidrológicos.[14]

En Ecuador, su ubicación geográfica cercana a la línea ecuatorial genera una amplia diversidad de condiciones climáticas, lo que se traduce en una marcada variabilidad en el comportamiento y la disponibilidad de los recursos hídricos a lo largo del territorio nacional. Esta situación ha impulsado el desarrollo y la planificación de diversas obras de infraestructura relacionadas con el aprovechamiento del recurso hídrico, tales como sistemas de abastecimiento de agua potable y de generación hidroeléctrica, entre otros.[15]

Bajo esta perspectiva, el estudio de la cuenca del río Paute tiene relevancia, debido a que comprende la dinámica del caudal y la disponibilidad del recurso hídrico. A la vez, el análisis de la cuenca brinda la información relevante para la planificación, aprovechamiento y gestión sostenible del agua, contribuyendo a la toma de las decisiones de proyectos de ingeniería hidráulica.[13], [15], [16]

La cuenda del río Paute ósee relevancia en Ecuador, debido a que se extiende de las regiones interandinas y amazónicas, confiriendo las variaciones climáticas y geográficas. Varios estudios deducen que esta amplia extensión territorial que favorece la dinámica hidrológica compleja, especialmente dado la variabilidad climática y las características geológicas.[17]

Esta situación convierte la cuenca del río Paute en un área de estudio para la aplicación del método de recesión y del análisis hidrológico, en particular, del método de recesión. La aplicación de esta metodología permite observar, caracterizar y conocer el comportamiento del flujo base y de los caudales en periodos de recesión de agua, proporcionando información que nos ayudará a tomar acciones en el río Paute y a un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos.[1], [17]

El análisis de los caudales extremos y de los procesos hidrológicos relacionados con la disponibilidad de recursos hídricos ha despertado un gran interés entre los científicos afines a los recursos hídricos desde comienzos del siglo XX. Entre las investigaciones pioneras que marcaron un antes y un después, sobresale la realizada por Jarvis en (1925), quien examinó los registros de

crecidas máximas de 888 estaciones hidrométricas en Estados Unidos con el propósito de establecer criterios para estimar caudales máximos. Más adelante, Francou y Rodier (1967) ampliaron el enfoque por medio de la utilización de las curvas envolventes para la evaluación de los eventos de las regiones. Luego autores de Crippen (1982), Neill (1986), Kovacs (1993), Herschy (2003) y Castellarin (2007) diseñaron metodologías sobre cuentas hidrográficas que indican que la aplicación de las herramientas hidrológicas tiene que considerar las particularidades geológicas, fisiográficas y climática de la estimación más precisa.[16]

Numerosas investigaciones internacionales han demostrado que las curvas de recesión son una herramienta esencial para el análisis de los procesos de descarga de los acuíferos y la evaluación de la contribución del almacenamiento subterráneo al flujo base durante los periodos de estiaje. Esta técnica posibilita la caracterización de la respuesta hidrológica de las cuencas hidrográficas en ausencia de precipitaciones relevantes, así como la evaluación de la disponibilidad de recursos hídricos durante las épocas secas; por ello, su aplicación es frecuente en estudios orientados a la gestión sostenible del agua y a la formulación de medidas de adaptación frente a los cambios climáticos y su variabilidad.[16], [18]

3.1.1. *Ciclo Hidrológico*

El ciclo hidrológico describe la circulación permanente del agua en la naturaleza, que se desplaza entre la atmósfera, la superficie terrestre y las capas subterráneas. Este proceso ocurre mediante diferentes mecanismos, entre ellos la evaporación, la condensación, la precipitación, la infiltración, la escorrentía superficial, el flujo subsuperficial y el retorno del agua a ríos, lagos y océanos. Su importancia en la hidrología radica en que permite comprender cómo se renuevan los recursos hídricos y cómo interactúan los distintos elementos que conforman el sistema natural del agua.[19]

Dentro de una cuenca hidrográfica, la precipitación es la principal fuente de ingreso de agua. Una vez que el agua alcanza la superficie, una parte penetra en el suelo y contribuye a la recarga de los

acuíferos; otra parte se desplaza sobre el terreno como escorrentía superficial, mientras que una fracción retorna a la atmósfera mediante la evaporación y la evapotranspiración. La proporción en la que ocurre cada uno de estos procesos está condicionado por diversos factores físicos y ambientales, como el clima, la cobertura vegetal, la pendiente del terreno, la geología y las propiedades del suelo.[19]

El estudio del ciclo hidrológico es fundamental para comprender el comportamiento de los flujos en los ríos. Durante los períodos secos o de ausencia de lluvia, el caudal en los cauces proviene principalmente del agua previamente presente en el suelo y en los acuíferos. Por esta razón, conocer la dinámica del ciclo hidrológico permite interpretar mejor la relación entre la precipitación, el almacenamiento subterráneo y la disponibilidad de caudal en épocas de estiaje.[19]

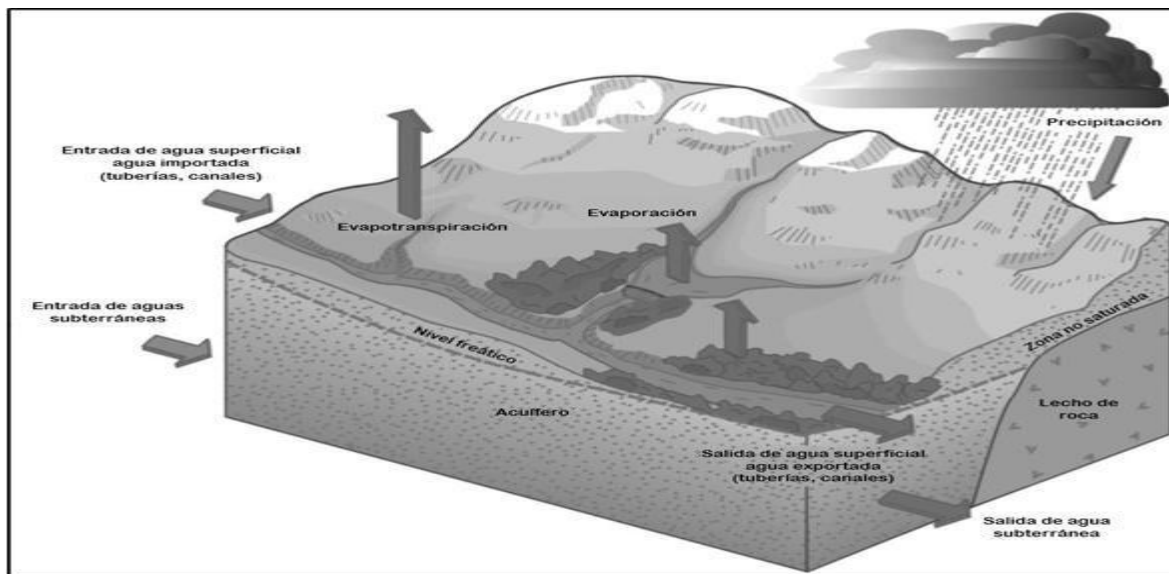


Figura 1 Ciclo hidrológico con balance hídrico anual.[19]

3.2 Procesos hidrológicos en cuencas hidrográficas

3.2.1. *Precipitación*

La precipitación es una de las principales fuentes de aporte de agua a una cuenca hidrográfica, ya que alimenta ríos, quebradas, suelos y reservas subterráneas. Esta puede manifestarse en estado líquido, como la lluvia, o en estado sólido, como la nieve o el granizo, según las condiciones climáticas de la zona. Su comportamiento, tanto en el espacio como en el tiempo, influye directamente en el caudal que circula por los cauces y en las variaciones que estos presentan a lo largo del año.[19]

3.2.2. *Precipitación media*

En hidrología, una de las tareas principales es calcular la cantidad total de agua que precipita sobre una superficie determinada. Esta estimación puede aplicarse tanto a eventos de lluvia específicos como a períodos de análisis más amplios, por ejemplo, días, meses, trimestres o años hidrológicos, según el objetivo del estudio.[19]

La precipitación media de una cuenca hidrográfica se calcula a partir de los datos registrados en las estaciones pluviométricas ubicadas dentro o cerca del área de estudio. Estos valores puntuales se transforman en un dato representativo que permite describir el comportamiento de la lluvia en toda la superficie de drenaje. Este procedimiento es necesario porque cada estación mide la precipitación únicamente en un sitio específico, mientras que los estudios hidrológicos requieren conocer cómo se distribuye el agua precipitada a lo largo de toda la cuenca.[19]

Para estimar la precipitación media en una cuenca hidrográfica se pueden emplear diferentes métodos, entre los cuales se consideran principalmente los siguientes:

❖ Método de la media aritmética

El método de la media aritmética es uno de los procedimientos más sencillos utilizados en hidrología para calcular la precipitación media de una cuenca hidrográfica. Este método utiliza los registros de lluvia de varias estaciones pluviométricas y determina un valor medio como el promedio de todas las mediciones disponibles. Su aplicación es más adecuada cuando las estaciones se distribuyen de forma relativamente uniforme en el área de estudio y la precipitación no presenta grandes diferencias espaciales en la cuenca.[19]

Matemáticamente, la precipitación media se determina mediante la siguiente expresión

Formula. 1 Método de la media aritmética.

$$Pm = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n P_i \quad (1)$$

Donde

- Pm = precipitación media de la cuenca (mm).[19]
- P_i = precipitación registrada en la estación i (mm) [19]
- n = número total de estaciones pluviométricas.[19]

Este método es recomendable cuando las estaciones meteorológicas presentan una distribución relativamente uniforme en la cuenca y el relieve no presenta variaciones topográficas significativas. Por su facilidad de aplicación, se utiliza en estudios hidrológicos iniciales, especialmente en cuencas pequeñas o en áreas donde la precipitación

presenta un comportamiento bastante homogéneo. No obstante, una de sus principales desventajas es que no incorpora factores físicos que pueden influir en la precipitación, como la altitud, la orientación del relieve, la pendiente del terreno o la ubicación irregular de las estaciones. Por esta razón, en cuencas montañosas o con una distribución espacial desigual de la precipitación, los resultados pueden ser menos precisos o poco representativos. [18]

Según distintos autores, el método de la media aritmética puede ofrecer resultados adecuados cuando la precipitación no varía considerablemente dentro de la cuenca y la red de estaciones pluviométricas cuenta con una cobertura espacial suficiente para representar el área de estudio (Chow, Maidment y Mays, 1988; Subramanya, 2013).[18], [19], [20]

❖ **Método de los polígonos de Thiessen**

El método de los polígonos de Thiessen es una herramienta ampliamente empleada en hidrología para determinar la precipitación promedio en una cuenca hidrográfica a partir de registros de estaciones pluviométricas distribuidas de manera no uniforme. Esta metodología se basa en delimitar áreas de influencia para cada estación mediante la construcción de polígonos, de modo que cualquier punto dentro de cada área se encuentra a menor distancia de la estación asociada que de las demás. Posteriormente, la precipitación media de la cuenca se obtiene mediante un proceso de ponderación que considera tanto la precipitación registrada en cada estación como la proporción del área de influencia que dicha estación representa en la cuenca de estudio.[19]

Matemáticamente, la precipitación media mediante el método de Thiessen se expresa como:

Formula. 2 Método de los polígonos de Thiessen

$$Pm = \frac{\sum_{i=1}^n P_i A_i}{A_T} \pi r^2 \quad (2)$$

Donde:

- Pm = precipitación media de la cuenca (mm)[19]
- P_i = precipitación registrada en la estación i (mm)[19]
- A_i = área de influencia de la estación i (km²)[19]
- A_T = área total de la cuenca (km²)[19]
- n = número de estaciones pluviométricas.[19]

Este método suele ofrecer una estimación más representativa que la media aritmética cuando las estaciones pluviométricas no están distribuidas de forma uniforme en la cuenca. Esto se debe a que considera el área de influencia de cada estación, lo que permite reflejar con mayor precisión la distribución espacial de los puntos de medición. Sin embargo, una de sus principales limitaciones es que asume constante la precipitación en el área asignada a cada estación, sin considerar directamente la influencia del relieve, la altitud u otras variaciones locales que pueden modificar el comportamiento de la lluvia.[19]

3.2.3. Régimen hidrológico fluvial

El régimen hidrológico de un río puede entenderse como la huella temporal que deja el agua a lo largo de un año: un patrón que se repite con ciertas variaciones y que surge de la combinación entre lo que cae del cielo (precipitación), lo que se pierde hacia la atmósfera (evapotranspiración), lo que se filtra hacia el subsuelo (infiltración), lo que queda almacenado bajo la superficie y, finalmente,

las condiciones propias del terreno que conforma la cuenca, como su relieve, forma y cobertura vegetal.[21]

Esta variación estacional no se limita a mostrar cuánta agua fluye; también revela con qué frecuencia ocurren ciertos niveles de caudal y por cuánto tiempo se sostienen antes de cambiar. Para estudiar este comportamiento, suele recurrirse a hidrogramas representaciones gráficas construidas con promedios diarios o mensuales que permiten observar de manera más clara cómo evoluciona el río a lo largo del tiempo.[21]

Con base en esta información, es posible identificar tres momentos característicos dentro del ciclo del río: las crecidas, donde el caudal alcanza sus valores más altos; los períodos de transición, en los que el flujo se ubica en un rango intermedio mientras pasa de un extremo a otro; y el estiaje, la

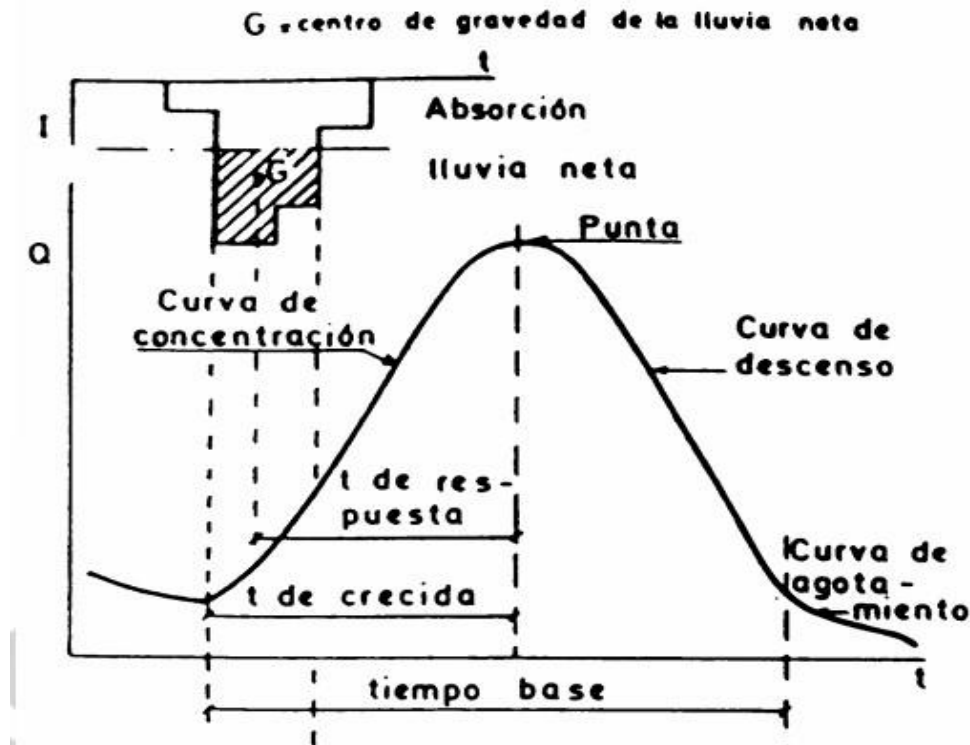


Figura 2 Hidrograma [21]

etapa de caudales más bajos, sostenida principalmente por el aporte que llega desde las reservas subterráneas cuando escasea la lluvia.[21]

En cuencas andinas y tropicales, el comportamiento del caudal suele responder a una estacionalidad bien definida, marcada principalmente por el ciclo de lluvias o por la manera en que la precipitación varía según la altitud y la latitud de la zona. Durante la época lluviosa, los caudales tienden a ser altos, como resultado directo de las precipitaciones intensas que se registran en ese período. Por el contrario, en la época seca el caudal disminuye de forma progresiva hasta alcanzar valores mínimos, los cuales se mantienen principalmente gracias a los aportes de agua subterránea y a la liberación lenta de los volúmenes almacenados dentro de la cuenca[22]

3.2.4. Caudal de estiaje

El estiaje es la etapa del año en la que un río presenta sus niveles de caudal más bajos, como consecuencia de la disminución de las lluvias y de la menor llegada de escorrentía superficial de rápida respuesta [22]. En este contexto, el comportamiento del hidrograma queda determinado en gran medida por el flujo base, es decir, por la descarga que proviene del subsuelo y por el vaciamiento gradual de los acuíferos y demás reservas de agua que se recargaron durante la temporada de lluvias.

3.2.5. Hidrograma de caudal

El hidrograma es esa curva que muestra cómo varía el caudal de un río a lo largo del tiempo en un punto específico de su cauce. En ella queda plasmada la forma en que toda la cuenca responde frente a las entradas de agua que recibe (la precipitación efectiva) y frente a los procesos por los que esa agua se pierde o se almacena, como la infiltración, la evapotranspiración, la retención en la superficie y la descarga proveniente del subsuelo. Cuando ocurre un evento de lluvia, el hidrograma se vincula directamente con la respuesta que se observa en el caudal, y esta relación es

precisamente la que sirve de punto de partida para modelar la transformación de lluvia en escorrentía, así como para el análisis de recesión.[22]

Un hidrograma típico asociado a tormentas se distingue en cuatro partes funcionales [22]:

- La rama ascendente: donde el caudal aumenta por los aportes progresivos desde laderas y drenajes [22].
- El pico: correspondiente al caudal máximo controlado por escorrentía superficial y aportes subsuperficiales rápidos [22].
- Rama descendente o recesión: donde el caudal disminuye con comportamiento aproximadamente exponencial en los tramos[22].
- Agotamiento (cola del hidrograma): etapa tardía dominada por el caudal base y aportes subterráneos [22].

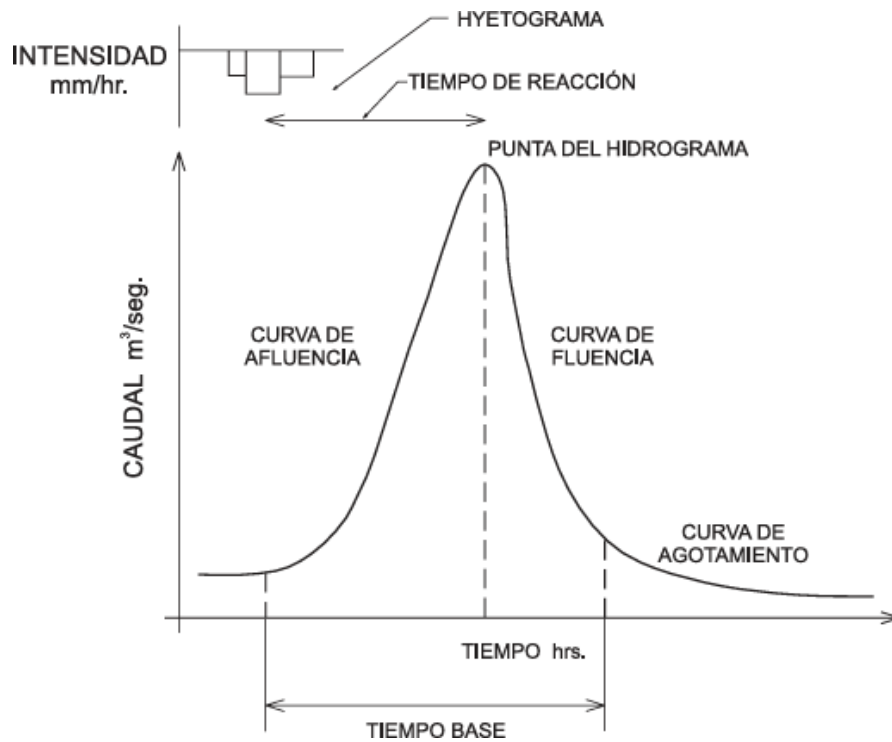


Figura 3 Hidrograma y sus partes.[21]

3.2.6. *El escurrimiento*

El escurrimiento es aquella parte de la lluvia que, tras descontar lo que se pierde por interceptación, infiltración y evapotranspiración, finalmente consigue llegar hasta la red de drenaje de la cuenca [22]. Una vez que este volumen se incorpora al cauce y es medido en una estación, pasa a denominarse caudal, el cual no es más que la suma de distintos aportes que llegan con tiempos de respuesta diferentes entre sí.[22]

Este flujo se clasifica en tres componentes basados en la velocidad de respuesta de los aportes al cauce

- El escurrimiento superficial hace atribución al agua que fluye sobre la superficie del terreno.[21]

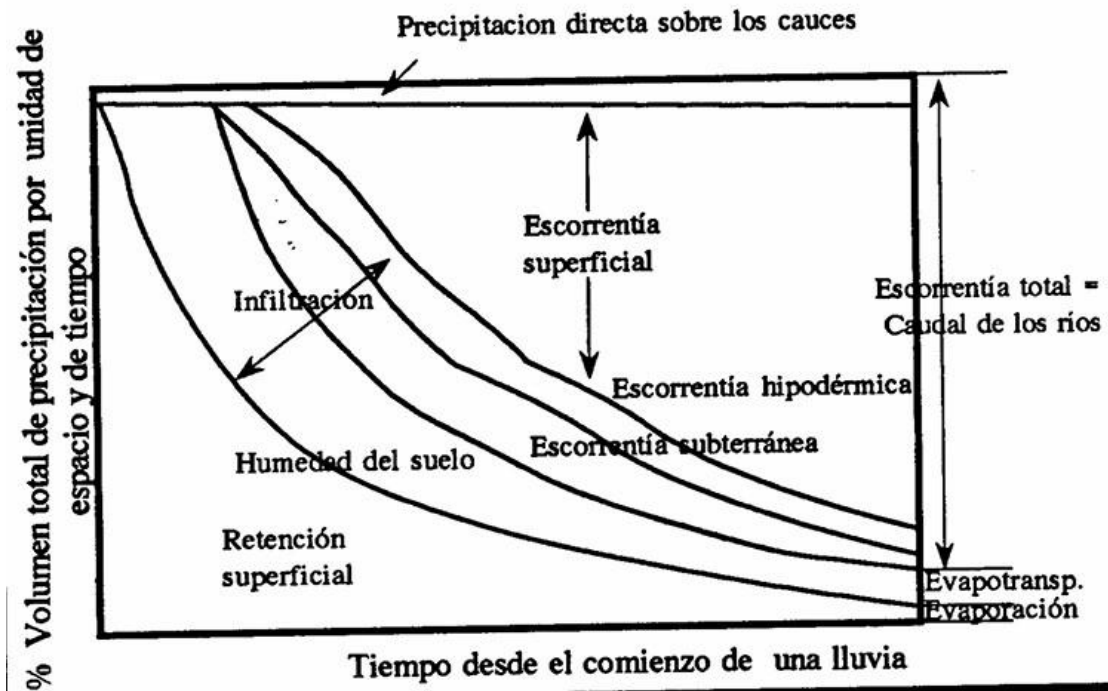


Figura 4 Componentes de la escorrentía [21]

- El escurrimiento hipodérmico se lo relaciona al agua que se infiltra a muy poca profundidad y se mueve lateralmente a través de los horizontes superiores del suelo.

3.2.7. Caudal Base

El caudal base es esa parte del caudal que se sostiene incluso en ausencia de lluvias, alimentada sobre todo por trayectorias de flujo más lentas, principalmente la descarga de agua subterránea hacia el cauce, razón por la cual es el componente que predomina durante el estiaje. Puede entenderse como la porción lenta del hidrograma, vinculada al drenaje de lo que la cuenca tiene almacenado, ya sea en la zona saturada o, en algunos casos, mediante aportes retardados

provenientes de la zona no saturada. Cabe aclarar, sin embargo, que este componente no siempre representa el 100% de la descarga del acuífero, pues dependiendo del método de separación utilizado, puede incluir también otros aportes, como retornos de flujo retardados.[22]

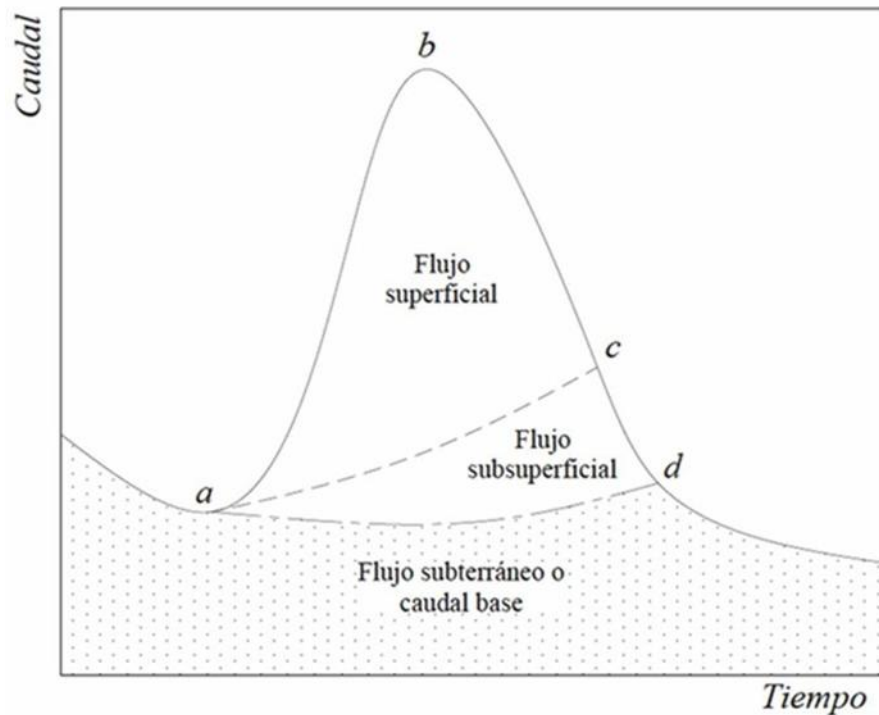


Figura 5 Esquema de separación del hidrograma [21].

3.2.8. ***Recesión de caudales o (Curvas de recesión)***

La recesión de caudales es el tramo en el que el hidrograma desciende luego de haberse presentado una crecida, y describe la manera en que el caudal va bajando durante los días en que no llueve, quedando controlado de forma progresiva por los aportes subsuperficiales y, sobre todo, por el caudal base ligado a la descarga subterránea.

Fórmula para expresar la recesión de caudal:

Formula. 3. Recesión de caudales o (Curvas de recesión).

$$q(t) = q_0 e^{(-kt)} \quad (3)$$

Donde:

(t) : Caudal en el tiempo t desde el inicio de la recesión [22].

q_0 : Caudal inicial al inicio del tramo de recesión que se está analizando [22].

k : Constante característica de la cuenca [22].

3.2.9. Curva de duración de flujo

La curva de duración de caudales es una herramienta clave dentro de la hidrología, ya que muestra cómo se distribuyen los caudales de un río al relacionar la magnitud del flujo con la frecuencia con la que este es igualado o superado en un período determinado. Este gráfico resume el comportamiento del curso de agua considerando todo el rango de caudales posibles, sin importar el orden en que se hayan presentado en el tiempo. Gracias a esto, resulta más sencillo evaluar el régimen hidrológico de una cuenca y estimar patrones de flujo a futuro, información que resulta útil para proyectos hidroeléctricos, sistemas de abastecimiento de agua y estudios de calidad hídrica.[23]

3.2.10. Algoritmos de selección de recesión.

Según Tallaksen (1995), para identificar correctamente los segmentos de recesión en un análisis hidrológico es necesario considerar únicamente aquellos periodos que tengan una duración mínima de 10 días, de modo que puedan reflejar de manera real los procesos de vaciado de los reservorios subsuperficiales. Tanto el caudal inicial como la duración del periodo recesivo se mantienen fijos, con el fin de reducir la variabilidad que podría introducirse en los parámetros de recesión debido a

las limitaciones propias de la ecuación exponencial simple utilizada. De esta manera, resulta más viable evaluar cómo los factores naturales influyen en la variabilidad observada.[15]

3.2.11. Curva Maestra de Recesión (MRC)

La Curva Maestra de Recesión (MRC) es aquella curva que describe cómo desciende el caudal de una cuenca en los periodos en que no hay lluvia efectiva, y se obtiene combinando distintos tramos de recesión provenientes de varios eventos hasta llegar a una sola relación que sea representativa del comportamiento general [16]; puede entenderse como la respuesta característica de la cuenca y de su subsuelo, la cual está condicionada por factores como la geología, la distancia hacia las divisorias de agua y la capacidad de almacenamiento, ya que al integrar múltiples segmentos se logra formar una especie de curva envolvente que resume el patrón de vaciamiento, y su utilidad radica en que, si bien cada recesión individual suele partir de caudales distintos y presentar duraciones variables, lo que se busca finalmente es una sola curva capaz de reflejar el comportamiento dominante del sistema cuando no existe recarga[24]

3.2.12. Caracterización del vaciamiento de almacenamiento mediante curvas de recesión

El tramo descendente del hidrograma el que se ubica justo después del pico de caudal y se prolonga hasta que vuelve a presentarse una nueva subida es lo que conocemos como curva de recesión, y en esencia refleja cómo el caudal va cayendo tanto en las temporadas secas como en los días posteriores a lluvias fuertes [24]. Cuando no hay entrada de agua nueva al sistema, lo que termina gobernando el caudal es la cantidad de agua almacenada en la cuenca y el modo particular en que esta se va liberando hacia el río, es decir, la conexión entre almacenamiento y salida de agua [24]. Analizar este comportamiento tiene valor porque permite establecer un puente entre algo que sí

puede medirse, la escurrentía, y algo que normalmente escapa a la medición directa a nivel de cuenca: el almacenamiento subterráneo [24].

Cuando se grafica el caudal Q en escala semilogarítmica contra el tiempo, la parte de la recesión dominada por el caudal base suele adoptar la forma de una recta, y la inclinación de esa recta está ligada al parámetro que indica qué tan rápido se está vaciando el reservorio [23], [24]. Aun así, hay evidencia de que en numerosos casos no se obtiene esa línea recta esperada, lo cual puede deberse a que la relación entre lo almacenado y lo descargado no siempre es lineal tal como sucede en acuíferos no confinados o a que otros cuerpos de almacenamiento, como lagos, humedales o las zonas marginales del río, entran en juego y terminan curvando la recesión.[24]

3.2.13. *Índice de caudales bajos*

Los índices de caudal bajo son una forma de resumir, mediante valores numéricos, aspectos como la magnitud, la duración y la frecuencia de los episodios de caudal reducido, lo que permite tener una idea clara y concisa de cómo se comporta un río durante el estiaje.[24]

Su relación con la recesión se explica porque, en las épocas secas, el caudal depende en gran parte de cómo se vacían los almacenamientos de la cuenca y de la pendiente o forma que presentan las curvas de recesión.[24]

Cuando las constantes de recesión son más altas, esto suele ser un indicio de que la cuenca cuenta con mayor capacidad de almacenamiento y, en consecuencia, de que el caudal base aporta de manera más sostenida en el tiempo.[24]

3.2.14. *Modelos conceptuales de almacenamiento descarga de las cuencas*

Cuando se busca entender cómo funciona una cuenca desde el punto de vista hidrológico, resulta útil imaginarla como si estuviera compuesta por uno o varios "depósitos" internos capaces de retener agua (S) y de liberarla posteriormente en forma de caudal (Q), siguiendo una relación de

descarga expresada como $Q=f(S)$; a este planteamiento se le conoce como modelo conceptual de almacenamiento-descarga.[25] Gracias a esta forma de representar la cuenca, es posible explicar no solo cómo reacciona el sistema frente a eventos de lluvia, sino también cómo se produce el vaciamiento progresivo durante las etapas de recesión, lo cual ha contribuido significativamente a comprender mejor la dinámica que sigue el caudal en épocas de estiaje.[21]

3.2.15. Representación de caudales base en modelos lluvia escorrentía

Dentro de los modelos que relacionan la lluvia con la escorrentía, el caudal base se entiende como aquel componente del sistema que responde de manera lenta, principalmente ligado a la descarga subterránea y al almacenamiento de agua; su inclusión en estos modelos resultó clave para que el hidrograma simulado no llegara a valores de cero entre un evento y otro, y además permitió reproducir adecuadamente la recesión durante el estiaje.[21]

Bajo la forma tradicional de conceptualizar el hidrograma, el caudal total se divide en dos partes: una de respuesta rápida y otra más lenta, esta última correspondiente al caudal base, vinculada al aporte que realiza el acuífero cuando las aguas están bajas. [21]

En el caso particular de los modelos conceptuales lluvia-escorrentía, el caudal base suele representarse como la descarga proveniente de uno o varios reservorios de comportamiento lento, los cuales se alimentan de la lluvia efectiva a través de procesos como la percolación y la recarga.[21]

3.2.16. Balance hídrico

El balance hídrico es una herramienta esencial en el análisis hidrológico, ya que permite estimar la cantidad de agua que ingresa, sale y permanece almacenada en una cuenca hidrográfica durante un período determinado. A través de este enfoque, es posible comprender la relación entre la precipitación, la escorrentía, la evapotranspiración y el almacenamiento de agua en el suelo o en

los acuíferos. En términos generales, este balance se representa mediante una ecuación que expresa la conservación de la masa del agua en el sistema hidrológico.[19]

Formula. 4 Balance hídrico

$$P = Q + ET \pm \Delta S \quad (4)$$

Donde:

- P: precipitación[19]
- Q: esorrentía total[19]
- ET: evapotranspiración[19]

Esta ecuación se basa en el principio de conservación de la masa, permite analizar cómo el agua ingresa, se almacena y se evacúa de una cuenca hidrográfica en distintos períodos de tiempo. Por esta razón, el balance hídrico es de gran importancia en estudios de flujos bajos, ya que cuantificar el aporte del agua almacenada en el subsuelo al caudal de los ríos. Además, permite comprender por qué los caudales disminuyen gradualmente durante las épocas sin precipitaciones, en tanto se conserva el equilibrio del balance hídrico, y contribuye a evaluar cómo el cambio climático y las transformaciones en el uso del suelo pueden influir en la disponibilidad y el comportamiento de los recursos hídricos en una cuenca.[19]

Tabla 4 Cantidades estimadas de agua en el mundo [19]

Elemento	Área (10° km2)	Volumen (km3)	Porcentaje del agua total	Porcentaje de agua dulce
Océanos	361,1	1,338,000,000	96,5	
Agua subterránea				
Dulce	134,8	10,530,000	0,76	30,1
Salada	134,8	12,870,000	0,93	
Humedad del suelo	82,0	16,500	0,0012	0,05

Hielo Polar	16,0	24,023,500	1,7	68,6
Otro hielo y nieve	0,3	340,600	0,025	1,0
Lagos				
Dulce	1,2	91,000	0,007	0,26
Salado	0,8	85,400	0,006	
Marismas	2,7	11,470	0,008	0,03
Ríos	148,8	2,120	0,0002	0,006
Agua biológica	510,0	1,120	0,0001	0,003
Agua atmosférica	510,0	12,900	0,001	0,04
Agua total	510,0	1,385,984,610	100	
Agua dulce	184,8	35,029,210	2,5	100

Tabla 5: Balance hídrico anual mundial [19]

		Océano	Tierra
Superficie (km ²)		316,3000,000	148,800,000
Precipitación	(km ³ /año)	458,000	119,000
	(mm/año)	1270	800
	(pulg/año)	50	31
Evaporación	(km ³ /año)	505,000	72,000
	(mm/año)	1400	484
	(pulg/año)	55	19
Escorrentía hacia océano			
Ríos	(km ³ /año)	-	44,700

Agua subterránea	(km ³ /año)	-	2200
Escorrentía total	(km ³ /año)	-	47,000
	(mm/año)	-	316
	(pulg/año)	-	12,000

3.2.17. Intercepción

La intercepción se refiere al agua de lluvia que queda retenida temporalmente en la vegetación, como hojas, ramas y tallos, antes de llegar a la superficie del suelo. Este proceso desempeña un papel importante en el ciclo hidrológico, ya que una parte del agua interceptada puede volver a evaporarse hacia la atmósfera, lo que disminuye la cantidad de agua que llega al terreno para infiltrarse o convertirse en escorrentía superficial.[19]

3.2.18. Infiltración

La infiltración es el proceso mediante el cual el agua que llega a la superficie del terreno penetra en el suelo. La velocidad a la que ocurre este proceso puede variar según las condiciones del área, como la textura y la estructura del suelo, la cobertura vegetal, el grado de humedad previo a la lluvia y el uso del terreno. Estos factores influyen directamente en la cantidad de agua almacenada en el subsuelo y en el flujo subterráneo posterior.[19]

3.2.19. Escorrentía superficial

La escorrentía superficial se produce cuando el agua de lluvia no logra infiltrarse por completo en el suelo, ya sea porque la intensidad de la precipitación supera la capacidad de absorción del suelo o porque el suelo ya está saturado. En esas condiciones, el agua comienza a desplazarse por la

superficie hasta llegar a quebradas, ríos u otros cauces naturales. Este proceso es de gran importancia en hidrología, ya que influye directamente en el aumento rápido de los caudales y puede contribuir a la formación de crecidas en eventos de lluvia intensa.[19]

3.2.20. *Flujo subsuperficial*

El flujo subsuperficial se refiere al desplazamiento lateral del agua en las capas superficiales del suelo hasta incorporarse progresivamente a quebradas, ríos u otros cauces naturales. Este proceso desempeña un papel importante en el comportamiento hidrológico de una cuenca, ya que puede aportar una cantidad considerable de agua al caudal, especialmente tras eventos de lluvia o en zonas donde el suelo permite el movimiento interno del agua.[19]

3.2.21. *Evapotranspiración*

La evapotranspiración es la pérdida de agua que ocurre de manera conjunta por dos procesos: la evaporación de cuerpos de agua, del suelo húmedo u otras superficies expuestas, y la transpiración de la vegetación. Este fenómeno representa una salida importante en el balance hídrico de una cuenca, ya que influye directamente en la cantidad de agua disponible para la infiltración, la escorrentía y el almacenamiento subterráneo.[19]

3.2.22. *Flujos bajos*

Los flujos bajos, conocidos como caudales de estiaje, son los niveles mínimos de caudal registrados en ríos, quebradas u otros cursos durante períodos prolongados de escasa o nula precipitación. En estas condiciones, el caudal que permanece en el cauce depende principalmente del agua subterránea almacenada en acuíferos, zonas saturadas y otras reservas internas de la cuenca hidrográfica.[19]

El análisis de los flujos bajos es fundamental en los estudios hidrológicos, ya que estos caudales guardan una relación directa con actividades y servicios esenciales como el abastecimiento de agua potable, la generación hidroeléctrica, el riego agrícola, la protección de ecosistemas acuáticos y la gestión eficiente de los recursos hídricos. Por ello, comprender su comportamiento es crucial para tomar decisiones informadas sobre la disponibilidad de agua durante períodos secos.[26], [27]

Los períodos de estiaje pueden agravarse por diversos factores, entre ellos la variabilidad climática, las modificaciones en el uso del suelo y la intervención humana en las cuencas hidrográficas. Debido a ello, es necesario aplicar metodologías que permitan estimar, analizar y prever de manera confiable estos caudales mínimos, especialmente en zonas donde el recurso hídrico desempeña un papel importante para la población, la producción y el equilibrio ambiental.[26]

3.2.23. *Flujo base*

El flujo base corresponde a la fracción del caudal de un río que proviene del agua almacenada en los acuíferos y en las zonas saturadas del subsuelo, la cual se libera de manera lenta y sostenida hacia el cauce principal. A diferencia de la escorrentía superficial, que responde casi inmediatamente a los eventos de precipitación, el flujo base es la componente más estable del caudal total y sostiene el río durante los períodos sin lluvias significativas.[26]

Esta componente resulta determinante para la presente investigación, ya que sobre ella se aplican los métodos de recesión: al aislar el aporte del almacenamiento subterráneo, es posible caracterizar cómo responde la cuenca una vez que cesan los aportes superficiales y describir matemáticamente su tasa de agotamiento. Distinguir el flujo base del caudal total observado es, por tanto, un paso previo indispensable para identificar correctamente los tramos de recesión analizados en este estudio.[26]

La magnitud y la persistencia del flujo base dependen en gran medida de las propiedades hidrogeológicas de la cuenca, como la capacidad de almacenamiento de los acuíferos, la permeabilidad del subsuelo y el grado de conexión hidráulica entre estos reservorios y el cauce principal. Las cuencas con mayor capacidad de retención tienden a mostrar un flujo base más estable y sostenido en el tiempo, mientras que aquellas con menor capacidad de regulación presentan caudales de estiaje más variables y vulnerables ante la ausencia prolongada de precipitaciones.[26]

3.2.24. Curva de recesión

Las curvas de recesión representan cómo el caudal de un río disminuye gradualmente después de que termina un evento de lluvia. Este comportamiento permite interpretar cómo la cuenca libera el agua previamente almacenada en sus diferentes reservorios naturales, principalmente en los acuíferos y en las zonas saturadas del subsuelo.[26]

En los períodos sin nuevos aportes de precipitación, el caudal del río tiende a disminuir de manera progresiva, siguiendo generalmente una tendencia exponencial aproximada. Esta relación permite describir matemáticamente el proceso de agotamiento del flujo base y analizar la respuesta hidrológica de la cuenca en las etapas secas.[26]

Formula. 5 Curva de recesión.

$$Q_t = Q_0 e^{-ikt} \quad (5)$$

Donde:

- Q_t : caudal en el tiempo t . [26]
- Q_0 : caudal inicial. [26]

- k: coeficiente de recesión.[26]
- t: tiempo.[26]

El coeficiente de recesión describe la rapidez con la que una cuenca pierde el agua almacenada tras un evento de precipitación. Cuando este coeficiente presenta valores bajos, indica que el agua se libera de forma lenta y sostenida, lo que refleja una mayor capacidad de la cuenca para regular el caudal durante períodos secos. Por el contrario, los valores indican que el sistema responde con mayor rapidez: el almacenamiento hídrico se agota más rápidamente y el caudal disminuye de forma acelerada.[26], [27]

3.2.25. *Método de recesión para la estimación de flujos bajos*

El método de recesión se basa en el análisis del descenso progresivo de los caudales de los ríos durante períodos sin lluvia. A través de estas curvas de agotamiento, se puede entender cómo la cuenca libera el agua almacenada en el subsuelo, especialmente la proveniente de los acuíferos. Esta metodología resulta útil para caracterizar el aporte del flujo subterráneo y estimar la disponibilidad de agua en épocas de sequía.[8], [27]

El procedimiento generalmente comprende las siguientes etapas:

1. Selección de periodos sin precipitación.[8]
2. Identificación de segmentos de recesión en los hidrogramas.[8]
3. Ajuste matemático de las curvas de recesión.[8]
4. Determinación del coeficiente de recesión.[8]
5. Estimación de flujos bajos y del flujo base.[8]

Diferentes investigaciones han señalado que el método de recesión es una alternativa útil para analizar y valorar los recursos hídricos, especialmente en cuencas donde información hidrométrica disponible es escasa. Su aplicación permite interpretar el comportamiento del caudal en períodos secos y aproximar la disponibilidad de agua a partir del descenso natural del caudal en los cauces.[8], [28]

3.2.26. *Coefficiente de recesión*

El coeficiente de recesión es un parámetro importante en el análisis hidrológico, ya que explica la velocidad a la que el caudal de un río disminuye durante períodos sin aportes significativos de lluvia. Este valor está directamente relacionado con las condiciones hidrogeológicas de la cuenca, así como con su capacidad para almacenar y liberar agua de forma progresiva hacia el cauce principal.[8]

En las cuencas con mayor capacidad de almacenamiento hídrico, el coeficiente de recesión tiende a ser menor, ya que el agua retenida en el subsuelo o en otros sistemas de almacenamiento se libera lentamente. Esta condición permite que los caudales se mantengan relativamente estables durante las épocas de estiaje.[8]

El coeficiente de recesión contribuye a la comprensión del comportamiento de la cuenca en períodos secos, debido a que evalúa la capacidad de resistir a la reducción del aporte hídrico. A la vez, el parámetro consiste en la herramienta adecuada para la administración, planificación y aprovechamiento del recurso hídrico.[29]

3.2.27. *Importancia de la estimación de flujos bajos en la gestión hídrica*

La estimación de flujos bajos es un aspecto fundamental en la planificación y el manejo integral de los recursos hídricos, ya que permite conocer la disponibilidad mínima de agua en una cuenca durante los períodos secos. Esta información es de gran utilidad para definir caudales ecológicos, proyectar sistemas de abastecimiento, analizar la viabilidad de concesiones de agua y plantear medidas de adaptación ante escenarios de sequía.[26], [27]

De igual manera, la determinación de los caudales mínimos es importante para proteger el equilibrio de los ecosistemas acuáticos, ya que estos dependen de un flujo continuo de agua para mantener sus funciones naturales. Además, este análisis contribuye a garantizar el uso sostenible del recurso hídrico en actividades domésticas, industriales, agrícolas y productivas, especialmente en épocas de menor disponibilidad de agua.[26], [27]

4. METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO

4.1 Descripción del proyecto

La presente investigación se orienta a estimar los flujos bajos en la cuenca del río Paute, ubicada en la región de la Sierra y la Amazonía del Ecuador. Para el desarrollo del estudio, se empleó un enfoque cuantitativo. El análisis se fundamentó en el análisis de series hidrológica. temporales de información y meteorológica correspondientes al período comprendido entre (1980 y 2016), considerando todos los años con datos disponibles. La información utilizada se obtuvo del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) [26], entidad encargada del monitoreo y de la gestión de la información hidrometeorológica. El método implementado en este proyecto de investigación, propuesto por Bako y Hunt (1988), permite determinar el coeficiente de recesión del flujo base. Dicho coeficiente representa la caída de la velocidad del caudal durante periodos secos

y se emplean técnicas numéricas y estadísticas. Cumple con el objetivo de proporcionar información concisa sobre la cuenca de estudio de nuestro proyecto: el río Paute.

