



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD ACADÉMICA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

**DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO DEL RÍO PAUTE, EN BASE A
MÉTODOS HIDROLÓGICOS EN EL CANTÓN CUENCA, PROVINCIA DE AZUAY.**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingenieras en Medio
Ambiente

Autoras:

Albarrasín Caldas Katherine Paola

Barrera Paz Alexandra Isabel

Tutora:

Ilbay Yupa Mercy Lucila Ph.D.

LATACUNGA – ECUADOR

Marzo 2021

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Albarrasín Caldas Katherine Paola, con cédula de ciudadanía No. 010576966-5; y, Barrera Paz Alexandra Isabel, con cédula de ciudadanía No. 180493262-0; declaramos ser autoras del presente proyecto de investigación: “Determinación del Caudal Ecológico del río Paute, en base a Métodos Hidrológicos en el cantón Cuenca, provincia De Azuay”, siendo la Ph.D. Mercy Lucila Ilbay Yupa, Tutora del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 05 de marzo del 2021



Katherine Paola Albarrasín Caldas

Estudiante

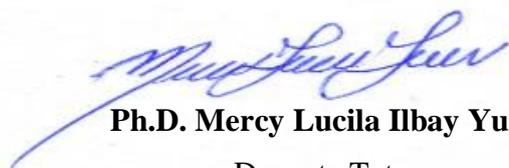
C.I.: 010576966-5



Alexandra Isabel Barrera Paz

Estudiante

C.I.: 180493262-0



Ph.D. Mercy Lucila Ilbay Yupa

Docente Tutor

C.I.: 060414790-0

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 **KATHERINE PAOLA ALBARRASÍN CALDAS**, identificada con cédula de ciudadanía No. **010576966-5** de estado civil **SOLTERA**; a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, el Ph.D Nelson Rodrigo Chiguano Umajinga, en calidad de Rector encargado 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. - LOS CEDENTES, son personas naturales estudiantes de la carrera de Ingeniería en Medio Ambiente, titulares de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado de titulación de Proyecto de Investigación la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad según las características que a continuación se detallan:

Historial Académico. - Inicio de la carrera: Abril 2016 - Agosto 2016 – Finalización: Octubre 2020 - Marzo 2021

Aprobación en Consejo Directivo. - 26 de enero del 2021

Tutora: Ph.D. Mercy Lucila Ilbay Yupa.

Tema: **“DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO DEL RÍO PAUTE, EN BASE A MÉTODOS HIDROLÓGICOS EN EL CANTÓN CUENCA, PROVINCIA DE AZUAY”**.

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, **LA CEDENTE** autorizan 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 **LA CEDENTE**, transfieren definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

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

b) La publicación del trabajo de grado.

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

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

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

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LOS CEDENTES** declaran 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 **LA CEDENTE** podrán utilizarla.

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

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en las cláusulas cuartas, 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 05 días del mes de marzo del 2021.



Katherine Paola Albarrasín Caldas

LA CEDENTE

Ph.D. Nelson Rodrigo Chiguano Umajinga

LA CESIONARIA

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 **ALEXANDRA ISABEL BARRERA PAZ**, identificada con cédula de ciudadanía No. **180493262-0** de estado civil **SOLTERA**, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, el Ph.D Nelson Rodrigo Chiguano Umajinga, en calidad de Rector encargado 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. - LOS CEDENTES, son personas naturales estudiantes de la carrera de Ingeniería en Medio Ambiente, titulares de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado de titulación de Proyecto de Investigación la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad según las características que a continuación se detallan:

Historial Académico. - Inicio de la carrera: Abril 2016 - Agosto 2016 – Finalización: Octubre 2020 - Marzo 2021

Aprobación en Consejo Directivo. - 26 de enero del 2021

Tutora: Ph.D. Mercy Lucila Ilbay Yupa.

Tema: **“DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO DEL RÍO PAUTE, EN BASE A MÉTODOS HIDROLÓGICOS EN EL CANTÓN CUENCA, PROVINCIA DE AZUAY”**.

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, **LA CEDENTE** autorizan 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 **LA CEDENTE**, transfieren definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

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

b) La publicación del trabajo de grado.

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

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

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

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declaran 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 **LA CEDENTE** podrán utilizarla.

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

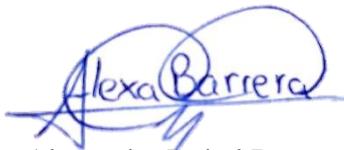
CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en las cláusulas cuartas, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la

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 05 días del mes de marzo del 2021.



Alexandra Isabel Barrera Paz

LA CEDENTE

Ph.D. Nelson Rodrigo Chiguano Umajinga

LA CESIONARIA

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO DEL RÍO PAUTE, EN BASE A MÉTODOS HIDROLÓGICOS EN EL CANTÓN CUENCA, PROVINCIA DE AZUAY”, de Katherine Paola Albarrasín Caldas y Alexandra Isabel Barrera Paz, de la carrera de INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también han incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.

Latacunga, 05 de marzo del 2021



TUTOR DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Ph.D. Mercy Lucila Ilbay Yupa

C.I.: 060414790-0

AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Miembros del Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo con las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Carrera en Ingeniería de Medio Ambiente; por cuanto, los postulantes: KATHERINE PAOLA ALBARRASÍN CALDAS y ALEXANDRA ISABEL BARRERA PAZ, con el proyecto de investigación, cuyo título es: “DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO DEL RÍO PAUTE, EN BASE A MÉTODOS HIDROLÓGICOS EN EL CANTÓN CUENCA, PROVINCIA DE AZUAY”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúnen los méritos suficientes para ser sometidos al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

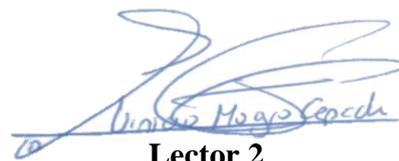
Latacunga, 05 de marzo del 2021



Lector 1 (Presidente)

Ing. M.Sc. Kalina Fonseca Largo.

C.I.: 172353445-7



Lector 2

Ing. M.Sc. Vinicio Mogro Cepeda

C.I.: 050105751-4



Lector 3

Ing. Ph.D. Evelyn Cueva Jaramillo

C.I.: 172008107-2

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por llenarme de sabiduría pues hoy termina una de las etapas de mi vida, mi profundo agradecimiento para las personas que me ayudaron alcanzar el éxito a lo largo de mi carrera académica, de manera especial reconozco a la Universidad Técnica de Cotopaxi, y a todos quienes integran esta noble institución por permitirme formar parte de ella.

A mi familia especialmente a mi padre Geovanny a mi madre Fabiola por ser mi pilar para mi formación académica les doy gracias infinitamente por su apoyo.

A mi novio Diego por ser el motor que me ánimo y estímulo para nunca desmayar.

A mis hermanos Jennifer, Christopher y Anthony por ser parte de todo esto, ayudarme y apoyarme les deseo que sigan adelante.

Dejo constancia de un especial agradecimiento a la Ph.D Mercy Ibay, Tutora de mi proyecto por brindarme sus conocimientos, prepararme académicamente, por dedicarme parte de su valioso tiempo aún fuera del horario de trabajo, por sus exigencias y sus consejos para poder enfrentarme a mi vida profesional.

Katherine Paola Albarrasín Caldas

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica de Cotopaxi por permitirme llevar a cabo esta gran meta y darme el agrado de coincidir con personas entrañables, y poder disfrutar durante cinco años de sus instalaciones.

A la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, a sus distinguidas autoridades, cuerpo docente, personal administrativo, que siempre estuvieron prestos a colaborarnos.

A mi padre Moisés y mi madre Sulay, que han sido quienes me han brindado su apoyo económico y moral durante todo este proceso de formación.

A mi tutora de tesis: PhD. Mercy Ilbay Yupa, que siempre nos supo brindar todos sus sabios consejos y lo más importante su valioso conocimiento con el cual nos ha guiado para que el trabajo de investigación sea realizado de la mejor manera.

A nuestro tribunal lector: MsC. Kalina Fonseca Largo, MsC. Vinicio Mogro Cepeda, MsC. Evelyn Cueva Jaramillo, por creer en nosotras y guiarnos en todo momento. A los ingeniero/as que moldearon nuestros caminos para llegar a ser excelentes profesionales.

Alexandra Isabel Barrera Paz

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a Dios y a mi familia, que continúen siendo mi fortaleza y tenacidad, para alcanzar mis metas y sortear obstáculos, que siempre sean mi ejemplo e inspiración en la vida

Katherine Paola Albarrasín Caldas

DEDICATORIA

Este logro lo dedico en primer lugar a Dios, que ha sido el ser supremo que me ha dado la sabiduría suficiente para saber afrontar cada uno de los obstáculos que se han presentado durante todo este tiempo, a mis padres, ya que, fueron, son y serán siempre el pilar fundamental y económico en mi formación académica, me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño, y todo eso lo han realizado de una manera desinteresada y llena de amor.

A mis sobrinos que por medio de su alegría siempre me motivaron a seguir adelante.

A todas aquellas personas que hicieron posible que todo este proceso se haga realidad.

Alexandra Isabel Barrera Paz

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TITULO: “DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO DEL RÍO PAUTE, EN BASE A MÉTODOS HIDROLÓGICOS EN EL CANTÓN CUENCA, PROVINCIA DE AZUAY”

AUTORAS:

Katherine Paola Albarrasín Caldas

Alexandra Isabel Barrera Paz

RESUMEN

La propuesta de caudal ecológico nace como una solución a la alteración de ecosistemas como consecuencia de la desviación o captación del caudal para las distintas actividades antrópicas como proyectos de riego, agua potable, generación eléctrica, entre las principales que se puede mencionar. La presente investigación tuvo por objeto establecer el caudal ambiental o ecológico en el río Paute, mediante la estación hidrológica Paute Aj Dudas (H0900), a través de los métodos: Rafael Heras, curva de permanencia, Tennant o Montana y Legislación Ecuatoriana; además de comparar al caudal sugerido con el 10% del caudal medio anual del río Paute, para verificar si este cumple con lo establecido con la ley del uso de agua de Ecuador. Los resultados proyectaron un caudal medio interanual igual a $71.57 \text{ m}^3/\text{s}$, el caudal ecológico de Tennant entre el rango 20-30%, demostró ser el más apropiado para mantener las condiciones ecosistémicas del cauce, el mismo supera al caudal mínimo observado dentro del período de estudio (1964-2008) y cumple con lo establecido en la ley de aguas respecto al caudal ecológico.

Palabras claves: río Paute, Caudal ecológico, oferta hídrica, Tennant

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES

THEME: "DETERMINATION OF THE ECOLOGICAL FLOW OF THE PAUTE RIVER, BASED ON HYDROLOGICAL METHODS IN CUENCA CANTON, PROVINCE OF AZUAY".

AUTHORS:

Katherine Paola Albarrasín Caldas

Alexandra Isabel Barrera Paz

ABSTRACT

The ecological flow proposal was born as a solution to the alteration of ecosystems as a consequence of the detour or capture of the flow for different anthropic activities such as irrigation projects, drinking water, electricity generation, among the main ones that can be mentioned. The purpose of this research was to establish the environmental or ecological flow in the Paute River, through the hydrological station Paute Aj Dudas (H0900), using the following methods: Rafael Heras, permanence curve, Tennant or Montana and Ecuadorian Legislation; in addition to comparing the suggested flow with 10% of the average annual flow of the Paute River, to verify if it complies with the provisions of the law of water use in Ecuador. The results projected a mean interannual flow equal to 71.57 m³/s, the ecological flow of Tennant between the range 20-30%, proved to be the most appropriate to maintain the ecosystemic conditions of the channel, it exceeds the minimum flow observed within the study period (1964-2008) and complies with the provisions of the water law regarding the ecological flow.

Keywords: Paute river, Ecological flow, Water supply, Tennant.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	iii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	vi
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	ix
AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	x
AGRADECIMIENTO	xi
AGRADECIMIENTO	xii
DEDICATORIA.....	xiii
DEDICATORIA.....	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
ÍNDICE DE CONTENIDO	xvii
ÍNDICE DE FIGURAS	xxi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xxii
ÍNDICE DE ANEXOS	xxiii
ACRÓNIMOS Y SIGLAS	xxv
1. INTRODUCCIÓN	1
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	3
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	4
4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	5

5.	OBJETIVOS.....	6
6.	FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	6
6.1.	Cuencas hidrográficas	6
6.1.1.	Hidrografía.....	7
6.1.2.	Hidrología.....	7
6.2.	Río	8
6.2.1.	Impactos del cambio climático en los ríos.....	8
6.3.	Caudal ecológico	8
6.3.1.	Determinación de caudal ecológico.....	9
6.3.2.	Métodos para la estimación de caudales ecológicos	10
6.3.2.1.	Métodos Hidrológicos	10
6.3.2.2.	Métodos Hidráulicos	11
6.4.	Cuenca del río Paute.....	11
6.4.1.	Caracterización Climática.....	11
6.4.2.	Componente Biofísico	11
6.4.2.1.	Cobertura vegetal	11
6.4.2.2.	Áreas protegidas	12
6.4.2.3.	Pendiente	13
6.4.3.	Generación Hidroeléctrica.....	14
6.5.	MARCO JURÍDICO DEL AGUA EN EL ECUADOR.....	14
6.5.1.	Artículos y leyes referentes a Caudal ecológico y agua	15

6.5.1.1.	Constitución de la República del Ecuador	15
6.5.1.2.	Código Orgánico Del Ambiente	17
7.	HIPÓTESIS	18
8.	METODOLOGÍA	18
8.1.	Tipo de investigación	18
8.1.1.	Método de investigación Bibliográfica.....	18
8.1.2.	Método cuantitativo	18
8.1.3.	Método deductivo	19
8.2.	Herramientas utilizadas	19
8.2.1.	Excel	19
8.2.2.	Hydraccess.....	19
8.2.3.	InfoStat	19
8.2.4.	ArGis o ArcMap	20
8.3.	Área de estudio.....	20
8.4.	Datos.....	21
8.5.	Completación de datos faltantes.....	22
8.5.1.	Método de vector regional.....	22
8.5.2.	Método de la media aritmética	24
8.7.	Método de la curva de permanencia de los caudales	24
8.8.	Método de Rafael Heras.....	24
8.9.	Método Tennant o Montana	25

8.11.	Análisis comparativo de datos.....	26
8.12.	Análisis de tendencias	27
9.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE DATOS.....	28
9.1.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	28
9.2.	REGÍMENES DE CAUDAL.....	28
9.3.	ANÁLISIS DE TENDENCIA ANUAL	29
9.4.	ANÁLISIS DE TENDENCIA MENSUAL	30
9.5.	CAUDAL ECOLÓGICO RÍO PAUTE	33
9.5.1.	Curva de permanencia de caudales.....	33
9.5.2.	Método de Rafael Heras	34
9.5.3.	Método de Tennant o Montana.....	35
9.5.4.	Legislación Ecuatoriana	36
9.6.	ANÁLISIS COMPARATIVO	38
10.	CONCLUSIONES.....	43
11.	RECOMENDACIONES	44
12.	BIBLIOGRAFÍA.....	45
13.	ANEXOS.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Delimitación de la cuenca del río Paute, su altitud y distribución de las estaciones hidrológicas.....	21
Figura 2. Distribución espacial de las estaciones hidrológicas utilizadas para completar la estación H0900 por MVR.....	23
Figura 3. Régimen de caudal del río Paute, distinción de la época de avenida y estiaje.	29
Figura 4. Tendencia de caudal anual del río Paute en el período 1964 - 2008.....	30
Figura 5 Tendencia de caudal mensual del río Paute en el período 1964 – 2008: A) enero, B) febrero, C) marzo, D) abril, E) mayo, F) junio, G) julio, H) agosto, I) septiembre, J) octubre, K) noviembre y L) diciembre.	32
Figura 6. Curva de permanencia de caudales del río Paute.	33
Figura 7. Caudal ecológico por el método de la curva de permanencia.	34
Figura 8. Caudal ecológico por el método de Rafael Heras.	35
Figura 9. Caudal ecológico por el método de Tennant o Montana.....	36
Figura 10. Caudal ecológico por el método de la legislación ecuatoriana.	37
Figura 11. Caudal ecológico por los métodos: A) curva de permanencia, B) Rafael Heras, C) Tennant o Montana y D) legislación ecuatoriana.	41
Figura 12 Comparación del caudal ambiental por el método de Tennant y la legislación ecuatoriana.....	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Beneficiarios directos	4
Tabla 2. Área de bosques protectores en la cuenca del río Paute.....	12
Tabla 3. Rango de pendientes.....	13
Tabla 4. Generación de energía eléctrica.....	14
Tabla 5. Características de las estaciones hidrológicas: nombre, código, ubicación geográfica y porcentaje de datos faltantes.....	22
Tabla 6. Características de las estaciones hidrológicas utilizadas para completar la estación H0900 por MVR: nombre, código, ubicación geográfica.	22
Tabla 7. Caudal promedio mensual del río Paute.....	34
Tabla 8. Caudal promedio mensual del río Paute.....	37

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Delimitación de la subcuenca del río Paute y distribución de las estaciones hidrológicas	51
Anexo 2. Distribución espacial de las estaciones hidrológicas utilizadas para completar la estación H0900 por MVR.....	51
Anexo 3. Resultados de la recopilación de datos hidrológicos.....	52
Anexo 4. Resultados de la completación de datos hidrológicos por el método de la media aritmética (verde) y MVR (rojo).....	53
Anexo 5. Tabla de resumen del caudal mínimo, máximo y medio interanual de la estación H0900	54
Anexo 6. Resumen del análisis estadístico de datos.....	54
Anexo 7. Distribución de Fisher para la concentración de valores (curtosis).	54
Anexo 8. Distribución de Fisher para la asimetría de valores (asimetría).....	54
Anexo 9. Régimen de caudal del río Paute, distinción de la época de avenida y estiaje.....	55
Anexo 10. Tendencia de caudal anual del río Paute en el período 1964 - 2008.....	55
Anexo 11. Tendencia de caudal del mes de enero del río Paute en el período 1964 - 2008.....	55
Anexo 12. Tendencia de caudal del mes de febrero del río Paute en el período 1964 - 2008.....	56
Anexo 13. Tendencia de caudal del mes de marzo del río Paute en el período 1964 - 2008	56
Anexo 14. Tendencia de caudal del mes de abril del río Paute en el período 1964 - 2008	56
Anexo 15. Tendencia de caudal del mes de junio del río Paute en el período 1964 - 2008	57
Anexo 16. Tendencia de caudal del mes de julio del río Paute en el período 1964 - 2008	57
Anexo 17. Tendencia de caudal del mes de agosto del río Paute en el período 1964 - 2008.....	57

Anexo 18. Tendencia de caudal del mes de septiembre del río Paute en el período 1964 - 2008	58
Anexo 19. Tendencia de caudal del mes de octubre del río Paute en el período 1964 - 2008	58
Anexo 20. Tendencia de caudal del mes de noviembre del río Paute en el período 1964 - 2008	58
Anexo 21. Tendencia de caudal del mes de diciembre del río Paute en el período 1964 - 2008.	59
Anexo 22. Cuadro resumen para obtener el caudal excedido al 90%	59
Anexo 23. Interpolación lineal del caudal al 90%.	59
Anexo 24. Cuadro resumen de caudal ecológico por medio de la curva de permanencia.....	60
Anexo 25. Caudal ecológico por el método de la curva de permanencia	60
Anexo 26. Media de los tres meses con caudal interanual crítico	60
Anexo 27. Cuadro resumen del caudal ecológico por medio del método de Rafael Heras	61
Anexo 28. Caudal ecológico por el método de Rafael Heras	61
Anexo 29. Cuadro resumen caudal ecológico método de Tennant o Montana	62
Anexo 30. Gráfico del caudal ecológico por el método de Rafael Heras	62
Anexo 31. Cuadro resumen caudal ecológico método de Tennant o Montana	62
Anexo 32. Gráfico del caudal ecológico de la Legislación Ecuatoriana.....	63
Anexo 33. Aval del traductor	64
Anexo 34. Hoja de vida de la tutora de investigación: PhD. Cand. Mercy L. Ilbay Y.....	65
Anexo 35. Hoja de vida de la autora: Paola Albarrasín	73
Anexo 36. Hoja de vida de la autora: Alexandra Barrera	77

ACRÓNIMOS Y SIGLAS

CELEC: Corporación Eléctrica del Ecuador

LORHUyA: Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua

Q_e : Caudal Ecológico

INEC: Instituto Nacional de Estadística y Censo

SENAGUA: Secretaria Nacional del Agua

COA: Código Orgánico del Ambiente

UTM: Sistema Universal transversal de Mecator

SIG: Sistema de Información Geográfica

INAMHI: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

MVR: Método de Vector Regional

Q_A : Caudal Ambiental

Q_m : Caudal medio

Q_{min} : Caudal mínimo

Q_{max} : Caudal máximo

1. INTRODUCCIÓN

La subcuenca del río Paute se encuentra ubicada en las provincias de Cañar, Morona Santiago y Azuay. Es un afluente del río Namangoza que a su vez es una corriente secundaria del río Santiago, que desemboca en el río Marañón vertiente del río Amazonas, esta subcuenca es de gran relevancia ya que sirve como fuente de agua para la producción agrícola de las tierras por donde atraviesa. El sistema hídrico del río Paute, es de vital importancia a nivel nacional; ya que, dentro de ella se llevan a cabo varios proyectos hidroeléctricos, conglomerados en un gran complejo denominado Paute Integral, que es muy importante para la nación, en esta central se aporta con el 40 % de la energía eléctrica del Ecuador (Corporación Eléctrica del Ecuador, 2008).

La Constitución del Ecuador de 2008 introduce un nuevo enfoque en el cual trata sobre los recursos hídricos, el mismo que establece que el derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable y patrimonio nacional estratégico de uso público; el Estado será el único responsable de la planificación y la posterior gestión de los recursos hídricos. Según la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del agua, se cataloga como caudal ambiental o ecológico a la cantidad de agua expresada en términos de duración, magnitud, época y frecuencia del caudal específico y la calidad de agua expresada en términos de rango, frecuencia y duración de la concentración de múltiples parámetros que se requieren para mantener un nivel adecuado para el desarrollo de los ecosistemas (Ilbay M, 2020).

El caudal ecológico según el método de Rafael Heras, el cual fue establecido en 1976, se fundamenta en la observación del caudal durante períodos de sequía, en el que se estima

el 20 % del caudal medio mensual durante un tiempo de tres meses, los mismos que deberán ser consecutivos (Brown, Gallardo, Williams, Torres, 2016). La determinación del caudal ecológico según el método de la curva de permanencia consiste los mismos definieron que el caudal será igualado o excedido al 90% del tiempo de observación (Q90%), luego de lo cual se estimó el caudal ecológico (Qe) como el 5% del caudal igualado (Silveira & Silveira, 2001). Según la metodología de Tennant la estimación del caudal ecológico se basa en el cálculo de diferentes niveles de flujo como producto de un porcentaje definido por los caudales medios (Brown, Gallardo, Williams, Torres, 2016). El caudal ecológico según la Legislación del Ecuador propone al 10% del flujo promedio total en un periodo de retorno igual o superior a 10 años como caudal ambiental (Ministerio del Ambiente, 2014).

Se determinará el caudal ecológico del río Paute aplicando cuatro métodos hidrológicos (Rafael Heras, Curva de permanencia, Tennant o Montana y legislación ecuatoriana), para el período de estudio comprendido entre el año 1964 y 2008 (45 años de retorno), considerando a la estación hidrológica Paute AJ Dudas (H900), para obtener los datos hidrológicos (caudal) necesarios para la estimación del caudal ambiental, se evaluará estadísticamente los resultados de los métodos propuestos, para considerar el que mejor se adapte con las necesidades de producción de la zona sin que se afecte las condiciones de conservación ambiental.

