



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 COCA.

PROPUESTA PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE:

INGENIERO HIDRÁULICO

AUTORES:

Oscar Ivan Altamirano Tixe

Jonathan Javier Guanoluisa Aguirre

TUTOR:

Ing. Rudys Rafael Cusme Intriago MS.c

LATACUNGA, NOVIEMBRE – MARZO 2026

Latacunga, Marzo 13 de 2026

DECLARACION DE AUTORÍA

Yo Guanoluisa Aguirre Jonathan Javier, con cédula de ciudadanía No. 1724701022, declaro ser autor del presente proyecto de investigación: “ESTIMACION DE FLUJOS BAJOS MEDIANTE EL MÉTODO DE RECESIÓN DE LA CUENCA DEL RIO COCA, siendo el Ing. Rudys Rafael Cusme Intriago MS. C, Tutor del presente trabajo; 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 investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.



Guanoluisa Aguirre Jonathan Javier
C.C: 1724701022

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 GUANOLUISA AGUIRRE JONATHAN JAVIER, identificado con cédula de ciudadanía No. 1724701022 de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora 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 Hidráulica, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“ESTIMACION DE FLUJOS MEDIANTE EL MÉTODO DE RECESIÓN DE LA CUENCA DEL RIO COCA”** la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Mayo 2020 – Septiembre 2020

Finalización de la carrera: Octubre 2025 – Marzo 2026

Aprobación en Consejo Directivo: 11 de marzo del 2026

Tutor: Ing. Rudys Rafael Cusme Intriago MS.C

Tema: “ESTIMACION DE FLUJOS MEDIANTE EL MÉTODO DE RECESIÓN DE LA CUENCA DEL RIO COCA”

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.
- e) 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 11 días del mes de marzo del 2026.

Jonathan Javier Guanoluiza Aguirre
EL CEDENTE

Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
LA CESIONARIA

Latacunga, Marzo 13 de 2026

DECLARACION DE AUTORÍA

Yo Altamirano Tixe Oscar Ivan, con cédula de ciudadanía No. 1851025450, declaro ser autor del presente proyecto de investigación: “ESTIMACION DE FLUJOS BAJOS MEDIANTE EL MÉTODO DE RECESIÓN DE LA CUENCA DEL RIO COCA, siendo el Ing. Rudys Rafael Cusme Intriago MS. C, Tutor del presente trabajo; 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 investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.



Altamirano Tixe Oscar Ivan
C.C: 1851025450

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 ALTAMIRANO TIXE OSCAR IVAN, identificado con cédula de ciudadanía No. 1851025450 de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora 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 Hidráulica, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“ESTIMACION DE FLUJOS MEDIANTE EL MÉTODO DE RECESIÓN DE LA CUENCA DEL RIO COCA”** la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Mayo 2020 – Septiembre 2020

Finalización de la carrera: Octubre 2025 – Marzo 2026

Aprobación en Consejo Directivo: 11 de marzo del 2026

Tutor: Ing. Rudys Rafael Cusme Intriago MS.C

Tema: **“ESTIMACION DE FLUJOS MEDIANTE EL MÉTODO DE RECESIÓN DE LA CUENCA DEL RIO COCA”**

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.
- e) 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 11 días del mes de marzo del 2026.

Oscar Ivan Altamirano Tixe
EL CEDENTE

Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
LA CESIONARIA

Latacunga, 11 de marzo del 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 en la cuenca del río coca”, propuesto por los estudiantes Jonathan Javier Guanoluisa Aguirre y Oscar Ivan Altamirano Tixe de la Carrera de 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 Msc.
C.C. 1313770891
TUTOR

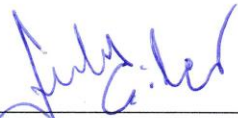
Latacunga, 11 de marzo del 2026

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y, por la Facultad de ciencias de la ingeniería y aplicadas; por cuanto, los postulantes: Guanoluisa Aguirre Jonathan Javier; Altamirano Tixe Oscar Ivan, con el título del Proyecto de Investigación **“ESTIMACION DE FLUJOS BAJOS MÉDIANTE EL METODO DE RECESIÓN DE LA CUENCA DEL RIO COCA”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

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

Para constancia firman:



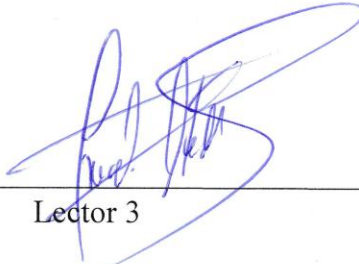
Lector 1 (Presidente)

Ing. Andy Giler Ormaza Mg.
C.C. 1312820325



Lector 2

Ing. Xiomara Zambrano Navarrete MSc.
C.C. 1313058453



Lector 3

Ing. Yadira Herrera Martínez MSc.
C.C. 0502904857

Latacunga, 11 de marzo del 2026

CERTIFICACIÓN DE INFORME DE SIMILITUD

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el tema: “Estimación de flujos bajos mediante el método de recesión de la cuenca del río Coca”, de Guanoluisa Aguirre Jonathan Javier, de la carrera de Hidráulica, remito la captura de pantalla del reporte del sistema de reconocimiento de texto Turnitin, con un porcentaje de coincidencias del 5 %; y, expreso una vez más, mi conformidad en cuanto a la dirección del trabajo de titulación.

*% detectado como IA

La detección de IA incluye la posibilidad de que haya falsos positivos. Aunque cierto texto en esta entrega se generó probablemente con IA, los puntajes inferiores al umbral del 20 % no aparecen porque tienen una mayor probabilidad de falsos positivos.

Precaución: Se necesita revisión.

Es esencial comprender los límites de la detección de IA antes de tomar decisiones acerca del trabajo del estudiante. Te alentamos a obtener más información acerca de las funciones de detección de IA de Turnitin antes de usar la herramienta.

Aviso legal

Nuestra evaluación de escritura con IA está diseñada para ayudar a los académicos a identificar texto que podrían haberse preparado mediante una herramienta de IA generativa. Es posible que nuestra evaluación de escritura con IA no siempre sea precisa (existe la posibilidad de que identifique erróneamente redacciones probablemente generadas por humanos como generadas por IA, y redacciones probablemente generadas por IA como generadas por humanos), por lo que no debe usarse como único fundamento para aplicar sanciones a un estudiante. Para determinar si es un caso de deshonestidad académica, se necesita de un escrutinio mayor y el juicio humano, junto con la aplicación de las políticas académicas específicas de la organización.




5% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 12 palabras)

Fuentes principales

- 5%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 2%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)



Ing. Rudys Rafael Cusme Intriago Msc.

C.C. 1313770891

TUTOR

Latacunga, 11 de marzo del 2026

CERTIFICACIÓN DE INFORME DE SIMILITUD

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el tema: “Estimación de flujos bajos mediante el método de recesión de la cuenca del río Coca”, de Altamirano Tixe Oscar Ivan, de la carrera de Hidráulica, remito la captura de pantalla del reporte del sistema de reconocimiento de texto Turnitin, con un porcentaje de coincidencias del 5 %; y, expreso una vez más, mi conformidad en cuanto a la dirección del trabajo de titulación.

*% detectado como IA

La detección de IA incluye la posibilidad de que haya falsos positivos. Aunque cierto texto en esta entrega se generó probablemente con IA, los puntajes inferiores al umbral del 20 % no aparecen porque tienen una mayor probabilidad de falsos positivos.

Precaución: Se necesita revisión.

Es esencial comprender los límites de la detección de IA antes de tomar decisiones acerca del trabajo del estudiante. Te alentamos a obtener más información acerca de las funciones de detección de IA de Turnitin antes de usar la herramienta.

Aviso legal

Nuestra evaluación de escritura con IA está diseñada para ayudar a los académicos a identificar texto que podrían haberse preparado mediante una herramienta de IA generativa. Es posible que nuestra evaluación de escritura con IA no siempre sea precisa (existe la posibilidad de que identifique erróneamente redacciones probablemente generadas por humanos como generadas por IA, y redacciones probablemente generadas por IA como generadas por humanos), por lo que no debe usarse como único fundamento para aplicar sanciones a un estudiante. Para determinar si es un caso de deshonestidad académica, se necesita de un escrutinio mayor y el juicio humano, junto con la aplicación de las políticas académicas específicas de la organización.




5% Similitud general

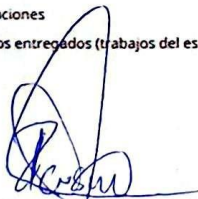
El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 12 palabras)

Fuentes principales

- 5%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 2%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)



Ing. Rudys Rafael Cusme Intriago Msc.

C.C. 1313770891

TUTOR

AGRADECIMIENTO

"Ningún logro académico nace en solitario; crece en la generosidad de quienes creen en nosotros incluso cuando nosotros mismos dudamos."

Agradezco en primer lugar a Dios, por ser la guía y la fortaleza que sostuvo mis pasos a lo largo de este camino, por darme la sabiduría necesaria para enfrentar cada desafío y la paz para continuar cuando el cansancio quería detenerme.

A mis padres, Patricio Altamirano y Jenny Tixe, las personas más importantes de mi vida. Gracias por cada sacrificio silencioso, por su amor incondicional y por creer en mí con una firmeza que muchas veces superó la mía propia. Este logro lleva su nombre tanto como el mío porque sin su apoyo ninguna de estas páginas hubiera sido posible.

A cada una de las personas que me acompañaron en este transcurso, quienes convirtieron los momentos difíciles en experiencias compartidas y las celebraciones en recuerdos que guardaré siempre. Gracias por la compañía, el apoyo y por recordarme que el camino también se disfruta.

Finalmente, un agradecimiento especial al Ing. Rudys Cusme, tutor de esta tesis, por su invaluable sabiduría, su paciencia y su comprensión en cada etapa de este trabajo. Su orientación fue una luz fundamental para dar forma a esta investigación.

A todos ustedes, muchas gracias.

Oscar Ivan Altamirano Tixe

DEDICATORIA

A mis padres, Patricio Altamirano y Jenny Tixe, por ser el pilar más firme de mi vida. Cada esfuerzo, cada desvelo y cada página de este trabajo lleva impresa su dedicación y su amor incondicional. Gracias por enseñarme que los sueños se alcanzan con perseverancia y que nunca estaría solo en el camino. Este logro es, antes que mío, de ustedes.

A mi hermano Diego, quien con su ejemplo y dedicación al alcanzar su graduación se convirtió en una de mis mayores inspiraciones. Y a mi hermano Lucas, por su compañía y su cariño en cada momento. Espero que este logro sea también una motivación para ti.

A mi familia, que con su amor silencioso fue el refugio que necesité en los momentos más difíciles. Todo lo que soy y todo lo que alcance siempre llevará su huella.

Oscar Ivan Altamirano Tixe

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme la vida, la fortaleza y la sabiduría necesarias para superar cada uno de los desafíos que se presentaron durante este camino.

De manera especial, agradezco al Ing. Rudys Cusme por brindarme su apoyo, consejos y dedicación durante el desarrollo de esta investigación.

También quiero agradecer a una persona muy especial para mí, “Karla” fue la primera persona con la que interactué y también con la que inicié este viaje, aunque ahora ya no se encuentra conmigo siempre será el recuerdo más hermoso que me llevaré de esta vida universitaria.

De igual manera también quiero agradecer a Silvio, Jhony, Oscar, José y Jean quienes fueron los primeros en brindarme su amistad y demostrar que a pesar de las circunstancias fueron unos buenos amigos y compañeros.

Y finalmente, a mi Melu, por haber sido una presencia importante durante este proceso, por su apoyo, comprensión y por motivarme a seguir adelante incluso en los momentos más difíciles.

Este logro representa años de esfuerzo, disciplina y perseverancia. Y hoy, con la satisfacción de haber llegado hasta aquí, recuerdo una frase que refleja la convicción y el espíritu con el que enfrenté este camino:

“Si yo no soy el mejor, aquí nadie lo es”.

Jonathan Javier Guanoluisa Aguirre

DEDICATORIA

Con profundo amor y gratitud, dedico este logro a las personas que han sido el motor de mi vida y la razón por la que nunca dejé de creer que podía llegar hasta aquí.

A mis padres, Janeth y Carlos, quienes han sido mi mayor ejemplo de esfuerzo, amor y sacrificio. Gracias por cada consejo, por cada palabra de aliento y por cada momento en el que creyeron en mí incluso cuando el camino parecía difícil. Ustedes me enseñaron que los sueños se construyen con trabajo, constancia y corazón. Todo lo que soy y todo lo que he logrado tiene sus raíces en el amor y los valores que me han dado. Este logro también es suyo, porque sin ustedes nada de esto habría sido posible.

A mi hermano Adrian, por caminar a mi lado en este proceso de vida, por su apoyo, su compañía y por recordarme que en la familia siempre se encuentra la fuerza para seguir adelante.

A mis hermanos Chris y Carlos, quienes hoy me acompañan desde el cielo. Aunque su ausencia se siente profundamente, su recuerdo vive en cada uno de mis pensamientos y en cada paso que doy. Este logro también es para ustedes, porque en mi corazón siempre estarán presentes y porque sé que, de alguna manera, me acompañaron durante todo este camino.

Esta tesis representa mucho más que la culminación de una etapa académica; representa años de esfuerzo, de aprendizaje, de momentos difíciles y de crecimiento personal. Pero, sobre todo, representa el amor y la memoria de las personas más importantes de mi vida, a quienes dedico con todo mi corazón cada uno de mis logros.

Jonathan Javier Guanoluisa Aguirre

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 COCA”.

Autores: Oscar Ivan Altamirano Tixe

Jonathan Javier Guanoluisa Aguirre

RESUMEN

Esta investigación estimó los flujos bajos en la cuenca del río Coca, ubicada en la región amazónica del Ecuador con un área de drenaje de 3718,81 km². Para ello, se aplicó la metodología propuesta por Bako & Owoade (1988), orientada al análisis de curvas de recesión hidrológica. La relevancia del estudio se fundamenta en la importancia estratégica de la cuenca, que alberga la Central Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair. Con este propósito, se recopiló y procesó información hidrológica y meteorológica correspondiente al período 2000–2025, obtenida del archivo de la biblioteca del INAMHI, a partir de una estación hidrológica (H0719) y cuatro estaciones meteorológicas (M5021, M0188, M5025 y M5237) distribuidas a lo largo de la cuenca.

Los hidrogramas anuales del período 2013 hasta 2016 se les aplicó el análisis de curvas de recesión, utilizando un umbral de 87.52 m³/s. Este proceso permitió obtener las siguientes constantes de recesión: $K=0.881$ $K = 0.881$ (2013), $K = 0.927$ (2014), $K = 0.926$ (2015) y $K = 0.959$ (2016) de las cuales se derivó una constante representativa de $K=0,8802$ para la estación H0719. Si bien los valores individuales de cada año resultan adecuados, los resultados de la validación no son completamente satisfactorios esto indica que el método no reproduce con suficiente precisión el comportamiento hidrológico de la cuenca del río Coca.

Palabras clave: flujos bajos, curvas de recesión, constante de recesión, cuenca del río Coca, INAMHI, validación.

COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY

ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES FACULTY

THEME: “ESTIMATION OF LOW FLOWS USING THE RECESSION METHOD
IN THE COCA RIVER BASIN”.

Authors: Oscar Ivan Altamirano Tixe

Jonathan Javier Guanoluisa Aguirre

ABSTRACT

This research estimated low flows in the Coca River basin, located in the Amazon region of Ecuador with a drainage area of 3,718.81 km². To this end, the methodology proposed by Bako & Owoade (1988) was applied, aimed at analyzing hydrological recession curves. The relevance of the study is based on the strategic importance of the basin, which is home to the Coca Codo Sinclair Hydroelectric Power Plant. For this purpose, hydrological and meteorological information for the period 2000–2025 was collected and processed from the INAMHI library archive, from a hydrological station (H0719) and four meteorological stations (M5021, M0188, M5025 and M5237) distributed throughout the basin. Recession curve analysis was applied to the annual hydrographs for the period 2013 to 2016, using a threshold of 87.52 m³/s. This process yielded the following recession constants: $K=0.881$ $K = 0.881$ (2013), $K = 0.927$ (2014), $K = 0.926$ (2015) and $K = 0.959$ (2016), from which a representative constant of $K=0.8802$ was derived for station H0719. Although the individual values for each year are adequate, the validation results are not entirely satisfactory, indicating that the method does not reproduce the hydrological behavior of the Coca River basin with sufficient accuracy.

KEYWORDS: Low flows, Recession curves, Recession constant, Coca River basin, INAMHI, Validation.

ÍNDICE GENERAL

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:	1
1.6 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:	1
1.7 SUBLÍNEAS DE INVESTIGACIÓN DE LA CARRERA:.....	2
2. INTRODUCCIÓN.....	2
2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	4
2.2 FORMULACIÓN DE PROBLEMA	4
2.3 OBJETIVOS Y CAMPO DE ACCIÓN	5
2.3.1 Objeto de Investigación:.....	5
2.3.2 Campo de Acción:	5
2.4 BENEFICIARIOS	5
2.4.1 Directos:	5
2.4.2 Indirectos:	6
2.5 JUSTIFICACIÓN	6
2.6 OBJETIVOS	7
2.6.1 General	7
2.6.2 Específicos.....	7
2.7 SISTEMAS DE TAREAS	7
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	9
3.1 ANTECEDENTES	9
3.2 MARCO CONCEPTUAL REFERENCIAL	11
3.2.1 El ciclo hidrológico	11
3.2.2 Precipitación.....	12
3.2.3 Precipitación media	13
3.2.4 Régimen hidrológico fluvial.....	14
3.2.5 Caudales de estiaje	15
3.2.6 Hidrograma de caudal.....	15
3.2.7 El escurrimiento.....	16
3.2.8 Concepto de caudal base	17
3.2.9 Recesión de caudales.....	18
3.2.10 Curva de duración de flujo.....	19

3.2.11	Algoritmos de selección de recesión.....	19
3.2.12	Curva Maestra de Recesión (MRC).....	19
3.2.13	Caracterización del vaciamiento de almacenamiento mediante curvas de recesión 20	
3.2.14	Índices de caudal bajo.....	20
3.2.15	Modelos conceptuales de almacenamiento–descarga en cuencas.....	21
3.2.16	Representación del caudal base en modelos lluvia–escorrentía.....	21
4.	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	21
4.1	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	21
4.2	ENFOQUE METODOLÓGICO.....	22
4.3	ESQUEMA METODOLÓGICO.....	22
4.4	ÁREA DE ESTUDIO.....	23
4.4.1	Localización geográfica.....	23
4.4.2	Características climáticas.....	24
4.5	SELECCIÓN DE ESTACIONES HIDROLÓGICAS Y METEOROLÓGICAS	25
4.6	PROCESAMIENTO Y CONTROL DE DATOS.....	26
4.6.1	Control de datos.....	26
4.6.2	Relleno de datos faltantes.....	26
4.7	INFORMACIÓN DERIVADA DE QGIS.....	27
4.7.1	Delimitación de la cuenca hidrográfica.....	27
4.7.2	Cálculo del área de la cuenca	28
4.7.3	Red de drenaje.....	29
4.7.4	Polígonos de Thiessen	29
4.8	APLICACIONES DEL ANÁLISIS DE RECESIÓN.....	30
4.9	CRITERIOS DE SELECCIÓN DE PERÍODOS DE RECESIÓN.....	31
4.10	VARIABLES HIDROLÓGICAS	32
4.10.1	Caudal.....	32
4.10.2	Tiempo.....	32
4.10.3	Precipitación.....	33
4.11	ÁREAS DE INFLUENCIA DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS.....	33
4.12	CRITERIO POR MEDIO DE LA SENSIBILIDAD DE LA CONSTANTE K.....	33
4.13	DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE K.....	34
4.14	Coficiente de eficiencia Nash-Sutcliffe (NSE).....	34
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	35
5.1	ESTACIONES SELECCIONADAS PARA EL ANÁLISIS.....	35
5.2	ANÁLISIS DE HIDROGRAMAS Y DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE RECESIÓN	37

5.3	VALIDACIÓN	52
5.4	COEFICIENTE NASH SUTCLIFFE	53
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
6.1	CONCLUSIONES	54
6.2	RECOMENDACIONES	55
7.	REFERENCIAS	56

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1.	Ciclo hidrológico en una cuenca hidrográfica [4]	12
Figura 2.	Hidrograma [21].	14
Figura 3.	Hidrograma y sus partes [22].	16
Figura 4.	Componentes de la esorrentía [21].	17
Figura 5.	Esquema de separación del hidrograma [13].....	18
Figura 6.	Esquema metodológico de la fase 1.	23
Figura 7.	Esquema metodológico de la fase 2.	23
Figura 8.	Mapa de localización de la cuenca del río Coca.....	24
Figura 9.	Curva de descarga.....	27
Figura 10.	Delimitación de la cuenca río Coca.	28
Figura 11.	Red hídrica de la cuenca del río Coca.	29
Figura 12.	Polígonos de Thiessen de la cuenca río Coca.....	30
Figura 13.	Ubicación de la estación hidrológica H0719 – Quijos DJ Oyacachi.....	36
Figura 14.	Estaciones meteorológicas.....	37
Figura 15.	Hidrograma de la estación hidrológica QUIJOS DJ OYACACHI.....	38
Figura 16.	Muestra de los hidrogramas vs hietograma de la estación del año 2013.	39
Figura 17.	Muestra de los hidrogramas vs hietograma de la estación del año 2014.	41
Figura 18.	Muestra de los hidrogramas vs hietograma de la estación del año 2015.	41
Figura 19.	Muestra de los hidrogramas vs hietograma de la estación del año 2016.	42
Figura 20.	Muestra de umbral del año 2013.	44
Figura 21.	Muestra de umbral del año 2014.	44
Figura 22.	Muestra de umbral del año 2015.	45
Figura 23.	Muestra de umbral del año 2016.	46
Figura 24.	Sensibilidad de la constante K.....	50
Figura 25.	Pendientes de regresión.	51
Figura 26.	Caudal simulado vs caudal observado.....	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Modalidad de Titulación.....	1
Tabla 2.	Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO	1
Tabla 3.	Sistema de tareas en relación con los objetivos.....	7
Tabla 4.	Estaciones meteorológicas y hidrológica del área de estudio.....	25
Tabla 5.	Área de la cuenca.....	29
Tabla 6.	Criterios de selección de períodos de recesión según Bako & Owoade (1988) y Tallaksen (1995)	31
Tabla 7.	Área de polígonos de Thiessen.....	33
Tabla 8.	Rango e interpretación de la eficiencia de Nash Sutcliffe (NSE).....	35
Tabla 9.	Estación hidrológica del INAMHI	35
Tabla 10.	Estaciones meteorológicas del INAMHI.....	37
Tabla 11.	Resumen anual de la relación precipitación–caudal y disponibilidad de datos para el análisis de recesión de los años 2013 al 2016.	43
Tabla 12.	Porcentajes de datos de la estación hidrológica.	47
Tabla 13.	Leyenda de porcentajes de datos de las estaciones hidrológicas.....	47
Tabla 14.	Porcentajes de datos de estaciones meteorológicas.....	48
Tabla 15.	Constante (K) por el método de lluvias mensuales.	49
Tabla 16.	Coefficientes de determinación (R^2) obtenidos del ajuste lineal.	51
Tabla 17.	Constante de recesión (K).....	51
Tabla 18.	Validación del método en la estación.....	52
Tabla 19.	Resultados de coeficiente de Nash para constante de recesión de 4 bloques	54
Tabla 20.	Resultados de coeficiente de nash para constante de recesión de 3 bloques.	54

1. INFORMACIÓN GENERAL

1.1 TEMA DEL PROYECTO:

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

1.2 MODALIDAD DE TITULACIÓN:

Tabla 1. Modalidad de Titulación

MODALIDAD DE TITULACIÓN	HOMOLOGACIONES PARA INFORME FINAL DE TITULACIÓN	PARA DE 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: Potenciando la investigación en recursos hídricos aplicados a la solución de problemas reales del medio.

1.4 EQUIPO DE TRABAJO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:

Altamirano Tixe Oscar Ivan

Guanoluisa Aguirre Jonathan Javier

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 sostenible y/o sustentable del recurso hídrico.

2. INTRODUCCIÓN

La cuenca hidrográfica del río Coca se localiza en la región oriental del Ecuador y corresponde a uno de los principales afluentes del río Napo con el cual se une en la localidad de Puerto Francisco de Orellana. Esta unidad hidrográfica forma parte de la demarcación hidrográfica Napo y representa uno de los sistemas fluviales de mayor importancia en la región amazónica del Ecuador, esto se debe a su contribución en la disponibilidad de recursos hídricos como por la presencia de infraestructura del proyecto hidroeléctrico Coca Codo Sinclair, sus afluentes han sido afectados por fenómenos de erosión regresiva que han modificado la morfología de su cauce[1].

Esta cuenca, además, se caracteriza por presentar contrastes de carácter estacional, así como una elevada variabilidad espaciotemporal en los patrones de precipitación y una estrecha relación entre los procesos de escorrentía superficial y el flujo subsuperficial, estos aspectos que confieren particular importancia a la caracterización de los caudales mínimos [2].

Desde este punto de vista, se requiere el desarrollo de investigaciones basadas en los registros hidrométricos disponibles para la cuenca del río Coca que posibiliten la extracción de la mayor cantidad de información relacionada con el comportamiento del flujo base y sus procesos de recesión con el propósito de determinar caudales mínimos representativos de las condiciones de estiaje [3].

La estimación y el análisis de los flujos bajos se consideraron una herramienta clave para la gestión de los recursos hídricos ya que permite cuantificar la disponibilidad mínima de agua en períodos de estiaje y en consecuencia planificar el uso racional del recurso para el abastecimiento humano, generación hidroeléctrica, riego y conservación de ecosistemas acuáticos [4]. El comportamiento hidrológico en Ecuador muestra fuertes cambios estacionales derivados de la interacción entre el clima, el relieve de montaña y la intervención humana en el suelo. Para el análisis se requiere la implementación de modelos cuantitativos con capacidad para representar la variabilidad de los caudales en los eventos extremos de flujos bajos que son determinantes para evaluar la sostenibilidad de las reservas hídricas en las cuencas hidrográficas [5].

En este contexto el trabajo tiene como propósito estimar los flujos bajos en la cuenca del río Coca mediante el análisis de curvas de recesión, esta técnica describe la relación entre el flujo base y el tiempo durante los periodos secos lo cual hizo posible interpretar el comportamiento de almacenamiento y descarga del acuífero que sostenía el caudal del río [6]. Se utilizaron las series temporales de caudal diario proporcionadas por el INAMHI para el período comprendido entre los años 2000 y 2025, sobre las cuales se aplicó el método de análisis de recesión.[7]. Esto permitió calcular parámetros clave, como la constante de recesión del flujo base aplicando metodologías previamente validadas en otras cuencas para la estimación de recarga. [8].

El estudio aportó una comprensión sobre la respuesta hidrológica de la cuenca durante los periodos de recesión, de la misma forma permitió analizar el vínculo funcional entre la descarga de aguas subterráneas y los caudales mínimos en el sistema de la cuenca del río Coca esta información generada fue determinante para la estabilidad de los caudales afluentes y de la curva de recesión [9]. Además, esta investigación complementó los esfuerzos previos de simulación hidrológica mediante la validación de parámetros de infiltración y recarga, contribuyendo así a fortalecer el rigor técnico en la administración del agua dentro de un territorio estratégico[10].

El desarrollo de la investigación se organizó en una secuencia metodológica en tres etapas fundamentales. Inicialmente se llevó a cabo el preprocesamiento de las series temporales de datos hidrológicos y meteorológicos de un intervalo de tiempo entre el año 2000 hasta 2025, cuya adquisición de datos se realizó a través de las estaciones monitoreadas por el INAMHI [11]. Posteriormente, se aplicó la técnica de análisis de recesión sobre los hidrogramas seleccionados para lograr la separación del flujo base y por último la parametrización del coeficiente de agotamiento (K) [7], [12].

En conjunto, la investigación permitió estimar los caudales bajos en la cuenca del río Coca mediante la aplicación del método de Bako & Owoade para el análisis de recesión del flujo base. Para ello, se realizó un esquema metodológico que contempla la selección de eventos de recesión, la definición de umbrales, el cálculo de constantes de recesión y la construcción de series de flujo base a partir de los registros disponibles [13]. Si bien la escasa información hidrológica y meteorológica representaron una restricción importante, los procedimientos aplicados muestran el potencial del análisis de recesión como herramienta para caracterizar caudales mínimos en cuencas y resaltan la necesidad de contar con series continuas, depuradas y consistentes para incrementar la confiabilidad

de los resultados [14]. En consecuencia, el estudio aporta información relevante sobre los caudales bajos en la cuenca del río Coca y plantea la necesidad de integrar datos hidrogeológicos y climáticos, también fortalecer las redes de monitoreo tanto hidrológico como meteorológico con el fin de reducir la incertidumbre asociada a la estimación de caudales mínimos y de contribuir al soporte técnico requerido para la gestión integrada del recurso hídrico en la región.

2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

La determinación de caudales mínimos a través del método de análisis de recesión representa un reto primordial para la gestión de recursos hídricos en Ecuador [15]. Los caudales de estiaje son generados principalmente por el aporte de agua subterránea procedente de los acuíferos hacia la red de drenaje superficial, siendo este mecanismo de particular relevancia durante los períodos de déficit pluviométrico [16].

Ecuador enfrenta una limitación significativa para alcanzar una gestión integrada de los recursos hídricos ya que la insuficiencia de datos hidrometeorológicos impide la toma de decisiones fundamentadas en materia de asignación y planificación del uso del agua. En diversos proyectos orientados al aprovechamiento de recursos hídricos se ha evidenciado una sobrestimación de la disponibilidad hídrica [15]. La red de estaciones hidrométricas operada por el INAMHI presenta amplias zonas con deficiencias en la cobertura de información, lo cual restringe significativamente la implementación de proyectos de gestión hídrica y la evaluación del régimen de escorrentía [3].

El método de análisis de recesión posibilita la estimación de caudales mínimos a través de la caracterización de curvas del hidrograma mediante la cuantificación de la constante de recesión (k), parámetro que describe la tasa de agotamiento del acuífero. Este método puede ser viable con series cortas de datos y proporciona información relevante acerca de las características hidrogeológicas del sistema [6].

2.2 FORMULACIÓN DE PROBLEMA

¿Cómo estimar los flujos bajos en la cuenca del río Coca mediante la aplicación del método de análisis de recesión?

2.3 OBJETIVOS Y CAMPO DE ACCIÓN

2.3.1 Objeto de Investigación:

El objeto de investigación del presente estudio se centra en el análisis del comportamiento del flujo base en la cuenca hidrográfica del río Coca, entendido como la respuesta hidrológica de la cuenca durante los períodos de caudales mínimos y su caracterización a través de parámetros de recesión derivados del análisis de las curvas de recesión del hidrograma.

La investigación comprende la cuantificación de la constante de recesión (k) a través de métodos gráficos y analíticos implementados sobre los segmentos de recesión identificados en las series temporales de caudales diarios también contempla la separación del flujo base del hidrograma mediante algoritmos numéricos y la caracterización espaciotemporal del flujo base con el propósito de evaluar cómo se mantiene y varía durante condiciones de baja disponibilidad hídrica.

2.3.2 Campo de Acción:

El campo de acción del estudio corresponde al 2508 Hidrología.

2.4 BENEFICIARIOS

Esta investigación ha identificado a los beneficiarios directos e indirectos vinculados a la cuenca hidrográfica del río Coca, clasificándolos de la siguiente manera:

2.4.1 Directos:

- Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC EP), Operadora de la Central Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair.
- La Agencia de Regulación y Control del Agua (ARCA) encargada de la gestión y permisos del recurso hídrico.
- Equipos técnicos responsables de la gestión ambiental y de los recursos hídricos en la cuenca que están conformados por los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) Provinciales de Napo, Sucumbíos y Orellana, también la Comisión Ejecutora Río Coca de CELEC EP.
- Población del cantón Francisco de Orellana y comunidades asentadas en la cuenca.

2.4.2 Indirectos:

- Los sectores productivos asentados en la cuenca que demandan el recurso hídrico para usos domésticos, actividades agrícolas y procesos industriales vinculados a la extracción de hidrocarburos.
- Áreas protegidas asociadas a la cuenca del río Coca.

2.5 JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se fundamenta en la necesidad de disponer de información cuantitativa y actualizada respecto a los caudales mínimos en la cuenca hidrográfica del río Coca, por el contexto donde la disponibilidad del recurso hídrico presenta una variabilidad considerable, mientras que la demanda vinculada a la generación hidroeléctrica experimenta un incremento sostenido. El conocimiento insuficiente del comportamiento del flujo base durante los períodos de estiaje ha ocasionado incertidumbre en la gestión operativa de la Central Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair, en la planificación de los recursos hídricos y en la conservación de los ecosistemas asociados [4]. Investigaciones desarrolladas en la región andina ecuatoriana han evidenciado una reducción significativa de las precipitaciones y de los caudales mínimos durante el período de años 1971-2005, acompañada de incrementos en la temperatura máxima del orden de 0,1 a 1,4°C, lo cual pone de manifiesto la urgencia de caracterizar los flujos de recesión en cuencas de importancia estratégica mediante enfoques metodológicos robustos [17].

Desde la perspectiva técnico científica, la investigación presenta relevancia al incorporar el análisis de curvas de recesión en un entorno geológico de alta complejidad. Esta técnica posibilita la estimación de parámetros esenciales del comportamiento hidrogeológico, tales como la constante de agotamiento y la capacidad de almacenamiento en el medio subterráneo, a partir de los registros de caudales diarios disponibles en las estaciones de monitoreo del INAMHI [4]. La aplicabilidad de este método ha sido validada en cuencas montañosas con características similares.

La presente investigación responde a una necesidad prioritaria de contar con datos cuantitativos que sustenten la toma de decisiones en una cuenca que alberga infraestructura hidroeléctrica, así como zonas de conservación integradas al Sistema Nacional de Áreas Protegidas.

2.6 OBJETIVOS

2.6.1 General

- Estimar los flujos bajos en la cuenca del río Coca mediante el análisis de curvas de recesión.

2.6.2 Específicos

- Identificar las estaciones hidrológicas y meteorológicas del INAMHI en la cuenca del río Coca que proporcionen información suficiente para el análisis de recesión.
- Definir los criterios y variables para la selección de períodos de recesión mediante el análisis de hidrogramas anuales y hietogramas de precipitación mensual de estaciones meteorológicas del área de estudio.
- Determinar los parámetros de recesión mediante el ajuste de curvas de recesión, aplicando métodos numéricos.
- Validar los resultados obtenidos comparando los flujos base calculados con datos observados en períodos diferentes, mediante la aplicación de algoritmos.

2.7 SISTEMAS DE TAREAS

Tabla 3. Sistema de tareas en relación con los objetivos.

Objetivos específicos	Actividades	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
1. Identificar las estaciones hidrológicas y meteorológicas del INAMHI en la cuenca del río Coca que proporcionen información suficiente para el análisis de recesión.	Recopilación de información de datos hidrológicos y meteorológicos de la cuenca del río Coca y ubicación de estaciones del INAMHI	Base de datos conformada por series hidrológicas y meteorológicas, identificación de periodos del 2000-2025	Registros de la página del INAMHI
	Obtención y revisión de anuarios hidrológicos y meteorológicos del INAMHI	Base de datos de caudales diarios y precipitación mensual organizados por estación	Anuarios INAMHI, Microsoft Excel

Objetivos específicos	Actividades	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
	Selección de estaciones con más datos registrados	Listado de estaciones seleccionadas	Criterios de selección definidos, matriz de evaluación
2. Definir los criterios y variables para la selección de períodos de recesión mediante el análisis de hidrogramas anuales y hietogramas de precipitación mensual.	Construcción de hidrogramas anuales de caudales diarios para cada estación seleccionada	Serie de hidrogramas anuales por la estación hidrológica	Microsoft Excel
	Elaboración de hietogramas de precipitación mensual	Hietogramas mensuales representativos de la cuenca	Microsoft Excel
	Establecimiento de umbrales de precipitación para definir inicio y fin de períodos de recesión	Documento con criterios definidos y umbrales establecidos por estación	Análisis gráfico comparativo hidrograma y hietograma
3. Determinar los parámetros de recesión mediante el ajuste de curvas de recesión, aplicando métodos numéricos.	Extracción de datos de caudales de los períodos de recesión seleccionados	Series temporales de caudal vs tiempo para cada período de recesión	Microsoft Excel, filtrado de datos
	Construcción de curvas de recesión mediante superposición de períodos	Gráficas de curvas de recesión	Microsoft Excel
	Determinación de parámetros	Valores de constante de recesión y	Análisis de regresión,

Objetivos específicos	Actividades	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
		exponente con coeficiente R^2	métodos numéricos
4. Validar los resultados obtenidos comparando los flujos base estimados con datos observados en períodos independientes, mediante la aplicación de algoritmos.	Separación de datos en conjuntos de calibración	Conjuntos de datos independientes organizados cronológicamente	División aleatoria, Microsoft Excel
	Aplicación de ecuación de recesión al conjunto de validación	Serie de flujo base estimado para períodos independientes	Ecuación exponencial de recesión
	Gráfica de periodos calculados vs simulados	Validación de la constante k	Gráficas comparativas

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 ANTECEDENTES

La caracterización del flujo base y la estimación de caudales mínimos en sistemas hidrográficos han sido objeto de extensos estudios a nivel internacional, donde el análisis de curvas de recesión se ha consolidado como una metodología esencial. En este contexto, Bako y Owoade (1988) propusieron un enfoque numérico para determinar la constante de recesión del flujo base a través del análisis de varianza de un factor [12].