4.2 Enfoque metodología

Este estudio se realizó con un enfoque cuantitativo para evaluar las condiciones hidrológicas de la cuenca del río Paute. El estudio se fundamentó en los procesos de recesión del caudal correspondientes. Utilizando técnicas estadísticas y procedimientos numéricos aplicando los datos hidrométricos observados. A partir de este procesamiento, se obtuvo información de interés para estimar los caudales mínimos en periodos de estiaje de la cuenca.[12]

El estudio se sustentó en el análisis de las curvas de recesión, una metodología respaldada por diversos estudios hidrológicos que permitió evaluar la descarga de agua subterránea hacia los cauces durante intervalos sin precipitaciones.

La metodología aplicada partió del supuesto de que, durante los periodos de estiaje o en ausencia de precipitaciones significativas, el caudal que circula por los ríos proviene principalmente del agua almacenada en los acuíferos. Al momento que las lluvias disminuyen el caudal del río suele reducirse y el flujo responsable de la descarga en el cauce. Esto produce una curva de recesión, interpretando la respuesta hidrológica de la cuenca.[30]

El análisis de la curva es común dentro de los estudios hidrológicos debido a la comprensión del almacenamiento del agua subterránea. La forma de las curvas según las características hidrogeológicas de la cuenca. La permeabilidad de la formación geológica influye dentro de su comportamiento.[11]

4.3 Esquema metodológico

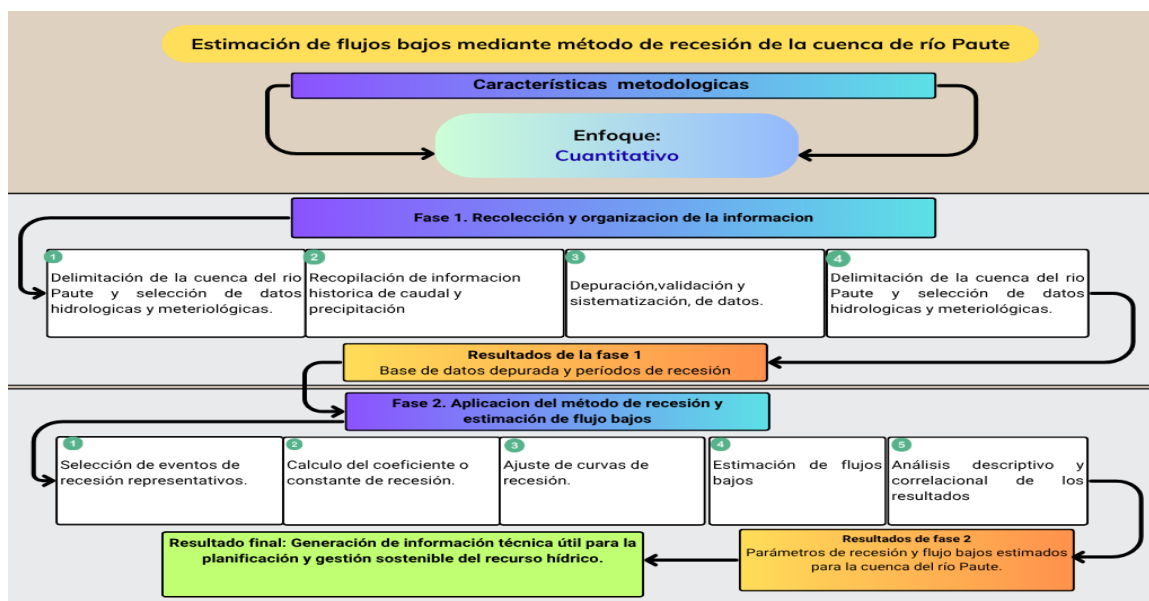


Figura 6 Esquema metodológico.

4.3.1. Fase 1 Recolección y organización de la información

En la primera fase se ejecutó y se desarrolló la recopilación, revisión y organización de la información necesaria, facilitada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Para el análisis hidrológico de la cuenca del río Paute, se tomaron en cuenta los datos históricos de caudal y precipitación de algunos años, así como datos de precipitación de estaciones hidrológicas y meteorológicas, con l finalidad de contar con una base de datos confiable, desarrollada en el programa Excel para el estudio. Además, se delimitó la cuenca con base en la disponibilidad de estaciones activas dentro y fuera de la zona de interés, que es, a su vez, la cuenca del río Paute, permitió identificar el área de estudio, la red hídrica y las zonas de drenaje. Posteriormente, la información fue depurada y sistematizada en la base de datos, de modo que los

datos finales permitieran identificar los períodos secos y eventos de recesión. Como resultado, se obtuvo una base de datos organizada y depurada, adecuada para continuar con la aplicación del método de recesión.

4.3.2. *Fase 2 Aplicación del método de recesión y estimación de flujos bajos*

En la segunda fase, se aplicó el método de recesión para estimar los caudales bajos en la cuenca del río Paute. Se seleccionaron los eventos de recesión más representativos, es decir, aquellos periodos en los que el caudal disminuye progresivamente tras la ausencia de precipitaciones significativas. A partir de estos eventos se calcularon el coeficiente o constante de recesión y la capacidad de la cuenca para sostener el flujo base durante épocas de sequía esta fase permite la generación de la información técnica para la comprensión de la disponibilidad hídrica en los periodos secos, apoyando la planificación del recurso de la cuenca.

4.4 Área de estudio

4.4.1. *Localización geográfica*

El río Paute se ubicó (Figura 7) en la región centro-sur del Ecuador y desemboca en las vertientes amazónicas. En los ríos Santiago y Namangoza, que posteriormente confluyen en el río Marañón en la frontera peruana, el estudio respectivo comprende territorios de las provincias de Azuay (64%), Cañar (17,2%), Chimborazo (10,6%) y Morona Santiago (8,2%).[27] En el tratamiento de toda la información geoespacial se empleó el sistema de georreferenciación con las coordenadas UTM WGS84, Zona 17 Sur, que corresponde al estudio de nuestro proyecto de investigación y al sistema de proyección cartográfica utilizado para las regiones de la Sierra Sur y Amazonía del Ecuador. El uso adecuado de esta herramienta facilita la obtención de distancias, mediciones precisas y superficies y nos garantiza cálculos confiables de los diferentes parámetros morfométricos necesarios para el análisis de la cuenca hidrográfica.[20]

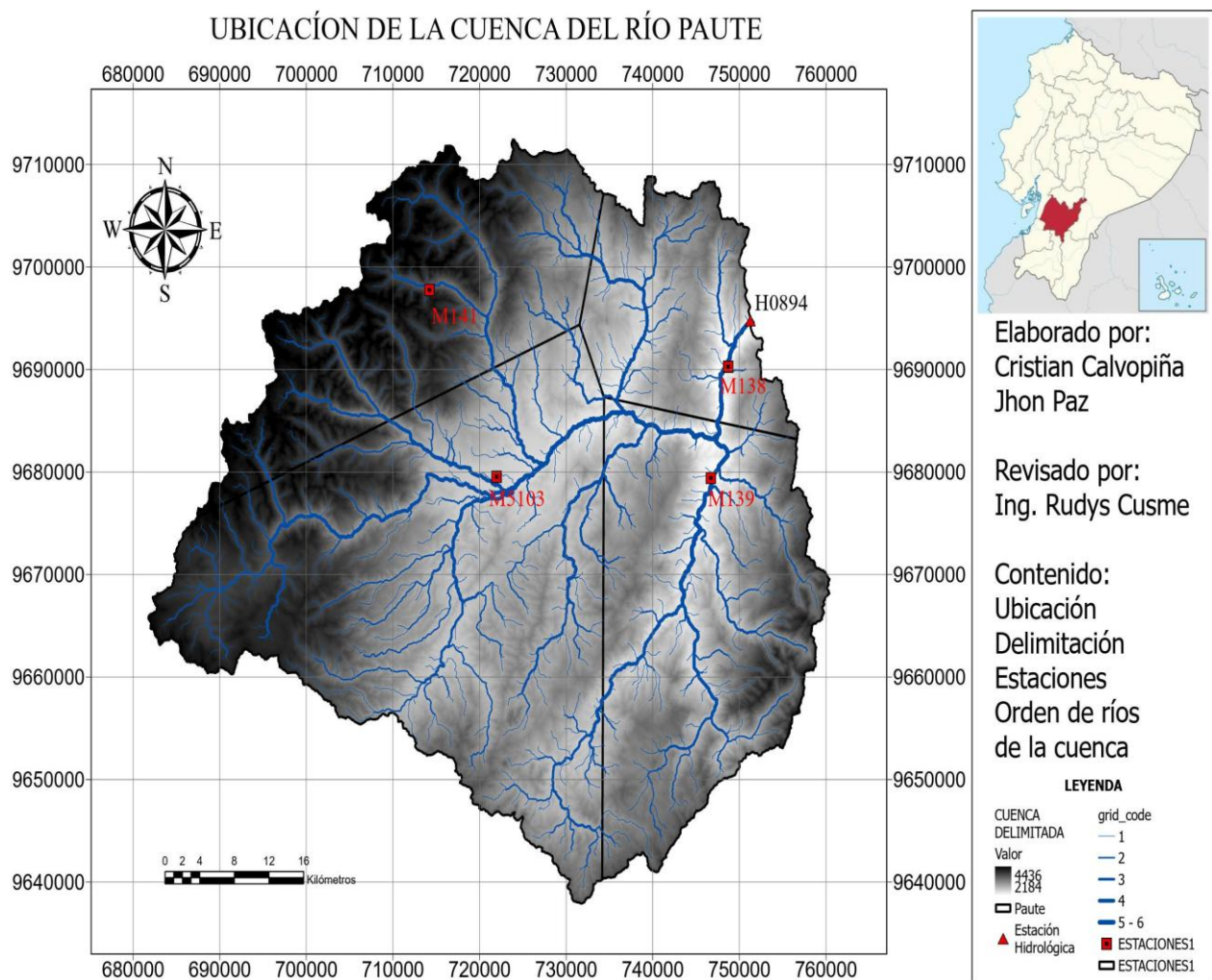


Figura 7 Ubicación de la cuenca hidrográfica del río Paute.[31]

4.4.2. Características climáticas

La cuenca hidrográfica del río Paute se ubica en la región Sierra Sur de Ecuador. Presenta variaciones climáticas en zonas bajas teniendo clima tropical. Esto se debe a que presenta características climáticas influidas por la altitud y la complejidad orográfica de las zonas andinas, donde, en otras zonas, el clima es templado a frío. La cuenca del río Paute se extender sobre un

territorio compartido con las provincias de Azuay, Cañar, Chimborazo, Morona Santiago, cubriendo una superficie aproximada de 6,436 km², Esta ubicación no es un dato menor a la hora de entender sus comportamiento climático al situarse en plena cordillera de los Andes del sur del Ecuador, la cuenca queda expuesta a la influencia simultanea de tres grandes sistemas climáticos, el Pacífico, tropical, la Amazonia y el Atlántico tropical, cuyo tira y afloja da forma a un clima marcadamente variable tanto en el espacio como en el tiempo.[31], [32]

4.5 SELECCIÓN DE ESTACIONES HIDROLÓGICAS Y METEOROLÓGICAS

Para llevar a cabo el análisis de recesión de caudales en la cuenca del río Paute, el primer paso consistió en identificar qué estaciones del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) podían proporcionar la información necesaria. Para ello, se utilizó el visor geográfico interactivo del portal web institucional de la entidad, una herramienta que permitió visualizar y ubicar todas las estaciones meteorológicas e hidrológicas existentes tanto en la zona de estudio como en el resto del país, distinguiendo, además, cuáles se encontraban operativas y cuáles habían sido dadas de baja.

De acuerdo con esta revisión inicial se hizo una primera selección, considerando las estaciones con la ubicación geográfica encontrándose en los límites de la cuenca del río Paute. Las que no tienen registro se desecha por la ausencia de continuidad de la transmisión de los datos. Esta depuración permitió que el análisis de datos se refleje de forma confiable y bajo el comportamiento hidrológico de la cuenca.

Tabla 6 Estaciones meteorológicas e hidrológicas del área de estudio.

Nº	Código	Nombre
1	M0139	GUALACEO
2	M5103	EMOV - EP CUENCA

3	M138	PAUTE
4	M141	EL LABRADOR
5	H0894	PAUTE EN PAUTE (DJ GUALAZEO)

4.6 PROCESAMIENTO Y CONTROL DE DATOS

Una vez obtenida la información digital del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), se organizará en una base de datos en Excel. Se optó por esta herramienta por su facilidad de uso y su capacidad para trabajar con distintas series de tiempo simultáneamente, lo cual resultó conveniente dado el número de estaciones involucradas en el estudio. Gracias a esta organización, fue posible mantener ordenados los registros de precipitación y de caudal correspondientes a cada estación, lo que facilitó las tareas de revisión y depuración de la información.[33]

Disponer de datos estructurados en hojas de cálculo hizo más sencillo detectar vacíos en las series, así como identificar valores que se apartaban notablemente de lo esperado y podían comprometer la fiabilidad de los resultados. Se Consideró el proceso de control de calidad de los datos meteorológicos, conforme la coherencia de las unidades usadas de las estaciones y los registrados conforme la zona de estudio.[32]

Considerando que el estudio se desarrolló a escala mensual, los registros diarios entregados por el (INAMHI) para obtener series mensuales representativas del comportamiento hidrológico de cada estación. Este trabajo previo de organización y depuración de la información constituyó la base para el desarrollo de las siguientes etapas del procesamiento: la homogeneización temporal de los datos y la aplicación del método de recesión para estimar los flujos bajos en la cuenca del río Paute.[33]

4.6.1. Control de datos

En este apartado se eligió los años con mayor densidad de información que son óptimos para la realización de los análisis de recesión, así como aquellos con períodos de déficit hídrico para garantizar la fiabilidad a la hora de hacer el análisis hidrológico.

4.6.2. Relleno de datos faltantes

Durante la etapa de control de calidad, se identificaron vacíos en los registros de caudal de algunas estaciones hidrológicas que nos proporcionó el INAMHI. Analizando los caudales, de no haberse tratado adecuadamente, habrían interrumpido la continuidad de las series temporales necesarias para el análisis de la recesión. Dejar estos vacíos sin resolver habría significado perder tramos completos del hidrograma, justo en los periodos en que el caudal desciende de manera progresiva tras un evento de crecida, que son precisamente los segmentos de mayor interés para el estudio por esta razón, se optó por completar dichos vacíos de la información mediante la aplicación del método de las curvas de descargas, con el propósito de construir series continuas que permitirán identificar y delimitar con precisión los periodos de recesión completos, sin que la falta de datos afectaran la confiabilidad ni la representatividad del análisis hidrológico posterior.

Para llevar a cabo el relleno de las series de caudal, se recurrió al método de las curvas de aforo, comúnmente denominado curva de descarga, una de las técnicas más utilizadas en la hidrometría operativa a nivel mundial, incluida en estudios sobre la recesión de flujos bajos en cuencas ecuatorianas.

Este método se basa en el hecho de que medir el caudal de un río de manera directa y continua es técnicamente complejo, costoso y, en muchos casos, poco práctico, especialmente durante eventos de crecida, donde las altas velocidades y niveles del agua representan un riesgo tanto para el personal como para los equipos de medición, por el contrario, nivel del agua también llamado altura

de lámina de agua, puede registrarse de manera continua y automática con instrumentos limnimetricos o limnigraficos instalados en la estación, a un costo considerablemente menor.

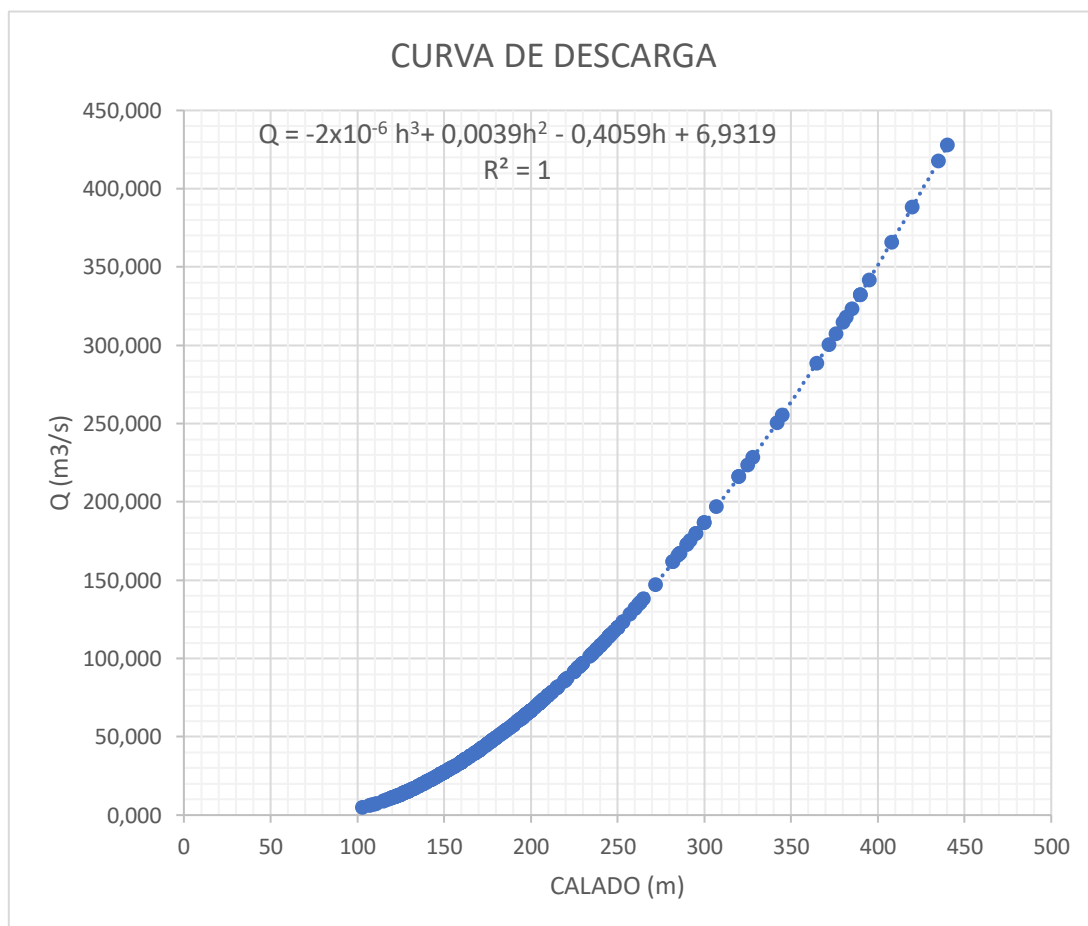


Figura 8 curva de descarga de la estación H0894

4.7 Información derivada de ArcGIS Pro

La información geoespacial correspondiente a la cuenca de estudio fue una recopilación de datos históricos, procesada en ArcGIS Pro, una herramienta de sistemas de información geográfica ampliamente empleada en análisis territoriales e hidrológicos. Este software permitió no solo

organizar y visualizar la información espacial disponible, sino también realizar la caracterización física y morfométrica de la cuenca y el análisis de los parámetros que describen su forma, tamaño, relieve y la configuración del drenaje. Este tipo de caracterización resulta fundamental, ya que las propiedades morfométricas influyen directamente en su comportamiento hidrológico, particularmente en la manera en que responde a eventos de precipitación y en los procesos de recesión del caudal.[34]

4.7.1. Delimitación de la cuenca hidrográfica

Para delimitar la cuenca del río Paute, se aplicó un conjunto de técnicas de procesamiento geoespacial en un entorno de Sistema de Información Geográfica (SIG) para obtener un resultado preciso y reproducible. Con este fin, se optó por trabajar con el complemento ArcGeek Calculator, ya que esta extensión fue concebida específicamente para simplificar y automatizar procedimientos hidrológicos que, si se realizan de forma manual, exigirían mucho más tiempo y estarían más propensos a errores de interpretación o de cálculo.[34]

El uso de esta herramienta permitió realizar, de manera ordenada y sistemática, el análisis hidrológico de la cuenca a partir de la información topográfica contenida en el Modelo Digital de Elevación (MDE) del área de estudio. A partir de este insumo, el proceso automatizado generó progresivamente las distintas capas necesarias para representar y modelar el flujo de agua sobre el relieve, entre ellas la dirección y la acumulación del flujo, que resultaron fundamentales para trazar con exactitud los límites de la cuenca del río Paute, identificar su red de drenaje y sus principales rasgos morfológicos.[34]

4.7.2. Cálculo del área de la cuenca

Con la cuenca hidrográfica ya delimitada mediante el análisis hidrológico en ArcGIS Pro, se avanzó en la obtención de su área de drenaje, uno de los parámetros morfométricos más relevantes

para la caracterización de cualquier sistema hidrográfico. Estos datos permiten generar la extensión de la cuenca de estudio, siendo insumo básico del cálculo de otros parámetros derivados como el drenaje o densidad o el coeficiente compacidad.[34]

Para calcular este parámetro, se empleó la herramienta Field Calculator de ArcGIS Pro, que permite ejecutar operaciones matemáticas y geométricas directamente sobre los atributos almacenados en la tabla de la capa vectorial de la cuenca. Gracias a esta funcionalidad, fue posible obtener de manera automática y precisa el valor del área de drenaje, sin recurrir a métodos manuales de medición que, además de consumir más tiempo, suelen presentar un mayor margen de error. De este modo, el cálculo del área quedó integrado directamente en el flujo de trabajo geoespacial de ArcGIS Pro para la caracterización morfométrica de la cuenca del río Paute.[34]

La fórmula que se utilizó es la siguiente:

Formula. 6 Área de la cuenca.

$$A(km^2) = \frac{A(m^2)}{1000000} \quad (6)$$

Donde:

- A: Área de la cuenca en kilómetros cuadrados (km^2)
- A_{m^2} : Área en función geométrica de ArcGIS Pro que calcula automáticamente el área de la entidad espacial y se convierte en metros cuadrados o kilómetros cuadrados.
- 1000000: Factor de conversión de metros cuadrados a kilómetros cuadrados.
($1_{km^2} = 10^6 m^2$)

Luego de culminar la delimitación en ArGIS Pro la Tabla 7 es el resultado del cálculo del área de drenaje que nos arrojó el programa en km^2 .

Tabla 7 Área de la cuenca

PARAMETRO	VALOR	UNIDAD	INTERPRETAR
Área de la cuenca (A)	3593,34	Km ²	Gran cuenca

4.7.3. *Red de drenaje*

Para delimitar automáticamente la red hídrica, se utilizó una herramienta de ArcGIS Pro que genera cauces a partir del modelo digital de elevación previamente procesado. Dentro del procedimiento se calibró el umbral de acumulación del flujo conforme el parámetro de las celdas para la convergencia de que el segmento se considere un cauce. Siendo así la calibración es importante debido a que el umbral es bajo generando una red densa con poco cauce. Como resultado del proceso, se tiene la distribución espacial del orden del río, permitiendo la identificación sobre que el cauce alcanza el orden de sexto nivel, en el que la confluencia de varios afluentes de jerarquía menor conduce al sistema fluvial robusto.

Se observa el orden hídrico determinado según el sistema de Strahler, estableciendo un orden de corrientes de nivel 6, lo que muestra una red compleja y ramificada peculiar de una cuenca de gran magnitud con relieve pronunciado.

4.7.4. *Polígonos de Thiessen*

El método de los polígonos de Thiessen es uno de los procedimientos más utilizados en hidrología para estimar la precipitación media que recibe una cuenca, especialmente cuando las estaciones pluviométricas no están distribuidas de forma homogénea en el territorio. El fundamento se basa en el trazo de la estación por medio de polígonos que una los puntos próximos a la estación, generando que otra estación cercana se encuentre ahí. De esta manera, la delimitación geométrica calcula promedio calcula por el criterio de ponderación.[35] Para el estudio se consideró una capa de puntos que ubica las estaciones meteorológicas, con la información brindada por el INAMHI.

1. En el software, abrimos la pestaña Analysis Tools y, en el cuadro de búsqueda, escribimos “Create Thiessen Polygons”. [35]
2. Seleccionamos la herramienta Create Thiessen Polygons, que se encuentra en el toolbox Analysis Tools y luego en Proximity. [35]
3. Configura los parámetros:
 - Input Features: la capa de puntos de tus estaciones. [35]
 - Output Feature Class: define el nombre y la ubicación del resultado. [35]
 - Output Fields: elige la opción "ALL" para que se mantengan todos los campos de atributos (incluido el de precipitación), o "ONLY_FID" si solo necesitas el identificador. [35]
4. Ejecuta la herramienta (Run). El resultado será una capa de polígonos, en la que cada uno representará las áreas de aportación e influencia de las estaciones dentro del área de estudio de nuestra cuenca hidrográfica. [35]

Evidencio la división de la cuenca en dos zonas de influencia: M5103 y M0139, las cuales muestran el aporte de precipitación de cada estación.

4.8 APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE RECESIÓN

Bako y Owoade (1988) descubrieron un método del coeficiente K por la regresión lineal. Antes de establecer un valor definitivo, es necesario contrastar estadísticamente si los distintos segmentos analizados pertenecen realmente al mismo grupo, es decir, si comparten una constante de recesión similar entre sí. Superada esta verificación, se promediarán los valores de K, otorgando mayor peso a los grupos con mayor número de observaciones, lo que finalmente arroja un valor representativo de la recesión típica de la cuenca en estudio. [36]

La finalidad del procedimiento se basó en K que define la velocidad del flujo en base a la falta de lluvias, siendo así la relevancia se centra en el coeficiente como el indicador de las condiciones hidrogeológicas.[36]

4.9 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE PERIODO DE RECESIÓN

Con el fin de depurar los tramos de recesión representativos de los hidrogramas de la cuenca del río Paute, se recurrió a los lineamientos de Tallaksen (1995) y de Bako & Owoade (1988). Bajo este enfoque, quedaron fuera del análisis aquellos segmentos de corta duración o que presentaban variaciones abruptas en su pendiente, puesto que este comportamiento suele deberse a efectos de escorrentía superficial y no a un vaciado progresivo del flujo base. Se consideró los tramos de disminución estable y continua a largo del tiempo, que es un requisito para el cálculo del coeficiente k por medio de la regresión lineal. Los datos incompletos se descartaron permitiendo que el proceso sea natural conforme a la recesión del caudal.

Tabla 8 Selección de períodos de recesión según Bako & Owoade (1988) y Tallaksen (1995)

CRITERIO	BAKO & OWOADE (1988)	TALLAKSEN (1995)	APLICACIÓN AL RÍO PAUTE
Duración mínima del segmento	≥ 5 días consecutivos	$\geq 5-10$ días dependiendo del tamaño de cuenca	≥ 6 días (cuenca grande, $A = 3.593.34 \text{ km}^2$)
Precipitación máxima permitida	$P < 2-3 \text{ mm/día}$ durante todo el segmento	$P < 1-2 \text{ mm/día}$ según clima regional	$P < 2 \text{ mm/día}$ (verificado con 4 estaciones disponibles INAMHI:

			M0139, M5103, M138, M141)
Descenso del caudal	$Q_{t+1} < Q_t$ para todo t (descenso continuo estricto)	$Q_{t+1} \leq Q_t$ (permite estabilización temporal)	Descenso continuo estricto $Q_{t+1} < Q_t$
Inicio del segmento	1-2 días después del pico del hidrograma	Después del punto de inflexión en $\ln(Q)$ vs. t	1 día post-pico para excluir escorrentía directa
Caudal inicial (Q_0)	Al 70-80% del caudal pico	Cuando dQ/dt se estabiliza	Después de descenso inicial rápido
Bondad de ajuste (R^2)	$R^2 > 0.90$ en regresión $\ln(Q)$ vs. t	$R^2 > 0.85-0.95$ según variabilidad	$R^2 > 0.83$ para segmentos aceptables (por eso se descartó en especial del año 2010, cuyo R^2 es de 0.534)
Validación de recesión pura	Verificación visual de linealidad en $\ln(Q)$ vs. T	Análisis de residuales y autocorrelación	Sin restricción de condiciones antecedentes

4.10 VARIABLES HIDROGRÁFICAS

Dentro de la recesión se debe contar con el conjunto de información hidrometeorológico para la interpretación adecuada del comportamiento del flujo base en el río en los periodos sin precipitaciones. De esta manera, la información permite la identificación del momento exacto de que el caudal empieza la disminución de manera sostenida, brindando los elementos necesarios para la diferenciación de las variaciones de flujo sobre escorrentía.

Asimismo, esta información resulta clave para establecer una relación coherente entre el descenso progresivo del caudal y las características físicas del terreno, así como con las propiedades del acuífero que sostiene el flujo del río a lo largo del tiempo. Comprender esta relación permite no solo describir el fenómeno de recesión desde un punto de vista cuantitativo, sino también aproximarse a las condiciones hidrogeológicas que lo explican. En este sentido, las variables esenciales para el desarrollo de este análisis son las siguientes:

4.10.1. Caudal (Q)

Los registros de caudal de la estación hidrológica Paute en Paute (H0894) nos proporcionaron un panorama más claro para construir hidrogramas diarios de descarga (m^3/s). En este proyecto, toda la información del río fue un pilar clave para comprender el comportamiento hidrológico de la cuenca durante el período de evaluación de los tramos.[37]

4.10.2. Tiempo (t)

Dentro del método de recesión, el tiempo es la variable que determina la forma del hidrograma, su caudal pico y el volumen total de agua que escurre. Con los registros diarios de la estación Paute en Paute (H0894), se reconstruyeron los hidrogramas de la cuenca hidrográfica del río Paute, lo que permitió identificar el momento en que la lluvia se convierte en escorrentía.[37]

4.10.3. Precipitación (P)

La precipitación es una de las variables hidrológicas más determinantes en el análisis de la recesión; por su comportamiento, es posible establecer un umbral de referencia que delimite con mayor precisión los períodos de estiaje, entendidos como las fases del régimen hidrológico en las que el curso fluvial presenta la menor disponibilidad de agua. Este umbral es esencial para diferenciar los tramos del hidrograma en los que el caudal aún responde a la escorrentía directa generada por la

lluvia, de aquellos en los que dicha influencia se disipa y el flujo pasa a depender casi exclusivamente del aporte subterráneo.[37]

4.11 ÁREAS DE INFLUENCIA DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS

Para obtener la cuantificación del área de influencia de los polígonos de Thiessen tenemos que dirigirnos y acceder a la tabla de atributos de la capa ya creada de los polígonos recortados dando clic derecho con el cursor y después abrir la tabla de atributos.[35]

Posteriormente se usó la calculadora y se selecciona las estaciones que se usaron se ejecuta comando calcular así dándonos el cálculo de las áreas correspondientes al estudio.[35]

Las áreas de los polígonos de Thiessen son importantes ya que gracias a ellas se conoce y se puede calcular las precipitaciones medias de la cuenca hidrográfica de nuestro proyecto de acuerdo con el método de polígonos de Thiessen que nos dice este método es cálculo de las precipitaciones medias de las cuencas hidrográficas asignado en un área de influencia a cada estación meteorológica asignando el uso de distancias más próximas a la cuenca de río.[35]

Tabla 9 Área de polígonos de Thiessen.

Nº	Código	Nombre	Área	Unidades
1	M0139	GUALACEO	889.45	Km2
2	M5103	EMOV - EP CUENCA	1569.17	Km2
3	M138	PAUTE	399.8	Km2
4	M141	EL LABRADOR	734.92	Km2

5.1. CRITERIOS POR MEDIO DE LA SENSIBILIDAD DE LA CONSTANTE K

Para calcular con presión y total seguridad los periodos de recesión las series de caudal de la cuenca hidrográfica de río Paute se usó el criterio de sensibilidad de la constante K propuesto por Bako y

Owoade (1988)[14] este método nos permite cuantificar los flujos bases reduciéndola subjetividad de los hidrogramas e identificación previa de periodos de recesión mediante la evaluación visual se aplicó el criterio de sensibilidad de las constantes k[14]

4.12 DETERMINACION DE LA CONSTANTE K

En el cálculo de la constante de recesión K, se utilizaron como referencia los períodos de recesión previamente indicados; se recurrió a la metodología propuesta por Bako y Owade (1988), que ofrece un procedimiento sólido.

Para el cálculo de K se empleó la ecuación propuesta por Bako y Hunt (1988), la cual, al despejarse la fórmula, queda así:

Formula. 7 Determinación de la constante K.

$$K = 10 \frac{\log(Q_t) - \log(Q_o)}{t} \quad (7)$$

Q_t = Flujo de salida en cualquier momento (m³/s)

Q_o = Flujo de salida en el momento inicial (m³/s)

t = Tiempo (día)

K = Constante de recesión (adimensional)

Con la formulación de esta ecuación se obtuvieron las constantes de recesión para todos los años.

Con la formulación de esta ecuación se obtuvieron las constantes de recesión para todos los años.

Formula. 8 Constante de recesión de todos los años

$$b = \frac{\sum_{i=0}^k (\sum_{v=0}^{ni} U * yi - \frac{1}{2} * ni * (ni + 1) * Yi)}{\sum_{i=0}^{ni} \left(\frac{1}{12}\right) * (ni^3 - ni)} \quad (8)$$

Donde:

b = promedio de las líneas de regresión.[11]

U = número de flujos.[11]

yi = logaritmo del flujo inicial.[11]

Yi = Promedio de flujos.[11]

Ni = número de observación.[11]

4.13 Coeficiente de eficiencia Nash-Sutcliffe (NSE)

Dentro de las herramientas empleadas para estadística para validar modelos hidrológicos, resalta el índice de Nash- Sutcliffe (NSE) desarrollado en 1970 por grupo de investigadores J.E. Nash y J.V. Sutcliffe [38].Este parámetro se creó en base a la necesidad de contar el suficiente criterio para determinar el grado de ajuste entre los resultados obtenidos generados por un modelo y datos reales registrados. Su aplicación resulta clave al momento de estimar caudales, ya que ofrece una forma de medir cuánto del comportamiento hidrológico observado se puede tomarse efectivamente a la simulación realizando, funcionando, así como un respaldo cuantitativo.[39]

Formula. 9 Coeficiente de eficiencia

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_o^t - Q_s^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_o^t - Q_o^t)^2} \quad (9)$$

[Donde:

QO =Caudal observado.

QS = Caudal simulado.

$\bar{QO}$ = La media de los observados.

Entre más este aproximado el valor de Nash-Sutcliffe a 1, mayor será la precisión del modelo hidrológico evaluado. Este índice puede variar en un rango que va desde 1 como valor máximo, hasta el infinito negativo, tal como se detalla en la Tabla 5 a continuación.

Tabla 10 Rango e interpretación de la eficiencia de Nash Sutcliffe (NSE).

NSE	AJUSTE
$NSE > 0,8$	Excelente
$0,6 \leq NSE < 0,8$	Muy Bueno
$0,4 \leq NSE < 0,6$	Bueno
$0,2 \leq NSE < 0,4$	Satisfactorio
$NSE < 0,2$	Insuficiente

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1 ESTACIONES SELECCIONADAS PARA EL ANÁLISIS

Esta investigación dio inicio con la recolección de datos obtenidos por el INAMHI de estaciones hidrológicas y meteorológicas que esta institución cuenta y maneja la información de las lluvias que se dan todo periodo del año y cuenta también con registros anuales.

De los anuarios de INAMHI correspondientes a las estaciones se obtuvo los registros diarios de niveles y caudales, se tomó información de lluvia satelital de página oficial de la NASA donde obtuvimos datos meteorológicos de precipitación, los cuales nos ayudaron y fueron incorporados a nuestra hoja de cálculo en Excel para poder calcular la serie de datos y para la creación de hidrogramas y curvas de descarga.

Tabla 11 Estación hidrológica del INAHMI

CODIGO	UBICACION	ESTACION	LONGITUD	LATITUD	ALTURA
H894	CANTON PAUTE - AZUAY	PAUTE- EN PAUTE	-78.740278	-2.759722	2104 m.s.n.m

La ubicación de la estación H894 “Paute en Paute” que se encuentra en cantón Paute de la provincia de Azuay, a 2104 m.s.n.m esta cuenca nos otorgó todos los datos para poder utilizar en el método de resección.

En este apartado se tomó muy en cuenta las estaciones disponibles dentro de la área de estudio ejecutando una selección adecuada de estaciones meteorológicas en función de su ubicación, se obtuvo los datos de precipitaciones en (mm) que esta información fue tomada y recopilada de los anuarios meteorológicos alojados en el INAMHI de cada estación dentro de nuestra área de estudio estos datos fueron sumamente valiosos por lo que se pudo identificar los periodos de recesión en la Tabla 12 detallo las altitudes y coordenadas de las estaciones meteorológicas seleccionadas:

Tabla 12: Estaciones meteorológicas de Instituto Nacional Meteorológica e Hidrología INAMHI.

CÓDIGO	UBICACIÓN	ESTACIÓN	LONGITUD	LATITUD	ALTURA
M5103	CANTON CUENCA	EMOV- EP CUENCA	-79.003108	-2.897464	2525 m.s.n.m
M0139	CANTON	GUALACEO	-78.776389	-2.881944	2360

	GUALACEO				m.s.n.m
M138	PAUTE	PAUTE	-78.7628	-2.80000	2194 m.s.n.m
M141	CUENCA (CUENCA ALTA DEL RIO PAUTE)	EL LABRADOR	-79.00806	-2.73278	3335 m.s.n.m

En la figura 12 está representada las estaciones meteorológicas existentes dentro de la cuenca hidrográfica del río Paute con sus respectivos códigos (M5103, M0139, M138, M141) las cuales son dos las que se determinó son aptas para su uso y por qué están activas y a la falta de datos se utilizaron dos inactivas.

5.2. ANALISIS DE HIDROGRAMAS Y DETERMINACION DE PARAMETROS DE RECESIÓN

Los registros continuos de flujo en los periodos de recesión iniciaron con datos continuos que esto a su vez nos habla de los desafíos metodológicos en este proyecto de investigación tomas y pusimos en marcha dos criterios que se consideró adecuados e idóneos para lo que vamos hacer como son la distribución mensual de las estaciones que se utilizaron y el otro criterio fue ver los picos de los hidrogramas. Lo que esto da al análisis de los hidrogramas anuales, para la observación precisa de la recesión prolongada hay que mencionar tambien que en ciertos momentos se identificó periodos de recesión por año. En la región sur centro de Ecuador se presentan climas variados como son fríos por la presencia interandina de los páramos hasta temperaturas cálidas por los valles que contemplan la cuenca del río Paute donde esto ocasiona incidencia hidrológica por los periodos con menor precipitación, lo que esto da a que sean más difícil la selección de periodos de recesión.

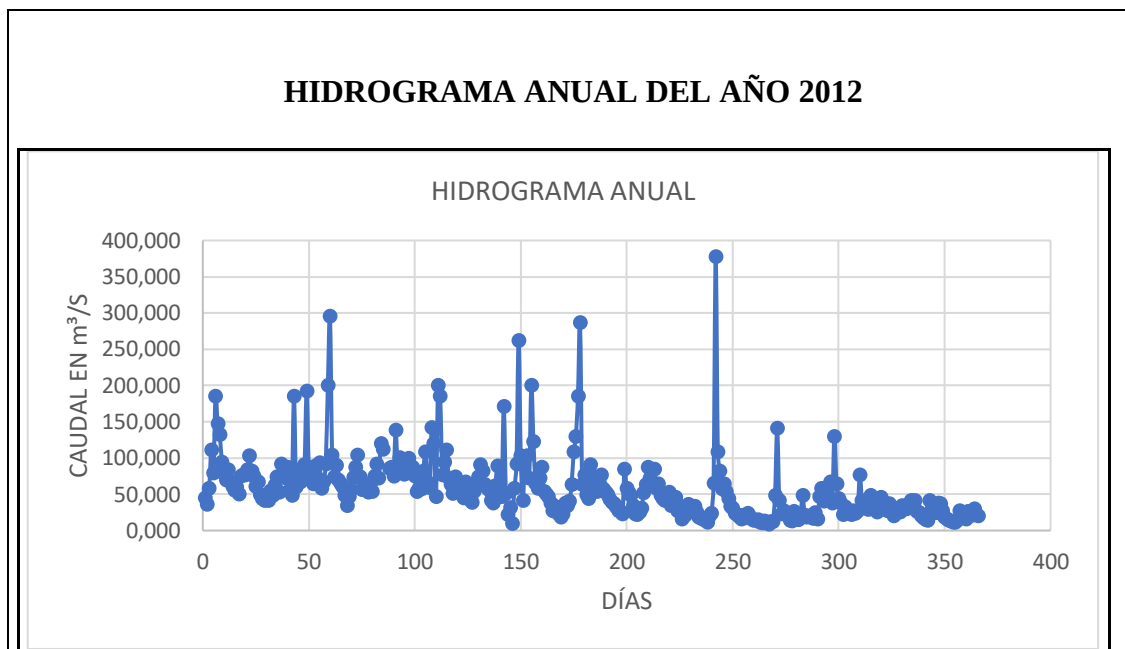


Figura 9 Hidrograma de la estación hidrológica Paute en Paute.

En la figura 9 se observa un comportamiento hidrológico con fuerte inestabilidad estacional y dos fases de actividad diferenciadas. Durante la temporada entre enero y abril, se registran caudales particularmente variables con el pico más alto en marzo de 295 m³/s con un pico inicial previo en febrero de 199 m³/s en este periodo de tiempo se producen diferentes crecidas con bruscos descensos rápidos lo que nos indica una alta sensibilidad de la cuenca frente a eventos de precipitación intensa, mientras que en enero y abril actúan como meses de transición con picos moderados y tendencia decreciente.

En la segunda temporada entre mayo y agosto se evidencia diversas crecidas con picos muy altos siendo en el mes de agosto el pico más alto registrado en el año con un caudal de 377 m³/s, como representación de la intensa actividad pluviométrica de la cuenca en este periodo. Desde el mes de septiembre se inicia el estiaje con caudales progresivamente menores y baja variabilidad, el valor más bajo registrado en el año ocurre en septiembre, cuando el caudal desciende, condición extrema

que muestra un agotamiento crítico del almacenamiento en el subsuelo. En los meses de noviembre y diciembre el caudal experimenta un ligero ascenso y se conserva en niveles bajos propios del flujo base.

Una vez definidos los polígonos de Thiessen, el siguiente paso fue elegir las gráficas anuales correspondientes a los hidrogramas y hietogramas. En cada hidrograma escogido se agregó, además, el hietograma anual proveniente de las estaciones meteorológicas, pluviométricas y pluviográficas que le corresponden, todas ellas situadas aguas arriba de la estación hidrológica. Para su representación, el hietograma se colocó en la parte superior del gráfico, utilizando el eje X secundario, mientras que en el eje Y las precipitaciones se muestran invertidas.