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El gran potencial que posee las corrientes fluviales ha llamado la atención del hombre desde tiempos remotos, debido a la capacidad de estos de satisfacer las demandas de la humanidad, es por ello que se debe reforzar la obligación de preservar el caudal natural de un río, para evitar alteraciones en los ecosistemas colindantes y sobre todo que las generaciones futuras puedan disponer de los servicios que ofrece este recurso hídrico. Un correcto ordenamiento de un sistema hídrico se basa en un uso racional del sistema fundamentada esencialmente en un régimen de caudal ecológico, el cual intenta garantizar el uso del agua, pero asegurando que los escenarios ecosistémicos no se vean afectados.

A nivel nacional e internacional, se evidencia la necesidad urgente de administrar los recursos hídricos, cuyos regímenes naturales de caudal se encuentran comprometidos por la presencia de proyectos que involucran el uso del agua; esta gestión debe cubrir las necesidades antrópicas requeridas sin que se perturben los ecosistemas del cauce. Una regularización eficaz del recurso hídrico implica la racionalización ecosistémica de los caudales del río, la estimación del caudal ecológico constituye un instrumento de evaluación fundamental para el manejo del agua, que conjuga los usos que se le da a esta, preservando la funcionalidad del ecosistema fluvial. Se torna entonces obligatorio la evaluación del caudal mínimo que el río Paute necesita para preservar sus características ecosistémicas, debido al proyecto hidroeléctrico que se desarrolla a lo largo de la cuenca.

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Los beneficiarios son determinados en base al censo de población y vivienda realizado en el año 2010 por el Instituto Nacional de Estadística y Censo, además se consideran grupos e instituciones vinculados al manejo del recurso hídrico.

Beneficiarios directos:

- Habitantes del cantón Paute
- Ministerio del Ambiente
- Gobiernos Autónomos Descentralizados
- Ministerio de Agricultura y Ganadería

Tabla 1 Beneficiarios directos

POBLADORES DE LA CUENCA DEL RÍO PAUTE		
HOMBRES	MUJERES	TOTAL
11.881	13.613	25.494

Fuente: (INEC, 2010)

Elaborado por: Albarrasín Paola y Barrera Alexandra, 2020

Beneficiarios indirectos:

- Academia- Universidad Técnica de Cotopaxi

4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Una de las maneras de satisfacer la demanda de energía eléctrica en Ecuador es la construcción de centrales hidroeléctricas. Sin embargo, estas pueden modificar o alterar los hábitats biológicos existentes a lo largo del cauce, la ausencia de una gestión ambiental de los ríos, puede llevar a la pérdida de los ecosistemas. El presente trabajo analiza la problemática derivada de la ordenación de caudales, en el río Paute especialmente en períodos de estiaje se puede evidenciar un descenso considerable en el caudal, el cual a pesar de las circunstancias es redirigido para la generación de electricidad, si a esto se le suma la creciente necesidad de energía en el país, puede inferirse que existe riesgo para los valores ecológicos del ecosistema fluvial, debido a que la necesidad de agua para preservarlos no son suficientes e incluso puede desencadenar la desaparición de especies sensibles, además de afectar actividades antrópicas de beneficios para las poblaciones humanas. En la actualidad se demanda una gestión ambiental de los caudales naturales de un río, especialmente cuando este tenga la presencia de un proyecto que conlleve la derivación de agua de los cauces hídricos, tal como ocurre en el río Paute, cuyo proyecto hidroeléctrico se encuentra afectando el funcionamiento de los ecosistemas colindantes. Se plantea entonces la determinación del caudal ecológico, el cual consideran los requerimientos ambientales en los tramos fluviales obligatorios para restaurar y conservar la integridad ecológica del río.

5. OBJETIVOS

General

- Establecer el caudal ecológico del río Paute para mantener los valores ecológicos del cauce, a través de los métodos hidrológicos.

Específicos

- Determinar el periodo de avenidas y estiaje para el río Paute.
- Análisis del caudal ecológico por los métodos de curva de permanencia, Rafael Heras, Tennant o Montana y legislación ecuatoriana.
- Contrastar el caudal ecológico del método seleccionado con el caudal ambiental propuesto por la ley de aguas del Ecuador.

6. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

6.1. Cuencas hidrográficas

Hace mención al espacio o superficie de terreno que se encuentra delimitada por las partes más altas de las montañas, laderas o colinas, donde se desarrolla un sistema superficial de drenaje natural, que procede principalmente de precipitaciones, que son vertidas a un determinado curso de agua, que se dirigirá hacia un sitio de descarga importante (río, lago, océano) (Martínez, 2006). Una cuenca hidrográfica según el criterio de concentración de la red de drenaje puede tomar la denominación de subcuenca o microcuenca, sin embargo, existe otros aspectos por lo que se puede clasificar los sistemas hidrográficos (Henríquez Opazo, 2013).

Dentro de la cuenca hidrográfica se localizan los recursos naturales, los mismos con los que la población desempeña sus actividades. No existe ningún punto de la tierra que no pertenezca a una cuenca hidrográfica (Faustino & García, 2001), brinda además varios servicios hídricos de relevancia, tales como el suministro de agua para la población, para las actividades de producción como ganadería o agricultura y además es la base del sustento para los servicios ecológicos como los de regulación o hábitats (Núñez, 2011).

El funcionamiento de una cuenca se asemeja al de un colector que recibe las precipitaciones y convierte parte de estas en escurrimiento hablando en términos generales; sin embargo, tomando al sistema hídrico como un componente físico se utiliza para la administración y organización de los recursos por eso se las considera como unidades físicas, biológicas, socioeconómicas y políticas para la planificación y ordenamiento territorial (Faustino & García, 2001).

6.1.1. Hidrografía

Es el estudio de todas las masas o cuerpos de agua que se encuentran en la tierra y con un sentido más estricto a la medida, recopilación y representación de los datos relativos al fondo del océano, las costas, las mareas, los ríos y las corrientes de manera que se puedan modelar sobre un mapa o sobre una carta hidrográfica (Sandoval & Aguilera, 2014).

6.1.2. Hidrología

Es aquella ciencia natural que se encarga del estudio del agua, su origen, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y la relación que existe con el medio ambiente, incluidos los seres vivos (Villón, 2004).

6.2. Río

El concepto de río como tal es difícil de definir, para otorgar un significado es necesario considerar varios factores que influyen en su entorno, por ejemplo, no se puede dar la misma connotación a un río en una zona húmeda que en un sitio árido o semiárido. (León, 1999) considera al río como un cuerpo de agua cuya longitud alcance o supere los 20 kilómetros o que su cuenca sea igual o mayor a 100 km², sin embargo, podría considerarse un concepto de carácter práctico.

6.2.1. Impactos del cambio climático en los ríos

Los cambios climáticos han desencadenado serias consecuencias sobre los ríos y otros cuerpos hídricos que han sufrido severos impactos, no obstante, el principal efecto al que se debe otorgar mayor importancia es el considerable incremento de la variabilidad temporal y la magnitud en los flujos hídricos por las cuencas en la forma de eventos extremos. Según futuros escenarios habrá mayores sequías interrumpidas por intervalos de lluvias torrenciales (Gonzales & Aparicio, 2009).

6.3. Caudal ecológico

Caudal ecológico hace referencia a la cantidad mínima de flujo necesario para el mantenimiento de los hábitats naturales importantes para la conservación de la flora y fauna, también ayuda a la preservación del paisaje y el saneamiento natural del agua; es decir que, a más de aprovechar el agua para el consumo humano u otras actividades desarrolladas por las personas, es necesario respetar el caudal establecido que permita conservar la biodiversidad y las funciones ambientales propias del lugar (Santacruz de León & Aguilar, 2009).

En el Ecuador el caudal ambiental está definido como el 10% del caudal promedio anual en un rango de datos hidrológicos igual o superior a 10 años según la ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua en el Ecuador; sin embargo, el Ministerio de ambiente junto con la Secretaria Nacional del agua poseen la facultad de dictar la metodología y parámetros para establecer el caudal ecológico (Ministerio del Ambiente, 2014).

Toda resolución de la Autoridad Única del Agua que otorgue permiso para el uso o aprovechamiento productivo del agua para cualquier actividad lucrativa o económica deberá establecer, considerar y respetar los parámetros de caudal ecológico que fue determinado para el río o cuerpo hídrico, conforme con los criterios de la planificación hídrica nacional y las leyes ecuatorianas respecto al caudal ambiental (SENAGUA, 2014).

6.3.1. Determinación de caudal ecológico

Según (Santacruz de León & Aguilar, 2009) a lo largo de la historia se han desarrollado varios métodos y metodologías que permiten determinar los requerimientos del caudal de los ecosistemas. Los más simples son los métodos hidrológicos o estadísticos, que se encargan de determinar el caudal mínimo ecológico que se realiza a través del estudio de los datos de caudales. Un ejemplo de método estadístico simple es definir el caudal mínimo ecológico como un 10% del caudal medio histórico, que es precisamente lo previsto, al menos hasta la fecha. El caudal ecológico se considera pues como una restricción general que se impone a todos los sistemas de explotación sin perjuicio del principio de supremacía del uso para el abastecimiento de poblaciones.

El caudal ecológico es generalmente fijado en los "Planes de Manejo de la cuenca, subcuenca o microcuenca", con base en estudios específicos o análisis concretos para

cada tramo del río, riachuelo o cauce aguas abajo del nacimiento. La caracterización de la demanda ambiental es además consensuada con la intervención de los distintos sectores implicados que se encuentren dentro de la zona de estudio, desde la planificación hasta el uso del agua (Moreno, 2008).

6.3.2. Métodos para la estimación de caudales ecológicos

Para la estimación de caudales ecológicos existe una amplia variedad tanto de enfoques, como también de métodos, por lo cual, no se puede precisar a ciencia cierta, que la aplicación de un método determinado es la verdad absoluta en cuanto a la cantidad de agua que requiere un ecosistema fluvial. Dado el amplio abanico de enfoques y métodos, mediante los cuales se puede llegar a dar un valor aproximado de caudal ecológico con la aplicación de algún método empírico, para ello se usan expresiones matemáticas o porcentajes, que se aproximen a las necesidades propias de un ecosistema, por ejemplo, mediante métodos holísticos, entre otros. La variación temporal también distingue a los diferentes métodos: algunos se limitan a dar un valor de un caudal como mínimo para un tramo o sector de un río, otros permiten estimar un "Régimen Ambiental de Caudales", en el cual, se dan valores medios para los diferentes meses del año e incluso a nivel diario (UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO, 2011).

6.3.2.1. Métodos Hidrológicos

Los métodos hidrológicos son herramientas que permiten comprender, explorar y analizar los procesos para determinar el caudal ecológico y cómo evaluar opciones de gestión sostenibles para el sistema hídrico. Los resultados que se derivan de los modelos hidrológicos constituyen una información muy importante para la toma de decisiones estratégicas o en tiempo real para el ordenamiento territorial. La aplicación y el desarrollo

de metodologías hidrológicas son actividades clave de los recursos hídricos y proporciona soluciones sostenibles para la gestión integrada de los recursos (Moreno, 2008).

6.3.2.2. Métodos Hidráulicos

Los conocidos como métodos hidráulicos son aquellos que emplean los cambios ocurridos en variables hidráulicas sencillas (perímetro mojado, calado máximo, velocidad media) medidas, generalmente, en una o varias secciones, a partir de los cambios de caudal, que sirve para establecer relaciones con los factores relacionados con el hábitat de las especies objetivo que son considerados como limitantes para ellas. Las secciones son emplazadas en lugares donde el mantenimiento de los caudales se considera más crítico o donde los hábitats son más sensibles a la reducción de estos caudales (Dualiby, 2006).

6.4. Cuenca del río Paute

6.4.1. Caracterización Climática

La precipitación anual promedio en el área de estudio es de 789 mm, la parte oriental de la cuenca presenta mayor precipitación debido a la influencia de la corriente fría de Humbolt, ostenta una diversidad de temperaturas, que van desde los 4°C hasta los 16°C como consecuencia a la variación altitudinal del sistema hidrográfico (2000 msnm-4000 msnm) y una evapotranspiración media es de 630 mm para un período de 10 años (1980–1990). Se observa mayores niveles de precipitación en relación con la evapotranspiración, por lo que puede inferirse que no existe déficit hídrico (Donoso, 2002).

6.4.2. Componente Biofísico

6.4.2.1. Cobertura vegetal

La presencia de bosque cultivos y naturales abarca alrededor de 4054 km² (63%), en zonas de mayor altitud se encuentran los páramos que ocupan 772,32 km² (12%) de la cuenca, los pastos cubren 643 km² (10%) y el 450 km² (7%) esta constituido por cultivos (Donoso, 2002).

6.4.2.2. Áreas protegidas

Las áreas protegidas en la cuenca constituye el 40% (2574.4 km²) del total del territorio, las más representativas se ubican en la cuenca alta del sistema hidrográfico donde se halla el 60% (172,8 km²) del parque nacional Cajas, mientras que dentro de la cuenca media y baja esta parte (103 km²) del parque nacional Sangay. Se destaca también los bosques protectores dentro de la cuenca descritos en la tabla 2 (Cordero, 2013).

Tabla 2. Área de bosques protectores en la cuenca del río Paute.

BOSQUES PROTECTORES	ÁREA TOTAL Km²
Dudas-Maza	753,05
Machángara-Tomebamba	393,64
Allcuqui	67,96
Rumicruz	30,32
Cubilán	9,91
Pichahuayco	8,32
Cerro Guabidula	6,99
Collay	94,73
Fierroloma	2,26
Dudashuaycu	19,64
Yunguilla	44,51
Aguarongo	20,80
Yanuncay-Irquis	320,29

Sunsun-Yanasachsa	44,21
Yunga	8,51
Sta. Bárbara-río Shio	114,76
Totorillas	7,71
Totoracocha	4,11
Guarongo	20,26
Moya-molón	97,76

FUENTE: (Cordero, 2013).

6.4.2.3. Pendiente

La cuenca se caracteriza por la presencia de fuerte y abruptas pendientes (tabla 3), debido a la presencia de las cordilleras oriental y occidental, es decir que esta constituida por montañas (Cordero, 2013).

Tabla 3. Rango de pendientes.

CLASE	RANGO DE	ÁREA	DESCRIPCIÓN
	PENDIENTE	TOTAL	
	(%)	(Km ²)	
1	0-5	150.23	Pendiente débil
2	5-12	618.18	Pendiente suave regular
3	12-25	2122.85	Pendiente regular
4	25-50	2984.38	Pendiente regular e irregular con micro relieve
5	>70	60.933	Pendiente fuerte

FUENTE: Plan maestro de la cuenca del río Paute. Consorcio CGI-IBERINSA-CAMINOSCA.2009

6.4.3. Generación Hidroeléctrica

La cuenca del río Paute ostenta un potencial hidroeléctrico importante para el país, abarca alrededor del 60% de la generación eléctrica del Ecuador, esto gracias al caudal de la corriente y además que la geomorfología de la cuenca facilita aprovechar el recurso debido a las grandes caídas de agua. La potencia instalada actualmente del proyecto hidroeléctrico Paute se especifica en la tabla 4 (Cordero, 2013).

Tabla 4. Generación de energía eléctrica.

SUBCUENCA	PROYECTO	EMPRESA GENERADORA	POTENCIA (MW)
Paute	Paute fase A, B y C	HIDROPAUTE-CELEC	1075
Paute	Mazar	HIDROPAUTE-CELEC	190
	Saucay		24
Machángara	Saimiri I-II	ELECAUSTRO	6.4
	Saimiri III y IV		8

FUENTE: Plan maestro de electrificación 2006-2015 CONELEC

6.5. MARCO JURÍDICO DEL AGUA EN EL ECUADOR

Según La Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, la autoridad ambiental es la encargada de la administración integrada de los recursos hídricos y la determinación de los caudales ecológicos, basados en las características de los cuerpos de agua, pueden seleccionar la metodología y lineamientos para la determinación del caudal ambiental. Es responsabilidad de la Autoridad Única del Agua, de las instituciones y de todas las personas, sean usuarios o no del agua, el respetar la cantidad y calidad requerida que proteja la biodiversidad acuática y los ecosistemas

aledaños, el caudal ecológico de los cursos permanentes de agua en toda cuenca hidrográfica es intangible y todas las actividades productivas lo respetarán (SENAGUA, 2014).

6.5.1. Artículos y leyes referentes a Caudal ecológico y agua

6.5.1.1. Constitución de la República del Ecuador

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Art. 57.- Se reconoce y garantizará a las comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades indígenas, de conformidad con la Constitución y con los pactos, convenios, declaraciones y demás instrumentos internacionales de derechos humanos, los siguientes derechos colectivos:

8. Conservar y promover sus prácticas de manejo de la biodiversidad y de su entorno natural. El Estado establecerá y ejecutará programas, con la participación de la comunidad, para asegurar la conservación y utilización sustentable de la biodiversidad.

Art. 405.- El sistema nacional de áreas protegidas garantizará la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de las funciones ecológicas. El sistema se integrará por los subsistemas estatal, autónomo descentralizado, comunitario y privado, y su rectoría y regulación será ejercida por el Estado. El Estado asignará los recursos económicos necesarios para la sostenibilidad financiera del sistema, y fomentará la participación de las comunidades, pueblos y nacionalidades que han habitado ancestralmente las áreas protegidas en su administración y gestión.

Las personas naturales o jurídicas extranjeras no podrán adquirir a ningún título tierras o concesiones en las áreas de seguridad nacional ni en áreas protegidas, de acuerdo con la ley.

Art. 318.- El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos. Se prohíbe toda forma de privatización del agua.

La gestión del agua será exclusivamente pública o comunitaria. El servicio público de saneamiento, el abastecimiento de agua potable y el riego serán prestados únicamente por personas jurídicas estatales o comunitarias.

El Estado fortalecerá la gestión y funcionamiento de las iniciativas comunitarias en torno a la gestión del agua y la prestación de los servicios públicos, mediante el incentivo de alianzas entre lo público y comunitario para la prestación de servicios.

El Estado, a través de la autoridad única del agua, será el responsable directo de la planificación y gestión de los recursos hídricos que se destinarán a consumo humano, riego que garantice la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas, en este orden de prelación. Se requerirá autorización del Estado para el aprovechamiento del agua con fines productivos por parte de los sectores público, privado y de la economía popular y solidaria, de acuerdo con la ley.

Art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua.

La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

Art. 412.- La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque ecosistémico.

6.5.1.2. Código Orgánico Del Ambiente

Artículo 5.- Derecho de la población a vivir en un ambiente sano. El derecho a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado comprende:

1. La conservación, manejo sostenible y recuperación del patrimonio natural, la biodiversidad y todos sus componentes, con respeto a los derechos de la naturaleza y a los derechos colectivos de las comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades.
2. El manejo sostenible de los ecosistemas, con especial atención a los ecosistemas frágiles y amenazados tales como páramos, humedales, bosques nublados, bosques tropicales secos y húmedos, manglares y ecosistemas marinos y marinos-costeros.
3. La intangibilidad del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, en los términos establecidos en la Constitución y la ley.

Garantías Preventivas

Sección Primera

Caudal Ecológico y Áreas de Protección Hídrica

Artículo 76.- Caudal ecológico. Para los efectos de esta Ley, caudal ecológico es la cantidad de agua, expresada en términos de magnitud, duración, época y frecuencia del caudal específico y la calidad de agua expresada en términos de rango, frecuencia y

duración de la concentración de parámetros que se requieren para mantener un nivel adecuado de salud en el ecosistema.

Artículo 411.- De La Ley Orgánica De Recursos Hídricos, Usos Y Aprovechamiento Del Agua donde el estado garantizará la conservación recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico y que regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad del agua y equilibrio de los ecosistemas, especialmente en las fuentes y zonas de recarga.

7. HIPÓTESIS

¿La utilización de métodos hidrológicos permitirán determinar el caudal ecológico en la cuenca del río Paute para proteger los recursos acuáticos?

8. METODOLOGÍA

8.1. Tipo de investigación

8.1.1. Método de investigación Bibliográfica

Es un método que se encontró presente a lo largo de toda la investigación, puesto que permitió la recopilación de información y el análisis de los resultados obtenidos, que es clave e imprescindible para un correcto proceso de estudio.

8.1.2. Método cuantitativo

Este método fue empleado para la recolección de datos de caudal de las diferentes estaciones hidrológicas a lo largo del cauce en la subcuenca, el análisis estadístico de los mismos y además del cálculo del caudal ecológico por los cuatro métodos propuestos, en el cual se procesó los resultados y se resaltó el caudal ambiental que mejor se adecue a las condiciones del río.

8.1.3. Método deductivo

Este permitió que, a través de los resultados obtenidos de caudal ecológico con la aplicación de los diferentes métodos, se podrá concluir cual es el flujo ambiental más apropiado según las características hídricas del río.

8.2. Herramientas utilizadas

8.2.1. Excel

Mediante el programa informático Excel se realizó los cálculos establecidos para el análisis exploratorio de datos y los cuatro métodos para la estimación del caudal ecológico, con el objetivo de facilitar el análisis datos y crear una memoria base de los procedimientos aplicados.

8.2.2. Hydraccess

El software hydraccess permite la gestión de información hidrometeorológica y además facilitaron el procesamiento de datos, a través de este se importó los datos de caudal de la estación especificada para la completación de datos faltantes por medio del método de vector regional.

8.2.3. InfoStat

El programa estadístico se utilizó para analizar el comportamiento de los datos a lo largo del período de estudio, para identificar tendencias y medir las diferencias como un indicador de posibles problemas ya sea que estos presenten un acenso o descenso en la tendencia.

8.2.4. ArGis o ArcMap

El sistema ArcGis fue utilizado para delimitar la zona de estudio a través de sistemas de información geográfica, además permitió reconocer características propias del sitio como ubicación de las estaciones hidrológicas, sistemas hídricos, topografía, etc.

8.3. Área de estudio

La subcuenca del río Paute nace de la región interandina del país, su área abarca alrededor de 6400 km² y engloba las provincias del Azuay, Cañar y Morona Santiago, en las coordenadas UTM 78°30'W - 79°20'W y 2°20'S - 3°20'S. Dentro del sistema hídrico se ubica la ciudad de Cuenca considerada como la tercera ciudad con la mayor población del Ecuador, declarada además como patrimonio cultural de la humanidad. Adicionalmente de manera contigua, se resalta a la ciudad de Paute conocida especialmente porque en ella se encuentra el Complejo Hidroeléctrico Paute Integral (Molino, Mazar, Sopladora, Cardenillo), que posee una capacidad instalada de 1.075 MW que representa 40% de la generación eléctrica del país (Corporación Eléctrica del Ecuador, 2008) y además se pretende realizar el Proyecto Río Zamora-Santiago (Araneda R, 2017). Debido a que se encuentra influenciada por la cordillera oriental y occidental presenta fuerte variabilidad altitudinal, la presencia de pendientes fuertes y baja profundidad de suelos en la subcuenca ha provocado el desarrollo de zonas agrícolas, especialmente en Azogues, donde la actividad agrícola destaca como una de los principales dinamismos económicos (más del 25% de actividad), se resalta sobre todo el cultivo flores de exportación que representa el mayor ingreso económico en la zona, no obstante, últimamente se intenta impulsar el cultivo de hortalizas con fines comerciales (Figura 1).