En Colombia, diversos estudios han abordado la estimación de caudales mínimos mediante la aplicación conjunta de técnicas de regionalización hidrológica y el análisis de curvas de recesión. Estas investigaciones han propuesto metodologías específicamente adaptadas a las condiciones propias de las cuencas andinas, que se caracterizan por presentar topografías abruptas y estructuras geológicas complejas. Los hallazgos de estos trabajos han evidenciado que, en contextos de alta complejidad geológica y relieve pronunciado el flujo base puede originarse en almacenamientos subterráneos ubicados en zonas de elevada altitud, mientras que el caudal base puede estar vinculado con sistemas de flujo subterráneo que recorren distancias considerables [13].

En Ecuador, el uso de metodologías de análisis de recesión hidrográfica ha sido registrado en diversos ámbitos regionales del país. Particularmente en la provincia de Manabí se desarrolló una investigación enfocada en la determinación del coeficiente de recesión del flujo base en tres sistemas de microcuencas, implementando procedimientos numéricos en ambientes tropicales y corroborando la aplicabilidad de estas técnicas bajo las condiciones hidrológicas ecuatorianas. Los resultados de este estudio constituyeron evidencia empírica de que las metodologías formuladas a nivel internacional son susceptibles de adaptación práctica a las particularidades hidrogeológicas y climáticas de las cuencas ecuatorianas [7].

El análisis de los caudales bajos en las cuencas andinas y tropicales se consolidó como una línea de investigación que fue impulsada por la creciente presión sobre los recursos hídricos y la marcada variabilidad climática interanual [18].

En este contexto, la caracterización del régimen hidrológico durante el periodo de estiaje resultó fundamental ya que mediante el uso de índices de caudal mínimo y parámetros de recesión se establecieron las bases para planificar el abastecimiento de agua, proyectar la generación energética y gestionar las sequías[10]. Las investigaciones evidenciaron que en zonas de relieve abrupto y fuerte control geológico el caudal base (el aporte subterráneo) determinaba la magnitud y duración de los periodos secos [19].

Consecuentemente, la identificación y caracterización de parámetros que sean simples en su aplicación pero que al mismo tiempo tengan una clara interpretación física y conceptual (como una constante de recesión expresada en términos diario) demuestra ser necesaria para facilitar la regionalización de los caudales bajos observados en cuencas monitoreadas [20].

Los estudios previos enfocados en el análisis de hidrogramas han identificado que el comportamiento del caudal durante la fase de recesión en ausencia de aportes pluviales directos se ha descrito tradicionalmente mediante modelos de decaimiento exponencial. En estos modelos, la disminución temporal del caudal se interpreta como resultado del drenaje gradual de los reservorios subterráneos presentes en la cuenca hidrográfica [19]. En este enfoque la constante de recesión resume la rapidez con la que desciende el caudal y también es empleada como un indicador integrado de propiedades hidrogeológicas del sistema, tales como la conductividad hidráulica efectiva y la porosidad drenante asociada al almacenamiento[20]. A partir de series diarias, diversos autores ajustan segmentos sucesivos de recesión o aplican procedimientos estadísticos para derivar constantes de

recesión representativas de cada cuenca, evidenciando su utilidad para interpretar la variabilidad de los índices de caudal bajo y para comparar respuestas hidrológicas entre unidades hidrográficas con diferencias de litología y cobertura del suelo [19].

Paralelamente a los métodos gráficos se desarrollaron procedimientos automáticos para separar el caudal base, basados en filtros digitales y algoritmos repetitivos aplicados a series de caudales diarios. Estas técnicas descomponen el hidrograma en componentes de alta frecuencia, asociadas a la escorrentía rápida y de baja frecuencia vinculadas al caudal base incorporando de forma implícita o explícita la dinámica de recesión relacionada con el drenaje del almacenamiento subterráneo [20]. Aunque su principal ventaja es la objetividad y la repetibilidad de distintos estudios muestran que la estimación del caudal base y de la constante de recesión es muy sensible a la elección de parámetros del filtro a la resolución temporal de los datos y a alteraciones antrópicas como regulación, derivaciones o bombeo. Por ello, suele recomendarse complementar los métodos automáticos con un análisis hidrológico detallado de los tramos de recesión, especialmente cuando se calibran modelos o se derivan parámetros de uso regional [18].

3.2 MARCO CONCEPTUAL REFERENCIAL

3.2.1 El ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico no posee un punto de un inicio o final definidos ya que constituye un proceso continuo y dinámico de circulación hídrica entre los diversos reservorios del sistema terrestre que son: atmósfera, superficie terrestre, subsuelo y océanos. La característica fundamental de este ciclo radica en la transformación del agua entre sus tres estados físicos (sólido, líquido y gaseoso), este proceso es impulsado principalmente por la energía solar y la fuerza de gravedad [4].

El ciclo inicia cuando la radiación solar provoca la evaporación del agua desde océanos, lagos, ríos y suelos, junto con la transpiración de la cobertura vegetal, haciendo que se transforme el agua líquida en vapor para que ascienda hacia la atmósfera. El vapor al enfriarse con el incremento de altitud experimenta condensación formando nubes constituidas por pequeñas gotas de agua o cristales de hielo. Cuando estas gotas aumentan de tamaño mediante coalescencia (gotas de agua chocan y se fusionan) hasta adquirir masa suficiente y precipitan en forma de lluvia, nieve o granizo [4].

Al alcanzar la superficie terrestre una fracción del agua es interceptada por la vegetación y estructuras superficiales mientras que otra porción se infiltra hacia el suelo recargando

acuíferos que posteriormente aportan como flujo base a los cauces fluviales. Estos flujos superficiales y subsuperficiales eventualmente alcanzan lagos, humedales o el océano desde donde el agua retorna a la atmósfera mediante evaporación, completando el ciclo [4].

Durante este proceso el agua puede almacenarse temporalmente en diversas partes antes de proseguir su trayectoria. Este almacenamiento resulta particularmente relevante en cuencas hidrográficas donde el agua contenida en acuíferos sostiene el caudal base durante intervalos sin precipitación [4].

Para una mejor comprensión del ciclo hidrológico, se puede observar la Figura 1, en la cual se ilustran las principales etapas del proceso.

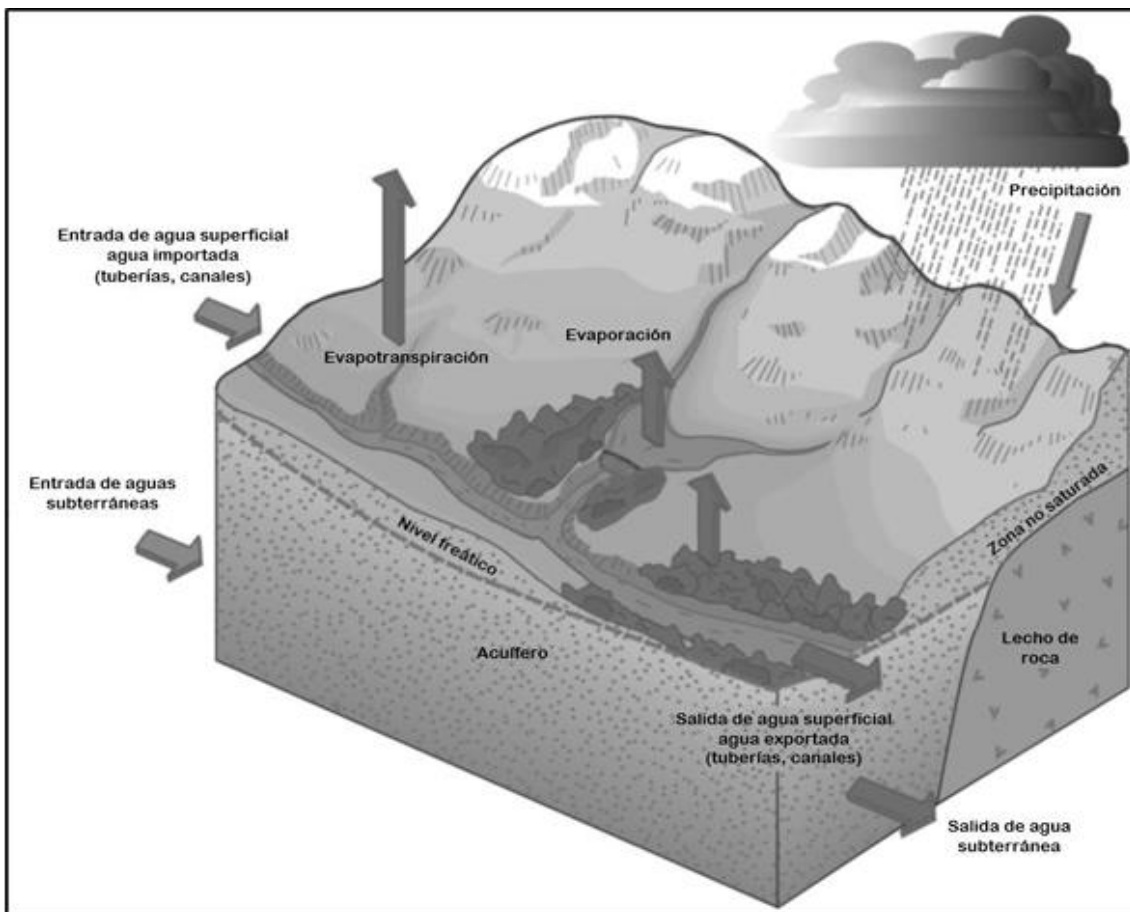


Figura 1. Ciclo hidrológico en una cuenca hidrográfica [4]

3.2.2 Precipitación

La precipitación se define como el agua procedente de la atmósfera que, tras condensarse en las nubes esta desciende hacia la superficie terrestre por efecto de la gravedad, independientemente de su estado físico (líquido o sólido). Este proceso constituye el

principal ingreso de agua al sistema hidrológico de una cuenca y representa el vínculo esencial entre la fase atmosférica y la fase terrestre del ciclo hidrológico [4].

Entre las características de interés se encuentran las siguientes: duración está definida como el tiempo durante el cual ocurre la precipitación generalmente está expresada en minutos; intensidad corresponde a la lámina de precipitación por unidad de tiempo generalmente expresada en milímetros por hora; y período de retorno que representa el intervalo temporal más probable entre dos eventos de magnitud similar [15].

3.2.3 Precipitación media

La determinación del volumen total de agua precipitado sobre un área específica constituye una aplicación fundamental en hidrología. Este volumen puede estimarse para un evento individual o para períodos de duración definida como un día, mes, trimestre o un año hidrológico [4].

La precipitación media sobre una cuenca hidrográfica consiste en transformar los registros puntuales de precipitación obtenidos en estaciones pluviométricas distribuidas espacialmente en un valor único representativo que caracteriza el ingreso de agua sobre toda el área de drenaje. Esta transformación resulta necesaria debido a que las estaciones meteorológicas proporcionan mediciones en ubicaciones específicas (puntos), mientras que los análisis hidrológicos requieren caracterizar la precipitación sobre la totalidad de la cuenca (área) [4].

Existen tres métodos para determinar la precipitación media de la cuenca:

Método de la media aritmética: Consiste en realizar la suma de los valores registrados en cada una de las estaciones pluviométricas y/o pluviográficas que se ubican dentro del área de estudio y dividirla entre el número total de estaciones [15].

Método de los polígonos de Thiessen: Consiste en establecer un área de influencia (polígono) alrededor de cada estación pluviométrica y/o pluviográfica. La precipitación media se calcula como un promedio ponderado de cada precipitación registrada en la estación respecto al área de influencia correspondiente a la estación [15].

Método de las curvas isohietas: Las isohietas son curvas que conectan puntos de igual precipitación. La precipitación media de la cuenca se obtiene multiplicando la superficie comprendida entre pares de isohietas consecutivas por la precipitación media entre ambas

y posteriormente la sumatoria de los n términos dividida entre el área total de la cuenca resulta en la precipitación media [15].

3.2.4 Régimen hidrológico fluvial

El régimen hidrológico de un río se entiende como el patrón anual de variación del caudal que es el resultado de la interacción entre precipitación, evapotranspiración, infiltración, almacenamiento subsuperficial y características fisiográficas de la cuenca [21]. Esta variabilidad estacional describe la magnitud, frecuencia y duración de los caudales y suele representarse con hidrogramas medios mensuales o diarios. Con estas series se distinguen periodos de caudales altos (crecidas), medios (transición) y bajos (estiaje) [18].

Para ilustrar el concepto de régimen hidrológico fluvial, la Figura 2 presenta un hidrograma general que muestra la variación del caudal en el tiempo.

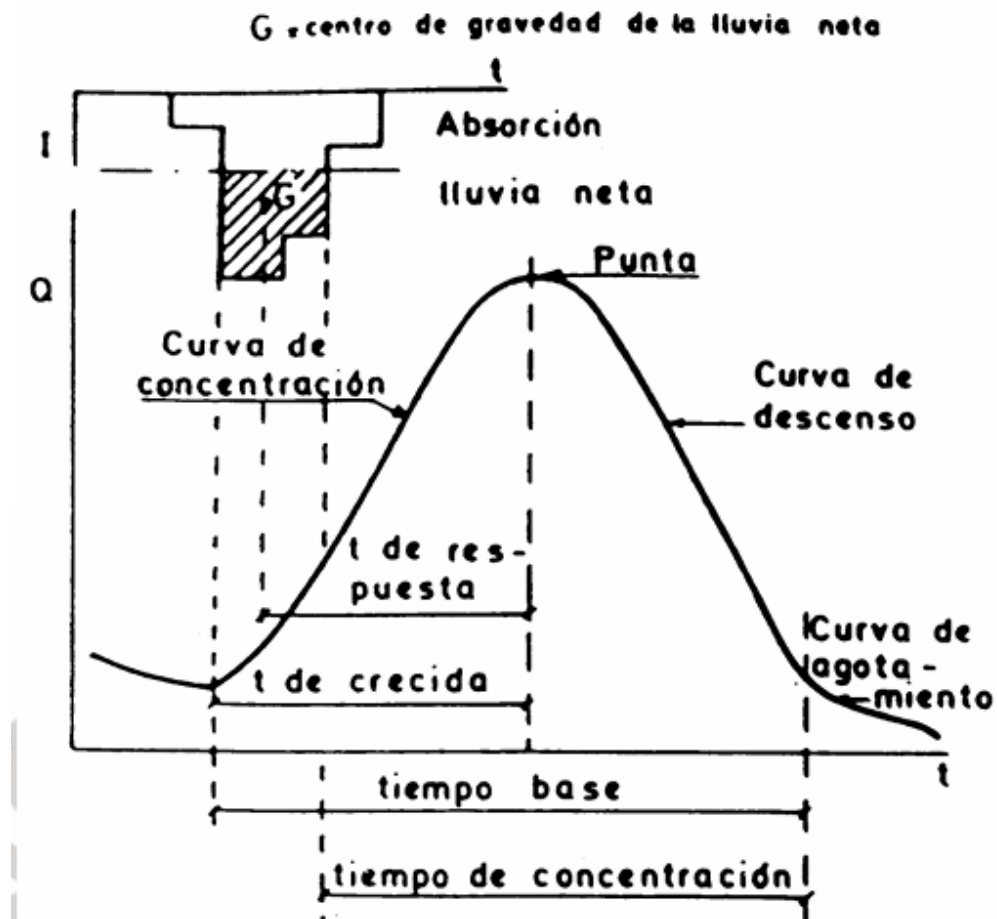


Figura 2. Hidrograma [21].

En cuencas andinas y tropicales, el régimen suele mostrar una estacionalidad marcada, controlada por el ciclo pluvial o por la combinación de precipitación según la altitud y la latitud [5]. En la temporada húmeda predominan caudales elevados asociados a lluvias

intensas; en la estación seca el caudal desciende gradualmente hasta niveles mínimos sostenidos principalmente por aportes subterráneos y el drenaje lento de los almacenamientos internos [18].

3.2.5 Caudales de estiaje

El estiaje corresponde al periodo en que el río registra sus caudales mínimos anuales debido a la reducción de la precipitación y de los aportes superficiales de respuesta rápida [18]. En estas condiciones, el hidrograma está dominado por el caudal base, asociado a la descarga subsuperficial y al vaciado de acuíferos y otros almacenamientos recargados durante la época lluviosa [16].

3.2.6 Hidrograma de caudal

El hidrograma es la representación gráfica del caudal en función del tiempo en una sección del río. Recopila la respuesta integrada de la cuenca ante sus entradas (precipitación efectiva) y sus procesos de salida y almacenamiento (infiltración, evapotranspiración, retenciones superficiales y descarga subterránea). En eventos de lluvia se relaciona el hietograma con la respuesta en caudal, constituyendo la base operativa para la modelación lluvia escorrentía y el análisis de recesión [21].

Un hidrograma típico asociado a tormentas se distingue en cuatro partes funcionales [21]:

- La rama ascendente: donde el caudal aumenta por los aportes progresivos desde laderas y drenajes [21].
- El pico: correspondiente al caudal máximo controlado por escorrentía superficial y aportes subsuperficiales rápidos [18].
- Rama descendente o recesión: donde el caudal disminuye con comportamiento aproximadamente exponencial en ciertos tramos [18].
- Agotamiento (cola del hidrograma): etapa tardía dominada por el caudal base y aportes subterráneos [21].

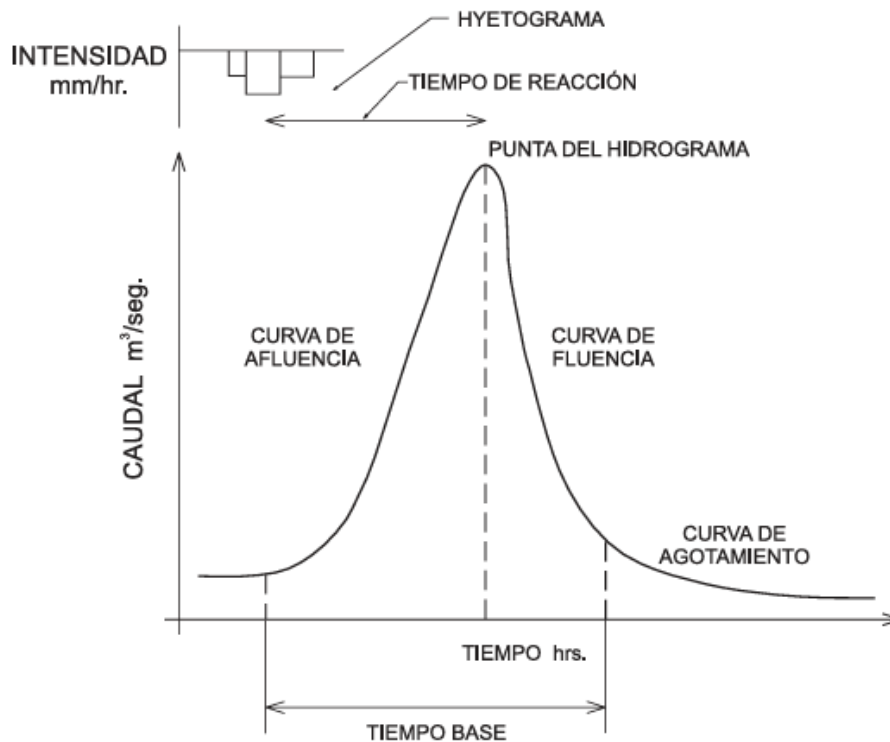


Figura 3. Hidrograma y sus partes [22].

Complementando con la figura anterior, la Figura 3 detalla las cuatro componentes funcionales del hidrograma.

3.2.7 El escurrimiento

El escurrimiento es la fracción de precipitación que una vez descontadas las pérdidas por interceptación, infiltración y evapotranspiración, lograba alcanzar la red de la cuenca [23]. Cuando este volumen se integra al cauce y es registrado en una estación, toma el nombre de caudal el cual representa la suma de aportes con diferentes tiempos de respuesta [21].

Este flujo se clasifica en tres componentes basados en la velocidad de respuesta de los aportes al cauce [23]:

- El escurrimiento superficial correspondido al agua que circulaba sobre la superficie del terreno hasta incorporarse al río que va constituyendo el componente de respuesta más rápida y el principal responsable del pico del hidrograma [23].
- El escurrimiento hipodérmico o subsuperficial se había asociado al agua que se infiltraba a poca profundidad y se desplazaba lateralmente a través de los

horizontes superiores del suelo hacia el cauce pudiendo incorporarse con relativa rapidez o con cierto retardo [23].

- El escurrimiento subterráneo había representado el agua que percolaba a mayores profundidades, circulaba a través de los acuíferos y descargaba al río con un retardo sosteniendo el caudal base durante los periodos de estiaje [23].

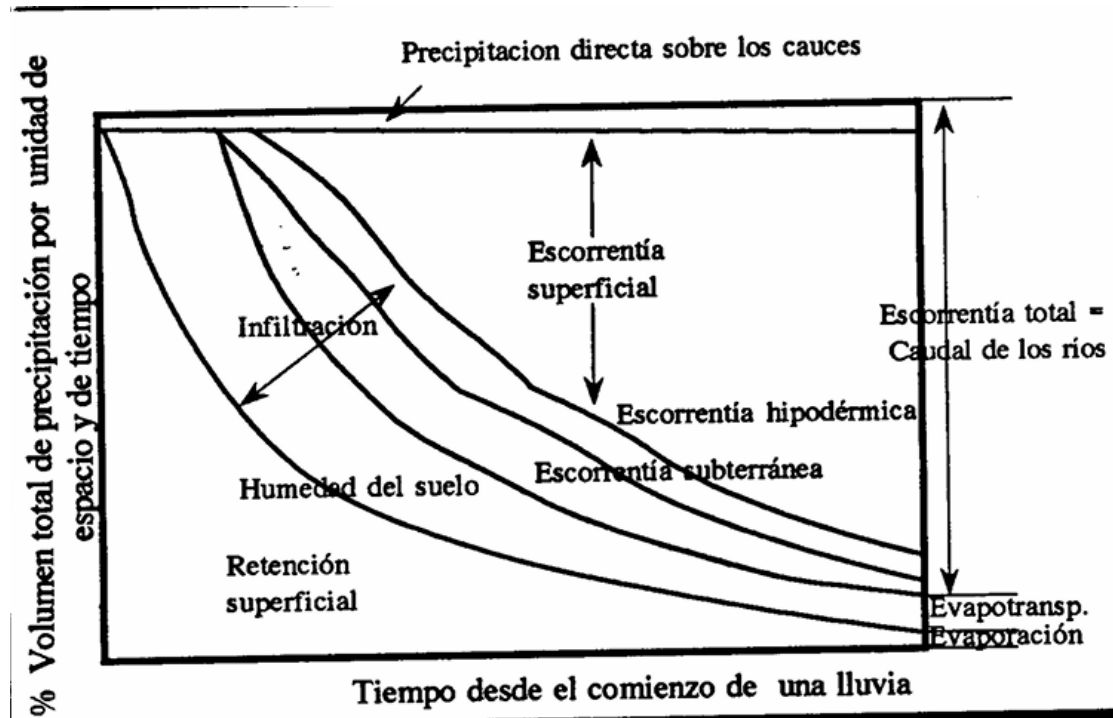


Figura 4. Componentes de la escorrentía [21].

La Figura 4 ilustra los tres tipos de escorrentía que contribuyen al caudal en el cauce: superficial, hipodérmica o subsuperficial, y subterránea.

3.2.8 Concepto de caudal base

El caudal base es la fracción del caudal que se mantiene entre precipitaciones que es alimentada por trayectorias retardadas principalmente descarga subterránea hacia el cauce por lo que predomina en estiaje. Se interpreta como el componente lento del hidrograma que es asociado al drenaje de los almacenamientos de la cuenca (zona saturada y en algunos casos aportes retardados desde la zona no saturada). Sin embargo, no equivale siempre al 100% de la descarga del acuífero ya que según el método de separación puede incluir aportes adicionales como retornos retardados [18].

Desde la perspectiva hidrogeológica el caudal base es la descarga del almacenamiento subterráneo hacia el cauce que actúa como una reserva que mantiene el caudal cuando el escurrimiento directo disminuye [13].

Los estudios sobre flujo base basados en curvas maestras de recesión destacan que esta reserva subterránea es un componente clave para la gestión del recurso hídrico y para definir caudales mínimos ecológicos ya que controla la persistencia del caudal durante periodos secos [13].

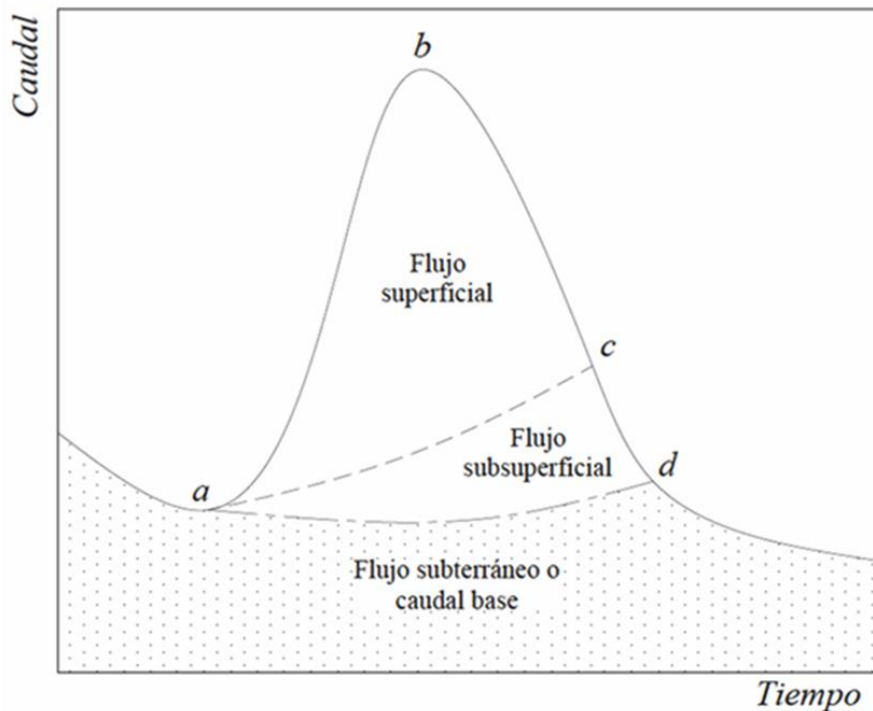


Figura 5. Esquema de separación del hidrograma [13].

La Figura 5 presenta el esquema conceptual que permite separar el flujo base del escurrimiento directo dentro del hidrograma.

3.2.9 Recesión de caudales

La recesión de caudales corresponde al tramo descendente del hidrograma después de una crecida y describe cómo el caudal disminuye durante días sin lluvia siendo progresivamente controlado por aportes subsuperficiales y principalmente por el caudal base asociado a la descarga subterránea [21].

En el enfoque tradicional, la recesión suele representarse mediante un comportamiento exponencial del caudal:

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

Donde:

$q(t)$: Caudal en el tiempo t desde el inicio de la recesión [16].

q_0 : Caudal inicial al inicio del tramo de recesión que se está analizando [16].

k : Constante característica de la cuenca [16].

3.2.10 Curva de duración de flujo.

La curva de duración de caudales representa una herramienta esencial en hidrología ya que describe la distribución acumulativa de los caudales a través de la relación entre la magnitud del flujo y su frecuencia de igualación o superación en un intervalo temporal definido. Este instrumento gráfico sintetiza el comportamiento hidráulico de un curso de agua considerando el espectro completo de descargas, independientemente de su secuencia cronológica esto facilita la evaluación del régimen hidrológico de la cuenca y la estimación de patrones de flujo futuros aplicables a proyectos hidroeléctricos, sistemas de suministro hídrico y análisis de calidad del agua [24].

La forma de la curva refleja las características geológicas, climáticas e hidrológicas propias a la cuenca. Curvas con pendientes pronunciadas caracterizan regímenes torrenciales en cuencas de reducida extensión con alta variabilidad pluviométrica, en tanto que curvas con pendientes suaves indican atenuación del flujo mediante almacenamiento en acuíferos o depósitos superficiales [25].

3.2.11 Algoritmos de selección de recesión.

Tallaksen (1995), la identificación de segmentos de recesión en hidrología deben analizarse periodos de recesión con duración mínima de 10 días para que representen efectivamente procesos de vaciado de reservorios subsuperficiales, el caudal inicial como la duración del periodo recesivo permanecen constantes, con el propósito de minimizar la variabilidad en los parámetros de recesión que podría originarse por las restricciones inherentes a la ecuación exponencial simple empleada, facilitando así la evaluación del efecto de los factores naturales sobre la variabilidad observada [26].

3.2.12 Curva Maestra de Recesión (MRC)

La Curva Maestra de Recesión (MRC) es una curva que describe el descenso en el caudal de una cuenca durante periodos sin lluvia efectiva. Se construye combinando varios tramos de recesión provenientes de diferentes eventos hasta obtener una única relación representativa [16].

La MRC se interpreta como la respuesta característica de la cuenca y su subsuelo que es influida por la geología, la distancia a las divisorias y los almacenamientos ya que integra

múltiples segmentos para formar una curva envolvente del patrón de vaciamiento. Es útil porque las recesiones individuales suelen iniciar en caudales distintos y tener duraciones diferentes, pero se busca una curva única que capture el comportamiento dominante cuando no hay recarga [16].

3.2.13 Caracterización del vaciamiento de almacenamiento mediante curvas de recesión

La curva de recesión corresponde al tramo del hidrograma que sigue al punto máximo en el cual el caudal disminuye hasta que vuelve a producirse un aumento por lo cual describe el descenso del caudal durante periodos secos o tras eventos de lluvia importantes [18].

En ausencia de recarga el caudal observado pasa a estar controlado principalmente por el almacenamiento de la cuenca y por la forma en que este se descarga hacia el cauce, es decir, por la relación entre almacenaje y salida [18].

Este enfoque es útil porque el patrón de recesión ofrece información sobre el vínculo entre la esorrentía observable y el almacenamiento que no se mide directamente a escala de cuenca [18].

Al representar el caudal Q en una gráfica semilogarítmica en función del tiempo la recesión dominada por el caudal base suele aproximarse a una línea recta que cuya pendiente se asocia con el parámetro que describe la velocidad de vaciamiento del almacenamiento [16].

Sin embargo, se ha señalado que muchas recesiones no muestran una recta en semilogarítmica, porque la relación entre almacenamiento y descarga puede ser no lineal (por ejemplo, en acuíferos no confinados) o porque intervienen otros almacenamientos, como humedales, lagos o el almacenamiento en márgenes del río, lo que provoca una curvatura en la recesión [18].

3.2.14 Índices de caudal bajo

Los índices de caudal bajo resumen valores de la magnitud, duración y frecuencia de los episodios de bajos caudales lo que permite caracterizar de manera concisa el comportamiento del río durante el estiaje [18].

Su vínculo con la recesión se debe a que en periodos secos el caudal está determinado en gran medida por el vaciamiento de los almacenamientos de la cuenca y por la forma o pendiente de las curvas de recesión [18].

Constantes de recesión más altas suelen indicar una mayor capacidad de almacenamiento en la cuenca y, por lo tanto, una contribución más sostenida del caudal base [18].

3.2.15 Modelos conceptuales de almacenamiento–descarga en cuencas

Los modelos conceptuales de almacenamiento–descarga representan el comportamiento hidrológico de una cuenca como uno o varios “reservorios” conectados que pueden almacenar agua (S) y liberarla en forma de caudal (Q) según una relación de descarga del tipo $Q=f(S)$ [21]. Con este enfoque, se explica tanto la respuesta de la cuenca ante eventos hidrometeorológicos como el proceso de vaciamiento durante los periodos de recesión lo que ayudó a entender la dinámica de los caudales bajos [18].

3.2.16 Representación del caudal base en modelos lluvia–escorrentía

En los modelos lluvia–escorrentía, el caudal base se describe como la componente de respuesta lenta del sistema que es vinculada principalmente a la descarga subterránea y al almacenamiento. Incluirla permitió evitar que el hidrograma simulado cayera a valores nulos entre eventos, además se realizó la recesión durante el estiaje [21].

En la conceptualización tradicional del hidrograma, el caudal total se separa en una fracción rápida y una fracción lenta correspondiente al caudal base que es relacionada con el aporte del acuífero en condiciones de aguas bajas [21].

Particularmente en los modelos conceptuales lluvia–escorrentía, el caudal base se representa generalmente como la descarga de uno o varios reservorios de dinámica lenta (almacenamientos), alimentados por la lluvia efectiva mediante procesos de percolación y recarga [18].

4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

El presente proyecto de investigación aborda el análisis de la recesión hidrológica y la estimación del flujo base mediante las curvas de recesión en la cuenca del río Coca, localizada en la región amazónica del Ecuador. Para el desarrollo del estudio es necesario el análisis de series temporales hidrológicas y meteorológicas correspondientes al período comprendido entre los años 2000 hasta el 2025 proporcionadas por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) [27]. La metodología implementada corresponde al método propuesto por Bako y Owoade (1988) el cual emplea técnicas numéricas y estadísticas que incluyen regresión logarítmica y análisis de sensibilidad,

permitiendo caracterizar de manera objetiva el comportamiento y la dinámica del flujo base en la cuenca del río Coca.

4.2 ENFOQUE METODOLÓGICO

La investigación adoptó un enfoque cuantitativo dirigido a la caracterización hidrológica de la cuenca del río Coca mediante el análisis de procesos de recesión de caudales. Este tipo de estudio se sustentó con el procesamiento estadístico y matemático de datos hidrométricos observados con el fin de generar información relevante en la estimación de caudales mínimos o de estiaje [28].

La metodología principal utilizada fue el análisis de curvas de recesión, técnica respaldada en la literatura hidrológica que permitió cuantificar la descarga de agua subterránea hacia los cauces en periodos sin precipitación [16]. Este método se fundamentó en el principio de que durante épocas secas el caudal de un río proviene principalmente del aporte de acuíferos, generando una curva de descenso característica que reflejó las propiedades hidrogeológicas de la cuenca como la cobertura vegetal, el tipo y profundidad del suelo, y las características del acuífero [6].

El alcance del estudio se enfocó en la estimación de caudales bajos a través de parámetros de recesión, lo cual tiene aplicaciones directas en el diseño de obras hidráulicas, la planificación de recursos hídricos y la asignación de concesiones de agua [13].

4.3 ESQUEMA METODOLÓGICO

El desarrollo metodológico se estructura en dos fases complementarias:

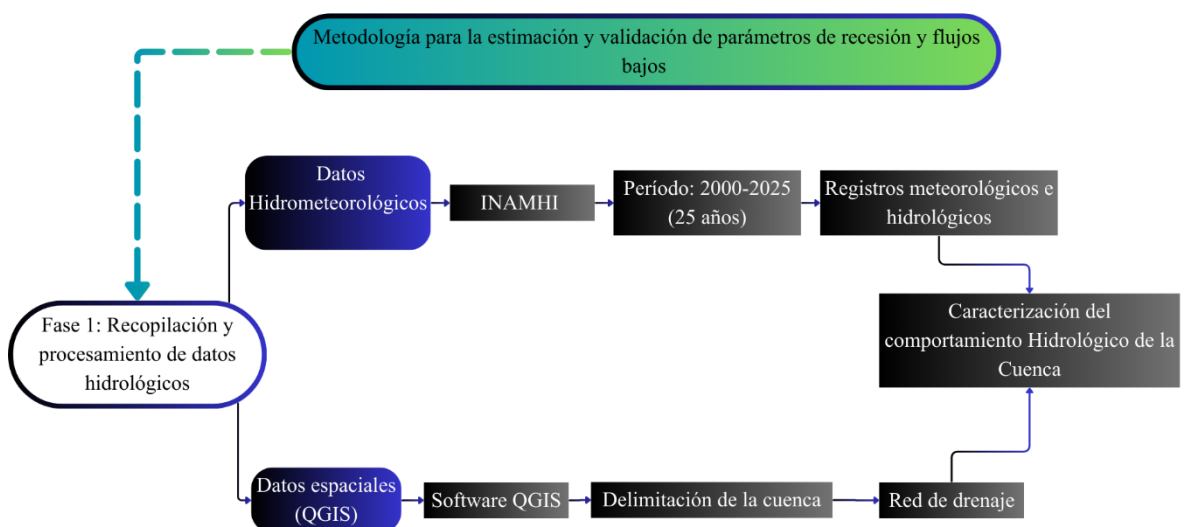


Figura 6. Esquema metodológico de la fase 1.

En esta fase inicial (Figura 6) se obtuvieron registros temporales de información hidrológica y meteorológica facilitados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) del período 2000-2025. Esta extensión temporal asegura la capacidad estadística necesaria para determinar el comportamiento del flujo base e identificar el proceso de recesión. También se obtuvo datos geospaciales mediante el software QGIS Solothurn 3.44 que son requeridos para el estudio de la recesión hidrológica en la cuenca del río Coca.