MUESTRA DE HIDROGRAMA DE LA ESTACION (H0894) VZ HIETOGRAMA DE LAS ESTACIONES (M5103, M0139) PARA EL AÑO 2003

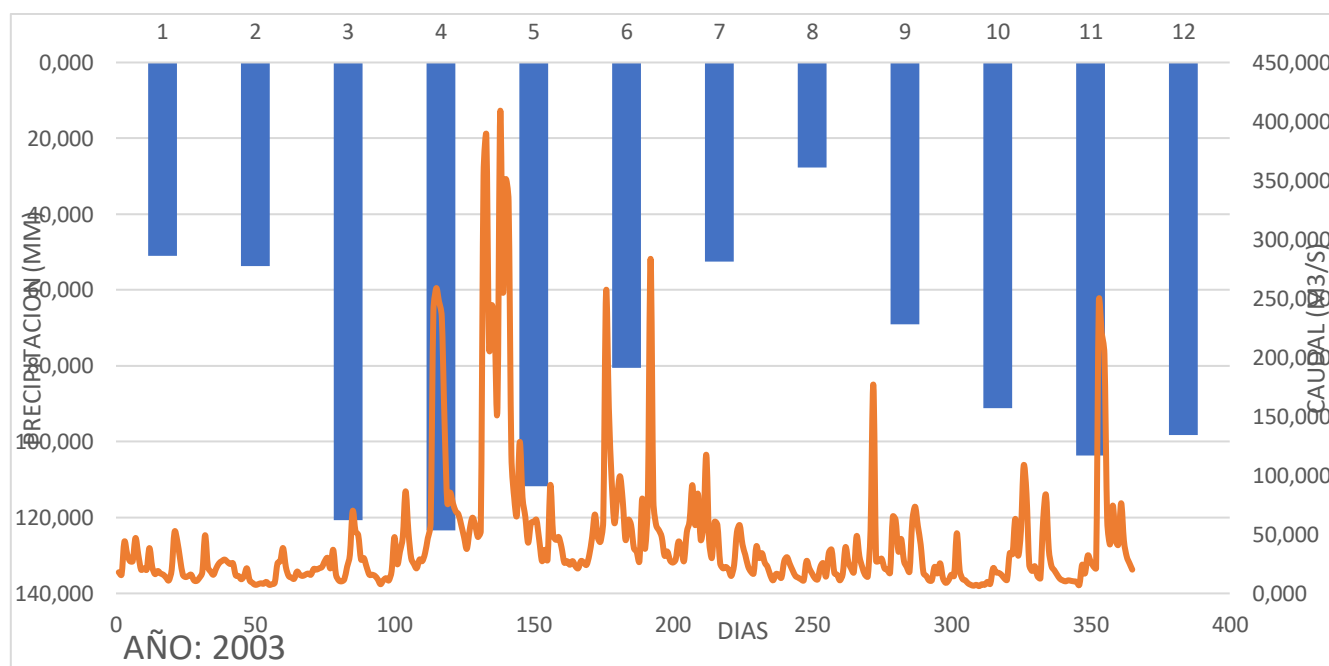


Figura 10 Muestra de los hidrogramas vs hietograma de estación del año 2003.

En la Figura 10 se muestra correspondiente al año 2003 permite visualizar de forma clara la relación causa efecto entre la precipitación registrada en las estaciones y la respuesta hidrológica captada en la estación de caudal. Durante los primeros meses del año (enero a marzo) se observan alturas de precipitación considerables, sin embargo, el caudal permanece relativamente bajo y estable, lo que indica que en esta etapa inicial el suelo y la cuenca aún tenían capacidad de retención, absorbiendo buena parte del agua caída sin generar crecidas significativas en el río.

El punto más crítico del año se concentra entre los días 100 y 150, aproximadamente entre los meses de abril y mayo, periodo en el que se registran los picos de caudal más altos, superando los 400 m³/s. Esta respuesta coincide con las precipitaciones más intensas del año, lo que evidencia que, tras la saturación progresiva del suelo por las lluvias previas, la cuenca reacciona con mayor rapidez y magnitud ante nuevos eventos de precipitación, generando las crecidas más pronunciadas de todo el periodo analizado. Posteriormente, entre los meses de junio y julio, se identifican picos secundarios de menor intensidad (cerca de 250 m³/s), asociados igualmente a nuevos aportes de lluvia, aunque con una respuesta ya más moderada.

A partir de agosto y hasta finales de año, el caudal se mantiene en un régimen de flujo base, con oscilaciones pequeñas y algunos repuntes puntuales (como el observado alrededor del día 350), pero sin alcanzar la magnitud de las crecidas registradas a mitad de año. Este comportamiento de descenso sostenido, con pequeñas fluctuaciones, es precisamente el que resulta útil para el análisis de las curvas de recesión, ya que refleja el vaciado progresivo del almacenamiento de la cuenca una vez superada la temporada de mayores lluvias, permitiendo así estimar los parámetros de recesión característicos del sistema hidrológico en estudio.

MUESTRA DE HIDROGRAMA DE LA ESTACION (H0894) VZ HIETOGRAMA DE LAS ESTACIONES (M5103, M0139) PARA EL AÑO 2005

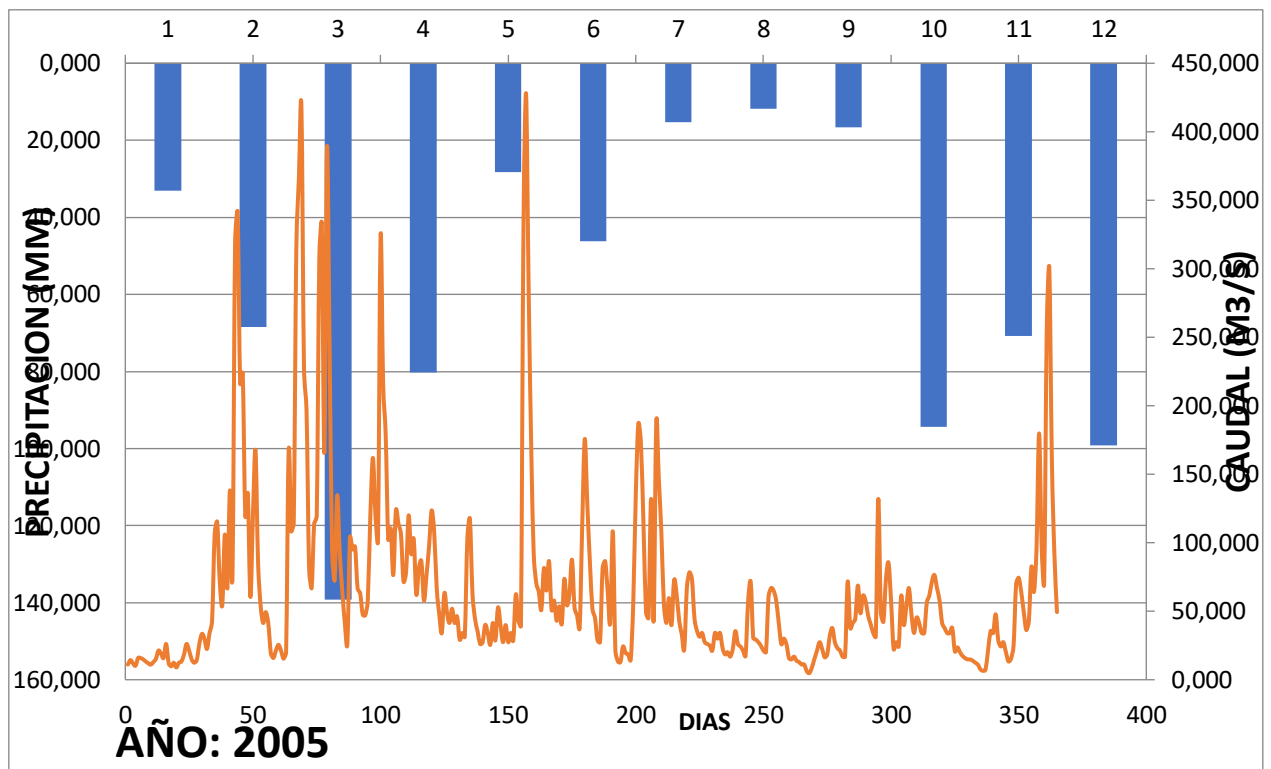


Figura 11 muestra de los hidrogramas vz hietograma de estación del año 2005.

En la Figura 11 se muestra que durante el año 2005 se observa un comportamiento hidrológico bastante marcado, con una temporada de lluvias que se concentra principalmente entre los meses de febrero y marzo. En este periodo, las precipitaciones alcanzan sus valores más altos del año, y el caudal responde de manera casi inmediata, generando los picos más elevados registrados en todo el año, con valores que llegan a superar los 400 m³/s alrededor del día 70 y nuevamente cerca del día 80. Dichas coincidencias muestran que la cuenca reacción en base a los eventos de precipitaciones intensas.

Entre abril y mayo se tiene repuntes de caudal considerable, pero de poca magnitud a diferencia de los picos principales. A partir de junio, y hasta prácticamente el mes de noviembre, el caudal se

mantiene en niveles bajos y relativamente constantes, con pequeñas variaciones que reflejan un régimen dominado por el flujo base, es decir, el aporte de agua subterránea almacenada en la cuenca más que la respuesta directa a la lluvia.

Finalmente, hacia el mes de diciembre se aprecia un nuevo incremento en el caudal, coincidiendo con el aumento de las precipitaciones hacia el cierre del año, lo que da inicio a un nuevo ciclo hidrológico similar al observado al comienzo del periodo analizado. Este patrón de ascenso y descenso, con tramos prolongados de caudal decreciente durante la temporada seca, resulta especialmente útil para el análisis de las curvas de recesión, ya que permite estimar con mayor precisión la velocidad con la que la cuenca libera su almacenamiento una vez finalizado los eventos de lluvia.

En términos generales, la gráfica del año 2005 refleja con claridad el ciclo anual característico de la cuenca, donde un periodo corto pero intenso de lluvias es capaz de definir el comportamiento hidrológico de casi todo el año. Los meses secos al tener un amplio lapso de extensión brinda un tramo de como decae el caudal de manera natural sin aporte pluviométricos.

MUESTRA DE HIDROGRAMA DE LA ESTACION (H0894) VZ HIETOGRAMA DE LAS ESTACIONES (M5103, M0139) PARA EL AÑO 2010

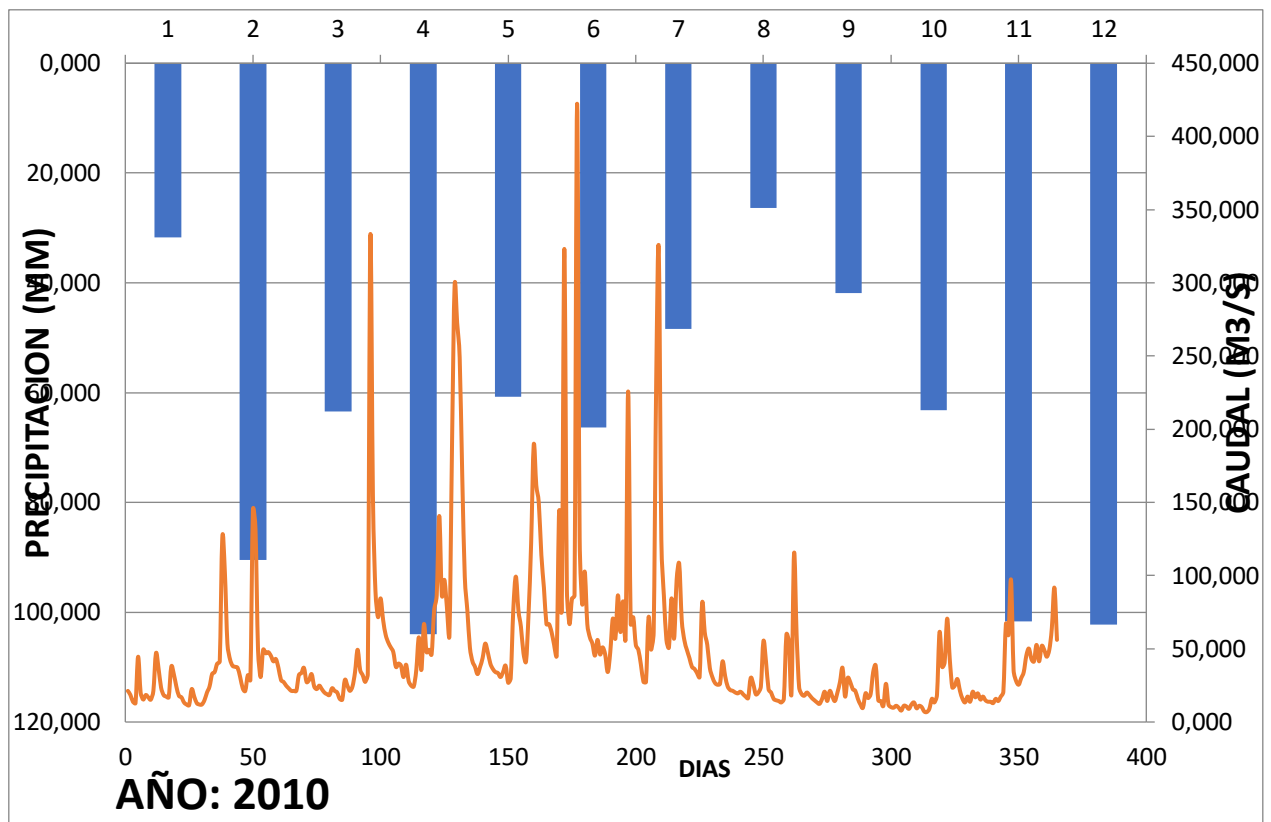


Figura 12 Muestra de hidrogramas vz hietograma de la estación del año 2010.

En la Figura 12 se analizó El comportamiento hidrológico registrado durante el todo el periodo del año y muestra un patrón distinto y más disperso en comparación con años anteriores, ya que las precipitaciones no se concentran en un solo periodo definido, sino que se distribuyen de manera más irregular a lo largo de casi todo el año. Se identifican varios meses con lluvias considerables, especialmente en abril, junio y noviembre, donde las barras de precipitación alcanzan sus valores más altos, lo que sugiere una temporada lluviosa menos marcada pero más prolongada que en otros años analizados.

En cuanto al caudal, se observa que a partir del día 90 aproximadamente (finales de marzo) comienza una fase de mayor actividad que se extiende de forma casi continua hasta el día 220 (alrededor de agosto), periodo en el que se concentran los picos más altos e importantes de todo el año, superando en varias ocasiones los 350 e incluso los 400 m³/s.

Luego del tramo de mayor actividad, dentro del mes de septiembre y octubre el caudal se minimiza apreciando picos de menor magnitud y una transición del régimen más tranquilo. Sin embargo, hacia noviembre, coincidiendo con el repunte de las lluvias en ese mes, el caudal vuelve a mostrar pequeños incrementos, aunque ya sin alcanzar la intensidad observada en la primera mitad del año, para luego cerrar el año con niveles bajos y relativamente estables.

En general, la gráfica evidencia una cuenca con una respuesta hidrológica más activa y sostenida en el tiempo, con múltiples eventos de crecida que se suceden unos a otros durante varios meses seguidos. Esta característica resulta particularmente interesante para el análisis de recesión, pues ofrece distintos tramos de descenso a lo largo del año que permiten evaluar si el comportamiento de vaciado de la cuenca se mantiene constante o varía según la temporada, enriqueciendo así el estudio de los parámetros de recesión para este periodo específico.

**MUESTRA DE HIDROGRAMA DE LA ESTACION (H0894) VZ HIETOGRAMA DE
LAS ESTACIONES (M5103, M0139) PARA EL AÑO 2012**

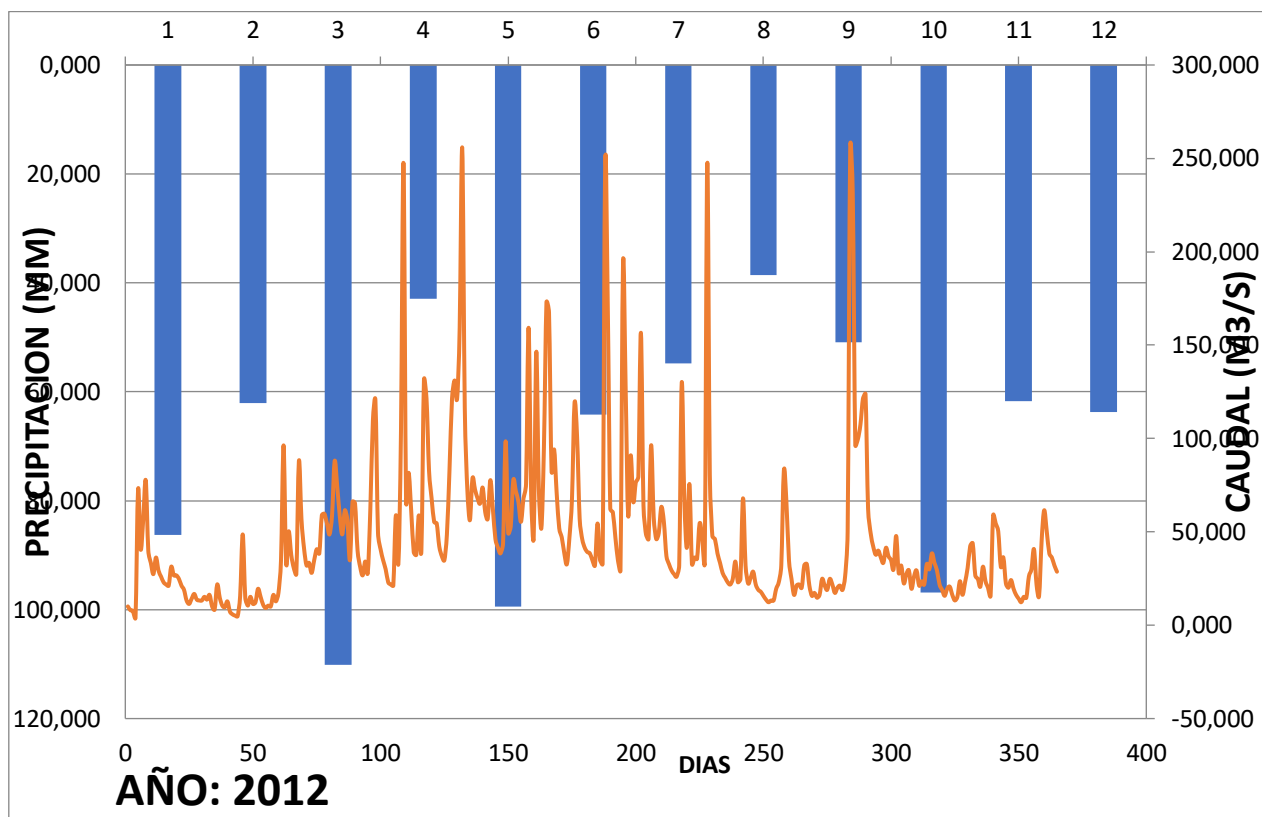


Figura 13 Muestra de hidrogramas vz hietograma de la estación del año 2012.

La gráfica correspondiente al año 2012 muestra un comportamiento hidrológico particularmente activo, con lluvias distribuidas de manera constante durante casi todo el año y una respuesta del caudal mucho más agitada que en periodos anteriores. A diferencia de otros años donde se identifica una temporada lluviosa claramente concentrada en pocos meses, en este caso las precipitaciones se mantienen presentes de forma prácticamente ininterrumpida desde enero hasta

diciembre, lo que se traduce en un caudal que rara vez llega a estabilizarse por completo, mostrando múltiples repuntes a lo largo de todo el periodo.

Los picos más altos de caudal se concentran principalmente entre los meses de abril y septiembre, alcanzando en varias ocasiones valores cercanos o superiores a los 250 m³/s, como se aprecia alrededor de los días 110, 130, 185 y nuevamente cerca del día 285. Estos repuntes consecutivos, que se presentan uno tras otro sin dar mucho margen de descenso completo entre ellos, sugieren que la cuenca se mantuvo con niveles de humedad elevados durante buena parte del año, respondiendo de forma casi inmediata a cada nuevo evento de precipitación significativo. Este patrón de crecidas frecuentes y poco espaciadas es característico de años con un régimen de lluvias más intenso y sostenido.

Hacia el final del año, entre octubre y diciembre, se observa una ligera disminución en la frecuencia e intensidad de los picos, aunque el caudal nunca llega a caer a niveles tan bajos como los registrados en años con estaciones secas más marcadas. El lujo se encuentra elevado y con descensos cortos, lo que es un reto en el análisis de las curvas, debido a que el tramo en bajada tiene más interrupciones por nuevas crecidas, lo que se considera en la selección de los segmentos de recisión del año.

**MUESTRA DE HIDROGRAMA DE LA ESTACION (H0894) VZ HIETOGRAMA DE
LAS ESTACIONES (M5103, M0139) PARA EL AÑO 2014**

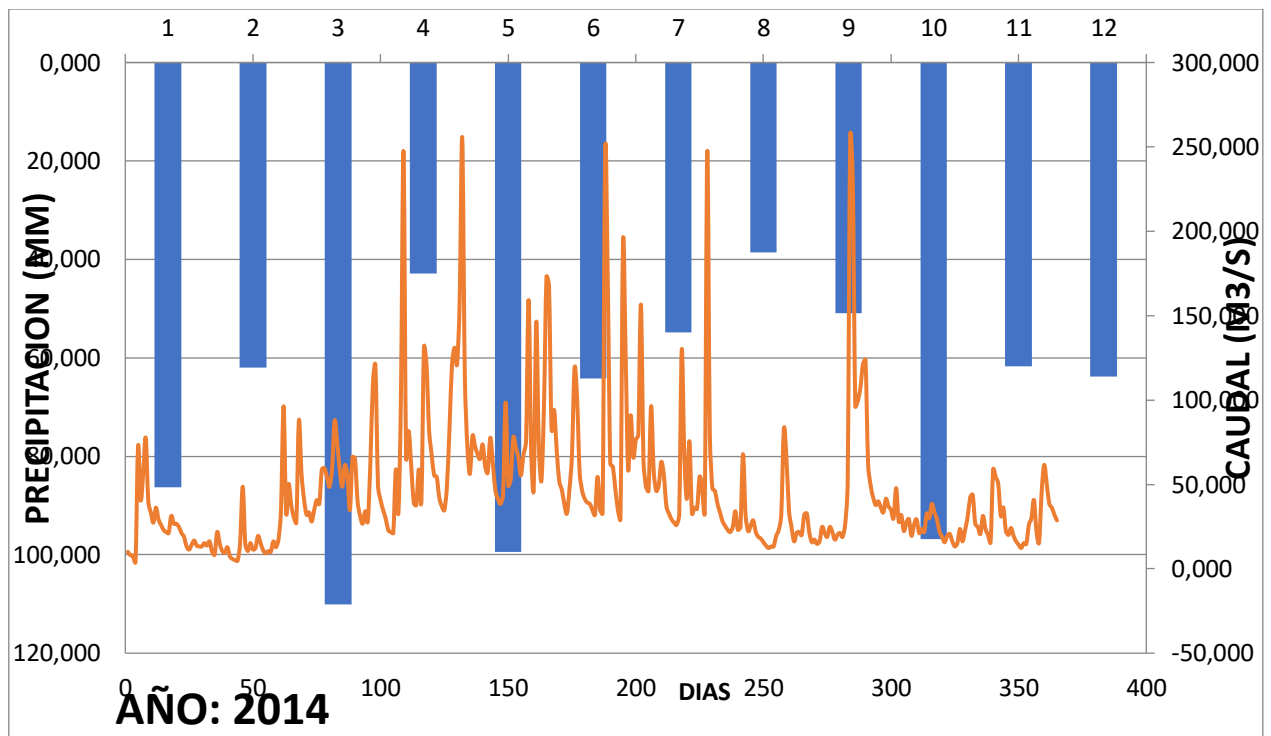


Figura 14 Muestra de hidrogramas vz hietograma de la estación del año 2014.

La gráfica del año 2014 refleja un año hidrológicamente muy activo, en el que las precipitaciones se presentan de forma casi continua durante todos los meses, sin un periodo seco prolongado como el que sí se aprecia en otros años analizados. Esta constancia en las lluvias se traduce en un caudal que se mantiene en movimiento casi todo el tiempo, alternando entre niveles bajos y picos de crecida que se repiten con bastante frecuencia a lo largo del año.

Los momentos de mayor caudal se ubican principalmente entre abril y septiembre, donde se registran varios picos que superan los 200 e incluso los 250 m³/s, destacando los presentados cerca de los días 110, 130, 185 y 285. Lo llamativo de este comportamiento es que los descensos entre un pico y otro son cortos, es decir, el caudal no alcanza a bajar del todo antes de que se presente una nueva crecida, lo que indica que la cuenca permaneció con un nivel de humedad considerable durante buena parte del año, respondiendo de manera rápida a cada nuevo aporte de lluvia.

Ya en el último tramo del año, entre octubre y diciembre, los picos se vuelven un poco menos frecuentes e intensos, aunque el caudal sigue sin llegar a valores tan bajos como los observados en años con estaciones secas más definidas. Esta característica de descensos breves e interrumpidos constantemente por nuevas crecidas hace que el año 2014 ofrezca pocos tramos largos y limpios para el análisis de recesión, por lo que al momento de calcular los parámetros correspondientes es importante seleccionar cuidadosamente los segmentos de bajada que resulten más representativos y menos afectados por la llegada de nuevas precipitaciones.

Tabla 13: Resumen anual de las relación-caudal y disponibilidad de datos para el análisis de recesión de los años 2003 al 2014

AÑOS	DISPONIBILIDAD DE CAUDAL	MESES CON PICOS DE CAUDAL MÁS ALTOS	MESES DE MAYOR PRECIPITACIÓN	MESES DE ESTIAJE ÚTILES PARA RECESIÓN	OBSERVACIONES CLAVE
2003	Continúa todo el año	Abril-mayo (pico anual).	Enero-marzo.	Junio –diciembre (con repuntes en sept y nov).	Desfase lluvia – caudal; estiaje extenso, pero con crecidas puntuales.
2005	Continúa todo el año	Febrero - marzo.	Febrero-marzo.	Junio – noviembre.	Lluvia intensa y corta; estiaje largo y estable,

					ideal para recesión.
2010	Continúa todo el año	Abril – agosto (varios eventos).	Abril, junio, noviembre.	Septiembre - octubre	Crecidas seguidas; tramos de recesión más cortos.
2012	Continúa todo el año	Abril-septiembre (múltiples picos).	Distribuida todo el año.	Enero–marzo y oct.–dic. (parcial	Sin estación seca definida; descensos breves entre picos.
2014	Continúa todo el año	Abril-septiembre.	Distribuida casi todo el año.	Octubre–diciembre (parcial).	Patrón similar a 2012; pocos tramos secos prolongados.

Para la toma de estos criterios se utilizó y se determinó el umbral y los puntos permitieron ubicar, dentro de cada serie de datos, el momento exacto en que el caudal deja de recibir aporte directo de la lluvia y empieza a depender únicamente del agua almacenada en la cuenca, marcando así un umbral propio para cada año considerado en el estudio. Una vez obtenidos estos valores de manera individual, se procedió a promediarlos entre sí, con la intención de contar con una sola referencia numérica que resuma de forma general el comportamiento hidrológico del conjunto de la cuenca. Bajo este criterio, se exponen a continuación las gráficas de los años que fueron seleccionados para desarrollar el análisis.

MUESTRA DE UMBRAL DEL AÑO 2003

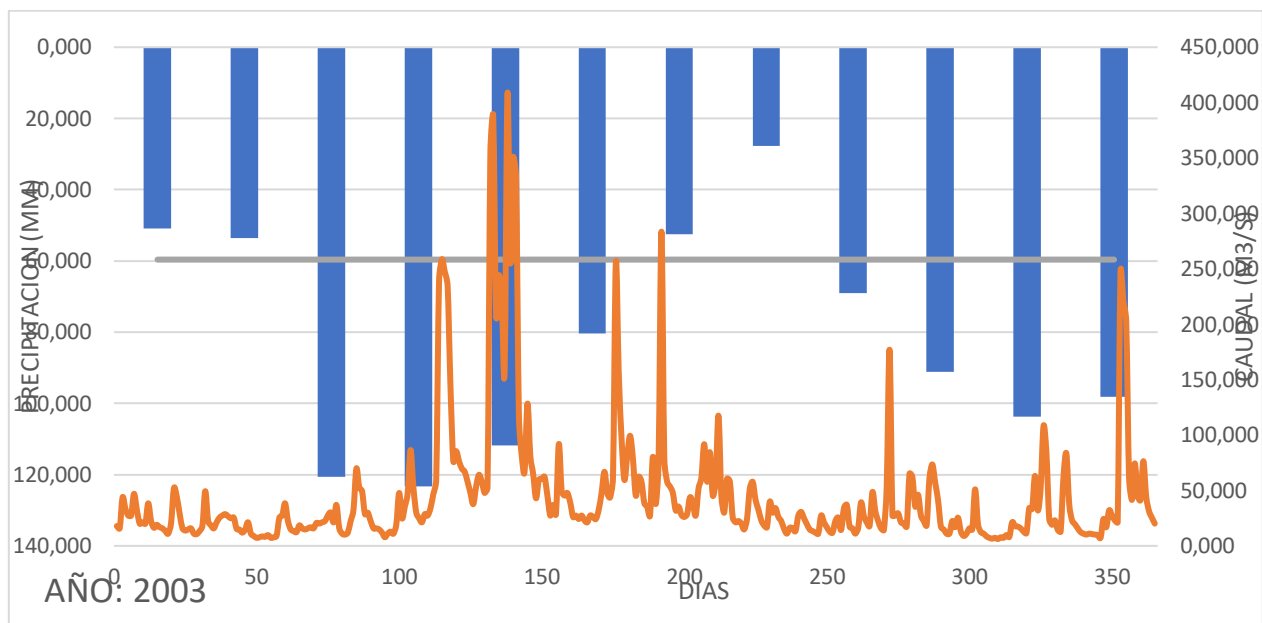


Figura 15 Muestra de umbral del año 2003

Año 2003 (Figura15): El segmento de recesión identificado parte de un caudal inicial de 12,431 m^3/s , valor que se ubica por debajo del umbral establecido de 59,62 m^3/s , y desciende hasta 6,174 m^3/s en un período de 6 días, el tramo más corto del conjunto analizado. A diferencia del comportamiento del cruce de umbral, el tramo está en el dominio del flujo base, sin la evidencia de la transición desde escorrentía directa. El coeficiente k de 0,89 baja el periodo analizado, indicando la tasa (6 días). En el hidrograma anual se observan los mayores picos de caudal alrededor de los días 115 y 130-140 (evento doble, el más intenso del año); el tramo de recesión reportado corresponde a un descenso de menor magnitud, típico del régimen base entre eventos de precipitación.

MUESTRA DE UMBRAL DEL AÑO 2005

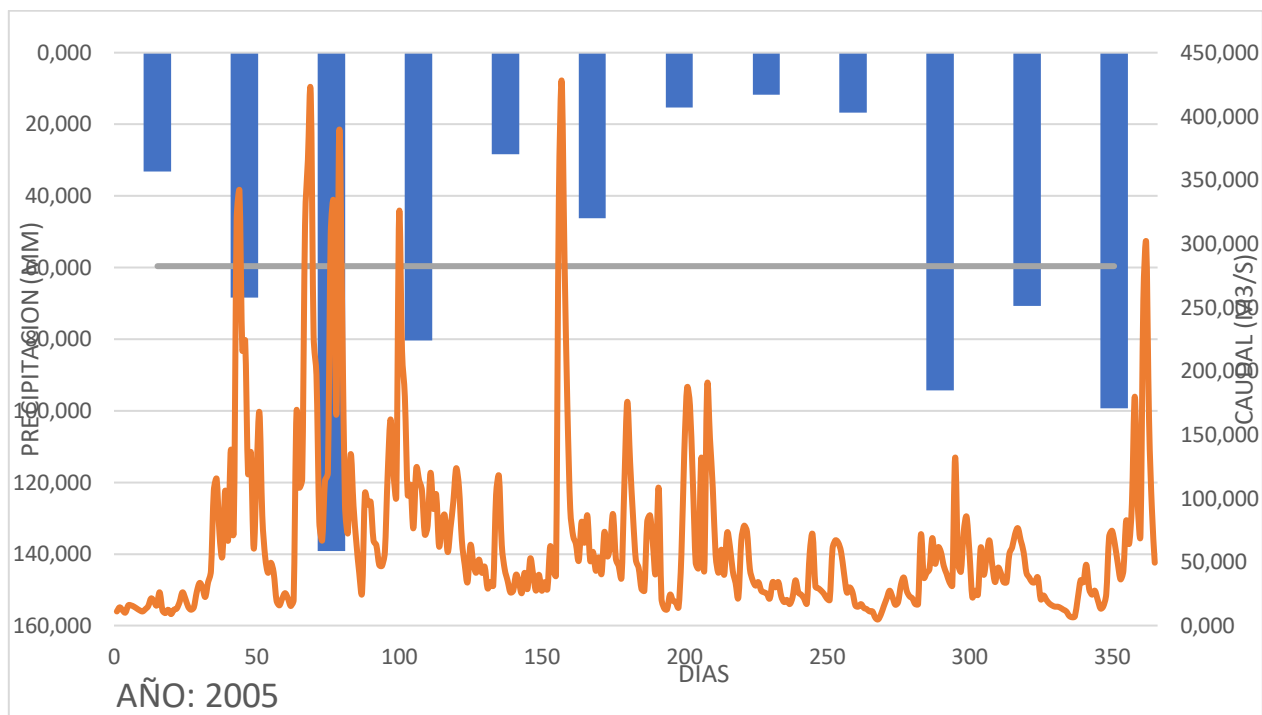


Figura 16 Muestra de umbral del año 2005.

Año 2005 (Figura 16): El segmento de recesión parte de un caudal inicial de 15,841 m³/s, nuevamente por debajo del umbral de 59,62 m³/s, y desciende hasta 4,84 m³/s en un período de 8 días. La constante de recesión K obtenida es de 0,862, la más baja de todo el período analizado (2003-2014), lo que indica la tasa de vaciado del almacenamiento subterráneo más rápida registrada en la serie. El hidrograma de 2005 muestra el pico de caudal más alto del conjunto de años analizados, ubicado alrededor del día 68-70 (con un segundo pico cercano en días 75-80), seguido de picos secundarios en los días 100 y 157; el tramo de recesión de la tabla corresponde a un descenso posterior a estos eventos, ya dentro del dominio de flujo base, reflejando un acuífero con respuesta de vaciado más ágil que en los demás años.

MUESTRA DEL UMBRAL DEL AÑO 2010

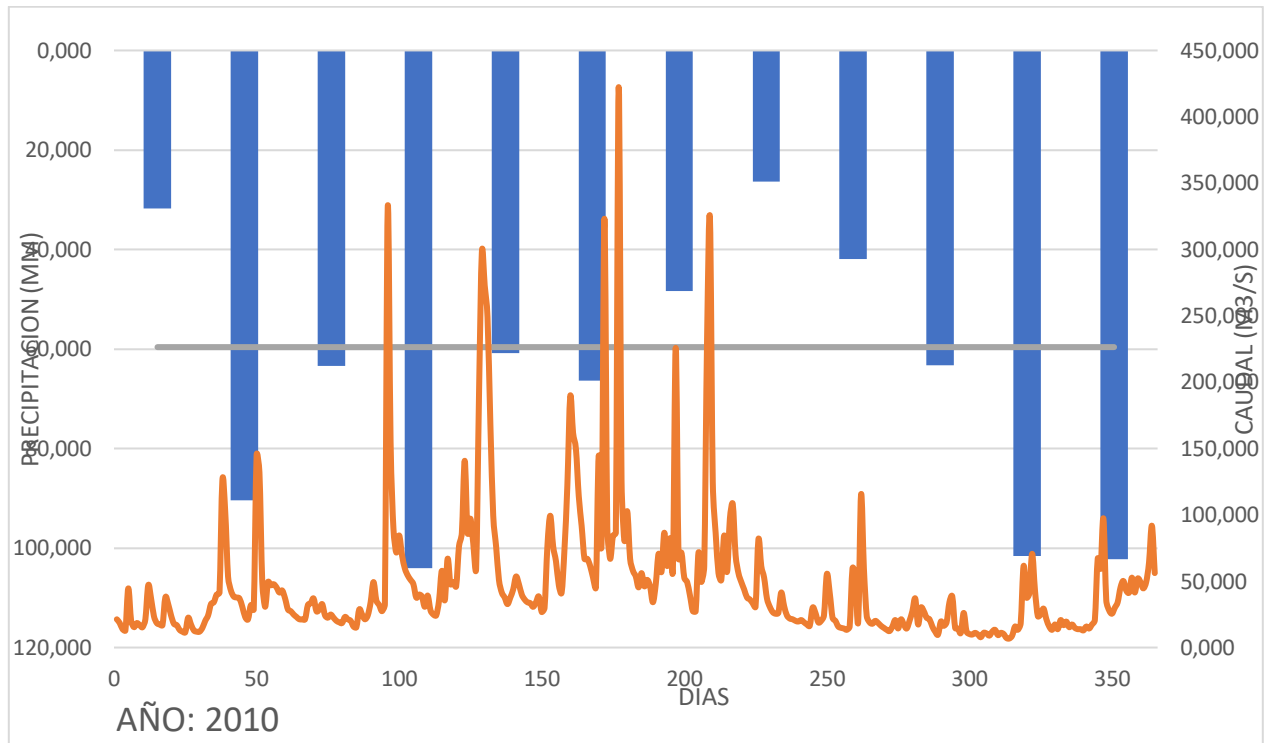


Figura 17 muestra de umbral del año 2010.

Año 2010 (Figura 17): El segmento de recesión parte de un caudal inicial de $10,209 \text{ m}^3/\text{s}$, muy por debajo del umbral de $59,62 \text{ m}^3/\text{s}$, y desciende hasta $6,8109 \text{ m}^3/\text{s}$ en un período de 14 días, el tramo más largo del conjunto junto con 2014. La constante de recesión $K = 0,972$, es más elevada en la tasa de vaciado del almacenamiento contemporáneamente lenta con la mayor duración del tramo. En el hidrograma de 2010 se visualizan picos moderados del alto a 95, 130, 208 días. La distribución más uniforme se asocia al vaciado gradual del almacenamiento subterráneo.

MUESTRA DE UMBRAL DEL AÑO 2012

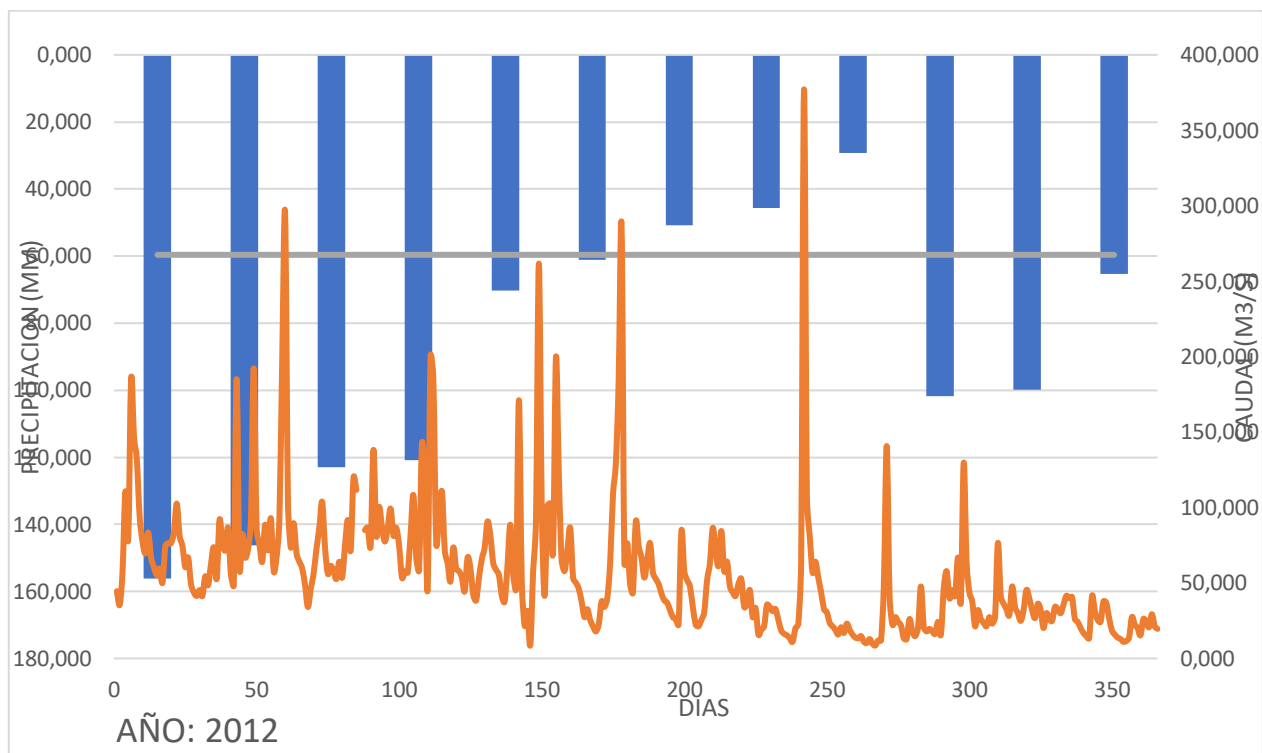


Figura 18 Muestra de umbral del año 2012.

Año 2012 (Figura 18): El segmento de recesión parte de un caudal inicial de 21,292 m³/s el más alto del conjunto de años analizados, aunque aún por debajo del umbral de 59,62 m³/s (visible como línea de referencia en el gráfico) y desciende hasta 8,567 m³/s en un período de 15 días. La constante de recesión K de 0,941, un valor intermedio-alto, indicando una tasa de vaciado del almacenamiento subterráneo moderadamente lenta. El hidrograma de 2012 indica un pico alto en el día 240 (el más alto del año en esta serie), a la vez, eventos secundarios en los días 60, 150 y 178.

MUESTRA DE UMBRAL DEL AÑO 2014

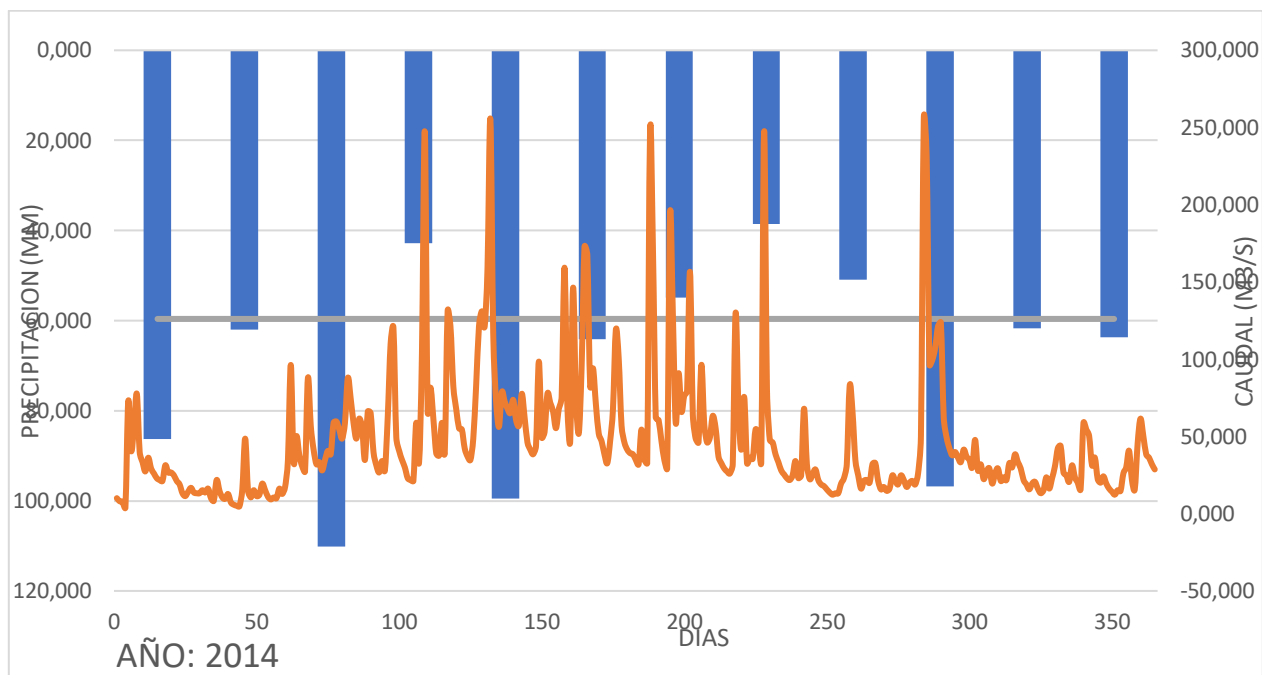


Figura 19 Muestra de umbral del año 2014.