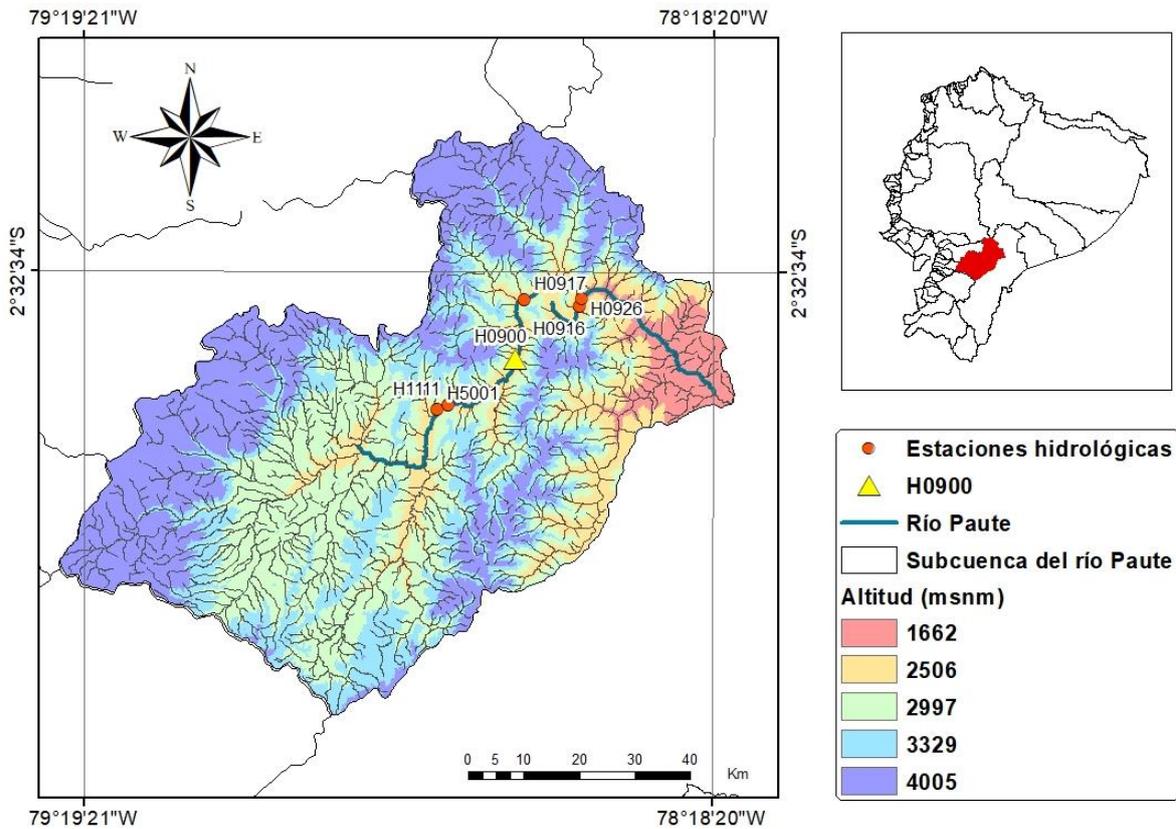


Figura 1. Delimitación de la cuenca del río Paute, su altitud y distribución de las estaciones hidrológicas.

ELABORADO POR: Albarrasín Paola y Barrera Alexandra, 2020

8.4. Datos

Mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), se ubicaron seis estaciones hidrológicas a lo largo del río Paute (figura 1), de las cuales se ha recopilado datos mensuales de caudal provenientes del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) (Tabla 5), del total de estaciones se seleccionó una estación hidrológica (H0900), que presentó un período de 45 años consecutivos y menor porcentaje de datos faltantes durante el periodo de 1964-2008.

Tabla 5. Características de las estaciones hidrológicas: nombre, código, ubicación geográfica y porcentaje de datos faltantes.

Nombre de la estación	Código	Latitud	Longitud	Altitud	% Datos faltantes	Período
		(°S)	(°O)	msnm		
Paute DJ Molino	H0926	-2.58	-78.51	1328	100	No existe
QDA. Molino AJ Paute	H0916	-2.6	-78.52	0	100	No existe
Paute Llavircay	H0917	-2.59	-78.61	0	76.04	1985-1992
Paute AJ Dudas	H0900	-2.68	-78.62	2000	16.67	1964-2008
Paute en Paute	H1111	-2.76	-78.73	0	100	No existe
Puente Chicti	H5001	-2.77	-78.75	2180	100	No existe

ELABORADO POR: Albarrasín Paola y Barrera Alexandra, 2020

8.5. Completación de datos faltantes

8.5.1. Método de vector regional

Mediante el software Hydraccess se aplicó el Método de Vector Regional (MVR), para completar los datos faltantes en la estación H0900, utilizando estaciones hidrológicas (tabla 6), distribuidas a lo largo de la subcuenca (Figura 2) y dentro del período de estudio establecido.

Tabla 6. Características de las estaciones hidrológicas utilizadas para completar la estación H0900 por MVR: nombre, código, ubicación geográfica.

Nombre de la estación	Código	Latitud	Longitud	Altitud
		(°S)	(°O)	msnm
Tomebamba en Monay	H0895	-2.89	-78.96	2300
Dudas en Pindiling	H0902	-2.62	-78.68	2450
Mazae Aj Paute	H0892	-2.57	-78.64	2126
San Francisco de Gualaceo	H0899	-2.89	-78.76	2400
Matadero en Sayausi	H0896	-2.87	-79.07	2602
Surucucho Aj LluLlucchAS	H0897	-2.83	-79.12	2565

ELABORADO POR: Albarrasín Paola y Barrera Alexandra, 2020

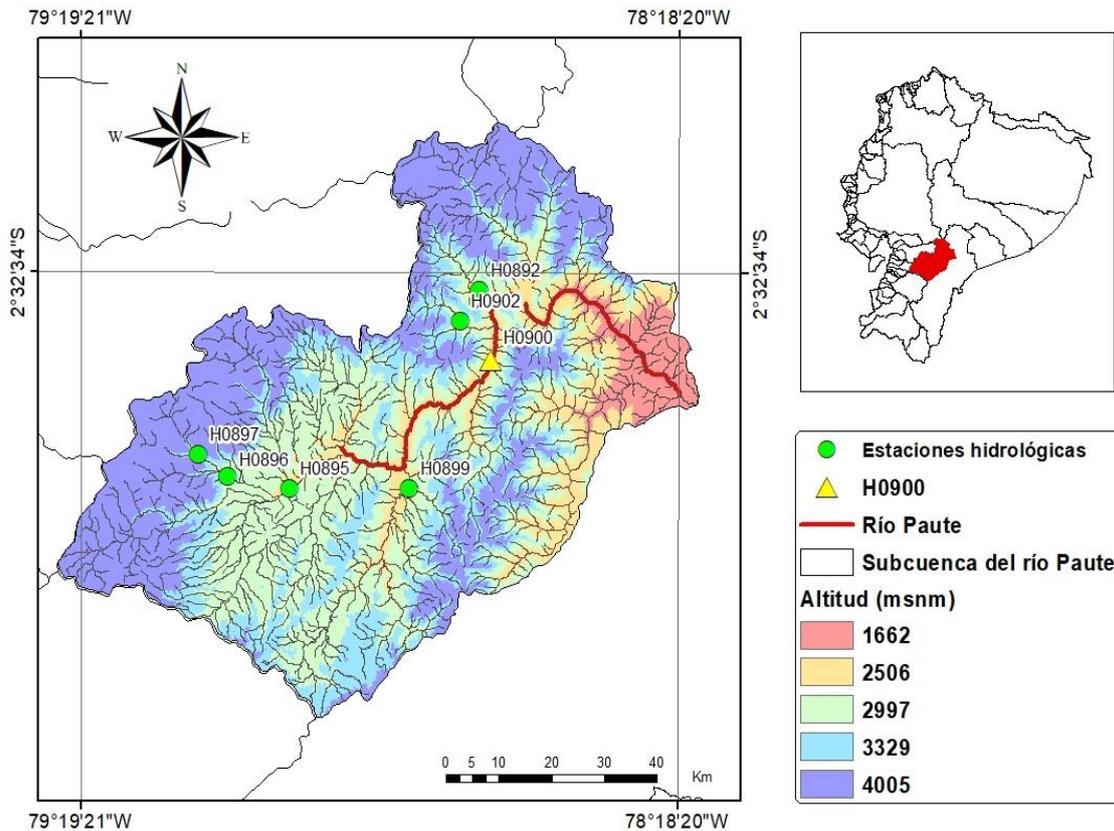


Figura 2. Distribución espacial de las estaciones hidrológicas utilizadas para completar la estación H0900 por MVR.

ELABORADO POR: Albarrasín Paola y Barrera Alexandra, 2020

El MVR es un método de cálculo orientado a la extensión o completación de datos tanto hidrológicos como meteorológicos, en el caso del presente proyecto fue utilizado para completar datos de caudal. El método asume que zonas climáticas o altitudes semejantes, se encuentran sometidas a un mismo régimen hidrometeorológico, los totales hidrométricos anuales son pseudo-proporcionales con una diferenciación mínima aleatoria cada año derivado de la distribución de las precipitaciones dentro de la zona (Espinoza, s. f.).

8.5.2. Método de la media aritmética

Se utilizó como un método complementario al anterior, debido a que los caudales de la estación H0900 después de aplicar el método del vector regional presentaban datos faltantes menores al 10% del total de datos aritméticos (Moran, 1989).

8.6. Análisis exploratorio de datos

Se efectuó el análisis exploratorio a los datos de la estación H0900 (Paute AJ Dudas), basada fundamentalmente en el cálculo de la media, la mediana, la varianza, el coeficiente de asimetría, la desviación estándar y curtosis del caudal promedio anual, que permitió de una forma sencilla la obtención de una amplia variedad de interpretaciones estadísticas (Batanero, Estepa, & Godino, 1991).

8.7. Método de la curva de permanencia de los caudales

El modelamiento de la curva de permanencia se realizó según los parámetros de Silveira & Silveira en 2001, los mismos definieron que el caudal será igualado o excedido al 90% del tiempo de observación ($Q_{90\%}$), luego de lo cual se estimó el caudal ambiental (Q_A) como el 5% del caudal igualado (ecuación 1). A través de este método es posible representar el rango de caudales máximos y mínimos, mediante un gráfico donde se representa el tiempo y la variable del caudal registrado durante el período de estudio (Hall, 1968) y (Smakhtin, 2001).

$$Q_A = 0.05 (Q_{90\%}) \quad (1)$$

8.8. Método de Rafael Heras

El caudal ambiental (Q_A), según el método de Rafael Heras establecido en 1976 se basa en el análisis del flujo especialmente en épocas de estiaje, por lo que fundamentado en

esto se procedió a calcular el promedio (Q_m), de la suma del flujo mínimo de tres meses consecutivos ($\sum_{i=1}^{n=3} Q_{\min}$), considerados como meses críticos o de caudal pobre dentro del período de estudio (ecuación 2) y a su vez se evaluó el caudal ecológico (ecuación 3), como el 20% del valor del flujo medio obtenido de los tres meses observados, conforme a la metodología propuesta (Heras, 1976).

$$Q_m = \frac{\sum_{i=1}^{n=3} Q_{\min}}{3} \quad (2)$$

$$Q_A = 0,20 * Q_m \quad (3)$$

8.9. Método Tennant o Montana

Este método es uno de los más difundidos a nivel mundial debido a la facilidad de su metodología e interpretación, se especializa por realizar un análisis en series temporales de caudales naturales del curso de agua en función del flujo medio (Tennant, 1976), proporciona modelos para la administración y mantenimiento de los atributos biológicos de un río. Esta metodología se fundamenta en distintas clases del flujo promedio anual, vinculadas a diferentes condiciones durante períodos de estiaje y avenidas (Tabla 7).

Tabla 7. Regímenes de caudal continuo de recursos ambientales (peces, vidas silvestres y relacionadas).

BASE DE CONSERVACIÓN	PORCENTAJE DE RÉGIMEN FLUVIAL	
	Oct – Mar (Estiaje)	Abr-Sept (Avenida)
Máximo	200	200
Óptimo	60 a 100	60 a 100
Excepcional	40	60
Excelente	30	50
Bueno	20	40
Justo	10	30
Mínimo o Pobre	10	10
Degradación severa	10	10

FUENTE: Tennant, 1976

ELABORADO POR: Albarrasín Paola y Barrera Alexandra, 2020

8.10. Método de legislación ecuatoriana

Dentro de la normativa ecuatoriana en referencia a la estimación del caudal ecológico (Q_A), nos indica o propone como el 10% del flujo promedio total en un periodo de retorno igual o superior a 10 años, no obstante, este método no es obligatorio, puesto que el enfoque para estimar Q_A , es subjetivo al técnico o consultor ambiental y este podrá utilizar la metodología que mejor se ajuste a las necesidades del ecosistema del sistema hidrológico (SENAGUA, 2014).

8.11. Análisis comparativo de datos

Las metodologías utilizadas para el cálculo del caudal ecológico son muy variadas y presentan diferentes niveles de predicción y algunos requerimientos de información, que servirán para conocer los datos reales de la cuenca. Es muy importante considerar aquellos métodos que permitan determinar un régimen específico de caudal ecológico, ya que este es de gran interés para la población ya que, dichos usuarios se encuentran en las riberas de la cuenca.

Independientemente del método que se utilice existen ciertos lineamientos que deben ser seguidos a la hora de su aplicación para la determinación del caudal ambiental. Las especificaciones deben ser legalmente defendibles y estar respaldadas por la legislación y normativas vigentes. Las especificaciones deben de ser defendibles científicamente es decir que deben estar basados en conceptos e información científica ampliamente aceptable (Jimenez, Calvo, Pizarro, Gonzáles, & Jiménez, 2005). Por lo mismo el caudal ecológico sugerido deberá abarcar las especificaciones mencionadas y será seleccionado como la mejor oportunidad de conservación de los tres métodos calculados.

Los métodos desarrollados fueron cotejados con el caudal mínimo registrado en los 45 años de observación, se trató esencialmente de que los diferentes caudales ecológicos sometidos a comparación cumplan con las especificaciones hidrológicas requeridas para establecer un caudal ambiental con el objetivo de que no se vean afectadas tanto las actividades antrópicas como las necesidades ecológicas.

Una vez que el caudal ecológico fue seleccionado por el método que mejor se ajustó a las condiciones hidrológicas del cauce se procedió al análisis comparativo con la legislación ambiental respecto al uso y aprovechamiento de los recursos hídricos, la misma que obliga el establecimiento de un caudal ambiental especialmente en la construcción de proyectos hidroeléctricos (SENAGUA, 2014). A pesar de que la normativa no especifica un método en particular de cálculo, si se aclara que el caudal ecológico debe ser como mínimo el 10% del caudal medio anual. Es importante que el caudal ambiental que se seleccionó cumpla con esta condición, es decir, que iguale o incluso supere la exigencia establecida en la legislación ecuatoriana.

8.12. Análisis de tendencias

El análisis de tendencia es un método que permite analizar datos del pasado o del presente y precisar el patrón de comportamiento de la información, identificar los rasgos o variables dominantes para examinar las posibles causas (Castellanos, Fúquene, & Ramírez, 2011) . Se analizó los datos de caudal interanual en el período señalado a través de test Mann-Kendall con tres valores de significancia: $PV=0.1$, $PV=0.5$, $PV=0.01$. El mismo reflejó las tendencias o dinámicas de la información, detectando cambios significativos existentes que a su vez permitió proponer la estrategia de gestión apropiada para la cuenca mediante los indicadores obtenidos durante la observación.

9. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE DATOS

9.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El caudal promedio anual para el período de estudio (1964-2008), corresponde a 71,57 m³/s, una mediana de 66,58 m³/s y una desviación estándar de $\pm 14,10$ m³/s, fue asignado como moda al valor de caudal 87,51 m³/s por ser el valor con mayor frecuencia absoluta. La distribución de las variables de flujo presenta una curtosis igual a 4.06 que según la distribución de Fisher ($\alpha > 3$), equivale a una disposición leptocúrtica, es decir, gran parte de los datos se encuentran concentrados alrededor de la media, de forma paralela, el análisis de simetría mediante distribución Fisher ($\alpha > 0$), muestra una asimétrica positiva que se traduce como desplazamiento a la derecha de la cola de distribución para valores superiores a la media.

9.2. REGÍMENES DE CAUDAL

En la subcuenca del río Paute se ha determinado dos regímenes de caudal medio mensual correspondiente a una etapa de estiaje que va desde el mes de septiembre y se extiende hasta el mes de marzo (S, O, N, D, E, F, M) y otra de avenida desde abril hasta agosto (A, M, J, J, A), presentándose el mes de enero con el de menor caudal registrado (40.09 m³/s) y el mes de junio como el de mayor caudal (112.80 m³/s) (Figura 3).

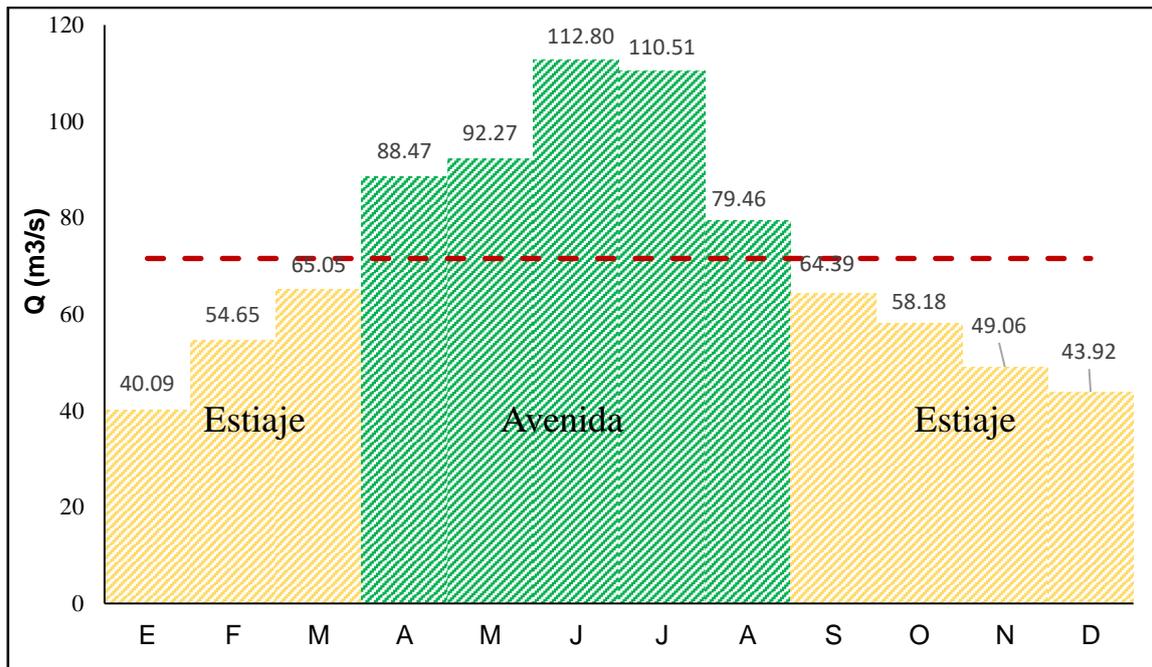


Figura 3. Régimen de caudal del río Paute, distinción de la época de avenida y estiaje.

ELABORADO POR: Albarrasín Paola y Barrera Alexandra, 2020

Dentro de los 45 años observados, la estación H900 (Paute AJ dudas) ubicada en el río Paute registra al mes de julio del año de 1976 con el de mayor caudal ($213.57 \text{ m}^3/\text{s}$) y el mínimo en enero de 1994 ($9.24 \text{ m}^3/\text{s}$)

9.3. ANÁLISIS DE TENDENCIA ANUAL

El análisis de tendencia del río para un periodo de 45 años considerando tres niveles de significancia ($PV \alpha \geq 0,1$; $PV \alpha \geq 0,5$; $PV \alpha \geq 0,01$). El análisis de tendencia reveló que no existe tendencia al incremento ni disminución del caudal para los tres niveles de significancia. Sin embargo, se observó anomalías (figura 4), representadas en picos marcados en los años 1970, 1976, 1990 y 1995; que descienden abruptamente en sus años contiguos, lo que se traduce como sequías e inundaciones en la cuenca que repercute y modifica el ciclo hidrológico del sistema hídrico.

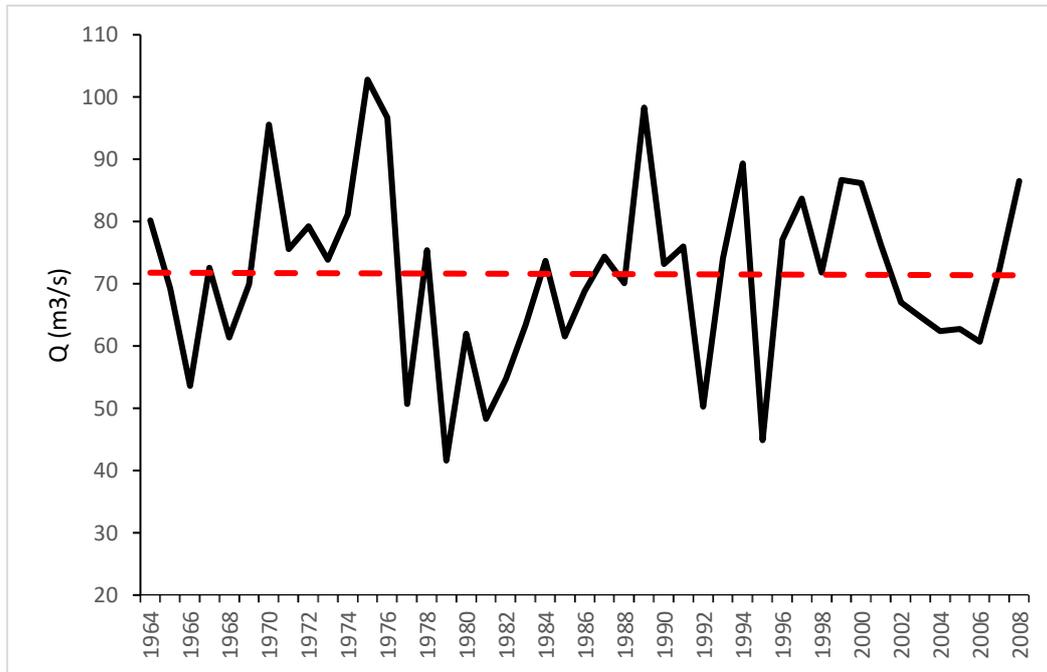


Figura 4. Tendencia de caudal anual del río Paute en el período 1964 - 2008.