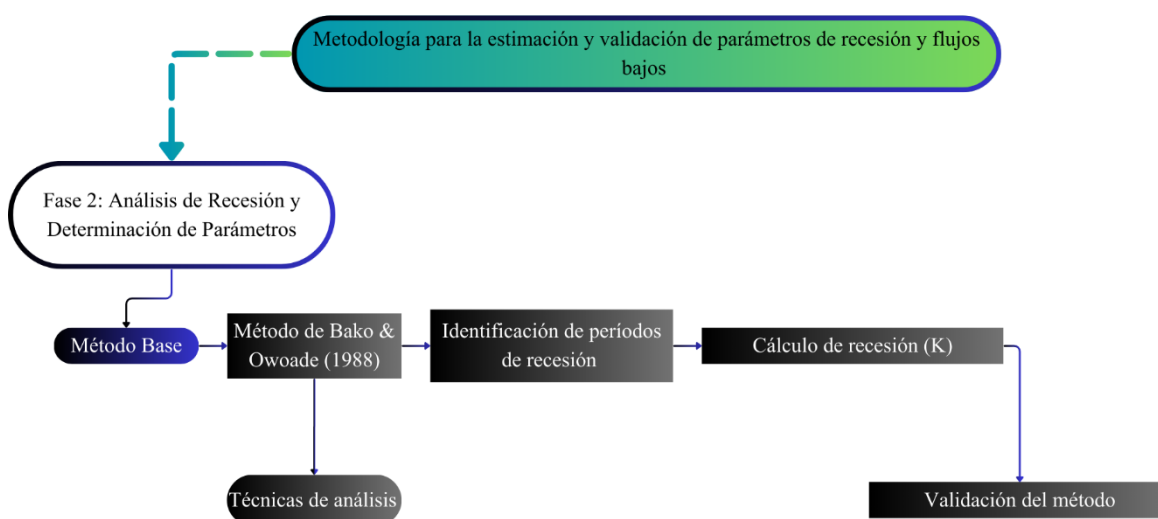


Figura 7. Esquema metodológico de la fase 2.

En esta fase (Figura 7) se implementó el método de análisis de curvas de recesión desarrollado por Bako & Owoade (1988). Los períodos de recesión se determinaron a través de la identificación visual de segmentos descendentes en el hidrograma que no presentaban interferencia de eventos pluviométricos [28]. Estas curvas de recesión reflejan el agotamiento progresivo de los almacenamientos subterráneos que se encuentran en conexión hidráulica con los flujos superficiales [13].

4.4 ÁREA DE ESTUDIO

4.4.1 Localización geográfica

La cuenca del río Coca se ubica (Figura 8) en la región amazónica ecuatoriana, el área de estudio comprende territorios correspondientes a las provincias de Napo, Pichincha y Sucumbíos [29]. Para el procesamiento de la información geoespacial, se adoptó el sistema de referencia de coordenadas UTM WGS84 Zona 17 Sur, el cual constituye el

sistema de proyección cartográfica para la región oriental del país. Este sistema permite realizar cálculos de distancias, superficies y parámetros morfométricos [4].

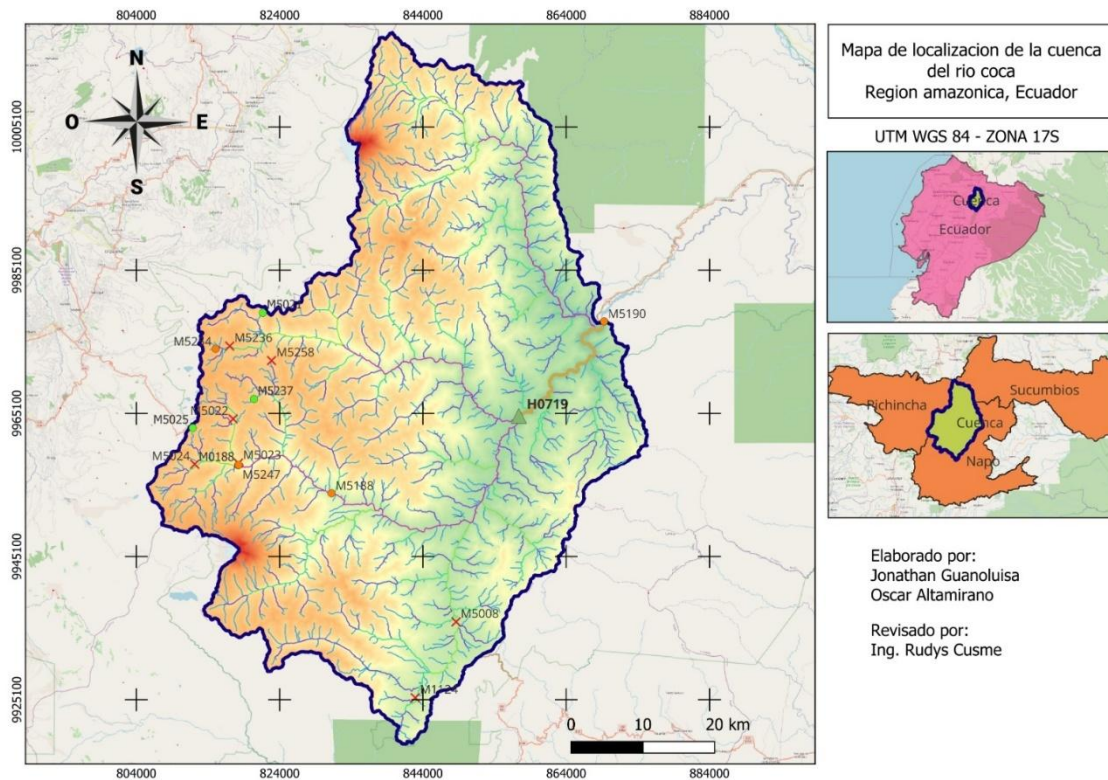


Figura 8. Mapa de localización de la cuenca del río Coca.

4.4.2 Características climáticas.

La cuenca del río Coca se caracteriza por un clima tropical húmedo, cuyas condiciones están condicionadas por la variación altitudinal:

Con datos del INAMHI recopilados por Aguirre (2016), la precipitación muestra una notable variabilidad espacial determinada por el gradiente altitudinal. Los promedios anuales de precipitación se registran desde 1492,50 mm en áreas de páramo hasta alcanzar 6067,30 mm en sectores de bosque húmedo amazónico [4].

La temperatura promedio anual presenta una relación inversa con la elevación, evidenciando un gradiente térmico vertical de 4,9°C de disminución por cada kilómetro de altura. Los valores de temperatura oscilan desde alrededor de 26°C en las zonas de menor altitud hasta temperaturas próximas a 0°C en las cumbres glaciares de los volcanes Antisana y Cayambe [4].

El río Coca registra una escorrentía media de 307 m³/s, exhibiendo un comportamiento hidrológico marcado por incrementos rápidos del flujo como respuesta a eventos pluviométricos [4].

4.5 SELECCIÓN DE ESTACIONES HIDROLÓGICAS Y METEOROLÓGICAS

La selección de las estaciones de monitoreo del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) para el análisis de recesión de caudales en la cuenca del río Coca se ejecutó mediante el siguiente procedimiento.

Se ingresa al visor geográfico interactivo del portal web institucional del INAMHI para identificar todas las estaciones meteorológicas e hidrométricas de la región, tanto operativas como inoperativas. Se seleccionaron preliminarmente aquellas estaciones ubicadas dentro de los límites de la cuenca del río Coca.

Se excluyeron las estaciones suspendidas que no presentaban registros durante el período de interés, dado que se requería información continua para caracterizar el comportamiento hidrológico de la cuenca durante el período de análisis 2000-2025. Como resultado, se identificaron cuatro estaciones meteorológicas y una hidrológica operativa dentro de la cuenca.

Las variables obtenidas por el INAMHI:

- Precipitación diaria (mm/h)
- Nivel de caudal (cm)

En el área de estudio se identificaron un total de quince estaciones meteorológicas, de las cuales ocho se encuentran actualmente en operación; no obstante, únicamente cuatro disponen de información suficiente para el análisis. En cuanto a la hidrológica se registró una estación en operación con datos disponibles para el período de estudio, tal como se detalla en la Tabla 4.

Tabla 4. Estaciones meteorológicas y hidrológica del área de estudio.

CÓDIGO	ESTACIÓN	ESTADO	OBSERVACIÓN
M5190	CAPTACIÓN CENTRAL - CCS	Activa	Poca información para el análisis
M5254	SALVEFACHA ALTO – EPMAPS	Activa	Poca información para el análisis
M5188	CUYUJA TOMA PAPALLACTA – CCS	Activa	Poca información para el análisis

CÓDIGO	ESTACIÓN	ESTADO	OBSERVACIÓN
M5021	SALVEFACHA – OYACACHI	Activa	Con información necesaria
M5247	PAPALLACTA – EPMAPS	Activa	Poca información para el análisis
M0188	PAPALLACTA	Activa	Con información necesaria
M5025	LA VIRGEN – PAPALLACTA	Activa	Con información necesaria
M5237	GUAYTALOMA	Activa	Con información necesaria
M5008	CASANGA	Inactiva	Poca información para el análisis
M1124	SIERRAZUL	Inactiva	Poca información para el análisis
M5023	PAPALLACTA	Inactiva	Poca información para el análisis
M5024	EL TAMBO (PAPALLACTA)	Inactiva	Poca información para el análisis
M5022	CONTROL BANIOS (PAPALLACTA)	Inactiva	Poca información para el análisis
M5258	LAGUNA LOS PATOS – EPMAPS	Inactiva	Poca información para el análisis
M5236	SALVE FACCHA	Inactiva	Poca información para el análisis
H0719	QUIJOS DJ OYACACHI	Activa	Con información necesaria

4.6 PROCESAMIENTO Y CONTROL DE DATOS

La información suministrada por el INAMHI en formato digital se organizó en una base de datos integrada mediante Microsoft Excel, lo cual permitió el procesamiento simultáneo de múltiples series temporales [30].

4.6.1 Control de datos

Es un requisito para asegurar la confiabilidad de cualquier análisis hidrológico. Este procedimiento permite identificar los años con mayor densidad de información que son adecuados para realizar un análisis de recesión, así como aquellos períodos con déficit crítico de datos [30].

4.6.2 Relleno de datos faltantes

Los vacíos de datos detectados durante el control se completaron mediante la curva de descarga. Este procedimiento tuvo como propósito generar series temporales continuas

que permitieran identificar períodos de recesión completos sin afectar la confiabilidad del análisis [31].

Para el relleno de series de caudal en la estación hidrológica se utilizó el método de curvas de aforo o curvas de descarga que establece la relación funcional entre la altura del nivel de agua (h) registrada y el caudal (Q) [13].

La Figura 9 muestra la curva de descarga de la estación H0719 que presenta una relación altamente consistente entre ambas variables, lo que permitió reconstruir registros de caudal a partir de niveles medidos cuando no existían datos directos de descarga.

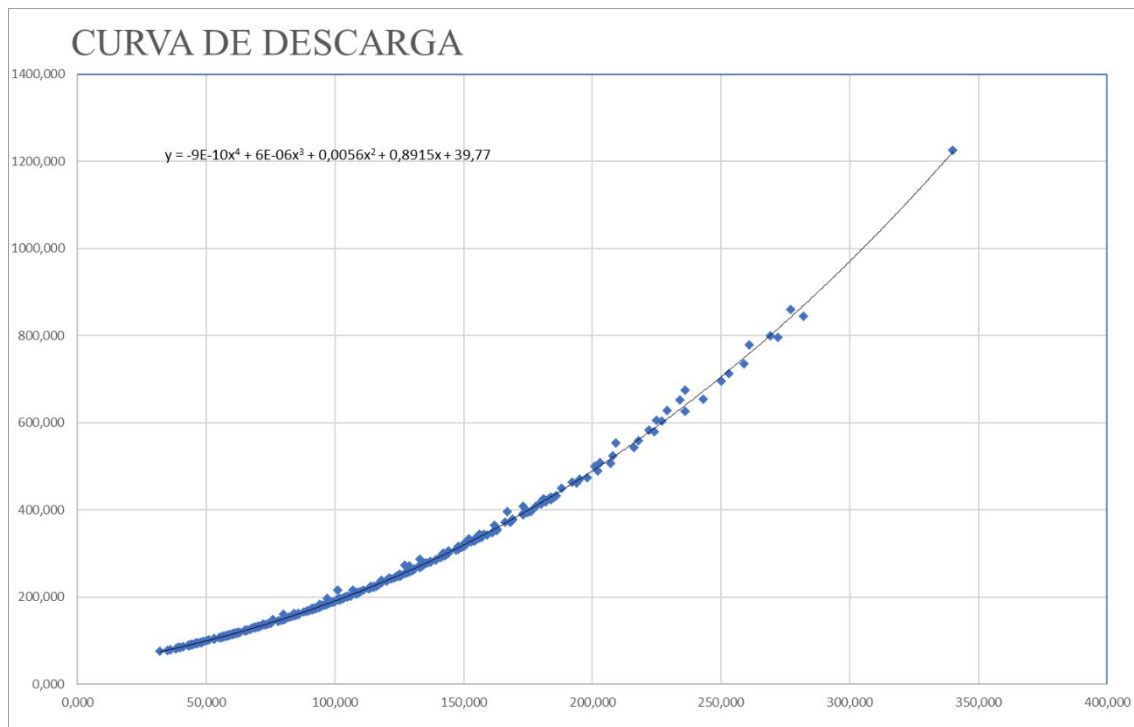


Figura 9. Curva de descarga.

4.7 INFORMACIÓN DERIVADA DE QGIS

Se recopiló y procesó información en el software QGIS lo cual permitió la caracterización física y morfométrica de la cuenca. Se obtuvo los siguientes parámetros [32]:

4.7.1 Delimitación de la cuenca hidrográfica.

La delimitación de la cuenca del río Coca (Figura10) se realizó mediante técnicas de procesamiento geoespacial. Se empleó el complemento ArcGeek Calculator como herramienta principal para automatizar el flujo de trabajo. Esta extensión, desarrollada específicamente para facilitar procesos hidrológicos complejos en entornos SIG, permitió

ejecutar el análisis hidrológico de la cuenca hidrográfica a partir de información topográfica digital contenida en Modelos Digitales de Elevación [32].

DELIMITACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO COCA

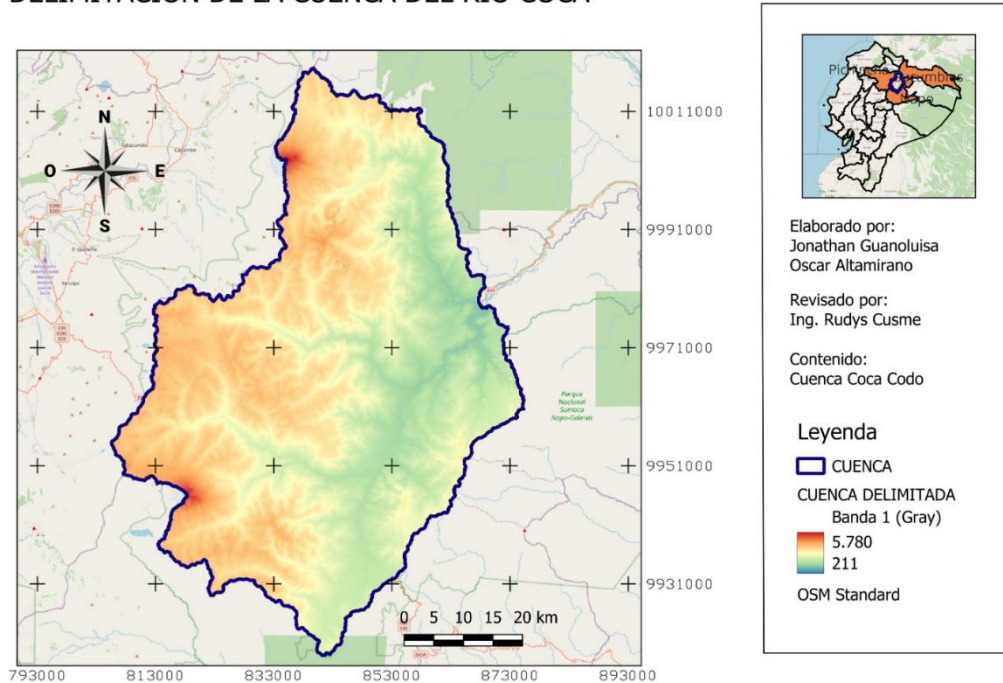


Figura 10. Delimitación de la cuenca río Coca.

4.7.2 Cálculo del área de la cuenca

Una vez obtenido la cuenca delimitada mediante el análisis hidrológico, se procedió al cálculo del área de drenaje que define la magnitud del sistema hidrográfico analizado. El cálculo del área se ejecutó mediante la calculadora de campos (Field Calculator), herramienta que permite realizar operaciones geométricas sobre atributos de capas vectoriales de manera automatizada [32].

Con la siguiente expresión

$$A = \frac{\$área}{1000000}$$

Donde:

- A = Área de la cuenca en kilómetros cuadrados (km²)
- \$área = Función geométrica de QGIS que calcula automáticamente el área del polígono en unidades del sistema de coordenadas.
- 1000000 = Factor de conversión de metros cuadrados a kilómetros cuadrados (1 km² = 10⁶ m²)

Luego de la delimitación en QGIS, la Tabla 5 resume el resultado del cálculo del área de drenaje.

Tabla 5. Área de la cuenca.

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD	INTERPRETA
Área de la cuenca (A)	3718.81	km ²	Gran cuenca

4.7.3 Red de drenaje.

Mediante el módulo correspondiente del plugin, se procedió a la extracción automática de la red de drenaje. Se ajustó el umbral de acumulación de flujo para definir la densidad apropiada de los cauces permitiendo que la herramienta identificara y clasificara automáticamente los afluentes según la jerarquización de Strahler [32]. La Figura 11 visualiza la orden fluvial clasificada según el sistema de Strahler, determinándose un orden de corrientes de nivel 6, lo que evidencia una red compleja y ramificada propia de una cuenca de gran extensión con relieve pronunciado.

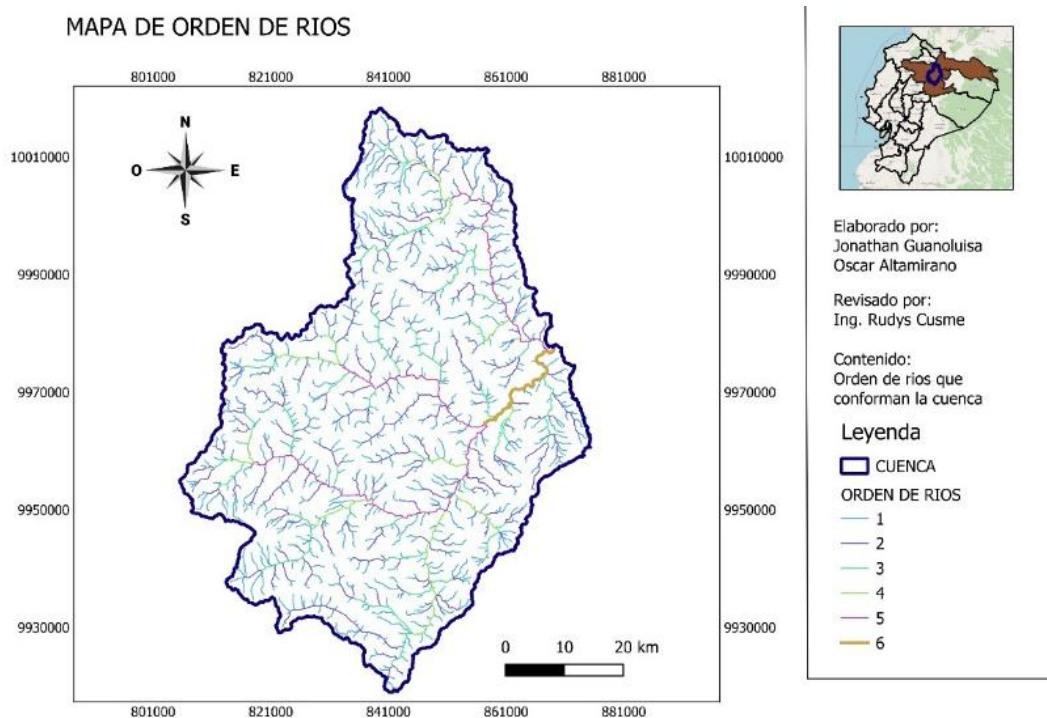


Figura 11. Red hídrica de la cuenca del río Coca.

4.7.4 Polígonos de Thiessen

Los polígonos de Thiessen son frecuentemente empleados en el ámbito hidrológico para estimar la distribución espacial de la precipitación en cuencas hidrográficas. Esta técnica es desarrollada inicialmente por Thiessen (1911) [33].

Se incorporó la capa vectorial de puntos correspondiente a las cuatro estaciones meteorológicas del INAMHI distribuidas en la cuenca del río Coca incluyendo los atributos de código de estación, denominación y coordenadas UTM WGS84 Zona 17S [4].

Se accedió al módulo "Polígonos" desde el menú de herramientas de procesamiento de QGIS. Con el propósito de garantizar que los polígonos generados cubran totalmente el área de la cuenca y se proyecten más allá de los límites de los puntos periféricos [34].

Dado que los polígonos generados se extendían fuera de los límites de la cuenca del río Coca se ejecutó un proceso de recorte mediante la herramienta "Cortar" disponible en el menú Vectorial [34].

La Figura 12 muestra la división de la cuenca en cuatro zonas de influencia: M0188, M5025, M5237 y M5021, las cuales representan el aporte de precipitación de cada estación.

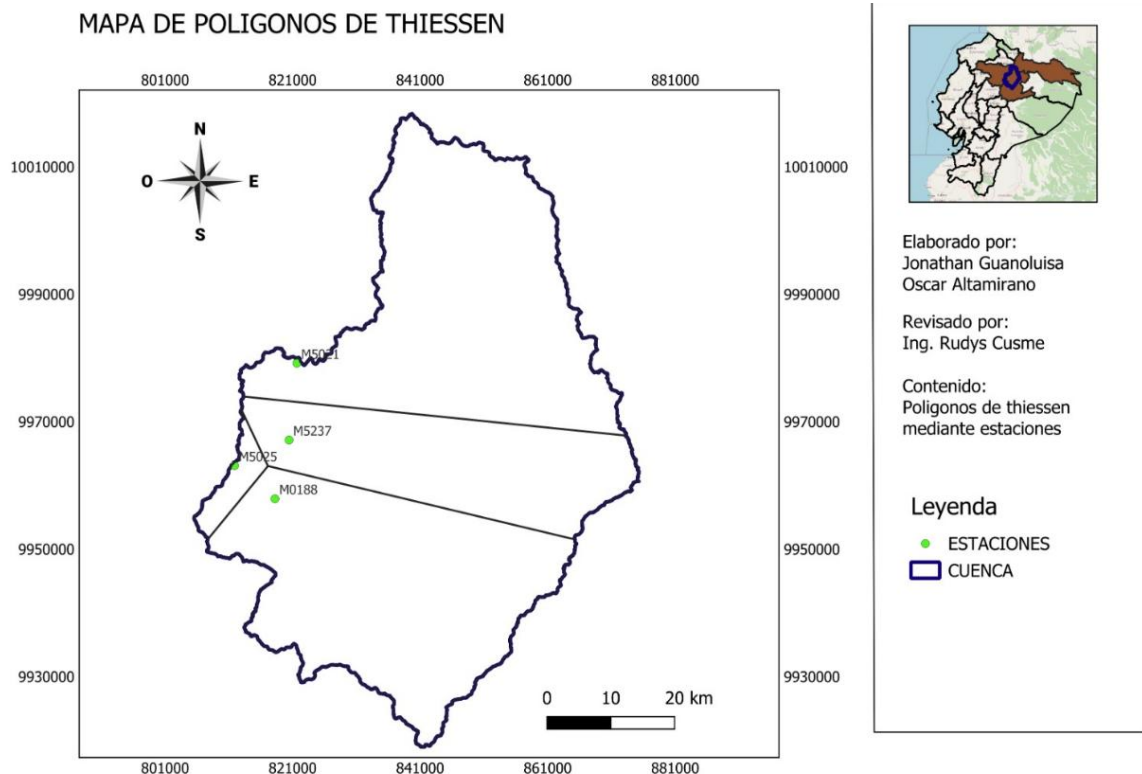


Figura 12. Polígonos de Thiessen de la cuenca río Coca.

4.8 APLICACIONES DEL ANÁLISIS DE RECESIÓN

La técnica de Bako & Owoade (1988) permite obtener el coeficiente K mediante regresión lineal aplicada a múltiples segmentos de recesión. Posteriormente, se evalúa mediante

una prueba estadística si estos segmentos independientes provienen de una población común con la misma constante de recesión, se calcula un valor promedio de K ponderado por el número de observaciones en cada grupo, lo que proporciona una estimación de la constante de recesión característica de la cuenca [12].

El objetivo principal es la determinación cuantitativa de la constante de recesión K que controla la tasa de descenso del flujo base durante períodos sin precipitación. Este parámetro es fundamental porque caracteriza las propiedades hidrogeológicas del acuífero que alimenta el río [12].

4.9 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE PERÍODOS DE RECESIÓN

Tallaksen (1995) establece que la determinación del punto de origen temporal de las recesiones hidrológicas no puede realizarse de manera arbitraria, destacando la complejidad inherente a la identificación de un procedimiento consistente para la selección de periodos de recesión a partir de registros continuos de caudal [26]. La Tabla 6 compara los criterios metodológicos propuestos por Bako Owoade (1988) y Tallaksen (1995) con adaptación a la cuenca del río Coca:

Tabla 6. Criterios de selección de períodos de recesión según Bako & Owoade (1988) y Tallaksen (1995)

CRITERIO	BAKO & OWOADE (1988)	TALLAKSEN (1995)	APLICACIÓN AL RÍO COCA
Duración mínima del segmento	≥ 5 días consecutivos	$\geq 5-10$ días dependiendo del tamaño de cuenca	≥ 7 días (cuenca grande $>1.000 \text{ km}^2$)
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 10 estaciones INAMHI)
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

CRITERIO	BAKO & OWOADE (1988)	TALLAKSEN (1995)	APLICACIÓN AL RÍO COCA
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	$R^2 > 0.90$ para segmentos aceptables
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 HIDROLÓGICAS

Las variables hidrológicas esenciales en el análisis de recesión representan el conjunto de información hidrometeorológica fundamental que facilita la caracterización del comportamiento del flujo base en los cursos fluviales durante intervalos sin eventos de precipitación. Dichas variables hidrológicas esenciales para el análisis de recesión son:

4.10.1 Caudal.

A partir de los caudales registrados en la estación hidrológica H0719 se obtuvieron los hidrogramas correspondientes a las descargas del curso fluvial expresadas en m^3/s a intervalos diarios, lo que permitió caracterizar el comportamiento hidrológico de la cuenca durante el período de análisis. Durante las fases de recesión el caudal registrado representa el aporte del flujo base que es derivado del drenaje de los acuíferos que mantienen conexión hidráulica con el cauce [13].

4.10.2 Tiempo.

La duración de la recesión está expresada en días, constituye un parámetro que facilita la identificación y delimitación de los períodos de recesión en el hidrograma. Un período de recesión se conceptualiza como el segmento del hidrograma donde el caudal experimenta una disminución progresiva sin la influencia de nuevas contribuciones derivadas de eventos de precipitación evidenciando exclusivamente el drenaje gradual de los reservorios subterráneos [13].

4.10.3 Precipitación.

La precipitación desempeña un papel importante en el análisis de recesión hidrológica ya que su distribución temporal condiciona directamente la respuesta del caudal en la cuenca. A partir de su variación es posible establecer el umbral necesario para identificar los períodos de estiaje estos corresponden a las épocas de menor disponibilidad hídrica en el curso fluvial [13].

4.11 ÁREAS DE INFLUENCIA DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS

Para cuantificar el área de influencia correspondiente a cada estación meteorológica se accedió a la tabla de atributos de la capa de polígonos de Thiessen recortados, realizando clic derecho sobre la capa y seleccionando la opción "Abrir tabla de atributos" [34].

Se habilitó el modo de edición (ícono del lápiz) y se empleó la calculadora de campos para generar un nuevo atributo con las especificaciones correspondientes [34].

El área de cada polígono de Thiessen (Tabla7) constituye un parámetro fundamental para el cálculo de la precipitación media ponderada de la cuenca de acuerdo con el método de Thiessen [34].

Tabla 7. Área de polígonos de Thiessen.

id	Nombre	Área	Unidades
1	M0188	1346,528602	km ²
2	M5025	72,38940851	km ²
3	M5237	795,8770714	km ²
4	M5021	1496,207497	km ²

4.12 CRITERIO POR MEDIO DE LA SENSIBILIDAD DE LA CONSTANTE K

Para determinar con precisión el inicio y término de cada período de recesión en las series de caudal de la cuenca del río Coca se implementó el criterio de sensibilidad de la constante K propuesto por Bako y Owoade (1988) [7]. Este método establece una base objetiva y cuantitativa para la identificación de recesiones representativas del flujo base reduciendo la subjetividad asociada a la inspección visual del hidrograma [13]. Posterior a la identificación preliminar de los períodos candidatos de recesión mediante evaluación visual se aplicó el criterio de sensibilidad de la constante K conforme a la metodología descrita [7].

4.13 DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE K

Para establecer la constante de recesión K a partir de los períodos de recesión identificados se implementó la metodología desarrollada por Bako y Owoade (1988), la cual proporciona un procedimiento robusto para estimar este parámetro mediante técnicas de regresión logarítmica [13].

Para la estimación de K se empleó la ecuación propuesta por Bako y Owoade (1988), la cual al ser despejada adopta la siguiente expresión:

$$K = 10 \frac{\text{Log}(Qt) - \text{Log}(Qo)}{t}$$

De este modo se obtuvieron las constantes de recesión correspondientes a diferentes eventos de recesión distribuidos a lo largo de múltiples años. No obstante, para caracterizar el comportamiento hidrológico general de la cuenca, resulta necesario determinar una constante de recesión única y representativa para la totalidad de la cuenca [13].

La expresión matemática para determinar la constante de recesión K es la siguiente:

$$b = \frac{\sum_{i=0}^k (\sum_{v=1}^{ni} U y_i v - 1/2(ni)(ni + 1)(Y_i))}{\sum_{i=0}^k (1/12)(ni^3 - ni)}$$

Donde:

b = Promedio de las líneas de regresión.

U = Números de flujos.

y_i = Logaritmo del flujo inicial.

Y_i = Promedio.

N_i = Numero de observaciones.

4.14 Coeficiente de eficiencia Nash-Sutcliffe (NSE)

El Coeficiente de eficiencia Nash-Sutcliffe (NSE) es una medida estadística utilizada en hidrología para evaluar el desempeño de modelos hidrológicos y la calidad de las predicciones de caudales propuesta originalmente por J.E. Nash y J.V. Sutcliffe en 1970 [35]. Se basa en la comparación entre los valores observados y los valores simulados por un modelo hidrológico permitiendo cuantificar la proporción de la variabilidad total del caudal observado que es explicada por el modelo [36].

Nash y Sutcliffe (1970) definieron el coeficiente como:

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

Donde:

Q_o = Caudal observado.

Q_s = Caudal simulado.

$\overline{Q_o}$ = La media de los observados.

Cuando el valor de la eficiencia de Nash Sutcliffe se acerca a 1 es más preciso el modelo, este tiene un rango de 1 hasta los valores infinitos negativos como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Rango e interpretación de la eficiencia de Nash Sutcliffe (NSE).

NSE	AJUSTE
NSE > 0,8	Excelente
0,6 ≤ NSE < 0,8	Muy Bueno
0,4 ≤ NSE < 0,6	Bueno
0,2 ≤ NSE < 0,4	Satisfactorio
NSE < 0,2	Insuficiente

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1 ESTACIONES SELECCIONADAS PARA EL ANÁLISIS.

El proyecto de investigación se inició con la adquisición de datos de la estación hidrológica del INAMHI que cuenta con series temporales de extensión adecuada en registros anuales que cumplió con un período mínimo de recopilación de datos de caudal (m³/s) y niveles (cm).

De los anuarios hidrológicos correspondientes a la estación se obtuvo los registros diarios de niveles y caudales los cuales fueron incorporados en una hoja de cálculo de Microsoft Excel con el propósito de mantener un registro ordenado de la información y facilitar posteriormente la elaboración de hidrogramas utilizados en el análisis de recesión.

La Tabla 9 concentra la información básica de la estación H0719 "Quijos DJ Oyacachi":

Tabla 9. Estación hidrológica del INAMHI

CÓDIGO	UBICACIÓN	ESTACIÓN	LONGITUD	LATITUD	ALTURA
--------	-----------	----------	----------	---------	--------

H0719	NAPO – EL CHACO	QUIJOS DJ OYACACHI	-777.898	-0.31832	1490 m.s.n.m
-------	--------------------	-----------------------	----------	----------	-----------------

La Figura 13 muestra la ubicación y aspecto físico de la estación H0719 "Quijos DJ Oyacachi", localizada en el cantón El Chaco, provincia de Napo, a 1 490 m.s.n.m., que constituyó la fuente principal de los registros de caudal diario.

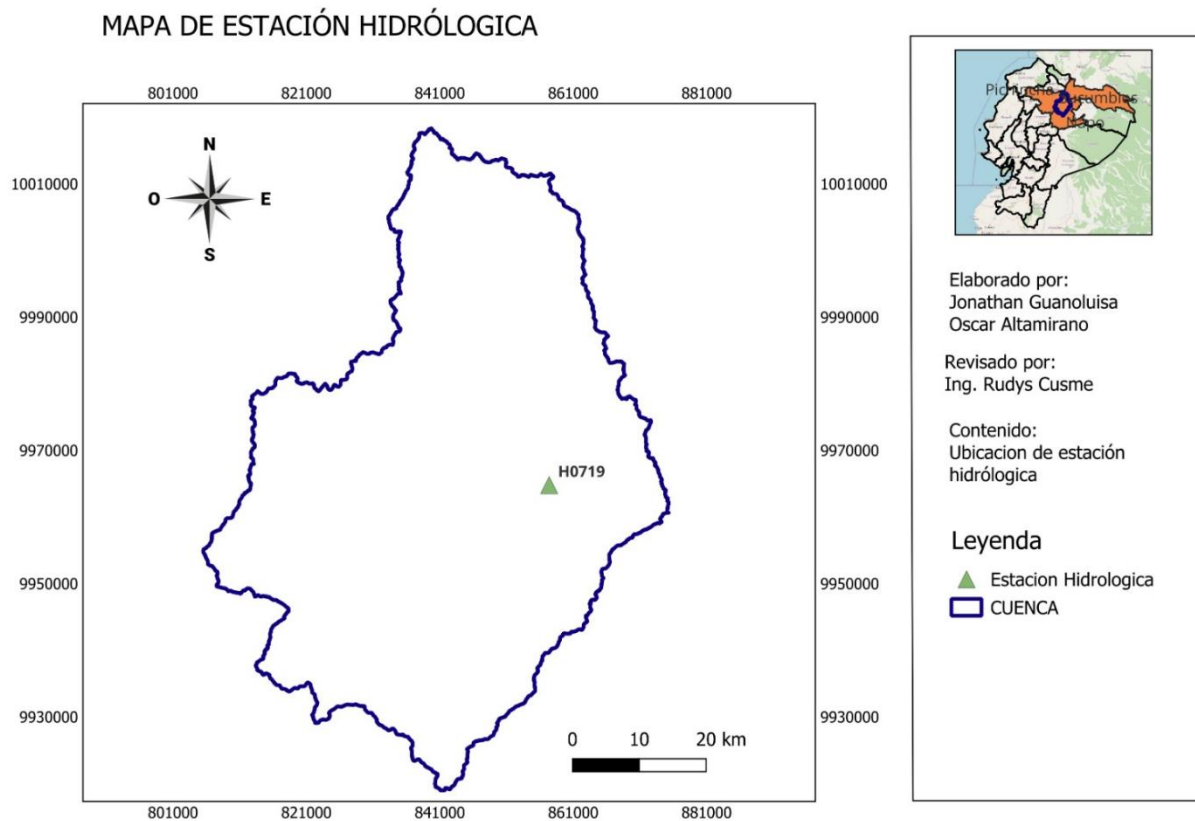


Figura 13. Ubicación de la estación hidrológica H0719 – Quijos DJ Oyacachi.

Se ejecutó una selección de estaciones meteorológicas en función de su influencia a la ubicación de la estación hidrológica. Se obtuvieron los datos de precipitación (mm) provenientes de los anuarios meteorológicos de cada estación que comprende el área de estudio. De igual manera, estos datos resultaron determinantes para la identificación de los períodos de recesión. La Tabla 10 detalla las coordenadas y altitudes de las cuatro estaciones meteorológicas seleccionadas:

Tabla 10. Estaciones meteorológicas del INAMHI

CÓDIGO	UBICACIÓN	ESTACIÓN	LONGITUD	LATITUD	ALTURA
M5021	NAPO – EL CHACO	SALVEFACHA – OYACACHI	-78110556	-0.188333	3710 m.s.n.m
M0188	NAPO – QUIJOS	PAPALLACTA	-78141389	-0.380617	3150 m.s.n.m
M5025	NAPO – QUIJOS	LA VIRGEN – PAPALLACTA	-78198333	-0.333611	3920 m.s.n.m
M5237	NAPO – QUIJOS	GUAYTALOMA	-78121584	-0.297211	3782.98 m.s.n.m

La Figura 14 presenta la distribución espacial de las cuatro estaciones meteorológicas seleccionadas (M502, M018, M5025 y M5237), todas ubicadas aguas arriba de la estación hidrológica.

