



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD ACADÉMICA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA DE MEDIO AMBIENTE

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CUTUCHI MEDIANTE EL MÉTODO DE TENNANT EN PYTHON, PERIODO 1988 - 2014, LATACUNGA-ECUADOR.

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

Autores:

Tubón Llerena Christian Gonzalo

Vaca Arias José Rodrigo

Tutor:

Msc. Ilbay Yupa Mercy Lucila

Latacunga – Ecuador

Agosto – 2019

DECLARACION DE AUDITORIA

Nosotros, **Tubón Llerena Christian Gonzalo** y **Vaca Arias José Rodrigo**, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: **“Determinación del Caudal Ecológico en la microcuenca del río Cutuchi mediante el Método de Tennant y Python, periodo 1988 - 2014”**, siendo la **PhD. Cand. Mercy L. Ilbay Y.**, tutora del presente trabajo; y eximo 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.

Tubón Llerena Christian Gonzalo
CI: 180345759-5

Vaca Arias José Rodrigo
CI: 050379415-8

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 **TUBÓN LLERENA CHRISTIAN GONZALO**, identificado con C.C. N° **180345759-5** de estado **SOLTERO** y con domicilio, en la parroquia Matriz, cantón Pelileo, provincia Tungurahua; y **VACA ARIAS JOSÉ RODRIGO**, identificado con C.C. N° **050379415-8** de estado civil **SOLTERO** y con domicilio, en la parroquia Mulliquindil Santa Ana, cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi, a quienes en lo sucesivo se denominarán **LOS CEDENTES**; y, de otra parte, el Ing. MBA. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez, en calidad de Rector 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 de 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. - (Octubre 2014 - Febrero 2015 hasta Abril - Agosto 2019)

Aprobación HCD. – 4 de abril del 2019

Tutor. - PhD. Cand. Mercy L. Ilbay Y.

Tema: **“DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CUTUCHI MEDIANTE EL MÉTODO DE TENNANT EN PYTHON, PERIODO 1988 - 2014”.**

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, **LOS CEDENTES** 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 **LOS CEDENTES**, 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 **LOS CEDENTES** 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 **LOS CEDENTES** 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 22 días del mes de julio de 2019.

Tubón Llerena Christian Gonzalo
EL CEDENTE

Vaca Arias José Rodrigo
EL CEDENTE

Ing. MBA. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez
EL CESIONARIO

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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

“DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CUTUCHI MEDIANTE EL MÉTODO DE TENNANT Y PYTHON, PERIODO 1988 - 2014”, de **TUBÓN LLERENA CHRISTIAN GONZALO**, identificado con C.C. N° **180345759-5** y **VACA ARIAS JOSÉ RODRIGO**, identificado con C.C. N° **050379415-8**, de la carrera de **INGENIERÍA DE MEDIO AMBIENTE**, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 22 de julio del 2019

.....

TUTOR DE TRABAJO DE INVESTIGACION

PhD. Cand. Mercy L. Ilbay Y.

C.I.: 060414790-0

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Miembros del Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Titulación 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 de Ingeniería de Medio Ambiente; por cuanto, los postulantes: **TUBÓN LLERENA CHRISTIAN GONZALO**, identificado con C.C. N° **180345759-5** y **VACA ARIAS JOSÉ RODRIGO**, identificado con C.C. N° **050379415-8**, con el proyecto de investigación, cuyo título es: **“DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO EN LA MICROCUCUENCA DEL RÍO CUTUCHI MEDIANTE EL MÉTODO DE TENNANT EN PYTHON, PERIODO 1988 - 2014”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúnen los méritos suficientes para ser sometidos al **Acto de Sustentación** en la fecha y hora señalada.

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

Latacunga, 22 de julio del 2019

Para constancia firman:

LECTOR 1

Ing. Juan Espinoza Mg.