Año 2014 (Figura 19): El segmento de recesión parte de un caudal inicial de 13,728 m³/s, por debajo del umbral de 59,62 m³/s (también graficado como línea de referencia), y desciende hasta 4,842 m³/s en un período de 16 días, el tramo más largo de todo el conjunto analizado. La constante de recesión K obtenida es de 0,937. El hidrograma del 2014 tiene picos comparables de 108,22,228 días, sin un evento más dominante.

Este procedimiento parte de un criterio de precipitación mensual, con el cual se obtuvo el valor de la constante de recesión aplicando la fórmula propuesta por Bako y Owoade (1988), que se expresa de la siguiente manera:

Formula. 10 Constante de recesión

$$\text{Log } (Qt) = \text{Log } (Qo) + t * \log (K) \quad (10)$$

Donde:

Qt = Flujo de salida en cualquier momento. (m³/s)

Qo = Flujo de salida en el momento inicial. (m³/s)

K = Constantes de recesión (adimensional)

T = Tiempo. (días)

Se realizó una recopilación de niveles y caudales de estaciones hidrológicas, también las precipitaciones anuales de las estaciones meteorológicas. No son suficientes durante el proceso se detectó un inconveniente relacionado con los anuarios del INAMHI, ya que muchos de ellos no contaban con registros completos, presentando vacíos e incluso años sin ningún dato disponible. Ante esta situación, se elaboró un resumen que muestra, en porcentajes, la disponibilidad real de la información.

Para determinar qué tan completa era esta información, en la Tabla 14 se muestra el porcentaje de datos válidos correspondiente a cada año registrado en la estación H0894. Este análisis permitió seleccionar el período comprendido entre 2003 y 2014, pues fue en estos años donde se contó con suficiente información para poder identificar segmentos de recesión representativos.

Tabla 14 Porcentaje de datos de la estación hidrológica.

Años	H894 Paute en Paute	
	Nivel (%)	Caudal (%)
1980	N/D	99,454
1981	N/D	11,233
1982	N/D	12,329
1983	N/D	72,603
1984	N/D	N/D
1985	N/D	97,534
1986	N/D	92,603
1987	N/D	94,247
1988	N/D	98,087
1989	N/D	96,164
1990	N/D	81,096
1991	N/D	54,521
1992	N/D	26,503
1993	N/D	N/D
1994	62,740	62,740
1995	63,836	63,836
1996	N/D	47,814
1997	N/D	47,945
1998	N/D	6,849
1999	58,082	58,082
2000	N/D	42,623
2001	91,507	91,507
2002	100,000	100,000
2003	100,000	100,000

2004	98,634	98,634
2005	100,000	100,000
2006	100,000	100,000
2007	100,000	100,000
2008	91,530	91,530
2009	99,178	99,178
2010	100,000	100,000
2011	91,507	91,507
2012	98,634	99,454
2013	91,781	91,781
2014	35,616	100,000
2015	92,877	100,000
2016	41,530	41,530

Tabla 15 Leyenda de porcentajes de datos de las estaciones hidrológicas.

LEYENDA		
COLOR:	SIGNIFICADO:	
NEGRO	DATOS DEL INAMHI SIN ALTERAR	
ROJO	DATOS DE NIVELES FORMADOS CON CURVA DE DESCARGA	
AZUL	MAYOR AL 50% DE DATOS DEL INAMHI SIN ALTERAR Y DATOS GENERADOS CON CURVAS DE DESCARGA	
VERDE	MENOR AL 50% DE DATOS DEL INAMHI SIN ALTERAR Y DATOS GENERADOS CON CURVAS DE DESCARGA	

Una vez culminado los porcentajes de los datos hidrológicos procedimos a la creación de una tabla donde esta se resumen la información y se detalla los porcentajes de las estaciones meteorológicas anuales para ser más visuales y precisos en comprensión de esta información.

Tabla 16 Porcentajes de datos de estaciones meteorológicas.

Años	H894 Paute en Paute			
	M139	M5103	M138	M141
1980	N/D	N/D	N/D	N/D
1981	N/D	N/D	N/D	N/D
1982	N/D	N/D	N/D	N/D
1983	N/D	N/D	N/D	N/D
1984	N/D	N/D	N/D	N/D
1985	N/D	N/D	N/D	N/D
1986	N/D	N/D	N/D	N/D
1987	N/D	N/D	N/D	N/D
1988	N/D	N/D	N/D	N/D
1989	N/D	N/D	N/D	N/D
1990	N/D	N/D	N/D	N/D
1991	N/D	N/D	N/D	N/D
1992	N/D	N/D	N/D	N/D
1993	N/D	N/D	N/D	N/D
1994	83	N/D	92	100
1995	100	N/D	100	75
1996	75	N/D	100	100
1997	92	N/D	100	100
1998	100	N/D	92	92
1999	75	N/D	100	92
2000	N/D	N/D	100	92
2001	100	N/D	100	83
2002	100	50	100	92
2003	100	100	100	100
2004	100	75	100	100

2005	100	100	100	100
2006	92	100	100	100
2007	100	92	100	100
2008	100	100	92	100
2009	100	92	100	92
2010	100	100	100	100
2011	100	100	100	92
2012	100	100	100	100
2013	100	100	100	100
2014	100	100	100	100
2015	N/D	100	N/D	N/D
2016	N/D	100	N/D	N/D

Con esta información ya recopilada procedimos al cálculo de la constante de recesión de manera precisa con los criterios de precipitaciones mensuales la constante de K se calculó en las estaciones hidrológicas sus cálculos a continuación:

Tabla 17 Calculo de constante (K) por el método de lluvias mensuales.

H894 PAUTE EN PAUTE					
AÑO	DIAS	CAUDAL INCIAL (Qo) (m3/s)	CAUDAL FINAL (Q) (m3/s)	TIEMPO (T) (DIAS)	CONSTANTE DE RECESION (K)
2003	302	51,027	19,587	1	0,38
	303	51,027	12,431	2	0,49
	304	51,027	11,077	3	0,60
	305	51,027	8,565	4	0,64
	306	51,027	7,259	5	0,68
	307	51,027	6,527	6	0,71
	308	51,027	7,259	7	0,76
	309	51,027	6,174	8	0,77
	310	51,027	7,788	9	0,81
	311	51,027	7,259	10	0,82
	312	51,027	9,787	11	0,86

	313	51,027	8,173	12	0,86
	314	51,027	21,292	13	0,93
	315	51,027	17,941	14	0,93
	316	51,027	17,406	15	0,93
	317	51,027	15,841	16	0,93
	318	51,027	12,897	17	0,92
	319	51,027	11,521	18	0,92
	320	51,027	34,126	19	0,98
	321	51,027	33,426	20	0,98

La Tabla 17 de la estación H894 Paute En Paute para el año 2003 muestra la evolución de la constante de recesión K en función del tiempo a partir de un mismo caudal para la estación H0894 Paute en Paute, correspondiente al año 2003, se aplicó el criterio de lluvias mensuales para el cálculo de la constante de recesión K, tomando como caudal inicial (Q_0) un valor fijo de 51,027 m³/s a partir del día 302. A lo largo de los veinte días analizados, el caudal final (Q) muestra una tendencia general a disminuir, pasando de 19,587 m³/s en el primer día hasta valores mínimos cercanos a 6,174 m³/s alrededor del día 8, para luego presentar algunas variaciones irregulares entre los días 13 y 20, donde el caudal vuelve a subir hasta 33,426 m³/s, lo que podría explicarse por la presencia de algún evento de lluvia dentro de ese tramo del análisis. En cuanto a la constante K, se observa un incremento progresivo y bastante consistente conforme avanzan los días, iniciando en 0,38 y llegando hasta valores de 0,98 hacia el final del periodo, lo que indica que, a medida que transcurre el tiempo, el caudal se estabiliza y su tasa de disminución diaria se vuelve cada vez menor, comportamiento típico de un proceso de recesión bien definido dentro de la cuenca.

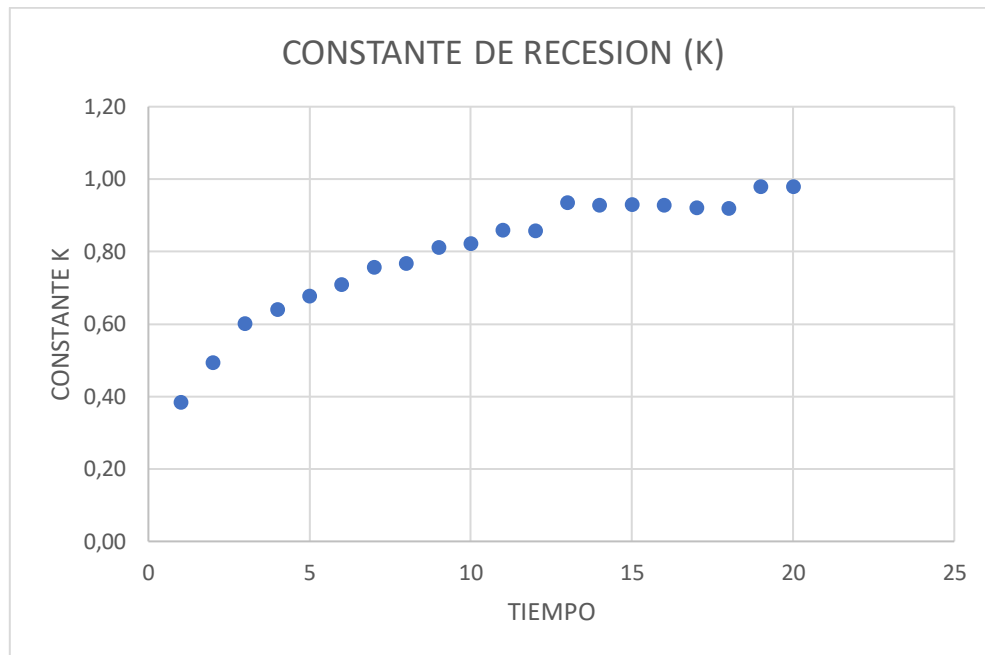


Figura 20 Sensibilidad de la constante de K.

A continuación, ya obtenido los resultados con criterios se determinó el criterio de las precipitaciones mensuales sean las más apropiadas para luego continuar con los cálculos posteriores de método estadístico de las constantes de recesión una vez ya culminado el procedimiento de datos se produjo las pendientes de regresión

En la gráfica 26 a continuación se expresa las recesiones a escala logarítmica para los diferentes años. y podemos verificar que las recesiones no presentan un comportamiento uniforme entre años y que cada uno de los periodos tiene variaciones particulares con respecto a otros.

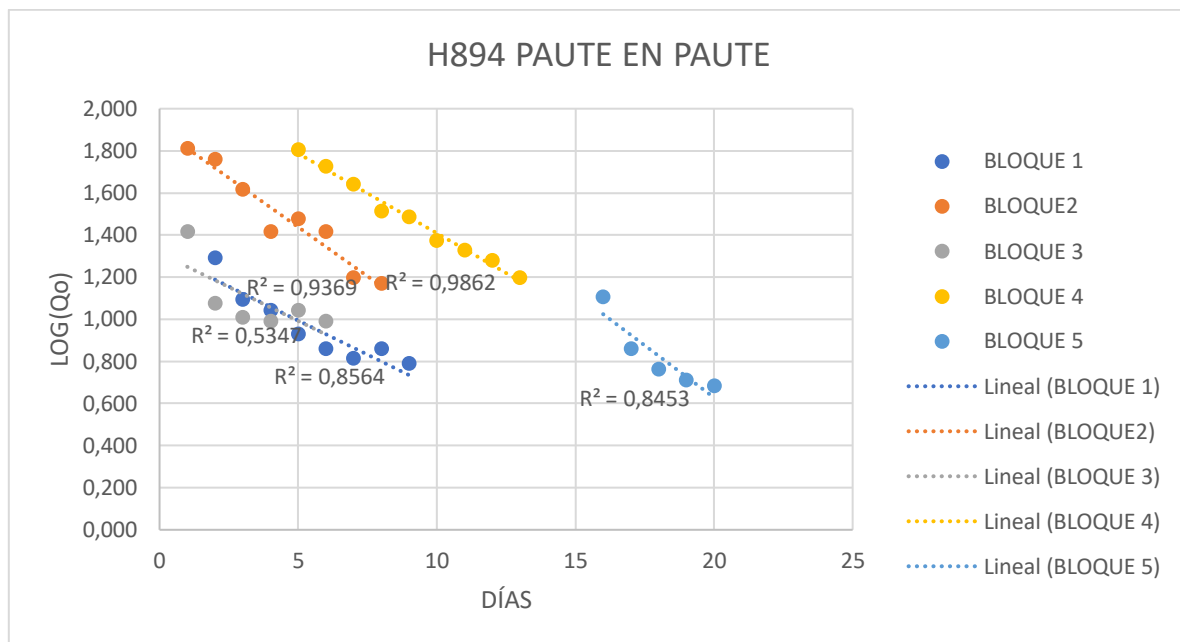


Figura 21 Pendiente de regresión.

Tabla 18 Coeficiente de determinación (R^2) obtenidos del ajuste lineal.

BLOQUE	AÑO	R ²	INTERPRETACIÓN
BLOQUE 4	2012	0,9862	Ajuste excelente, los datos se alinean de forma casi exacta al modelo lineal con una dispersión mínima.
BLOQUE 2	2005	0,9369	Ajuste muy fuerte, que evidencia una elevada correlación lineal y la baja dispersión de los datos.
BLOQUE 1	2003	0,8564	Buen ajuste, denota la tendencia lineal solida con la variabilidad moderada en las observaciones.
BLOQUE 5	2014	0,8453	Buen ajuste, similar al Bloque 1, mostrando la consistencia en la tendencia con la dispersión moderada.
BLOQUE 3	2010	0,534	Ajuste débil, la ecuación no es fielmente la tendencia dada la marcada dispersión de los datos.

En la tabla 18 se presentan los valores del coeficiente de determinación (R^2) correspondientes a los 5 bloques evaluados en los años que se tomó la información.

A partir de los datos de la pendiente de regresión y la aplicación de la ecuación de Bako y Owoade (1988), se determinó la constante de recesión única.

Una vez ya culminado los cálculos de pendiente de regresión y aplicación de la ecuación propuesta por Bako y Hunt (1988). Obtuvimos el dato de recesión única para cada estación hidrológica.

Tabla 19 Constante de recesión (K)

CODIGO	NOMBRE DE LA ESTACION	CONSTANTE DE RECESION (K)
H0894	PAUTE EN PAUTE	0,836430442

5.3. VALIDACIÓN

Los resultados de la constante de recesión K fueron suficientemente satisfactorios ya que se cumplió los criterios necesarios desde el punto de vista metodológico lo cual nos corrobora esto que método de derivación de recesión es óptimo y adecuado a la cuenca del río Paute.

Una vez que supimos el valor de la constante de recesión de K nos dirigimos a validar los datos partiendo de herramientas predictivas obtuvimos los valores de Q f para otros datos distintos empleado el procesamiento de recesión. La validación se realizó tomando la misma cantidad de años que seleccionamos los resultados se presentan a continuación:

Tabla 20 Validación del método en la estación

H894 PAUTE EN PAUTE						
AÑO	CAUDAL INICIAL (Q ₀) (m ³ /s)	CONSTANTE DE RECESION (K)	CAUDAL FINAL OBSERVADO (Q) (m ³ /s)	LOG Q ₀	TIEMPO (T) (DÍAS)	CAUDAL FINAL SIMULADO (Q) (m ³ /s)
2006	51,861	0,836430442	49,375	1,715	1	43,378
	51,861		31,361		2	36,283
	51,861		24,264		3	30,348
	51,861		20,149		4	25,384
	51,861		17,941		5	21,232
	51,861		15,841		6	17,759
	51,861		14,338		7	14,854
	51,861		12,431		8	12,425
	51,861		11,077		9	10,392
	51,861		10,21		10	8,692
	51,861		13,371		11	7,271
	51,861		14,338		12	6,081
	51,861		8,965		13	5,087
	51,861		8,173		14	4,255
	51,861		10,64		15	3,559
	51,861		11,077		16	2,977

Analizando la tabla, se observa que para el año 2006 se registró un caudal inicial (Q₀) de 51,861 m³/s, con una constante de recesión (K) de 0,836430442, calculada a partir de un log Q₀ de 1,715 sobre un periodo de 16 días.

Al realizar la comparación del caudal simulado con el final se tiene que en el día 1 al 4 los dos valores tienen una tendencia similar al descenso, de 43,378 a 25,38 m³/s, mientras que en el día 5 en adelante el patrón es decreciente 10,21 a 13,371 m³/s entre los días 10 y 11, y el caudal simulado llega hasta a 2,977 m³/s en el día 16.

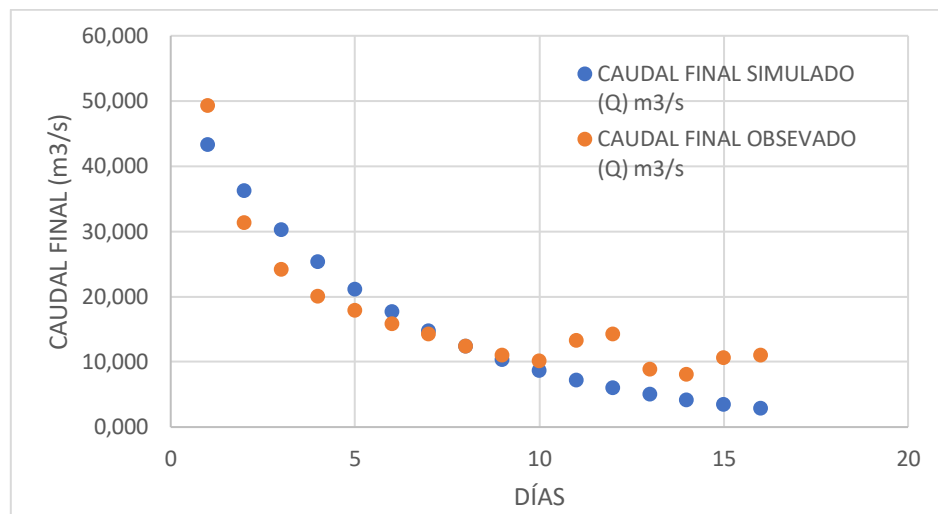


Figura 22 Caudal de simulación vz caudal observado.

5.4. COEFICIENTE NASH SUTCLIFFE

Con el propósito de medir de forma objetiva qué tan eficiente resultó el método propuesto, se utilizó el coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE) para cada uno de los años correspondientes al período de validación, encontrándose una variabilidad considerable en los resultados obtenidos para la estación hidrológica H0894 Paute en Paute.

Con el fin de mejorar el ajuste de la constante de recesión, se calcularon dos coeficientes de eficiencia Nash-Sutcliffe (NSE), que permitieron valorar de manera cuantitativa qué tan precisa resultó la aplicación del modelo.

En términos generales de la tabla 21, exceptuando los años 2011 y 2015 demuestran que el método aplicado para la constante de recesión de 5 bloques presenta un desempeño entre bueno y excelente lo que valida su uso para la simulación hidrológica en la estación Paute en Paute.

Tabla 21 Resultados de coeficiente de Nash para la constante de recesión.

RESULTADOS DE COEFICIENTE DE NASH PARA CONSTANTE DE RECESION DE 5 BLOQUES			
ESTACION	AÑO	NASH	AJUSTE
H0894 PAUTE EN PAUTE	2004	0,829	Excelente
	2006	0,764	Muy Bueno
	2009	0,524	Bueno
	2011	-3,356	Insuficiente
	2015	-0,332	Insuficiente

Con el fin de examinar más a fondo el desempeño del método, se optó por descartar el bloque perteneciente al año 2010, ya que su coeficiente R^2 de 0,534 quedaba notablemente por debajo del valor alcanzado en el resto de bloques analizados dentro de la pendiente de regresión. Después de retirar ese bloque y volver a correr el método, se obtuvieron los resultados del coeficiente de eficiencia Nash-Sutcliffe (NSE) para la estación H0894 Paute en Paute, los cuales se presentan a continuación en la Tabla 20.

Tabla 22 Resultados de coeficiente de Nash para constante de recesión de 4 bloques

RESULTADOS DE COEFICIENTE DE NASH PARA CONSTANTE DE RECESION DE 4 BLOQUES			
ESTACION	AÑO	NASH	AJUSTE
H0894 PAUTE EN PAUTE	2004	0,816	Excelente
	2006	0,760	Muy Bueno
	2009	0,500	Muy Bueno
	2011	-2,072	Insuficiente
	2015	-0,372	Insuficiente

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Se logró recopilar y organizar la información hidrológica correspondiente a las estaciones ubicadas en la cuenca del río Paute, utilizando registros históricos diarios de caudal proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). La base de datos comprendió el período de estudio de 1980–2016, integrando un total de tres estaciones hidrológicas y meteorológicas con información útil para el análisis. El proceso de depuración permitió identificar y corregir inconsistencias, eliminando registros incompletos y garantizando la confiabilidad de los datos empleados en la investigación.
- En cuanto a la aplicación del método de recesión hidrológica, su implementación permitió identificar y caracterizar el comportamiento de los caudales durante los períodos de estiaje en la cuenca del río Paute, (Tabla 20), (Figura 27) evidenciando la manera en que el flujo base sostiene el escurrimiento del río cuando disminuyen los aportes por precipitación. Los resultados obtenidos reflejan que este método constituye una herramienta útil y aplicable para comprender la dinámica de los flujos bajos en cuencas con características hidrológicas similares.
- Para cada uno de los años analizados se determinaron los respectivos parámetros de recesión la constante K y el caudal inicial representativo del flujo base aplicando el modelo de descarga exponencial $(t) = q_0 e^{(-kt)}$ permitió ajustar los segmentos de recesión seleccionados, con valores de K de 0,890 del año 2003, 0,862 del año 2005, 0,972 del año 2010, 0,941 del año 2012 y 0,937 del año 2014. y la constante de recesión k general de estos años siendo 0,836. Este ajuste evidenció una variabilidad interanual en la capacidad de

almacenamiento y en la velocidad de vaciamiento del sistema subterráneo de la cuenca, tal como se reflejó en los distintos valores de K obtenidos año tras año.

- Al validar el modelo mediante el coeficiente de eficiencia Nash-Sutcliffe (NSE), contrastando los caudales simulados con los observados en la estación H0894, se identificó que el año 2010 presentaba un ajuste considerablemente más débil ($R^2 = 0,534$) en comparación con el resto de los bloques analizados, por lo que se decidió excluirlo del análisis final. Una vez retirado este bloque, el modelo mostró un desempeño más consistente, lo que permitió confirmar de manera más objetiva su capacidad predictiva bajo condiciones hidrológicas distintas a las usadas en su calibración inicial.
- De manera general, la investigación demuestra que el método de recesión hidrológica constituye una alternativa técnicamente confiable para la estimación de flujos bajos, especialmente cuando se dispone de series históricas continuas de caudales. La metodología desarrollada proporciona información útil para la planificación del aprovechamiento del recurso hídrico, la evaluación de la disponibilidad de agua durante períodos de estiaje y la toma de decisiones relacionadas con el abastecimiento, la operación de infraestructura hidráulica y la conservación de los ecosistemas acuáticos de la cuenca del río Paute.

6.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que el INAMHI continúe fortaleciendo la red de estaciones meteorológicas e hidrológicas dentro de la cuenca del río Paute, ampliando su cobertura hacia sectores que actualmente cuentan con poco o ningún monitoreo. Junto a esto, sería conveniente implementar protocolos de control de calidad más rigurosos que reduzcan los vacíos en los registros históricos, apoyándose en sistemas de respaldo y telemetría automatizada que

faciliten el envío de datos en tiempo real, garantizando así series temporales más completas y confiables para investigaciones futuras.

- Es recomendable también establecer una coordinación interinstitucional entre el INAMHI y las entidades encargadas de la operación hidroeléctrica en la cuenca del Paute, con el fin de estudiar cómo las actividades de generación eléctrica podrían estar afectando el comportamiento del flujo base y los parámetros de recesión. Este trabajo conjunto debería incluir además estudios climáticos regionales que ayuden a anticipar periodos de estiaje prolongado, tomando en cuenta la variabilidad propia del clima andino y las limitaciones que aún existen en cuanto a disponibilidad de datos pluviométricos.
- Se sugiere, para futuras investigaciones, explorar mejoras al método de Bako y Owoade (1988) o su combinación con otras técnicas de análisis de recesión más recientes, ya que, si bien esta metodología resultó útil para estimar la constante de recesión del flujo base, su enfoque basado en un análisis de varianza de un factor podría complementarse con modelos que incorporen variables adicionales, como la cobertura vegetal, el tipo de suelo o la influencia antrópica sobre la cuenca. De esta manera, sería posible proponer un método ajustado a las condiciones particulares de cuencas andinas como la del río Paute, mejorando así la precisión de las estimaciones de flujo base.
- Finalmente, se sugiere complementar este estudio con investigaciones adicionales orientadas a la caracterización hidrogeológica de la cuenca, que permitan comprender mejor los procesos de recarga y descarga de los acuíferos, así como aplicar otros métodos de análisis de recesión y actualizar periódicamente los parámetros obtenidos. Esta actualización constante ayudaría a detectar cambios relacionados con la variabilidad

climática, modificaciones en el uso del suelo o la influencia de nueva infraestructura, contribuyendo a una gestión más sostenible del recurso hídrico en una cuenca de gran relevancia para la producción de energía eléctrica del país.

7. REFERENCIAS

- [1] M. A. Lema Changoluisa and V. C. Plaza Quezada, “Modelación hidrológica de la cuenca (alta y media) del río Pastaza aplicando el modelo de simulación WEAP (Water Evaluation and Plannig System),” 2009, Accessed: Jun. 10, 2026. [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1780>
- [2] “Análisis del comportamiento de una cuenca hidrográfica tropical utilizando índices hidrológicos. Estudio de caso cuenca del río Paute,” 2022.
- [3] H. A. Loáiciga, “Aquifer storage capacity and maximum annual yield from long-term aquifer fluxes,” *Hydrogeol. J.*, vol. 16, no. 2, pp. 399–403, Mar. 2008, doi: 10.1007/S10040-007-0270-1.
- [4] R. R. Cusme Intriago, ““Estimación de flujos bajos mediante análisis de recesión en cuencas ecuatorianas,”” 2020, Accessed: Jun. 13, 2026. [Online]. Available: <http://201.159.223.245:8080/handle/123456789/63>
- [5] L. A. Subcuenca et al., “Simulación del comportamiento hidrológico y análisis de la relación precipitación–escorrentía en la Subcuenca del Río Pindilig, afluente del Río Paute,” Aug. 14, 2025. Accessed: Jul. 23, 2026. [Online]. Available: <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/123456789/14805>
- [6] Cusme Intriago Rudys Rafael and Giler Ormaza Andy Miguel, “Estimación de flujos bajos mediante el análisis de recesión en diferentes cuencas ecuatorianas,” *Baseflow analysis using master recession curves and numerical algorithms in mountain basins: Surata’s river and Oro’s river (Santander, Colombia)*, vol. Vol. 8 Núm. 1 (2024), no. Vol. 8 Núm. 1 (2024),

- p. 2, Jan. 2024, Accessed: Jun. 11, 2026. [Online]. Available: <https://investigacion.utc.edu.ec/index.php/ciya/es/article/view/582>
- [7] J. R. Rivas Ron, “Análisis preliminar de los servicios ecosistémicos de la cuenca media del río Pastaza, Ecuador,” 2015, PUCE - Quito. Accessed: Jun. 13, 2026. [Online]. Available: <https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/20627>
- [8] A. Tashie, T. Pavelsky, and L. E. Band, “An Empirical Reevaluation of Streamflow Recession Analysis at the Continental Scale,” *Water Resour. Res.*, vol. 56, no. 1, p. e2019WR025448, Jan. 2020, doi: 10.1029/2019WR025448; WEBSITE:WEBSITE:AGUPUBS; JOURNAL:JOURNAL:19447973;REQUESTEDJOURNAL:JOURNAL:19447973;ISSUE:ISSUE:DOI.
- [9] M. E. Rodríguez Bravo et al., “Derivación de la constante de recesión de flujo base en tres microcuencas de la provincia de Manabí,” *Dilemas contemporáneos: educación, política y valores*, vol. 8, no. SPE2, Mar. 2021, doi: 10.46377/DILEMAS.V8I.2599.
- [10] F. R. G. Coronel and D. E. M. Serrano, “Analysis of spatial variability of extreme rainfall events influenced by decadal oscillations in the Paute River Andean basin,” *Geophysical Research Abstracts*, 2019, Accessed: Jul. 23, 2026. [Online]. Available: <https://investigacion.ucuenca.edu.ec/es/publications/analysis-of-spatial-variability-of-extreme-rainfall-events-influe/>
- [11] B. A. Tumbaco Vega, “Impacto del cambio climático sobre ocupación humana de la Amazonía Ecuatoriana hace 4500 años BP,” 2024, Accessed: Jun. 13, 2026. [Online]. Available: http://repositorio.ikiam.edu.ec/jspui/handle/RD_IKIAM/921

- [12] O. Ivan, A. Tixe, J. Javier, and G. Aguirre, “Estimación de flujos bajos mediante el método de recesión de la cuenca del río Coca,” 2026. Accessed: Jun. 13, 2026. [Online]. Available: <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/123456789/15529>
- [13] M. J. Giler Ormaza, ““Estimación de flujos mínimos en subcuencas hidrográficas que interceptan en la provincia Los Ríos,”” 2020, Quevedo: UTEQ. Accessed: Jun. 14, 2026. [Online]. Available: <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6179>
- [14] C. A. Quishpe Vásquez, M. García-Valdecasas Ojeda, S. R. Gámiz Fortis, Y. Castro Díez, and M. J. Esteban Parra, “Arcimis: Variabilidad estacional de los caudales en Ecuador en el periodo 1964-2014,” *Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio*, pp. 429–436, 2016, doi: 10.14198/XCongresoAECALicante2016-09.
- [15] M. D. Bako and A. Owoade, “Field application of a numerical method for the derivation of baseflow recession constant,” *Hydrol. Process.*, vol. 2, no. 4, pp. 331–336, Oct. 1988, doi: 10.1002/hyp.3360020404.
- [16] L. M. Tallaksen, “A review of baseflow recession analysis,” *J. Hydrol. (Amst)*, vol. 165, no. 1–4, pp. 349–370, Feb. 1995, doi: 10.1016/0022-1694(94)02540-R.
- [17] Villacís Basurto Emilio Alejandro, “Estimación y análisis de curvas envolventes de caudales específicos máximos para el Ecuador: Estimación y análisis de curvas envolventes para las cuencas hidrológicas que desembocan hacia la Amazonía,” *Escuela Politécnica Nacional, Quito (Distrito Metropolitano de Quito, DMQ)*, 2024.
- [18] M. C. Moreno Ronquillo, “Metodología y determinación de caudales ambientales en la cuenca del río Pastaza,” *Pregrado, Escuela Politécnica Nacional, Quito*, 2008.
- [19] Mauro Naghettini, *Fundamentals of Statistical Hydrology*, 1st Edition. Cham: Springer International Publishing, 2017. doi: 10.1007/978-3-319-43561-9.

- [20] Ven Te Chow, David R. Maidment, and Larry W. Mays, *Applied Hydrology*, Primera edición. New York, Estados Unidos: McGraw-Hill Book Company, 1988.
- [21] A. C. Barbancho and <https://dialnet.unirioja.es/servlet/autor?codigo=107017>, “Variabilidad espacial de la lluvia en una pequeña cuenca hidrográfica de la provincia de Cáceres,” *Norba: revista de geografía*, ISSN-e 0213-3709, N° 10, 1998, págs. 23-34, no. 10, pp. 23–34, 1998, Accessed: Jul. 16, 2026. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=109754>
- [22] “Escorrentía en Hidrología Aplicada: Análisis y Métodos (HIDRO-101) - Studocu.” Accessed: Jul. 27, 2026. [Online]. Available: <https://www.studocu.com/co/document/universidad-central-colombia/ing-ambiental/hidrologia-aplicada-escorrentia/13818181?sid=f1dfb91a-c15b-4c44-95b7-0517717078181785290952>
- [23] “Guía de Metodologías de Caudales | Guías, Proyectos, Investigaciones de Hidráulica | Docsity.” Accessed: Jul. 27, 2026. [Online]. Available: <https://www.docsity.com/es/docs/guia-de-metodologias-de-caudales/5291493/>
- [24] M. F. Müller, D. N. Dralle, and S. E. Thompson, “Analytical model for flow duration curves in seasonally dry climates,” *Water Resour. Res.*, vol. 50, no. 7, pp. 5510–5531, Jul. 2014, doi: 10.1002/2014WR015301.
- [25] Germán Poveda and Jaime Ingacio Velez, “Estimacion de caudales minimos para Colombia mediante regionalizacion y aplicación de la curva de recesión de caudales.” Accessed: Jul. 27, 2026. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/233969460_Estimacion_de_caudales_minimos_para_Colombia_mediante_regionalizacion_y_aplicacion_de_la_curva_de_recesion_de_caudales

- [26] “Hidrología Aplicada: TEMA 5. Escorrentía | OCW.” Accessed: Jul. 27, 2026. [Online]. Available: <https://ocw.ehu.eus/mod/resource/view.php?id=36484&lang=es>
- [27] T. Davie, “Fundamentals of hydrology.,” 2008, doi: 10.5555/20083117275.
- [28] K. . Subramanya, Engineering hydrology, 3rd ed. New Delhi, India: Tata McGraw-Hill, 2008.
- [29] R. J. Nathan and T. A. McMahon, “Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses,” *Water Resour. Res.*, vol. 26, no. 7, pp. 1465–1473, Jul. 1990, doi: 10.1029/WR026i007p01465.
- [30] K. Price, “Effects of watershed topography, soils, land use, and climate on baseflow hydrology in humid regions: A review,” *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, vol. 35, no. 4, pp. 465–492, Aug. 2011, doi: 10.1177/0309133311402714.
- [31] M. C. Moreno Ronquillo, “Metodología y determinación de caudales ambientales en la cuenca del río Pastaza,” 2008, Accessed: Jun. 27, 2026. [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/722>
- [32] F. F. Sari Guambaña, “Análisis del comportamiento de una cuenca hidrográfica tropical utilizando índices hidrológicos. Estudio de caso cuenca del río Paute,” Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, 2022. Accessed: Jul. 17, 2026. [Online]. Available: <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/11593>
- [33] A. Pozo Estívariz, “Análisis de la vulnerabilidad al cambio climático de la cuenca del río Paute (Ecuador),” 2018, Accessed: Jul. 17, 2026. [Online]. Available: <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/15794>
- [34] R. E. Armijos Zaruma, “Control de calidad de los bases de datos de las estaciones meteorológicas de la UTPL respecto al periodo 2011 2022 y generación de mapas

temáticos,” 2024, Accessed: Jul. 18, 2026. [Online]. Available: <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/54301>

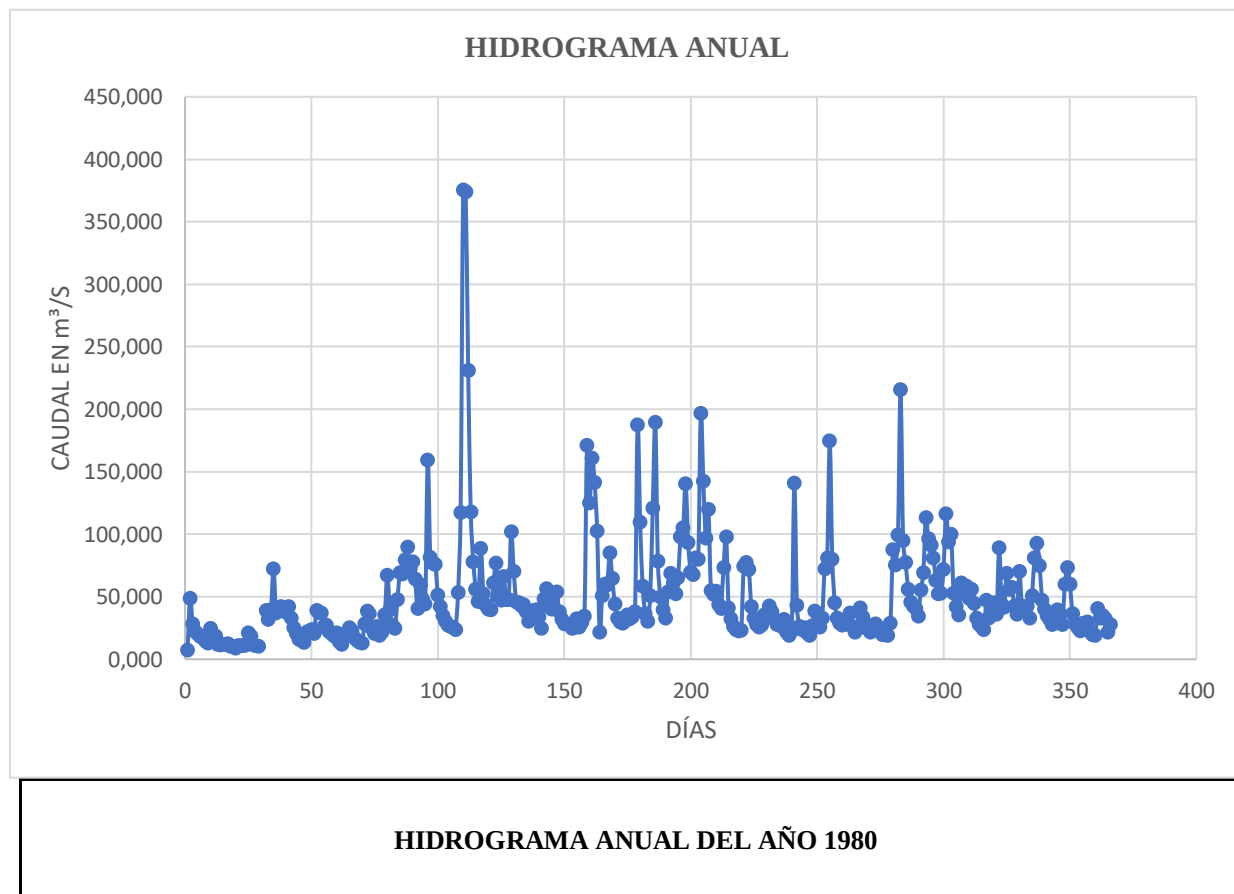
- [35] L. de Antueno, F. J. Gaspari, M. I. Delgado, and L. de Antueno, “Delimitación y morfometría de cuencas,” *Contribuciones al manejo de cuencas hidrográficas. Herramientas y procedimientos básicos*, pp. 55–68, 2025, Accessed: Jul. 19, 2026. [Online]. Available: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/186488>
- [36] R. del C. Hämmerly, M. del C. París, and A. Paz González, “Determinación de campos areales de precipitación y evapotranspiración en la margen izquierda de la cuenca del Paraná en territorio de Argentina. I: polígonos de Thiessen y kriging,” *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe. Revista de Xeoloxía Galega e do Hercínico Peninsular*, vol. 41, pp. 75–97, Dec. 2019, doi: 10.17979/cadlaxe.2019.41.1.5818.
- [37] M. D. Bako and A. Owoade, “Field application of a numerical method for the derivation of baseflow recession constant,” *Hydrol. Process.*, vol. 2, no. 4, pp. 331–336, 1988, doi: 10.1002/HYP.3360020404.
- [38] S. Gómez-Isidro and V. L. Gómez-Ríos, “Análisis de flujo base usando curvas maestras de recesión y algoritmos numéricos en cuencas de montaña: Cuenca del río Surata y cuenca del Río de Oro (Santander, Colombia),” *DYNA (Colombia)*, vol. 83, no. 196, pp. 213–222, Apr. 2016, doi: 10.15446/DYNA.V83N196.53222.
- [39] J. E. Nash and J. V. Sutcliffe, “River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles,” *J. Hydrol. (Amst.)*, vol. 10, no. 3, pp. 282–290, Apr. 1970, doi: 10.1016/0022-1694(70)90255-6.

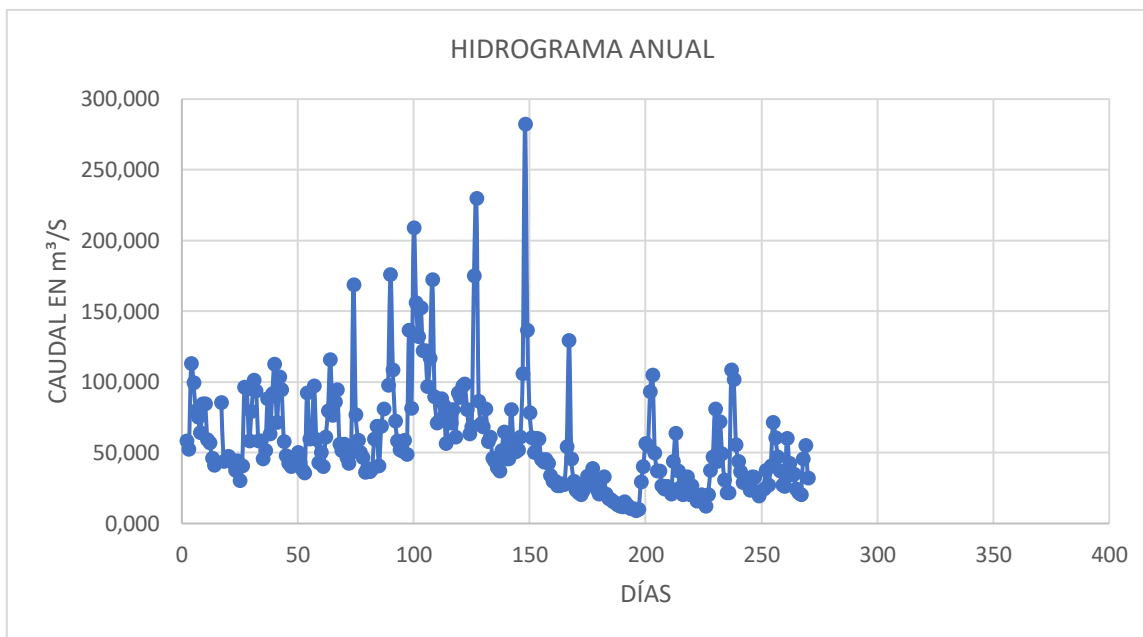
- [40] S. N. Fernández, D. E. Pérez, C. F. Weis, and M. Á. Flores, “Calibración de simulaciones de crecidas de la cuenca alta del río Sauce Grande, provincia de Buenos Aires, Argentina.,” Cuadernos del CURIHAM, vol. 28, May 2022, doi: 10.35305/CURIHAM.V28I.17

8. ANEXOS

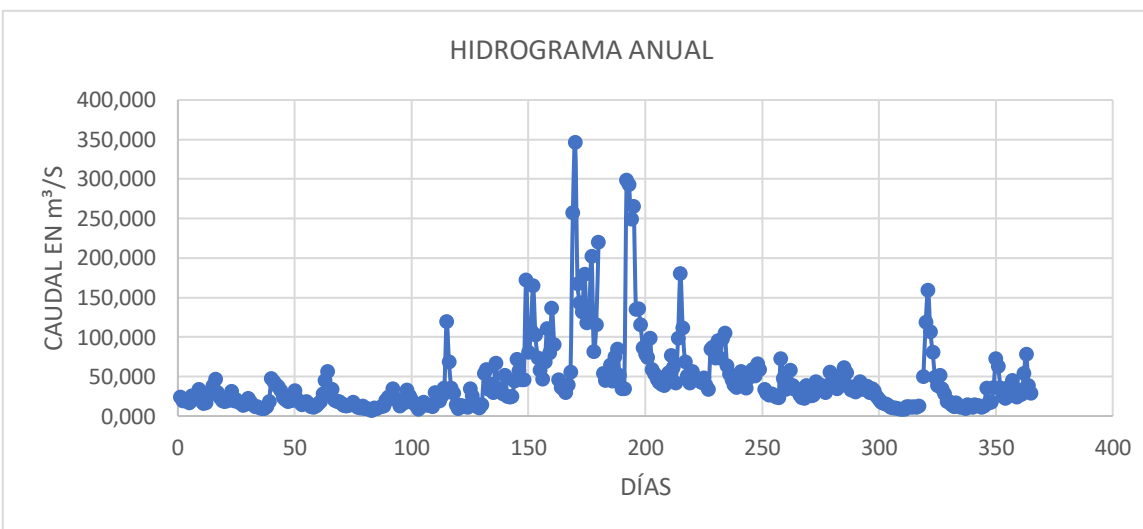
NOMBRE Y APELLIDO	CRISTIAN GUILLERMO CALVOPIÑA TAPIA	
	JHON BRYAN PAZ OCHOA	
TITULO DE INVESTIGACION	HIDROGRAMAS ANUALES	
NOMBRE DEL ARCHIVO	PAUTE EN PAUTE	

- ★ Representación gráfica de los hidrogramas anuales con los datos proporcionados del INAMHI.