ELABORADO POR: Albarrasín Paola y Barrera Alexandra, 2020

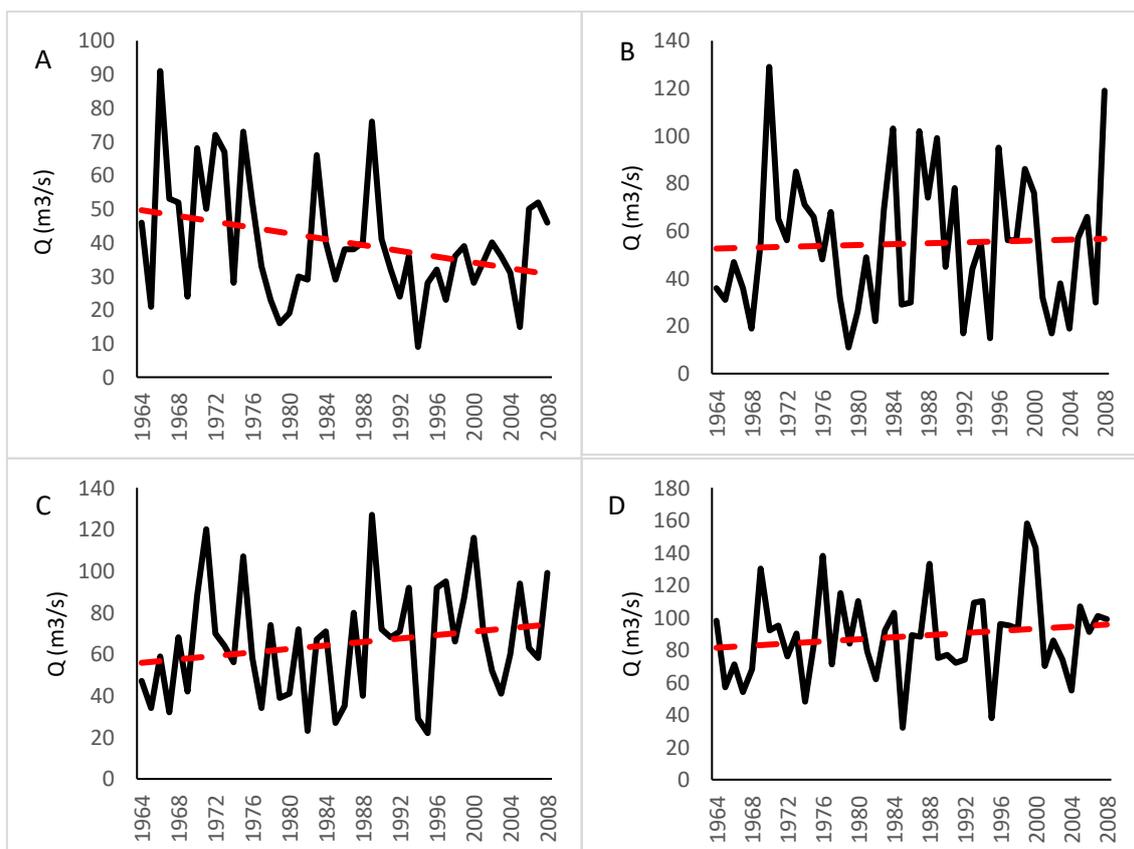
9.4. ANÁLISIS DE TENDENCIA MENSUAL

Los resultados mostraron un gradiente de tendencias en la zona que en términos generales no presentó propensión al cambio dentro de los 45 años de estudio en la mayoría de los meses. Sin embargo, el análisis según la prueba no paramétrica Mann-Kendall develó variabilidad al incremento en los meses de mayo (figura 5E) y diciembre (figura 5L), con una significancia de $\alpha \geq 0.1$ y $\alpha \geq 0.05$, respectivamente, por otro lado, los meses de agosto (figura 5H) y septiembre (figura 5I), muestran tendencia al decremento con significancia de $\alpha = > 0.05$.

Es difícil encontrar una relación de las tendencias obtenidas de los meses mencionados con respecto a la época de avenida y estiaje, pero se debe hacer especial énfasis en la tendencia de disminución del caudal en el mes de agosto debido a que de continuar esta predisposición el caudal podría posicionarse por debajo de la media y como consecuencia

acrecentar la época de estiaje, que se extiende por más de seis meses durante el año (figura 3).

A pesar que la mayor parte de los meses no exhiben variabilidad al decremento o incremento significativas en ningún nivel según el test Mann-Kendal, se observan en la figura 4 la presencia de anomalías similares a las presentadas anteriormente en el análisis interanual, es decir, cambios claramente marcados en donde el caudal aumenta en un año en específico y disminuye de manera severa en su año contiguo, convirtiéndose en un patrón repetitivo en todos los meses independiente de la variabilidad interanual, en términos ambientales y económicos podría traducirse como grandes pérdidas y variaciones.



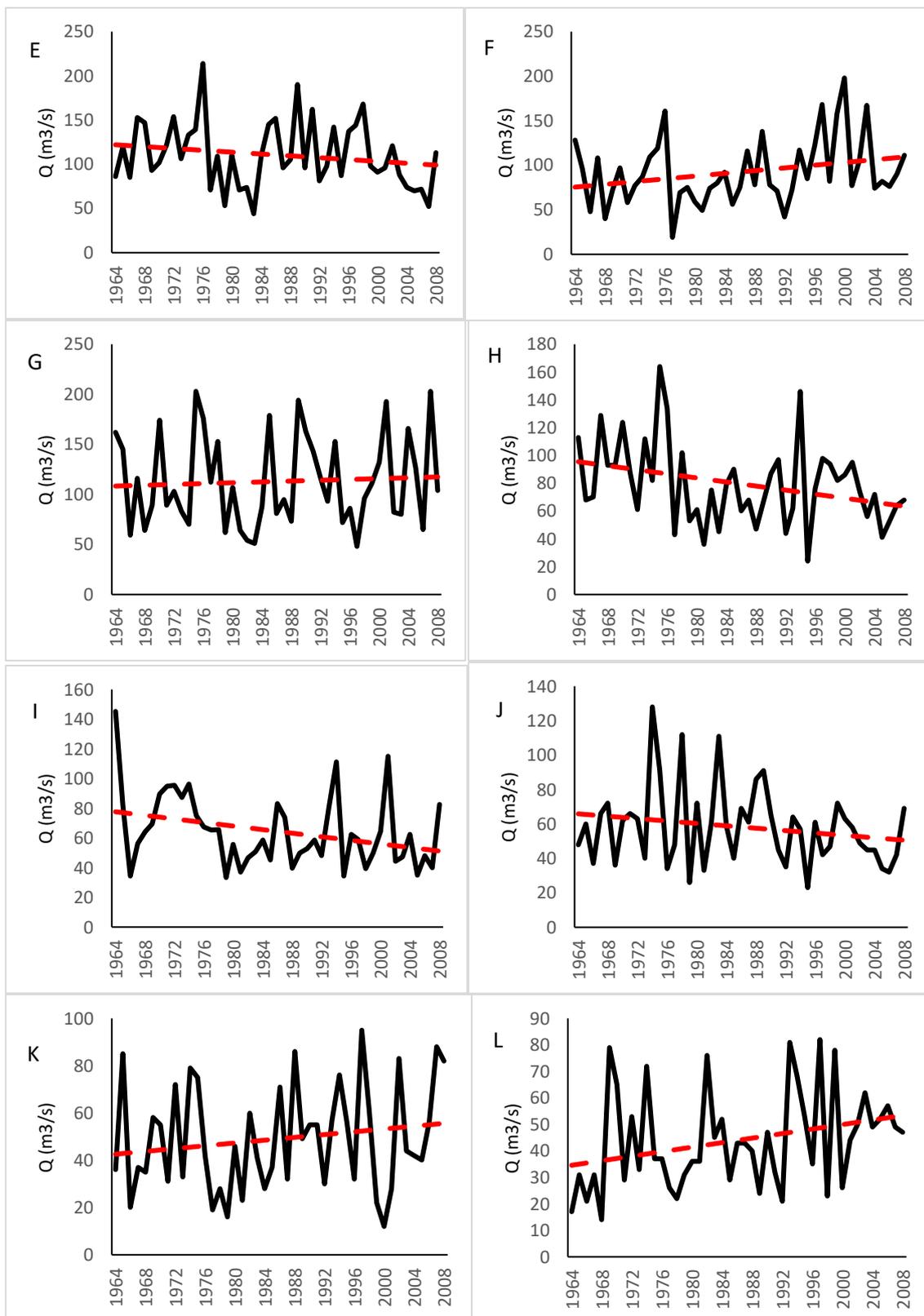


Figura 5 Tendencia de caudal mensual del río Paute en el período 1964 – 2008: A) enero, B) febrero, C) marzo, D) abril, E) mayo, F) junio, G) julio, H) agosto, I) septiembre, J) octubre, K) noviembre y L) diciembre.

ELABORADO POR: Albarrasín Paola y Barrera Alexandra, 2020

9.5. CAUDAL ECOLÓGICO RÍO PAUTE

9.5.1. Curva de permanencia de caudales

La curva de permanencia (figura 6), mostró un caudal excedido al 90% del porcentaje total acumulado igual a 44.21 m³/s; a partir del cual según el método propuesto se estimó el caudal ecológico al 5% (Q_A), que corresponde a 2.21 m³/s, el mismo fue comparado con el flujo mínimo del período observado (1964-2004) (figura 7), en contraste con el caudal promedio.

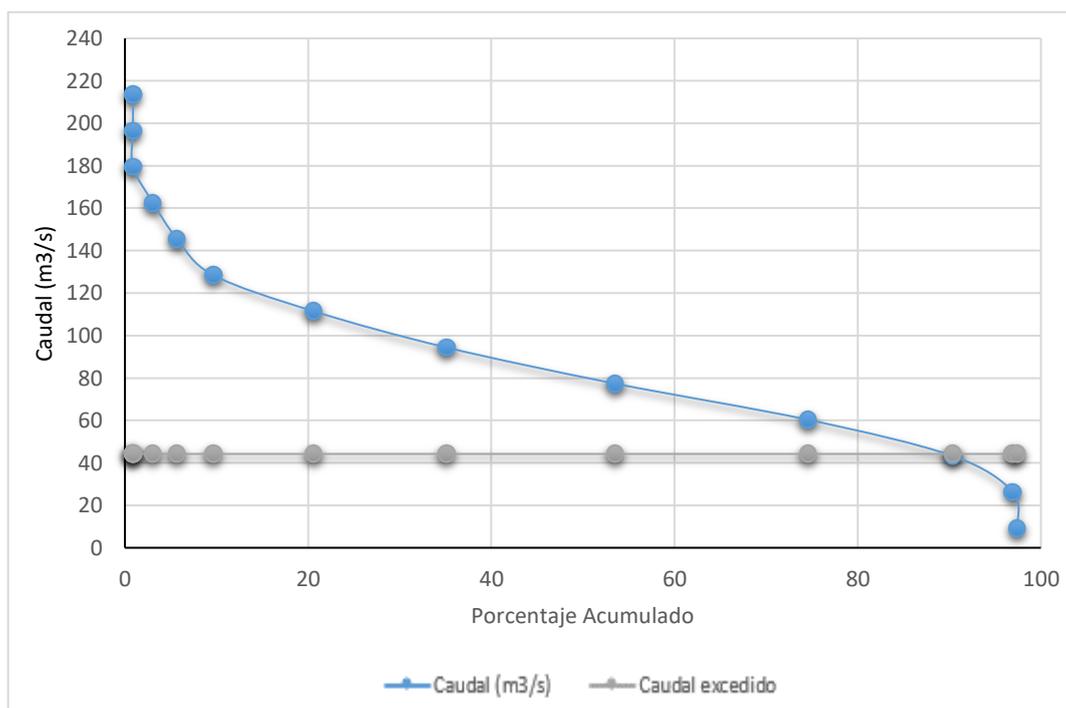


Figura 6. Curva de permanencia de caudales del río Paute.

ELABORADO POR: Albarrasín Paola y Barrera Alexandra, 2020

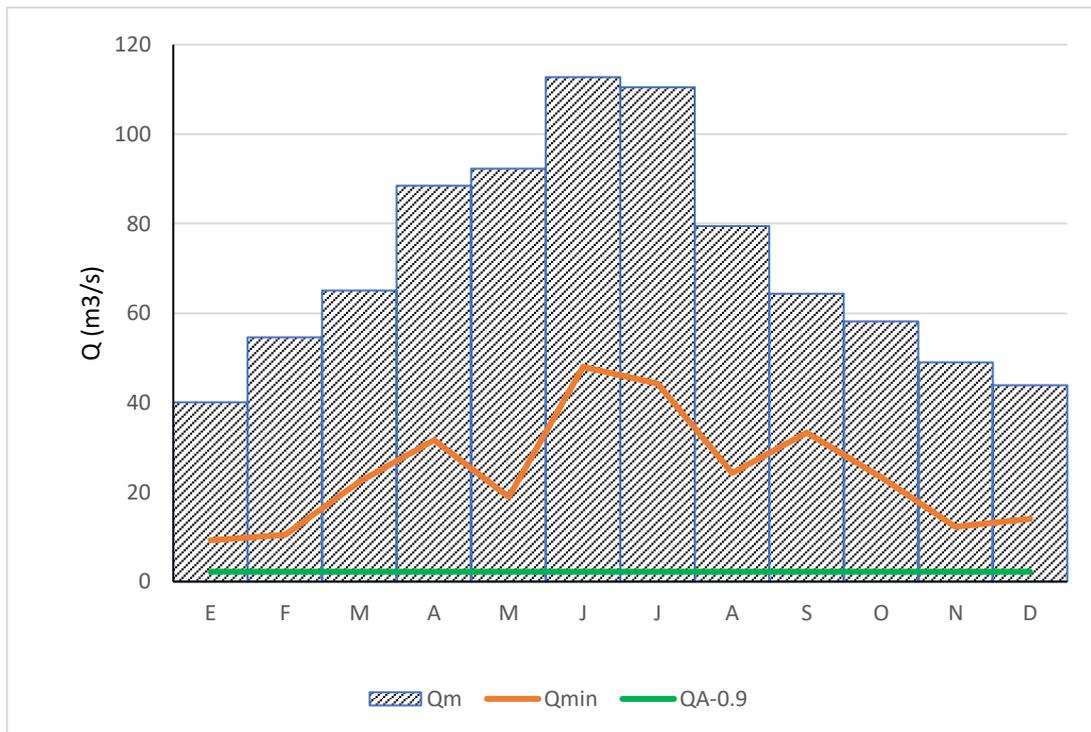


Figura 7. Caudal ecológico por el método de la curva de permanencia.

ELABORADO POR: Albarrasín Paola y Barrera Alexandra, 2020

9.5.2. Método de Rafael Heras

La observación de los datos mostró a los meses de octubre ($58.18 \text{ m}^3/\text{s}$), noviembre ($49.06 \text{ m}^3/\text{s}$) y diciembre ($43.92 \text{ m}^3/\text{s}$), como los meses que presentaron un caudal medio crítico con respecto a los demás meses del año (tabla 8).

Tabla 7. Caudal promedio mensual del río Paute.

MESES	Qm (m^3/s)
Enero	40.09
Febrero	54.65
Marzo	65.05
Abril	88.47
Mayo	92.27
Junio	112.80
Julio	110.51
Agosto	79.46
Septiembre	64.39
Octubre	58.18

Noviembre	49.06
Diciembre	43.92

ELABORADO POR: Albarrasín Paola y Barrera Alexandra, 2020

La media de los tres meses con flujo relativamente bajo (octubre, noviembre y diciembre), fue igual a 50.39 m³/s, a su vez el 20 % de este promedio fue asignado como caudal ecológico (Q_A), dando como resultado 10.8 m³/s, el que a su vez fue comparado con el caudal mínimo (figura 8).

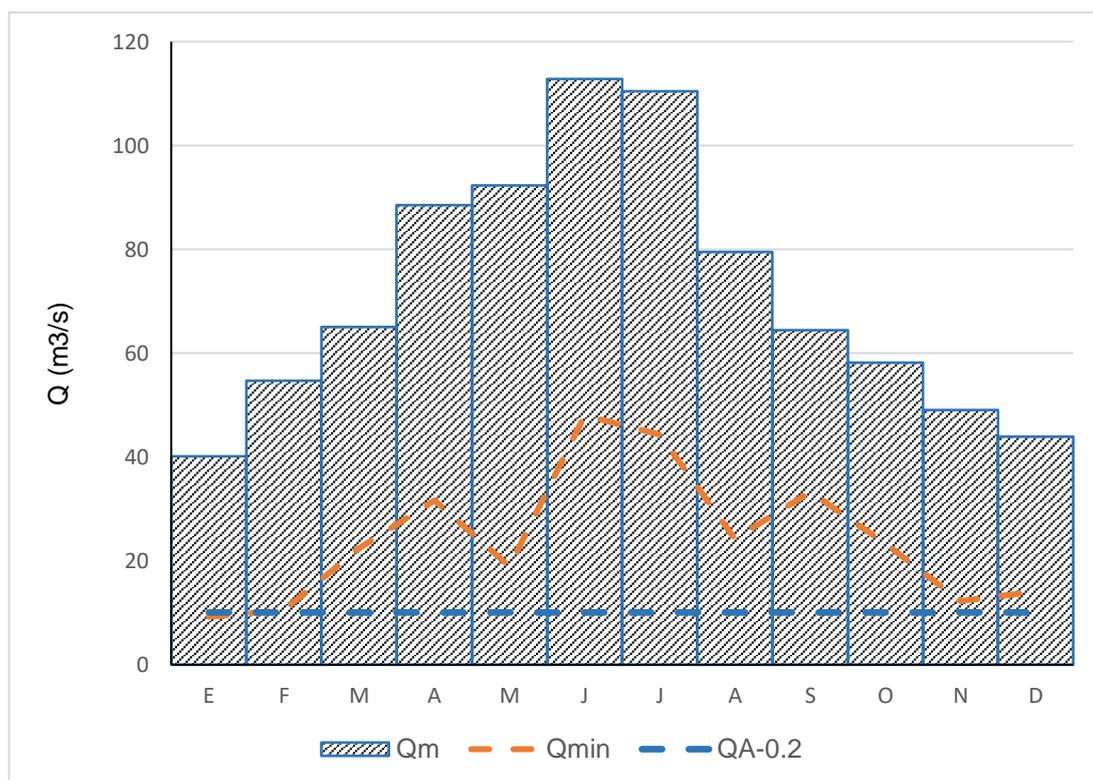


Figura 8. Caudal ecológico por el método de Rafael Heras.

ELABORADO POR: Albarrasín Paola y Barrera Alexandra, 2020

9.5.3. Método de Tennant o Montana

Según el método de Tennant se sugiere determinar al caudal ecológico entre los rangos de bueno (20-30%), a excelente (30-50%), puesto que estas condiciones permitirían mantener los nichos ambientales en el río. El caudal ecológico designado es el que se encuentra entre el 20% - 30% (bueno) (figura 9).

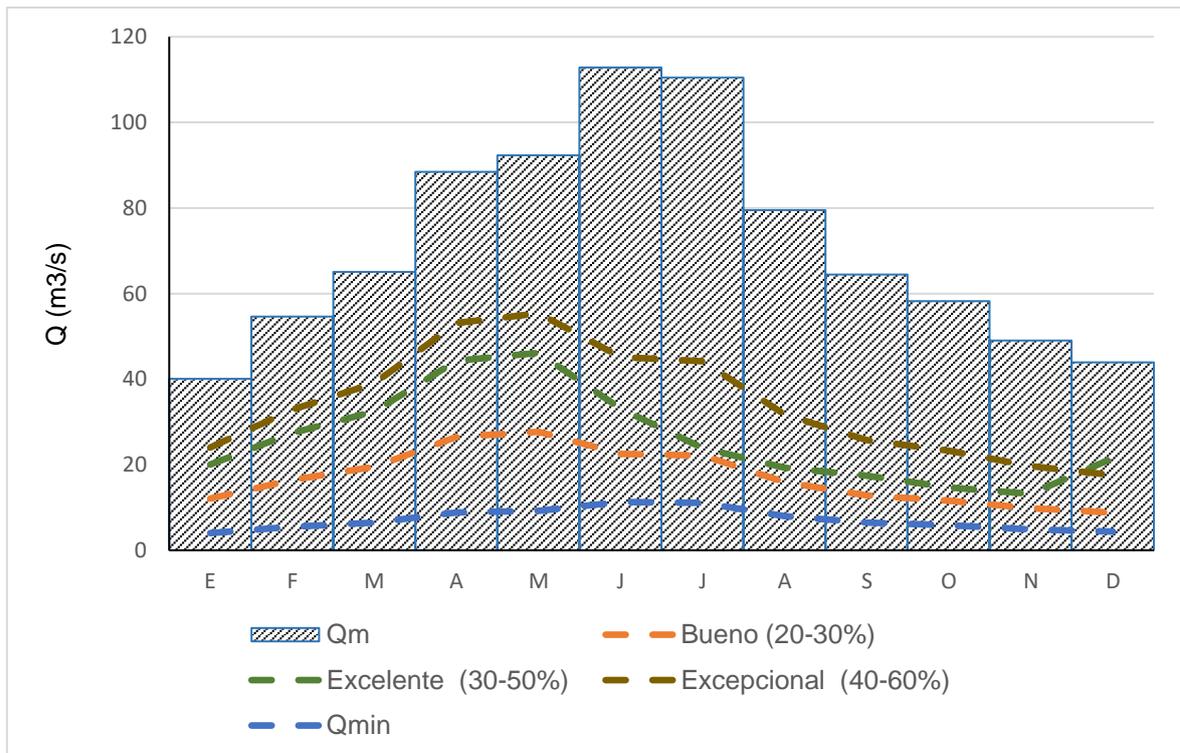


Figura 9. Caudal ecológico por el método de Tennant o Montana.

ELABORADO POR: Albarrasín Paola y Barrera Alexandra, 2020

También podría sugerirse como Q_E , a la categoría de flujo excelente (30-50%) (figura 9), debido a las características que este podría ofrecer en cuanto a la conservación del ambiente; sin embargo, este limitaría o afectarían las actividades antrópicas que se desarrollan en la zona, especialmente las acciones que involucren o se relacionen a la agricultura o de carácter agropecuario.

9.5.4. Legislación Ecuatoriana

La media mensual de los 45 años en el periodo de estudio (1964 – 2008), es igual a 71,57 m^3/s (tabla 9), tal como lo indica la legislación ecuatoriana el 10% de este promedio fue equivalente a 7.16 m^3/s , el mismo que según la reglamentación fue designado como caudal ecológico y cotejado paralelamente con el caudal mínimo observado (figura 10).

Tabla 8. Caudal promedio mensual del río Paute.

MESES	Qm (m ³ /s)
Enero	40.09
Febrero	54.65
Marzo	65.05
Abril	88.47
Mayo	92.27
Junio	112.80
Julio	110.51
Agosto	79.46
Septiembre	64.39
Octubre	58.18
Noviembre	49.06
Diciembre	43.92
Promedio	71.57

ELABORADO POR: Albarrasín Paola y Barrera Alexandra, 2020

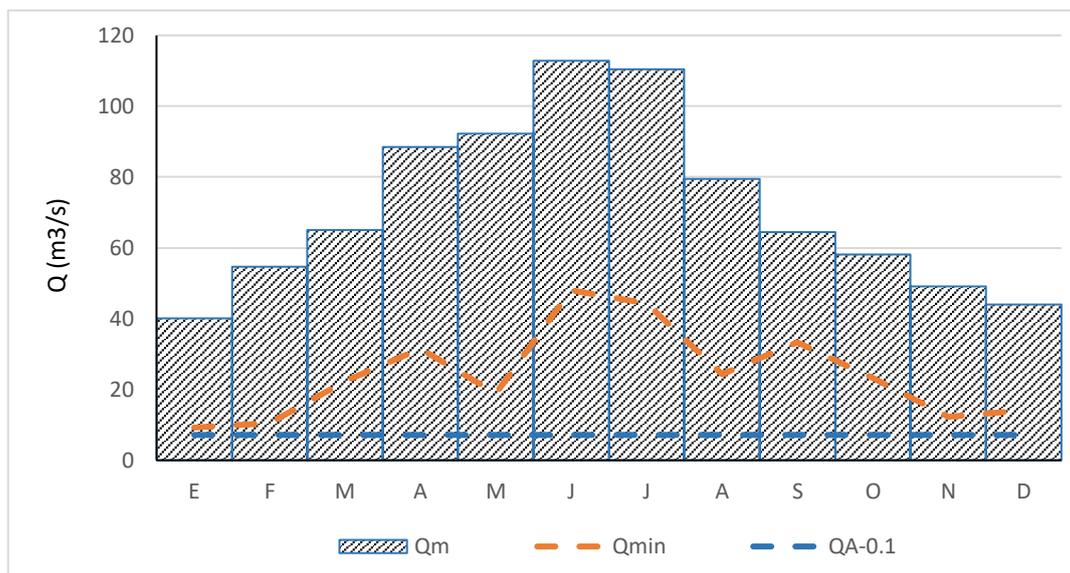


Figura 10. Caudal ecológico por el método de la legislación ecuatoriana.