C.I.: 171347432-6

LECTOR 2

Ing. Kalina Fonseca

C.I.:172353445-7

LECTOR 3

Ing. Vinicio Mogro

C.I.: 050105751-4

AGRADECIMIENTO

Primero queremos hacer énfasis en la fortaleza que nos brinda el ser supremo, que nos levanta todos los días para luchar con la misma fuerza y pasión. Agradecemos a nuestras familias por su amor incondicional y por enseñarnos que en la vida hay que obrar con valentía, respeto y humildad. A la Universidad Técnica de Cotopaxi por permitirnos llevar a cabo este gran sueño y darnos el agrado de congeniar con personas entrañables. A nuestra tutora: Ing. Mercy Ilbay y a nuestros lectores: Ing. Juan, Espinosa, Ing. Kalina Fonseca, Ing. Vinicio Mogro por creer en nosotros y guiarnos en todo momento. A los ingeniero/as que moldearon nuestros caminos para llegar a ser excelentes profesionales.

(Tubon Christian)

(Vaca José)

DEDICATORIA

Este logro le dedico primero a Dios quien me ha brindado fuerzas y valor en esta ardua etapa de mi vida, de igual manera agradezco a mi padre quien con su humildad su tenacidad y trabajo ha sabido guiarme en tiempos difíciles, a mi madre que siempre me ha brindado todo su amor y fe, corrigiéndome mis faltas y logrando cumplir con esta gran meta, a mi hermano y cuñada a quienes con su carácter y consejos me han ayudado afrontar los retos que se me han presentado, a mi compañera de vida quien con su apoyo incondicional y dificultades siempre me encamino por el camino del bien, a mi pequeña hija y mi sobrino que serán siempre mi pilar fundamental que con su ternura, travesuras y sus ocurrencias me enseñan a luchar día a día para conseguir más logros y ser el ejemplo de un buen padre y un buen tío.

Finalmente agradezco a mis compañeros de trabajo de universidad a mi colega de tesis que con sus valiosas aportaciones hicimos posible este proyecto que con su gran calidad humana me ha demostrado su amistad.

(Tubón Christian)

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones. A mi padre, por brindarme su amor y sacrificio en todos estos años, gracias a usted he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Ha sido el orgullo y el privilegio de ser su hijo. A mi novia por brindarme su paciencia y compañía en los buenos y malos momentos de mi vida. A mis hermanos (as) por estar siempre presentes, acompañándome con su apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida. A todas las personas que me han ayudado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que me abrieron sus puertas y compartieron sus conocimientos.

(Vaca José)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD ACADÉMICA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: “DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CUTUCHI MEDIANTE EL MÉTODO DE TENNANT EN PYTHON, PERIODO 1988 - 2014”

Autores: Tubón Llerena Christian Gonzalo

Vaca Arias José Rodrigo

RESUMEN

La legislación ecuatoriana obliga a mantener un flujo mínimo de agua (oferta hídrica) para preservar los ecosistemas y la biodiversidad. Sin embargo, son pocos los ríos en el país en los que se ha establecido el caudal ecológico. El objetivo de esta investigación fue determinar el caudal ecológico en el río Cutuchi, mediante el método de Tennant, programado en el software Python. Para el periodo 1988 al 2014, considerando la estación hidrológica Cutuchi A.J Yanayacu ubicado en la zona media del río. Los resultados mostraron que el caudal promedio anual del río Cutuchi fue 9.52 ms^{-1} y el caudales ecológico se determinó para épocas de avenidas (febrero- junio) y época de estiaje (julio-enero). El caudal ecológico establecido fue 30% (2.2 ms^{-1}) y 50% (6.2 ms^{-1}) para época de avenida y estiaje respectivamente.

Palabras claves: río Cutuchi, Caudal ecológico, Oferta hídrica, Tennant

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

ACADEMIC FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES AND NATURAL RESOURCES

THEME: "DETERMINATION OF THE ECOLOGICAL FLOW IN THE MICROCUENCA OF THE CUTUCHI RIVER THROUGH THE TENNANT METHOD IN PYTHON, 1988 – 2014 PERIOD"

Authors: Tubón Llerena Christian Gonzalo

Vaca Arias José Rodrigo

ABSTRACT

Ecuadorian legislation requires maintaining a minimum flow of water (water supply) to preserve ecosystems and biodiversity. However, there are few rivers in the country where the ecological flow has been established. The objective of this research was to determine the ecological flow in the Cutuchi river by the Tennant method usage, programmed in the Python software. For the period 1988 to 2014, the Cutuchi A.J Yanayacu hydrological station located in the middle zone of the river was considered. The results showed that the average annual flow of the Cutuchi River was 9.52 ms^{-1} , and the ecological flow was determined for raining epochs (February-June) and dry epochs (July-January). The established ecological flow was 30% (2.2 ms^{-1}) and 50% (6.2 ms^{-1}) for the raining epoch and dry epoch, respectively.