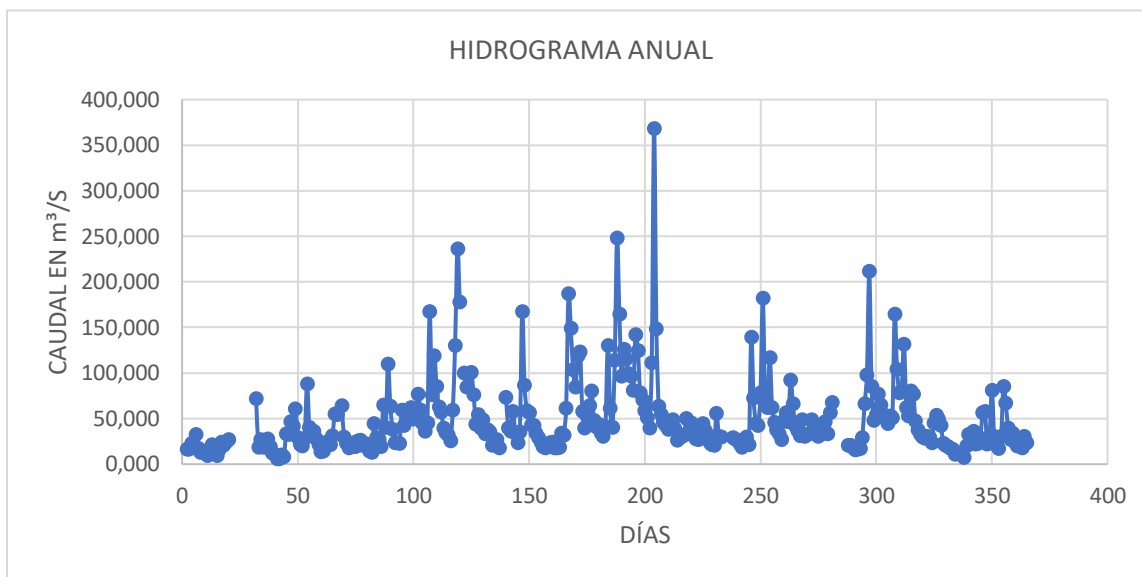




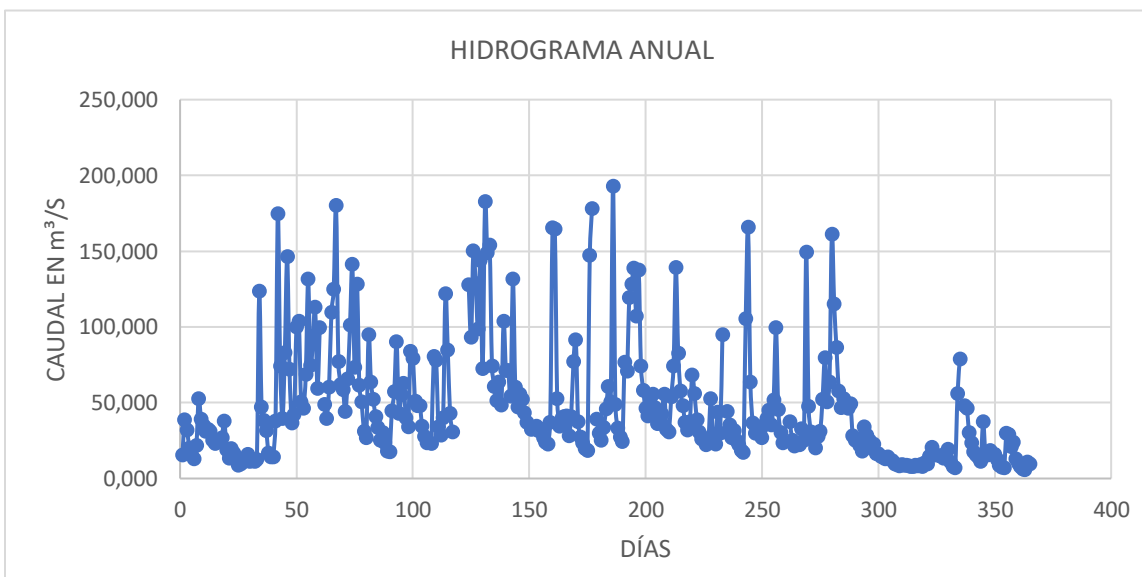
HIDROGRAMA ANUAL DEL AÑO 1983



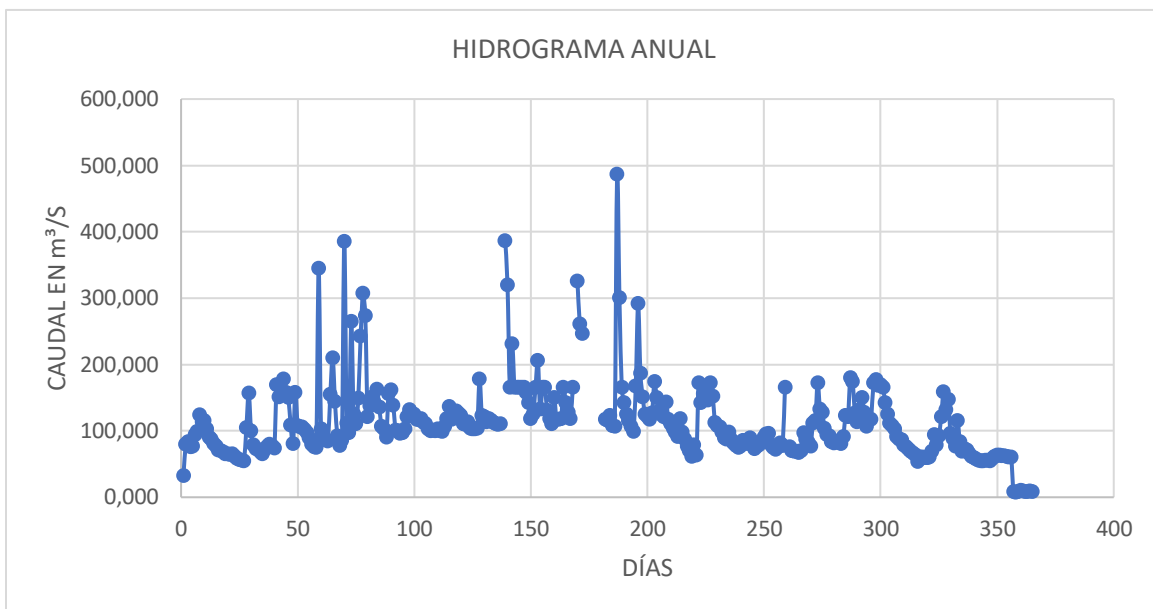
HIDROGRAMA ANUAL DEL AÑO 1985



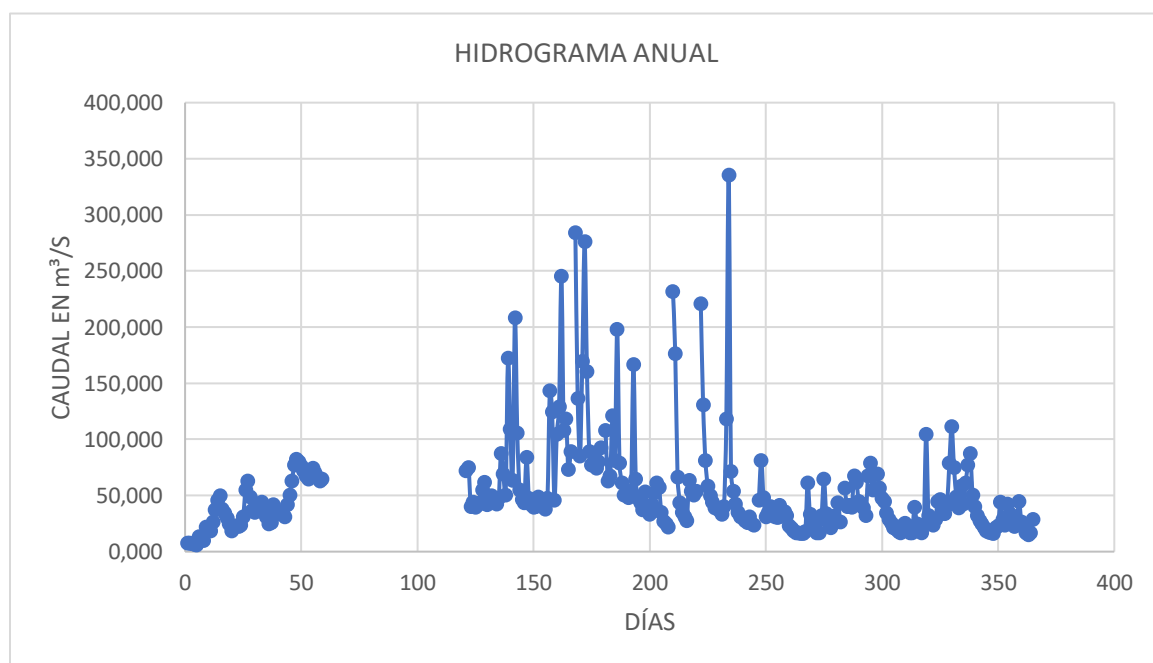
HIDROGRAMA ANUAL DEL AÑO 1986



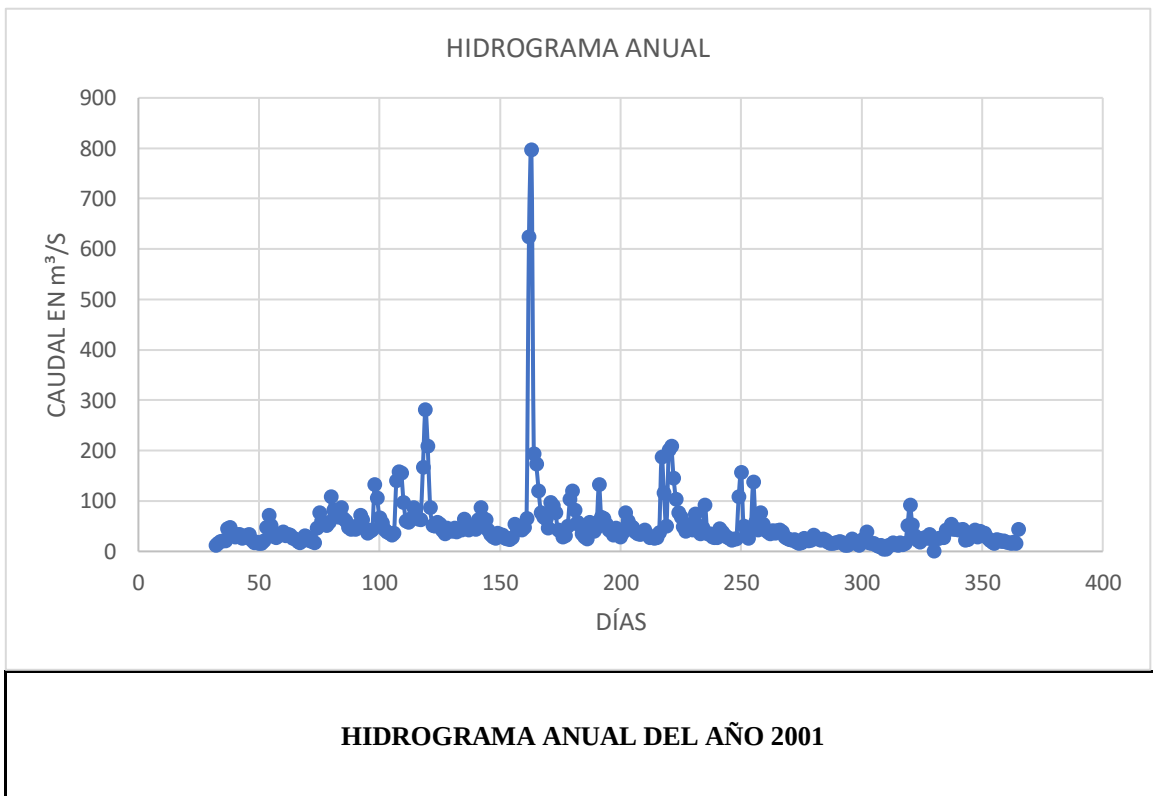
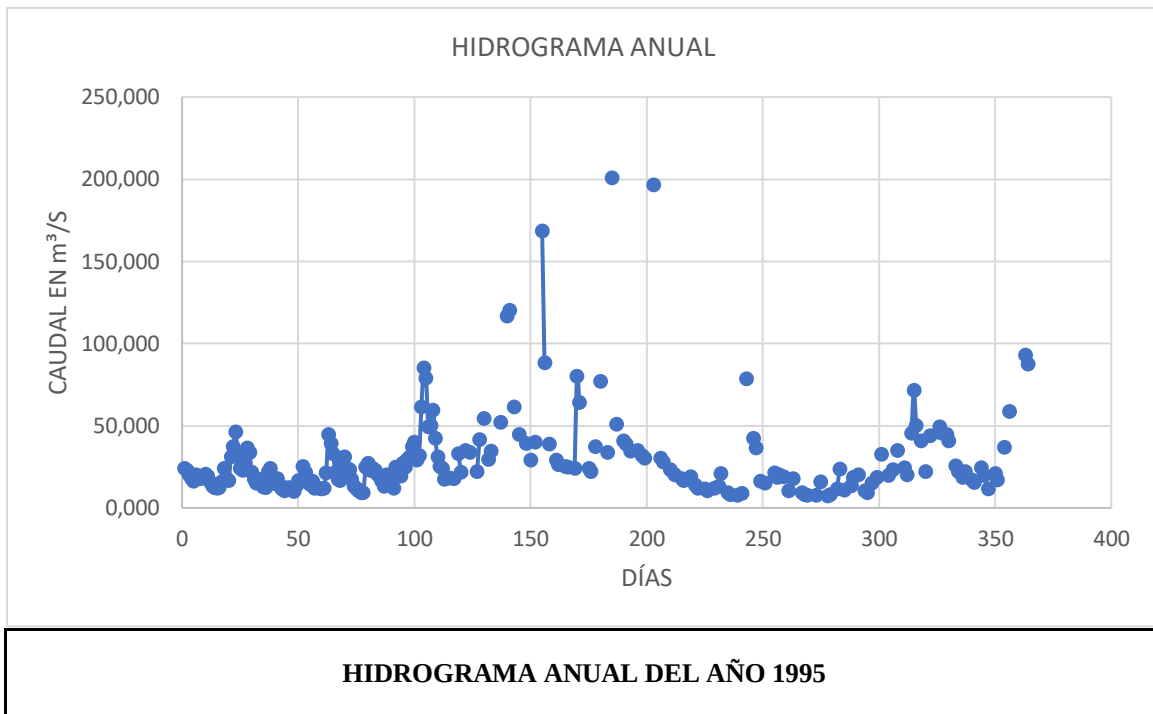
HIDROGRAMA ANUAL DEL AÑO 1987

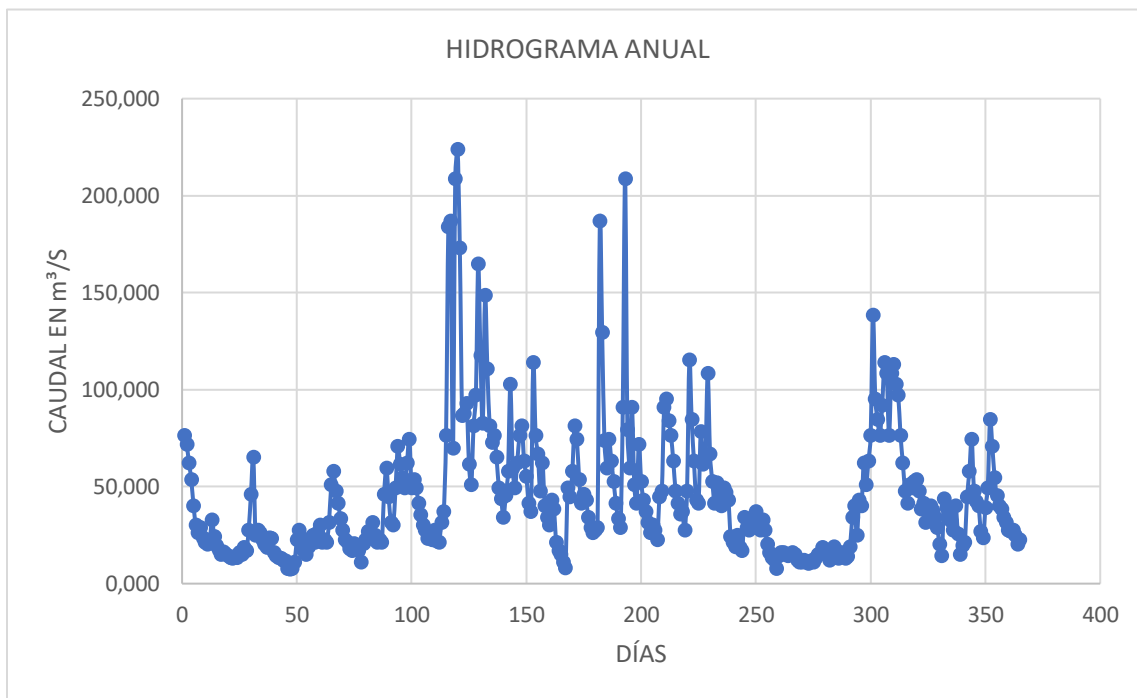


HIDROGRAMA ANUAL DEL AÑO 1989

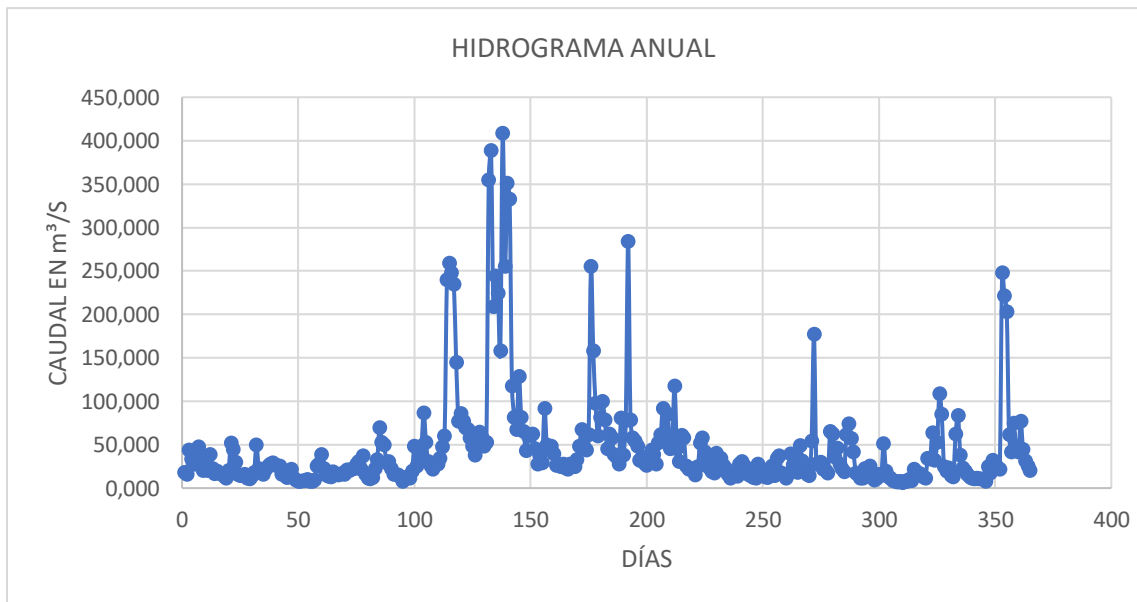


HIDROGRAMA ANUAL DEL AÑO 1990

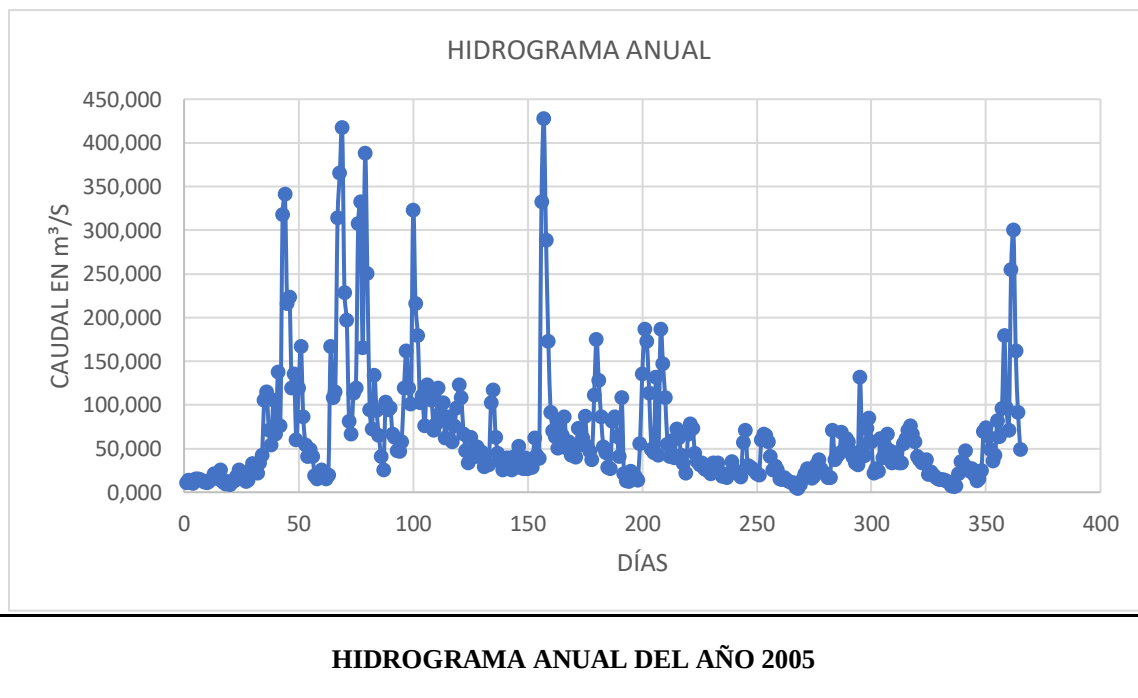
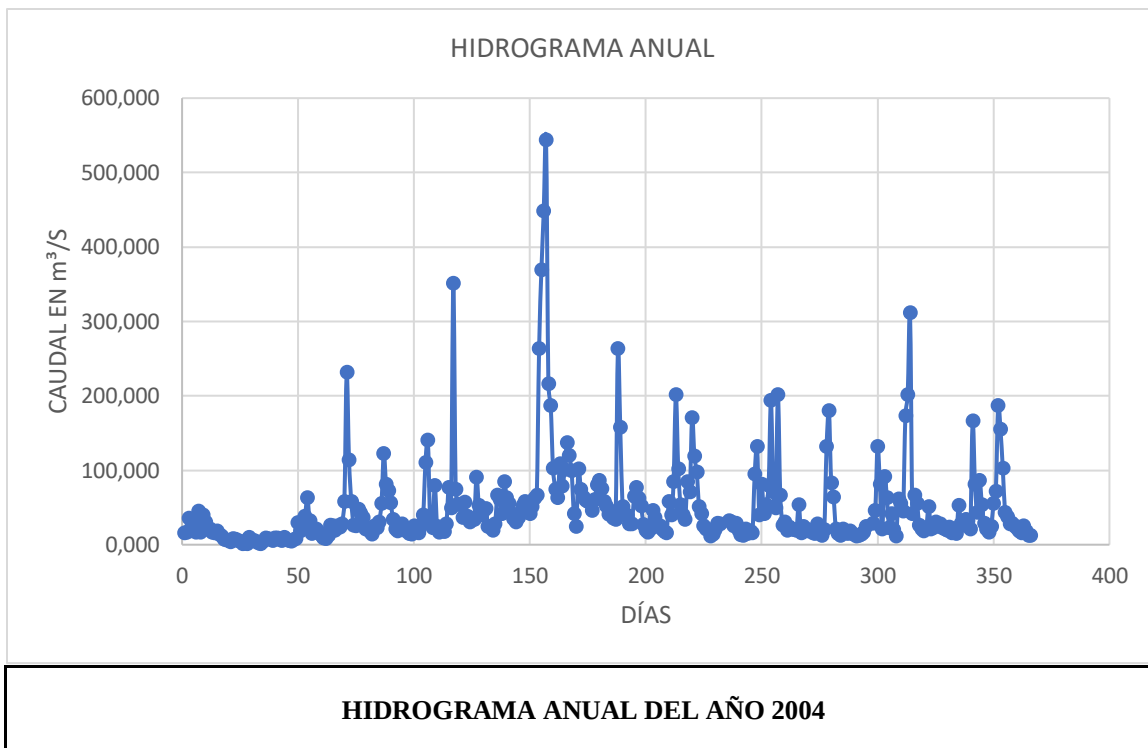


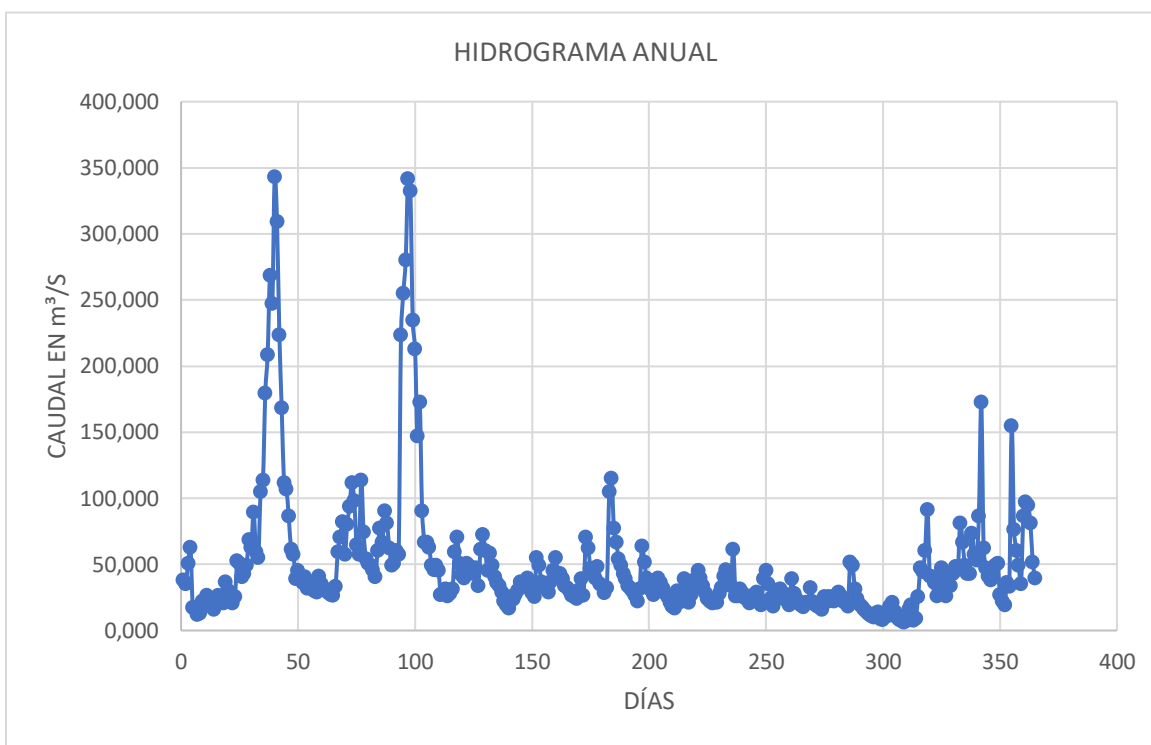


HIDROGRAMA ANUAL DEL AÑO 2002

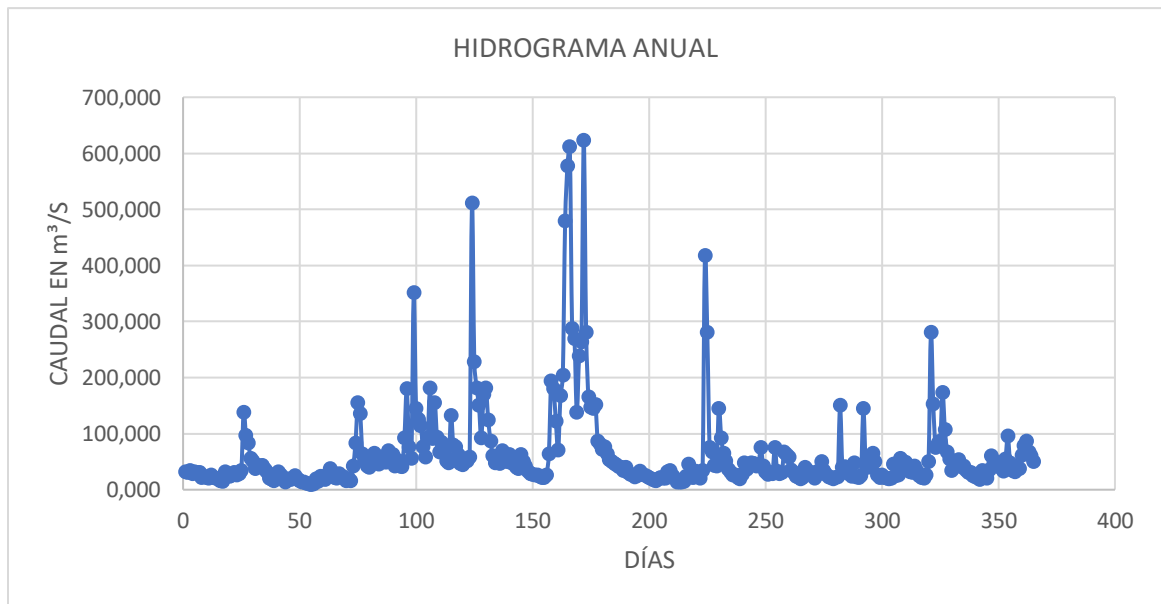


HIDROGRAMA ANUAL DEL AÑO 2003

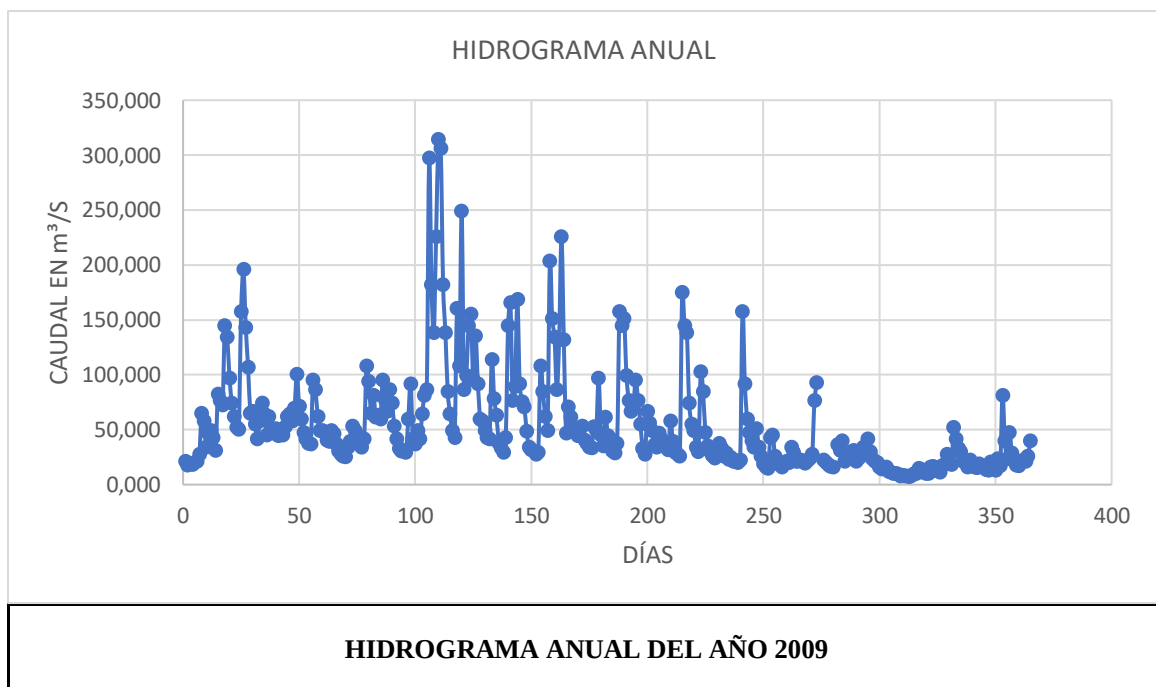
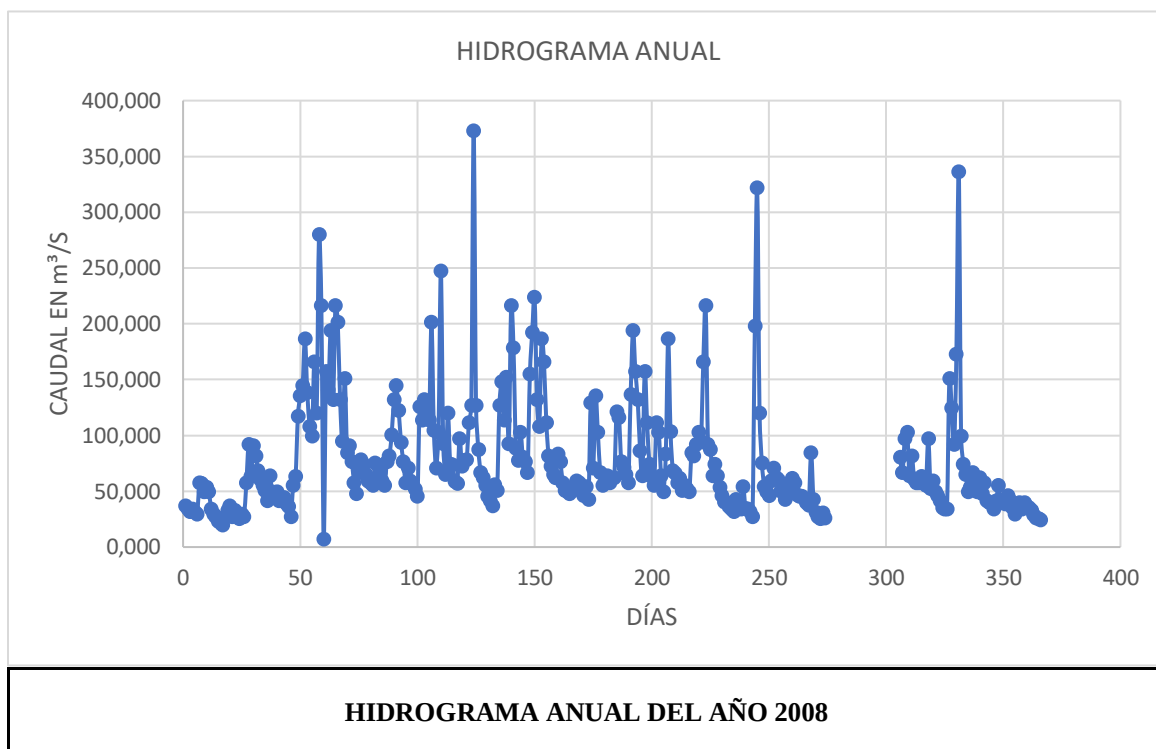


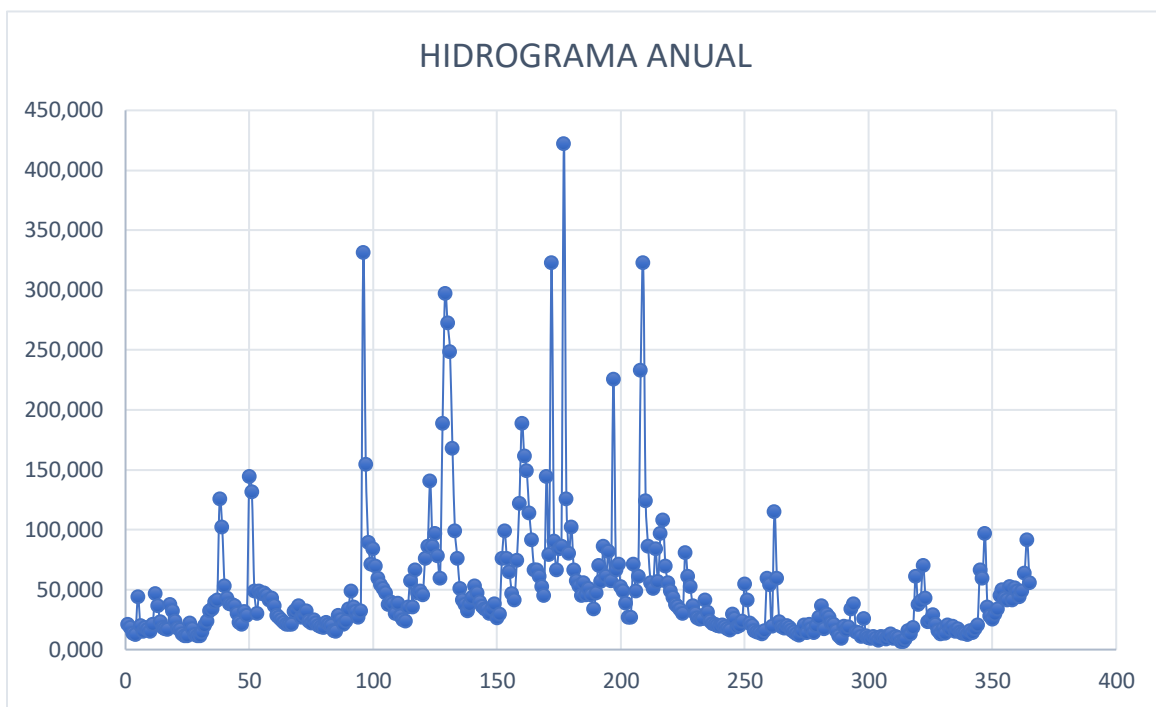


HIDROGRAMA ANUAL DEL AÑO 2006

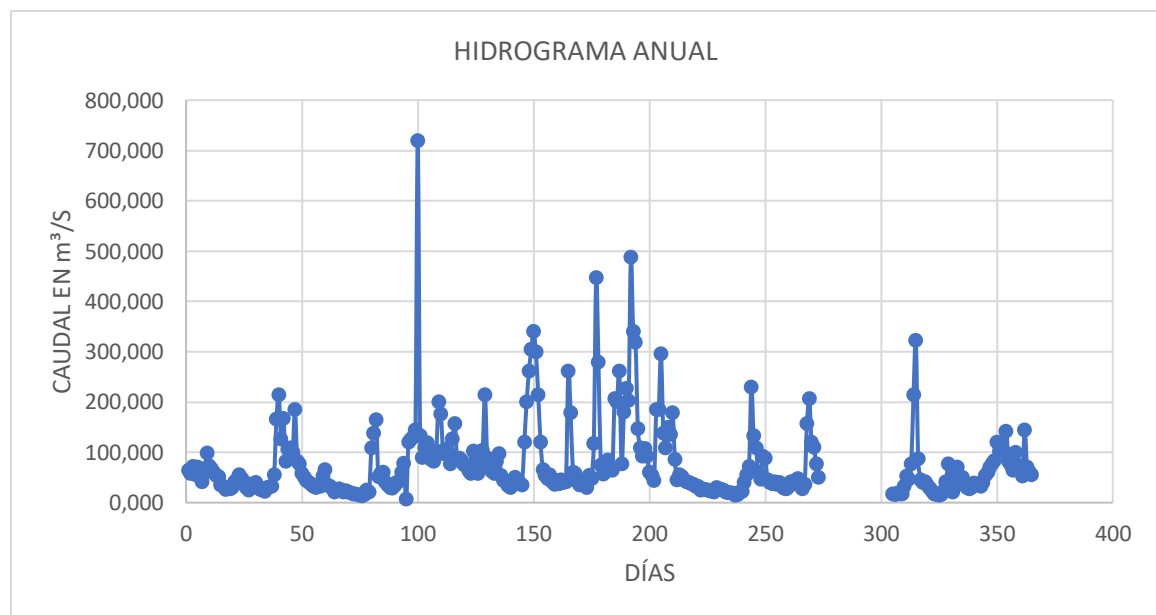


HIDROGRAMA ANUAL DEL AÑO 2007

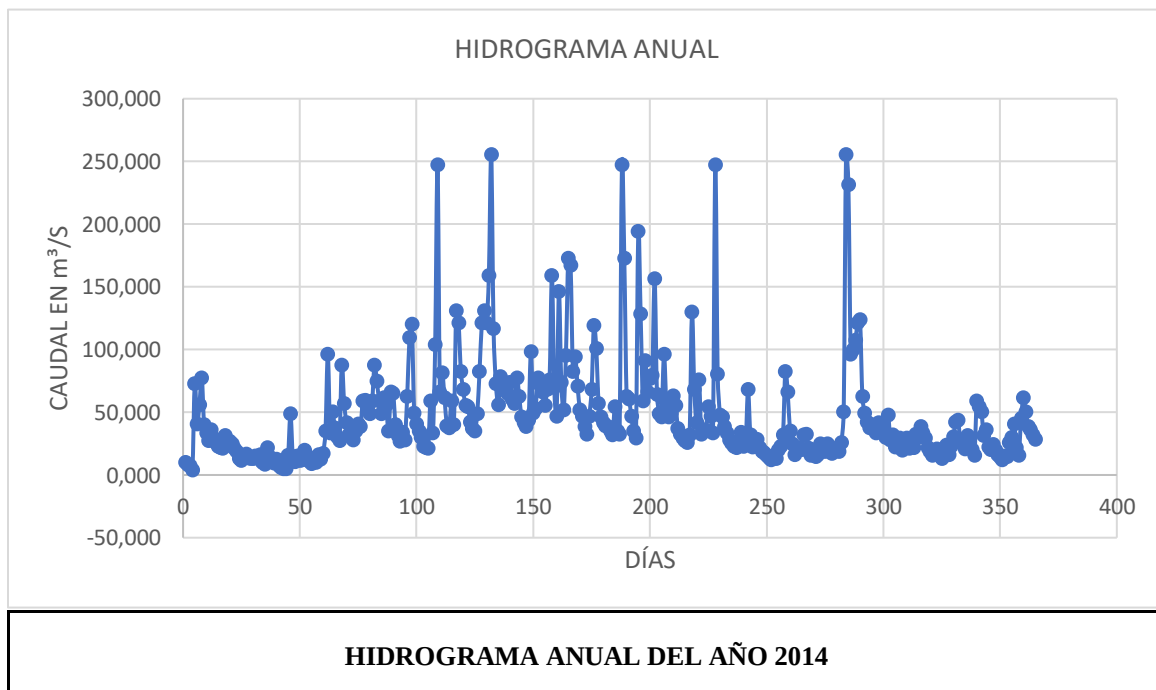
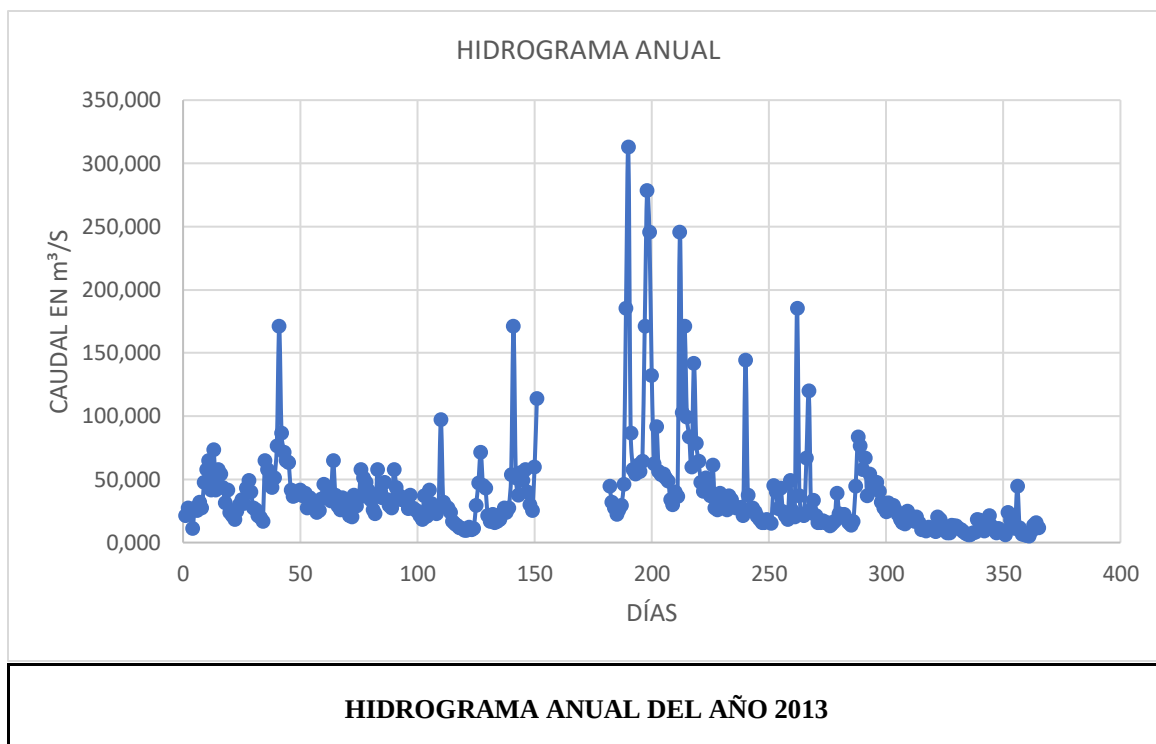