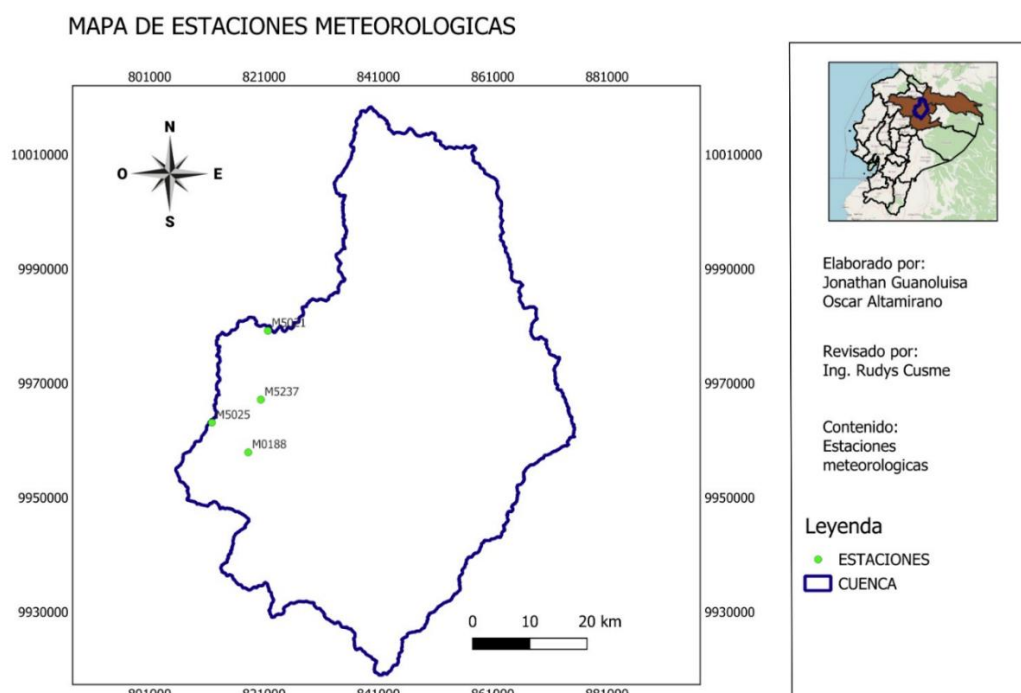


Figura 14. Estaciones meteorológicas

5.2 ANÁLISIS DE HIDROGRAMAS Y DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE RECESIÓN

La selección de períodos de recesión comienza con un registro continuo de flujo que representa un desafío metodológico. Para la presente investigación se han considerado

fundamentalmente dos criterios basados en la distribución de las precipitaciones mensuales y en la identificación de los picos del hidrograma. Dichos criterios se aplican mediante el análisis de hidrogramas anuales, constituyendo estos una herramienta inicial necesaria para la identificación clara de recesiones prolongadas, cabe recalcar que en ocasiones puede identificarse más de un período de recesión por año.

En el oriente amazónico se genera un clima constantemente húmedo donde los períodos completamente secos son escasos y breves. Incluso durante los períodos con menos precipitación, continúan ocurriendo eventos de precipitación, aunque con menor intensidad y frecuencia. Esto dificulta la selección de períodos de recesión.

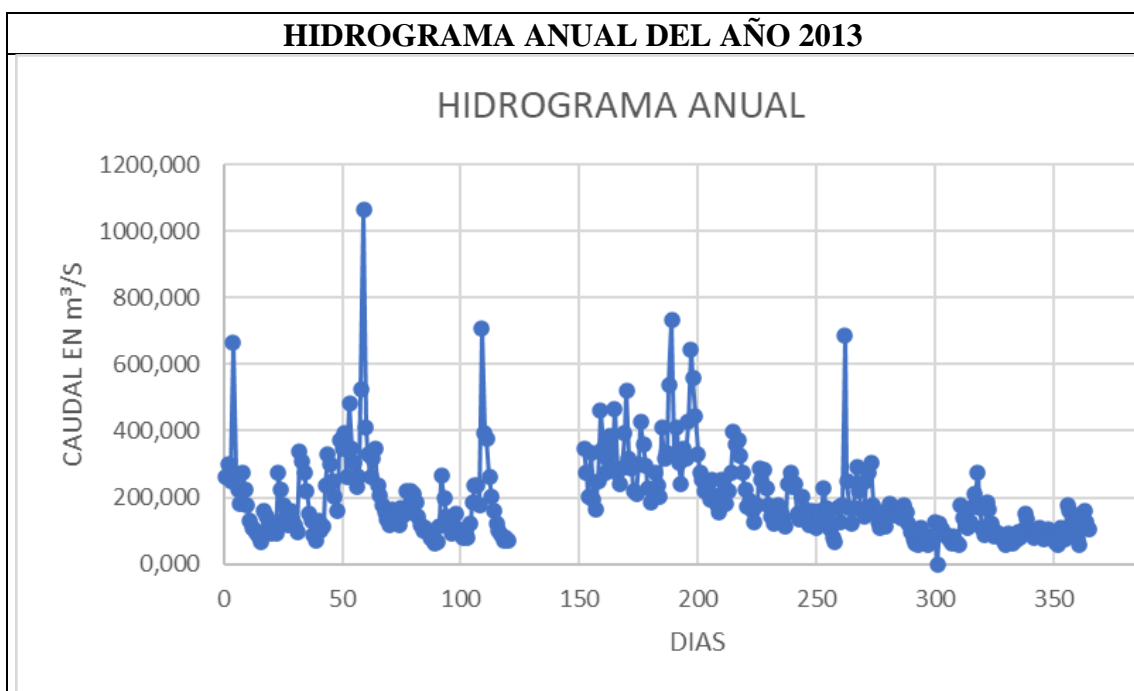


Figura 15. Hidrograma de la estación hidrológica QUIJOS DJ OYACACHI

En el hidrograma de la Figura 15 se observa un régimen hidrológico con marcada variabilidad estacional y dos fases de actividad diferenciadas. Durante la primera temporada húmeda entre enero y abril, se registran caudales altamente variables con un pico máximo en febrero de 1063 m³/s con un pico inicial previo en enero de 665 m³/s en este intervalo se alternan crecidas bruscas con descensos rápidos lo que refleja una alta sensibilidad de la cuenca frente a eventos de precipitación intensa, mientras que marzo y abril actúan como meses de transición con picos moderados y tendencia decreciente. Durante el mes de mayo no hay datos disponibles tras el cual el hidrograma se retoma con la segunda temporada húmeda entre junio y agosto en la que se presentan múltiples crecidas con picos, como expresión de la intensa actividad pluviométrica de la cuenca en ese período. A partir de septiembre se inicia el estiaje con caudales progresivamente

menores y baja variabilidad, el mínimo absoluto del año ocurre en octubre, cuando el caudal desciende, condición extrema que refleja un agotamiento crítico del almacenamiento subterráneo. Posteriormente, en noviembre y diciembre el caudal se recupera levemente y se mantiene en niveles bajos propios del flujo base.

A partir de la delimitación de los polígonos de Thiessen se procedió a la selección de las gráficas anuales de hidrogramas y hietogramas. Para los hidrogramas seleccionados se incorporó el hietograma anual de las estaciones meteorológicas, pluviométricas y pluviográficas correspondientes, estas están localizadas aguas arriba de la estación hidrológica. El hietograma se ubicó en el eje X secundario en la parte superior de la gráfica del hidrograma y mientras que en el eje Y presenta las precipitaciones de forma invertida.

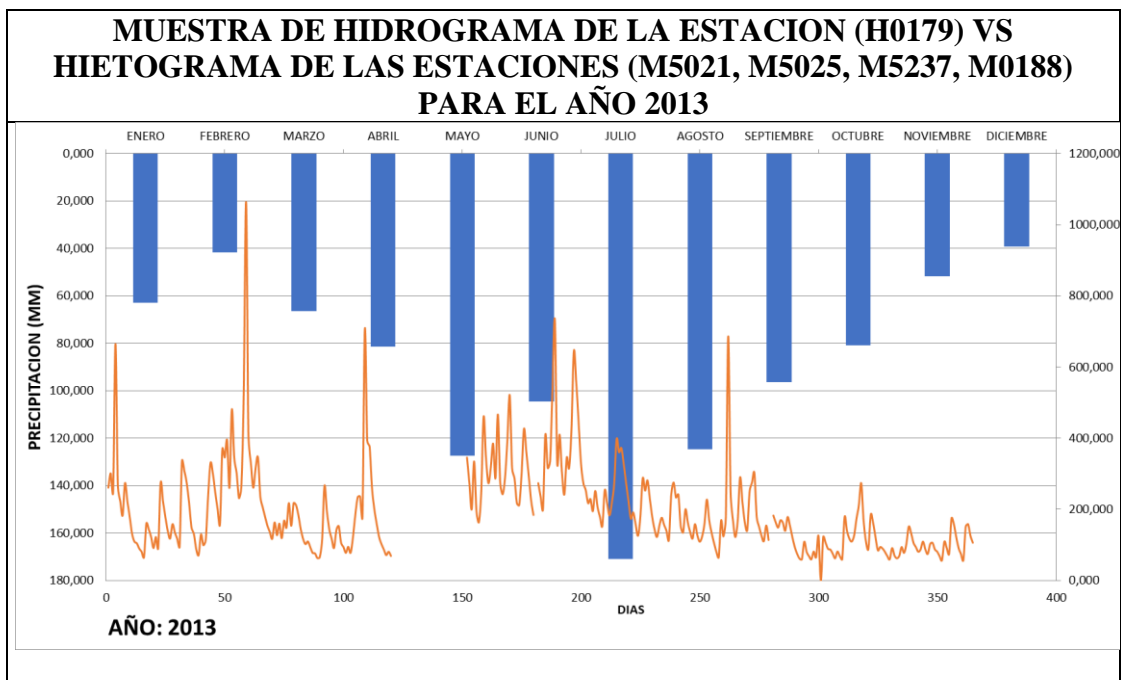


Figura 16. Muestra de los hidrogramas vs hietograma de la estación del año 2013.

En la Figura 16 muestra que al inicio del año se identifica una primera fase húmeda, con aumentos puntuales del caudal asociados a lluvias frecuentes seguida de un periodo de transición en el que las crecidas se vuelven menos recurrentes y se consolida un descenso del caudal, la segunda fase húmeda concentra los eventos más relevantes generando crecidas de mayor intensidad y una respuesta más variable, también se observa un desfase entre los máximos de precipitación y los picos de caudal lo que sugiere la influencia de procesos de infiltración, recarga y liberación retardada del almacenamiento subsuperficial. Finalmente, en la segunda mitad del año predomina el estiaje, menor

variabilidad y ausencia de picos sostenidos lo que evidencia un control del flujo base y resulta particularmente útil para seleccionar segmentos de recesión.

En la Figura 17 se analizó que en el hietograma la mayor parte de la precipitación se concentra entre marzo y junio con una precipitación máxima en junio y un mínima en febrero, en el hidrograma la serie de caudales se distingue a partir de mitad de año por ausencia de datos durante el periodo inicial. Entre julio y agosto se observa la mayor variabilidad del caudal y los picos más pronunciados, además se aprecia un posible retardo respecto al máximo de precipitación mensual registrado en junio, atribuible a procesos de almacenamiento y liberación subsuperficial. Finalmente, entre septiembre y diciembre se evidencia una tendencia a la estabilización relativa del caudal con oscilaciones de menor amplitud y picos más aislados, lo que evidencia estiaje y el flujo base.

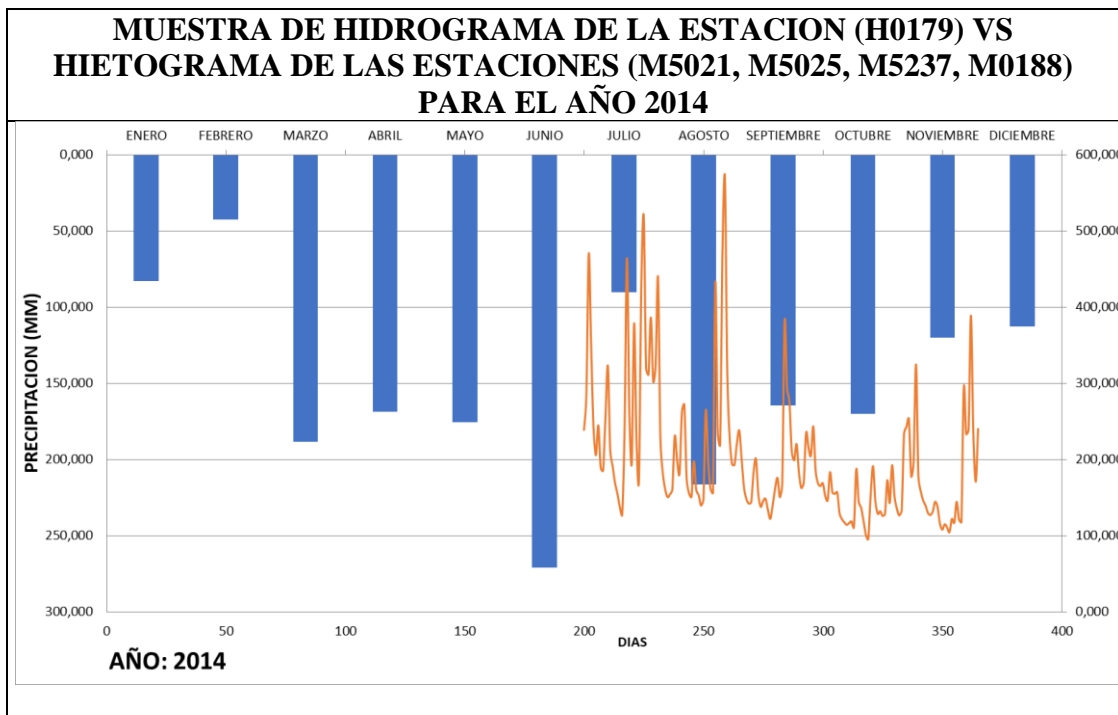


Figura 17. Muestra de los hidrogramas vs hietograma de la estación del año 2014.

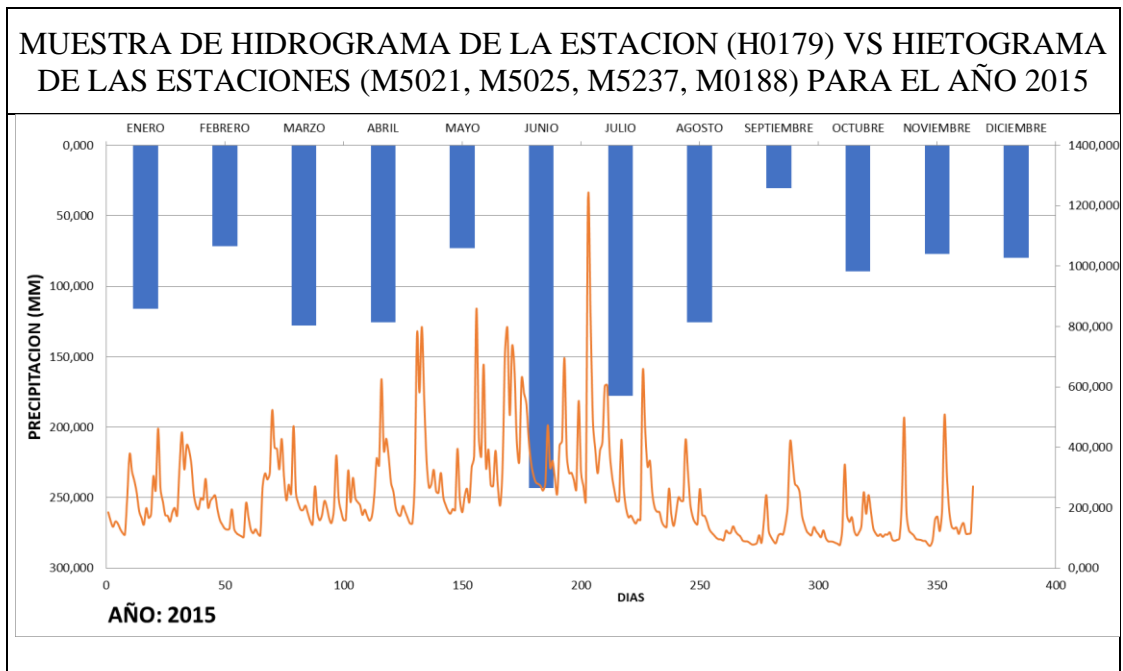


Figura 18. Muestra de los hidrogramas vs hietograma de la estación del año 2015.

La Figura 18 se distingue que al inicio del año se presenta una primera fase húmeda que se refleja en caudales relativamente variables y en crecidas puntuales asociadas a episodios de precipitación seguida de un intervalo de transición en el que disminuye la frecuencia de picos. Posteriormente, durante la segunda fase húmeda del mes de mayo a julio se concentra la mayor dinámica hidrológica con incrementos más bruscos y crecidas de mayor magnitud lo que sugiere una respuesta rápida ante eventos intensos, Además, se aprecia un desfase entre los máximos de precipitación y los picos de caudal lo que refleja que parte del agua se infiltra y almacena temporalmente bajo la superficie antes de incorporarse al flujo del río. Finalmente, desde agosto y hasta diciembre se establece la fase de estiaje, durante este período el hidrograma se mantiene en niveles bajos con picos aislados y de corta duración.

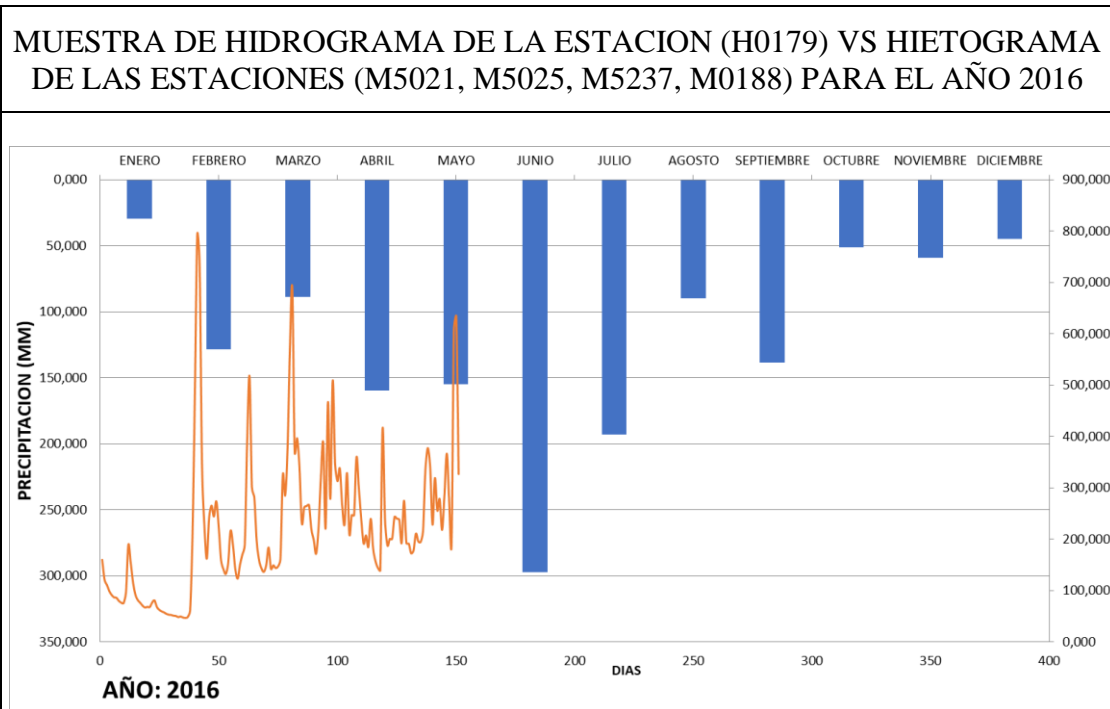


Figura 19. Muestra de los hidrogramas vs hietograma de la estación del año 2016.

La Figura 19 del año 2016 resulta particular dentro del período de estudio ya que el registro de caudal disponible abarca únicamente a los primeros cinco meses del año empezando desde enero hasta mayo. Durante el tramo con registro disponible la precipitación presenta contribuciones relevantes desde el mes de enero, con los mayores volúmenes concentrados en febrero, marzo y mayo. En febrero se produce el pico máximo absoluto del año con un caudal de 793.30 m³/s, entre marzo y abril se observa variabilidad con crecidas sucesivas alternadas de descensos rápidos que evidencian la alta reactividad de la cuenca ante precipitaciones consecutivas y en mayo se registra un segundo pico relevante, asociado al aporte pluvial de ese mes. En todos los eventos identificados se aprecia un desfase temporal moderado entre el máximo de precipitación y el correspondiente pico de caudal este comportamiento atribuye a los procesos de almacenamiento y liberación subsuperficial característicos de la cuenca. La ausencia de datos de caudal a partir de junio impide identificar segmentos de recesión durante el estiaje, por esto los tramos de recesión utilizables para este año se limitan a los períodos de descenso registrados después de los picos de febrero y mayo. Dichos tramos deben ser evaluados conforme a los criterios de validación definidos en la metodología antes de ser incorporados al análisis de recesión.

Las gráficas de hidrogramas diarios e hietogramas mensuales de la estación para el período del 2013 al 2016 muestran un régimen hidrológico estacional en la cuenca del río

Coca identificando dos temporadas húmedas y un período de estiaje recurrente aunque con diferencias en la continuidad y distribución de los datos entre años. En todos los casos se reconoce una primera temporada húmeda entre enero y abril en la que la precipitación mensual genera aumentos frecuentes del caudal con picos de magnitud intermedia seguida de una segunda temporada húmeda entre mayo y julio donde se concentran las lluvias más intensas y los máximos de caudal, en esta fase se observa sistemáticamente un desfase entre los máximos de precipitación y de escorrentía que está asociado a los procesos de almacenamiento y liberación retardada del agua en el sistema subterráneo de la cuenca. En la Tabla 10 se describe las observaciones de cada año.

Tabla 11. Resumen anual de la relación precipitación-caudal y disponibilidad de datos para el análisis de recesión de los años 2013 al 2016.

AÑO	DISPONIBILIDAD DE CAUDAL	MESES CON PICOS DE CAUDAL MÁS ALTOS	MESES DE MAYOR PRECIPITACIÓN	MESES DE ESTIAJE ÚTILES PARA RECESIÓN	OBSERVACIONES CLAVE
2013	Registro casi continuo todo el año.	Febrero-marzo, luego de junio-julio.	Mayo y julio.	Agosto-diciembre.	Año con combinación de datos en épocas húmedas y secas.
2014	Caudal disponible sobre todo desde junio hasta diciembre.	Julio-agosto, con varios eventos de crecida.	Marzo-junio.	Agosto-diciembre.	Faltan datos de la primera temporada húmeda, el análisis de recesión se concentra en el estiaje.
2015	Caudal registrado todo el año image.	Mayo-julio.	Junio y julio.	Septiembre-diciembre.	Año muy variable con picos altos en la segunda temporada húmeda con estiaje tardío.
2016	Caudal sólo entre enero y mayo.	Febrero y mayo.	Febrero, abril y junio.	No hay registro en estiaje (agosto-diciembre).	Año incompleto para caudales: sólo se pueden usar recesiones posteriores a los picos de la primera temporada húmeda.

Para definir dichos criterios se determinaron umbrales que marcaran el inicio de la recesión del flujo base, generándose así umbrales para cada año analizado. Consecuentemente se calculó un promedio de los umbrales con el fin de obtener un valor único representativo que abarque toda la cuenca. A continuación, se presentan las gráficas correspondientes a los años seleccionados:

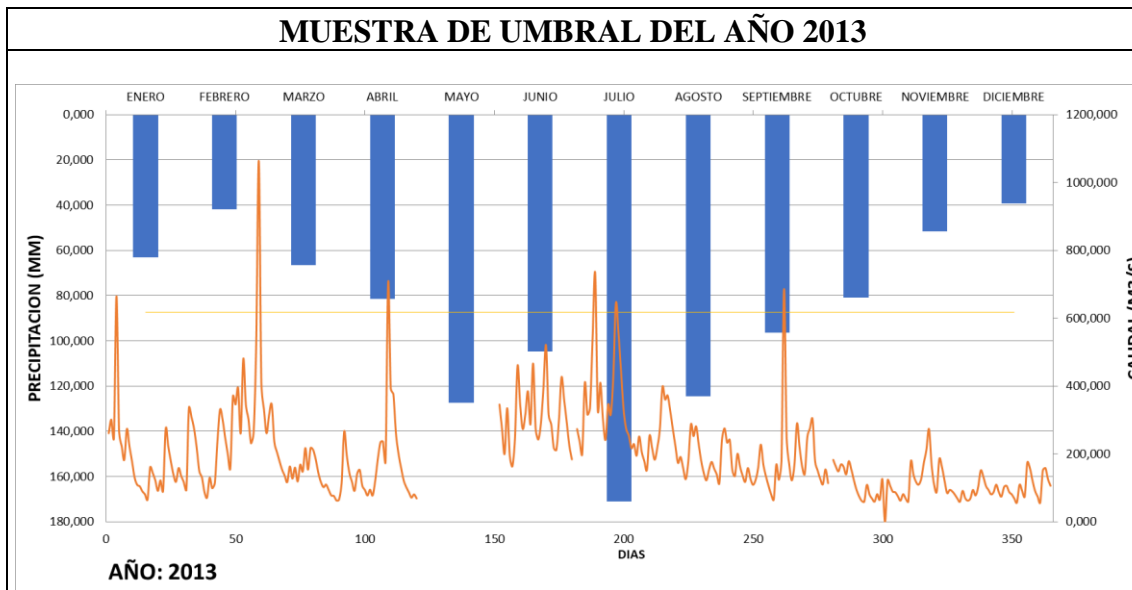


Figura 20. Muestra de umbral del año 2013.

Año 2013(Figura20): El segmento de recesión identificado parte de un caudal inicial de 184,852 m³/s superando el umbral establecido de 87,52 m³/s y desciende hasta 59,618 m³/s en un período de 9 días, el umbral cruza la mitad del tramo y confirmando que el flujo transita del régimen de escorrentía directa al dominio del flujo base. La constante de recesión K obtenida es de 0,8819 es la más baja del período analizado, esto indica una tasa de vaciado relativamente rápida del almacenamiento subterráneo.

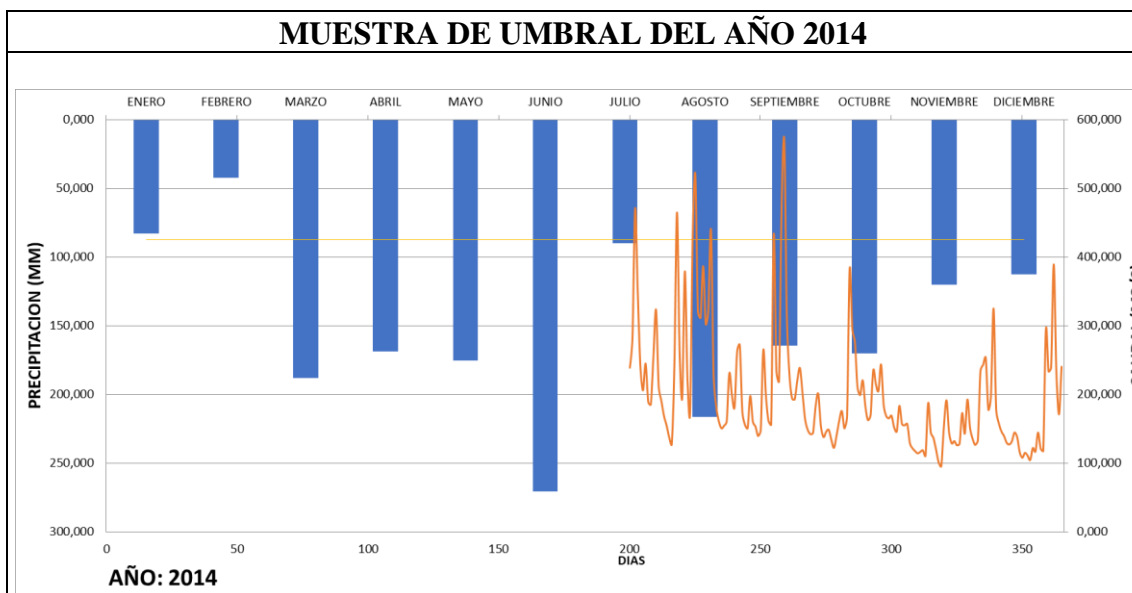


Figura 21. Muestra de umbral del año 2014.

Año 2014 (Figura21): El segmento de recesión presenta con un caudal inicial de 324,600 m³/s descendiendo hasta 104,200 m³/s en un período de 15 días con una constante de recesión K de 0,9270. A diferencia de los demás años el caudal final se mantiene por encima del umbral de 87,52 m³/s lo que sugiere que el segmento seleccionado

corresponde a una recesión incompleta en la que el sistema aún no ha alcanzado la fase de flujo base puro. A lo anterior se añade que el registro de caudal de este año se encuentra disponible únicamente a partir de julio por lo que no se cuenta con información durante la primera temporada húmeda, lo que reduce el número de segmentos de recesión.

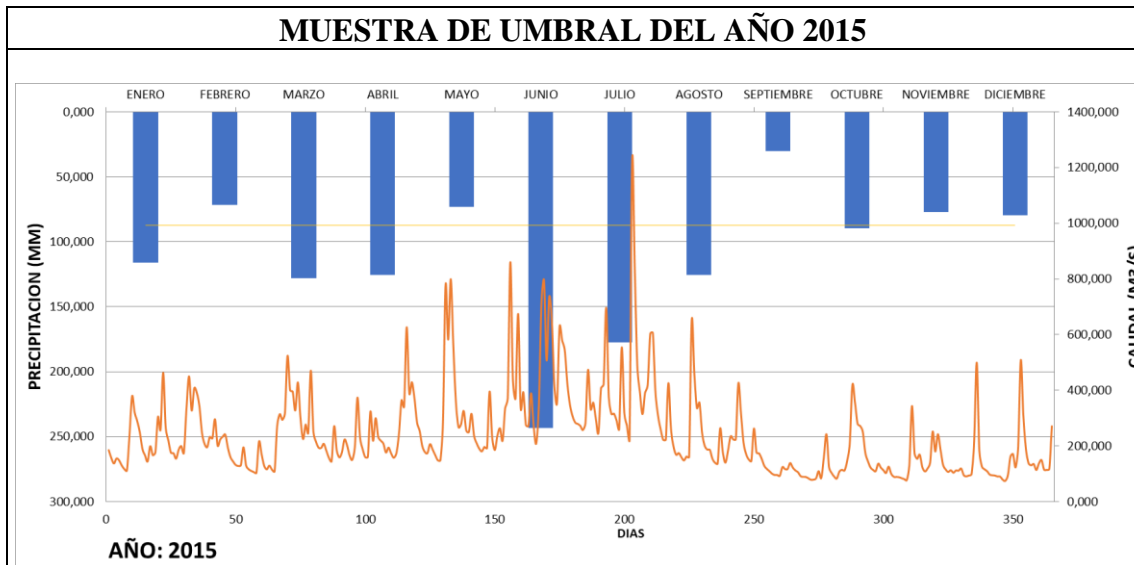


Figura 22. Muestra de umbral del año 2015.

Año 2015 (Figura22): Con el caudal inicial más elevado de todo el período con 418,300 m³/s y el segmento de recesión desciende hasta 77,960 m³/s en un período de 22 días cruzando claramente el umbral de 87,52 m³/s con una constante K de 0,9265. La mayor duración de la recesión con respecto a 2013 y 2014, evidencia que en 2015 el almacenamiento subterráneo fue recargado con mayor intensidad durante la temporada húmeda, prolongando el proceso de vaciado.

Año 2016 (Figura23): Este año presenta la limitación más significativa del período porque el registro de caudal se interrumpe a partir de junio, el caudal inicial es de 189,400 m³/s y desciende hasta 61,600 m³/s en el período más largo del registro con 27 días registrando la constante de recesión más alta del período de $K = 0,9593$ lo que refleja la tasa de vaciado más lenta y gradual de todos los años analizados. El caudal final se encuentra claramente por debajo del umbral establecido, confirmando que el sistema alcanza la fase de flujo base dominante, el elevado valor de K sugiere un mayor tiempo de retención del agua en el acuífero durante este año.

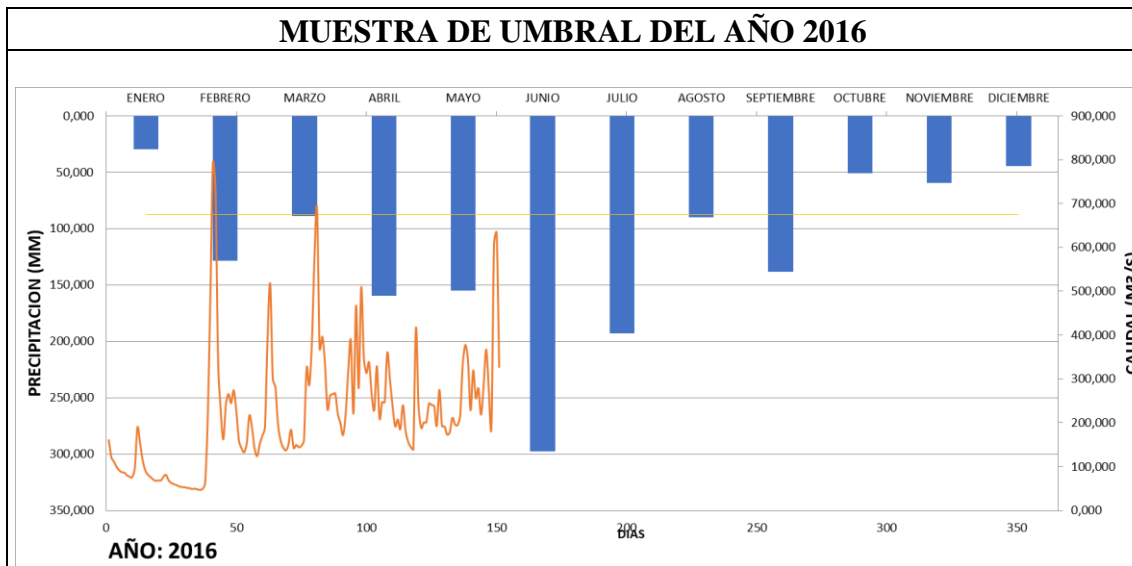


Figura 23. Muestra de umbral del año 2016.

Este procedimiento se define como un criterio de precipitación mensual, mediante el cual se determinó la constante de recesión empleando la ecuación propuesta por Bako y Owoade (1988). La expresión matemática es la siguiente:

$$\text{Log}(Q_t) = \text{Log}(Q_0) + t * \text{Log}(K)$$

Donde:

Q_t = Flujo de salida en cualquier momento.

Q_0 = Flujo de salida en el momento inicial.

K = Constantes de recesión.

t = Tiempo

Se recopilaron los datos de niveles y caudales de estaciones hidrológicas, también las precipitaciones anuales de las estaciones meteorológicas. No obstante, se identificó la limitación de que numerosos datos anuarios generados por el INAMHI presentaban información incompleta, que se evidencio vacíos e incluso años con ausencia total de registros. En consecuencia, se elaboró un resumen que refleja la disponibilidad de los datos expresada en porcentajes.

Con el fin de evaluar la completitud de la información disponible, la Tabla 12 presenta el porcentaje de datos válidos por año para la estación H0719. Este control fue determinante para seleccionar los años 2013 hasta el 2016 ya que son los que cuentan con información suficiente para identificar segmentos de recesión representativos.

Tabla 12. Porcentajes de datos de la estación hidrológica.

AÑOS	H0719 ESTACION - QUIJOS DJ OYACACHI	
	Nivel (%)	Caudal (%)
2002	66,027	66,027
2003	93,699	93,699
2004	91,803	91,803
2005	N/D	N/D
2006	N/D	N/D
2007	N/D	N/D
2008	87,671	87,671
2009	N/D	N/D
2010	84,932	84,932
2011	91,507	91,507
2012	98,630	98,630
2013	90,959	90,959
2014	45,479	45,479
2015	100,000	100,000
2016	41,370	41,370
2017	N/D	N/D
2018	N/D	N/D
2019	N/D	N/D
2020	N/D	N/D
2021	N/D	N/D
2022	N/D	N/D
2023	10,685	10,685
2024	82,192	82,192
2025	23,288	23,288

Tabla 13. Leyenda de porcentajes de datos de las estaciones hidrológicas.

LEYENDA	
COLOR	SIGNIFICADO
NEGRO	Datos del INAMHI sin alterar
ROJO	Datos de niveles transformados a Q con curva de descarga

Una vez determinados los porcentajes de datos hidrológicos se elaboró una tabla resumen que indica las precipitaciones anuales de cada estación meteorológica seleccionada, expresadas en porcentajes para facilitar la comprensión de la información.

La Tabla 14 muestra la completitud de los registros de precipitación en las cuatro estaciones meteorológicas para el período 2002 al 2025. La evaluación de estos porcentajes justificó la exclusión de numerosos años del análisis y la limitación del

estudio al período 2013 al 2016, donde la coincidencia temporal entre datos hidrológicos y meteorológicos es más consistente.