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

INDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	JUSTIFICACIÓN	2
3.	BENEFICIARIOS.....	2
4.	EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
5.	OBJETIVOS.....	4
6.	FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA	5
6.1	Hidrología.....	5
6.2	Zonificación.....	6
6.3	Hidrografía.....	6
6.4	Microcuenca	6
6.5	Territorio	6
6.6	Caudal Ecológico	6
6.6.1	Determinación del caudal ecológico	7
6.6.2	Pasos a cumplir para la determinación del caudal ecológico	7
6.7	Tipos de métodos para determinar el caudal ecológico.....	8
6.7.1	Método hidrológico (MI)	8
6.7.2	Método Ecológico (ME)	8
6.7.3	Métodos hidráulicos (MH).....	8
6.8	Microcuenca Río Cutuchi	9
6.8.1	Factores climáticos (FC).....	9
6.8.2	Componente biofísico	9
6.9	Oferta Hídrica	10
6.10	Artículos y leyes referentes a la temática del trabajo	11
6.10.1	Constitución de la República del Ecuador.....	11
6.10.2	Código Orgánico Del Ambiente	11
7	PREGUNTA CIENTIFICA	13
8	METODOLOGÍA	13
8.2	Herramientas utilizadas.....	14
8.2.1	Excel:.....	14
8.2.2	Info Stat:	14
8.2.3	PYTHON:.....	14
8.3	Ubicación del Área de Estudio.....	15

8.4	Datos	15
8.5	Análisis exploratorio de datos (AED).....	16
8.6	Completación de Datos Faltantes	16
8.7	La media aritmética.....	16
8.8	Determinación de caudales por el Método de Tennant (1976) o de Montana .	17
8.9	Descripción de caudales.....	18
8.9.1	Grave Degradación:.....	18
	La severa degradación para la mayoría de los elementos del medio acuático.....	18
8.9.2	Pobre o mínimo:.....	18
8.9.3	Sobresaliente, Excelente, Bueno:.....	18
8.9.4	Rango Óptimo:.....	18
8.9.5	Máximo:	18
9	ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	19
9.2	Medidas de resumen de la estación H0792	19
9.3	Distribución temporal del caudal.....	20
9.4	Determinación del Caudal Ecológico de Tennant en PYTHON.....	22
9.4.1	Estimaciones de caudal ecológico	22
9.5	Discusión de caudal ecológico (validación con el Art. 411).....	25
10	CONCLUSIONES.....	25
11	RECOMENDACIONES	26
12	BIBLIOGRAFIA	27
13	ANEXOS	1

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evotranspiración en la Cuenca del Río Cutuchi	9
Figura 2. Esquema metodológico para la determinación de caudales en la microcuenca del Río Cutuchi (parte media).....	13
Figura 3. Herramientas utilizadas en la determinación del Caudal Ecológico.	13
Figura 4. Delimitación de la microcuenca río Cutuchi (estaciones hidrológicas)	15
Figura 5. Variabilidad interanual e intranual de caudales para el río Cutuchi.	19
Figura 6. Diagrama de caja	20
Figura 7. Caudal promedio mensual y anual para la determinación de épocas de avenida y estiaje.....	20
Figura 8. Caudal Ecológico Excepcional representado del MRC.....	22
Figura 9. Caudal Ecológico Excelente representado del MRC.....	23
Figura 10. Caudal Ecológico Bueno representado del MRC.....	23
Figura 11. Caudal Ecológico Mínimo representado del MRC.	24

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Beneficiarios directos.....	2
Tabla 2. Cobertura Vegetal	9
Tabla 3. Textura del suelo.....	10
Tabla 4. Estaciones hidrologías y meteorológicas, su ubicadas dentro de la microcuenca del río Cutuchi. (MRC).....	16
Tabla 5. Estimaciones del caudal ambiental por el método Tennant (1976) o de montana	17
Tabla 6. Caudal medio mensual y caudal medio anual	21
Tabla 7. Caudales al10, 30, 40, 50, 60% en la parte media del río Cutuchi para el periodo de avenidas.	21
Tabla 8. Caudales al 10, 20, 30, 40% en la parte media del río Cutuchi para el periodo de estiaje.	22