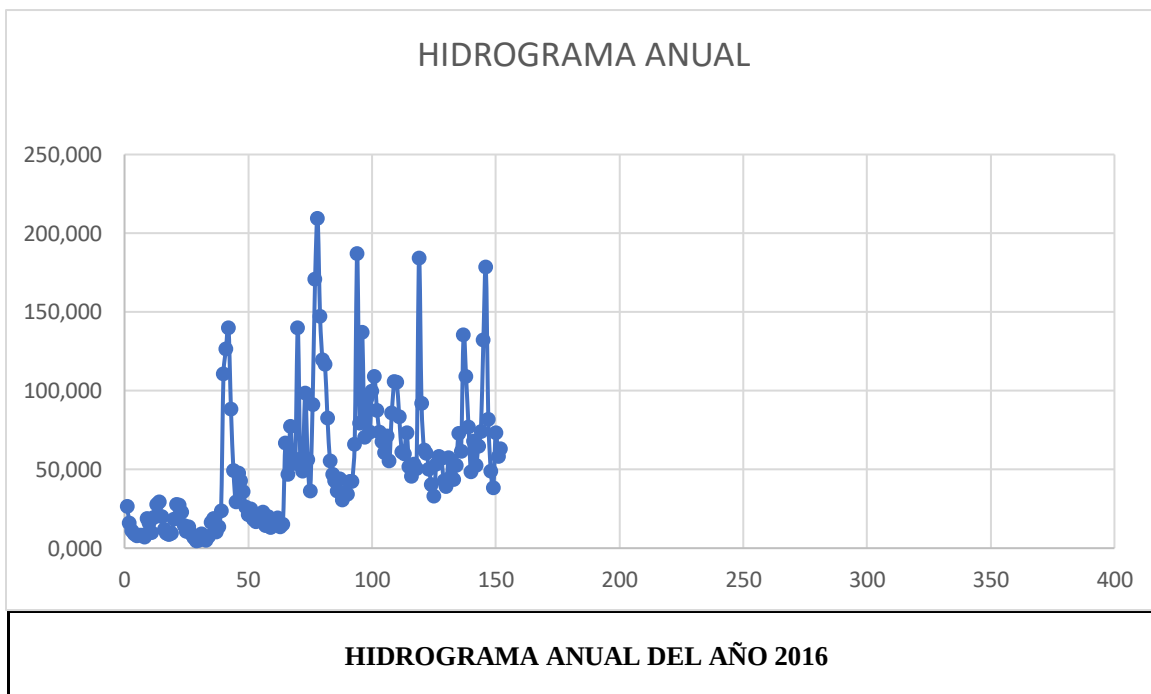
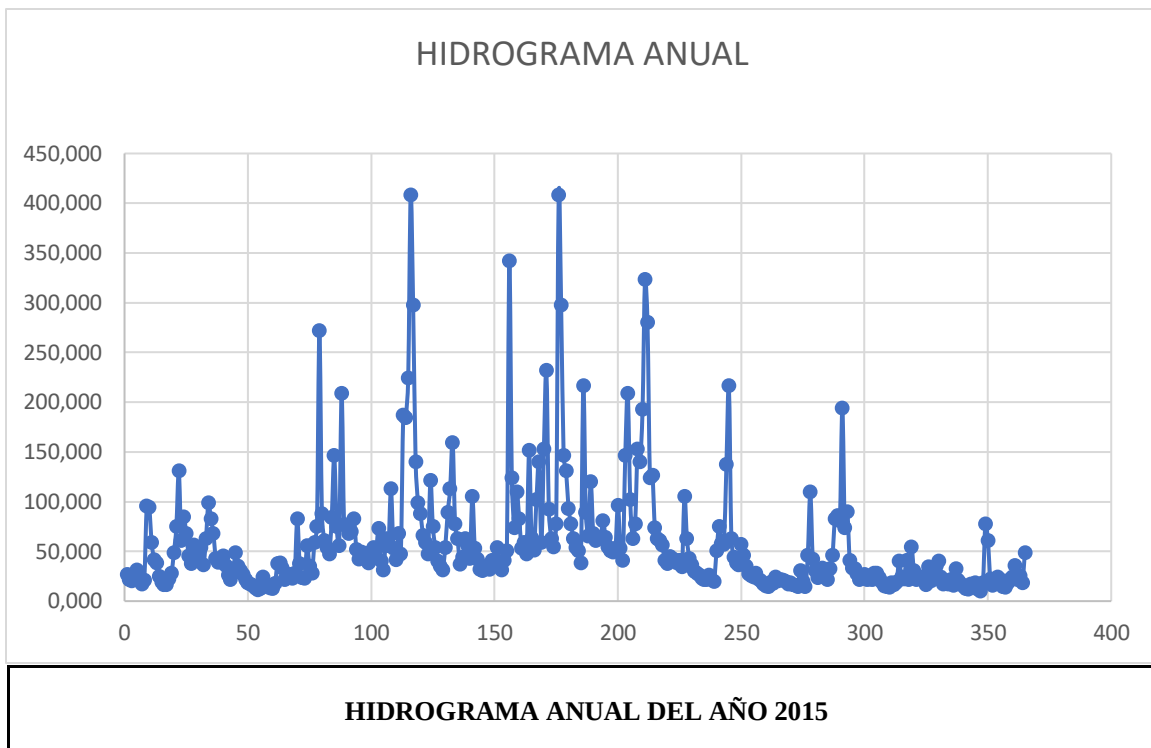


HIDROGRAMA ANUAL DEL AÑO 2010



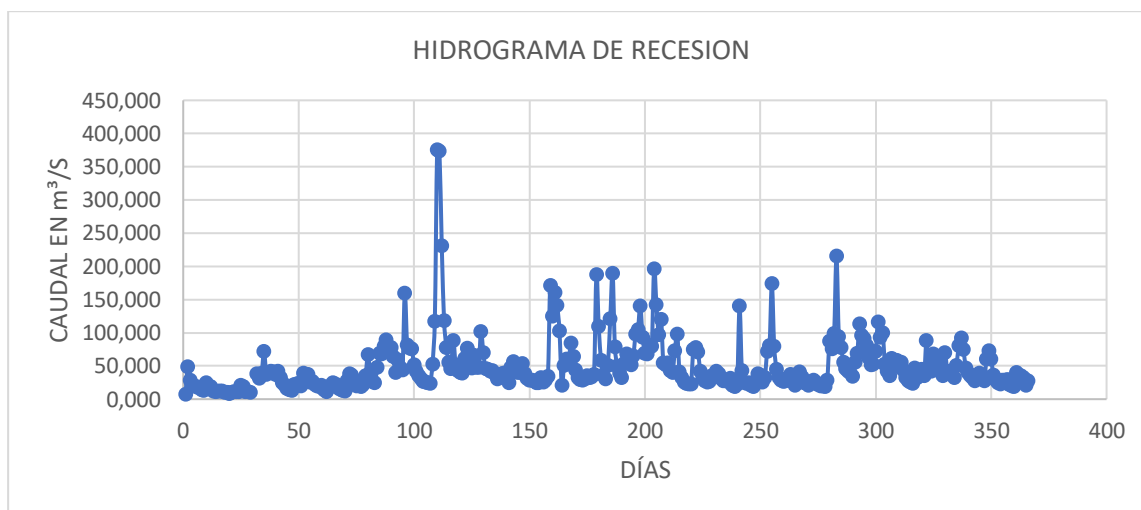
HIDROGRAMA ANUAL DEL AÑO 2011



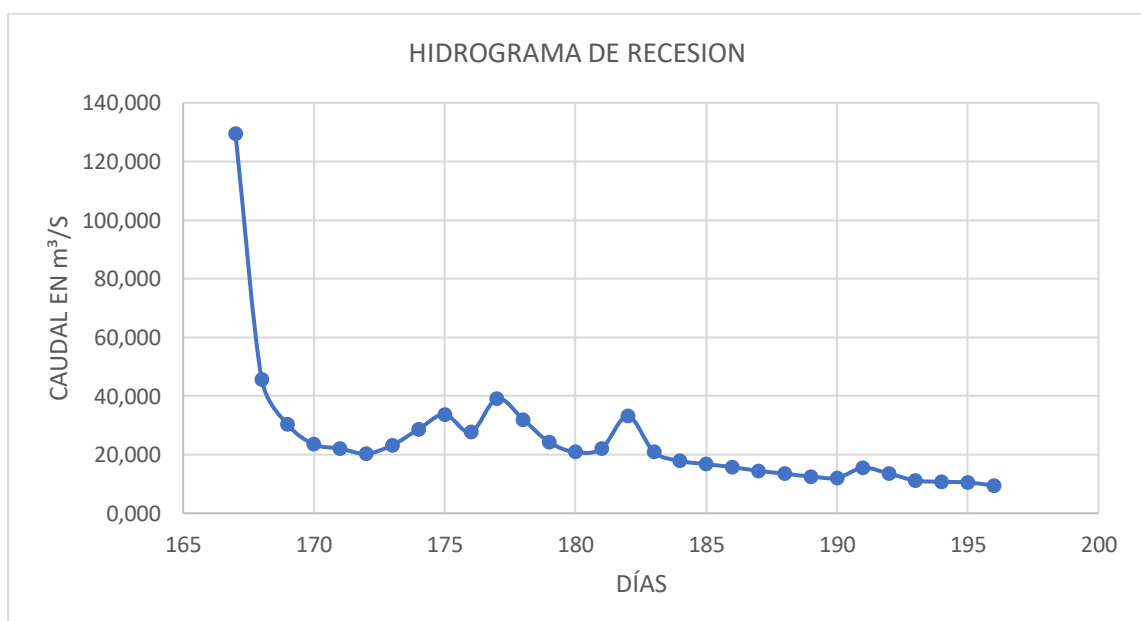


NOMBRE Y APELLIDO	CRISTIAN GUILLERMO CALVOPIÑA TAPIA	
	JHON BRYAN PAZ OCHOA	
	HIDROGRAMAS DE RECESIÓN	
TÍTULO DE INVESTIGACION	HIDROGRAMAS DE RECESIÓN	
NOMBRE DEL ARCHIVO	PAUTE EN PAUTE	

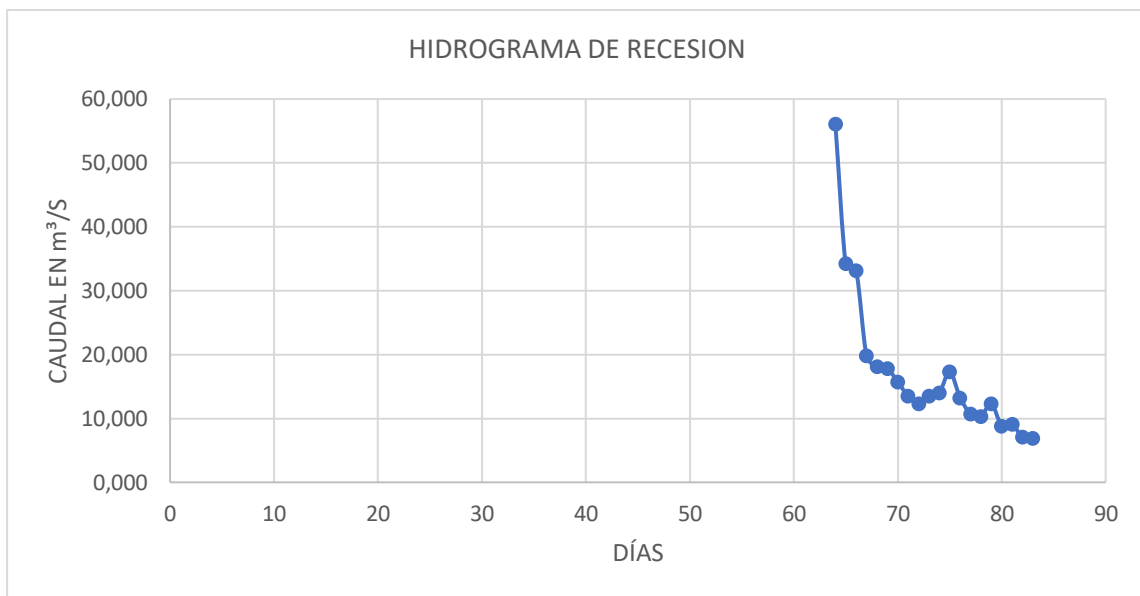
- ★ Hidrogramas de recesión (representación gráfica de caudales bajos o en recesión de los diferentes años de estudio)