ELABORADO POR: Albarrasín Paola y Barrera Alexandra, 2020

9.6. ANÁLISIS COMPARATIVO

Una vez completado el análisis del régimen de caudal del río Paute y mediante la aplicación de los métodos Rafael Heras, curva de permanencia, Tennant y Legislación ecuatoriana, se procedió a la propuesta del caudal ecológico que mejor se adaptará a las necesidades del sistema hídrico, el mismo se distinguió como el mejor resultado de los cuatro métodos mencionados, derivado del contraste de los valores de caudal ambiental obtenidos de cada método y el flujo mínimo natural observados dentro del periodo de estudio (figura 11).

El caudal ambiental del método de la curva de permanencia ($2.21 \text{ m}^3/\text{s}$), es menor en comparación al flujo mínimo mensual registrado (figura 11A), la sugerencia de este caudal podría impactar de manera negativa a la flora y fauna que colinda en el río Paute, al ser un sistema hídrico que usa el agua como base para sus actividades enfrentarse a sequías o condiciones de escasas pondría desencadenar escenarios futuros poco favorables e incluso poner en peligro el suministro de agua para actividades agrícolas y comprometer también de forma directa los servicios ambientales de la subcuenca.

Sin embargo, existen casos en donde el caudal ecológico por la curva de permanencia se ajusta de manera positiva a las necesidades hidrológicas del cauce, tal como sucede en el río Chambas, en donde el caudal ambiental indica que los valores que adopta favorecen a la preservación ecológica evitando generar consecuencias perjudiciales (Brown, Gallardo, Williams, Torres, 2016). El mismo resultado se replica en el estudio realizado por la Universidad Nacional de Cuyo en la cuenca del río Grande en Argentina en donde el caudal ambiental cumple con los indicadores requerimientos de manera que no existiría afectaciones ambientales (Infante, Salomón, Guisasola, Rodríguez, & Delgado, 2018). Entonces puede comprobarse que este método de estimación se ajusta las circunstancias del régimen de flujo.

EL caudal ambiental propuesto por el método de Rafael Heras (figura 11B), en comparación con el flujo mínimo observado en el período de estudio, resulta menor sobre todo en los meses de junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre, por lo que proponer este caudal podría crear conflictos en la preservación de las características hidrobiológicas del cauce, un resultado similar se encuentra en el realizado en el río Cutuchi, el caudal ecológico por el método de Rafael Heras se ubicaba por debajo del caudal mínimo, por lo que no se consideraba adecuado su recomendación, pues podría ocasionar alteraciones a nivel hidrológico a lo largo del cauce (Ilbay M, 2020), en otras palabras, produciría modificaciones en el entorno. Lo mismo se presume en el río Paute, sugerir el caudal ambiental del método de Rafael Heras induciría alta posibilidad de comprometer los servicios ecológicos y socioeconómicos de la subcuenca a largo plazo, es decir, los eventos de estiaje seguirán teniendo probabilidad de ocurrencia sobre el sistema y en conjunto con una gestión ambiental deficiente (caudal ecológico escaso), provocará severas condiciones de sequía arriesgando las diferentes actividades que dependan de este recurso.

Mucho se afirma que los métodos hidrológicos se juzgan como insuficientes para los nuevos requerimientos ambientales, es decir, considerar cierto porcentaje de flujo como caudal ambiental para un río es poco idóneo (Díez-Hernández, 2005), su mayor limitante es dejar a un lado la parte de las necesidades ecológicas del cauce, por lo que su uso va disminuyendo paulatinamente y se utiliza para integrar otros métodos (Aguilera & Pouilly, 2012). Esto concuerda con el análisis obtenido al aplicar el método sugerido en la legislación ecuatoriana, cabe recalcar que esta metodología ofrece un flujo ecológico estático que no considera los requerimientos biológicos del sitio y tampoco la inestabilidad que el caudal puede presentar. Tal como se observa en la (figura 11C), el caudal ambiental (Q_A), obtenido es inferior al flujo mínimo del periodo de estudio (1964–

2008), no podría asegurar entonces condiciones de conservación adecuadas para los nichos ecológicos del cauce, proponer este caudal como Q_A causaría conflicto en términos de requerimientos hidrológicos y conservación ambiental, especialmente en temporadas de estiaje, que tal como se observa en la figura 3 se extiende a más de seis meses al año y es en estos meses en donde mayor énfasis se debe hacer en cuanto al establecimiento de un flujo mínimo para la conservación.

La metodología de Tennant o montana desarrollada en los Estados Unidos es uno de los más difundidos a nivel mundial se estima al menos su uso en más de 20 países (Reiser et al., 1989), este consiste en una combinación entre la proporción anual del flujo natural y los atributos del hábitat, lo que el autor logró es un base de conservación en un río a través del producto del caudal medio con diferentes niveles de porcentajes, lo que en sí nos da una aproximación para la conservación (Aguilera & Pouilly, 2012).

Atendiendo a la sugerencia de Tennant del rango con mayor probabilidad de respetar las exigencias ecológicas del río Paute y además como se observa en la (figura 11D), los resultados obtenidos del caudal ecológico entre el rango 20%-30% (bueno), se encuentra cercado al flujo mínimo por lo que este permitirá proteger y conservar a la flora y fauna cercana a las riberas del río Paute. Este caudal ecológico no es inferior al caudal mínimo, especialmente en aquellos meses de estiaje en donde el caudal natural tiende a disminuir tomando valores verdaderamente alarmantes, de esta manera se respeta los procesos ecosistémicos y no se verá interrumpida las actividades antrópicas que se desarrollan en la subcuenca.

Estos resultados pueden contrastarse con los generados por Santacruz y Aguilar, los mismos consideraron al caudal ecológico del río Valles en México por el método de Tennant entre los rangos bueno y excepcional, sin embargo, en este caso se seleccionó el

rango excepcional debido al aumento del flujo registrado en los últimos 30 años, por lo que se concluyó establecer un caudal ecológico alto sobre todo para restringir que actividades de extracción de flujo tanto de uso agrícola como doméstica afecten las condiciones de conservación (Santacruz de León & Aguilar Robledo, 2009). En el río Paute el caudal no presenta variabilidad, es decir, se mantiene relativamente constante a lo largo del período de estudio y tal como se observa en la figura 9 el caudal ecológico bueno y excepcional se presentan como una alternativa óptima para la subsistencia ecológica, siendo el caso de este sistema hídrico el rango 20-30% el seleccionado.

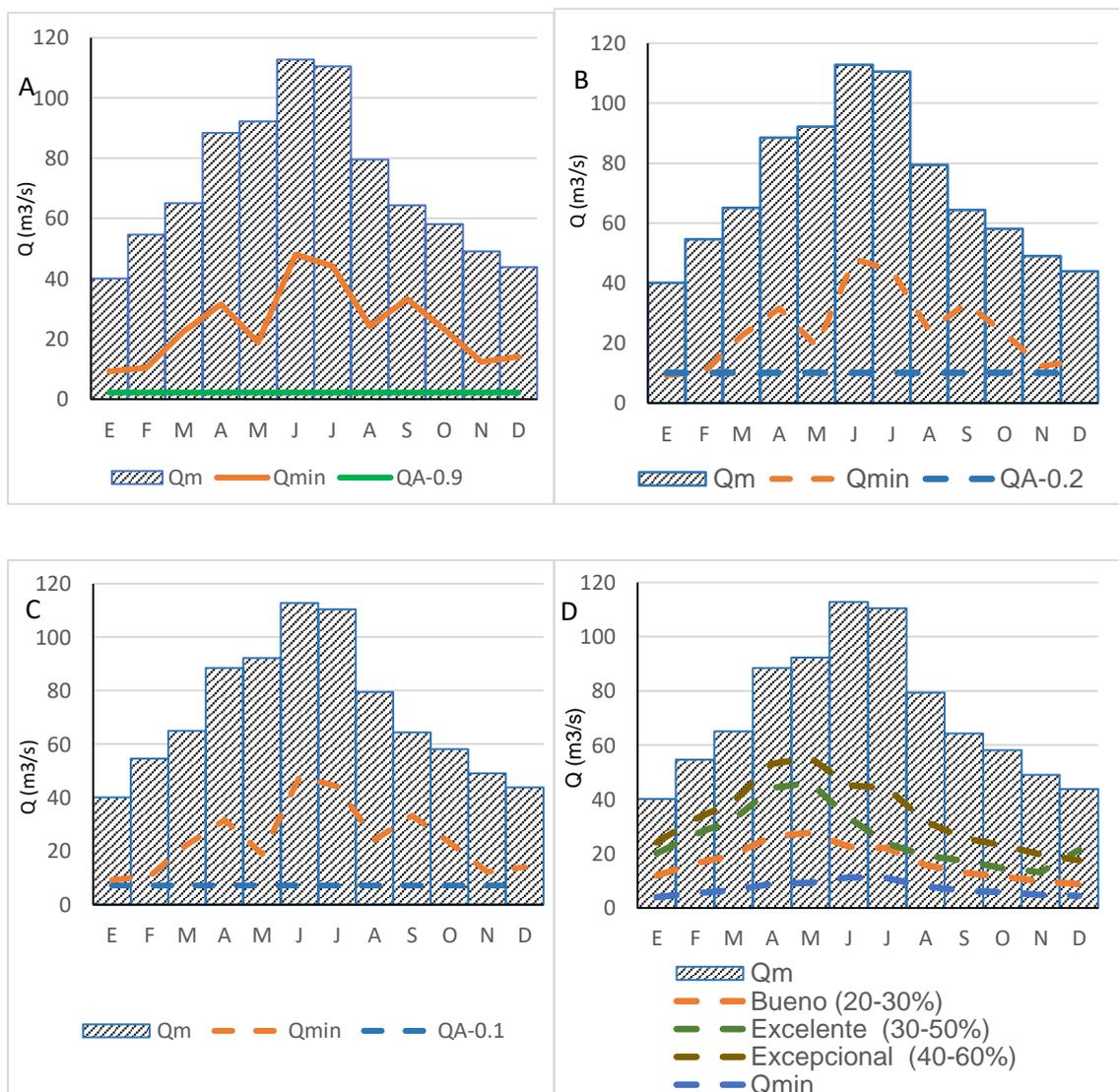


Figura 11. Caudal ecológico por los métodos: A) curva de permanencia, B) Rafael Heras, C) Tennant o Montana y D) legislación ecuatoriana.

ELABORADO POR: Albarrasín Paola y Barrera Alexandra, 2020

Tal como se destaca en los resultados obtenidos el caudal ecológico con el método de Tennant (bueno), es el que mejor se ajusta con respecto a las demás metodologías propuestas, por consiguiente, es obligatorio verificar si este cumple con lo establecido en la ley del uso de agua de Ecuador. Se observa en la figura que el caudal ambiental seleccionado (Tennant), es superior al 10% del flujo medio anual del río Paute, incluso en los meses de estiaje (S, O, N, D, E, F, M), cabe resaltar que en el mes de diciembre el caudal propuesto se encuentra arriesgadamente cerca del mínimo exigido por la ley, no obstante, esta no es menor, se mantiene por encima de la condición (figura 12). Se puede reconocer entonces a la selección del caudal ecológico de Tennant entre el rango del 20% al 30% como el mejor para establecer como caudal ecológico del río Paute.

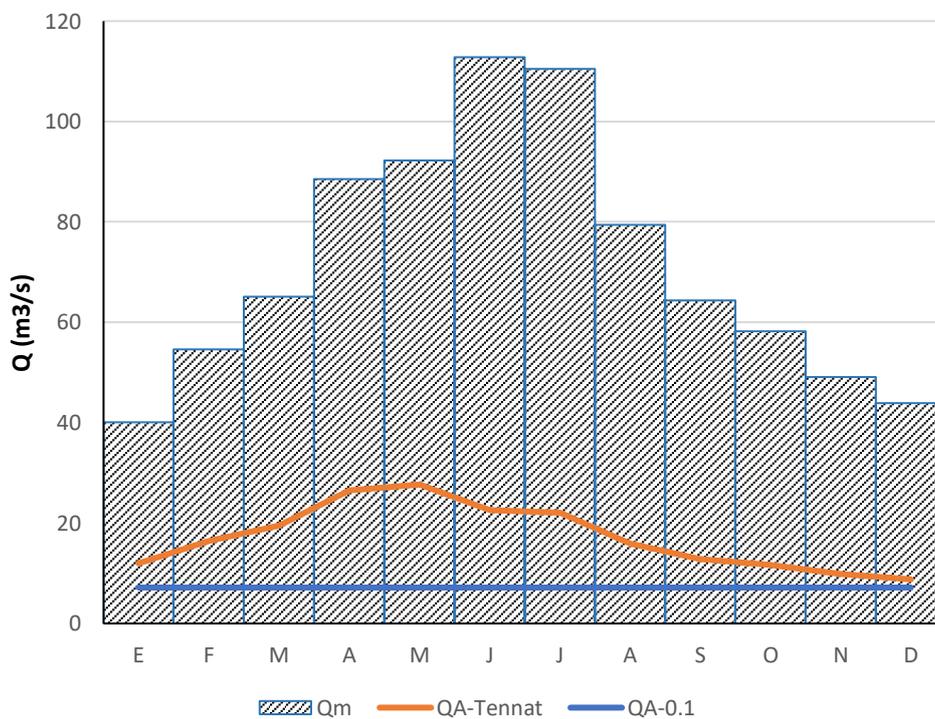


Figura 12 Comparación del caudal ambiental por el método de Tennant y la legislación ecuatoriana.

ELABORADO POR: Albarrasín Paola y Barrera Alexandra, 2020

10. CONCLUSIONES

El río Paute se caracteriza por mantener una corriente que fluye generalmente durante todo el año (perenne), su escurrimiento durante el periodo del registro histórico que va desde el año 1964 hasta el año 2008, presentó un caudal medio igual a $71.57 \text{ m}^3/\text{s}$, en los registros mensuales obtenidos dentro de los 45 años de estudio. No muestra alteración en la tendencia anual ni propensión al cambio en más del 60% de los meses sometidos a análisis, sin embargo, se debe recalcar las irregularidades del caudal en casi todos los años dentro del período, es decir, se observó años donde el caudal alcanzaba cúspides notoriamente pronunciadas que decrecen intempestivamente en sus años contiguos, por lo que representa una alarmante situación que claramente altera los ciclos hidrológicos del cauce, de los cuales dependen los ecosistemas colindantes, por ello se vuelve realmente importante establecer un caudal ambiental especialmente para épocas de estiaje, que sirva de reserva para mantener las condiciones necesarias para las diferentes especies tanto de flora como de fauna de la cuenca y no comprometer las necesidades de los hábitats aledaños a las riveras.

De acuerdo a los criterios cuantitativos y análisis comparativo de los cuatro métodos utilizados, el caudal ecológico sugerido es el obtenido por la metodología de Tennant o montana en el rango de 20 – 30% (bueno). Se estimó que el volumen anual de este caudal garantizará la calidad y condiciones necesarias para los distintos valores ecológicos de la cuenca, sin alterar o limitar las actividades de generación eléctrica, producción agrícola y ganadera desarrolladas por la población, que son consideradas como la base de la economía local.

Es realmente importante encontrar el punto de equilibrio que asegure no arriesgar los objetivos de desarrollo económico y social ni mucho menos los de protección ambiental,

por lo que, la elección del caudal ambiental se basó justamente en este principio llegando a la deducción de que el caudal ecológico del método de Tennant para una base de conservación buena, permite la conjunción de los parámetros necesarios para el desarrollo ambiental, social y económico del sistema hídrico. La sugerencia de un caudal ambiental inferior al que se ha indicado o incluso un caudal del 10% medio multianual tal como se lo menciona en la transitoria sexta del reglamento de la ley ecuatoriana, pondría en conflicto la subsistencia de la biota, lo que en términos ecológicos repercutiría de manera severa a mediano y largo plazo.

11. RECOMENDACIONES

Las metodologías utilizadas son de carácter hidrológico, es decir, se basan en análisis de series históricas de aforo, por lo que no estudian las exigencias que requieren los distintos nichos ecológicos de la cuenca, se recomienda entonces un análisis con métodos hidrobiológicos los cuales fundamentados en una o varias especies objetivo permitan simular distintos escenarios de hábitat bajo diferentes condiciones de flujo, puede conjugarse además técnicas holísticas que consideren los diferentes procesos, estructuras y funciones del río para establecer un caudal ecológico más específico y con mejor adaptación a las necesidades del sistema hídrico.

El estudio para establecer un caudal ecológico debe obligatoriamente llevarse a cabo bajo las condiciones biológicas, económicas y sociales propias de la subcuenca del río Paute, debido a la importancia productiva de este sistema hídrico, existe una clara desviación del caudal derivado de la existencia de la central hidroeléctrica Paute Integral, por lo tanto, es muy importante entender cuál es el nivel de flujo mínimo del cauce que permita tanto mantener la integridad del ecosistema como los usos antrópicos.

12. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, M., & Pouilly, G. (2012). Caudal ecológico: Definiciones, metodologías y adaptación a la región andina. *Acta zoológica lilloana*, 56 (1-2), 15-30. Obtenido de http://www.lillo.org.ar/revis/zoo/2012/v56n1_2/v56n1_2a02.pdf
- Araneda, R. (2017). *Estudio de Evaluación de la Peligrosidad por Sequías en la Cuenca del río Paute (Ecuador), Escenarios Presentes y Futuros*. Santander. Obtenido de https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/12665/TFM_Ronnie_Araneda.pdf?sequence=1
- Batanero, C., Estepa, A., & Godino, J. (1991). ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS: SUS POSIBILIDADES EN LA ENSEÑANZA SECUNDARIA. <https://www.ugr.es/~batanero/pages/ARTICULOS/anaexplora.pdf>.
- Brown Manrique, Oscar, Gallardo Ballat, Yurisbel, Williams Harriote, Patricio W., & Torres Martínez, Yuneisi. (2016). *Caudal ecológico del río Chambas en la provincia Ciego de Ávila. Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 37(1), 58-71. Obtenido de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382016000100005&lng=es&tlng=es.
- Castellanos Domínguez, O. F., Fúquene Montañez, A. M., & Ramírez Martínez, D. C. (2011). *Análisis de tendencias: De la información hacia la innovación*. Universidad Nacional de Colombia, BioGestión.
- Concejo Nacional de electricidad (CONELEC). (2006-2015). *Plan maestro de electrificación. Ecuador*. Obtenido de: <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Plan%20de%20Electrificaci%C3%B3n%202006-2015.pdf>

Constitución de la República del Ecuador. (2008). Registro Oficial 449 de 20 de octubre de 2008. Obtenido de: <https://www.wipo.int/edocs/lexdocs/laws/es/ec/ec030es.pdf>

Cordero, I. (2013). *Evaluación de la gestión territorial de la cuenca del río Paute, estrategias y líneas de acción para superarlas*. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/3358/1/TESIS%20.pdf>

Corporación Eléctrica del Ecuador. (2008). Hidropaute. Monsalve Moreno. Obtenido de https://www.celec.gob.ec/hidropaute/images/stories/INFORMES_DE_GESTION/ANTERIORES/2008.pdf

Díez-Hernández, J.M. (2005). Bases metodológicas para el establecimiento de caudales ecológicos en el ordenamiento de cuencas hidrográficas. Ingeniería y Competitividad 9. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2913/291323478002.pdf>

Donoso, E. (2002). *La cuenca del río Paute: diagnóstico y propuesta de manejo integral. Políticas de desarrollo agropecuario*. Obtenido de: <http://200.41.82.22/bitstream/10469/985/22/TFLACSO-02-2002MECD.pdf>

Dualiby, Y. (2006). *Metodologías para la determinación de los caudales ecológicos en el manejo de los recursos hídricos*. Disponible en: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tecges/article/view/4333/6342>

Espinoza, J. C. (s. f.). *El Método del Vector Regional de índices pluviométricos*. 9.

Faustino, J & García, S. (2001). *Enfoques y criterios prácticos para aplicar el manejo de cuencas*. San Salvador, El Salvador, Visión Mundial. 125 p.

Gabienete Hisoano de Ingeniería (GHI) e Iberinsa- Caminosa y Canales. Ltda. (2009).

PLAN MAESTRO DE LA CUENCA DEL RÍO PAUTE. Cuenca.

Gonzales, J., & Aparicio, M. (2009). *Aprendiendo a adaptarnos al cambio climático en los ámbitos locales. Una experiencia de adaptación a nivel local en las regiones de montaña de Bolivia.* Tecnología y Sociedad, 53-63.

Guerra, C. (2003). *Estadística. Editorial Félix Varela.* Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/utcotopaxi/71785?page=324>

Hall, F.R. (1968). *Ase-Flow Recessions-A Review. Water Resour. Res. 4, 973–983.*

Disponible en: <https://doi.org/10.1029/WR004i005p00973>

Henríquez Opazo, O. (2013). *Guía análisis y zonificación de cuencas hidrográficas para el ordenamiento territorial.* Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, Gobierno de Chile.

Heras, R. (1976). *Hidrología y recursos hidráulicos. Dirección General de Obras Hidráulicas - Centro de Estudios Hidrográficos, Madrid Hardcover.* Disponible en: <https://www.iberlibro.com/HIDROLOG%C3%8DA-RECURSOS-HIDR%C3%81ULICOS-Tomo-1-HERAS/9788106295/bd>

INEC. (2010) Resultados del censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador.