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Determinación de la MRC y recopilación de estaciones de estudio.....	1
Anexo 2. Resultados de la recopilación de datos hidrológicos.....	2
Anexo 3. Resultados de la completación de datos hidrológicos por el método de la media aritmética.....	3
Anexo 4. Estaciones hidrologías y meteorológicas, su ubicadas dentro de la microcuenca del río Cutuchi. (MRC)	4
Anexo 5. Estimaciones del caudal ambiental por el método Tennant (1976) o de montana.....	4
Anexo 6. Variabilidad interanual e intranual de caudales para el río Cutuchi.....	5
Anexo 7. Diagrama de caja.....	5
Anexo 8. Caudal promedio mensual y anual para la determinación de épocas de avenida y estiaje	6
Anexo 9. Caudal medio mensual y caudal medio anual	6
Anexo 10. Caudales al 10, 30, 40, 50, 60% en la parte media del río Cutuchi para el periodo de avenidas.....	7
Anexo 11. Caudales al 10, 20, 30, 40% en la parte media del río Cutuchi para el periodo de estiaje.....	7
Anexo 12. Representación gráfica de la obtención del caudal ecológico.....	7
Anexo 13. Comandos de PYTHON para la determinación del Caudal Ecologico.....	10
Anexo 14. Hoja de vida de la tutora de investigación: PhD. Cand. Mercy L. Ilbay Y..	11
Anexo 15. Hoja de vida del autor: José Rodrigo Vaca Arias.	16
Anexo 16. Hoja de vida del autor: Christian Gonzalo Tubón Llerena.	18

ACRÓNIMOS Y SIGLAS

MRC: Microcuenca del Rio Cutuchi.

SENAGUA: Secretaría Nacional del Agua.

CE: Caudal Ecológico.

MI: Método Hidrológico

ME: Método Ecológico

MH: Métodos Hidráulicos

FC: Factores Climáticos

CV: Cobertura Vegetal

OH: Oferta Hídrica

EH: Estaciones Hidrológicas

INAMHI: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

AED: Análisis Exploratorio de Datos

ED: Estadística Descriptiva

CDF: Completación de Datos Faltantes

MA: Media Aritmética

MT: Método De Tennant

GD: Grave Degradación

PM: Pobre O Mínimo

SB: Sobresaliente,

EX: Excelente

B: Bueno

RO: Rango Óptimo

Max: Máximo

Min: Mínimo

MG: Métodos Gráficos

MR: Medidas de Resumen

EE: Época Estiaje

EA: Época Avenida

Q máx.: Caudal Máximo

Q min: Caudal Mínimo

Q me: Caudal Medio

RH: Recarga Hídrica

1. INTRODUCCIÓN

El río Cutuchi forma parte de la Subcuenca del río Patate, cuenca del río Pastaza. Esta microcuenca se ubica en la provincia de Cotopaxi, comprende los cantones de Saquisilí, Pujilí, Latacunga, Salcedo, lo cual sirve como fuente de agua para poblaciones y tierras agrícolas importantes del país. 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.

En la MRC no se han realizado estudios de caudal ecológico con base a la metodología de Tennant operacionalizada con el lenguaje de programación PHYTON, lo cual hace imperativa la realización de proyectos, investigaciones que permitan determinar caudales ecológicos en las Cuencas del Ecuador. Entonces, es evidente la importancia de esta investigación, que abarcó la recopilación de datos de 6 estaciones hidrológicas dentro de la MRC y se escogió solamente 1 estación hidrológica, para su completación de datos faltantes, tomando en cuenta la variable caudal. Además, se trabajó con la metodología de Tennant que presenta estimaciones del caudal ambiental, posterior a este escrutinio se determinó los caudales medios, máximo y mínimo de la estación H0792, se calculó el promedio anual, con base a este valor se calculó el periodo de avenida y de estiaje, se determinó el 10%, 20%, 30%, 40%, 50% y 60% del caudal medio como referencia del caudal ambiental, todo el proceso se realizó en PYTHON, obteniendo el caudal ecológico que es validado de acuerdo con el Art 411 de la Constitución de la República del Ecuador que dice entre otras cosas que la SENAGUA debe garantizar la conservación, recuperación, y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y de los caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Además, establece que se deberá regular toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua y el equilibrio de los ecosistemas, dando un enfoque eco sistémico a la gestión del recurso.