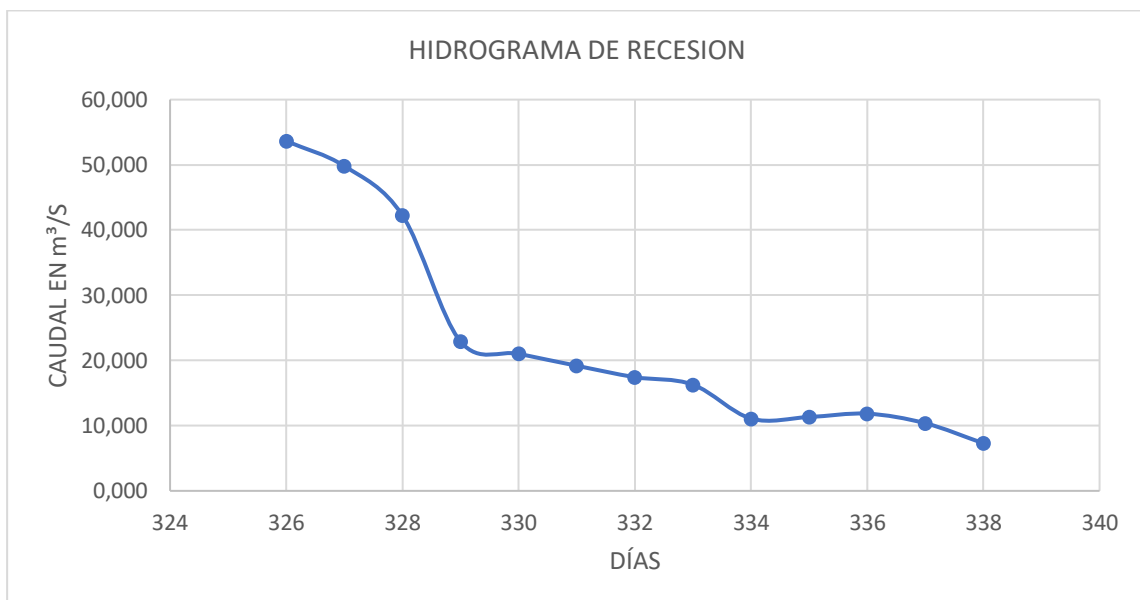
HIDROGRAMA DE RECESIÓN DEL AÑO 1980



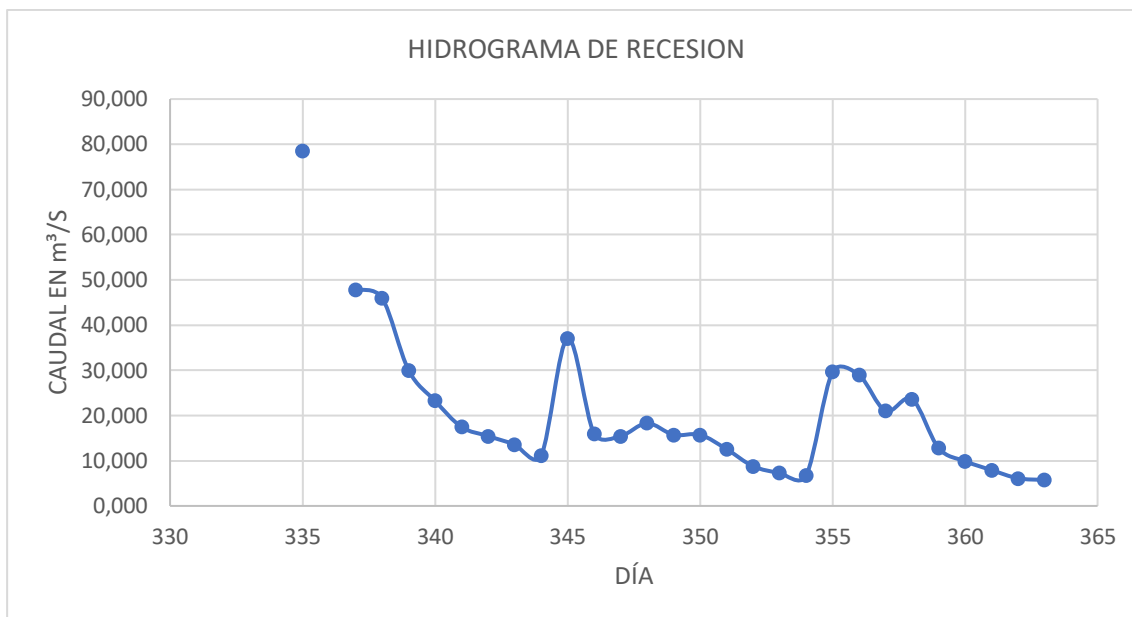
HIDROGRAMA DE RECESIÓN DEL AÑO 1983



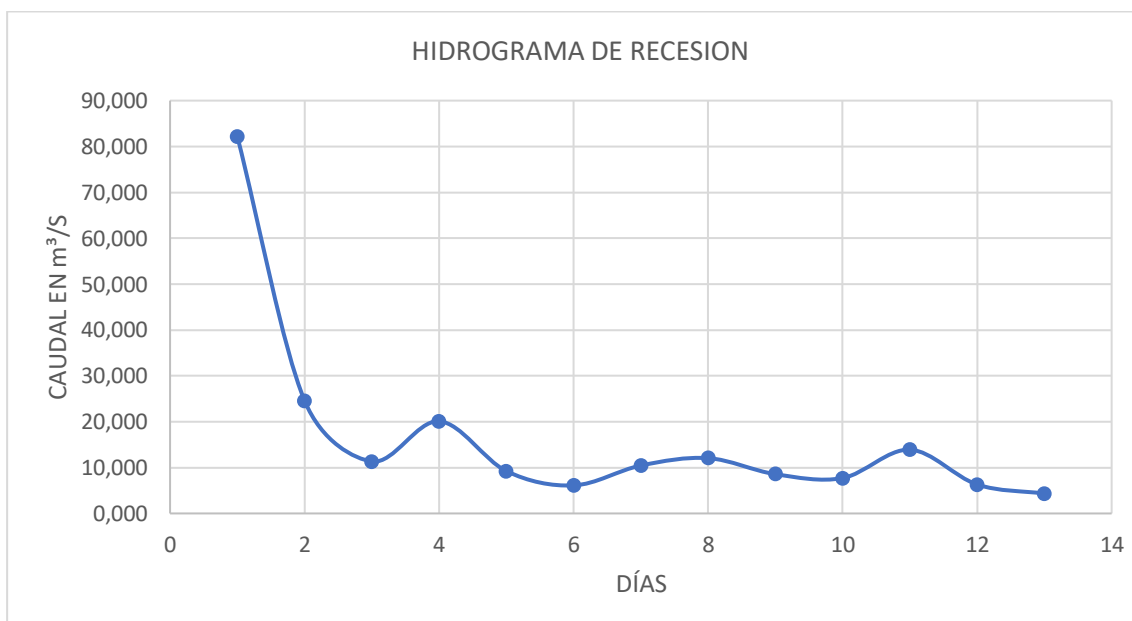
HIDROGRAMA DE RECESIÓN DEL AÑO 1985



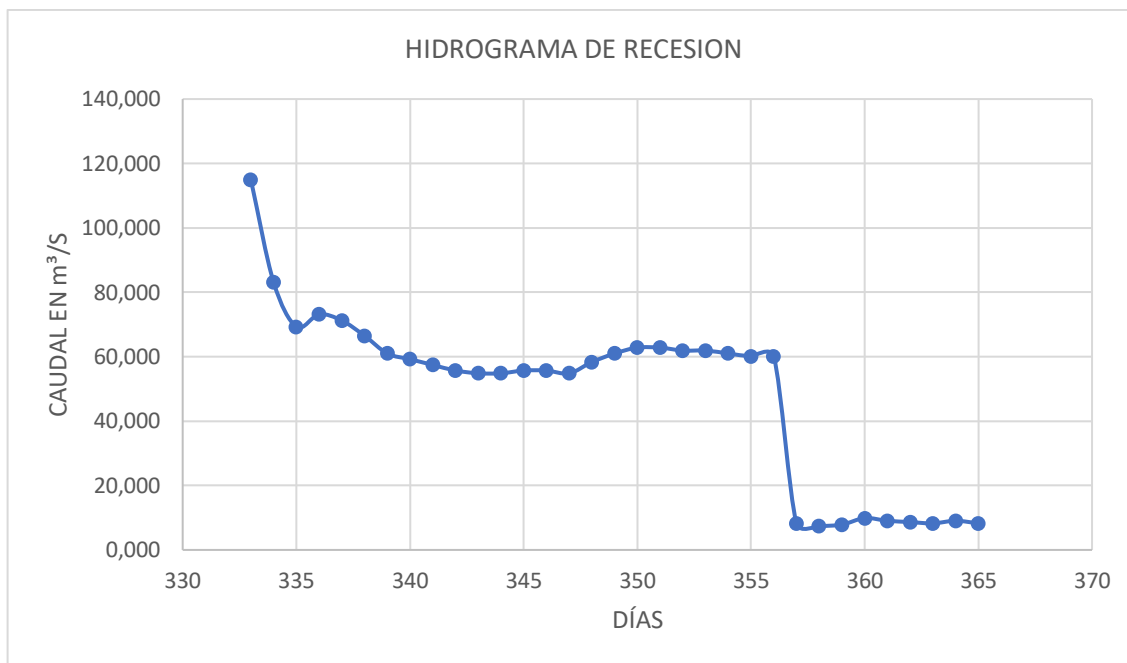
HIDROGRAMA DE RECESIÓN DEL AÑO 1986



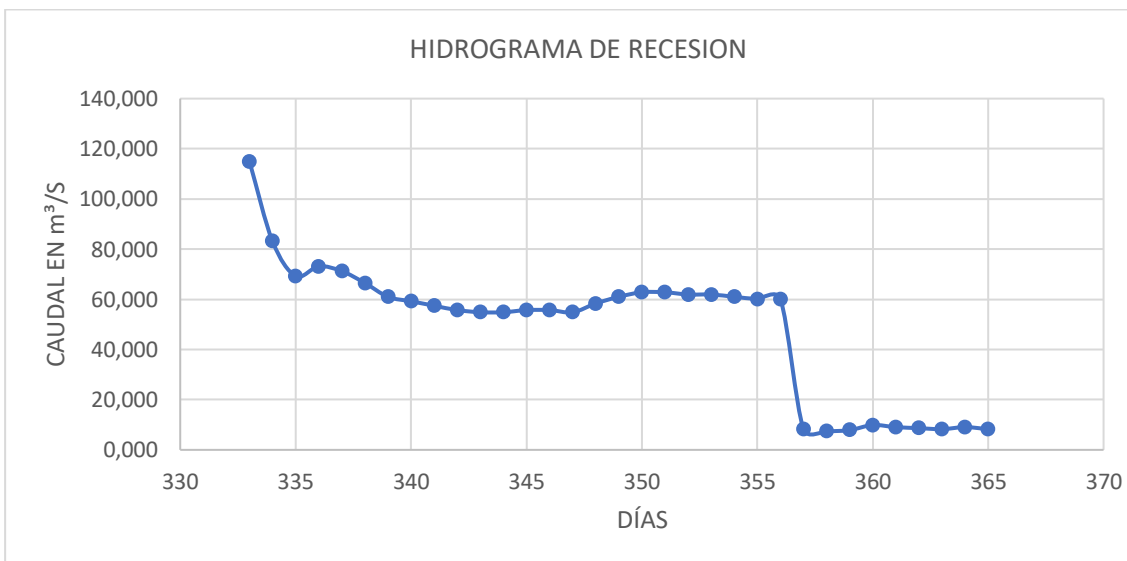
HIDROGRAMA DE RECESIÓN DEL AÑO 1987



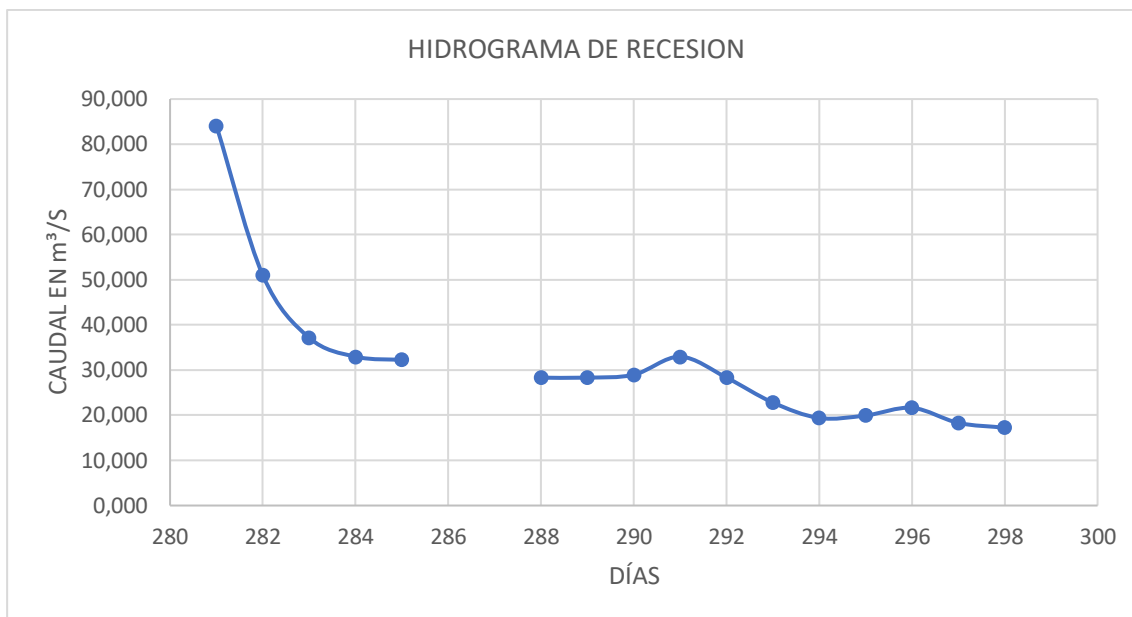
HIDROGRAMA DE RECESIÓN DEL AÑO 1988



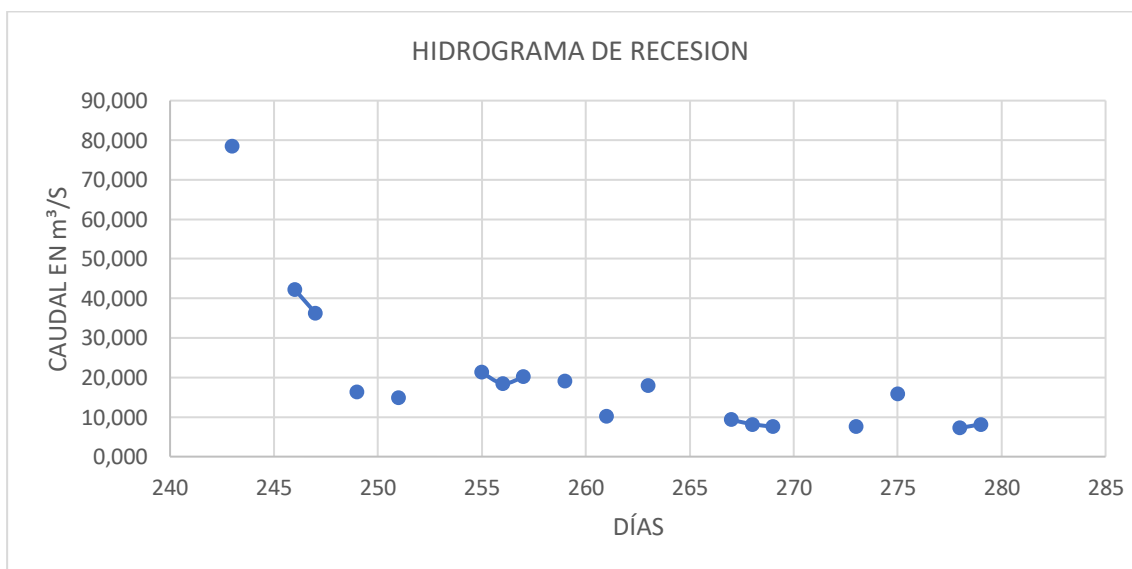
HIDROGRAMA DE RECESIÓN DEL AÑO 1989



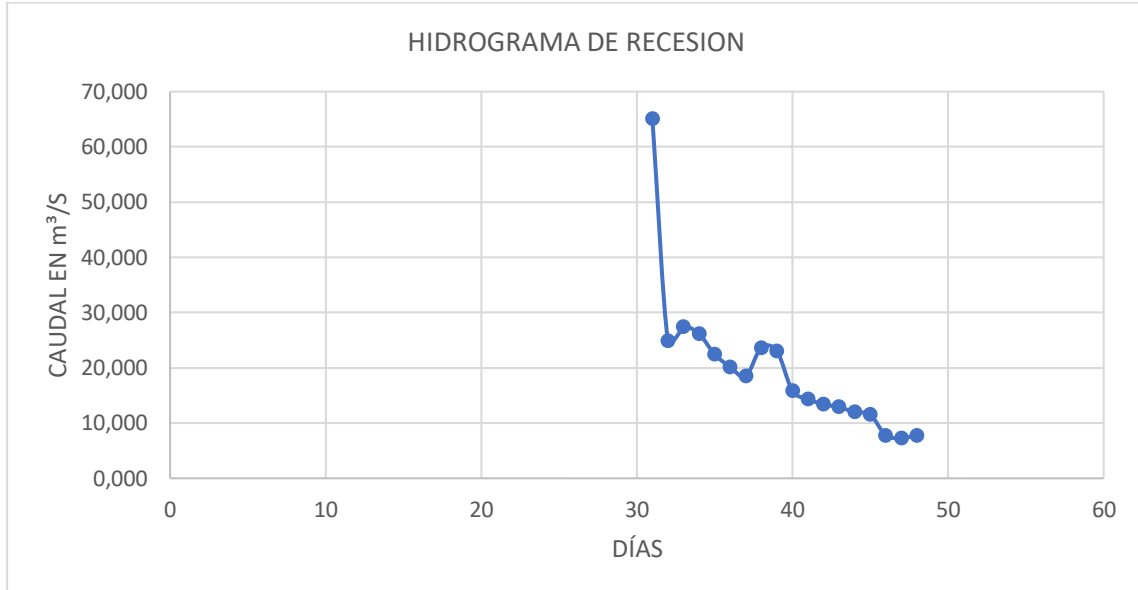
HIDROGRAMA DE RECESIÓN DEL AÑO 1990



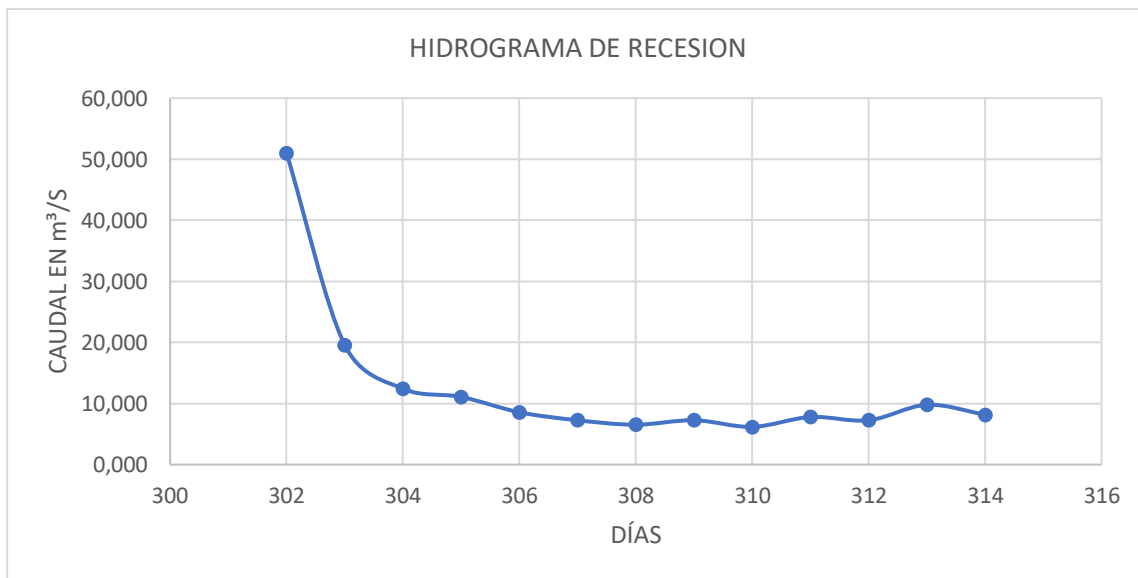
HIDROGRAMA DE RECESIÓN DEL AÑO 1994



HIDROGRAMA DE RECESIÓN DEL AÑO 1995



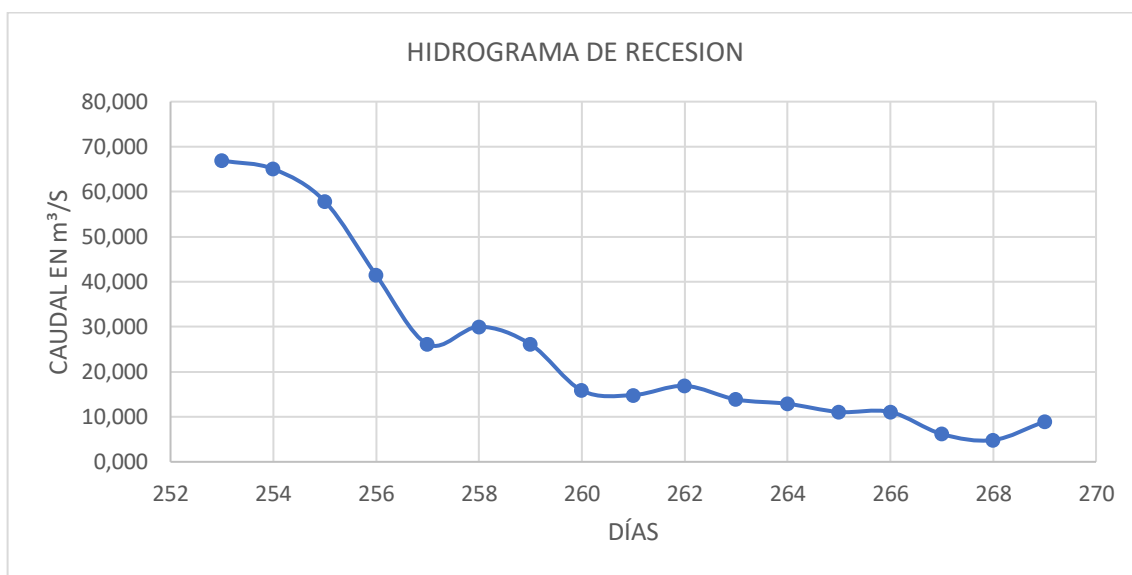
HIDROGRAMA DE RECESIÓN DEL AÑO 2002



HIDROGRAMA DE RECESIÓN DEL AÑO 2003



HIDROGRAMA DE RECESIÓN DEL AÑO 2004



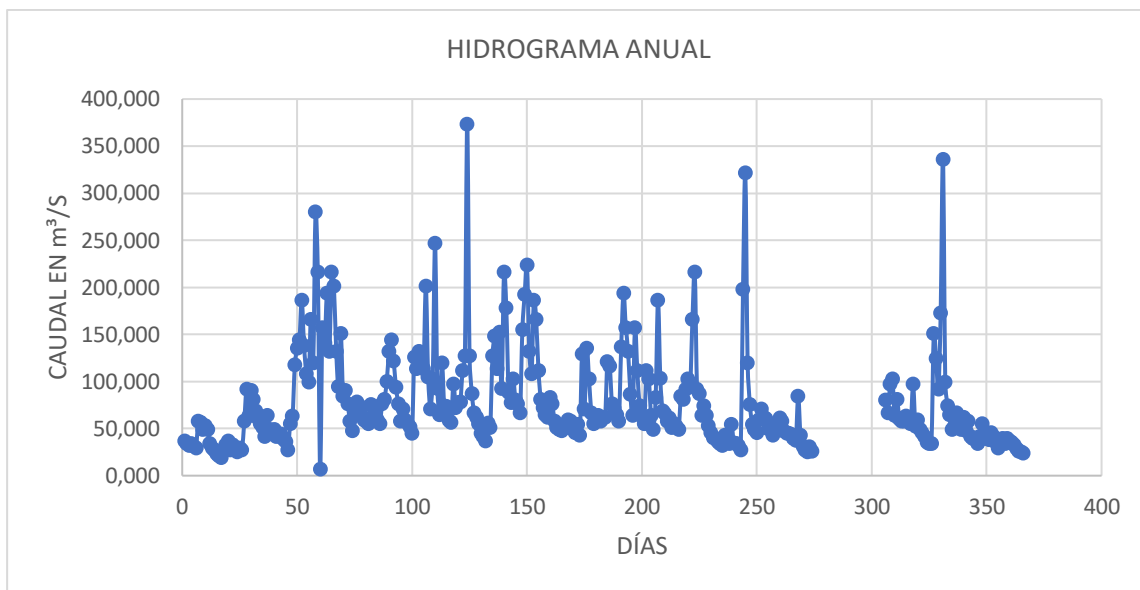
HIDROGRAMA DE RECESIÓN DEL AÑO 2005



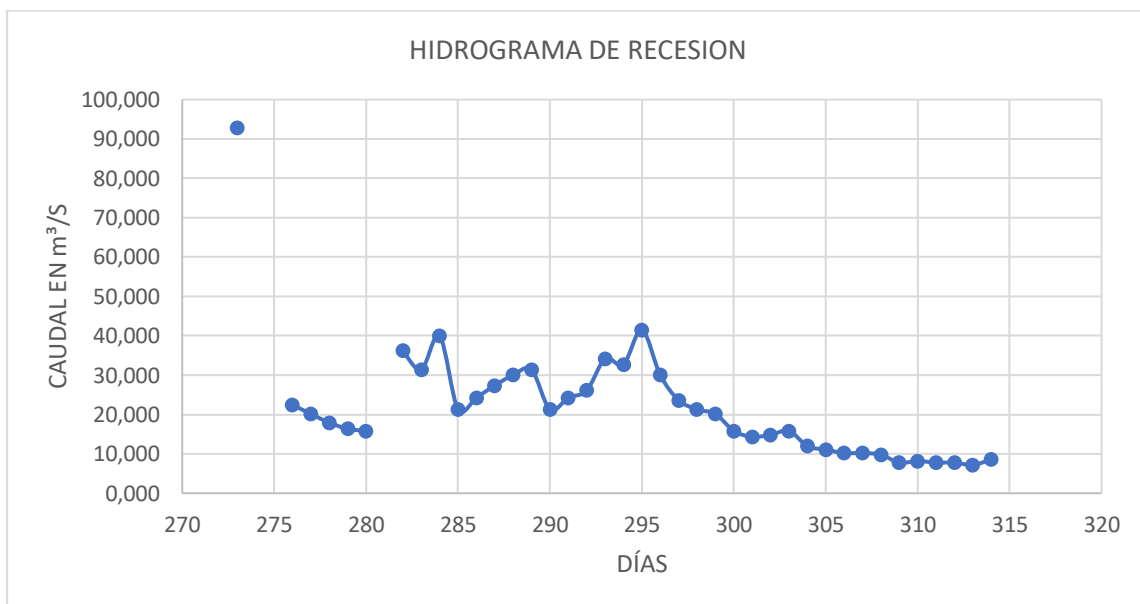
HIDROGRAMA DE RECESIÓN DEL AÑO 2006



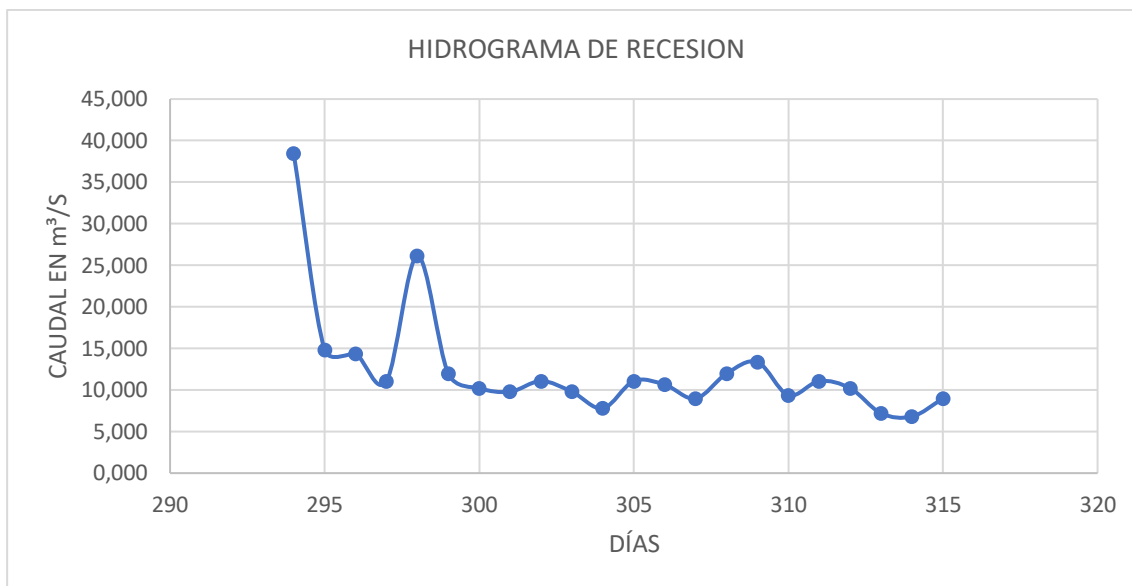
HIDROGRAMA DE RECESIÓN DEL AÑO 2007



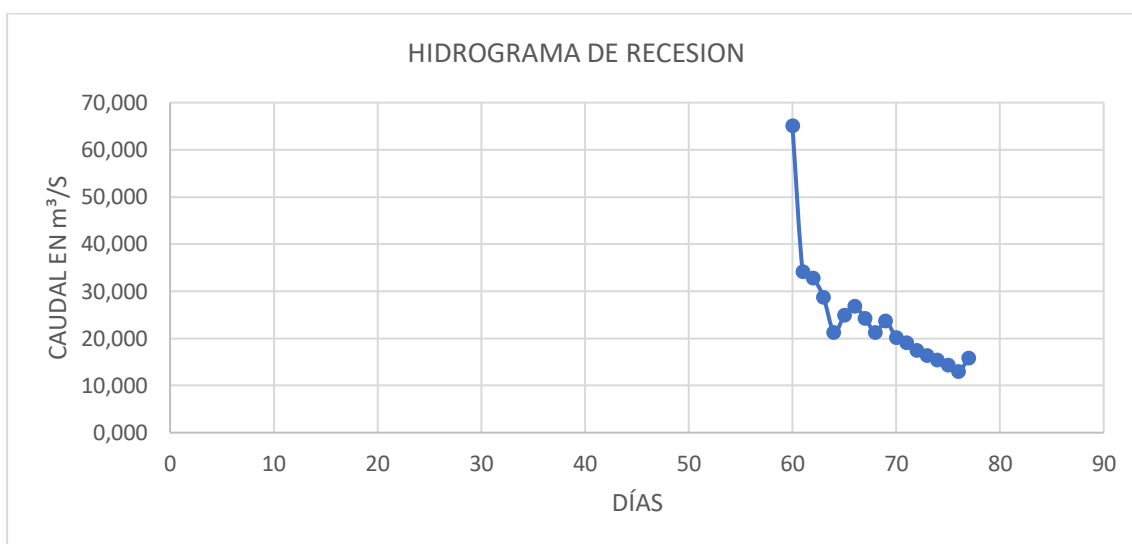
HIDROGRAMA DE RECESIÓN DEL AÑO 2008



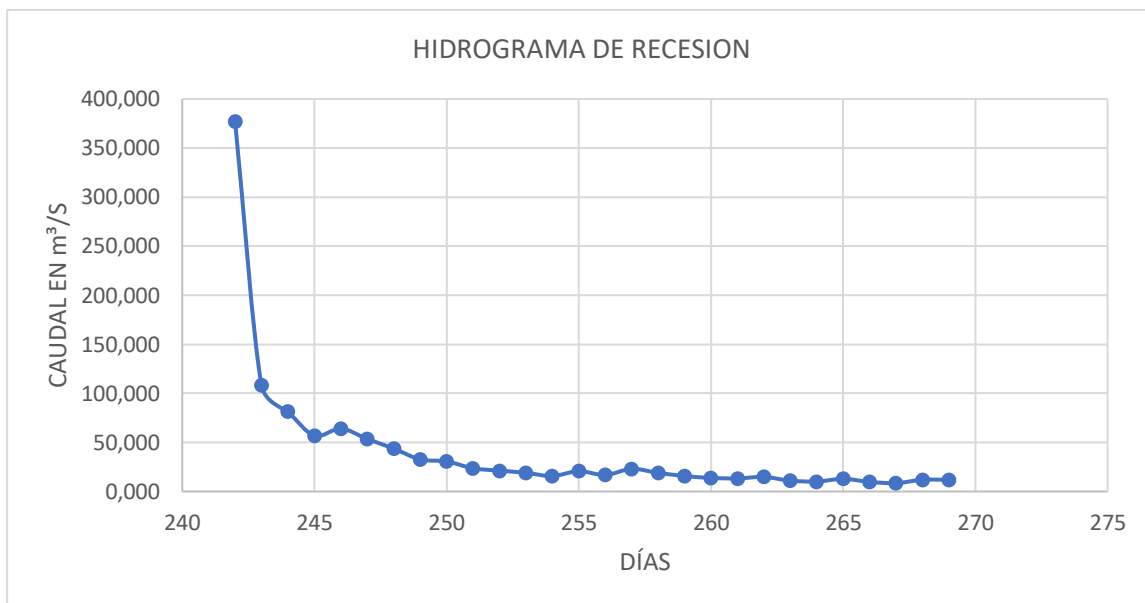
HIDROGRAMA DE RECESIÓN DEL AÑO 2009



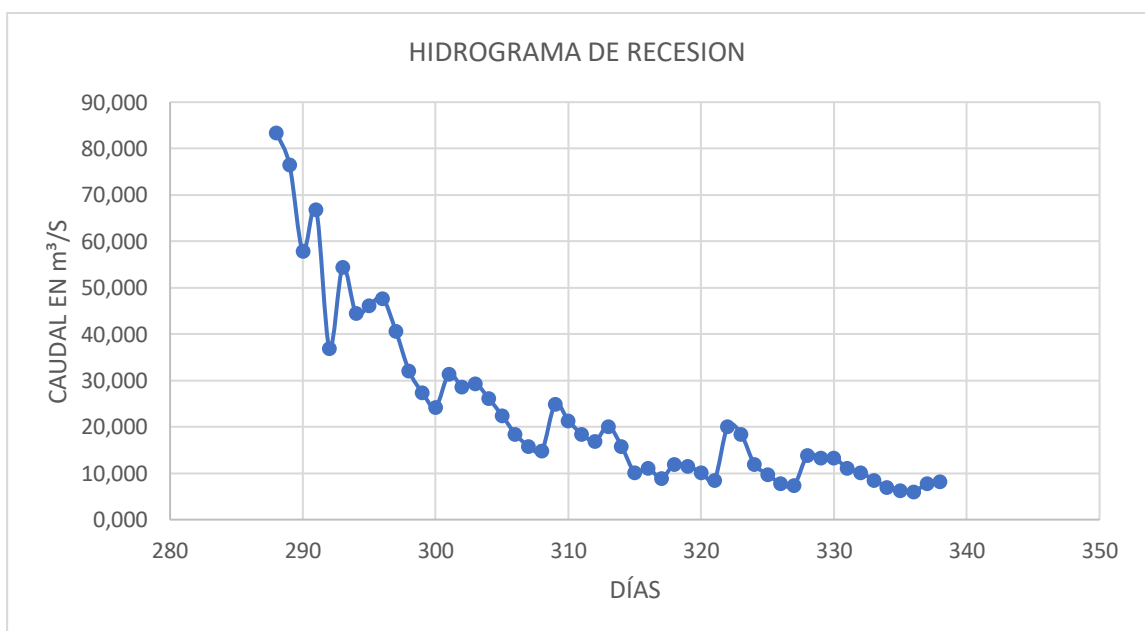
HIDROGRAMA DE RECESIÓN DEL AÑO 2010



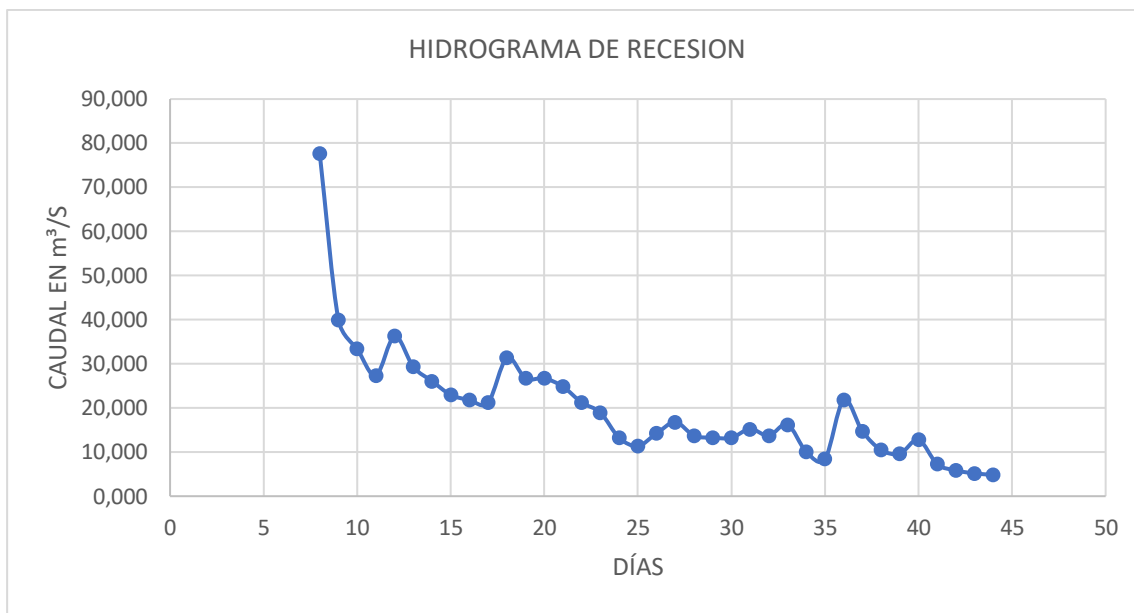
HIDROGRAMA DE RECESIÓN DEL AÑO 2011



HIDROGRAMA DE RECESIÓN DEL AÑO 2012



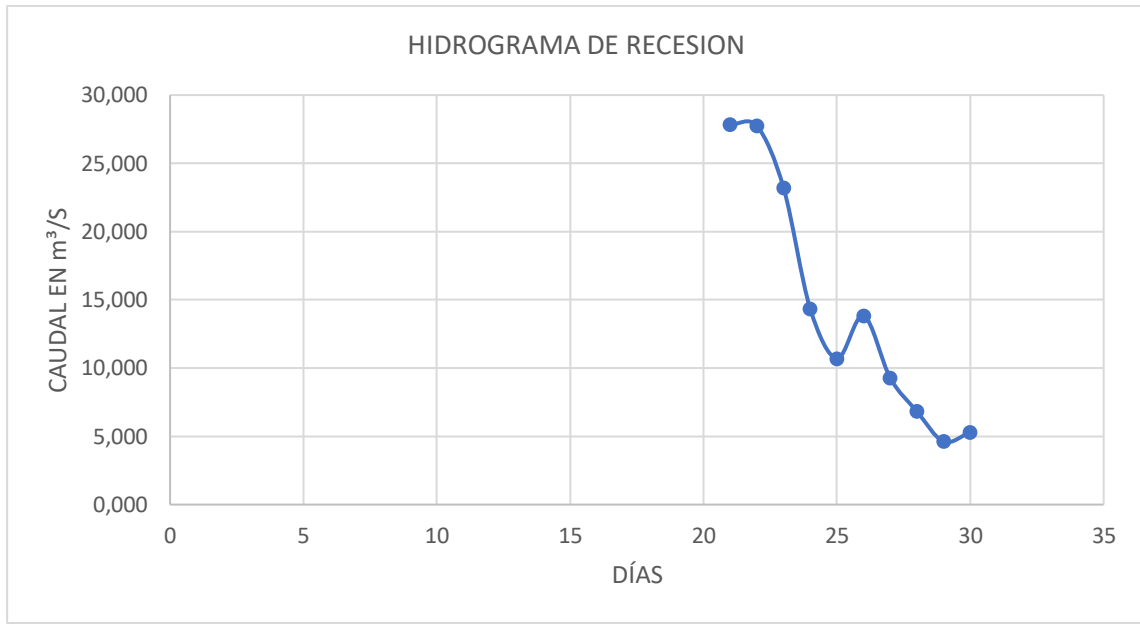
HIDROGRAMA DE RECESIÓN DEL AÑO 2013



HIDROGRAMA DE RECESIÓN DEL AÑO 2014



HIDROGRAMA DE RECESIÓN DEL AÑO 2015



HIDROGRAMA DE RECESIÓN DEL AÑO 2016

NOMBRE Y APELLIDO	CRISTIAN GUILLERMO CALVOPINA TAPIA	
	JHON BRYAN PAZ OCHOA	
TÍTULO DE INVESTIGACION	ANÁLISIS DE RESECIÓN	
NOMBRE DEL ARCHIVO	CÁLCULO DE THIESSEN Y UMBRAL	

- ★ Cálculo de Thiessen para determinar nuestra precipitación ponderada y establecer nuestro Umbral de los diferentes años de estudio.

✓ **AÑO 2003**

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	ENERO	2003	48,000	889,45	50,940
M5103		2003	64,490	1569,17	
M138		2003	29,000	399,8	
M141		2003	37,500	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	FEBRERO	2003	24,3	889,45	53,645
M5103		2003	69,24	1569,17	
M138		2003	70,3	399,8	
M141		2003	46,8	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	MARZO	2003	103,9	889,45	120,674
M5103		2003	150,66	1569,17	
M138		2003	102,2	399,8	
M141		2003	87	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	ABRIL	2003	99,5	889,45	123,313
M5103		2003	140,02	1569,17	
M138		2003	82,8	399,8	
M141		2003	138,5	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	MAYO	2003	44,4	889,45	111,762
M5103		2003	149,46	1569,17	
M138		2003	70,4	399,8	
M141		2003	135,3	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	JUNIO	2003	47,3	889,45	80,438
M5103		2003	98,54	1569,17	
M138		2003	53,4	399,8	
M141		2003	96,6	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	JULIO	2003	23,3	889,45	52,540
M5103		2003	65,56	1569,17	
M138		2003	30,9	399,8	
M141		2003	71,9	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	AGOSTO	2003	7,4	889,45	27,740
M5103		2003	42,31	1569,17	
M138		2003	10	399,8	
M141		2003	30,9	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	SEPTIEMBRE	2003	53,7	889,45	69,061
M5103		2003	89,73	1569,17	
M138		2003	39,5	399,8	
M141		2003	59,6	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	OCTUBRE	2003	100,6	889,45	91,185
M5103		2003	95,73	1569,17	
M138		2003	63,4	399,8	
M141		2003	85,2	734,92	

M139	NOVIEMBRE	2003	90,5	889,45	103,623
M5103		2003	95,4	1569,17	
M138		2003	101,9	399,8	
M141		2003	138	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	DICIEMBRE	2003	49,1	889,45	98,183
M5103		2003	141,25	1569,17	
M138		2003	37,4	399,8	
M141		2003	98,7	734,92	

✓ AÑO 2005

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	ENERO	2005	65,2	889,45	33,127
M5103		2005	3,78	1569,17	
M138		2005	29,4	399,8	
M141		2005	59	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	FEBRERO	2005	91,2	889,45	68,420
M5103		2005	15,05	1569,17	
M138		2005	83,5	399,8	
M141		2005	146,6	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	MARZO	2005	172,9	889,45	139,267
M5103		2005	87,26	1569,17	
M138		2005	122	399,8	
M141		2005	219	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	ABRIL	2005	95,8	889,45	80,302
M5103		2005	42,74	1569,17	
M138		2005	128	399,8	
M141		2005	115,8	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
------------	----------------------	----------------------	---------------	--------------------------	------------------------------

			MENSUAL (MM)		
M139	MAYO	2005	26,4	889,45	28,288
M5103		2005	3,36	1569,17	
M138		2005	14,5	399,8	
M141		2005	91,3	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	JUNIO	2005	57,1	889,45	46,182
M5103		2005	1,01	1569,17	
M138		2005	54,3	399,8	
M141		2005	125	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	JULIO	2005	14,4	889,45	15,377
M5103		2005	1,41	1569,17	
M138		2005	26	399,8	
M141		2005	40,6	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	AGOSTO	2005	12,1	889,45	11,732
M5103		2005	0,46	1569,17	
M138		2005	11,1	399,8	
M141		2005	35,7	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	SEPTIEMBRE	2005	16,9	889,45	16,703
M5103		2005	4,21	1569,17	
M138		2005	15,3	399,8	
M141		2005	43,9	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	OCTUBRE	2005	116	889,45	94,359
M5103		2005	101,67	1569,17	
M138		2005	88,4	399,8	
M141		2005	55,8	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	NOVIEMBRE	2005	44,3	889,45	70,798
M5103		2005	91,69	1569,17	
M138		2005	42,6	399,8	
M141		2005	73,6	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	DICIEMBRE	2005	153	889,45	99,254
M5103		2005	7,75	1569,17	
M138		2005	133,6	399,8	
M141		2005	210,9	734,92	

✓ AÑO 2010

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	ENERO	2010	15,1	889,45	31,746
M5103		2010	26,23	1569,17	
M138		2010	23,6	399,8	
M141		2010	68,1	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
------------	----------------------	----------------------	----------------------------	--------------------------	------------------------------

M139	FEBRERO	2010	75,4	889,45	90,445
M5103		2010	89,1	1569,17	
M138		2010	43,8	399,8	
M141		2010	136,9	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	MARZO	2010	36,4	889,45	63,450
M5103		2010	78,33	1569,17	
M138		2010	34,8	399,8	
M141		2010	80	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	ABRIL	2010	107,3	889,45	104,052
M5103		2010	102,53	1569,17	
M138		2010	92,6	399,8	
M141		2010	109,6	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	MAYO	2010	87,1	889,45	60,781
M5103		2010	3,35	1569,17	
M138		2010	106,1	399,8	
M141		2010	126,9	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	JUNIO	2010	96,3	889,45	66,352
M5103		2010	19,69	1569,17	
M138		2010	100,8	399,8	
M141		2010	111	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
------------	----------------------	----------------------	---------------	--------------------------	------------------------------

			MENSUAL (MM)		
M139	JULIO	2010	79	889,45	48,380
M5103		2010	1,98	1569,17	
M138		2010	96,9	399,8	
M141		2010	84	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	AGOSTO	2010	37,6	889,45	26,404
M5103		2010	13,06	1569,17	
M138		2010	29,8	399,8	
M141		2010	39,5	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	SEPTIEMBRE	2010	33,7	889,45	41,871
M5103		2010	52,32	1569,17	
M138		2010	25,6	399,8	
M141		2010	38,3	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	OCTUBRE	2010	72,9	889,45	63,222
M5103		2010	74,52	1569,17	
M138		2010	47,2	399,8	
M141		2010	36,1	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	NOVIEMBRE	2010	175,4	889,45	101,613

M5103		2010	76,37	1569,17	
M138		2010	134,9	399,8	
M141		2010	48,1	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	DICIEMBRE	2010	140,8	889,45	102,210
M5103		2010	84,38	1569,17	
M138		2010	116,5	399,8	
M141		2010	85,8	734,92	

✓ 2012

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	ENERO	2012	105	889,45	156,190
M5103		2012	212,26	1569,17	
M138		2012	97,6	399,8	
M141		2012	130,3	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	FEBRERO	2012	118,8	889,45	146,153
M5103		2012	176,4	1569,17	
M138		2012	118,9	399,8	
M141		2012	129,5	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	MARZO	2012	100,8	889,45	122,869
M5103		2012	168,78	1569,17	
M138		2012	49,8	399,8	

M141		2012	91,3	734,92	
------	--	------	------	--------	--

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	ABRIL	2012	161	889,45	120,946
M5103		2012	126,65	1569,17	
M138		2012	102	399,8	
M141		2012	70,6	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	MAYO	2012	55,9	889,45	70,295
M5103		2012	89,9	1569,17	
M138		2012	53,3	399,8	
M141		2012	55,1	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	JUNIO	2012	47,7	889,45	61,021
M5103		2012	71,87	1569,17	
M138		2012	49,4	399,8	
M141		2012	60,3	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	JULIO	2012	34,8	889,45	50,853
M5103		2012	65,68	1569,17	
M138		2012	40,6	399,8	
M141		2012	44,2	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	AGOSTO	2012	17,2	889,45	45,723
M5103		2012	62,35	1569,17	

M138		2012	32,2	399,8	
M141		2012	52,1	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	SEPTIEMBRE	2012	7,6	889,45	29,303
M5103		2012	48,64	1569,17	
M138		2012	14,2	399,8	
M141		2012	22,5	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	OCTUBRE	2012	147,5	889,45	101,865
M5103		2012	74,44	1569,17	
M138		2012	147,8	399,8	
M141		2012	80,2	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	NOVIEMBRE	2012	91,4	889,45	99,885
M5103		2012	106,15	1569,17	
M138		2012	90,1	399,8	
M141		2012	102,1	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	DICIEMBRE	2012	72,2	889,45	65,379
M5103		2012	66,81	1569,17	
M138		2012	56,5	399,8	
M141		2012	58,9	734,92	

✓ 2014

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	ENERO	2014	91	889,45	86,295
M5103		2014	90,21	1569,17	
M138		2014	61	399,8	
M141		2014	86	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	FEBRERO	2014	47	889,45	62,027
M5103		2014	84	1569,17	
M138		2014	35	399,8	
M141		2014	48	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	MARZO	2014	130	889,45	110,155
M5103		2014	81,4	1569,17	
M138		2014	124	399,8	
M141		2014	140	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	ABRIL	2014	60	889,45	42,869
M5103		2014	12,1	1569,17	
M138		2014	83	399,8	
M141		2014	66	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	MAYO	2014	122	889,45	99,457
M5103		2014	74,33	1569,17	
M138		2014	112	399,8	
M141		2014	119	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	JUNIO	2014	33	889,45	64,195
M5103		2014	76,24	1569,17	
M138		2014	83	399,8	
M141		2014	66	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	JULIO	2014	35	889,45	54,846
M5103		2014	60,7	1569,17	
M138		2014	50	399,8	
M141		2014	69	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	AGOSTO	2014	21	889,45	38,591
M5103		2014	41,71	1569,17	
M138		2014	39	399,8	
M141		2014	53	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	SEPTIEMBRE	2014	32	889,45	50,903
M5103		2014	48,13	1569,17	
M138		2014	43	399,8	
M141		2014	84	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	OCTUBRE	2014	86	889,45	96,851
M5103		2014	93,88	1569,17	
M138		2014	114	399,8	
M141		2014	107	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	NOVIEMBRE	2014	90	889,45	61,774
M5103		2014	39,44	1569,17	
M138		2014	66	399,8	
M141		2014	73	734,92	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M139	DICIEMBRE	2014	73	889,45	63,758
M5103		2014	61,5	1569,17	
M138		2014	70	399,8	
M141		2014	54	734,92	

**Precipitación ponderada
mediante polígonos de Thiessen**

	Año 2003	Año 2005	Año 2010	Año 2012	Año 2014
MESES	Prec. (mm)	Prec. (mm)	Prec. (mm)	Prec. (mm)	Prec. (mm)
ENERO	50,940	33,127	31,746	156,190	86,295
FEBRERO	53,645	68,420	90,445	146,153	62,027
MARZO	120,674	139,267	63,450	122,869	110,155
ABRIL	123,313	80,302	104,052	120,946	42,869
MAYO	111,762	28,288	60,781	70,295	99,457
JUNIO	80,438	46,182	66,352	61,021	64,195
JULIO	52,540	15,377	48,380	50,853	54,846
AGOSTO	27,740	11,732	26,404	45,723	38,591
SEPTIEMBRE	69,061	16,703	41,871	29,303	50,903
OCTUBRE	91,185	94,359	63,222	101,865	96,851
NOVIEMBRE	103,623	70,798	101,613	99,885	61,774
DICIEMBRE	98,183	99,254	102,210	65,379	63,758

Determinación del umbral

AÑO	MES	UMBRAL	UNIDADES
2003	SEPTIEMBRE	69,061	mm/mes
2005	JUNIO	46,182	mm/mes
2010	JULIO	48,380	mm/mes
2012	MAYO	70,295	mm/mes
2014	JUNIO	64,195	mm/mes
PROMEDIO		59,622	mm/mes

NOMBRE Y APELLIDO	CRISTIAN GUILLERMO CALVOPINA TAPIA	
	JHON BRYAN PAZ OCHOA	
TÍTULO DE INVESTIGACIÓN	ANÁLISIS DE RECESIÓN	
NOMBRE DEL ARCHIVO	CÁLCULO DE LA CONSTANTE DE RECESIÓN	

★ Cálculo de la constante de recesión (K) de los diferentes años de estudio.

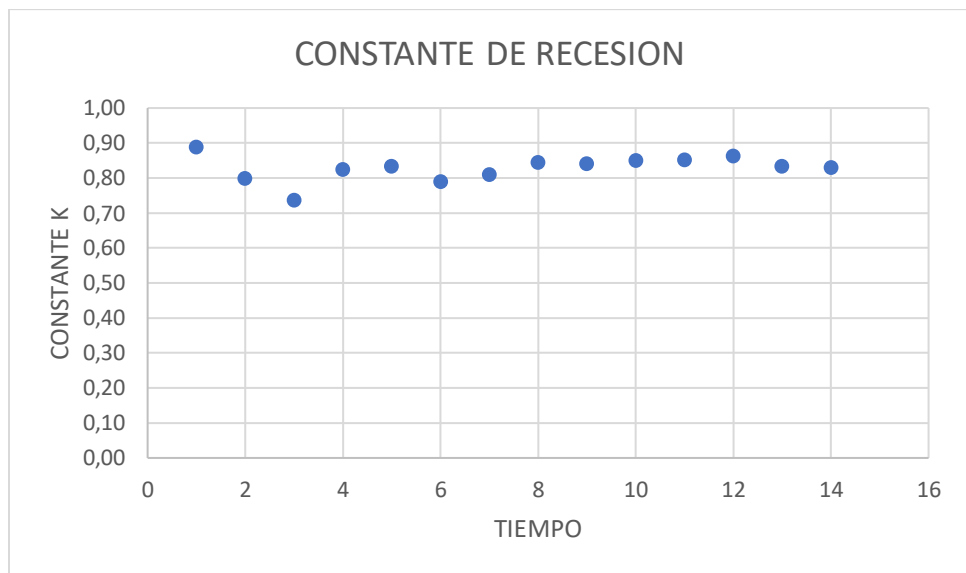
H894 PAUTE EN PAUTE				
AÑO	CAUDAL INICIAL (Q ₀) (m ³ /s)	CAUDAL FINAL (Q) (m ³ /s)	TIEMPO (T) (DÍAS)	CONSTANTE DE RECESIÓN (K)
2003	12,431	6,174	6	0,890
2005	15,841	4,84	8	0,862
2010	10,209	6,8109	14	0,972
2012	21,292	8,567	15	0,941
2014	13,728	4,842	16	0,937

MESES	UMBRAL
ENERO	72,93
FEBRERO	72,93
MARZO	72,93
ABRIL	72,93
MAYO	72,93
JUNIO	72,93
JULIO	72,93
AGOSTO	72,93
SEPTIEMBRE	72,93
OCTUBRE	72,93
NOVIEMBRE	72,93
DICIEMBRE	72,93

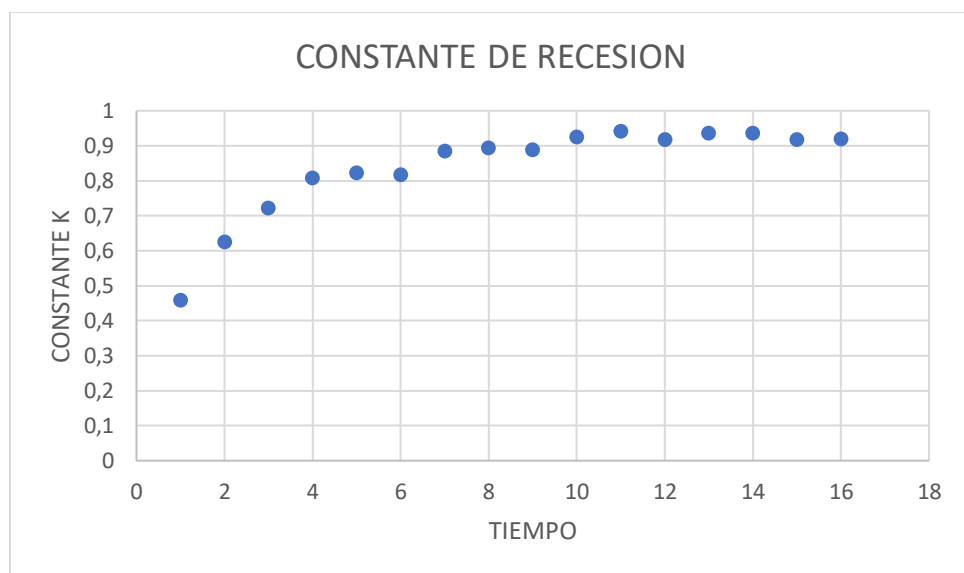
NOMBRE Y APELLIDO	CRISTIAN GUILLERMO CALVOPINA TAPIA	
	JHON BRYAN PAZ OCHOA	
TÍTULO DE INVESTIGACIÓN	ANÁLISIS DE RECESIÓN	
NOMBRE DEL ARCHIVO	CÁLCULO DE LA CONSTANTE DE RECESIÓN	

★ Cálculo y representación gráfica de la constante de recesión de los diferentes años de estudio.

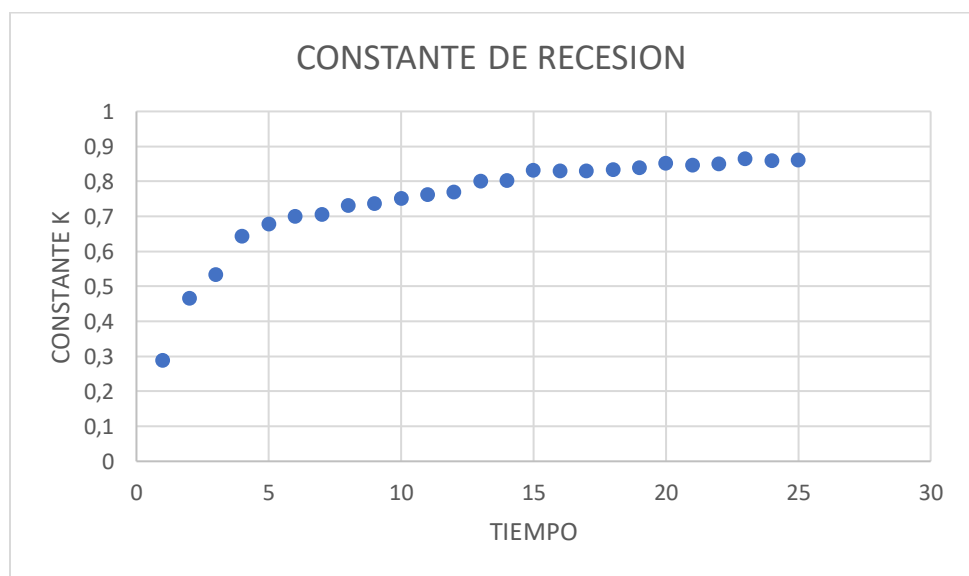
H894 PAUTE EN PAUTE					
AÑO	DÍAS	CAUDAL INICIAL (Q ₀) (m ³ /s)	CAUDAL FINAL (Q) (m ³ /s)	TIEMPO (T) (DÍAS)	CONSTANTE DE RECESIÓN (K)
2005	254	65,041	57,858	1	0,89
	255	65,041	41,459	2	0,80
	256	65,041	26,124	3	0,74
	257	65,041	30,014	4	0,82
	258	65,041	26,124	5	0,83
	259	65,041	15,841	6	0,79
	260	65,041	14,832	7	0,81
	270	65,041	16,877	8	0,84
	271	65,041	13,851	9	0,84
	272	65,041	12,897	10	0,85
	273	65,041	11,077	11	0,85
	274	65,041	11,077	12	0,86
	275	65,041	6,174	13	0,83
	276	65,041	4,84	14	0,83



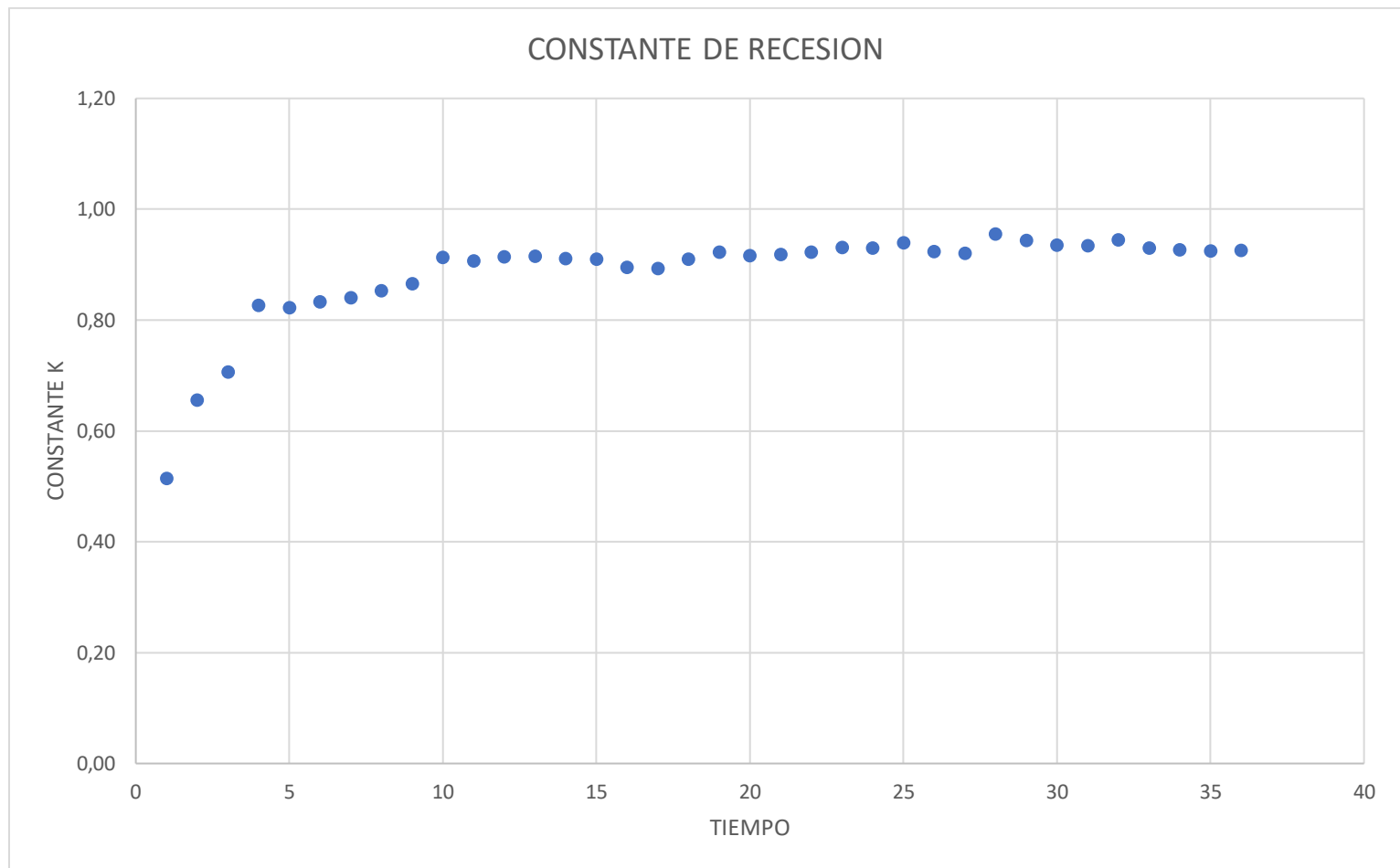
H894 PAUTE EN PAUTE					
AÑO	DIAS	CAUDAL INICIAL (Qo) (m3/s)	CAUDAL FINAL (Q) (m3/s)	TIEMPO (T) (DIAS)	CONSTANTE DE RECESION (K)
2010	298	26,122	11,974	1	0,458387566
	299	26,122	10,209	2	0,625155979
	300	26,122	9,787	3	0,720910008
	301	26,122	11,078	4	0,806981788
	302	26,122	9,787	5	0,821729035
	303	26,122	7,787	6	0,817323448
	304	26,122	11,078	7	0,884665878
	305	26,122	10,641	8	0,89381369
	306	26,122	8,966	9	0,887971742
	307	26,122	11,974	10	0,924960705
	308	26,122	13,369	11	0,940922521
	309	26,122	9,374	12	0,918142048
	310	26,122	11,078	13	0,936144063
	311	26,122	10,209	14	0,93509446
	312	26,122	7,194	15	0,917619872
	313	26,122	6,811	16	0,919416683



H894 PAUTE EN PAUTE					
AÑO	DÍAS	CAUDAL INICIAL (Q ₀) (m ³ /s)	CAUDAL FINAL (Q) (m ³ /s)	TIEMPO (T) (DÍAS)	CONSTANTE DE RECESION (K)
2012	242	377,154	108,291	1	0,287126744
	243	377,154	81,446	2	0,464703048
	244	377,154	56,985	3	0,532615676
	245	377,154	64,125	4	0,642136217
	246	377,154	53,545	5	0,676768351
	247	377,154	43,772	6	0,698414014
	248	377,154	32,731	7	0,705259022
	249	377,154	30,685	8	0,730804018
	250	377,154	23,658	9	0,73516423
	251	377,154	21,292	10	0,750187414
	252	377,154	19,03	11	0,762225796
	253	377,154	15,842	12	0,767846262
	254	377,154	20,715	13	0,799942811
	255	377,154	16,88	14	0,800999802
	256	377,154	23,057	15	0,830014359
	257	377,154	19,03	16	0,829721807
	258	377,154	15,842	17	0,829883509
	259	377,154	13,852	18	0,832295279
	260	377,154	13,369	19	0,838807135
	261	377,154	14,833	20	0,850619852
	262	377,154	11,078	21	0,845366216
	263	377,154	10,209	22	0,848688634
	264	377,154	12,899	23	0,863500299
	265	377,154	9,787	24	0,858859492
	266	377,154	8,567	25	0,859512905



H894 PAUTE EN PAUTE					
AÑO	DIAS	CAUDAL INICIAL (Qo) (m3/s)	CAUDAL FINAL (Q) (m3/s)	TIEMPO (T) (DIAS)	CONSTANTE DE RECESION (K)
2014	8	77,622	39,961	1	0,51
	9	77,622	33,407	2	0,66
	10	77,622	27,346	3	0,71
	11	77,622	36,261	4	0,83
	12	77,622	29,311	5	0,82
	13	77,622	26,065	6	0,83
	14	77,622	22,982	7	0,84
	15	77,622	21,792	8	0,85
	16	77,622	21,209	9	0,87
	17	77,622	31,333	10	0,91
	18	77,622	26,701	11	0,91
	19	77,622	26,701	12	0,91
	20	77,622	24,813	13	0,92
	21	77,622	21,209	14	0,91
	22	77,622	18,934	15	0,91
	23	77,622	13,245	16	0,90
	24	77,622	11,386	17	0,89
	25	77,622	14,216	18	0,91
	26	77,622	16,768	19	0,92
	27	77,622	13,728	20	0,92
	28	77,622	13,245	21	0,92
	29	77,622	13,245	22	0,92
	30	77,622	15,215	23	0,93
	31	77,622	13,728	24	0,93
	32	77,622	16,242	25	0,94
	33	77,622	10,067	26	0,92
	34	77,622	8,418	27	0,92
	35	77,622	21,792	28	0,96
	36	77,622	14,713	29	0,94
	37	77,622	10,502	30	0,94
	38	77,622	9,641	31	0,93
	39	77,622	12,767	32	0,95
	40	77,622	7,261	33	0,93
	41	77,622	5,827	34	0,93
	42	77,622	5,162	35	0,93
	43	77,622	4,842	36	0,93



NOMBRE Y APELLIDO	CRISTIAN GUILLERMO CALVOPIÑA TAPIA	
	JHON BRYAN PAZ OCHOA	
TÍTULO DE INVESTIGACION	ANÁLISIS DE RESECIÓN	
NOMBRE DEL ARCHIVO	CÁLCULO DE LA CONSTANTE DE RECESIÓN	

★ Cálculo de LOG(Qo) de los diferentes años distribuidos por 5 bloques para poder representar nuestro coeficiente R2.

H894 PAUTE EN PAUTE		AÑO 2003		AÑO 2005			AÑO 2010			AÑO 2012			AÑO 2014		
AÑO		BLOQUE 1		BLOQUE 2			BLOQUE 3			BLOQUE 4			BLOQUE 5		
DIAS	TIEMPO	CAUDAL INICIAL (Qo) (m3/s)	LOG(Qo)	DIAS	CAUDAL INICIAL (Qo) (m3/s)	LOG(Qo)	DIAS	CAUDAL INICIAL (Qo) (m3/s)	LOG(Qo)	DIAS	CAUDAL INICIAL (Qo) (m3/s)	LOG(Qo)	DIAS	CAUDAL INICIAL (Qo) (m3/s)	LOG(Qo)
302	1	51,027	1,708	254	65,041	1,813	298	26,122	1,417	242	377,154	2,577	25	11,386	1,056
303	2	19,587	1,292	255	57,858	1,762	299	11,974	1,078	243	108,291	2,035	26	14,216	1,153
304	3	12,431	1,095	256	41,459	1,618	300	10,209	1,009	244	81,446	1,911	27	16,768	1,224
305	4	11,077	1,044	257	26,124	1,417	301	9,787	0,991	245	56,985	1,756	28	13,728	1,138
306	5	8,565	0,933	258	30,014	1,477	302	11,078	1,044	246	64,125	1,807	29	13,245	1,122
307	6	7,259	0,861	259	26,124	1,417	303	9,787	0,991	247	53,545	1,729	30	13,245	1,122
308	7	6,527	0,815	260	15,841	1,200	304	7,787	0,891	248	43,772	1,641	31	15,215	1,182
309	8	7,259	0,861	261	14,832	1,171	305	11,078	1,044	249	32,731	1,515	32	13,728	1,138
310	9	6,174	0,791	262	16,877	1,227	306	10,641	1,027	250	30,685	1,487	33	16,242	1,211
311	10	7,788	0,891	263	13,851	1,141	307	8,966	0,953	251	23,658	1,374	34	10,067	1,003
312	11	7,259	0,861	264	12,897	1,110	308	11,974	1,078	252	21,292	1,328	35	8,418	0,925
313	12	9,787	0,991	265	11,077	1,044	309	13,369	1,126	253	19,03	1,279	36	21,792	1,338
314	13	8,173	0,912	266	11,077	1,044	310	9,374	0,972	254	15,842	1,200	37	14,713	1,168
315	14	21,292	1,328	267	6,174	0,791	311	11,078	1,044	255	20,715	1,316	38	10,502	1,021
316	15	17,941	1,254	268	4,84	0,685	312	10,209	1,009	256	16,88	1,227	39	9,641	0,984
317	16	17,406	1,241	269	8,965	0,953	313	7,193638	0,857	257	23,057	1,363	40	12,767	1,106
318	17	15,841	1,200	270	15,333	1,186	314	6,8109	0,833	258	19,03	1,279	41	7,261	0,861
319	18	12,897	1,110	271	21,292	1,328	315	8,966	0,953	259	15,842	1,200	42	5,827	0,765
320	19	11,521	1,061	272	27,396	1,438	316	15,842	1,200	260	13,852	1,142	43	5,162	0,713
321	20	34,126	1,533	273	22,462	1,351	317	13,369	1,126	261	13,369	1,126	44	4,842	0,685
322	22	33,426	1,524	274	16,356	1,214	318	18,485	1,267	262	14,833	1,171	45	15,726	1,197
323	23	63,213	1,801	275	18,483	1,267	319	61,407	1,788	263	11,078	1,044	46	48,617	1,687
324	24	32,043	1,506	276	32,043	1,506	320	37,716	1,577	264	10,209	1,009	47	14,713	1,168
325	25	52,701	1,722	277	37,718	1,577	321	40,697	1,610	265	12,899	1,111	48	10,502	1,021
326	26	108,292	2,035	278	27,396	1,438	322	70,654	1,849	266	9,787	0,991	49	15,215	1,182
327	27	84,5	1,927	279	23,056	1,363	323	42,997	1,633	267	8,567	0,933	50	11,386	1,056
328	28	24,264	1,385	280	21,292	1,328	324	23,658	1,374	268	11,974	1,078	51	12,299	1,090
329	29	19,031	1,279	281	16,877	1,227	325	24,878	1,396	269	11,974	1,078	52	19,493	1,290
330	30	23,056	1,363	282	16,877	1,227	326	29,352	1,468	270	48,559	1,686	53	15,215	1,182
331	31	14,338	1,156	283	71,611	1,855	327	21,292	1,328	271	140,764	2,148	54	10,937	1,039

★ Cálculo de la constante de recesión (K) por 4 y 5 bloques para la cuenca del río Paute.