Fascículo provincial Azuay. Disponible en:

<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu->

[lateral/Resultados-provinciales/azuay.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/azuay.pdf)

- Infante, P., Salomón, M., Guisasola, L., Rodríguez, S., & Delgado, J. (Junio de 2018). Caudales ecológicos en el Río Grande. Obtenido de https://bdigital.uncuyo.edu.ar/objetos_digitales/11289/infante.pdf
- Ilbay, M., Albarrasin, P., García, V. (2020). Determinación de caudales ecológicos en el río Cutuchi, Ecuador. *Revista Bases de la Ciencia*, 5(2), 33-52. DOI: 10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v5i2.2401. Recuperado de: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/article/view/2401>
- Jiménez, J., Calvo, J., Pizarro, F., & Gonzáles, E. (2005). *Conceptualización de Caudal Ambiental Costa Rica: Determinación Inicial para el río Tempisque*. UICN.
- León, G. S. (1999). *Análisis hidrográfico e hipsométrico de la cuenca alta y media del río Chama, estado Mérida, Venezuela*. 33.
- Martínez, J. (2006). *Revista Científica "Visión de futuro"*. Obtenido de ENFOQUE SISTÉMICO EN LA INVESTIGACIÓN DE CUENCAS HIDROGRAFICAS. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3579/357935464003.pdf>
- Ministerio del Ambiente (MAE). (2017). *Código Orgánico del Ambiente, Registro Oficial Suplemento 983 de 12 de abril de 2017 de la Dirección Nacional, Jurídica Departamento de Normativa Tributaria*. Disponible en: https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf
- Moran, W. (1989). *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*. CONCYTEC PUCP. 236 P. Disponible en: <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/28689/hidrologia.pdf>

- Moreno, M. (2008). *Metodología y determinación de caudales ambientales en la cuenca del río Pastaza*. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/722>
- Núñez, M. A. (2011). *La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos*. 5, 12.
- Reiser, D.W., Ramey, M.P., Beck, S., Lambert, T.R. y Geary, R.E. 1989. Flusing flow recommendations for maintenance of salmonid spawning gravels in a steep, regulated stream. *Reg. Rivers*, 3: 267-275.
- Sandoval, W., & Aguilera, E. (2014). *DETERMINACIÓN DE CAUDALES EN CUENCAS CON POCO INFORMACIÓN HIDROLÓGICA*. Obtenido de Repositorio digital de la Universidad Estatal de Milagro: <http://repositorio.unemi.edu.ec/handle/123456789/3072>
- Santacruz de León, G., & Aguilar, R. M. (2009). *Estimación de los caudales ecológicos en el Río Valles con el método Tennant*. Obtenido de *Hidrobiológica*, 19(1), 25-32: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972009000100004&lng=es&tlng=es
- SENAGUA. (2014). *Ley Orgánica de Recursos Hídricos, uso y Aprovechamiento del Agua*. Registro oficial N° 305. Disponible en: <https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/LEYD-E-RECURSOS-HIDRICOS-II-SUPLEMENTO-RO-305-6-08-204.pdf>
- Silveira, L., & Silveira, L. (2001). *Hidrología Aplicada*. Porto Alegre, Brasil: ABRH.
- Smakhtin, V.U., (2001). *Low flow hydrology: a review*. *Journal of Hydrology* 240, 147–186. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00340-1](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00340-1)

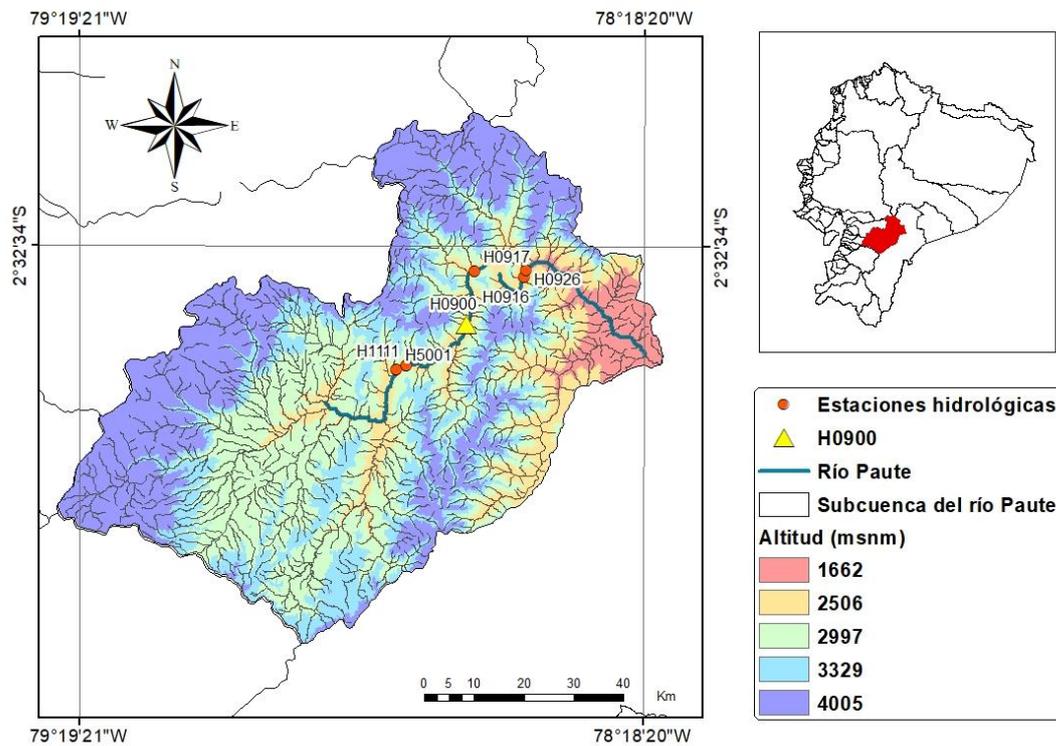
Tennant, D.L. (1976). *Instream Flow Regimens for Fish, Wildlife, Recreation and Related Environmental Resources*. Fisheries 1, 6–10. Disponible en: [https://doi.org/10.1577/1548-8446\(1976\)001<0006:IFRFFW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8446(1976)001<0006:IFRFFW>2.0.CO;2)

UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO. (2011). *ESTIMACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MEDIANTE MÉTODOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS PARA LA UCM RÍO QUINDÍO*. Obtenido de https://www.crq.gov.co/Documentos/Estimacion_Caudales_Ecologicos_UMC_Rio_Quindio.pdf

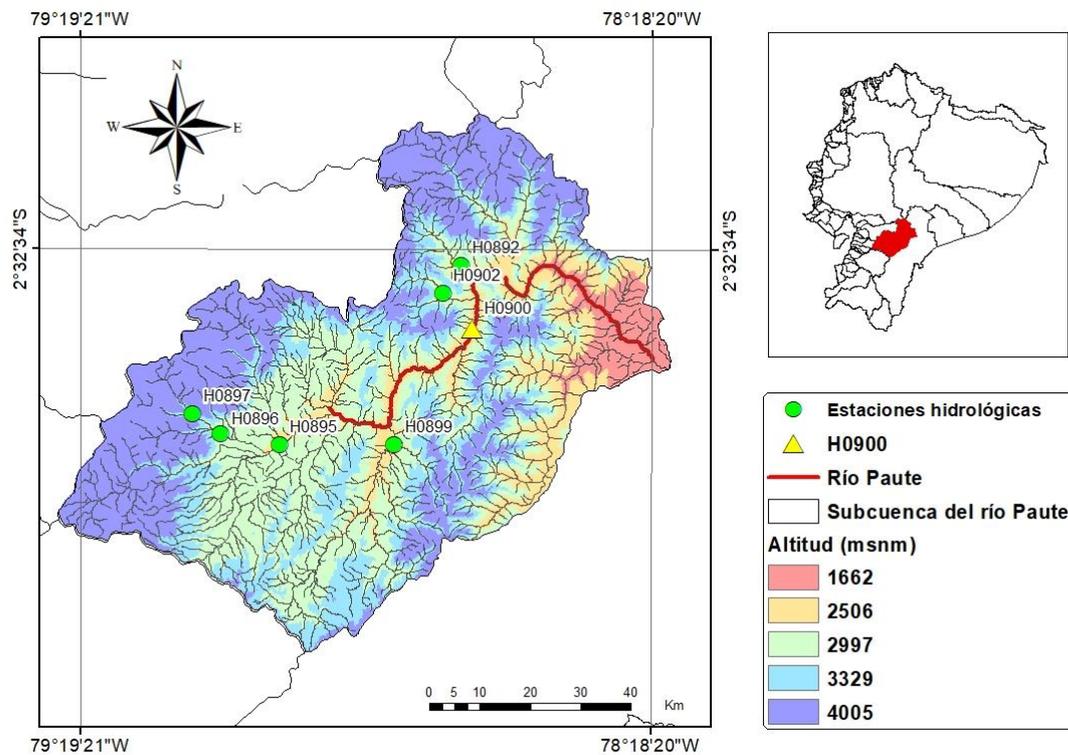
Villón, M. (2004). *Hidrología*. Tecnológica de Costa Rica.

13. ANEXOS

Anexo 1. Delimitación de la subcuenca del río Paute y distribución de las estaciones hidrológicas



Anexo 2. Distribución espacial de las estaciones hidrológicas utilizadas para completar la estación H0900 por MVR.



Anexo 3. Resultados de la recopilación de datos hidrológicos

Código	Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
H0900	1964	46.3	36.0	46.9	98.2	127.6	161.8	86.1	112.6	145.2	48.3	36.2	16.8
H0900	1965	21.5	30.7	34.2	57.0	96.5	144.7	120.0	68.3	82.1	59.8	85.5	30.6
H0900	1966	91.5	47.4	59.4	71.1	48.0	59.5	84.5	70.1	34.3	37.2	19.9	20.6
H0900	1967	53.1	36.3	32.1	53.7	108.4	116.0	152.6	129.1	56.1		36.5	30.9
H0900	1968	52.2	19.1	68.1	67.6	39.6	64.2	147.3	93.0	64.1	72.5	34.6	14.1
H0900	1969	24.1	54.7	42.1	129.7	71.7	88.9	93.4	93.4	69.4	36.0	57.6	78.6
H0900	1970	68.5	128.6	88.3	92.3	96.9	173.6	102.2	124.5	89.7	61.8	55.5	65.2
H0900	1971	50.2	65.0	119.8	94.8	57.7	89.1	121.7	88.1	94.9	65.7	31.1	28.9
H0900	1972	71.5	56.0	70.5	75.6	76.9	102.6	153.6	60.7	95.6	62.7	72.1	53.3
H0900	1973	66.5	84.8	64.0	89.7	86.9	82.7	106.2	111.8	87.2	39.8	33.4	
H0900	1974	28.0	71.5	56.0	47.9	108.8	69.7	133.5	82.4	96.3	128.0	79.5	72.2
H0900	1975	72.6	66.4	106.7	85.0	119.5	203.4	139.0	163.5	75.1	90.7	74.9	36.9
H0900	1976	52.5	48.1	58.1	138.1	160.9	175.8	213.6	133.6	67.3	33.6	41.9	36.9
H0900	1977	32.9	68.4	33.9	70.8	18.9	111.5	71.2	43.3	65.4	47.8	19.0	25.7
H0900	1978	22.7	31.8	74.3	114.9	69.3	153.3	109.4	101.7	65.7	111.8	28.2	21.8
H0900	1979	15.7	10.5	39.2	84.3	75.0	61.7	53.3	53.2	33.3	26.0	16.5	30.6
H0900	1980	19.0	25.9	41.1	110.2	59.3	107.2	110.4	61.2	55.6	72.4	46.0	35.5
H0900	1981	29.7	49.2	72.2	78.9	49.3	64.4	70.8	36.4	37.1	33.0	22.9	36.1
H0900	1982	28.5	21.9	23.4	62.4	74.2	53.7	73.9	74.6	46.6	61.2	59.6	76.3
H0900	1983	65.7	69.2	66.6	91.7	79.6							
H0900	1984												
H0900	1985	29.4	29.3	26.7	31.6	55.9	179.2	145.4	90.4	45.1	39.7	37.0	29.0
H0900	1986		30.3	34.9	89.4	75.1	81.0	152.3	60.0	83.2	68.6	70.5	43.1
H0900	1987	38.2	102.0	80.1	87.5	116.2	95.0	95.8	67.8	73.9	60.8	32.2	42.6
H0900	1988	40.1	74.3	40.3	132.9		72.7	104.6	46.9	39.7	85.8	86.1	40.2
H0900	1989	75.9	99.1	127.3	74.6	137.7	193.8	189.6	66.8	50.0	91.4	49.1	24.3
H0900	1990	40.5	44.9	72.1	77.3	77.6	162.8	96.1	87.3	52.9	65.2	54.7	46.7
H0900	1991	31.8	77.6	67.5	72.4	70.7	143.2	161.7	97.0	58.7	44.5	54.7	32.5
H0900	1992	24.2		70.7	74.3	42.3	115.8	81.0	43.8	48.2	35.1	29.9	
H0900	1993												
H0900	1994	9.2	54.8	28.6	109.8	116.6	152.8	141.8	145.8	111.3	56.5	76.1	
H0900	1995	27.6	15.0	22.4	37.5	85.3	72.2	87.4	24.2	34.2	23.3	56.1	53.3
H0900	1996	32.5	94.7	92.2	95.8	121.8	85.7	137.3	75.9	62.5	61.0	31.6	34.8
H0900	1997	22.8	55.9	94.8	95.4	167.5	48.0	144.4	98.0	58.9	41.9	95.1	82.1
H0900	1998												
H0900	1999												
H0900	2000												
H0900	2001												
H0900	2002					105.4	81.6	121.2	73.5	44.3	49.3	83.0	50.3
H0900	2003	36.1	38.0	40.6	73.6	166.6	79.7	87.5	55.7	47.2	44.7	44.4	62.0
H0900	2004	30.7	18.7	60.2	54.8	73.7	166.5	74.0	72.1	62.5	45.2	41.6	49.2
H0900	2005	14.8	56.7	94.4	107.0	81.7	127.1	69.5	41.1	34.8	33.5	40.3	52.4
H0900	2006	49.6	66.0	63.4	91.4	75.7	64.8	72.2	52.2	48.1	32.3	56.0	56.8
H0900	2007	52.0	30.3	58.0	101.2	90.3	202.6	52.1	64.0	40.0	41.6	88.1	48.7
H0900	2008	46.0	119.1	98.8	98.7	111.3	103.7	113.1	67.5	82.5	69.4	81.7	46.6

Anexo 4. Resultados de la completación de datos hidrológicos por el método de la media aritmética (verde) y MVR (rojo)

Código	Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
H0900	1964	46.3	36.0	46.9	98.2	127.6	161.8	86.1	112.6	145.2	48.3	36.2	16.8
H0900	1965	21.5	30.7	34.2	57.0	96.5	144.7	120.0	68.3	82.1	59.8	85.5	30.6
H0900	1966	91.5	47.4	59.4	71.1	48.0	59.5	84.5	70.1	34.3	37.2	19.9	20.6
H0900	1967	53.1	36.3	32.1	53.7	108.4	116.0	152.6	129.1	56.1	65.5	36.5	30.9
H0900	1968	52.2	19.1	68.1	67.6	39.6	64.2	147.3	93.0	64.1	72.5	34.6	14.1
H0900	1969	24.1	54.7	42.1	129.7	71.7	88.9	93.4	93.4	69.4	36.0	57.6	78.6
H0900	1970	68.5	128.6	88.3	92.3	96.9	173.6	102.2	124.5	89.7	61.8	55.5	65.2
H0900	1971	50.2	65.0	119.8	94.8	57.7	89.1	121.7	88.1	94.9	65.7	31.1	28.9
H0900	1972	71.5	56.0	70.5	75.6	76.9	102.6	153.6	60.7	95.6	62.7	72.1	53.3
H0900	1973	66.5	84.8	64.0	89.7	86.9	82.7	106.2	111.8	87.2	39.8	33.4	33.1
H0900	1974	28.0	71.5	56.0	47.9	108.8	69.7	133.5	82.4	96.3	128.0	79.5	72.2
H0900	1975	72.6	66.4	106.7	85.0	119.5	203.4	139.0	163.5	75.1	90.7	74.9	36.9
H0900	1976	52.5	48.1	58.1	138.1	160.9	175.8	213.6	133.6	67.3	33.6	41.9	36.9
H0900	1977	32.9	68.4	33.9	70.8	18.9	111.5	71.2	43.3	65.4	47.8	19.0	25.7
H0900	1978	22.7	31.8	74.3	114.9	69.3	153.3	109.4	101.7	65.7	111.8	28.2	21.8
H0900	1979	15.7	10.5	39.2	84.3	75.0	61.7	53.3	53.2	33.3	26.0	16.5	30.6
H0900	1980	19.0	25.9	41.1	110.2	59.3	107.2	110.4	61.2	55.6	72.4	46.0	35.5
H0900	1981	29.7	49.2	72.2	78.9	49.3	64.4	70.8	36.4	37.1	33.0	22.9	36.1
H0900	1982	28.5	21.9	23.4	62.4	74.2	53.7	73.9	74.6	46.6	61.2	59.6	76.3
H0900	1983	65.7	69.2	66.6	91.7	79.6	50.9	44.3	45.2	50.7	111.3	40.6	45.0
H0900	1984	40.1	103.4	71.3	103.2	92.3	88.4	108.9	78.8	58.7	59.3	27.7	51.7
H0900	1985	29.4	29.3	26.7	31.6	55.9	179.2	145.4	90.4	45.1	39.7	37.0	29.0
H0900	1986	37.6	30.3	34.9	89.4	75.1	81.0	152.3	60.0	83.2	68.6	70.5	43.1
H0900	1987	38.2	102.0	80.1	87.5	116.2	95.0	95.8	67.8	73.9	60.8	32.2	42.6
H0900	1988	40.1	74.3	40.3	132.9	77.5	72.7	104.6	46.9	39.7	85.8	86.1	40.2
H0900	1989	75.9	99.1	127.3	74.6	137.7	193.8	189.6	66.8	50.0	91.4	49.1	24.3
H0900	1990	40.5	44.9	72.1	77.3	77.6	162.8	96.1	87.3	52.9	65.2	54.7	46.7
H0900	1991	31.8	77.6	67.5	72.4	70.7	143.2	161.7	97.0	58.7	44.5	54.7	32.5
H0900	1992	24.2	17.0	70.7	74.3	42.3	115.8	81.0	43.8	48.2	35.1	29.9	21.2
H0900	1993	36.1	44.4	92.3	108.5	71.8	93.0	98.0	62.3	80.7	63.9	57.2	81.0
H0900	1994	9.2	54.8	28.6	109.8	116.6	152.8	141.8	145.8	111.3	56.5	76.1	68.2
H0900	1995	27.6	15.0	22.4	37.5	85.3	72.2	87.4	24.2	34.2	23.3	56.1	53.3
H0900	1996	32.5	94.7	92.2	95.8	121.8	85.7	137.3	75.9	62.5	61.0	31.6	34.8
H0900	1997	22.8	55.9	94.8	95.4	167.5	48.0	144.4	98.0	58.9	41.9	95.1	82.1
H0900	1998	36.1	56.3	66.2	93.2	81.7	96.0	167.9	94.3	39.4	46.6	60.9	23.0
H0900	1999	38.5	85.7	87.0	158.1	158.0	111.4	97.9	82.4	49.7	72.4	21.5	78.0
H0900	2000	28.4	75.8	115.5	142.9	197.5	132.0	90.6	85.9	64.4	62.7	12.3	26.0
H0900	2001	33.6	32.1	72.5	70.1	76.8	192.7	95.6	95.2	115.1	58.2	28.4	43.9
H0900	2002	39.9	16.6	52.3	86.4	105.4	81.6	121.2	73.5	44.3	49.3	83.0	50.3
H0900	2003	36.1	38.0	40.6	73.6	166.6	79.7	87.5	55.7	47.2	44.7	44.4	62.0
H0900	2004	30.7	18.7	60.2	54.8	73.7	166.5	74.0	72.1	62.5	45.2	41.6	49.2
H0900	2005	14.8	56.7	94.4	107.0	81.7	127.1	69.5	41.1	34.8	33.5	40.3	52.4
H0900	2006	49.6	66.0	63.4	91.4	75.7	64.8	72.2	52.2	48.1	32.3	56.0	56.8
H0900	2007	52.0	30.3	58.0	101.2	90.3	202.6	52.1	64.0	40.0	41.6	88.1	48.7
H0900	2008	46.0	119.1	98.8	98.7	111.3	103.7	113.1	67.5	82.5	69.4	81.7	46.6

Anexo 5. Tabla de resumen del caudal mínimo, máximo y medio interanual de la estación H0900

Meses	Qmin	Qmax	Qm
Enero	9.24	91.5	40.09
Febrero	10.51	128.6	54.65
Marzo	22.40	127.3	65.05
Abril	31.59	158.1	88.47
Mayo	18.89	197.5	92.27
Junio	48.02	203.4	112.80
Julio	44.30	213.6	110.51
Agosto	24.23	163.5	79.46
Septiembre	33.31	145.2	64.39
Octubre	23.31	128.0	58.18
Noviembre	12.30	95.1	49.06
Diciembre	14.09	82.1	43.92
Caudal medio anual	48.02	82.11	71.57

Anexo 6. Resumen del análisis estadístico de datos

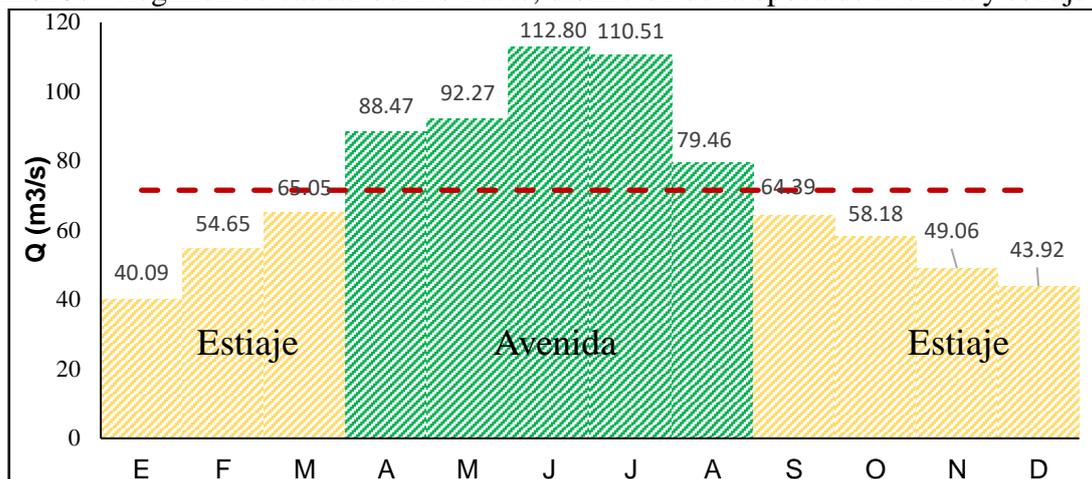
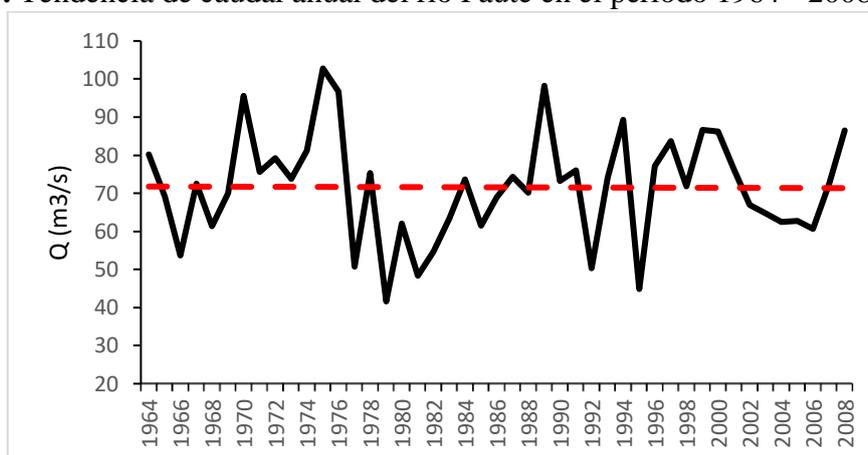
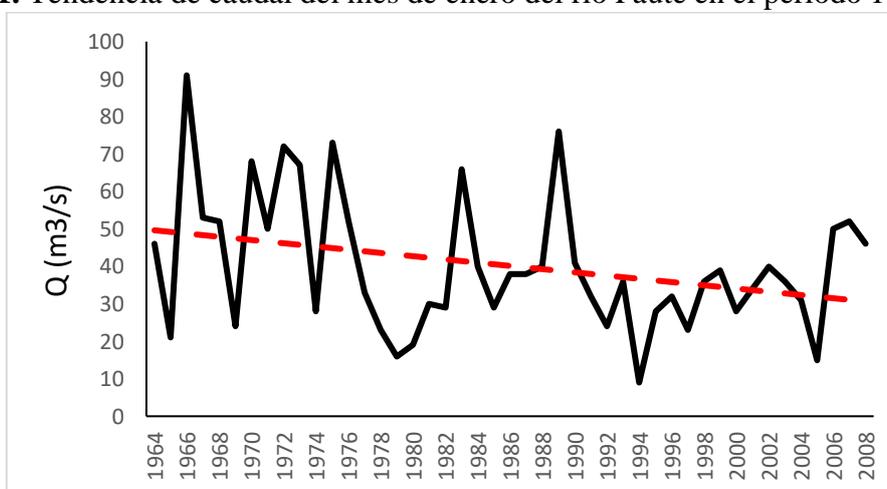
Datos	Valor
PROMEDIO Q	71.57
DESV. ESTA	37.53
COEF. VAR	0.52
MODA	87.51
MEDIANA	66.58
CURTOSIS	4.06
SIMETRIA	1.01