Tabla 14. Porcentajes de datos de estaciones meteorológicas

H0719 ESTACION - QUIJOS DJ OYACACHI				
Años	M5021 Selvafacha - Oyacachi	M5025 La virgen - Papallacta	M5237 Guaytaloma	M0188 Papallacta
	Prec. (%)	Prec. (%)	Prec. (%)	Prec. (%)
2002	N/D	N/D	N/D	N/D
2003	N/D	N/D	N/D	91,667
2004	N/D	N/D	100,000	100,000
2005	N/D	N/D	83,333	100,000
2006	N/D	N/D	100,000	100,000
2007	N/D	N/D	100,000	100,000
2008	N/D	N/D	100,000	100,000
2009	N/D	N/D	100,000	91,667
2010	N/D	N/D	100,000	100,000
2011	N/D	N/D	100,000	91,667
2012	75,000	100,000	100,000	91,667
2013	91,667	100,000	100,000	83,333
2014	100,000	100,000	100,000	91,667
2015	100,000	100,000	100,000	33,333
2016	100,000	100,000	100,000	100,000
2017	100,000	100,000	100,000	100,000
2018	100,000	100,000	100,000	83,333
2019	100,000	100,000	100,000	100,000
2020	100,000	100,000	100,000	N/D
2021	100,000	100,000	100,000	N/D
2022	100,000	100,000	100,000	N/D
2023	100,000	100,000	100,000	83,333
2024	100,000	100,000	91,667	100,000
2025	100,000	100,000	100,000	91,667

Con la información recopilada se procedió a determinar la constante de recesión de manera óptima. Para el criterio de precipitaciones mensuales, las constantes de recesión (K) se calcularon para cada estación hidrológica como se presenta a continuación:

Tabla 15. Constante (K) por el método de lluvias mensuales.

H0719 ESTACION - QUIJOS DJ OYACACHI					
AÑO	DIAS	CAUDAL INICIAL (Q_o) (m³/s)	CAUDAL FINAL (Q) (m³/s)	TIEMPO (T) (DIAS)	CONSTANTE DE RECESION (K)
2014	340	324,600	177,500	1	0,546826864
	341	324,600	157,700	2	0,697014141
	342	324,600	145,800	3	0,765836985
	343	324,600	139,100	4	0,809085939
	344	324,600	129,400	5	0,831988172
	345	324,600	126,800	6	0,854991485
	346	324,600	131,300	7	0,878709199
	347	324,600	144,200	8	0,903549798
	348	324,600	137,800	9	0,909192058
	349	324,600	115,400	10	0,901749124
	350	324,600	107,500	11	0,904417769
	351	324,600	114,600	12	0,916895149
	352	324,600	110,500	13	0,920451815
	353	324,600	104,200	14	0,922043417

La Tabla 15 de la estación H0719 Quijos–Oyacachi para el año 2014 muestran la evolución de la constante de recesión K en función del tiempo a partir de un mismo caudal inicial de 324,6 m³/s, evaluado diariamente entre los días 340 y 353 del año, en este tiempo se observa un incremento progresivo de K que pasa con un valor de 0,54 en el primer día de recesión a valores superiores a 0,90 a partir del octavo día hasta llegar a 0,922 conforme avanza la recesión. Este patrón sugiere que en los primeros días el descenso del caudal está fuertemente controlado por la descarga rápida del almacenamiento superficiales y subsuperficiales poco profundos y mientras que con el transcurso del tiempo la dinámica pasa a estar dominada por el vaciado más lento de almacenamientos profundos.

Una vez calculadas las constantes K diarias para cada año, la Figura 24 muestra cómo varía este parámetro en función del número de días transcurridos para el año 2014 después del pico de caudal. Se observa que K aumenta progresivamente.

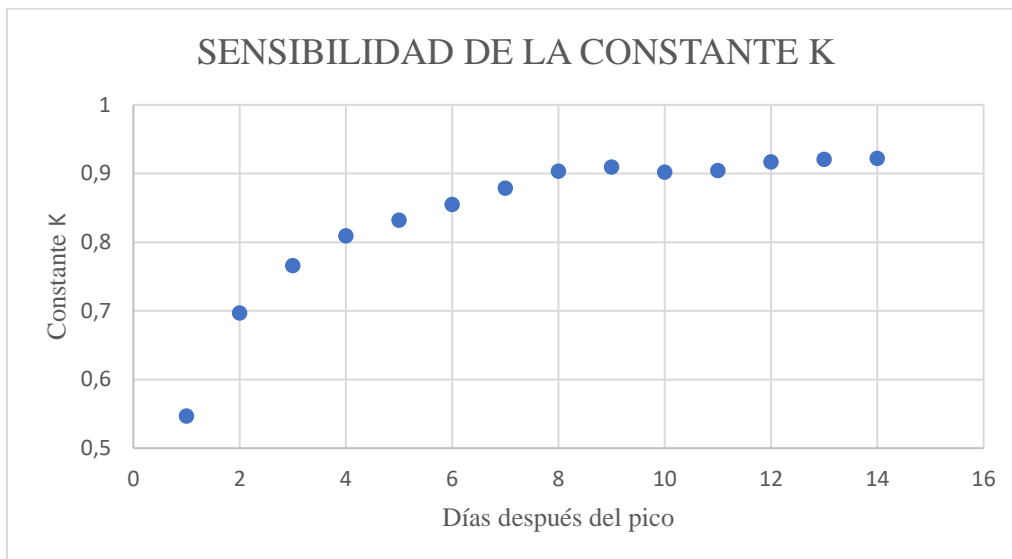


Figura 24. Sensibilidad de la constante K

A partir de los resultados obtenidos se determinó el criterio de precipitaciones mensuales sea el más apropiado para continuar con los cálculos posteriores del método estadístico de la constante de recesión. Con el inicio y término de la recesión resultante del criterio de precipitaciones mensuales se generó la serie de datos que produjo las pendientes de regresión.

En las siguientes gráficas se expresan las recesiones a escala logarítmica para diferentes años. Se puede apreciar que las recesiones no presentan un comportamiento uniforme entre años y que en cada período exhibe variaciones particulares.

Los valores de R^2 indican el grado de ajuste de las observaciones a un modelo lineal, se consideró que un valor de $R^2=1$ representa un ajuste perfecto sin observaciones atípicas y que en general los datos presentan baja dispersión ya que también los valores que se aproximan a cero indicarían que los datos están dispersos y no siguen un patrón definido.

Para determinar la constante K única y representativa de la cuenca, los segmentos de recesión de cada año se graficaron a escala logarítmica en la Figura 25, mostrando cuatro bloques (2013, 2014, 2015 y 2016) con sus respectivas líneas de regresión lineal.

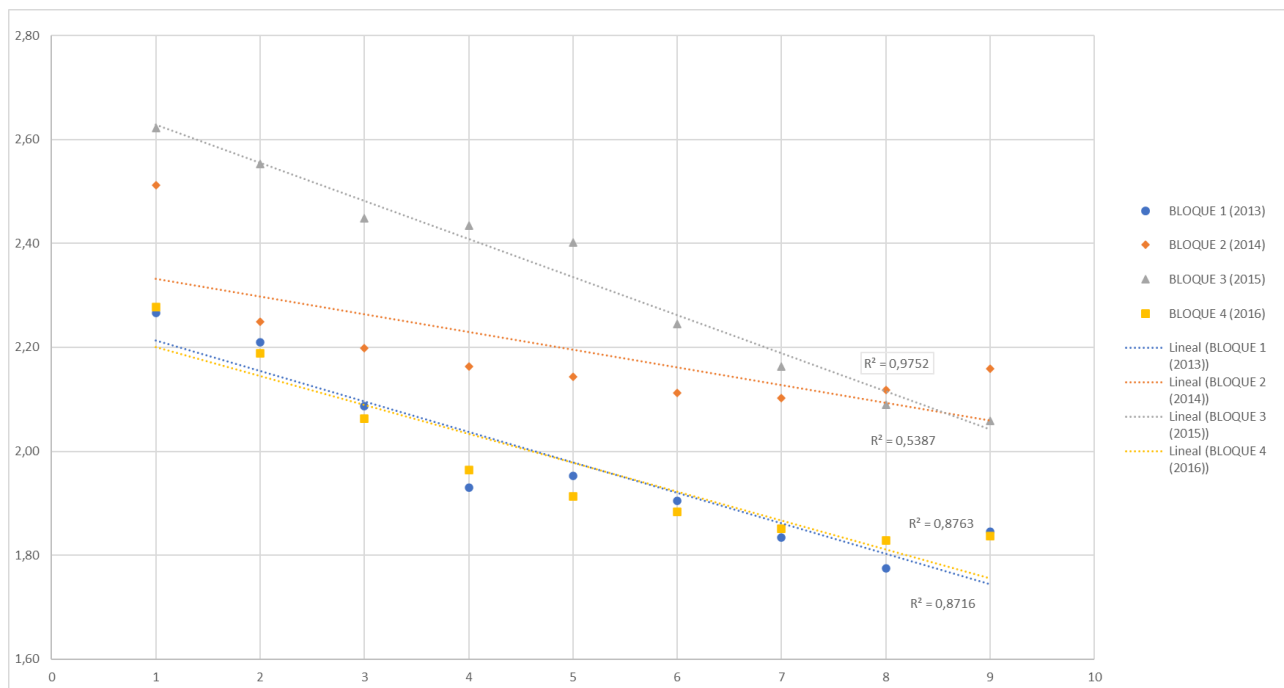


Figura 25. Pendientes de regresión.

Tabla 16. Coeficientes de determinación (R^2) obtenidos del ajuste lineal.

BLOQUE	AÑO	R^2	INTERPRETACIÓN
BLOQUE 1	2013	0,9752	Ajuste casi perfecto, los datos siguen el modelo lineal con muy baja dispersión
BLOQUE 3	2015	0,8763	Buen ajuste, aunque con mayor variabilidad en los puntos iniciales
BLOQUE 4	2016	0,8716	Buen ajuste, similar al Bloque 3, con dispersión moderada y consistente
BLOQUE 2	2014	0,5387	Ajuste débil — los datos están considerablemente dispersos respecto a la línea

En la Tabla 16 se presentan los valores del coeficiente de determinación (R^2) correspondientes a los cuatro bloques evaluados de cada año.

A partir de los datos de la pendiente de regresión y la aplicando con la ecuación de Bako y Owoade (1988), se determinó una constante de recesión única (Tabla 17) para la estación H0719 "Quijos DJ Oyacachi".

Tabla 17. Constante de recesión (K)

CÓDIGO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	CONSTANTE DE RECESIÓN (K)
H0719	QUIJOS DJ OYACACHI	0,88018172

Los resultados de la constante de recesión K resultan suficientemente satisfactorios desde el punto de vista metodológico llegando a afirmar que el método de derivación de recesión se adaptó adecuadamente a la cuenca del río Coca.

5.3 VALIDACIÓN

Una vez obtenidas las constantes K, se procedió a la validación mediante la herramienta predictiva se determinó los valores del Qf para una serie de datos diferente a aquella empleada en el procesamiento de la constante de recesión. La validación se realizó considerando la misma cantidad de años seleccionados. Los resultados se presentan a continuación:

Tabla 18. Validación del método en la estación.

H0719 ESTACION - QUIJOS DJ OYACACHI						
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)
2012	205,751	0,8802	205,751	2,3133	1	181,0983
	205,751		180,703		2	159,3994
	205,751		152,560		3	140,3004
	205,751		132,387		4	123,4899
	205,751		117,132		5	108,6935
	205,751		102,183		6	95,6701
	205,751		86,986		7	84,2070
	205,751		74,462		8	74,1175
	205,751		61,883		9	65,2369
	205,751		59,618		10	57,4203
	205,751		91,314		11	50,5403
	205,751		74,462		12	44,4846
	205,751		56,918		13	39,1546
	205,751				14	34,4631
	205,751		68,312		15	30,3338
	205,751		71,924		16	26,6993

La Tabla 18 compara los caudales simulados con los observados para el período de validación del año 2012.

Como etapa final de validación, la Figura 26 presenta el hidrograma comparativo entre los caudales observados y los caudales simulados mediante el modelo exponencial con $K = 0,8802$, en un intervalo de 16 días durante un período de recesión de la temporada seca. Se puede visualizar que en los primeros días el modelo sigue bien la tendencia, pero progresivamente los valores simulados divergen de los observados hacia el final del

tramo, lo que llevó a concluir que el método no reproduce con suficiente precisión el comportamiento hidrológico completo de la cuenca del río Coca.

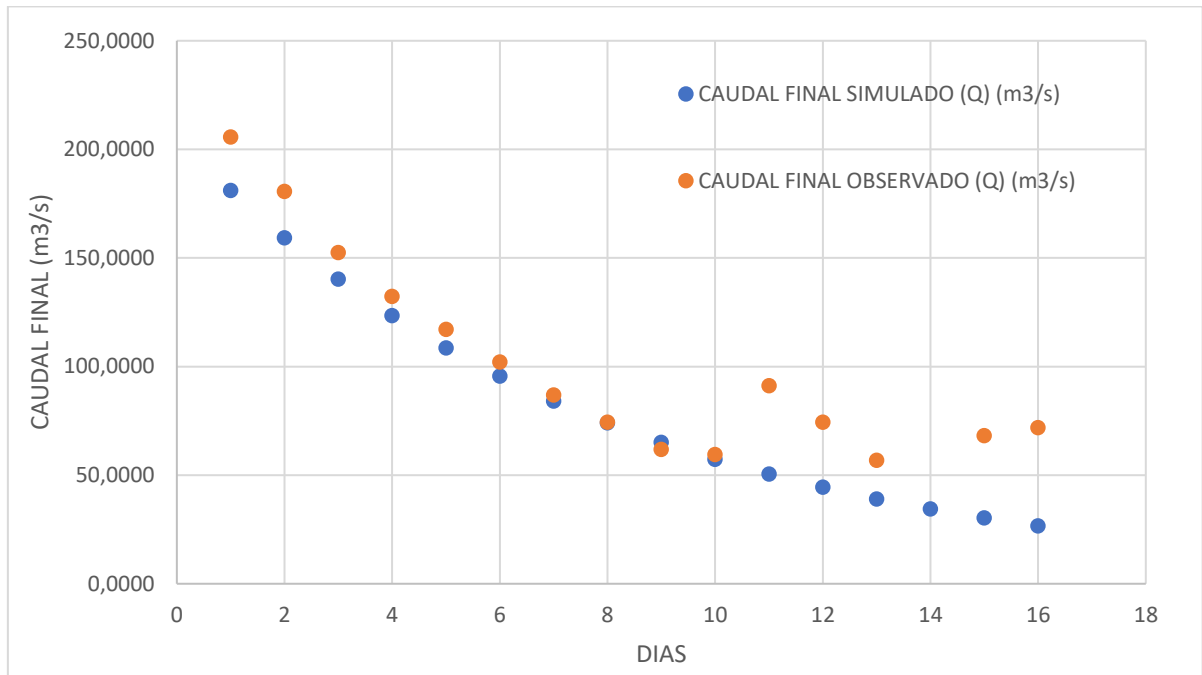


Figura 26. Caudal simulado vs caudal observado.

5.4 COEFICIENTE NASH SUTCLIFFE

A fin de cuantificar objetivamente la eficiencia del método propuesto, se aplicó el coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE) para cada año del período de validación, evidenciándose una notable variabilidad en los resultados en la estación hidrológica H0719 Quijos DJ Oyacachi.

Con el propósito de optimizar el ajuste de la constante de recesión, se calcularon dos coeficientes de eficiencia Nash-Sutcliffe (NSE), los cuales permitieron evaluar cuantitativamente la precisión del modelo.

En términos generales de la tabla 19, exceptuando el año 2003, los resultados demuestran que el método aplicado para la constante de recesión de 4 bloques presenta un desempeño entre muy bueno y excelente lo que valida su uso para la simulación hidrológica en la estación Quijos DJ Oyacachi.

Tabla 19. Resultados de coeficiente de Nash para constante de recesión de 4 bloques

RESULTADOS DE COEFICIENTE DE NASH PARA CONSTANTE DE RECESIÓN DE 4 BLOQUES			
ESTACIÓN	AÑO	NASH	AJUSTE
H0719 QUIJOS DJ OYACACHI	2003	-1,501005415	Insuficiente
	2004	0,928172834	Excelente
	2012	0,948497163	Excelente
	2024	0,755154839	Muy bueno

Con el propósito de analizar el comportamiento del método, se procedió a eliminar el bloque correspondiente al año 2014, dado que su coeficiente $R^2= 0,5387$ resultó significativamente inferior al obtenido en los demás bloques evaluados de la pendiente de regresión. Tras prescindir de dicho bloque y ejecutar nuevamente el método, los resultados del coeficiente de eficiencia Nash-Sutcliffe (NSE) en la estación H0719 Quijos DJ Oyacachi fueron los siguientes observados en la Tabla 20.

Tabla 20. Resultados de coeficiente de nash para constante de recesión de 3 bloques.

RESULTADOS DE COEFICIENTE DE NASH PARA CONSTANTE DE RECESIÓN DE 3 BLOQUES			
ESTACIÓN	AÑO	NASH	AJUSTE
H0719 QUIJOS DJ OYACACHI	2003	-1,359336436	Insuficiente
	2004	0,911833902	Excelente
	2012	0,926127919	Excelente
	2024	0,715744651	Muy bueno

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- El proceso de identificación de las estaciones hidrológicas y meteorológicas del INAMHI en la cuenca del río Coca fue desarrollado satisfactoriamente, proporcionando información suficiente para el análisis de recesión sistemático de recopilación y evaluación de datos. Como resultado, se localizaron cuatro estaciones meteorológicas y una hidrológica del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) que cumplen con los criterios establecidos para el estudio.
- El análisis sistemático de los hidrogramas anuales e hietogramas de precipitación mensual con un período comprendido entre el año 2013 y 2016, permitió alcanzar los resultados esperados. Los criterios adoptados incluyen la identificación de

tramos de caudal decrecientes sin influencia de precipitación directa, la verificación del umbral de 87,52 m³/s y la estabilización de K posterior al pico como indicador del dominio del flujo base. La superposición de ambas representaciones gráficas permitió distinguir los segmentos de recesión que reflejan el vaciado del almacenamiento subterráneo.

- Los parámetros de recesión para cada año (2013–2016), incluyendo los valores de la constante K y el caudal inicial representativo del flujo base, fueron determinados para las estaciones de la cuenca del río Coca. La aplicación del modelo de descarga exponencial $q(t) = q_0 e^{-kt}$ permitió ajustar los segmentos de recesión seleccionados, con valores de K de 0,881 del año 2013, 0,927 del año 2014, 0,926 del año 2015 y 0,959 del año 2016, reflejando la variabilidad interanual en la capacidad de almacenamiento y vaciado del sistema subterráneo de la cuenca.
- La validación del modelo de vaciado exponencial se llevó a cabo mediante la aplicación de algoritmos de simulación y Nash-Sutcliffe (NSE) que contrastaron los caudales simulados con los obtenidos a partir de los parámetros de recesión calibrados, con los caudales observados en la estación H0719 Quijos–Oyacachi durante los años 2003, 2004, 2012 y 2024. Este proceso permitió evaluar de forma objetiva el desempeño predictivo del modelo bajo condiciones hidrológicas independientes del ajuste de la curva.

6.2 RECOMENDACIONES

- El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) debería considerar expandir estratégicamente la red de estaciones meteorológicas e hidrológicas hacia zonas actualmente no monitoreadas. Es fundamental implementar protocolos estandarizados de control que minimicen las deficiencias en los registros, incorporando sistemas de respaldo instrumental y telemetría automatizada que permitan la transmisión de datos en tiempo real. Estas medidas garantizarían la disponibilidad de series temporales continuas y confiables para análisis hidrológicos futuros.
- Resulta prioritario establecer un programa interinstitucional de monitoreo continuo entre el INAMHI y la Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC EP - Coca Codo Sinclair), orientado a evaluar las alteraciones que la operación hidroeléctrica genera sobre el comportamiento del flujo base y los parámetros de

recesión hidrológica. Este programa debería incluir estudios de caracterización climática regional que permitan anticipar períodos de estiaje prolongado, considerando la elevada variabilidad climática característica de la región amazónica y la limitada disponibilidad de registros pluviométricos específicos.

- Para profundizar en la comprensión de los procesos hidrológicos de la cuenca resulta fundamental desarrollar estudios complementarios que incluyan la caracterización hidrogeológica para entender mejor los mecanismos de recarga y descarga del acuífero, la aplicación de metodologías alternativas de análisis de recesión y la actualización periódica de los parámetros de recesión cada año. Esta actualización permitiría detectar cambios temporales asociados a la variabilidad climática, transformaciones en el uso del suelo o impactos de infraestructura, asegurando una gestión sostenible del recurso hídrico en esta cuenca estratégica que aporta en la generación eléctrica nacional.

7. REFERENCIAS

- [1] Equipo Técnico de la Unidad de Monitoreo de Eventos Adversos de Napo/Orellana, “Informe de Situación – Socavamiento Napo”, feb. 2021, Consultado: el 25 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2023/04/Informe-de-Situacion-No-042-Socavamiento_04022021.pdf
- [2] S. T. Tenelema Magallanes, E. R. Catota Yugsi, A. E. Anilema Reyes, y M. E. Vaca Boada, “Situación Actual del Agua Subterránea en el Ecuador: Análisis al Reporte de Pruebas de Bombeo 2016 a 2023”, *Revista Científica Élite*, vol. 7, núm. 1, pp. 1–10, mar. 2025, doi: 10.69603/itsqmet.vol7.n1.2025.100.
- [3] Changjiang Institute of Survey Planning Design and Research (CISPDR), “PLAN NACIONAL DE LA GESTIÓN INTEGRADA E INTEGRAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LAS CUENCAS Y MICROCUENCAS HIDROGRÁFICAS DE ECUADOR”, feb. 2016.
- [4] A. Miguel Angel Rosero Clavijo, “ANÁLISIS DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE PRODUCCIÓN DE AGUA PARA GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA EN LA CUENCA DEL RÍO COCA MEDIANTE EL USO DEL SOFTWARE INVEST COMO SUSTENTO PARA LA GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO”, Quito, feb. 2017.

- [5] C. Quishpe-Vázquez, M. García-Valdecasas-Ojeda, S. R. Gámiz-Fortis, Y. Castro-Díez, y M. J. Esteban-Parra, “Variabilidad estacional de los caudales en Ecuador en el periodo 1964-2014”, en *Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio*, Servicio de Publicaciones de la UA, 2016, pp. 97–107. doi: 10.14198/xcongresoaealicante2016-09.
- [6] Jorge Carrica y Guillermo Bonorino, “ESTIMACION DE LA RECARGA MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LAS CURVAS DE RECESIÓN DE HIDROGRAMAS FLUVIALES”, 2001.
- [7] Ing. Miller Ernesto Rodríguez Bravo., Máster. Micheal David Caicedo Toro., Ing. Pedro Elías Intriago Zambrano., y Máster. Andy Miguel Giler Ormaza., “Derivación de la constante de recesión de flujo base en tres microcuencas de la provincia de Manabí”, *Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, mar. 2021.
- [8] J. J. López Palancar y Sanz E., “CALCULO DE LA RECARGA NATURAL DE UN ACUIFERO A PARTIR DEL HIDROGRAMA DEL MANANTIAL. APLICACION AL MANANTIAL DE VOZMEDIANO”, 1997.
- [9] Carlos Iván Criollo Guallpa, “Estimación de la recarga y descarga del sistema de aguas subterráneas en una zona altoandina al sur del Ecuador”, 2023.
- [10] D. A. Chaluisa Umajinga, J. L. Reyes Zambrano, J. E. Chavarría Párraga, y J. R. Alarcón Loor, “Simulación de inundaciones en la cuenca del río coca en el sector del barrio unión y progreso de la ciudad Francisco de Orellana mediante software IBER”, *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 9, núm. 5, pp. 10038–10061, nov. 2025, doi: 10.37811/cl_rcm.v9i5.20310.
- [11] “Visor Hidrometeorológico”. Consultado: el 11 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://inamhi.gob.ec/info/>
- [12] M. D. Bako y A. Owoade, “FIELD APPLICATION OF A NUMERICAL METHOD FOR THE DERIVATION OF BASEFLOW RESESSION CONSTANT”, 1988.
- [13] S. Gómez-Isidro y V. L. Gómez-Ríos, “Análisis de flujo base usando curvas maestras de recesión y algoritmos numéricos en cuencas de montaña: Cuenca del


- río Suratá y cuenca del Río de Oro (Santander, Colombia)”, *DYNA (Colombia)*, vol. 83, núm. 196, pp. 213–222, abr. 2016, doi: 10.15446/dyna.v83n196.53222.
- [14] C. Sánchez, A. Luna, F. Vera, J. Espinoza, y A. Bustamante, “Metodología para la estimación de caudales mínimos de una cuenca hidrográfica con escasa información hidrometeorológica”, abr. 2017.
- [15] Giler Ormaza María José, “ESTIMACIÓN DE FLUJOS MÍNIMOS EN SUBCUENCAS HIDROGRÁFICAS QUE INTERCEPTAN EN LA PROVINCIA LOS RÍOS”, 2020.
- [16] Germán Poveda Jaramillo, Jaime Ignacio Vélez Upegui, Oscar José Mesa Sánchez, Lina Isabel Ceballos Bonilla, Manuel David Zuluaga Arias, y Carlos David Hoyos Ortiz, “ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÍNIMOS PARA COLOMBIA MEDIANTE REGIONALIZACIÓN Y APLICACIÓN DE LA CURVA DE RECESIÓN DE CAUDALES”.
- [17] Andrade L y ; Ríos C, “Variabilidad Climática y Caudales Mínimos en los Andes Ecuatorianos”, 2014.
- [18] Ester Vilanova, Catherine Swartenbroekx, y Salvador Jordana, “Guía metodología para la determinación de los caudales ambientales. Capítulo de aguas subterráneas”, ago. 2008.
- [19] A. C. Whitaker, S. N. Chapasa, C. Sagras, U. Theogene, R. Veremu, y H. Sugiyama, “Estimation of base flow recession constant and regression of low flow indices in eastern Japan”, *Hydrological Sciences Journal*, vol. 67, núm. 2, pp. 191–204, 2022, doi: 10.1080/02626667.2021.2003368.
- [20] R. M. Vogel y C. N. Kroll, “Estimation of Baseflow Recession Constants”, Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [21] Estilita Ruiz Romera y Miren Martínez Santos, “HIDROLOGÍA APLICADA TEMA 5. ESCORRENTÍA”.
- [22] Francisco Javier Sánchez San Román, “Hidrología Superficial (II): Hidrogramas”, mar. 2022. [En línea]. Disponible en: <http://hidrologia.usal.es>Pág.1
- [23] Laura Elena Maderey Rascón y Arturo Jiménez Román, “Principios de Hidrogeografía Estudio del Ciclo Hidrológico”, 2005.

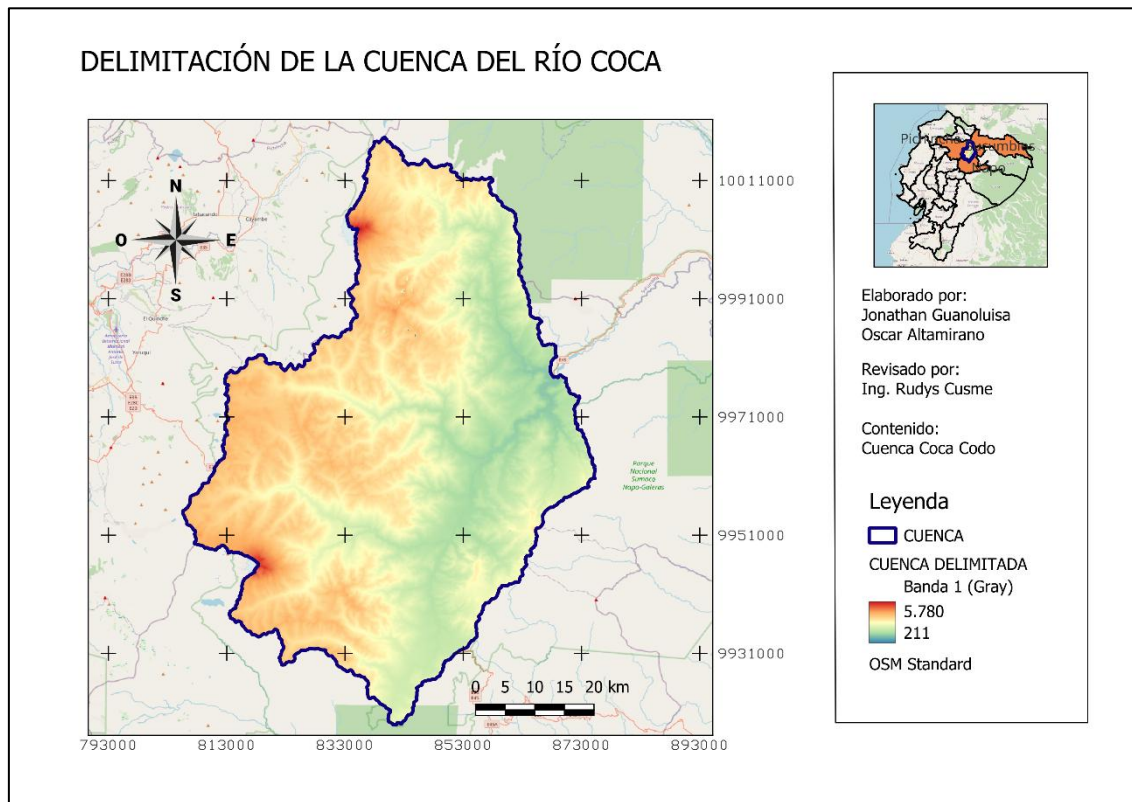
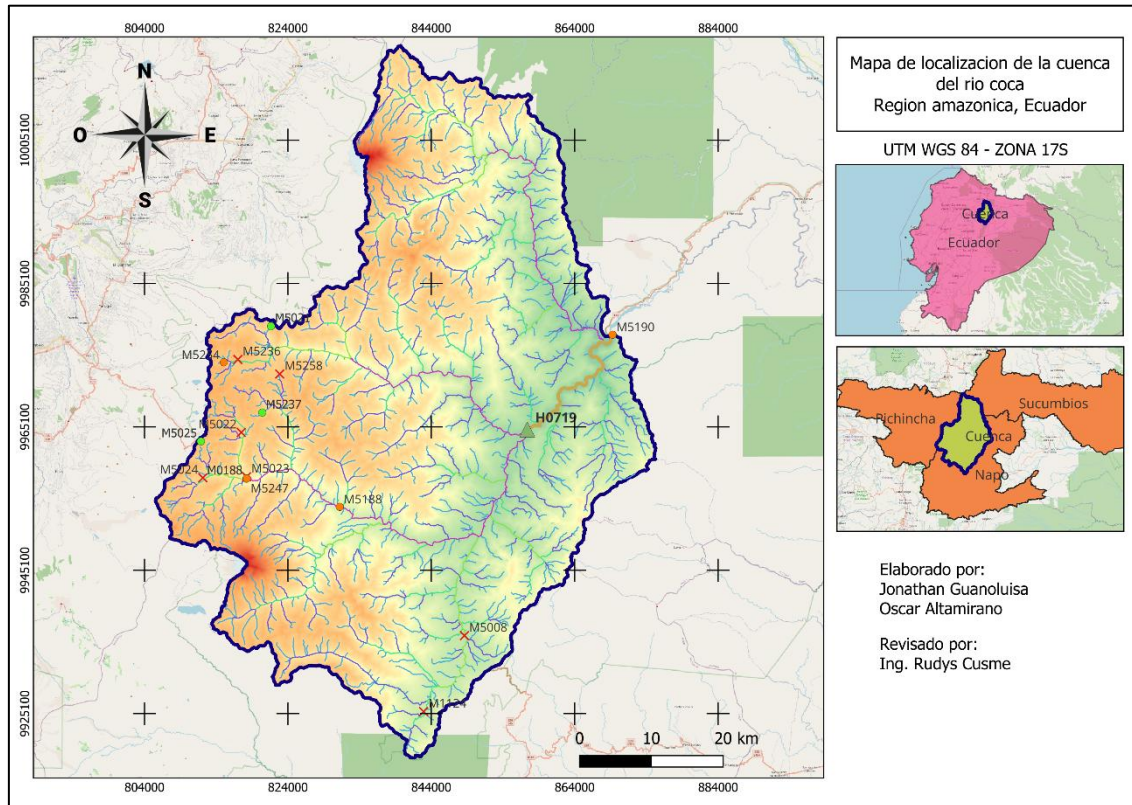
- [24] J. K. Searcy, “Flow-Duration Curves Manual of Hydrology: Part 2. Low-Flow Techniques”, 1959.
- [25] José Alejandro Solís Quintana, Carlos Lázaro Castillo García, y Isabel Domínguez Hurtado, “Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia de la Estación Meteorológica de Caibarién.”, mar. 2024.
- [26] L. M. Tallaksen, “A review of baseflow recession analysis”, 1995.
- [27] Blanca Lizbeth Beltrán Herrera Alexander Rene Mera Zurita, “DETERMINACIÓN DE FRECUENCIAS DE EVENTOS HIDROLÓGICOS CON LA TRANSFORMADA DE FOURIER Y ONDELETAS (WAVELETS) EN LA CUENCA DEL RÍO COCA.”, feb. 2025.
- [28] Rudys Rafael Cusme Intriago, “ESTIMACIÓN DE FLUJOS BAJOS MEDIANTE ANÁLISIS DE RECESIÓN EN CUENCAS ECUATORIANAS”, abr. 2020.
- [29] Juan Carlos Barragán Noboa, “Escenarios de Riesgo Climático Asociados al Caudal del Río Coca en la Provincia de”, ene. 2023.
- [30] S. Del, C. Huamán, L. Directora, y F. : Aprobado, “CONTROL DE CALIDAD DE DATOS DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS E HIDROLÓGICAS AUTOMÁTICAS EN EL CENTRO DE PROCESAMIENTO DE DATOS DEL SENAMHI”, 2022.
- [31] J. N. Valencia-González *et al.*, “Relleno de datos diarios faltantes en registros de series climatológicas temporales”, *Rev. Mex. De Cienc. Agric.*, vol. 13, núm. 4, pp. 617–629, jun. 2022, doi: 10.29312/REMEXCA.V13I4.2514.
- [32] L. De Antueno, “CAPÍTULO 3 Delimitación y morfometría de cuencas”. [En línea]. Disponible en: <https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geodesia/ModeloDigitalElevaciones>
- [33] R. Olawoyin y P. K. Acheampong, “Objective assessment of the Thiessen polygon method for estimating areal rainfall depths in the River Volta catchment in Ghana”, 2017.
- [34] R. C. Hämmerly, R. C. Paris, y 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 Xeoloxico de Laxe*, vol. 41, pp. 75–98, 2019, doi: 10.17979/cadlaxe.2019.41.1.5818.

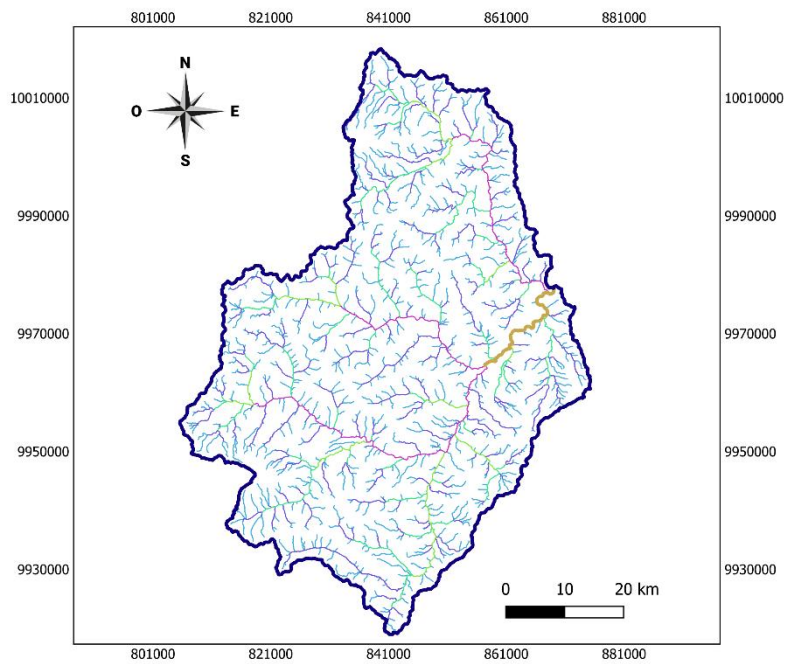
- [35] J. E. Nash y J. V. Sutcliffe, “River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles”, *J. Hydrol. (Amst)*., vol. 10, núm. 3, pp. 282–290, abr. 1970, doi: 10.1016/0022-1694(70)90255-6.
- [36] D. Enrique Pérez, C. Fernando Weis, M. Ángel Flores, y Sandra Noemí Fernández, “CALIBRACIÓN DE SIMULACIONES DE CRECIDAS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO SAUCE GRANDE, PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA.”, 2022.