NOMBRE Y APELLIDO	CRISTIAN GUILLERMO CALVOPIÑA TAPIA	
	JHON BRYAN PAZ OCHOA	
TITULO DE INVESTIGACION	ANALISIS DE RESECCION	
NOMBRE DEL ARCHIVO	CALCULO DE LA CONSTANTE DE RECESIÓN	

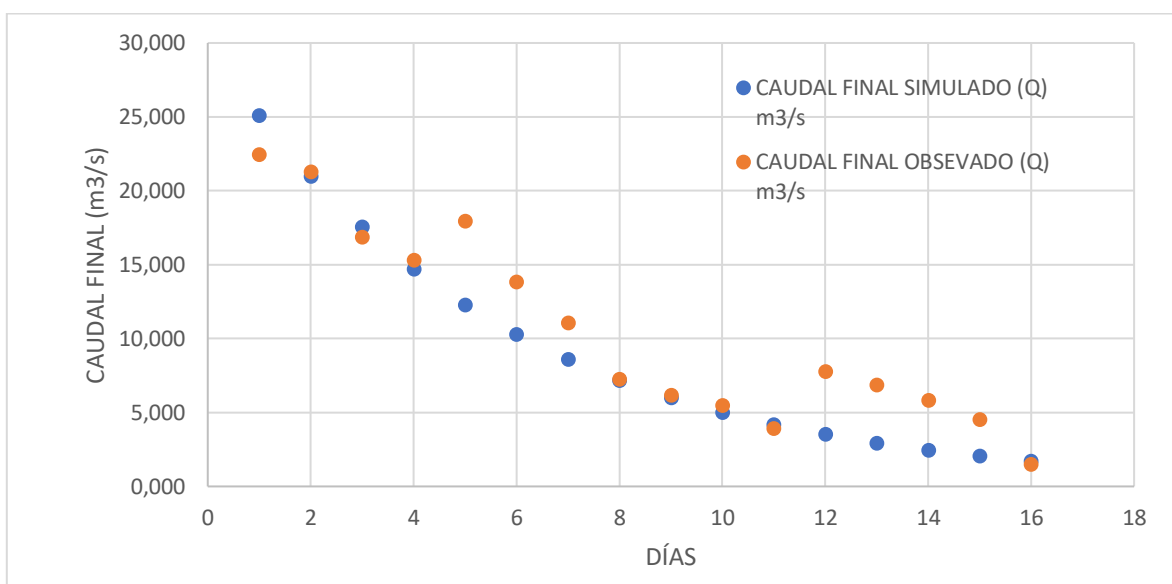
H894 PAUTE EN PAUTE													
BLOQUE	DIAS	N DE FLUJO	CAUDAL INCIAL (Qo) (m3/s)	LOG(Qo)	VARIANZA	PROMEDIO	U* _{yi}	(ni ³ -ni)	0.5*(ni)(ni+1)	0.5*(ni)(ni+1)* _{yi}	Sum1	Log (K)	K
BLOQUE 1	303	1	19,587	1,292	0,0257	0,961	1,292	504	36	34,608	-2,719	-0,0776	0,8364
	304	2	12,431	1,095			2,189						
	305	3	11,077	1,044			3,133						
	306	4	8,565	0,933			3,731						
	307	5	7,259	0,861			4,304						
	308	6	6,527	0,815			4,888						
	309	7	7,259	0,861			6,026						
	310	8	6,174	0,791			6,325						
BLOQUE 2	254	1	65,041	1,813	0,0489	1,484	1,813	504	36	53,440	-3,924		
	255	2	57,858	1,762			3,525						
	256	3	41,459	1,618			4,853						
	257	4	26,124	1,417			5,668						
	258	5	30,014	1,477			7,387						
	259	6	26,124	1,417			8,502						
	260	7	15,841	1,200			8,398						
	261	8	14,832	1,171			9,370						
BLOQUE 3	298	1	26,122	1,417	0,0226	1,088	1,417	210	21	22,855	-1,126		
	299	2	11,974	1,078			2,156						
	300	3	10,209	1,009			3,027						
	301	4	9,787	0,991			3,963						
	302	5	11,078	1,044			5,222						
	303	6	9,787	0,991			5,944						
BLOQUE 4	246	1	64,125	1,807	0,0388	1,484	1,807	720	45	66,801	-4,544		
	247	2	53,545	1,729			3,457						
	248	3	43,772	1,641			4,924						
	249	4	32,731	1,515			6,060						
	250	5	30,685	1,487			7,435						
	251	6	23,658	1,374			8,244						
	252	7	21,292	1,328			9,298						
	253	8	19,03	1,279			10,236						
	254	9	15,842	1,200			10,798						
BLOQUE 5	40	1	12,767	1,106	0,0232	0,826	1,106	120	15	12,391	-0,990		
	41	2	7,261	0,861			1,722						
	42	3	5,827	0,765			2,296						
	43	4	5,162	0,713			2,851						
	44	5	4,842	0,685			3,425						

H894 PAUTE EN PAUTE													
BLOQUE	DIAS	N DE FLUJO	CAUDAL INCIAL (Qo) (m3/s)	LOG(Qo)	VARIANZA	PROMEDIO	U*yiu	(ni³- ni)	0.5*(ni)(ni+1)	0.5*(ni)(ni+1)*yi	Sum1	Log (K)	K
BLOQUE 1	303	1	19,587	1,292	0,0257	0,961	1,292	504	36	34,608	-2,719	-0,0791	0,8335
	304	2	12,431	1,095			2,189						
	305	3	11,077	1,044			3,133						
	306	4	8,565	0,933			3,731						
	307	5	7,259	0,861			4,304						
	308	6	6,527	0,815			4,888						
	309	7	7,259	0,861			6,026						
	310	8	6,174	0,791			6,325						
BLOQUE 2	254	1	65,041	1,813	0,0489	1,484	1,813	504	36	53,440	-3,924		
	255	2	57,858	1,762			3,525						
	256	3	41,459	1,618			4,853						
	257	4	26,124	1,417			5,668						
	258	5	30,014	1,477			7,387						
	259	6	26,124	1,417			8,502						
	260	7	15,841	1,200			8,398						
	261	8	14,832	1,171			9,370						
BLOQUE 4	246	1	64,125	1,807	0,0388	1,484	1,807	720	45	66,801	-4,544		
	247	2	53,545	1,729			3,457						
	248	3	43,772	1,641			4,924						
	249	4	32,731	1,515			6,060						
	250	5	30,685	1,487			7,435						
	251	6	23,658	1,374			8,244						
	252	7	21,292	1,328			9,298						
	253	8	19,03	1,279			10,236						
BLOQUE 5	254	9	15,842	1,200	0,0232	0,826	10,798	120	15	12,391	-0,990		
	40	1	12,767	1,106			1,106						
	41	2	7,261	0,861			1,722						
	42	3	5,827	0,765			2,296						
	43	4	5,162	0,713			2,851						
	44	5	4,842	0,685			3,425						

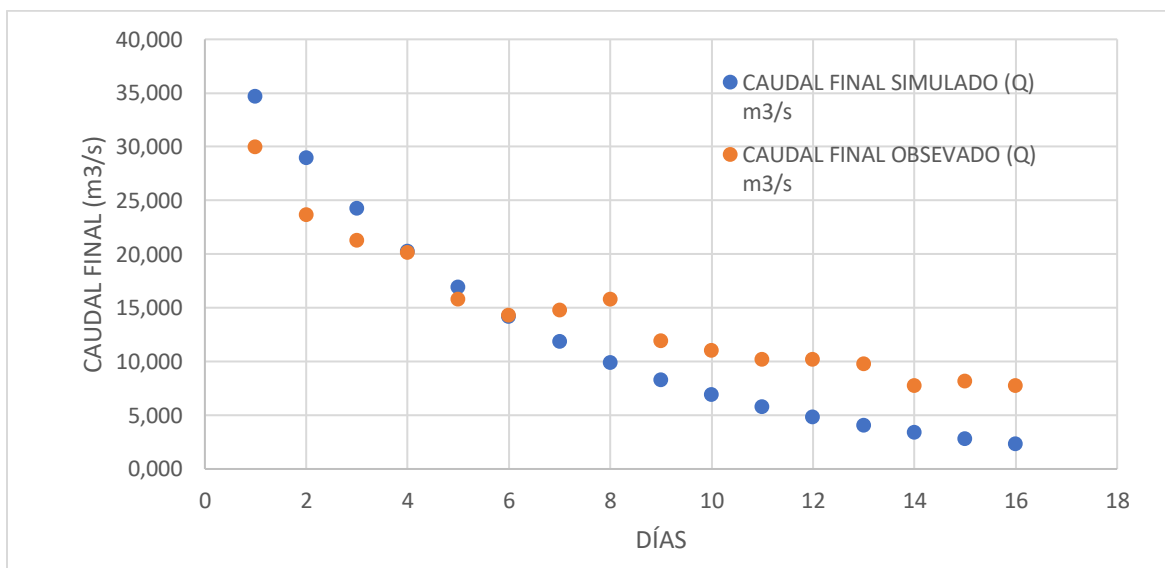
NOMBRE Y APELLIDO	CRISTIAN GUILLERMO CALVOPIÑA TAPIA	
	JHON BRYAN PAZ OCHOA	
TÍTULO DE INVESTIGACION	ANÁLISIS DE RESECIÓN	
NOMBRE DEL ARCHIVO	VALIDACIÓN DEL MÉTODO	

★ Cálculo del caudal final simulado para la realización de nuestra grafica que para validar la precisión de nuestra constante de recesión (K).

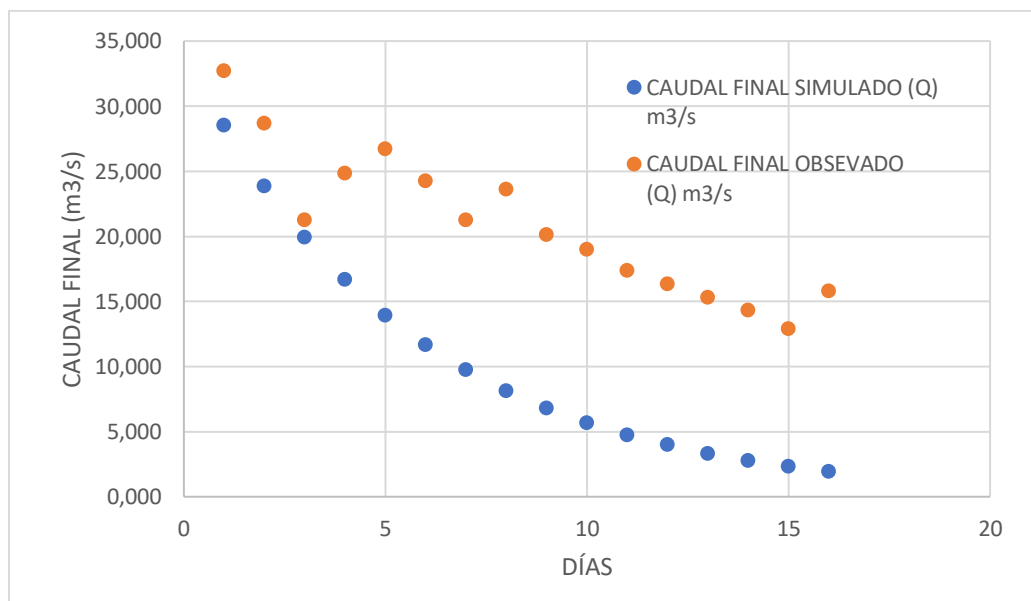
H894 PAUTE EN PAUTE						
AÑO	CAUDAL INICIAL (Q ₀) (m ³ /s)	CONSTANTE DE RECESIÓN (K)	CAUDAL FINAL OBSERVADO (Q) (m ³ /s)	LOG Q ₀	TIEMPO (T) (DÍAS)	CAUDAL FINAL SIMULADO (Q) (m ³ /s)
2004	30,014	0,836430442	22,462	1,477	1	25,105
	30,014		21,292		2	20,998
	30,014		16,877		3	17,564
	30,014		15,333		4	14,691
	30,014		17,941		5	12,288
	30,014		13,851		6	10,278
	30,014		11,077		7	8,597
	30,014		7,259		8	7,191
	30,014		6,174		9	6,014
	30,014		5,49		10	5,031
	30,014		3,93		11	4,208
	30,014		7,788		12	3,520
	30,014		6,889		13	2,944
	30,014		5,828		14	2,462
	30,014		4,528		15	2,060
	30,014		1,49		16	1,723



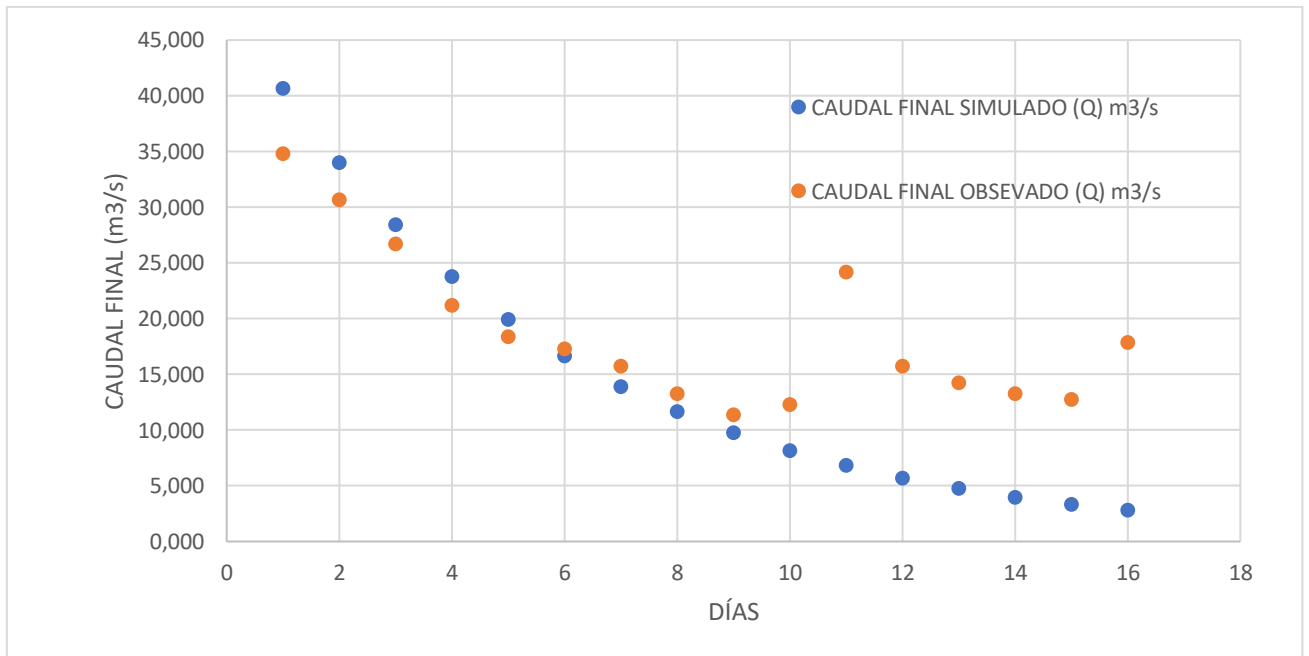
H894 PAUTE EN PAUTE						
AÑO	CAUDAL INICIAL (Qo) (m3/s)	CONSTANTE DE RECESION (K)	CAUDAL FINAL OBSERVADO (Q) (m3/s)	LOG Qo	TIEMPO (T) (DIAS)	CAUDAL FINAL SIMULADO (Q) (m3/s)
2009	41,459	0,836430442	30,014	1,618	1	34,678
	41,459		23,657		2	29,005
	41,459		21,292		3	24,261
	41,459		20,149		4	20,293
	41,459		15,841		5	16,973
	41,459		14,338		6	14,197
	41,459		14,832		7	11,875
	41,459		15,841		8	9,932
	41,459		11,973		9	8,308
	41,459		11,077		10	6,949
	41,459		10,21		11	5,812
	41,459		10,21		12	4,862
	41,459		9,787		13	4,066
	41,459		7,788		14	3,401
	41,459		8,173		15	2,845
	41,459		7,788		16	2,380



H894 PAUTE EN PAUTE						
AÑO	CAUDAL INICIAL (Qo) (m3/s)	CONSTANTE DE RECESION (K)	CAUDAL FINAL OBSERVADO (Q) (m3/s)	LOG Qo	TIEMPO (T) (DIAS)	CAUDAL FINAL SIMULADO (Q) (m3/s)
2011	34,125	0,836430442	32,731	1,533	1	28,543
	34,125		28,694		2	23,874
	34,125		21,292		3	19,969
	34,125		24,878		4	16,703
	34,125		26,756		5	13,971
	34,125		24,263		6	11,686
	34,125		21,292		7	9,774
	34,125		23,658		8	8,175
	34,125		20,147		9	6,838
	34,125		19,03		10	5,720
	34,125		17,405		11	4,784
	34,125		16,354		12	4,002
	34,125		15,331		13	3,347
	34,125		14,336		14	2,800
	34,125		12,899		15	2,342
	34,125		15,842		16	1,959

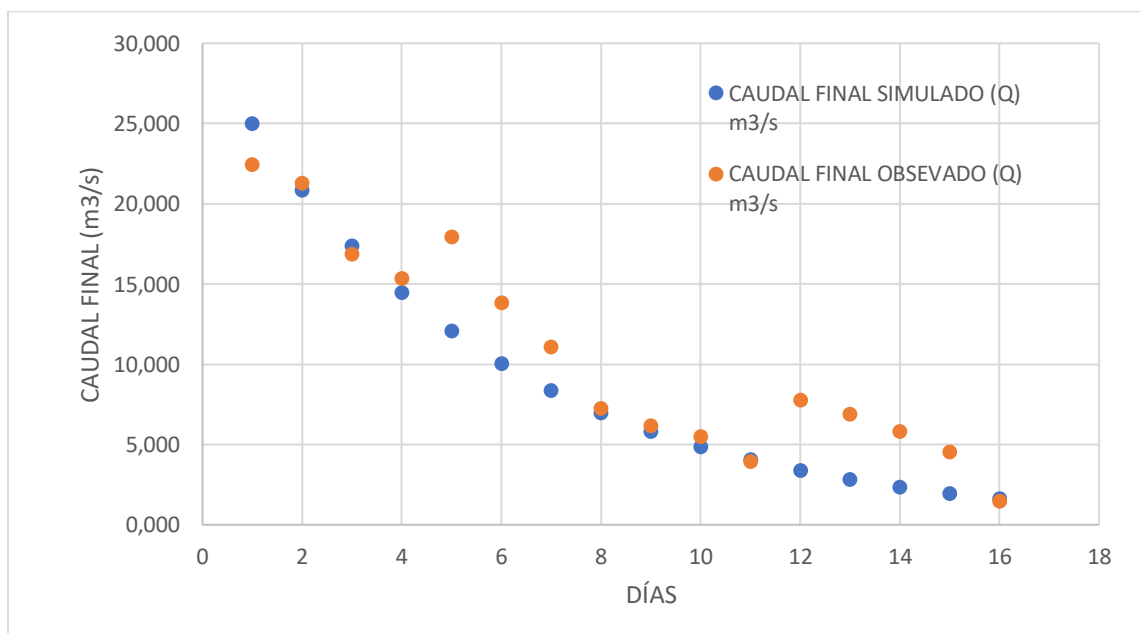


H894 PAUTE EN PAUTE						
AÑO	CAUDAL INICIAL (Q ₀) (m ³ /s)	CONSTANTE DE RECESION (K)	CAUDAL FINAL OBSERVADO (Q) (m ³ /s)	LOG Q ₀	TIEMPO (T) (DIAS)	CAUDAL FINAL SIMULADO (Q) (m ³ /s)
2015	48,617	0,836430442	34,822	1,687	1	40,665
	48,617		30,654		2	34,013
	48,617		26,701		3	28,450
	48,617		21,209		4	23,796
	48,617		18,384		5	19,904
	48,617		17,299		6	16,648
	48,617		15,726		7	13,925
	48,617		13,245		8	11,647
	48,617		11,386		9	9,742
	48,617		12,299		10	8,149
	48,617		24,196		11	6,816
	48,617		15,726		12	5,701
	48,617		14,216		13	4,768
	48,617		13,245		14	3,988
	48,617		12,767		15	3,336
	48,617		17,839		16	2,790

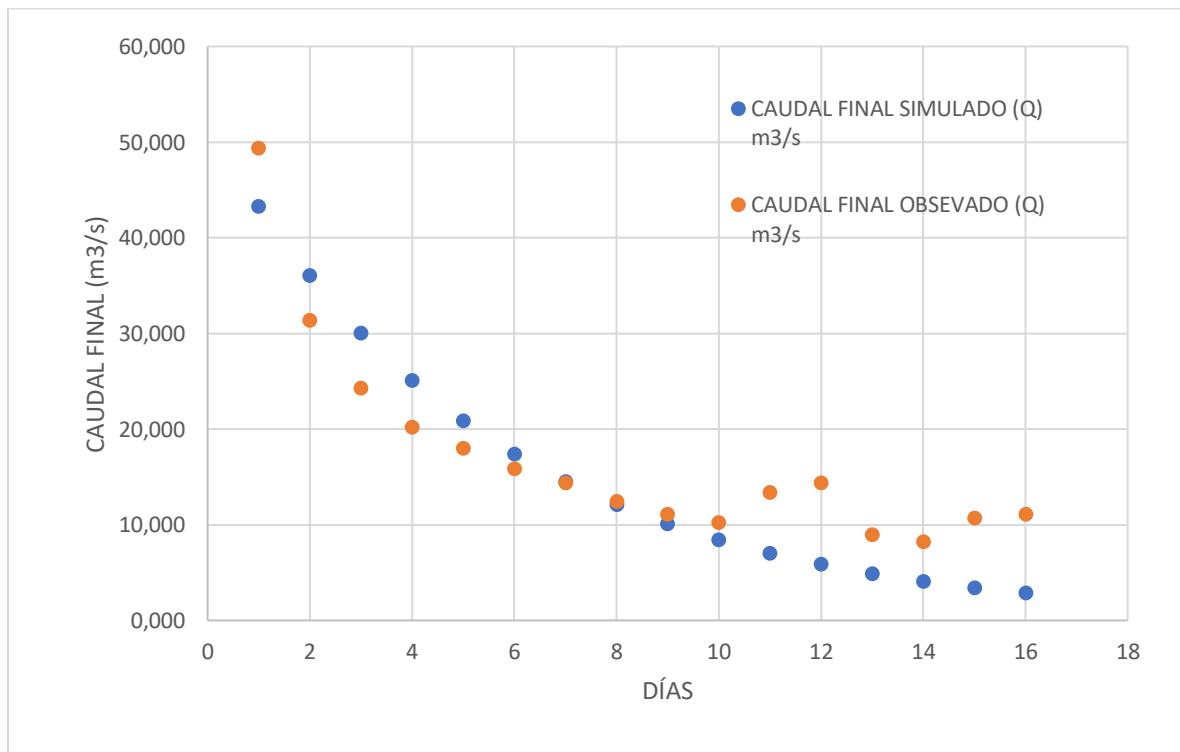


NOMBRE Y APELLIDO	CRISTIAN GUILLERMO CALVOPIÑA TAPIA	
	JHON BRYAN PAZ OCHOA	
TITULO DE INVESTIGACION	ANÁLISIS DE RESECIÓN	
NOMBRE DEL ARCHIVO	VALIDACIÓN DEL MÉTODO	

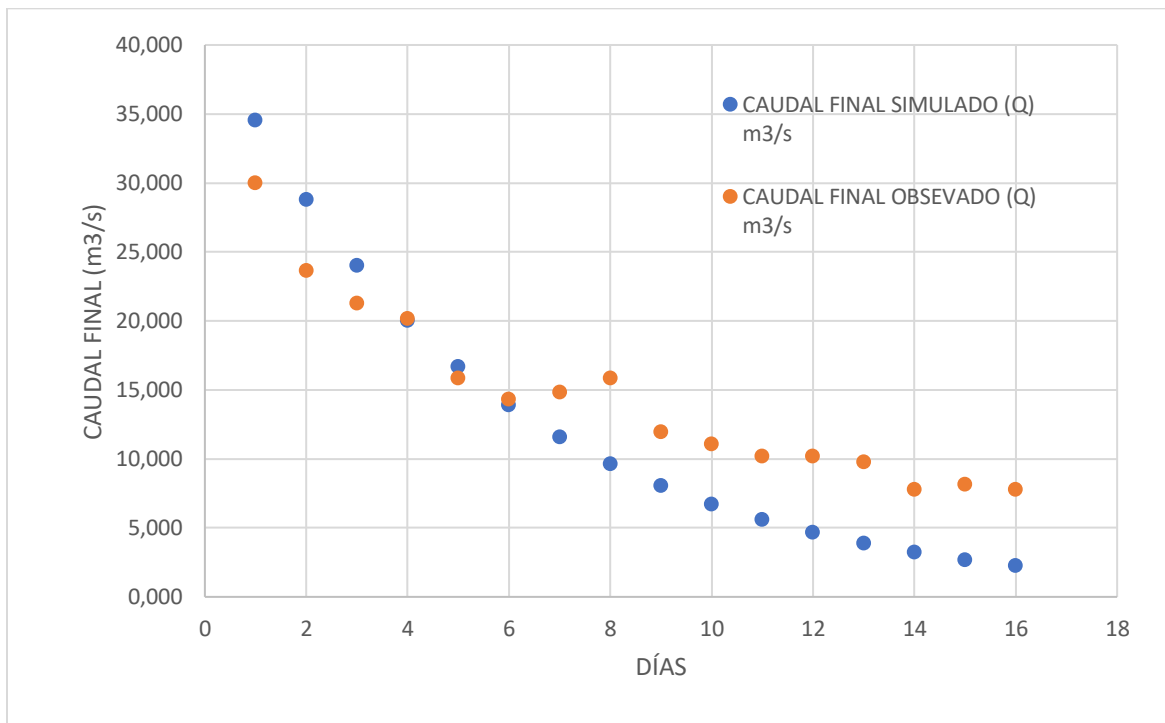
H894 PAUTE EN PAUTE						
AÑO	CAUDAL INICIAL (Q ₀) (m ³ /s)	CONSTANTE DE RECESIÓN (K)	CAUDAL FINAL OBSERVADO (Q) (m ³ /s)	LOG Q ₀	TIEMPO (T) (DÍAS)	CAUDAL FINAL SIMULADO (Q) (m ³ /s)
2004	30,014	0,8335	22,462	1,477	1	25,017
	30,014		21,292		2	20,851
	30,014		16,877		3	17,380
	30,014		15,333		4	14,486
	30,014		17,941		5	12,074
	30,014		13,851		6	10,064
	30,014		11,077		7	8,388
	30,014		7,259		8	6,991
	30,014		6,174		9	5,827
	30,014		5,49		10	4,857
	30,014		3,93		11	4,048
	30,014		7,788		12	3,374
	30,014		6,889		13	2,813
	30,014		5,828		14	2,344
	30,014		4,528		15	1,954
	30,014		1,49		16	1,629



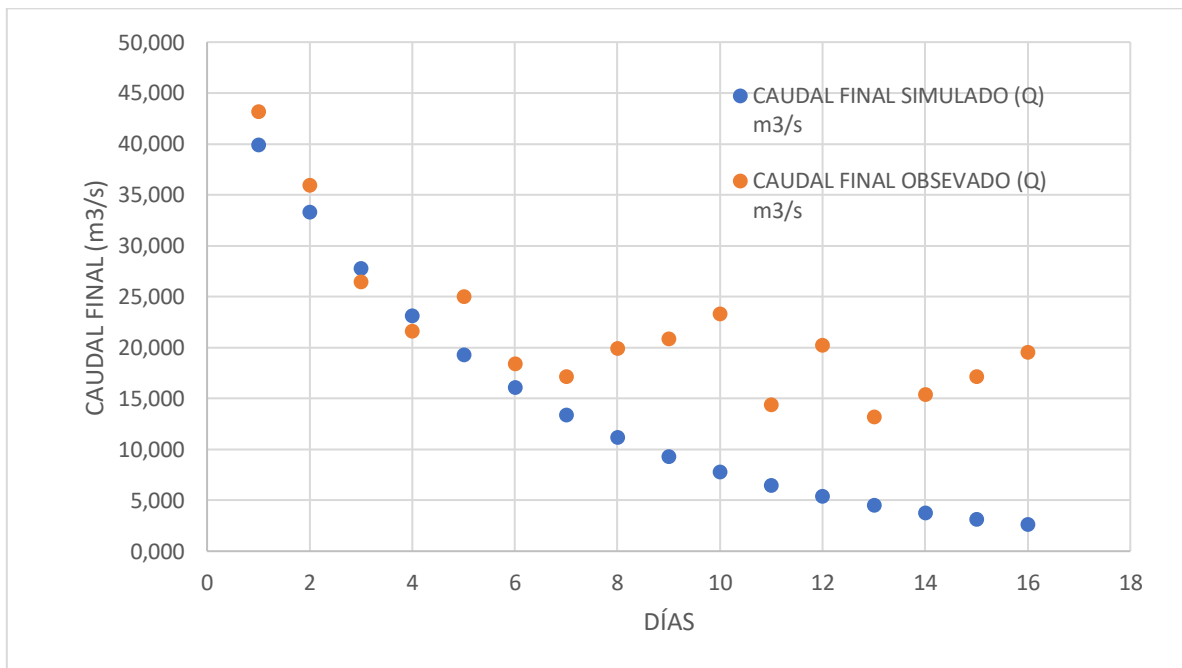
H894 PAUTE EN PAUTE						
AÑO	CAUDAL INICIAL (Q ₀) (m ³ /s)	CONSTANTE DE RECESION (K)	CAUDAL FINAL OBSERVADO (Q) (m ³ /s)	LOG Q ₀	TIEMPO (T) (DÍAS)	CAUDAL FINAL SIMULADO (Q) (m ³ /s)
2006	51,861	0,8335	49,375	1,715	1	43,226
	51,861		31,361		2	36,029
	51,861		24,264		3	30,030
	51,861		20,149		4	25,030
	51,861		17,941		5	20,863
	51,861		15,841		6	17,389
	51,861		14,338		7	14,494
	51,861		12,431		8	12,081
	51,861		11,077		9	10,069
	51,861		10,21		10	8,393
	51,861		13,371		11	6,995
	51,861		14,338		12	5,831
	51,861		8,965		13	4,860
	51,861		8,173		14	4,051
	51,861		10,64		15	3,376
	51,861		11,077		16	2,814



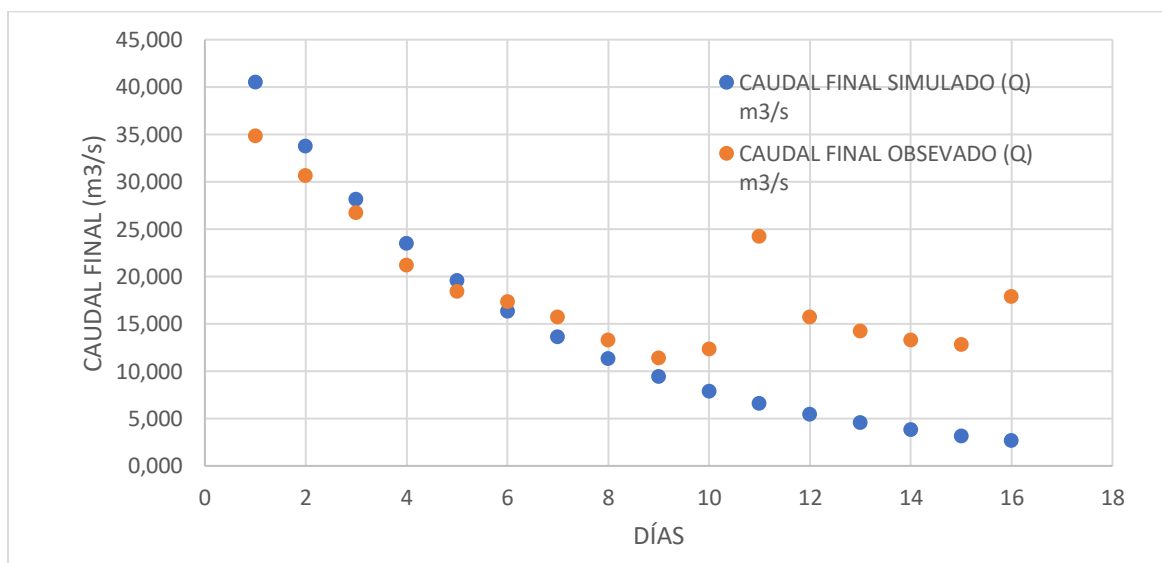
H894 PAUTE EN PAUTE						
AÑO	CAUDAL INICIAL (Q ₀) (m ³ /s)	CONSTANTE DE RECESION (K)	CAUDAL FINAL OBSERVADO (Q) (m ³ /s)	LOG Q ₀	TIEMPO (T) (DÍAS)	CAUDAL FINAL SIMULADO (Q) (m ³ /s)
2009	41,459	0,8335	30,014	1,618	1	34,556
	41,459		23,657		2	28,802
	41,459		21,292		3	24,007
	41,459		20,149		4	20,010
	41,459		15,841		5	16,678
	41,459		14,338		6	13,901
	41,459		14,832		7	11,587
	41,459		15,841		8	9,657
	41,459		11,973		9	8,050
	41,459		11,077		10	6,709
	41,459		10,21		11	5,592
	41,459		10,21		12	4,661
	41,459		9,787		13	3,885
	41,459		7,788		14	3,238
	41,459		8,173		15	2,699
	41,459		7,788		16	2,250



H894 PAUTE EN PAUTE						
AÑO	CAUDAL INICIAL (Q ₀) (m ³ /s)	CONSTANTE DE RECESION (K)	CAUDAL FINAL OBSERVADO (Q) (m ³ /s)	LOG Q ₀	TIEMPO (T) (DIAS)	CAUDAL FINAL SIMULADO (Q) (m ³ /s)
2011	47,87	0,8335	43,12	1,680	1	39,900
	34,125		35,93		2	33,256
	34,125		26,43		3	27,719
	34,125		21,61		4	23,104
	34,125		24,97		5	19,257
	34,125		18,39		6	16,051
	34,125		17,11		7	13,378
	34,125		19,9		8	11,151
	34,125		20,84		9	9,294
	34,125		23,26		10	7,747
	34,125		14,37		11	6,457
	34,125		20,22		12	5,382
	34,125		13,19		13	4,486
	34,125		15,34		14	3,739
	34,125		17,12		15	3,116
	34,125		19,48		16	2,597



H894 PAUTE EN PAUTE						
AÑO	CAUDAL INICIAL (Q ₀) (m ³ /s)	CONSTANTE DE RECESION (K)	CAUDAL FINAL OBSERVADO (Q) (m ³ /s)	LOG Q ₀	TIEMPO (T) (DÍAS)	CAUDAL FINAL SIMULADO (Q) (m ³ /s)
2015	48,617	0,8335	34,822	1,687	1	40,522
	48,617		30,654		2	33,775
	48,617		26,701		3	28,152
	48,617		21,209		4	23,464
	48,617		18,384		5	19,558
	48,617		17,299		6	16,301
	48,617		15,726		7	13,587
	48,617		13,245		8	11,325
	48,617		11,386		9	9,439
	48,617		12,299		10	7,868
	48,617		24,196		11	6,558
	48,617		15,726		12	5,466
	48,617		14,216		13	4,556
	48,617		13,245		14	3,797
	48,617		12,767		15	3,165
	48,617		17,839		16	2,638



NOMBRE Y APELLIDO	CRISTIAN GUILLERMO CALVOPIÑA TAPIA	
TITULO DE INVESTIGACION	JHON BRYAN PAZ OCHOA	
NOMBRE DEL ARCHIVO	ANALISIS DE RESECCION	
	VALIDACIÓN DEL MÉTODO	

VALIDACIÓN DEL MÉTODO POR MEDIO DE NASH- SUTCLIFFE (NSE) DE 5 BLOQUES PARA MEDIR DE FORMA OBJETIVA QUE TAN EFICIENTE RESULTO EL MÉTODO

AÑO	CAUDAL FINAL OBSERVADO (Q) (m3/s)	CAUDAL FINAL SIMULADO (Q) (m3/s)	NUMERADOR	DENOMINADOR
2004	22,462	25,105	6,983	142,777
	21,292	20,998	0,086	116,185
	16,877	17,564	0,471	40,500
	15,333	14,691	0,413	23,232
	17,941	12,288	31,959	55,174
	13,851	10,278	12,767	11,142
	11,077	8,597	6,152	0,318
	7,259	7,191	0,005	10,589
	6,174	6,014	0,025	18,827
	5,49	5,031	0,211	25,231
	3,93	4,208	0,077	43,337
	7,788	3,520	18,220	7,426
	6,889	2,944	15,564	13,134
	5,828	2,462	11,328	21,950
	4,528	2,060	6,093	35,821
	1,49	1,723	0,054	81,416

PROMEDIO	10,5130625
SUMATORIA N	110,410
SUMATORIA D	647,059
NSE	0,829

AÑO	CAUDAL FINAL OBSERVADO (Q) (m3/s)	CAUDAL FINAL SIMULADO (Q)	NUMERADOR	DENOMINADOR
		(m3/s)		
2006	49,375	43,378	35,963	1041,873
	31,361	36,283	24,224	203,463
	24,264	30,348	37,015	51,367
	20,149	25,384	27,405	9,315
	17,941	21,232	10,830	0,712
	15,841	17,759	3,679	1,577
	14,338	14,854	0,266	7,612
	12,431	12,425	0,000	21,771
	11,077	10,392	0,469	36,240
	10,21	8,692	2,303	47,430
	13,371	7,271	37,215	13,883
	14,338	6,081	68,173	7,612
	8,965	5,087	15,042	66,128
	8,173	4,255	15,354	79,637
	10,64	3,559	50,145	41,692
	11,077	2,977	65,617	36,240

PROMEDIO	17,0969375
SUMATORIA N	393,700
SUMATORIA D	1666,552
NSE	0,764

AÑO	CAUDAL FINAL OBSERVADO (Q) (m3/s)	CAUDAL FINAL SIMULADO (Q)	NUMERADOR	DENOMINADOR
		(m3/s)		
2009	30,014	34,678	21,749	238,807
	23,657	29,005	28,605	82,744
	21,292	24,261	8,815	45,311
	20,149	20,293	0,021	31,230
	15,841	16,973	1,282	1,639
	14,338	14,197	0,020	0,050
	14,832	11,875	8,745	0,074
	15,841	9,932	34,911	1,639
	11,973	8,308	13,434	6,696
	11,077	6,949	17,041	12,136
	10,21	5,812	19,340	18,928
	10,21	4,862	28,606	18,928
	9,787	4,066	32,726	22,787
	7,788	3,401	19,244	45,868
	8,173	2,845	28,389	40,802
	7,788	2,380	29,251	45,868

PROMEDIO	14,560625
SUMATORIA N	292,177
SUMATORIA D	613,508
NSE	0,524

AÑO	CAUDAL FINAL OBSERVADO (Q) (m3/s)	CAUDAL FINAL SIMULADO (Q)	NUMERADOR	DENOMINADOR
		(m3/s)		
2011	32,731	28,543	17,538	139,222
	28,694	23,874	23,229	60,253
	21,292	19,969	1,750	0,130
	24,878	16,703	66,832	15,573
	26,756	13,971	163,461	33,922
	24,263	11,686	158,191	11,097
	21,292	9,774	132,660	0,130
	23,658	8,175	239,710	7,432
	20,147	6,838	177,124	0,616
	19,03	5,720	177,165	3,617
	17,405	4,784	159,287	12,438
	16,354	4,002	152,582	20,956
	15,331	3,347	143,615	31,368
	14,336	2,800	133,089	43,504
	12,899	2,342	111,458	64,525
	15,842	1,959	192,748	25,906

PROMEDIO	20,93175
SUMATORIA N	2050,438
SUMATORIA D	470,688
NSE	-3,356

AÑO	CAUDAL FINAL OBSERVADO (Q) (m3/s)	CAUDAL FINAL SIMULADO (Q)	NUMERADOR	DENOMINADOR
		(m3/s)		
2015	34,822	40,665	34,138	258,884
	30,654	34,013	11,284	142,131
	26,701	28,450	3,058	63,503
	21,209	23,796	6,694	6,135
	18,384	19,904	2,310	0,121
	17,299	16,648	0,424	2,054
	15,726	13,925	3,243	9,037
	13,245	11,647	2,553	30,109
	11,386	9,742	2,702	53,966
	12,299	8,149	17,225	41,385
	24,196	6,816	302,072	29,854
	15,726	5,701	100,502	9,037
	14,216	4,768	89,256	20,395
	13,245	3,988	85,683	30,109
	12,767	3,336	88,942	35,583
	17,839	2,790	226,461	0,798

PROMEDIO	18,732125
SUMATORIA N	976,547
SUMATORIA D	733,099
NSE	-0,332

NOMBRE Y APELLIDO	CRISTIAN GUILLERMO CALVOPIÑA TAPIA	
	JHON BRYAN PAZ OCHOA	
TÍTULO DE INVESTIGACION	ANÁLISIS DE RESECIÓN	
NOMBRE DEL ARCHIVO	VALIDACIÓN DEL MÉTODO	

VALIDACIÓN DEL MÉTODO POR MEDIO DE NASH- SUTCLIFFE (NSE) DE 4 BLOQUES PARA MEDIR DE FORMA OBJETIVA QUE TAN EFICIENTE RESULTO EL MÉTODO

AÑO	CAUDAL FINAL OBSERVADO (Q) (m ³ /s)	CAUDAL FINAL SIMULADO (Q) (m ³ /s)	NUMERADOR	DENOMINADOR
2004	22,462	25,017	6,526	142,777
	21,292	20,851	0,194	116,185
	16,877	17,380	0,253	40,500
	15,333	14,486	0,718	23,232
	17,941	12,074	34,421	55,174
	13,851	10,064	14,344	11,142
	11,077	8,388	7,230	0,318
	7,259	6,991	0,072	10,589
	6,174	5,827	0,120	18,827
	5,49	4,857	0,401	25,231
	3,93	4,048	0,014	43,337
	7,788	3,374	19,480	7,426
	6,889	2,813	16,618	13,134
	5,828	2,344	12,137	21,950
	4,528	1,954	6,626	35,821
	1,49	1,629	0,019	81,416

PROMEDIO	10,5130625
SUMATORIA N	119,172
SUMATORIA D	647,059
NSE	0,816

AÑO	CAUDAL FINAL OBSERVADO (Q) (m3/s)	CAUDAL FINAL SIMULADO (Q)	NUMERADOR	DENOMINADOR
		(m3/s)		
2006	49,375	43,226	37,808	1041,873
	31,361	36,029	21,790	203,463
	24,264	30,030	33,249	51,367
	20,149	25,030	23,826	9,315
	17,941	20,863	8,536	0,712
	15,841	17,389	2,396	1,577
	14,338	14,494	0,024	7,612
	12,431	12,081	0,123	21,771
	11,077	10,069	1,016	36,240
	10,21	8,393	3,303	47,430
	13,371	6,995	40,650	13,883
	14,338	5,831	72,377	7,612
	8,965	4,860	16,853	66,128
	8,173	4,051	16,994	79,637
	10,64	3,376	52,763	41,692
	11,077	2,814	68,276	36,240

PROMEDIO	17,0969375
SUMATORIA N	399,985
SUMATORIA D	1666,552
NSE	0,760

AÑO	CAUDAL FINAL OBSERVADO (Q) (m3/s)	CAUDAL FINAL SIMULADO (Q)	NUMERADOR	DENOMINADOR
		(m3/s)		
2009	30,014	34,556	20,630	238,807
	23,657	28,802	26,476	82,744
	21,292	24,007	7,371	45,311
	20,149	20,010	0,019	31,230
	15,841	16,678	0,701	1,639
	14,338	13,901	0,191	0,050
	14,832	11,587	10,532	0,074
	15,841	9,657	38,236	1,639
	11,973	8,050	15,394	6,696
	11,077	6,709	19,077	12,136
	10,21	5,592	21,324	18,928
	10,21	4,661	30,791	18,928
	9,787	3,885	34,834	22,787
	7,788	3,238	20,701	45,868
	8,173	2,699	29,965	40,802
	7,788	2,250	30,674	45,868

PROMEDIO	14,560625
SUMATORIA N	306,915
SUMATORIA D	613,508
NSE	0,500

AÑO	CAUDAL FINAL OBSERVADO (Q) (m3/s)	CAUDAL FINAL SIMULADO (Q)	NUMERADOR	DENOMINADOR
		(m3/s)		
2011	32,731	39,900	51,389	139,222
	28,694	33,256	20,815	60,253
	21,292	27,719	41,309	0,130
	24,878	23,104	3,147	15,573
	26,756	19,257	56,233	33,922
	24,263	16,051	67,440	11,097
	21,292	13,378	62,626	0,130
	23,658	11,151	156,429	7,432
	20,147	9,294	117,782	0,616
	19,03	7,747	127,312	3,617
	17,405	6,457	119,861	12,438
	16,354	5,382	120,388	20,956
	15,331	4,486	117,619	31,368
	14,336	3,739	112,299	43,504
	12,899	3,116	95,700	64,525
	15,842	2,597	175,417	25,906

PROMEDIO	20,93175
SUMATORIA N	1445,766
SUMATORIA D	470,688
NSE	-2,072

AÑO	CAUDAL FINAL OBSERVADO (Q) (m3/s)	CAUDAL FINAL SIMULADO (Q)	NUMERADOR	DENOMINADOR
		(m3/s)		
2015	34,822	40,522	32,493	258,884
	30,654	33,775	9,743	142,131
	26,701	28,152	2,105	63,503
	21,209	23,464	5,087	6,135
	18,384	19,558	1,377	0,121
	17,299	16,301	0,995	2,054
	15,726	13,587	4,575	9,037
	13,245	11,325	3,687	30,109
	11,386	9,439	3,790	53,966
	12,299	7,868	19,637	41,385
	24,196	6,558	311,111	29,854
	15,726	5,466	105,271	9,037
	14,216	4,556	93,320	20,395
	13,245	3,797	89,260	30,109
	12,767	3,165	92,199	35,583
	17,839	2,638	231,070	0,798

PROMEDIO	18,732125
SUMATORIA N	1005,720
SUMATORIA D	733,099
NSE	-0,372