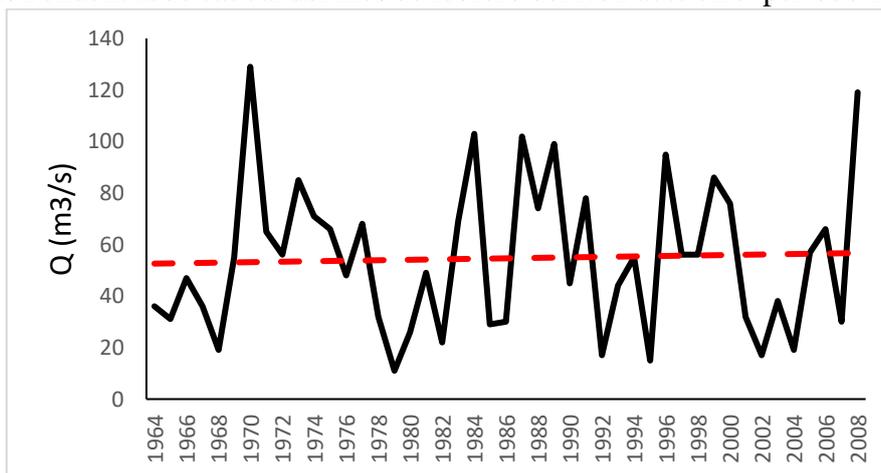
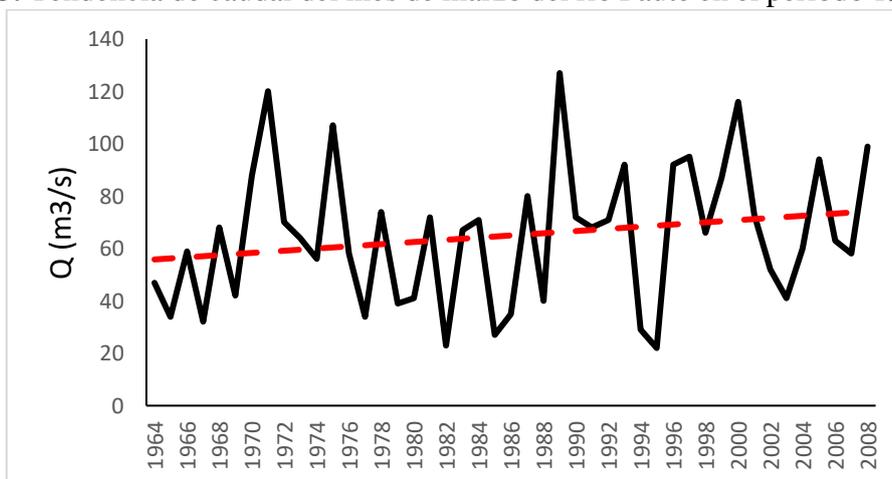
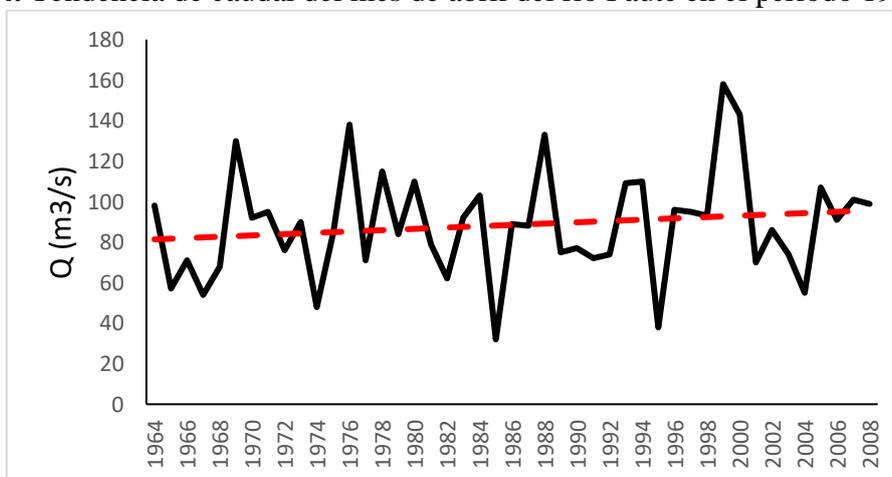
Anexo 7. Distribución de Fisher para la concentración de valores (curtosis).

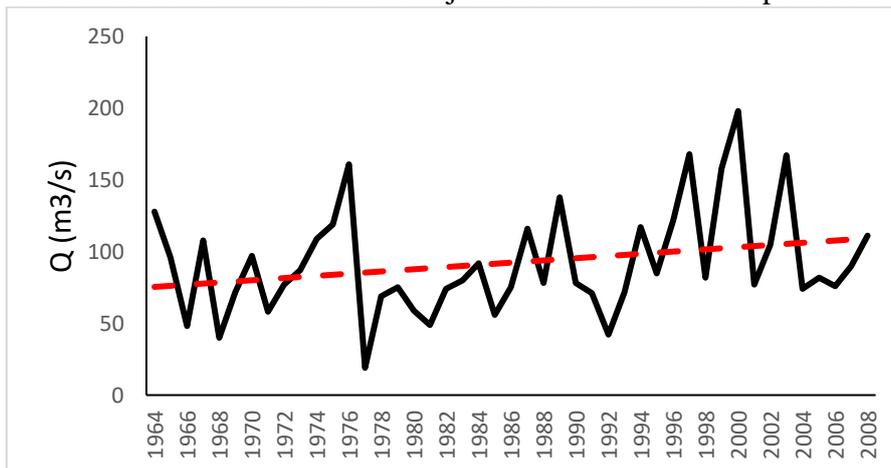
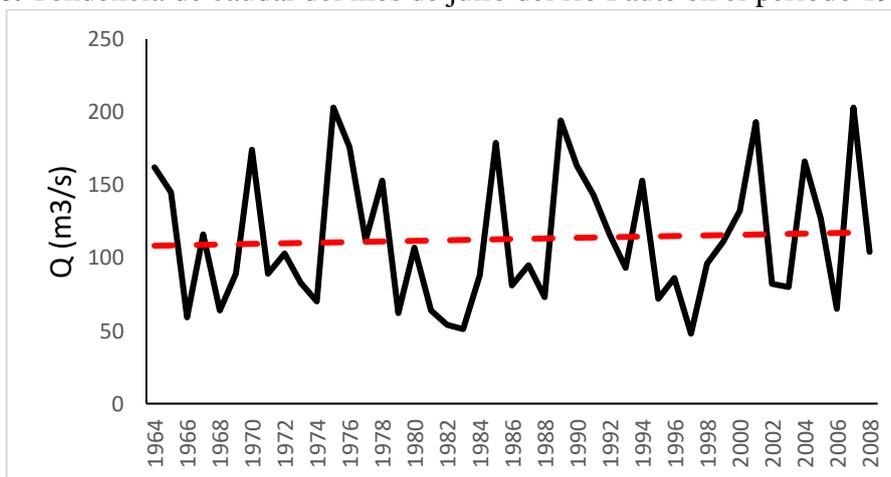
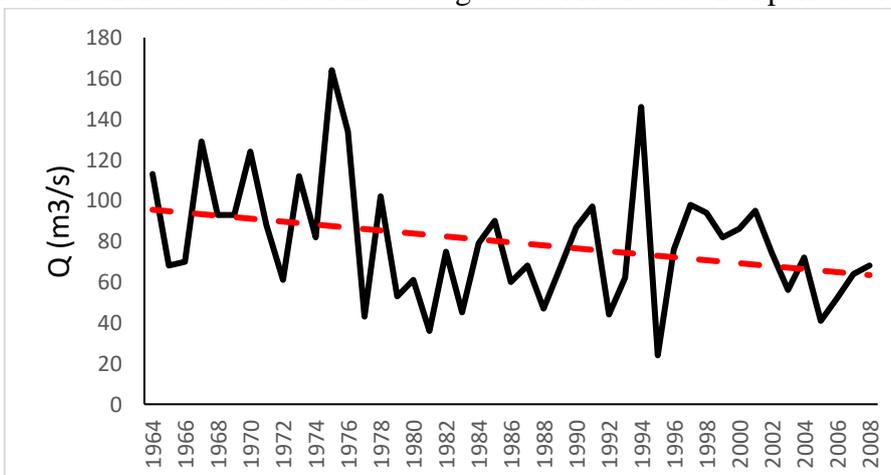
Medida de Fisher	Tipo de distribución	Descripción
>3	Leptocurtica	La gran mayoría de los valores se encuentra concentrados en la media
3	Mesocurtica	Concentración normal de los valores
<3	Platicurtica	La gran mayoría de los valores presentan baja concentración en la media

Anexo 8. Distribución de Fisher para la asimetría de valores (asimetría).

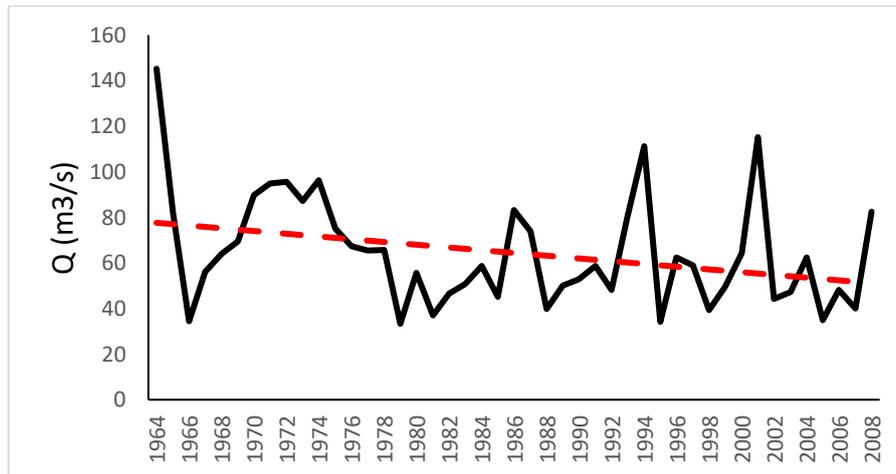
Coefficiente de asimetría	tipo de distribución	significa que
>0	asimetría positiva (desplazada a la derecha)	$X > Md > Mo$
0	Simetría	$X = Md = Mo$
<0	asimétrica negativa (desplazada a la izquierda)	$X < Md < Mo$

Anexo 9. Régimen de caudal del río Paute, distinción de la época de avenida y estiaje**Anexo 10.** Tendencia de caudal anual del río Paute en el período 1964 - 2008**Anexo 11.** Tendencia de caudal del mes de enero del río Paute en el período 1964 - 2008

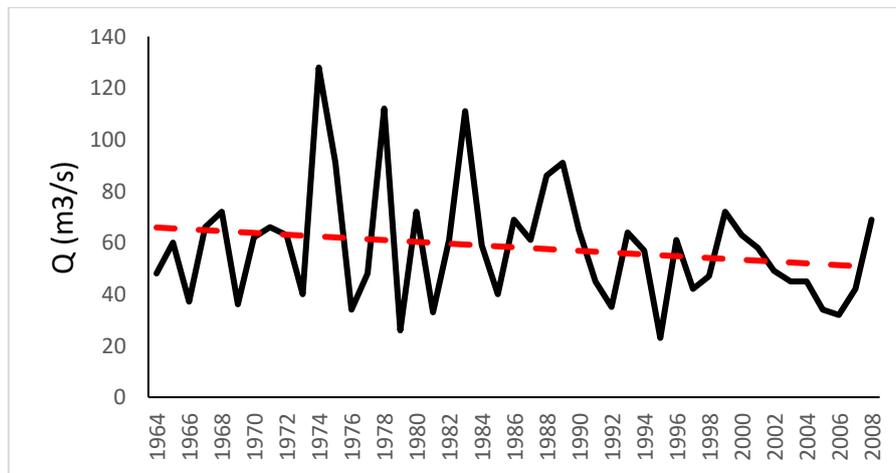
Anexo 12. Tendencia de caudal del mes de febrero del río Paute en el período 1964 - 2008**Anexo 13.** Tendencia de caudal del mes de marzo del río Paute en el período 1964 - 2008**Anexo 14.** Tendencia de caudal del mes de abril del río Paute en el período 1964 - 2008

Anexo 15. Tendencia de caudal del mes de junio del río Paute en el período 1964 - 2008**Anexo 16.** Tendencia de caudal del mes de julio del río Paute en el período 1964 - 2008**Anexo 17.** Tendencia de caudal del mes de agosto del río Paute en el período 1964 - 2008

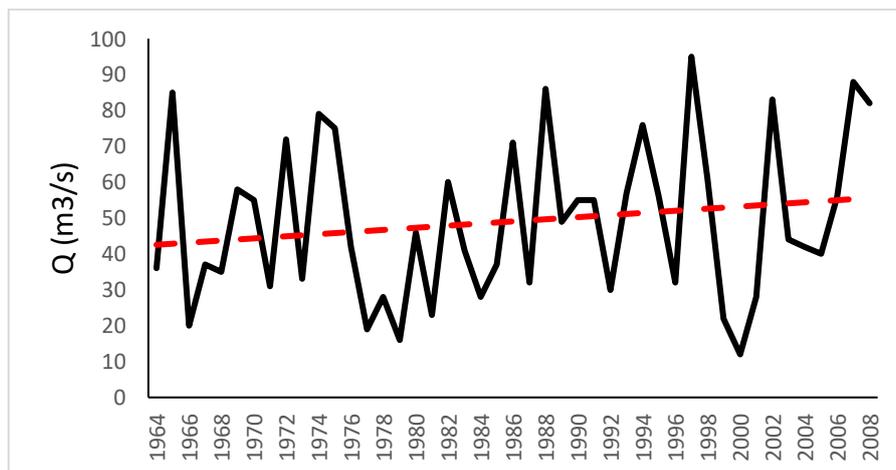
Anexo 18. Tendencia de caudal del mes de septiembre del río Paute en el período 1964 - 2008



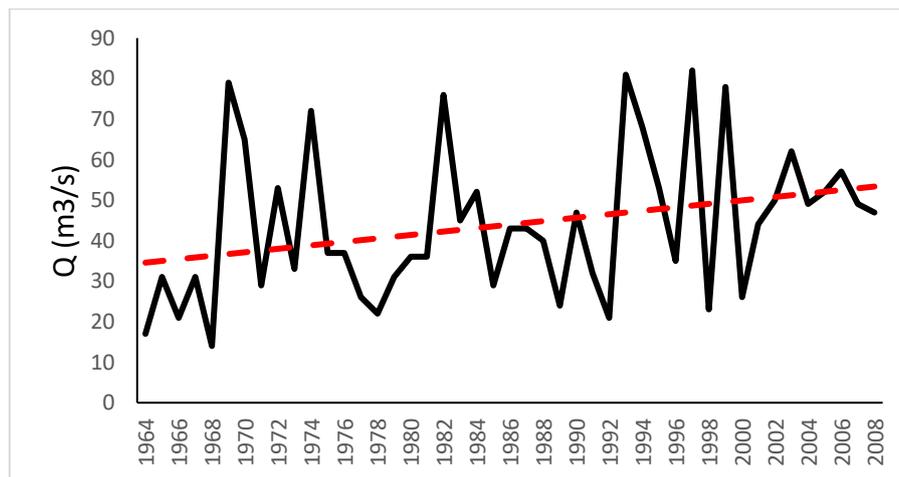
Anexo 19. Tendencia de caudal del mes de octubre del río Paute en el período 1964 - 2008



Anexo 20. Tendencia de caudal del mes de noviembre del río Paute en el período 1964 - 2008



Anexo 21. Tendencia de caudal del mes de diciembre del río Paute en el período 1964 - 2008



Anexo 22. Cuadro resumen para obtener el caudal excedido al 90%

Caudal (m ³ /s)	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
213.57	2.00	0.88	0.88
196.54	1.00	0.00	0.88
179.52	5.00	0.00	0.88
162.49	5.00	2.19	3.07
145.46	6.00	2.63	5.70
128.44	9.00	3.95	9.65
111.41	25.00	10.96	20.61
94.38	33.00	14.47	35.09
77.35	42.00	18.42	53.51
60.33	48.00	21.05	74.56
43.30	36.00	15.79	90.35
26.27	15.00	6.58	96.93
9.24	1.00	0.44	97.37
Σ	228.00	97.37	

Anexo 23. Interpolación lineal del caudal al 90%.

$$Y = Y_0 + \frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0} (X - X_0)$$

Caudal (m ³ /s)	Porcentaje
----------------------------	------------

Y ₀ = 43.30	X ₀ = 90.35
------------------------	------------------------

$$Y=? \quad X=90$$

$$Y_1=26.27 \quad X_1=96.93$$

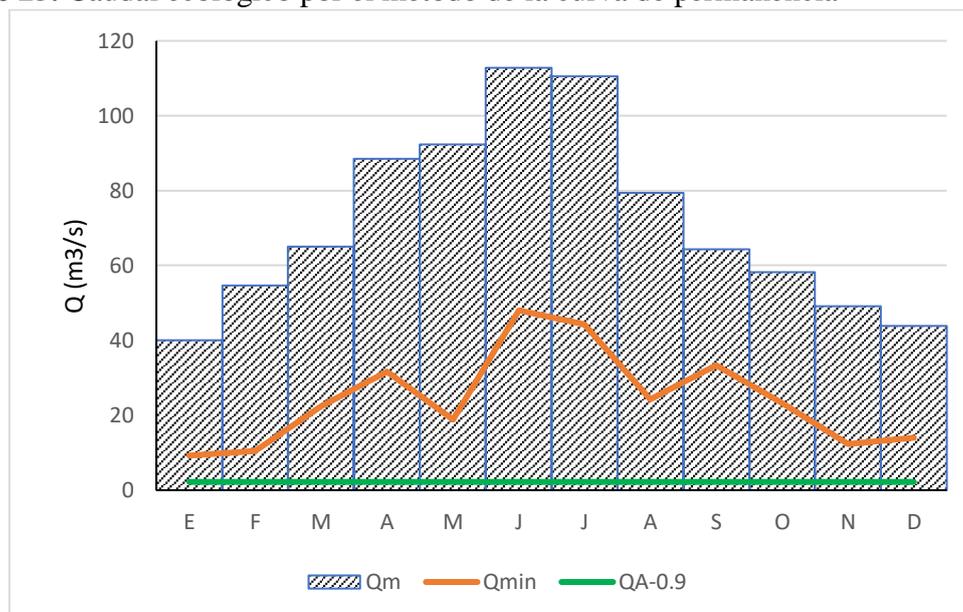
$$Y = 43.3 + \frac{26.27 - 43.3}{96.3 - 90.35} (90 - 90.35)$$

$$Y = 44.21 \text{ m}^3/\text{s}$$

Anexo 24. Cuadro resumen de caudal ecológico por medio de la curva de permanencia

Meses	Qmin	Qm	QA-0.9
E	9.24	40.09	2.21
F	10.51	54.65	2.21
M	22.40	65.05	2.21
A	31.59	88.47	2.21
M	18.89	92.27	2.21
J	48.02	112.80	2.21
J	44.30	110.51	2.21
A	24.23	79.46	2.21
S	33.31	64.39	2.21
O	23.31	58.18	2.21
N	12.30	49.06	2.21
D	14.09	43.92	2.21

Anexo 25. Caudal ecológico por el método de la curva de permanencia



Anexo 26. Media de los tres meses con caudal interanual crítico

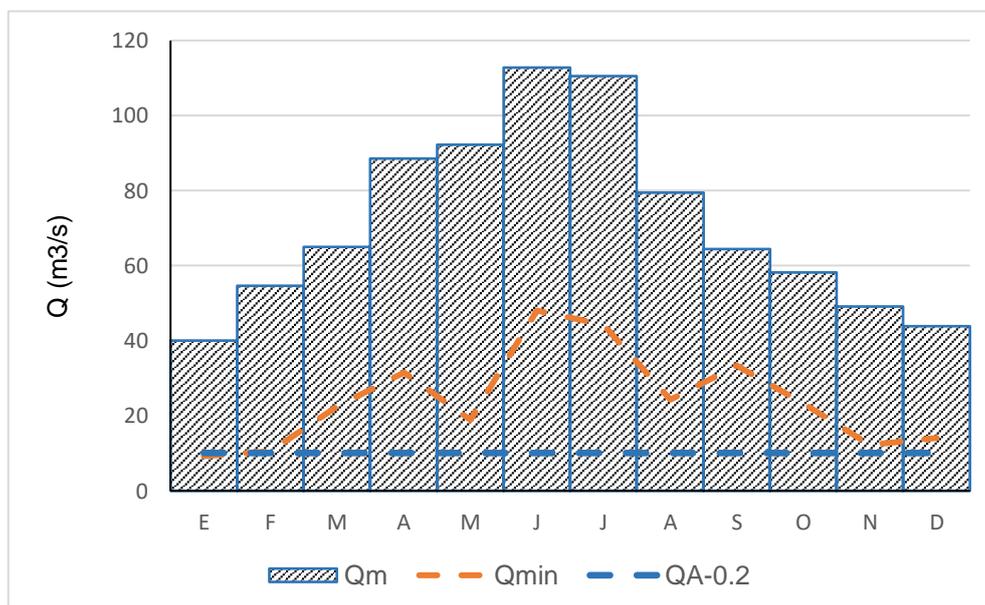
MESES	C.CRITICO
OCTUBRE	58.18
NOVIEMBRE	49.06

DIECIEMBRE	43.92
PROMEDIO	50.39

Anexo 27. Cuadro resumen del caudal ecológico por medio del método de Rafael Heras

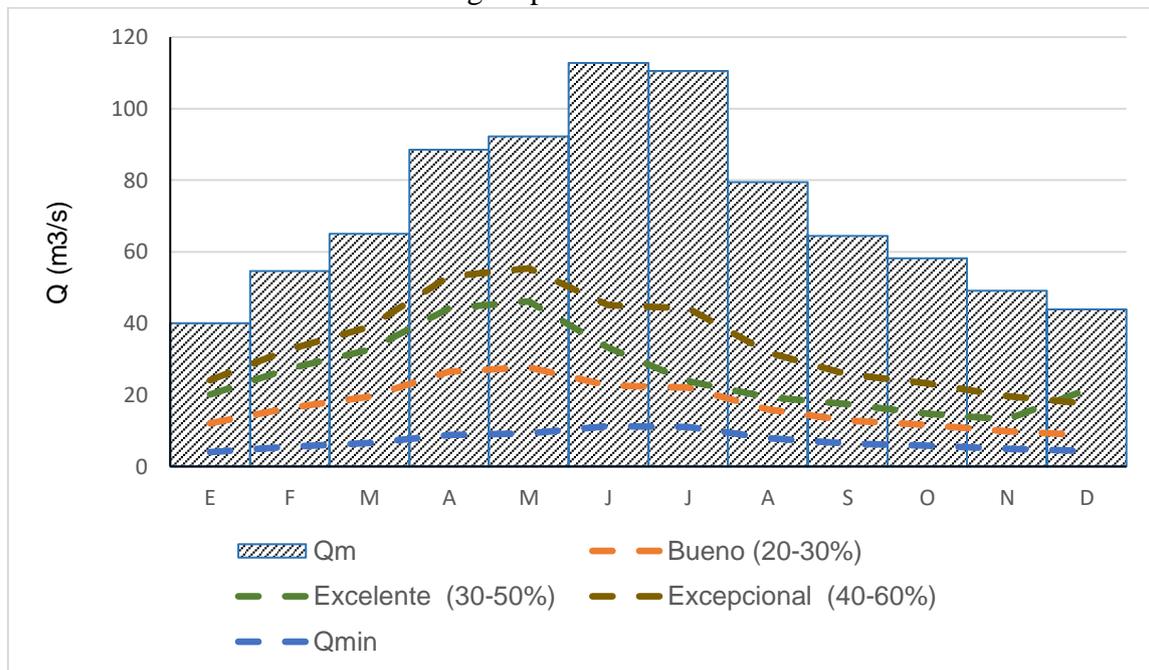
MESES	Qm	Qmin	QA-0.2
E	40.09	9.24	10.08
F	54.65	10.51	10.08
M	65.05	22.40	10.08
A	88.47	31.59	10.08
M	92.27	18.89	10.08
J	112.80	48.02	10.08
J	110.51	44.30	10.08
A	79.46	24.23	10.08
S	64.39	33.31	10.08
O	58.18	23.31	10.08
N	49.06	12.30	10.08
D	43.92	14.09	10.08