8. ANEXOS

NOMBRE Y APELLIDO	JONATHAN JAVIER GUANOLUISA AGUIRRE	
	OSCAR IVAN ALTAMIRANO TIXE	
TITULO DE INVESTIGACION	ANALISIS DE RESECCION	
NOMBRE DEL ARCHIVO	DISEÑO DE CUENCA	



MAPA DE ORDEN DE RIOS



Elaborado por:
Jonathan Guanoluisa
Oscar Altamirano

Revisado por:
Ing. Rudys Cusme

Contenido:
Orden de rios que
conforman la cuenca

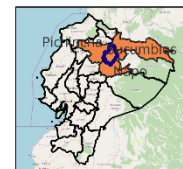
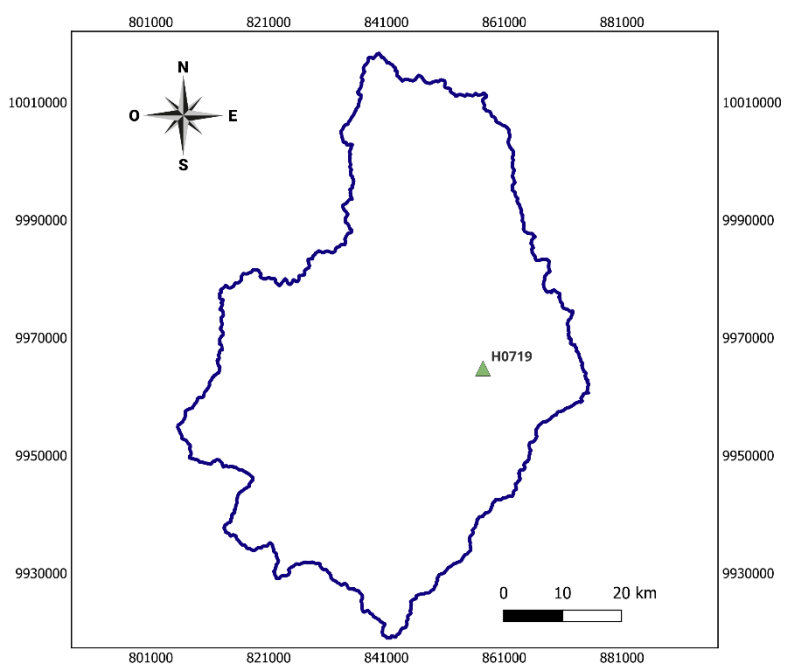
Leyenda

CUENCA

ORDEN DE RIOS

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6

MAPA DE ESTACIÓN HIDRÓLOGICA



Elaborado por:
Jonathan Guanoluisa
Oscar Altamirano

Revisado por:
Ing. Rudys Cusme

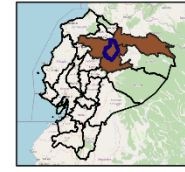
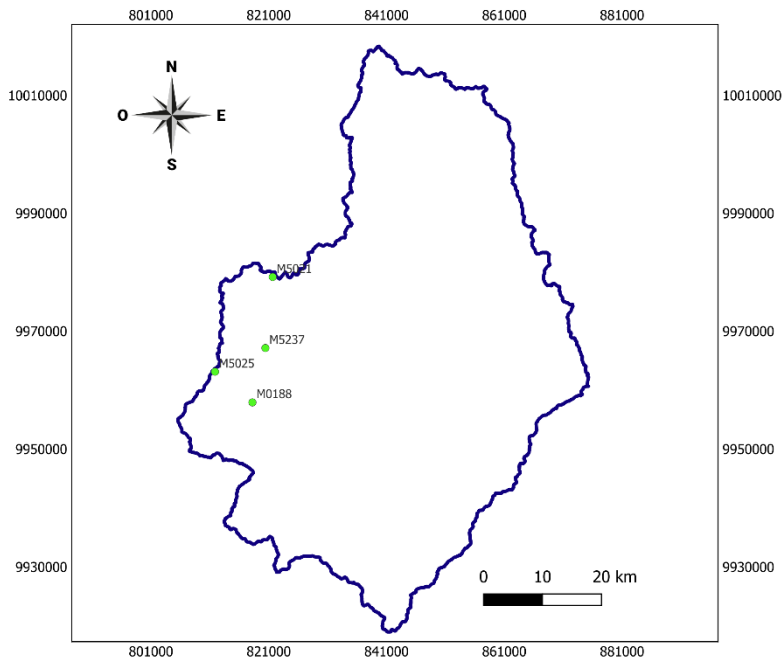
Contenido:
Ubicacion de estación
hidrológica

Leyenda

Estacion Hidrológica

CUENCA

MAPA DE ESTACIONES METEOROLOGICAS



Elaborado por:
Jonathan Guanoluisa
Oscar Altamirano

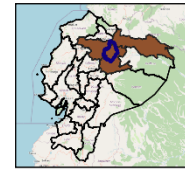
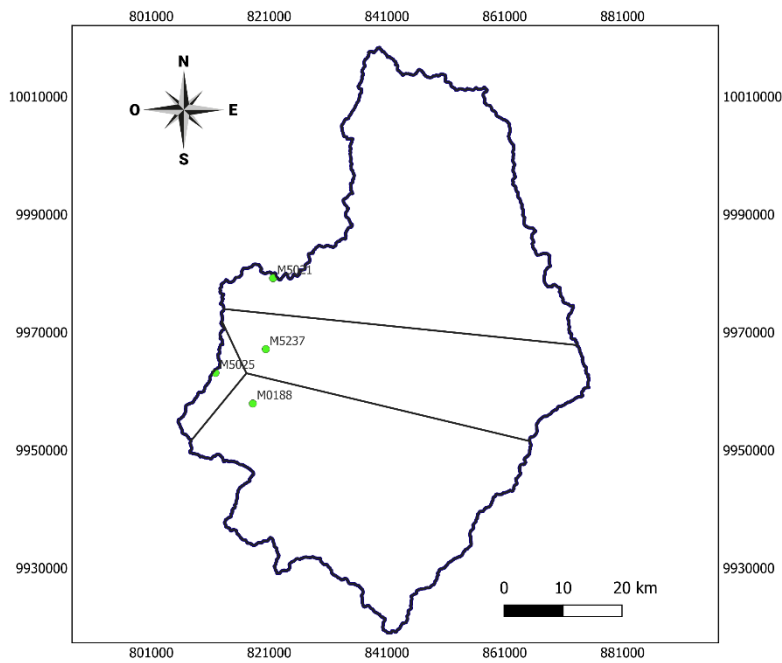
Revisado por:
Ing. Rudys Cusme

Contenido:
Estaciones
meteorologicas

Leyenda

- ESTACIONES
- ▭ CUENCA

MAPA DE POLIGONOS DE THIESSEN




Elaborado por:
Jonathan Guanoluisa
Oscar Altamirano


Revisado por:
Ing. Rudys Cusme

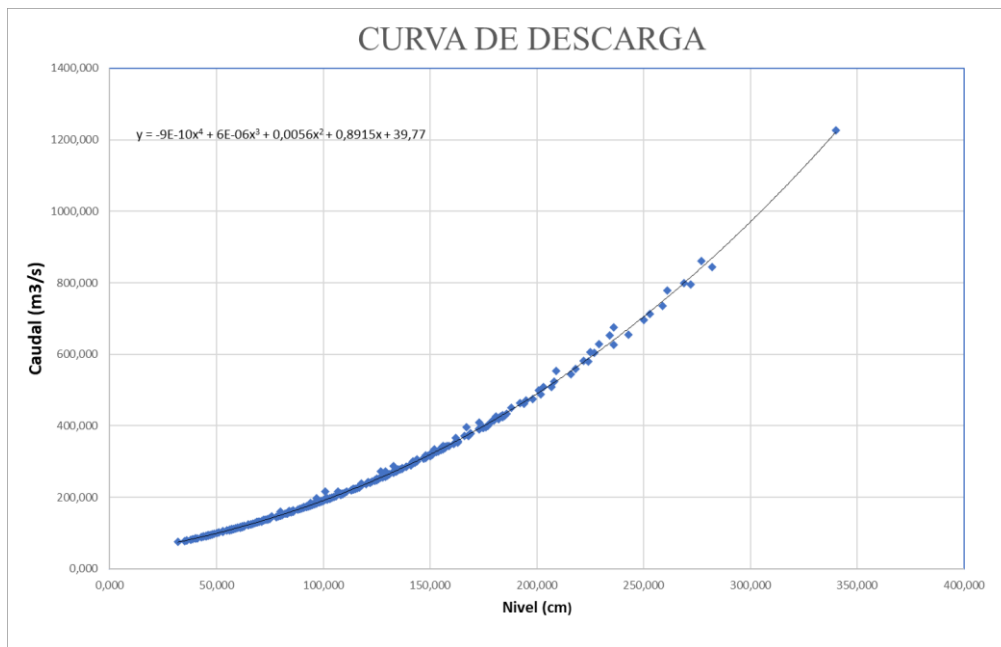
Contenido:
Poligonos de thiessen
mediante estaciones

Leyenda

- ESTACIONES
- ▭ CUENCA

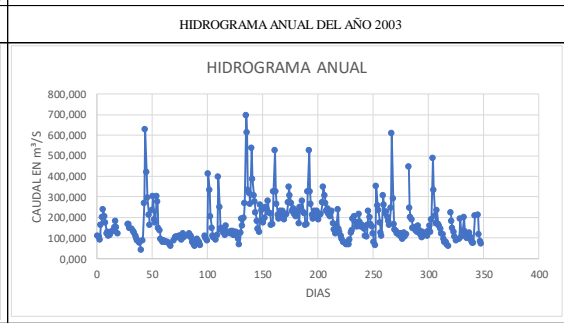
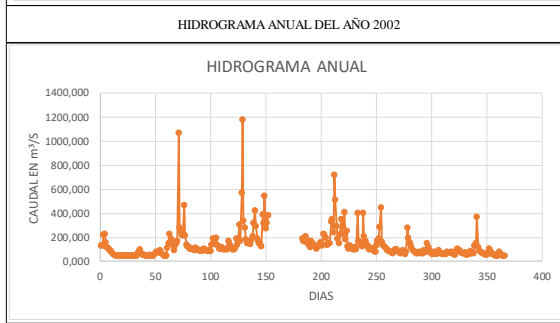
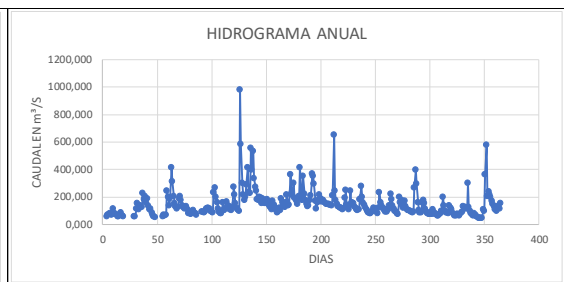
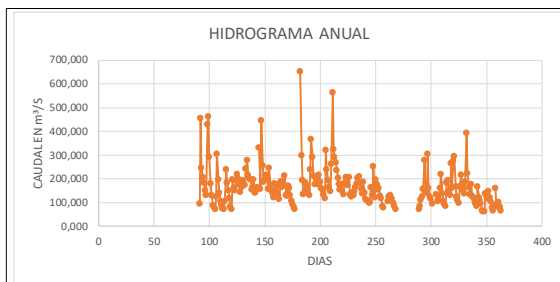
NOMBRE Y APELLIDO	JONATHAN JAVIER GUANOLUISA AGUIRRE	
	OSCAR IVAN ALTAMIRANO TIXE	
TITULO DE INVESTIGACION	ANALISIS DE RESECCION	
NOMBRE DE ESTACION	QUIJOS DJ OYACACHI	

AÑOS DE RECOLECCION:	DESDE EL AÑO 2003 AL AÑO 2025	
ECUACION DE DESCARGA:	$y = -9E-10x^4 + 6E-06x^3 + 0,0056x^2 + 0,8915x + 39,77$	

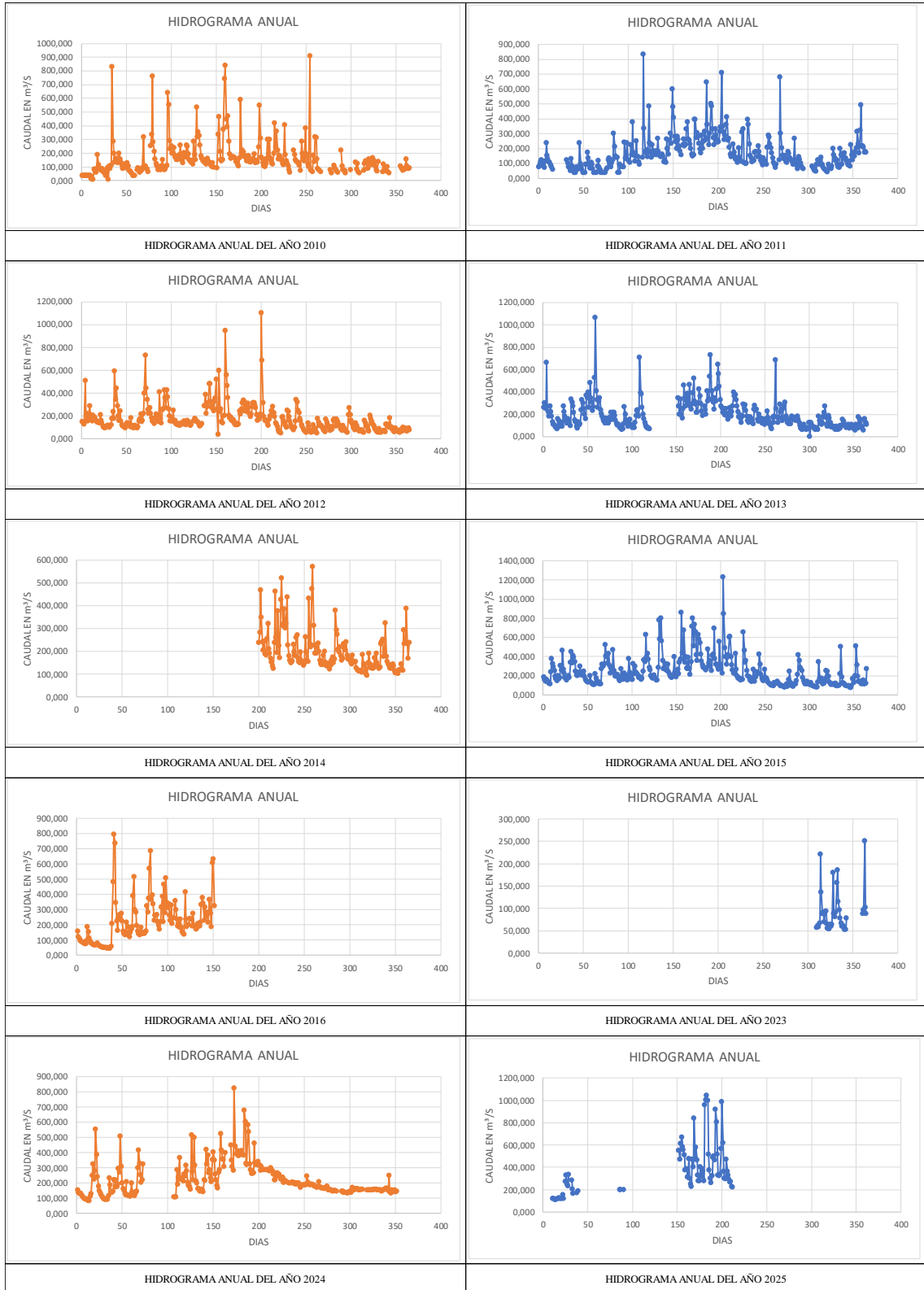




HIDROGRAMA ANUALES	QUIJOS DJ OYACACHI
---------------------------	---------------------------

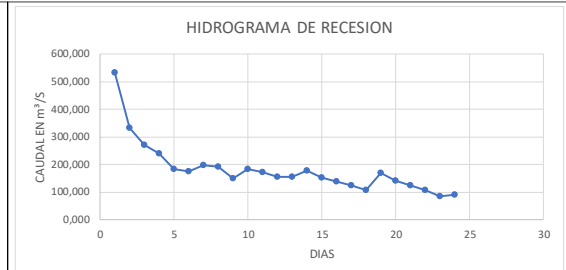


HIDROGRAMA ANUAL DEL AÑO 2004	HIDROGRAMA ANUAL DEL AÑO 2008
-------------------------------	-------------------------------



HIDROGRAMA DE RECESION

QUIJOS DJ OYACACHI



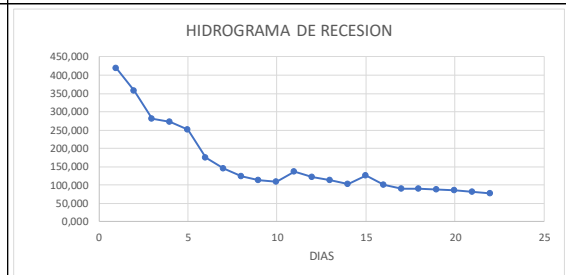
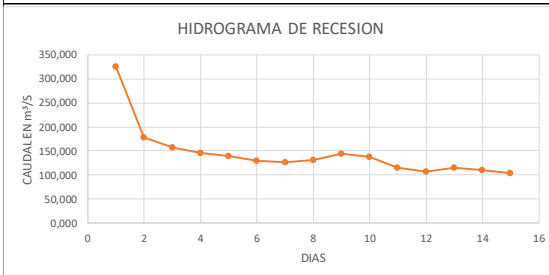
HIDROGRAMA DE RECESION DEL AÑO 2004

HIDROGRAMA DE RECESION DEL AÑO 2003



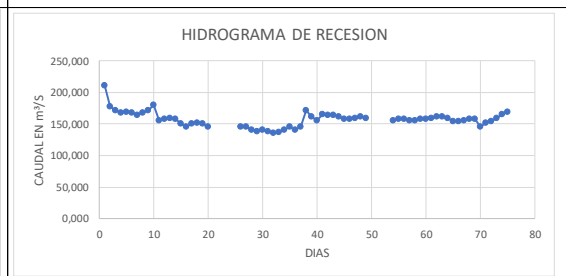
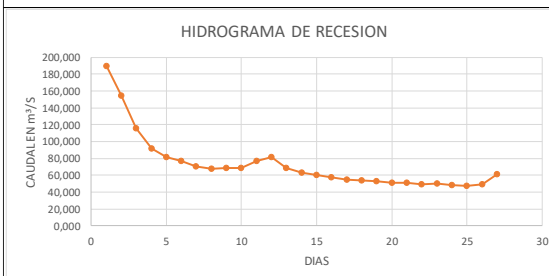
HIDROGRAMA DE RECESION DEL AÑO 2012

HIDROGRAMA DE RECESION DEL AÑO 2013



HIDROGRAMA DE RECESION DEL AÑO 2014

HIDROGRAMA DE RECESION DEL AÑO 2015



HIDROGRAMA DE RECESION DEL AÑO 2016

HIDROGRAMA DE RECESION DEL AÑO 2024

NOMBRE Y APELLIDO	JONATHAN JAVIER GUANOLUISA AGUIRRE	
TITULO DE INVESTIGACION	OSCAR IVAN ALTAMIRANO TIXE	
NOMBRE DEL ARCHIVO	ANALISIS DE RESECCION	
	PORCENTAJE DE LOS DATOS	

Años	H0719 ESTACION - QUIJOS DJ OYACACHI	
	Nivel (%)	Caudal (%)
2002	66,027	66,027
2003	93,699	93,699
2004	91,803	91,803
2005	N/D	N/D
2006	N/D	N/D
2007	N/D	N/D
2008	87,671	87,671
2009	N/D	N/D
2010	84,932	84,932
2011	91,507	91,507
2012	98,630	98,630
2013	90,959	90,959
2014	45,479	45,479
2015	100,000	100,000
2016	41,370	41,370
2017	N/D	N/D
2018	N/D	N/D
2019	N/D	N/D
2020	N/D	N/D
2021	N/D	N/D
2022	N/D	N/D
2023	10,685	10,685
2024	82,192	82,192
2025	23,288	23,288

NOMBRE Y APELLIDO	JONATHAN JAVIER GUANOLUISA AGUIRRE	
	OSCAR IVAN ALTAMIRANO TIXE	
TITULO DE INVESTIGACION	ANALISIS DE RESECCION	
NOMBRE DEL ARCHIVO	PORCENTAJE DE LOS DATOS	

H0719 ESTACION - QUIJOS DJ OYACACHI				
Años	M5021 Selvafacha - Oyacachi	M5025 La virgen - Papallacta	M5237 Guaytaloma	M0188 Papallacta
	Prec. (%)	Prec. (%)	Prec. (%)	Prec. (%)
2002	N/D	N/D	N/D	N/D
2003	N/D	N/D	N/D	91,667
2004	N/D	N/D	100,000	100,000
2005	N/D	N/D	83,333	100,000
2006	N/D	N/D	100,000	100,000
2007	N/D	N/D	100,000	100,000
2008	N/D	N/D	100,000	100,000
2009	N/D	N/D	100,000	91,667
2010	N/D	N/D	100,000	100,000
2011	N/D	N/D	100,000	91,667
2012	75,000	100,000	100,000	91,667
2013	91,667	100,000	100,000	83,333
2014	100,000	100,000	100,000	91,667
2015	100,000	100,000	100,000	33,333
2016	100,000	100,000	100,000	100,000
2017	100,000	100,000	100,000	100,000
2018	100,000	100,000	100,000	83,333
2019	100,000	100,000	100,000	100,000
2020	100,000	100,000	100,000	N/D
2021	100,000	100,000	100,000	N/D
2022	100,000	100,000	100,000	N/D
2023	100,000	100,000	100,000	83,333
2024	100,000	100,000	91,667	100,000
2025	100,000	100,000	100,000	91,667

NOMBRE Y APELLIDO	JONATHAN JAVIER GUANOLUISA AGUIRRE	
	OSCAR IVAN ALTAMIRANO TIXE	
TITULO DE INVESTIGACION	ANALISIS DE RESECCION	
NOMBRE DEL ARCHIVO	CALCULO DE THIESSEN Y UMBRAL	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	ENERO	2013	94,250	1496,207	63,067
M5025		2013	48,750	72,389	
M5237		2013	101,280	795,877	
M0188		2013	6,600	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	FEBREO	2013	0,000	1496,207	41,838
M5025		2013	19,750	72,389	
M5237		2013	150,480	795,877	
M0188		2013	25,300	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	MARZO	2013	73,500	1496,207	66,481
M5025		2013	87,500	72,389	
M5237		2013	132,720	795,877	
M0188		2013	18,400	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	ABRIL	2013	113,750	1496,207	81,407
M5025		2013	66,000	72,389	
M5237		2013	146,880	795,877	
M0188		2013	7,600	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	MAYO	2013	176,000	1496,207	127,317
M5025		2013	212,500	72,389	
M5237		2013	216,720	795,877	
M0188		2013	15,800	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	JUNIO	2013	141,750	1496,207	104,642
M5025		2013	102,900	72,389	
M5237		2013	162,000	795,877	
M0188		2013	29,600	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	JULIO	2013	224,250	1496,207	171,004
M5025		2013	212,000	72,389	
M5237		2013	322,320	795,877	
M0188		2013	20,200	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	AGOSTO	2013	177,500	1496,207	124,697
M5025		2013	115,100	72,389	
M5237		2013	204,960	795,877	
M0188		2013	19,100	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	SEPTIEMBRE	2013	125,750	1496,207	96,520
M5025		2013	93,400	72,389	
M5237		2013	170,640	795,877	
M0188		2013	20,400	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	OCTUBRE	2013	105,000	1496,207	80,816
M5025		2013	99,900	72,389	
M5237		2013	140,400	795,877	
M0188		2013	17,700	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	NOVIEMBRE	2013	72,250	1496,207	51,720
M5025		2013	81,500	72,389	
M5237		2013	97,920	795,877	
M0188		2013	0,000	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	DICIEMBRE	2013	52,250	1496,207	39,343
M5025		2013	45,100	72,389	
M5237		2013	81,120	795,877	
M0188		2013	0,000	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	ENERO	2014	136,000	1496,207	83,026
M5025		2014	99,600	72,389	
M5237		2014	122,400	795,877	
M0188		2014	0,000	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	FEBREO	2014	75,500	1496,207	42,557
M5025		2014	22,500	72,389	
M5237		2014	44,640	795,877	
M0188		2014	5,800	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	MARZO	2014	348,500	1496,207	188,361
M5025		2014	132,900	72,389	
M5237		2014	162,480	795,877	
M0188		2014	28,700	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	ABRIL	2014	305,500	1496,207	168,659
M5025		2014	94,200	72,389	
M5237		2014	188,640	795,877	
M0188		2014	8,800	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	MAYO	2014	298,600	1496,207	175,637
M5025		2014	126,800	72,389	
M5237		2014	194,640	795,877	
M0188		2014	30,400	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	JUNIO	2014	489,200	1496,207	270,907
M5025		2014	223,000	72,389	
M5237		2014	303,600	795,877	
M0188		2014	11,600	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	JULIO	2014	47,900	1496,207	90,242
M5025		2014	158,200	72,389	
M5237		2014	245,280	795,877	
M0188		2014	42,000	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	AGOSTO	2014	396,800	1496,207	216,557
M5025		2014	136,700	72,389	
M5237		2014	226,320	795,877	
M0188		2014	14,800	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	SEPTIEMBRE	2014	291,000	1496,207	164,435
M5025		2014	97,800	72,389	
M5237		2014	190,800	795,877	
M0188		2014	11,800	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	OCTUBRE	2014	272,800	1496,207	170,086
M5025		2014	112,300	72,389	
M5237		2014	203,520	795,877	
M0188		2014	39,300	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	NOVIEMBRE	2014	215,600	1496,207	120,220
M5025		2014	76,400	72,389	
M5237		2014	117,840	795,877	
M0188		2014	18,000	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	DICIEMBRE	2014	186,100	1496,207	112,595
M5025		2014	99,000	72,389	
M5237		2014	139,920	795,877	
M0188		2014	15,500	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	ENERO	2015	184,900	1496,207	116,083
M5025		2015	105,900	72,389	
M5237		2015	139,200	795,877	
M0188		2015	26,500	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	FEBREO	2015	61,300	1496,207	71,668
M5025		2015	90,400	72,389	
M5237		2015	126,960	795,877	
M0188		2015	49,500	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	MARZO	2015	220,300	1496,207	127,905
M5025		2015	95,900	72,389	
M5237		2015	173,520	795,877	
M0188		2015	0,000	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	ABRIL	2015	196,700	1496,207	125,654
M5025		2015	109,400	72,389	
M5237		2015	206,160	795,877	
M0188		2015	0,000	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	MAYO	2015	165,600	1496,207	72,930
M5025		2015	107,500	72,389	
M5237		2015	18,960	795,877	
M0188		2015	0,000	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	JUNIO	2015	459,600	1496,207	243,207
M5025		2015	329,800	72,389	
M5237		2015	240,000	795,877	
M0188		2015	0,000	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	JULIO	2015	236,300	1496,207	177,633
M5025		2015	239,600	72,389	
M5237		2015	362,240	795,877	
M0188		2015	0,000	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	AGOSTO	2015	191,100	1496,207	125,538
M5025		2015	142,700	72,389	
M5237		2015	213,120	795,877	
M0188		2015	0,000	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	SEPTIEMBRE	2015	32,600	1496,207	30,344
M5025		2015	45,300	72,389	
M5237		2015	76,080	795,877	
M0188		2015	0,000	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	OCTUBRE	2015	158,100	1496,207	89,597
M5025		2015	56,200	72,389	
M5237		2015	115,440	795,877	
M0188		2015	0,000	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	NOVIEMBRE	2015	11,400	1496,207	77,276
M5025		2015	91,900	72,389	
M5237		2015	145,440	795,877	
M0188		2015	109,400	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	DICIEMBRE	2015	91,400	1496,207	79,835
M5025		2015	60,400	72,389	
M5237		2015	115,920	795,877	
M0188		2015	46,700	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	ENERO	2016	18,200	1496,207	29,791
M5025		2016	29,500	72,389	
M5237		2016	58,020	795,877	
M0188		2016	26,000	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	FEBREO	2016	183,700	1496,207	128,520
M5025		2016	90,400	72,389	
M5237		2016	152,640	795,877	
M0188		2016	55,000	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	MARZO	2016	62,200	1496,207	88,701
M5025		2016	127,000	72,389	
M5237		2016	214,560	795,877	
M0188		2016	41,700	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	ABRIL	2016	160,200	1496,207	159,598
M5025		2016	158,700	72,389	
M5237		2016	213,360	795,877	
M0188		2016	127,200	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	MAYO	2016	171,600	1496,207	154,819
M5025		2016	106,100	72,389	
M5237		2016	263,760	795,877	
M0188		2016	74,400	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	JUNIO	2016	295,900	1496,207	297,411
M5025		2016	249,800	72,389	
M5237		2016	325,920	795,877	
M0188		2016	284,800	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	JULIO	2016	193,300	1496,207	192,891
M5025		2016	164,500	72,389	
M5237		2016	252,720	795,877	
M0188		2016	158,600	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	AGOSTO	2016	89,000	1496,207	90,045
M5025		2016	58,500	72,389	
M5237		2016	137,760	795,877	
M0188		2016	64,700	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	SEPTIEMBRE	2016	175,100	1496,207	138,286
M5025		2016	113,100	72,389	
M5237		2016	76,080	795,877	
M0188		2016	135,500	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	OCTUBRE	2016	49,400	1496,207	51,168
M5025		2016	49,400	72,389	
M5237		2016	78,960	795,877	
M0188		2016	36,800	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	NOVIEMBRE	2016	56,100	1496,207	59,452
M5025		2016	70,800	72,389	
M5237		2016	83,760	795,877	
M0188		2016	48,200	1346,529	

ESTACIONES	MES DE PRECIPITACION	AÑO DE PRECIPITACION	PRECIPITACION MENSUAL (MM)	AREA DE INFLUENCIA (KM2)	PRECIPITACION PONDERADA (MM)
M5021	DICIEMBRE	2016	34,200	1496,207	44,856
M5025		2016	51,700	72,389	
M5237		2016	62,160	795,877	
M0188		2016	46,100	1346,529	


NOMBRE Y APELLIDO	JONATHAN JAVIER GUANOLUISA AGUIRRE	
	OSCAR IVAN ALTAMIRANO TIXE	
TITULO DE INVESTIGACION	ANALISIS DE RESECCION	
NOMBRE DEL ARCHIVO	CALCULO DE THIESSEN Y UMBRAL	

Precipitacion ponderada mediante poligonos de thiesSEN

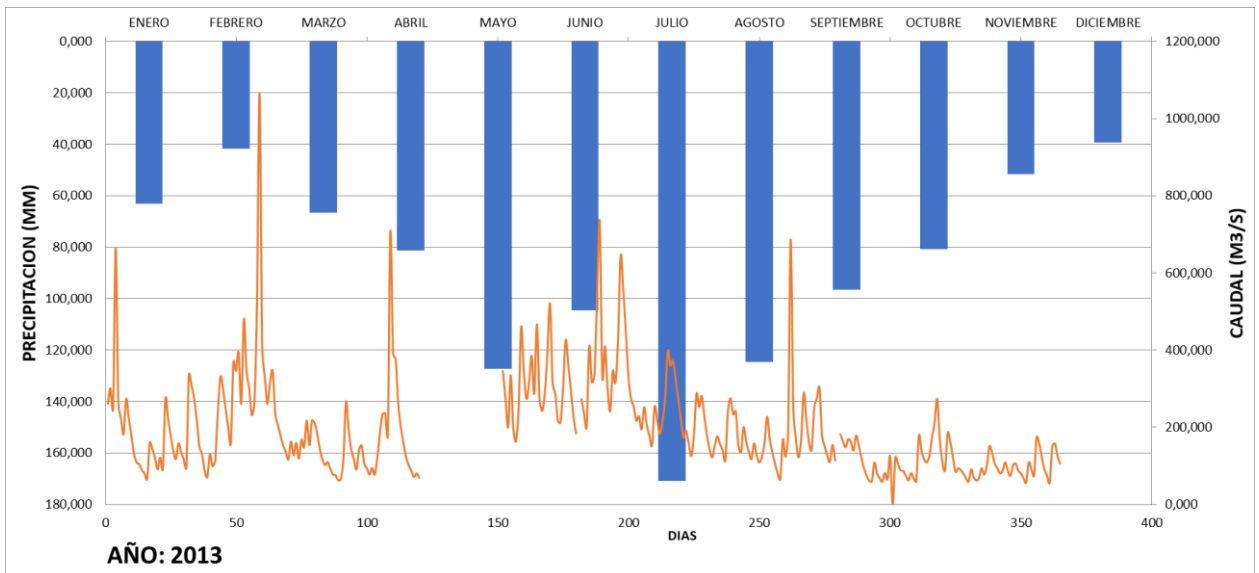
	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016
MESES	Prec. (mm)	Prec. (mm)	Prec. (mm)	Prec. (mm)
ENERO	63,067	83,026	116,083	29,791
FEBRERO	41,838	42,557	71,668	128,520
MARZO	66,481	188,361	127,905	88,701
ABRIL	81,407	168,659	125,654	159,598
MAYO	127,317	175,637	72,930	154,819
JUNIO	104,642	270,907	243,207	297,411
JULIO	171,004	90,242	177,633	192,891
AGOSTO	124,697	216,557	125,538	90,045
SEPTIEMBRE	96,520	164,435	30,344	138,286
OCTUBRE	80,816	170,086	89,597	51,168
NOVIEMBRE	51,720	120,220	77,276	59,452
DICIEMBRE	39,343	112,595	79,835	44,856

Determinacion del umbral

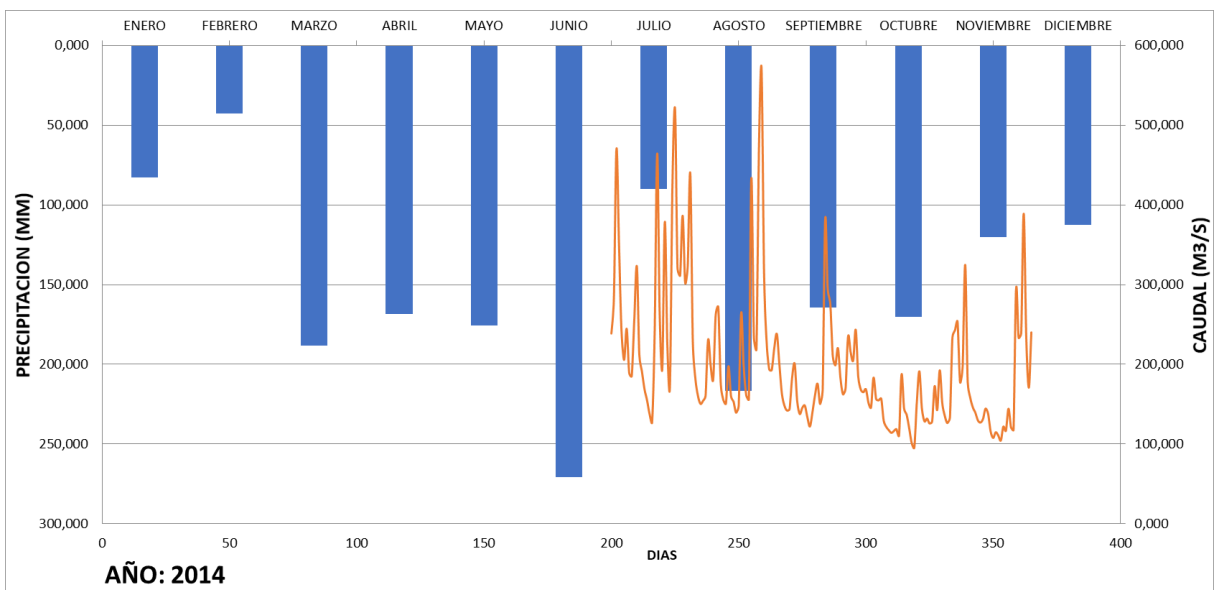
AÑO	MES	UMBRAL	UNIDADES
2013	OCTUBRE	80,82	mm/mes
2014	NOVIEMBRE	120,22	mm/mes
2015	OCTUBRE	89,60	mm/mes
2016	NOVIEMBRE	59,45	mm/mes
PROMEDIO		87,52	mm/mes

NOMBRE Y APELLIDO	JONATHAN JAVIER GUANOLUISA AGUIRRE	 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
	OSCAR IVAN ALTAMIRANO TIXE	
TITULO DE INVESTIGACION	ANALISIS DE RESECCION	
NOMBRE DEL ARCHIVO	HIDROGRAMAS VS HIETOGRAMAS	

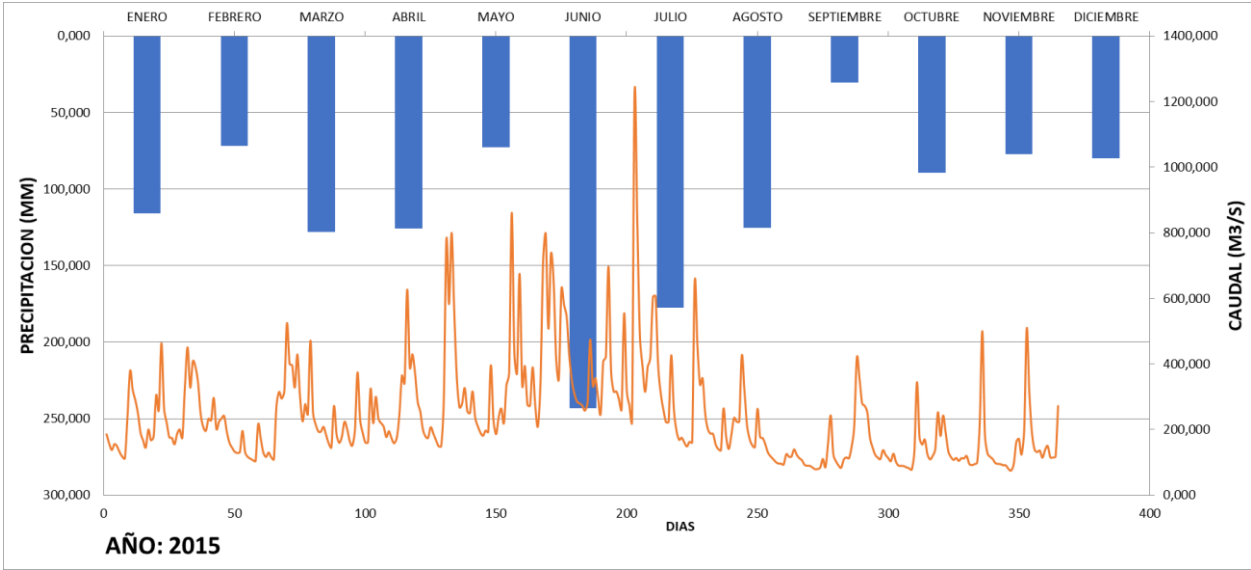
MUESTRA DE HIDROGRAMA DE LA ESTACION (H0179) VS HIETOGRAMA DE LAS ESTACIONES (M5021, M5025, M5237, M0188) PARA EL AÑO 2013



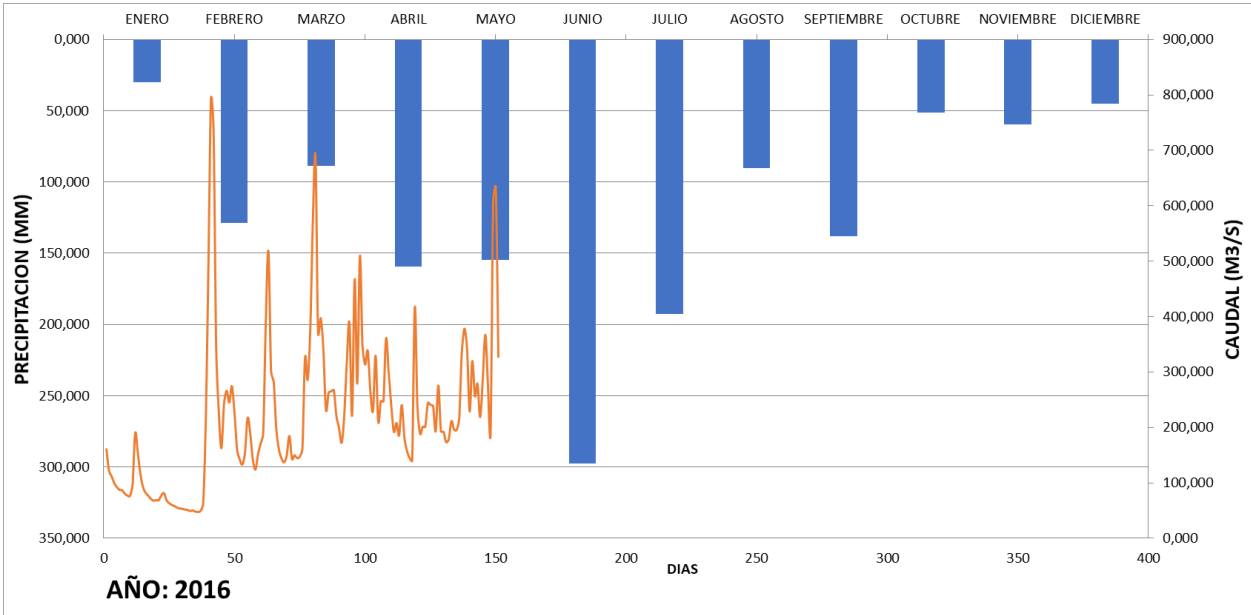
MUESTRA DE HIDROGRAMA DE LA ESTACION (H0179) VS HIETOGRAMA DE LAS ESTACIONES (M5021, M5025, M5237, M0188) PARA EL AÑO 2014



MUESTRA DE HIDROGRAMA DE LA ESTACION (H0179) VS HIETOGRAMA DE LAS ESTACIONES (M5021, M5025, M5237, M0188) PARA EL AÑO 2015

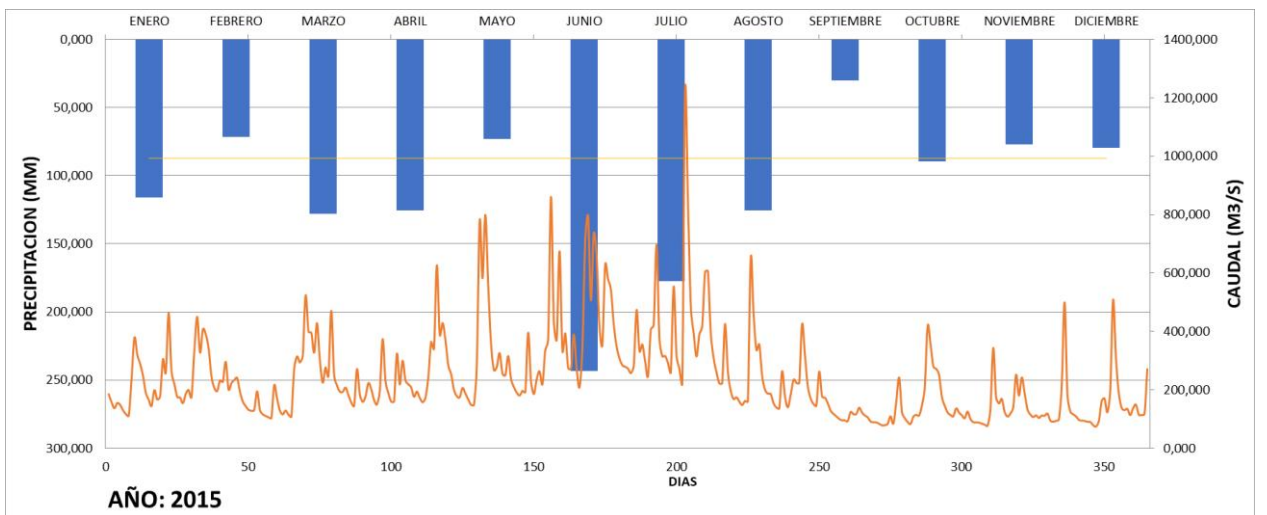
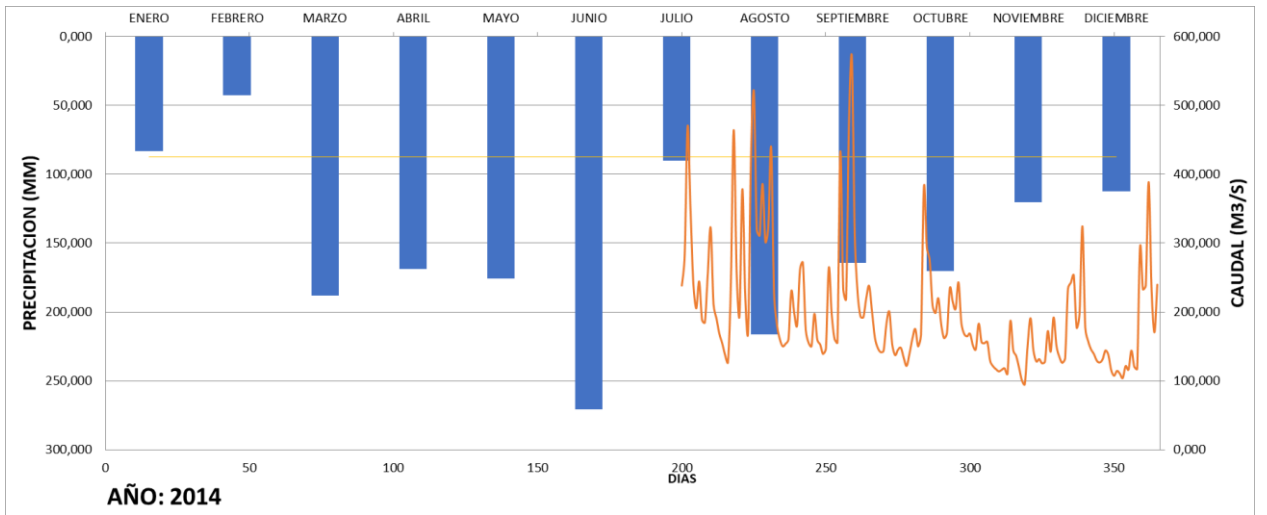
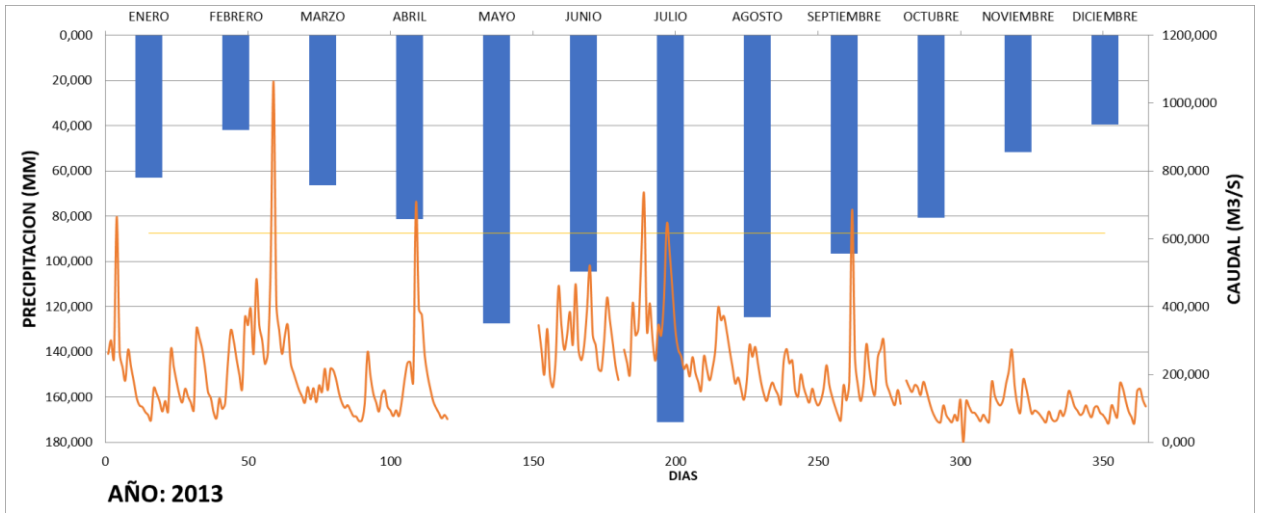


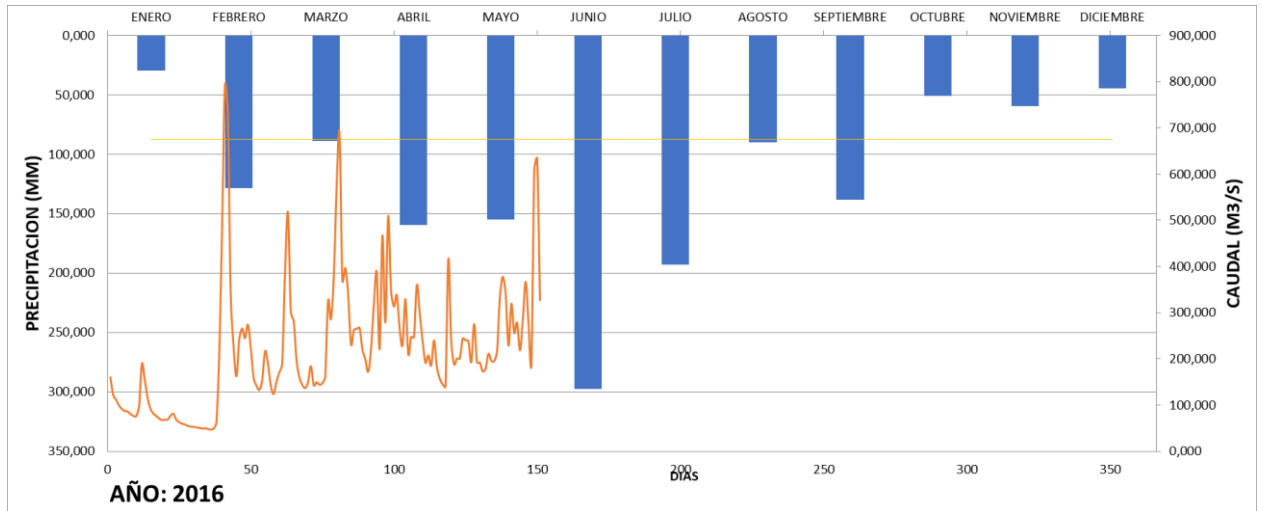
MUESTRA DE HIDROGRAMA DE LA ESTACION (H0179) VS HIETOGRAMA DE LAS ESTACIONES (M5021, M5025, M5237, M0188) PARA EL AÑO 2016



NOMBRE Y APELLIDO	JONATHAN JAVIER GUANOLUISA AGUIRRE	
	OSCAR IVAN ALTAMIRANO TIXE	
TITULO DE INVESTIGACION	ANALISIS DE RESECCION	
NOMBRE DEL ARCHIVO	UMBRALES	

MUESTRA DE UMBRALES

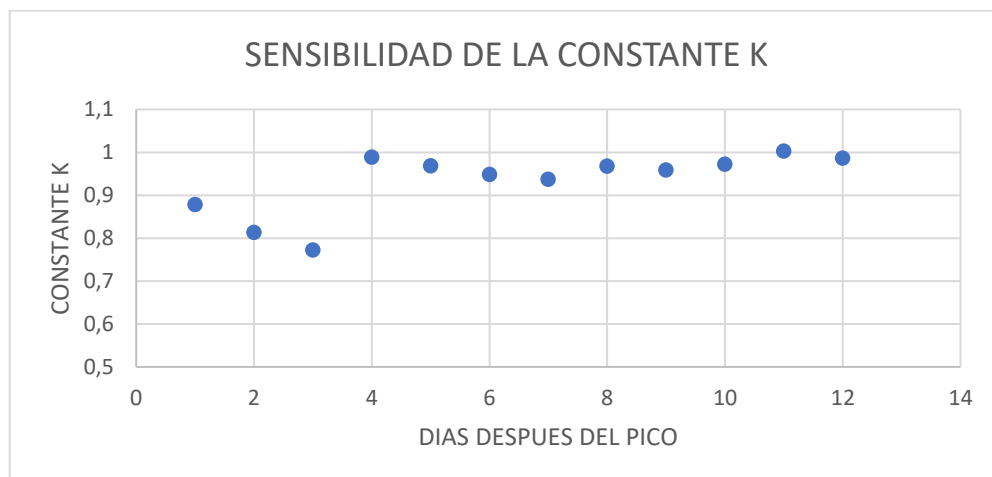




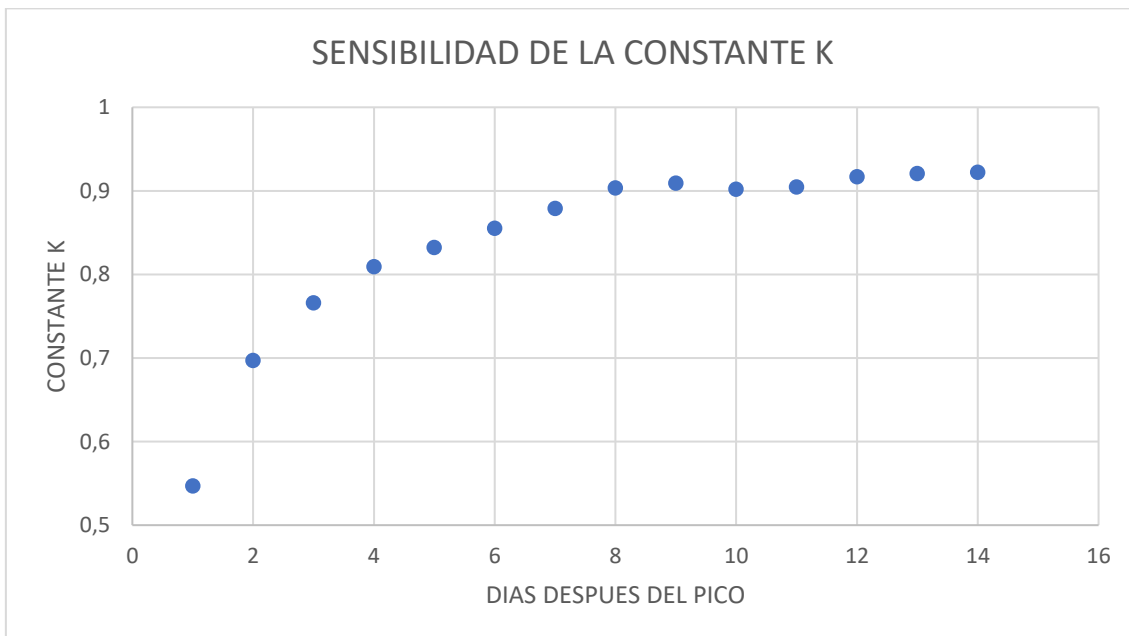
NOMBRE Y APELLIDO	JONATHAN JAVIER GUANOLUISA AGUIRRE	
TÍTULO DE INVESTIGACION	OSCAR IVAN ALTAMIRANO TIXE	
NOMBRE DEL ARCHIVO	CALCULO DE LA CONSTANTE DE RESECCION	
	ANALISIS DE RESECCION	

H0719 ESTACION - QUIJOS DJ OYACACHI

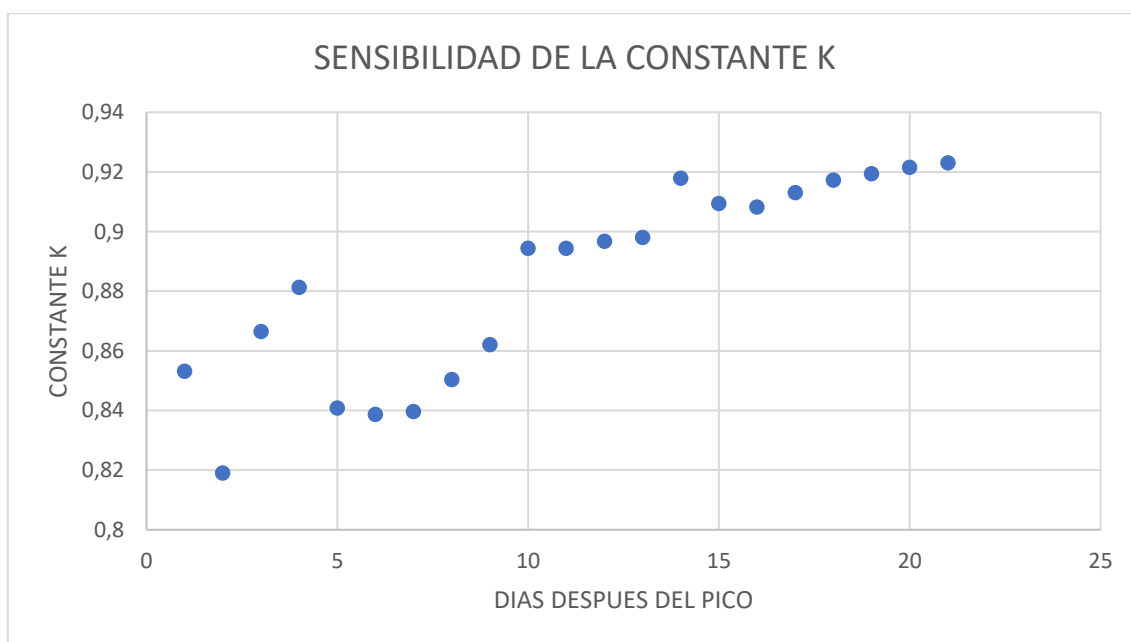
AÑO	DIAS	CAUDAL INICIAL (Q ₀) (m ³ /s)	CAUDAL FINAL (Q) (m ³ /s)	TIEMPO (T) (DIAS)	CONSTANTE DE RESECCION (K)
2013	323	184,852	162,302	1	0,878010517
	324	184,852	122,243	2	0,81320478
	325	184,852	85,034	3	0,771950557
	326	94,071	89,770	4	0,988368433
	327	94,071	80,279	5	0,968789088
	328	94,071	68,312	6	0,948069568
	329	94,071	59,618	7	0,936921256
	330	91,314	70,141	8	0,967563158
	331	91,314	62,466	9	0,958690626
	332	91,314	68,899	10	0,972226725
	333	91,314	94,071	11	1,002707814
	334	91,314	77,770	12	0,986710071



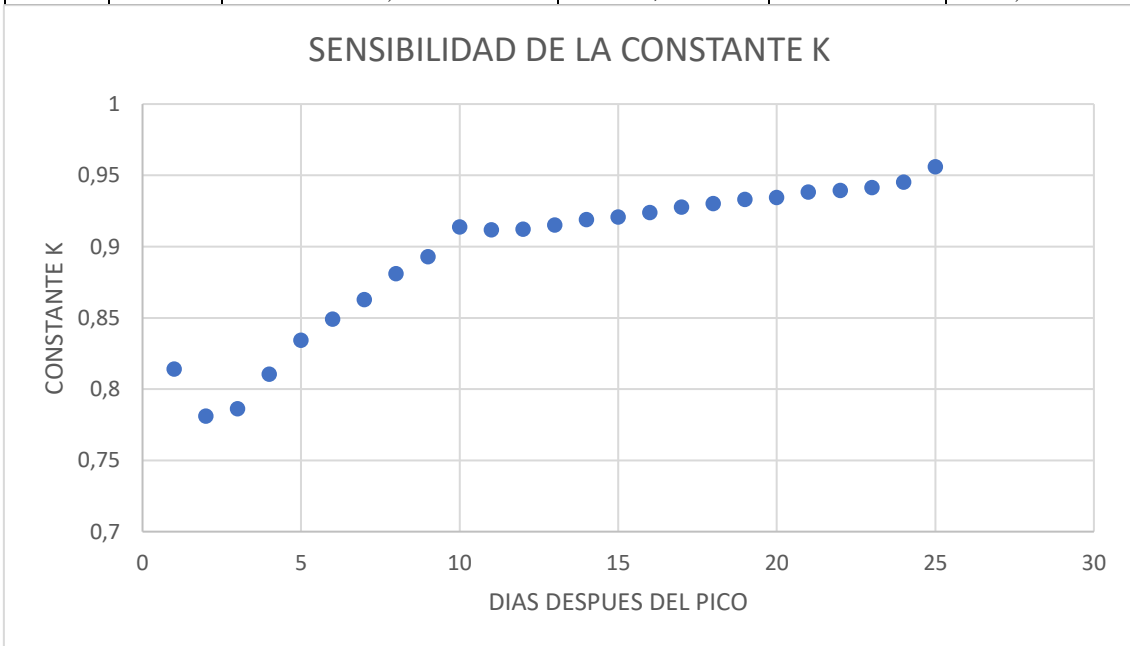
H0719 ESTACION - QUIJOS DJ OYACACHI					
AÑO	DIAS	CAUDAL INICIAL (Q ₀) (m ³ /s)	CAUDAL FINAL (Q) (m ³ /s)	TIEMPO (T) (DIAS)	CONSTANTE DE RECESION (K)
2014	340	324,600	177,500	1	0,546826864
	341	324,600	157,700	2	0,697014141
	342	324,600	145,800	3	0,765836985
	343	324,600	139,100	4	0,809085939
	344	324,600	129,400	5	0,831988172
	345	324,600	126,800	6	0,854991485
	346	324,600	131,300	7	0,878709199
	347	324,600	144,200	8	0,903549798
	348	324,600	137,800	9	0,909192058
	349	324,600	115,400	10	0,901749124
	350	324,600	107,500	11	0,904417769
	351	324,600	114,600	12	0,916895149
	352	324,600	110,500	13	0,920451815
	353	324,600	104,200	14	0,922043417



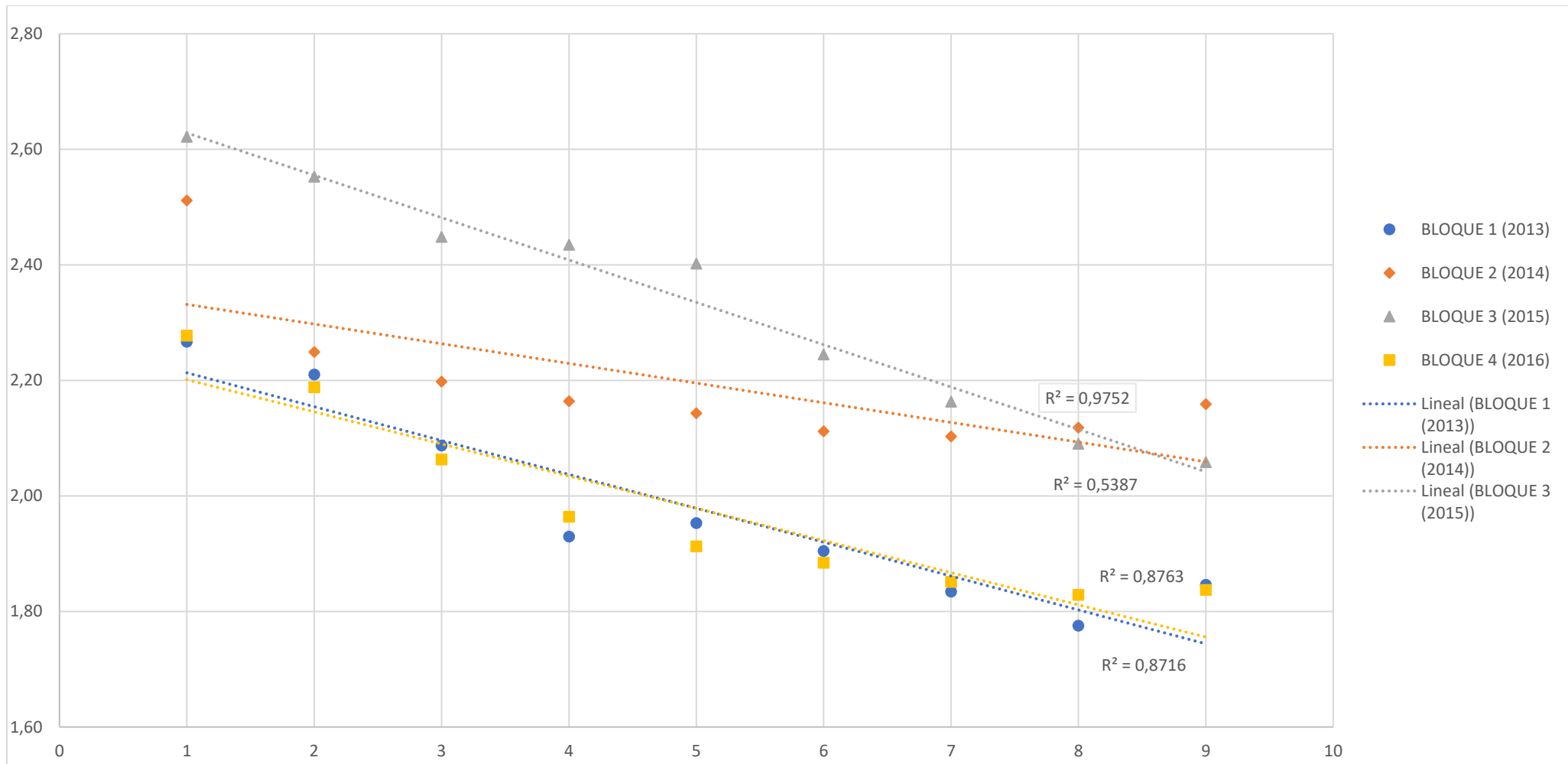
H0719 ESTACION - QUIJOS DJ OYACACHI					
AÑO	DIAS	CAUDAL INICIAL (Q ₀) (m ³ /s)	CAUDAL FINAL (Q) (m ³ /s)	TIEMPO (T) (DIAS)	CONSTANTE DE RECESION (K)
2015	289	418,300	356,900	1	0,853215396
	290	418,300	280,600	2	0,819030172
	291	418,300	272,200	3	0,866562887
	292	418,300	252,400	4	0,881353983
	293	418,300	175,800	5	0,840826133
	294	418,300	145,600	6	0,838710831
	295	418,300	123,100	7	0,839672688
	296	418,300	114,400	8	0,850388288
	297	418,300	110,100	9	0,862161903
	298	418,300	137,000	10	0,894382453
	299	418,300	122,600	11	0,894428628
	300	418,300	113,200	12	0,896801956
	301	418,300	103,400	13	0,898070034
	302	418,300	126,200	14	0,917965871
	303	418,300	100,800	15	0,909490523
	304	418,300	89,780	16	0,908302968
	305	418,300	89,260	17	0,913144177
	306	418,300	88,370	18	0,917254461
	307	418,300	84,740	19	0,919401683
	308	418,300	81,600	20	0,921531351
	309	418,300	77,960	21	0,923116214



H0719 ESTACION - QUIJOS DJ OYACACHI					
AÑO	DIAS	CAUDAL INICIAL (Q ₀) (m ³ /s)	CAUDAL FINAL (Q) (m ³ /s)	TIEMPO (T) (DIAS)	CONSTANTE DE RECESION (K)
2016	13	189,400	154,200	1	0,814149947
	14	189,400	115,600	2	0,78124802
	15	189,400	92,070	3	0,786283912
	16	189,400	81,780	4	0,810619007
	17	189,400	76,590	5	0,834369498
	18	189,400	71,000	6	0,84914084
	19	189,400	67,440	7	0,862847293
	20	189,400	68,740	8	0,881005651
	21	189,400	68,440	9	0,893060979
	22	189,400	76,940	10	0,913854849
	23	189,400	68,590	11	0,911797206
	24	189,400	63,030	12	0,912390198
	25	189,400	59,970	13	0,915337136
	26	189,400	58,010	14	0,918955523
	27	189,400	55,070	15	0,920949197
	28	189,400	53,500	16	0,924029556
	29	189,400	53,020	17	0,927842161
	30	189,400	51,640	18	0,930346637
	31	189,400	50,990	19	0,933266181
	32	189,400	48,930	20	0,934565537
	33	189,400	49,920	21	0,938476825
	34	189,400	48,060	22	0,93956633
	35	189,400	47,270	23	0,941437621
	36	189,400	49,070	24	0,945278623
	37	189,400	61,600	25	0,956066343



H0719 ESTACION - QUIJOS DJ OYACACHI		Año 2013		Año 2014			AÑO 2015			AÑO 2016		
AÑO		BLOQUE 1		BLOQUE 2			BLOQUE 3			BLOQUE 4		
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)
322	1	184,852	2,27	340	324,600	2,51	289	418,300	2,62	13	189,400	2,28
323	2	162,302	2,21	341	177,500	2,25	290	356,900	2,55	14	154,200	2,19
324	3	122,243	2,09	342	157,700	2,20	291	280,600	2,45	15	115,600	2,06
325	4	85,034	1,93	343	145,800	2,16	292	272,200	2,43	16	92,070	1,96
326	5	89,770	1,95	344	139,100	2,14	293	252,400	2,40	17	81,780	1,91
327	6	80,279	1,90	345	129,400	2,11	294	175,800	2,25	18	76,590	1,88
328	7	68,312	1,83	346	126,800	2,10	295	145,600	2,16	19	71,000	1,85
329	8	59,618	1,78	347	131,300	2,12	296	123,100	2,09	20	67,440	1,83
330	9	70,141	1,85	348	144,200	2,16	297	114,400	2,06	21	68,740	1,84
331	10	62,466	1,80	349	137,800	2,14	298	110,100	2,04	22	68,440	1,84
332	11	68,899	1,84	350	115,400	2,06	299	137,000	2,14	23	76,940	1,89
333	12	94,071	1,97	351	107,500	2,03	300	122,600	2,09	24	68,590	1,84
334	13	77,770	1,89	352	114,600	2,06	301	113,200	2,05	25	63,030	1,80
				353	110,500	2,04	302	103,400	2,01	26	59,970	1,78
					104,200		303	126,200	2,10	27	58,010	1,76
							304	100,800	2,00	28	55,070	1,74
							305	89,780	1,95	29	53,500	1,73
							306	89,260	1,95	30	53,020	1,72
							307	88,370	1,95	31	51,640	1,71
							308	84,740	1,93	32	50,990	1,71
							309	81,600	1,91	33	48,930	1,69
								77,960		34	49,920	1,70
										35	48,060	1,68
										36	47,270	1,67
										37	49,070	1,69
										38	61,600	1,79



CALCULO DE LA CONSTANTE DE RECESION K

H0719 ESTACION - QUIJOS DJ OYACACHI

BLOQUE	DIAS	N DE FLUJO	CAUDAL INICIAL (Q ₀) (m ³ /s)	LOG(Q ₀)	VARIANZA	PROMEDIO	U*y _{iu}	(ni ³ -ni)	0.5*(ni)(ni+1)	0.5*(ni)(ni+1)*y _i	Sum I	Log (K)	K
BLOQUE 1	322	1	184,852	2,267	0,02631	1,979	2,267	720	45	89,038	-3,5187	0,0554	0,8801817
	323	2	162,302	2,210			4,421						
	324	3	122,243	2,087			6,262						
	325	4	85,034	1,930			7,718						
	326	5	89,770	1,953			9,766						
	327	6	80,279	1,905			11,428						
	328	7	68,312	1,834			12,841						
	329	8	59,618	1,775			14,203						
	330	9	70,141	1,846			16,614						
BLOQUE 2	340	1	324,6	2,511	0,01436	2,195	2,511	720	45	98,789	-2,0436	0,0554	0,8801817
	341	2	177,5	2,249			4,498						
	342	3	157,7	2,198			6,593						
	343	4	145,8	2,164			8,655						
	344	5	139,1	2,143			10,717						
	345	6	129,4	2,112			12,672						
	346	7	126,8	2,103			14,722						
	347	8	131,3	2,118			16,946						
	348	9	144,2	2,159			19,431						
BLOQUE 3	289	1	418,300	2,621	0,03674	2,335	2,621	720	45	105,080	-4,3988	0,0554	0,8801817
	290	2	356,900	2,553			5,105						
	291	3	280,600	2,448			7,344						
	292	4	272,200	2,435			9,740						
	293	5	252,400	2,402			12,010						
	294	6	175,800	2,245			13,470						
	295	7	145,600	2,163			15,142						
	296	8	123,100	2,090			16,722						
	297	9	114,400	2,058			18,526						
BLOQUE 4	13	1	189,400	2,277	0,02360	1,979	2,277	720	45	89,034	-3,3415	0,0554	0,8801817
	14	2	154,200	2,188			4,376						
	15	3	115,600	2,063			6,189						
	16	4	92,070	1,964			7,856						
	17	5	81,780	1,913			9,563						
	18	6	76,590	1,884			11,305						
	19	7	71,000	1,851			12,959						
	20	8	67,440	1,829			14,631						

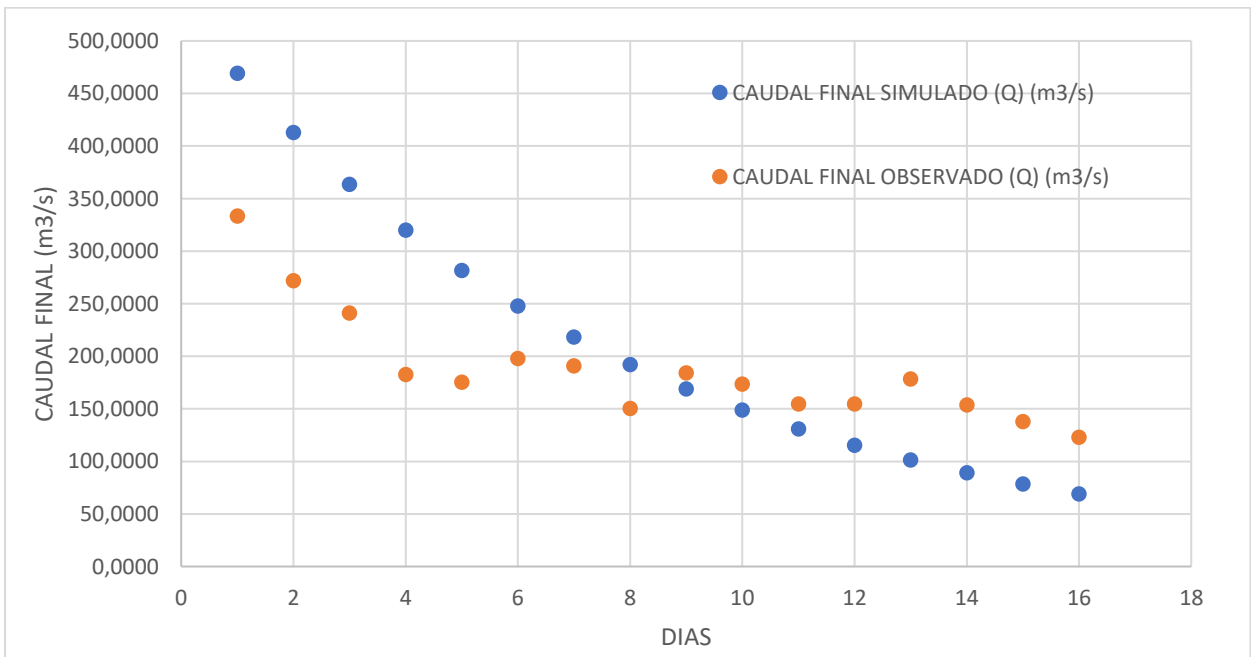
	21	9	68,740	1,837		16,535							
--	----	---	--------	-------	--	--------	--	--	--	--	--	--	--