Anexo 28. Caudal ecológico por el método de Rafael Heras



Anexo 29. Cuadro resumen caudal ecológico método de Tennant o Montana

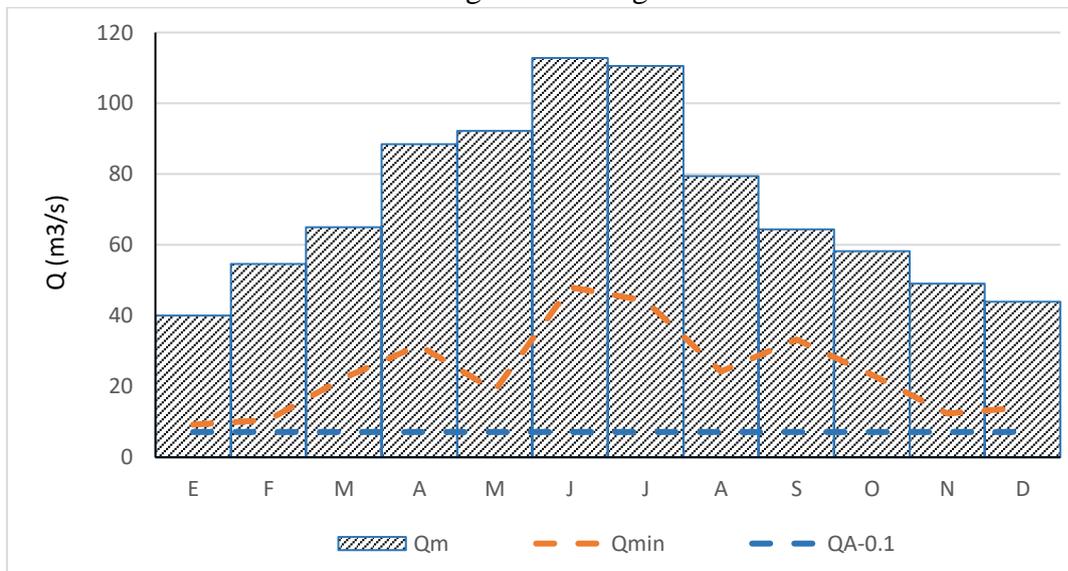
Meses	Qm	Bueno (20-30%)	Excelente (30-50%)	Excepcional (40-60%)	Qmin
E	40.09	12.03	20.05	24.06	4.01
F	54.65	16.40	27.33	32.79	5.47
M	65.05	19.52	32.53	39.03	6.51
A	88.47	26.54	44.24	53.08	8.85
M	92.27	27.68	46.13	55.36	9.23
J	112.80	22.56	33.15	45.12	11.28
J	110.51	22.10	23.84	44.20	11.05
A	79.46	15.89	19.32	31.78	7.95
S	64.39	12.88	17.45	25.76	6.44
O	58.18	11.64	14.72	23.27	5.82
N	49.06	9.81	13.18	19.63	4.91
D	43.92	8.78	21.47	17.57	4.39

Anexo 30. Gráfico del caudal ecológico por el método de Rafael Heras**Anexo 31.** Cuadro resumen caudal ecológico método de Tennant o Montana

MESES	Qm	Qmin	QA-0.1
E	40.09	9.24	7.16
F	54.65	10.51	7.16
M	65.05	22.40	7.16
A	88.47	31.59	7.16
M	92.27	18.89	7.16
J	112.80	48.02	7.16
J	110.51	44.30	7.16
A	79.46	24.23	7.16
S	64.39	33.31	7.16

O	58.18	23.31	7.16
N	49.06	12.30	7.16
D	43.92	14.09	7.16

Anexo 32. Gráfico del caudal ecológico de la Legislación Ecuatoriana



Anexo 33. Aval del traductor**CENTRO DE IDIOMAS*****AVAL DE TRADUCCIÓN***

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen de tesis al Idioma Inglés presentado por las señoritas egresadas de la **CARRERA DE INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES: ALBARRASÍN CALDAS KATHERINE PAOLA y BARRERA PAZ ALEXANDRA ISABEL** cuyo título versa “**DETERMINACIÓN DE CAUDAL ECOLÓGICO DEL RÍO PAUTE, EN BASE A MÉTODOS HIDROLÓGICOS EN EL CANTÓN CUENCA, PROVINCIA DE AZUAY**”, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a las peticionarias hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimen conveniente.

Latacunga, marzo del 2021

Atentamente,


 MSc. Alison Mena Barthelotty
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 0501801252



1803027935 Firmado digitalmente por
 VICTOR HUGO ROMERO GARCIA
 HUGO ROMERO GARCIA
 GARCIA
 1803027935
 VICTOR HUGO ROMERO GARCIA
 Fecha: 2021.03.04 15:26:02 -05'00'

Anexo 34. Hoja de vida de la tutora de investigación: PhD. Cand. Mercy L. Ilbay Y.
MERCY LUCILA ILBAY YUPA



DATOS PERSONALES

Apellidos: ILBAY YUPA	C.I.: 0604147900
Nombres: MERCY LUCILA	RUC. 0604147900001
Fecha de nacimiento: 30 de octubre de 1983	Lugar: Archidona
Dirección domiciliaria: Hermanas Páez y Quijano y Ordoñez	Ciudad: Latacunga
E-mail: merckyu@hotmail.com	Celular: 0987533861

FORMACIÓN ACADÉMICA

Nº	Títulos de Pregrado	Universidad	País	Año
1	ING. AGRÓNOMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	ECUADOR	2011
2	ASESORA EN EL MANEJO DE PARAMOS Y ZONAS DE ALTURA	CONSORCIO CAMAREN	ECUADOR	2012

Nº	Títulos de Posgrado	Universidad	País	Año
----	---------------------	-------------	------	-----

1	MAGISTER EN RIEGO Y DRENAJE	UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR	ECUADOR	2015
2	DOCTORIS PHILOSOPHI EN RECURSOS HÍDRICOS	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA	PERÚ	Egresada

CURSOS Y SEMINARIOS RECIBIDOS

Nº	NOMBRE	INSTITUCIÓN	PAÍS	Año
1	Planificación y evaluación educativa UNIVERSITARIA	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO	ECUADOR	2018
2	Regionalización Hidrológica basada en los L-MOMENTOS	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA	PERÚ	2017
3	Como publicar un artículo exitoso en revistas internacionales	UNALM-WILEY	PERÚ	2016
4	Planificación Estratégica en Sistemas de Abastecimiento	AECID CENTRO DE FORMACIÓN-SANTA CRUZ DE BOLIVIA	BOLIVIA	2016
5	Gestión en Cuencas Hidrográficas	MINISTERIO DEL AMBIENTE-JICA	PANAMÁ	2016
6	Diseño y Sistemas de Riego por Aspersión con GESTAR V. 2014	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA	PERÚ	2016
7	Ordenamiento territorial ante el cambio climático	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA	PERÚ	2015
8	variabilidad climática y sus impactos en la hidrología	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA	PERÚ	2015
9	Ingeniería y Gestión del Agua para la Generación de Empleo	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA	PERÚ	2015

10	Introducción a La Meteorología y a la Climatología con Énfasis en la Agro meteorología	ESPOCH	ECUADOR	2014
11	Sistemas de Información Geográfica	ESPOCH	ECUADOR	2014

EXPERIENCIA

Profesional

N°	EMPRESA-INSTITUCIÓN	POSICIÓN	DE MES-AÑO	A MES-AÑO
1	MAGAP-DZ2RD	Analista de Riego y drenaje	11/2016	05/2017
2	SENAGUA	Analista de Estudios y Proyectos de Riego y Drenaje	3/2015	08/2015
3	GOBIERNO AUTÓNOMO DE LA PROVINCIA CHIMBORAZO	Técnica especialista de Hidrología-Riego	04/2011	12/2013
4	INIAP/Programa Nacional de Fruticultura	Técnica Agropecuaria	03/2010	02/2011

Docente

N°	CURSOS - MATERIAS	INSTITUCIÓN	DE MES-AÑO	A MES-AÑO
1	Hidrología Manejo de Integrado de Recursos Hídricos Riego y drenaje Hidráulica	UTC-CAREM- Ingeniería de Medio Ambiente y Agronómica	Junio 2017	Presente fecha

2	Riego y drenaje Diseño de Sistemas de Riego Prácticas agrícolas	ESPOCH-FRN-Ingeniería Agronómica	Marzo 2014	Febrero 2015
3	Ayudante de cátedra de Genética y fitomejoramiento	ESPOCH-FRN-Ingeniería Agronómica	Marzo 2009	Agosto 2009
4	Ayudante de cátedra de Fisiología general	ESPOCH-FRN-Ingeniería Agronómica	Marzo 2008	Agosto 2008

Ponente

Nº	CURSO- SEMINARIO (ÁREAS)	ENTIDADES	DE MES-AÑO	A MES-AÑO
1	I Congreso Internacional de Investigación Científica	Universidad Técnica de Cotopaxi	22-11-2017	24-11-2017
2	V Congreso REDU 2017	La Red Ecuatoriana de Universidades y Escuelas Politécnicas para Investigación y postgrado _Universidad de Cuenca	05-10-2017	06-10-2017
3	Convención Científica Internacional de la UTM 2017	Universidad Técnica de Manabí (aceptado)	18-10-2017	20-10-2017
4	I Congreso Internacional de Agricultura Sustentable	UTC-Coordinación de Educación Continua	24-05-2017	26-05-2017
5	IV Congreso REDU (2016)	La Red Ecuatoriana de Universidades y Escuelas Politécnicas para Investigación y postgrado (ESPE)	01-12-2016	02-12-2016
6	XV Reunión Binacional de Uruguay-Argentina de Agrometeorología	Asociación Argentina de Agrometeorología	01-10-2014	03-10-2014

Investigación

No.	TIPO DE EXPERIENCIA	PROGRAMA	DURACIÓN
1	Evaluación espacio – temporal de la calidad del agua de la microcuenca del río Cutuchi	Universidad Técnica de Cotopaxi-ECUADOR	2018
2	Regionalización de precipitaciones en el Ecuador	Universidad Agraria La Molina-PERÚ	2016-2017
3	Impactos del cambio climático en la Hidrología de la cuenca del Río Ramis, Puno-Perú	Universidad Agraria La Molina-PERÚ	2015-2016
4	Efectos del riego deficitario en el rendimiento y eficiencia del uso del agua en el cultivo de papa bajo varios regímenes riego de alta frecuencia	Universidad Agraria del ECUADOR	2014-2015
5	Implementación del control Biológico para mejorar la calidad de vida de los pequeños agricultores de los Andes ecuatorianos	INIAP-MAGAP-AgResearch-Nueva Zelanda	2011-2013

Consultoría en general

Nº	NOMBRE DEL PROYECTO	INSTITUCIÓN	DE MES-AÑO	A MES-AÑO
1	Evaluación de la calidad del agua del río Tiliche	GAD de Cotopaxi		2017

2	“Estudio de factibilidad del sistema de riego del directorio de aguas de la comunidad la Moya - parroquia Guasuntos- cantón Alausí-provincia de Chimborazo”	GAD de Chimborazo	2016
3	Producción y Comercialización Sana, Justa y sustentable para el Sistema de Riego Chambo-Guano	Junta General De Usuarios Del Sistema De Riego Chambo-Guano-Chimborazo	2012
4	Economía agraria con la capacitación especializada en análisis de rentabilidad agropecuaria	H. Gobierno Provincial de Tungurahua	2012

CAPACITADOR, CONFERENCISTA, PONENTE, EXPOSITOR O EVALUADOR EXTERNO EN PROGRAMAS ACADÉMICOS DE INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN SUPERIOR.

CAPACITADOR			
TÍTULO	INSTITUCIÓN	LUGAR	HORAS DE CAPACITACIÓN
Curso-Taller de “Manejo de instrumentación Ambiental”	Universidad Técnica de Cotopaxi	Latacunga	40
CONFERENCISTA, PONENTE O EXPOSITOR (CHARLA, POSTER)			
TÍTULO	INSTITUCIÓN	LUGAR	MODALIDAD (CONFERENCISTA, PONENTE, EXPOSITOR ORAL O POSTER)
VI Congreso REDU	La Red Ecuatoriana de Universidades y Escuelas Politécnicas para Investigación y postgrado	Ibarra	Ponente

II Convención Científica Internacional (Aceptado)	Universidad Técnica de Manabí	Manabí	Ponente
I Congreso Internacional de Investigación Científica	Universidad Técnica de Cotopaxi	Latacunga	Expositor
I Convención Científica Internacional	Universidad Técnica de Manabí	Manabí	Ponente
V Congreso REDU	La Red Ecuatoriana de Universidades y Escuelas Politécnicas para Investigación y postgrado	Cuenca	Ponente
I Congreso Internacional de Agricultura Sustentable	Universidad Técnica de Cotopaxi- CIDE	Latacunga	Ponente
IV Congreso REDU	La Red Ecuatoriana de Universidades y Escuelas Politécnicas para Investigación y postgrado	Quito	Conferencista1
EVALUADOR EXTERNO EN PROGRAMAS ACADÉMICOS DE INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN SU0PERIOR			
TITULO	TIPO DE PROGRAMA (TERCER NIVEL, MAESTRÍA, DOCTORADO)	UNIVERSIDAD EVALUADA	
I Convocatoria para presentar proyectos de Investigación 2018	Evaluadora Externa	Universidad Técnica de Manabí	

IDIOMAS

No.	IDIOMA	HABLADO %	ESCRITO %	COMPRENSIÓN %
1	Español	100	100	100
2	Portugués	50	60	80
3	Inglés	50	50	50

Anexo 35. Hoja de vida de la autora: Paola Albarrasín**I. Datos Personales**

NOMBRES Y APELLIDOS: Katherine Paola Albarrasín Caldas

CÉDULA DE IDENTIDAD: 010576966-5

FECHA DE NACIMIENTO: 23 de marzo de 1995

EDAD: 25 años

ESTADO CIVIL: Soltera

DIRECCIÓN: Saquisilí, calle Gonzales Suáres

CELULAR: 0992861061

TELEFONO: 032-722-609

E-MAIL: albarrasinp@gmail.com

PERFIL PROFESIONAL: El Ingeniero Ambiental es un profesional con sólidas bases en las ciencias básicas, con conocimientos en procesos ambientales, economía, administración y gestión de proyectos. Esta formación cubre las áreas de agua potable y saneamiento urbano y rural, gestión de residuos sólidos, contaminación atmosférica, hídrica y de suelos, estudios de impacto ambiental, planificación territorial, sistemas de gestión ambiental, y ecología. Además, está capacitado para diseñar soluciones apropiadas para los problemas ambientales, sustentadas en acciones de investigación.

II. Formación Académica

Instrucción	Institución Educativa
Tercer Nivel	Universidad Técnica de Cotopaxi Latacunga Cursando décimo semestre de la Carrera de Ingeniería en Medio ambiente
Secundaria	Instituto Tecnológico “Victoria Vásquez Cuví” Bachiller en Ciencias Especialidad: Químico Biológicas Julio del 2013
Primaria	Escuela Estados Unidos de Norte América Cuenca Junio del 2006

III. Cursos, Capacitaciones y Talleres

ITEM.	Mejor promedio académico 2017-2018
INSTITUCION	Universidad Técnica de Cotopaxi
CIUDAD	Latacunga-Ecuador
ITEM.	Mejor promedio académico 2018-2018
INSTITUCION	Universidad Técnica de Cotopaxi
CIUDAD	Latacunga-Ecuador
ITEM.	Mejor promedio académico 2018-2019
INSTITUCION	Universidad Técnica de Cotopaxi
CIUDAD	Latacunga-Ecuador
ITEM.	Suficiencia en Ingles
INSTITUCION	Universidad Técnica de Cotopaxi
CIUDAD	Latacunga-Ecuador
ITEM.	Manejo de la plataforma SUIA
INSTITUCION	Ministerio del Trabajo
CIUDAD	Quito-Ecuador
ITEM.	IV Edición del Congreso Internacional de Ingeniería Ambiental, avances y desafíos de la conservación y la sostenibilidad en el Ecuador
INSTITUCION	STRATEGIK Consultora-ECUADOR CONVENTIONS-Ministerio c Ambiente Azuay

CIUDAD	Cuenca-Ecuador
ITEM.	Taller de Derecho Ambiental Público
INSTITUCION	Universidad Técnica de Cotopaxi
CIUDAD	Latacunga-Ecuador
ITEM.	Capacitación a los sujetos de control en planes de manejo ambiental, emergencia, informes de cumplimiento y auditorías
INSTITUCION	Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Cotopaxi
CIUDAD	Latacunga-Ecuador
ITEM.	II Seminario Ambiental por el día mundial de la Eficiencia Energética
INSTITUCION	Colegio de Ingenieros Ambientales Cotopaxi
CIUDAD	Latacunga-Ecuador
ITEM.	I Jornada de Difusión Ambiental
INSTITUCION	Universidad Técnica de Cotopaxi
CIUDAD	Latacunga-Ecuador
ITEM.	II Jornada de Difusión de la Investigación Ambiental
INSTITUCION	Universidad Técnica de Cotopaxi
CIUDAD	Latacunga-Ecuador
ITEM.	III Jornada de Difusión de la Investigación Ambiental
INSTITUCION	Universidad Técnica de Cotopaxi
CIUDAD	Latacunga-Ecuador
ITEM.	Gestión de los recursos hídricos como estrategia de adaptación al cambio climático
INSTITUCION	Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Cotopaxi
CIUDAD	Latacunga-Ecuador
CURSOS ON-LINE	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ciudades y el Cambio Climático- Asociación para el aprendizaje sobre el cambio climático ONU. ➤ Introducción al Cambio climático- Asociación para el aprendizaje sobre el cambio climático ONU.

IV. Logros alcanzados

- Redacción del artículo científico “Determinación de Caudales Ecológicos en el Río Cutuchi, Ecuador”, Revista Bases de la Ciencia-ISSN 2588-0764, edición continua. Vol. 5, No. 2, Mayo/Agosto 2020.
- Ayudante de investigación en el proyecto “Regionalización, su agresividad y concentración de las precipitaciones en el Ecuador”, con una duración de 468 horas, desde el 30 de septiembre del 2019 hasta el 13 de marzo del 2020.
- Ayudante de Cátedra en las asignaturas de Manejo, Transporte y Gestión de Substancias Peligrosas, Auditoría Ambiental y Deontología Ambiental, iniciando desde el 25 de mayo de 2020 hasta el 11 de septiembre de 2020 acreditando un total de 160 horas.

Anexo 36. Hoja de vida de la autora: Alexandra Barrera**I. Datos Personales****APELLIDOS Y NOMBRES:** BARRERA PAZ ALEXANDRA ISABEL**CEDULA DE CIUDADANIA:** 180493262-0**FECHA DE NACIMIENTO:** Pelileo, 3 de octubre de 1996.**EDAD:** 24 AÑOS**ESTADO CIVIL:** Soltera**DIRECCION DOMICILIARIA:** San Francisco – Huambaló, Pelileo.**NUMERO TELEFONICO:** 0996464840**TELEFONO CONVENCIONAL:** 03-286-4647.**E-MAIL:** alexandrabarrera61@gmail.com

PERFIL PROFESIONAL: El Ingeniero Ambiental es un profesional con sólidas bases en las ciencias básicas, con conocimientos en procesos ambientales, economía, administración y gestión de proyectos. Esta formación cubre las áreas de agua potable y saneamiento urbano y rural, gestión de residuos sólidos, contaminación atmosférica, hídrica y de suelos, estudios de impacto ambiental, planificación territorial, sistemas de gestión ambiental, y ecología. Además, está capacitado para diseñar soluciones apropiadas para los problemas ambientales, sustentadas en acciones de investigación.

II. FORMACIÓN ACEDÉMICA

Instrucción	Institución Educativa
Tercer Nivel	Universidad Técnica de Cotopaxi Latacunga Cursando décimo semestre de la Carrera de Ingeniería en Medio ambiente
Secundaria	Unidad Educativa "Mariano Benítez"

	Bachiller en Ciencias
	Julio 2015
Primaria	Escuela "12 de Octubre"
	Pelileo
	Junio 2007

Cursos, Capacitaciones y Talleres

ITEM	Suficiencia en Inglés
INSTITUCIÓN	Universidad Técnica de Cotopaxi
CIUDAD	Latacunga-Ecuador
ITEM	Recursos Hídricos en la provincia de Cotopaxi
INSTITUCIÓN	Universidad Técnica de Cotopaxi
CIUDAD	Latacunga-Ecuador
ITEM	Capacitación a los sujetos de control en planes de manejo ambiental, emergencia, informes de cumplimiento y auditorías
INSTITUCIÓN	Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Cotopaxi
CIUDAD	Latacunga-Ecuador
ITEM	I Jornada de Difusión Ambiental
INSTITUCIÓN	Universidad Técnica de Cotopaxi
CIUDAD	Latacunga-Ecuador
ITEM	II Jornada de Difusión Ambiental
INSTITUCIÓN	Universidad Técnica de Cotopaxi
CIUDAD	Latacunga-Ecuador

ITEM	La Agronomía en Tiempos de Pandemia
INSTITUCIÓN	Universidad Técnica de Cotopaxi
CIUDAD	Latacunga-Ecuador
ITEM	III Jornada de Difusión Ambiental
INSTITUCIÓN	Universidad Técnica de Cotopaxi
CIUDAD	Latacunga-Ecuador
ITEM	Turismo y Sociedad en tiempos de Pandemia
INSTITUCIÓN	Universidad Técnica de Cotopaxi
CIUDAD	Latacunga-Ecuador
ITEM	Experiencias de Conservación en Latinoamérica
INSTITUCIÓN	Ministerio del Ambiente y Agua
CIUDAD	Limoncocha-Ecuador
ITEM	Introducción al Modelo de Gobierno Abierto para Universidades y Escuelas Politécnicas
INSTITUCIÓN	Municipio del Distrito Metropolitano de Quito
CIUDAD	Quito-Ecuador
ITEM	Buenas Prácticas Agrícolas
INSTITUCIÓN	Alianza para el emprendimiento e innovación & Universidad de las Américas
CIUDAD	Quito-Ecuador
ITEM	Liderazgo Ambiental con Enfoque de Género
INSTITUCIÓN	Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua, Fundación ACRA y Universidad Técnica de Ambato.

CIUDAD	Ambato-Ecuador
ITEM	Prácticas Pre Profesionales
INSTITUCIÓN	Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Pedro de Pelileo.
CIUDAD	Pelileo-Ecuador