H0719 ESTACION - QUIJOS DJ OYACACHI			CAUDAL INICIAL (Qo) (m3/s)	LOG(Qo)	VARIANZA	PROMEDIO	U*yiu	(ni ³ -ni)	0.5*(ni)(ni+1)	0.5*(ni)(ni+1)*y _i	Sum1	Log (K)	K
BLOQUE 1	322	1	184,852	2,267	0,02631	1,979	2,267	720	45	89,038	-3,5187		
	323	2	162,302	2,210			4,421						
	324	3	122,243	2,087			6,262						
	325	4	85,034	1,930			7,718						
	326	5	89,770	1,953			9,766						
	327	6	80,279	1,905			11,428						
	328	7	68,312	1,834			12,841						
	329	8	59,618	1,775			14,203						
	330	9	70,141	1,846			16,614						
BLOQUE 3	289	1	418,300	2,621	0,03674	2,335	2,621	720	45	105,080	-4,3988	-0,0626	0,865864 0
	290	2	356,900	2,553			5,105						
	291	3	280,600	2,448			7,344						
	292	4	272,200	2,435			9,740						
	293	5	252,400	2,402			12,010						
	294	6	175,800	2,245			13,470						
	295	7	145,600	2,163			15,142						
	296	8	123,100	2,090			16,722						
297	9	114,400	2,058	18,526									
BLOQUE 4	13	1	189,400	2,277	0,02360	1,979	2,277	720	45	89,034	-3,3415		
	14	2	154,200	2,188			4,376						
	15	3	115,600	2,063			6,189						
	16	4	92,070	1,964			7,856						
	17	5	81,780	1,913			9,563						
	18	6	76,590	1,884			11,305						
	19	7	71,000	1,851			12,959						
	20	8	67,440	1,829			14,631						
	21	9	68,740	1,837			16,535						

NOMBRE Y APELLIDO	JONATHAN JAVIER GUANOLUISA AGUIRRE OSCAR IVAN ALTAMIRANO TIXE	
TITULO DE INVESTIGACION	ANALISIS DE RESECION	
NOMBRE DEL ARCHIVO	VALIDACION DEL METODO	

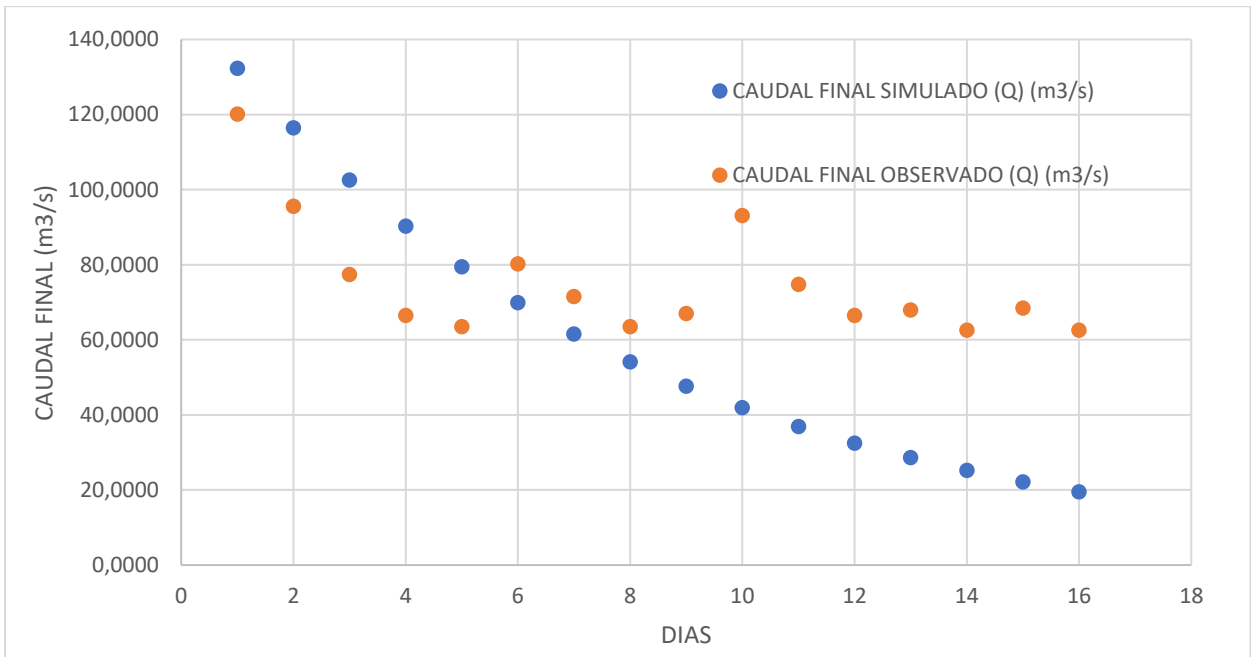
H0719 ESTACION - QUIJOS DJ OYACACHI

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)
2003	533,173	0,8802	333,465	2,7269	1	469,2891
	533,173		271,806		2	413,0597
	533,173		241,153		3	363,5676
	533,173		182,573		4	320,0056
	533,173		175,463		5	281,6631
	533,173		197,887		6	247,9147
	533,173		191,013		7	218,2100
	533,173		150,397		8	192,0644
	533,173		184,147		9	169,0516
	533,173		173,593		10	148,7961
	533,173		154,586		11	130,9676
	533,173		154,586		12	115,2753
	533,173		178,457		13	101,4632
	533,173		153,736		14	89,3061
	533,173		137,826		15	78,6056
	533,173		123,068		16	69,1872



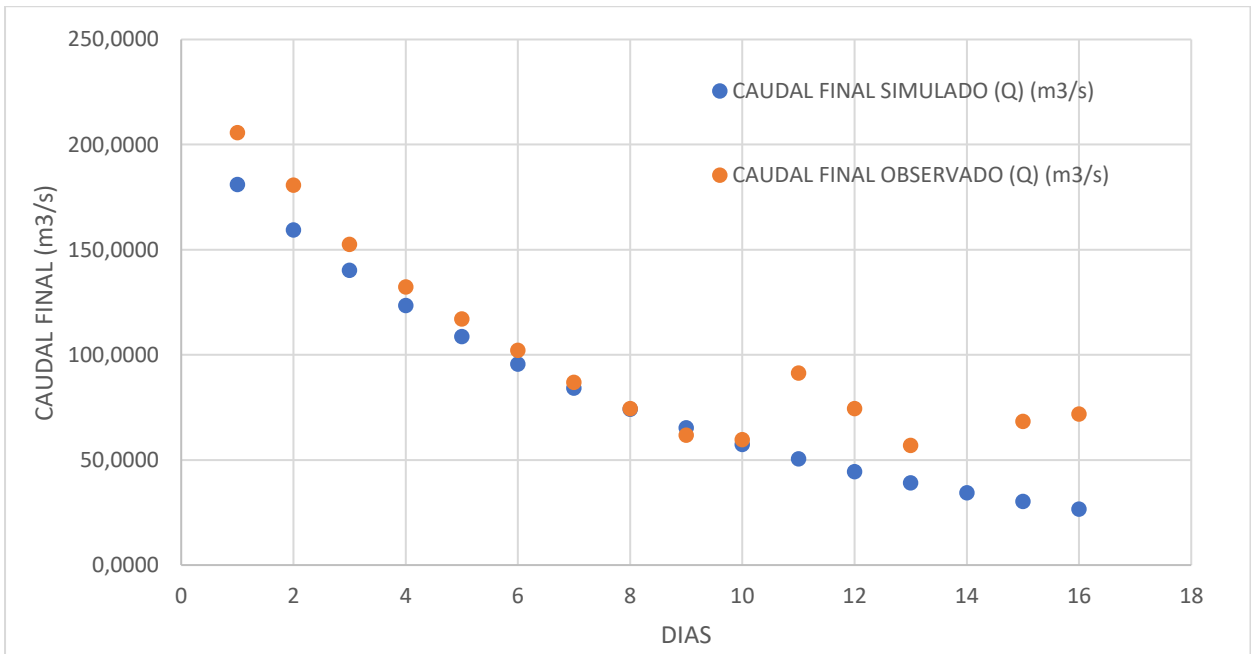
H0719 ESTACION - QUIJOS DJ OYACACHI

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)
2004	150,397	0,8802	120,179	2,1772	1	132,3767
	150,397		95,579		2	116,5155
	150,397		77,386		3	102,5549
	150,397		66,472		4	90,2669
	150,397		63,545		5	79,4513
	150,397		80,247		6	69,9316
	150,397		71,550		7	61,5525
	150,397		63,545		8	54,1774
	150,397		66,977		9	47,6859
	150,397		93,071		10	41,9723
	150,397		74,785		11	36,9432
	150,397		66,472		12	32,5168
	150,397		67,953		13	28,6207
	150,397		62,608		14	25,1914
	150,397		68,463		15	22,1730
	150,397		62,608		16	19,5163



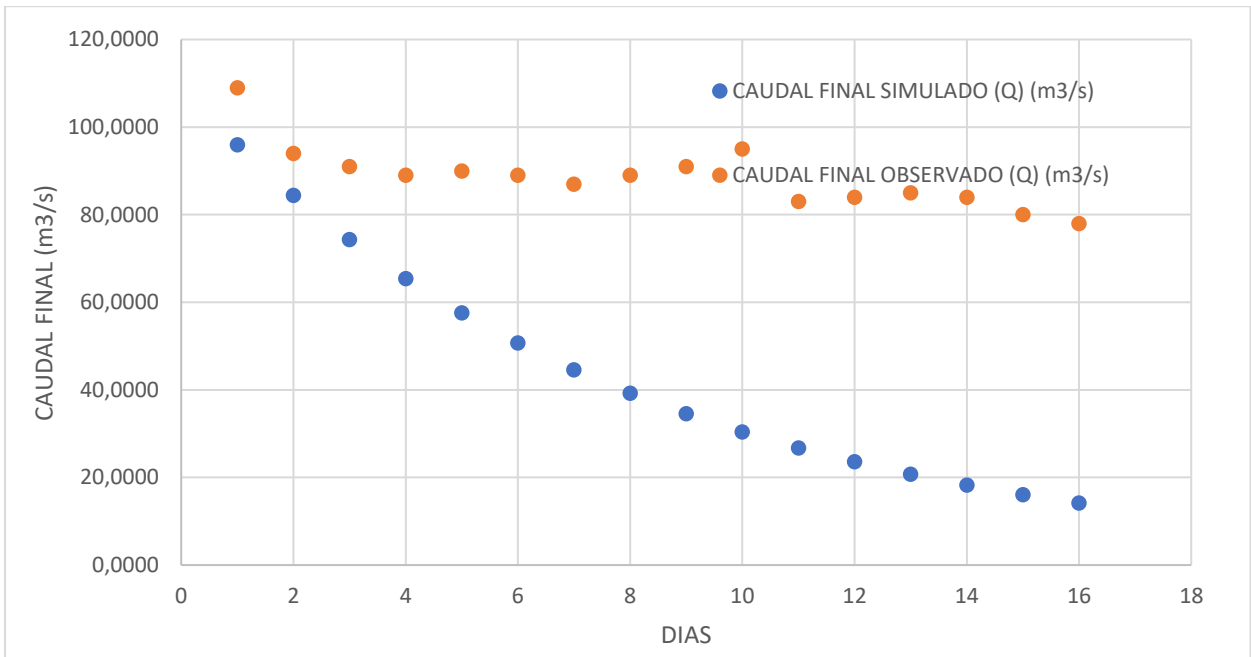
H0719 ESTACION - QUIJOS DJ OYACACHI


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)
2012	205,751	0,8802	205,751	2,3133	1	181,0983
	205,751		180,703		2	159,3994
	205,751		152,560		3	140,3004
	205,751		132,387		4	123,4899
	205,751		117,132		5	108,6935
	205,751		102,183		6	95,6701
	205,751		86,986		7	84,2070
	205,751		74,462		8	74,1175
	205,751		61,883		9	65,2369
	205,751		59,618		10	57,4203
	205,751		91,314		11	50,5403
	205,751		74,462		12	44,4846
	205,751		56,918		13	39,1546
	205,751				14	34,4631
	205,751		68,312		15	30,3338
	205,751		71,924		16	26,6993



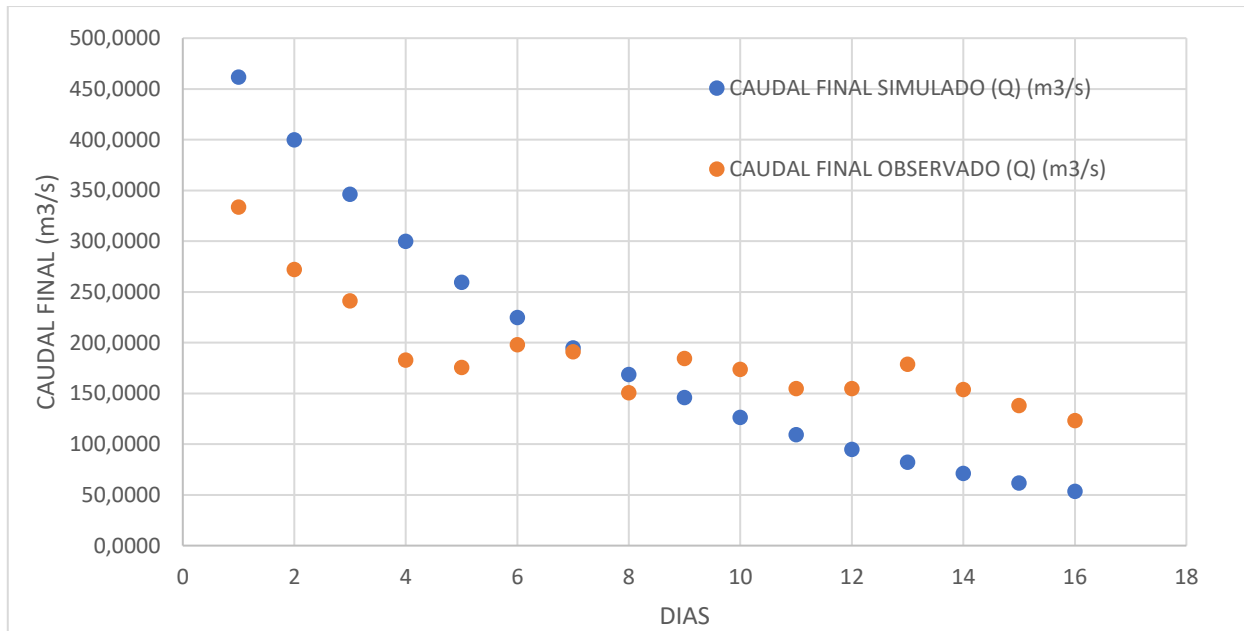
H0719 ESTACION - QUIJOS DJ OYACACHI

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)
2024	109,000	0,8802	109,000	2,0374	1	95,9398
	109,000		94,000		2	84,4445
	109,000		91,000		3	74,3265
	109,000		89,000		4	65,4208
	109,000		90,000		5	57,5822
	109,000		89,000		6	50,6828
	109,000		87,000		7	44,6101
	109,000		89,000		8	39,2650
	109,000		91,000		9	34,5603
	109,000		95,000		10	30,4194
	109,000		83,000		11	26,7746
	109,000		84,000		12	23,5665
	109,000		85,000		13	20,7428
	109,000		84,000		14	18,2574
	109,000		80,000		15	16,0698
	109,000		78,000		16	14,1444

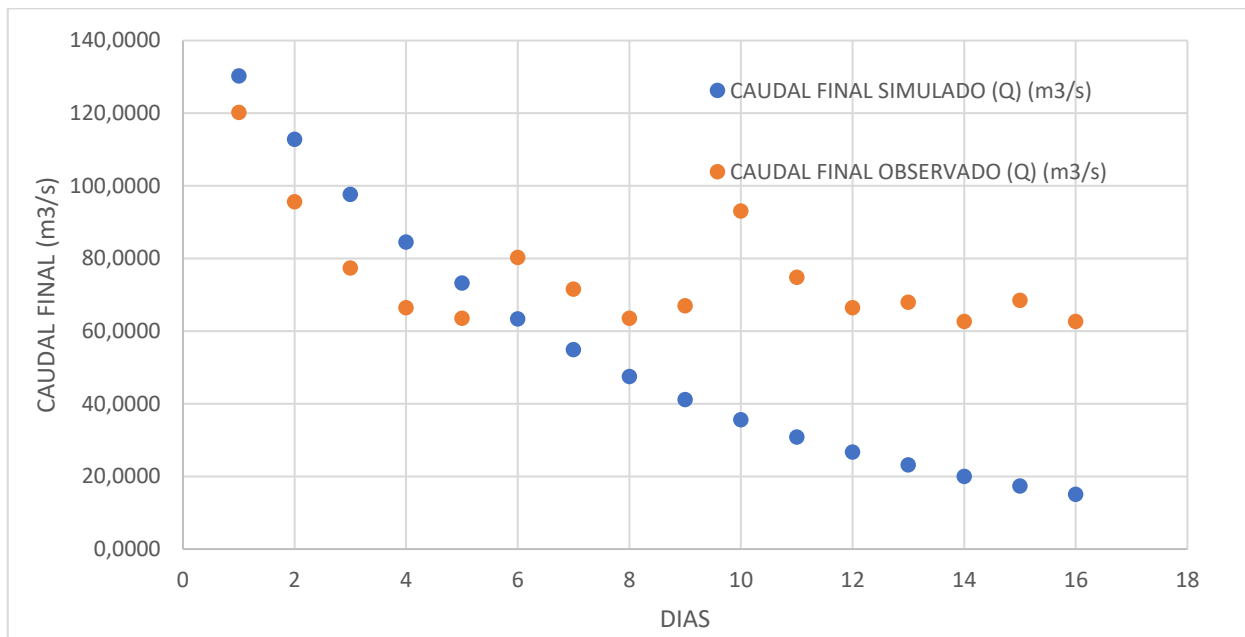


NOMBRE Y APELLIDO	JONATHAN JAVIER GUANOLUISA AGUIRRE	
	OSCAR IVAN ALTAMIRANO TIXE	
TITULO DE INVESTIGACION	ANALISIS DE RESECCION	
NOMBRE DEL ARCHIVO	VALIDACION DEL METODO	

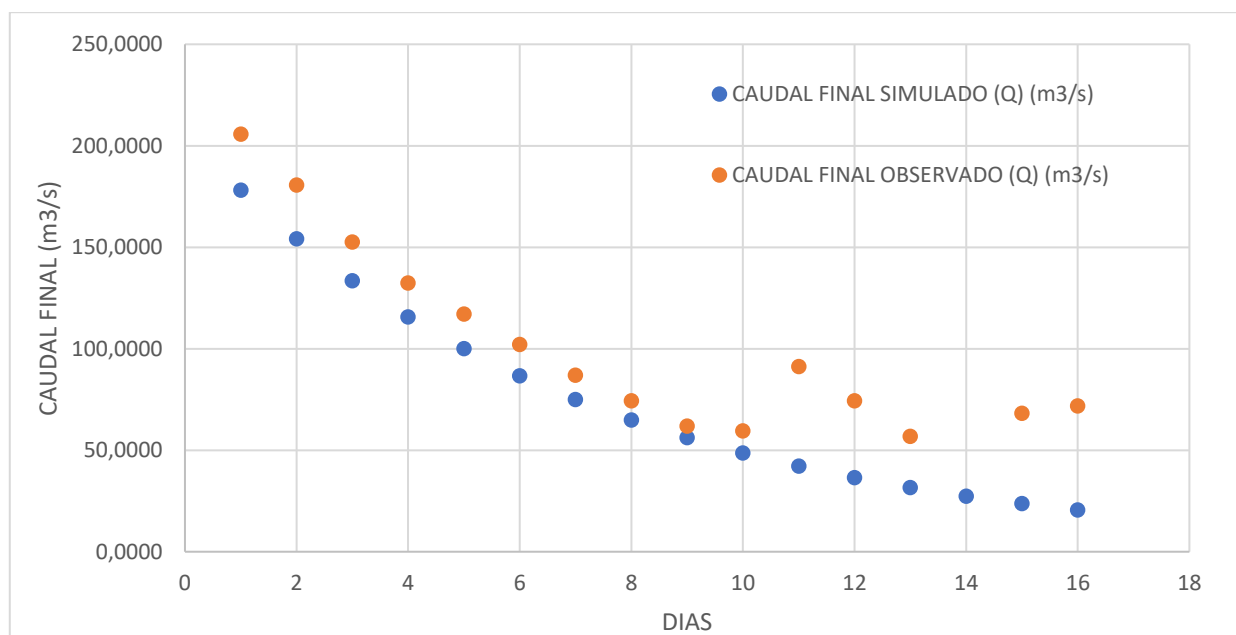
H0719 ESTACION - QUIJOS DJ OYACACHI						
AÑO	CAUDAL INICIAL (Q ₀) (m ³ /s)	CONSTANTE DE RECESION (K)	CAUDAL FINAL OBSERVADO (Q) (m ³ /s)	LOG Q ₀	TIEMPO (T) (DIAS)	CAUDAL FINAL SIMULADO (Q) (m ³ /s)
2003	533,173	0,8659	333,465	2,7269	1	461,6553
	533,173		271,806		2	399,7307
	533,173		241,153		3	346,1124
	533,173		182,573		4	299,6863
	533,173		175,463		5	259,4876
	533,173		197,887		6	224,6809
	533,173		191,013		7	194,5431
	533,173		150,397		8	168,4479
	533,173		184,147		9	145,8530
	533,173		173,593		10	126,2888
	533,173		154,586		11	109,3490
	533,173		154,586		12	94,6813
	533,173		178,457		13	81,9812
	533,173		153,736		14	70,9845
	533,173		137,826		15	61,4629
	533,173		123,068		16	53,2186



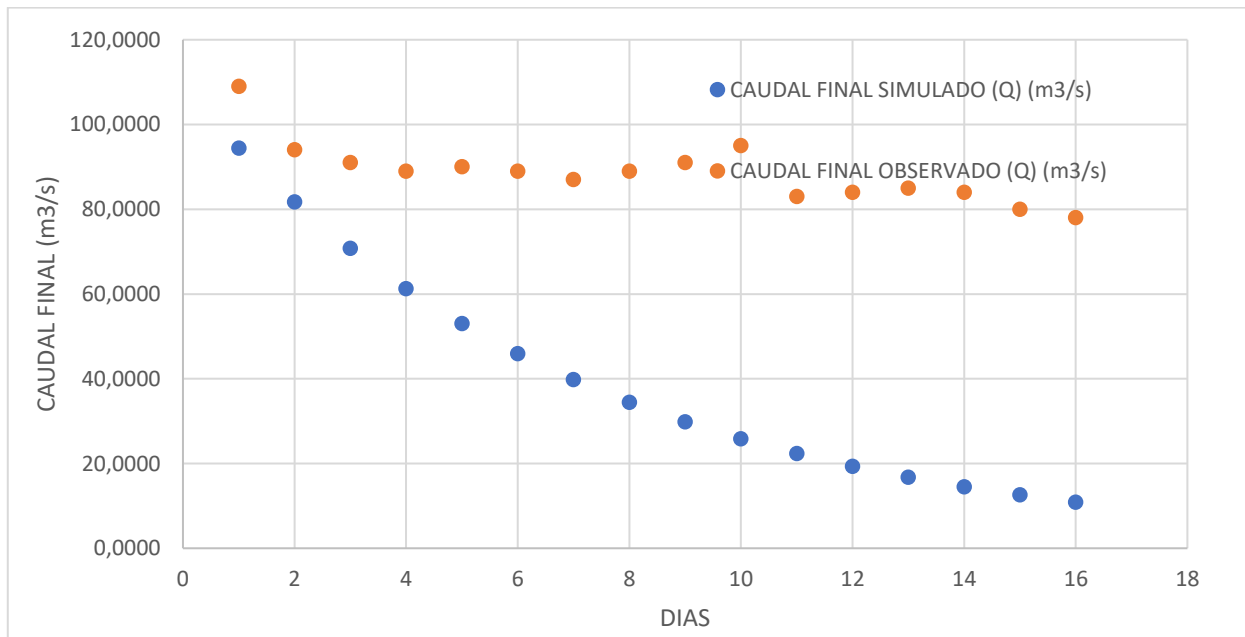
H0719 ESTACION - QUIJOS DJ OYACACHI						
AÑO	CAUDAL INICIAL (Qo) (m3/s)	CONSTANTE DE RECESION (K)	CAUDAL FINAL OBSERVADO (Q) (m3/s)	LOG Qo	TIEMPO (T) (DIAS)	CAUDAL FINAL SIMULADO (Q) (m3/s)
2004	150,397	0,8659	120,179	2,1772	1	130,2233
	150,397		95,579		2	112,7557
	150,397		77,386		3	97,6311
	150,397		66,472		4	84,5353
	150,397		63,545		5	73,1960
	150,397		80,247		6	63,3778
	150,397		71,550		7	54,8766
	150,397		63,545		8	47,5156
	150,397		66,977		9	41,1421
	150,397		93,071		10	35,6235
	150,397		74,785		11	30,8451
	150,397		66,472		12	26,7076
	150,397		67,953		13	23,1252
	150,397		62,608		14	20,0233
	150,397		68,463		15	17,3374
	150,397		62,608		16	15,0118



H0719 ESTACION - QUIJOS DJ OYACACHI						
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)
2012	205,751	0,8659	205,751	2,3133	1	178,1524
	205,751		180,703		2	154,2557
	205,751		152,560		3	133,5645
	205,751		132,387		4	115,6487
	205,751		117,132		5	100,1360
	205,751		102,183		6	86,7042
	205,751		86,986		7	75,0740
	205,751		74,462		8	65,0039
	205,751		61,883		9	56,2845
	205,751		59,618		10	48,7348
	205,751		91,314		11	42,1977
	205,751		74,462		12	36,5374
	205,751		56,918		13	31,6365
	205,751				14	27,3929
	205,751		68,312		15	23,7185
	205,751		71,924		16	20,5370



H0719 ESTACION - QUIJOS DJ OYACACHI						
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)
2024	109,000	0,8659	109,000	2,0374	1	94,3792
	109,000		94,000		2	81,7195
	109,000		91,000		3	70,7580
	109,000		89,000		4	61,2668
	109,000		90,000		5	53,0487
	109,000		89,000		6	45,9330
	109,000		87,000		7	39,7717
	109,000		89,000		8	34,4369
	109,000		91,000		9	29,8177
	109,000		95,000		10	25,8180
	109,000		83,000		11	22,3549
	109,000		84,000		12	19,3563
	109,000		85,000		13	16,7599
	109,000		84,000		14	14,5118
	109,000		80,000		15	12,5653
	109,000		78,000		16	10,8798



NOMBRE Y APELLIDO	JONATHAN JAVIER GUANOLUISA AGUIRRE	
TITULO DE INVESTIGACION	OSCAR IVAN ALTAMIRANO TIXE	
NOMBRE DEL ARCHIVO	ANALISIS DE RESECCION	
	VALIDACION DEL METODO	

VALIDACION DE METODO POR MEDIO DE NASH-SUTCLIFFE (NSE)

AÑO	CAUDAL FINAL OBSERVADO (Q) (m3/s)	CAUDAL FINAL SIMULADO (Q) (m3/s)	NUMERADOR	DENOMINADOR
2003	333,465	469,2891301	18448,194	21237,306
	271,806	413,0597154	19952,612	7067,975
	241,153	363,5676122	14985,337	2853,509
	182,573	320,0055675	18887,711	26,644
	175,463	281,663052	11278,451	150,596
	197,887	247,9146706	2502,768	103,068
	191,013	218,209962	739,675	10,747
	150,397	192,0644205	1736,174	1394,108
	184,147	169,0515927	227,871	12,872
	173,593	148,7961222	614,885	199,989
	154,586	130,9676273	557,828	1098,840
	154,586	115,2753119	1545,330	1098,840
	178,457	101,4632227	5928,042	86,077
	153,736	89,30607426	4151,215	1155,915
	137,826	78,60557437	3507,059	2490,883
123,068	69,18718993	2903,142	4181,789	

PROMEDIO	187,735
SUMATORIA (N)	107966,294
SUMATORIA (D)	43169,156
NSE	-1,501005415

AÑO	CAUDAL FINAL OBSERVADO (Q) (m3/s)	CAUDAL FINAL SIMULADO (Q) (m3/s)	NUMERADOR	DENOMINADOR
2004	120,179	132,3766907	148,784	4563,779
	95,579	116,5155438	438,339	8492,682
	77,386	102,5548521	633,471	12176,847
	66,472	90,26690651	566,198	14704,655
	63,545	79,45128135	253,010	15423,094
	80,247	69,93156576	106,408	11553,616
	71,550	61,55248608	99,950	13498,896
	63,545	54,17737329	87,752	15423,094
	66,977	47,6859338	372,145	14582,434
	93,071	41,9722874	2611,078	8961,226
	74,785	36,94324027	1431,999	12757,646
	66,472	32,51676489	1152,958	14704,655
	67,953	28,62066217	1547,033	14347,668
	62,608	25,19138375	1400,003	15656,704
	68,463	22,17299557	2142,765	14225,750
62,608	19,51626546	1856,898	15656,704	

PROMEDIO	75,090
SUMATORIA (N)	14848,790
SUMATORIA (D)	206729,449
NSE	0,928172834

AÑO	CAUDAL FINAL OBSERVADO (Q) (m3/s)	CAUDAL FINAL SIMULADO (Q) (m3/s)	NUMERADOR	DENOMINADOR
2012	205,751	181,0982698	607,757	324,585
	180,703	159,3993873	453,844	49,446
	152,560	140,3004274	150,297	1237,263
	132,387	123,489872	79,159	3063,373
	117,132	108,6935284	71,208	4984,748
	102,183	95,67005716	42,418	7319,102
	86,986	84,2070358	7,723	10150,311
	74,462	74,11749391	0,119	12830,716
	61,883	65,23686353	11,248	15838,663
	59,618	57,42029498	4,830	16413,902
	91,314	50,54029421	1662,495	9296,961
	74,462	44,48464326	898,642	12830,716
	56,918	39,15456998	315,539	17113,022
		34,46313689	1187,708	35244,336
		68,312	30,33382323	1442,342
	71,924	26,69927681	2045,276	13412,130

PROMEDIO	102,440
SUMATORIA (N)	8980,605
SUMATORIA (D)	174371,067
NSE	0,948497163

AÑO	CAUDAL FINAL OBSERVADO (Q) (m3/s)	CAUDAL FINAL SIMULADO (Q) (m3/s)	NUMERADOR	DENOMINADOR
2024	109,000	95,93980787	170,569	6199,161
	94,000	84,44446545	91,308	8786,203
	91,000	74,32647514	278,006	9357,612
	89,000	65,420805	555,978	9748,551
	90,000	57,5821969	1050,914	9552,081
	89,000	50,68279731	1468,208	9748,551
	87,000	44,61007189	1796,906	10147,490
	89,000	39,26496997	2473,573	9748,551
	91,000	34,56030894	3185,439	9357,612
	95,000	30,41935229	4170,660	8599,734
	83,000	26,77455793	3161,300	10969,368
	84,000	23,56647655	3652,211	10760,898
	85,000	20,74278194	4128,990	10554,429
	84,000	18,25741756	4322,087	10760,898
	80,000	16,06984526	4087,065	11606,776
	78,000	14,1443841	4077,540	12041,715

PROMEDIO	88,625
SUMATORIA (N)	38670,754
SUMATORIA (D)	157939,631
NSE	0,755154839

VALIDACION DE METODO POR MEDIO DE NASH-SUTCLIFFE (NSE)

RESULTADOS DE COEFICIENTE DE NASH PARA CONSTANTE DE RECESION DE 4 BLOQUES			
ESTACION	AÑO	NASH	AJUSTE
H0719 QUIJOS DJ OYACACHI	2003	-1,501005415	Insuficiente
	2004	0,928172834	Excelente
	2012	0,948497163	Excelente
	2024	0,755154839	Muy bueno

AÑO	CAUDAL FINAL OBSERVADO (Q) (m3/s)	CAUDAL FINAL SIMULADO (Q) (m3/s)	NUMERADOR	DENOMINADOR
2003	333,465	461,6553065	16432,755	21237,306
	271,806	399,7307103	16364,732	7067,975
	241,153	346,1124317	11016,482	2853,509
	182,573	299,6862946	13715,524	26,644
	175,463	259,4875738	7060,129	150,596
	197,887	224,6809486	717,916	103,068
	191,013	194,5431449	12,462	10,747
	150,397	168,4479056	325,835	1394,108
	184,147	145,8529773	1466,432	12,872
	173,593	126,2888424	2237,683	199,989
	154,586	109,3489622	2046,390	1098,840
	154,586	94,6813298	3588,570	1098,840
	178,457	81,98115495	9307,589	86,077
	153,736	70,98453075	6847,806	1155,915
	137,826	61,46294973	5831,315	2490,883
123,068	53,21855551	4878,945	4181,789	

PROMEDIO	187,735
SUMATORIA (N)	101850,563
SUMATORIA (D)	43169,156
NSE	-1,359336436

AÑO	CAUDAL FINAL OBSERVADO (Q) (m3/s)	CAUDAL FINAL SIMULADO (Q) (m3/s)	NUMERADOR	DENOMINADOR
2004	120,179	130,223348	100,889	4563,779
	95,579	112,755709	295,039	8492,682
	77,386	97,63110922	409,864	12176,847
	66,472	84,53526275	326,281	14704,655
	63,545	73,19604075	93,143	15423,094
	80,247	63,37781663	284,569	11553,616
	71,550	54,87656981	278,003	13498,896
	63,545	47,51564625	256,940	15423,094
	66,977	41,14208752	667,443	14582,434
	93,071	35,62345247	3300,221	8961,226
	74,785	30,84506505	1930,718	12757,646
	66,472	26,7076314	1581,205	14704,655
	67,953	23,12517656	2009,534	14347,668
	62,608	20,02325787	1813,460	15656,704
	68,463	17,33741816	2613,825	14225,750
	62,608	15,01184623	2265,394	15656,704

PROMEDIO	75,090
SUMATORIA (N)	18226,529
SUMATORIA (D)	206729,449
NSE	0,911833902

AÑO	CAUDAL FINAL OBSERVADO (Q) (m3/s)	CAUDAL FINAL SIMULADO (Q) (m3/s)	NUMERADOR	DENOMINADOR
2012	205,751	178,1523839	761,684	324,585
	180,703	154,2557357	699,458	49,446
	152,560	133,5644883	360,829	1237,263
	132,387	115,6486821	280,171	3063,373
	117,132	100,1360305	288,863	4984,748
	102,183	86,70418392	239,594	7319,102
	86,986	75,0740315	141,895	10150,311
	74,462	65,00390121	89,456	12830,716
	61,883	56,28453792	31,343	15838,663
	59,618	48,73475514	118,445	16413,902
	91,314	42,19767003	2412,414	9296,961
	74,462	36,53744336	1438,272	12830,716
	56,918	31,63645686	639,156	17113,022
		27,39286908	750,369	35244,336
	68,312	23,71849919	1988,580	14261,793
	71,924	20,53699459	2640,624	13412,130

PROMEDIO	102,440
SUMATORIA (N)	12881,154
SUMATORIA (D)	174371,067
NSE	0,926127919

AÑO	CAUDAL FINAL OBSERVADO (Q) (m3/s)	CAUDAL FINAL SIMULADO (Q) (m3/s)	NUMERADOR	DENOMINADOR
2024	109,000	94,379176	213,768	6199,161
	94,000	81,71953085	150,810	8786,203
	91,000	70,75799986	409,739	9357,612
	89,000	61,26680479	769,130	9748,551
	90,000	53,04872066	1365,397	9552,081
	89,000	45,93297747	1854,768	9748,551
	87,000	39,77171116	2230,511	10147,490
	89,000	34,43689329	2977,133	9748,551
	91,000	29,81766618	3743,278	9357,612
	95,000	25,81804371	4786,143	8599,734
	83,000	22,35491459	3677,826	10969,368
	84,000	19,35631577	4178,806	10760,898
	85,000	16,759937	4656,706	10554,429
	84,000	14,51182609	4828,606	10760,898
	80,000	12,56526778	4547,443	11606,776
78,000	10,87981303	4505,119	12041,715	

PROMEDIO	88,625
SUMATORIA (N)	44895,185
SUMATORIA (D)	157939,631
NSE	0,715744651

RESULTADOS DE COEFICIENTE DE NASH PARA CONSTANTE DE RECESION DE 3 BLOQUES			
ESTACION	AÑO	NASH	AJUSTE
H0719 QUIJOS DJ OYACACHI	2003	-1,359336436	Insuficiente
	2004	0,911833902	Excelente
	2012	0,926127919	Excelente
	2024	0,715744651	Muy bueno