2. JUSTIFICACIÓN

Existen diferentes métodos de determinación de caudales ecológicos: hidrológicos, hidráulicos y ecológico. El método hidrológico considera variables como temperatura, precipitación, evapotranspiración, caudales; etc. Estos parámetros permiten evaluar el volumen mínimo que se debe mantener en un cauce permitiendo el equilibrio en los ecosistemas y evitando su deterioro. En el Ecuador, SENAGUA, fundamenta el aprovechamiento y uso del recurso hídrico con base al 10% del caudal (avenidas y estiaje) de un río, porcentaje que no ha sido validado con otras metodologías, por tal motivo en esta investigación se propuso la determinación del caudal ecológico del río Cutuchi ubicado en la zona media de la microcuenca. La determinación del caudal ecológico permitirá gestionar el uso adecuado del agua en la microcuenca del río Cutuchi (MRC) y su mantenimiento para las futuras generaciones. El caudal ecológico determinado constituirá un insumo para entidades públicas como SENAGUA para el otorgamiento de concesiones de agua a las juntas de agua potable, juntas de riego, etc. Del mismo modo se garantizará las preservaciones de ecosistemas existentes en la afluyente.

3. BENEFICIARIOS

Tabla 1.- Beneficiarios directos.

Directos	Indirectos
SENAGUA	Entidades públicas, juntas de agua potable, juntas de riego y Pobladores de la (M.R.C.) del río Cutuchi

Elaborado por: Vaca J. Tubón C., 2019.

4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Según establece el artículo 411 de la Constitución de la República del Ecuador, la SENAGUA debe garantizar la conservación, recuperación, y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y de los caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Además, establece que se deberá regular toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua y el equilibrio de los ecosistemas, dando un enfoque ecosistémico a la gestión del recurso. De acuerdo con el análisis del marco legal existente en el Ecuador; constitución, leyes y reglamentos existentes, se debe determinar el caudal ecológico. Sin embargo, no existe información sobre la determinación de un método adecuado para el cálculo del caudal ecológico en el río Cutuchi. Las concesiones que actualmente entrega SENAGUA se lo hace considerando solamente el 10 % del caudal existente. Sin considerar un periodo de estudio, ni metodología que se encuentre adaptada para el río de alta montaña como es el caso del río Cutuchi. La falta de estudios sobre la cantidad y la distribución intra e interanual de caudal en los ríos del Ecuador no permite una adecuada gestión del recurso hídrico.

5. OBJETIVOS.

General:

Determinar el caudal ecológico en la microcuenca del río Cutuchi mediante el método de Tennant en Python, periodo 1988 - 2014, Latacunga - Ecuador.

Específicos:

- Realizar un análisis exploratorio de datos del caudal en la microcuenca del río Cutuchi
- Aplicar la programación del caudal ecológico en el software Python versión 3.5
- Establecer el caudal ecológico mediante el método de Tennant en la cuenca media del río Cutuchi

6. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

6.1 Hidrología

La Hidrología, según Dingman (1994), es la ciencia que se enfoca al ciclo hidrológico global y a los procesos involucrados en la parte continental de dicho ciclo, es decir, es la geociencia que describe y predice: Las variaciones espaciales y temporales del agua en las etapas terrestre, oceánica y atmosférica del sistema hídrico global y; El movimiento del agua sobre y debajo de la superficie terrestre, incluyendo los procesos químicos, físicos y biológicos que tienen lugar a lo largo de su trayectoria. Existe confusión cuando se utilizan términos de cuencas, subcuencas o microcuencas. Por ello, coincidimos con Ordoñez (2011) en la siguiente conceptualización:

- a. **Cuenca.-** Sistema integrado por varias subcuencas o microcuencas, en donde todas las aguas precipitadas, convergen para constituir un solo curso de agua, el cual es limitado por la línea divisoria de las aguas.
- b. **Subcuenca.-** Conjunto de microcuencas que drenan a un solo cauce con caudal fluctuante pero permanente.
- c. **Microcuencas.-** Una microcuenca es toda área en la que su drenaje va a dar al cauce principal de una Subcuenca; es decir, que una Subcuenca está dividida en varias microcuencas.
- d. **Quebradas.-** Es toda área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una microcuenca.
- e. **Cuenca alta.-** Corresponde generalmente a las áreas montañosas o cabeceras de los cerros, limitadas en su parte superior por las divisorias de aguas.
- f. **Cuenca media.-** Donde se juntan las aguas recogidas en las partes altas y en donde el río principal mantiene un cauce definido.
- g. **Cuenca baja o zonas transicionales.-** Donde el río desemboca a ríos mayores o a zonas bajas tales como estuarios y humedales.

6.2 Zonificación

La zonificación, según Sandoval & Aguilera (2014) es un mecanismo para dividir en áreas homogéneas un espacio geográfico determinado de acuerdo a diferentes parámetros, esto para buscar un desarrollo dentro de este espacio, este mecanismo permite asignar objetivos de manejo generales y prioridades a diferentes áreas geográficas (zonas) dentro del sitio o área de estudio. “Al asignar objetivos y prioridades a estas zonas, se están definiendo qué usos se permitirán y se prohibirán. Estos parámetros generalmente se basan en las características físicas, ambientales y económicas dentro del área de estudio además que se deben considerar las políticas jurídicas y administrativas.” (Sandoval & Aguilera, 2014)

6.3 Hidrografía

Hidrografía, según Sandoval & Aguilera (2014) es el estudio de todas las masas de agua de 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 plasmar sobre un mapa, sobre una carta hidrográfica.

6.4 Microcuenca

Las microcuencas, según Sandoval & Aguilera (2014) son unidades geográficas que pertenecen a una subcuenca y a su vez ésta pertenece a una cuenca hidrográfica, las microcuencas son zonas captadoras de agua, las cuales regulan y favorecen las condiciones del clima, producen oxígeno, dentro de la Microcuenca se desarrolla vida vegetal, animal y microorganismos.

6.5 Territorio

El territorio, según Sandoval & Aguilera (2014) es un lugar de variada escala (micro, meso, macro) donde actores públicos, privados, ciudadanos, ponen en marcha procesos complejos de interacción complementaria, contradictoria, conflictiva y cooperativa entre sistemas de acciones y sistemas de objetos.

6.6 Caudal Ecológico

Las diferentes actividades humanas que se realizan a lo largo de un río o fuente de agua producen un impacto negativo en el estado físico y químico de ésta. Actividades industriales, ganaderas, agrícolas, construcción de presas hidráulicas, entre otras, pueden

contribuir a la contaminación de fuentes de agua superficiales como los ríos, y aguas subterráneas como acuíferos.

“El término caudal ecológico se refiere al caudal mínimo necesario para el mantenimiento de los hábitats naturales importantes en la conservación de la flora y fauna, preservación del paisaje y la purificación natural del agua; es decir que, a más de aprovechar el agua para el consumo humano u otras actividades ya antes mencionadas, es necesario mantener fijo un caudal que permita conservar la biodiversidad y las funciones ambientales.” (Santacruz de León & Aguilar, 2009)

6.6.1 Determinación del caudal ecológico

Según Santacruz de León (2009) se han desarrollado muchos métodos y metodologías para determinar los requerimientos del caudal de los ecosistemas. Los más simples son los métodos hidrológicos o estadísticos, que determinan el caudal mínimo ecológico 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 Cuenca", 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 decir, la cantidad de agua que se considera caudal ecológico) es además consensuada con la intervención de los distintos sectores implicados, desde la planificación hasta el uso del agua. (Ronquillo & Cecilia, 2008)

6.6.2 Pasos a cumplir para la determinación del caudal ecológico

La base de cálculo deberá responder a una regularidad natural real que, como tal, formará parte de la coevolución entre el medio físico y las comunidades naturales, independientemente de que fuera una relación poco reconocible. Debe evitarse al máximo la incorporación de arbitrariedades, en la medida en que supone una intrusión de subjetividad y puede devaluar la solidez de los cálculos. La aplicación del método y el resultado a obtener deben ser específicos, respectivamente, para cada cauce o tramo de cauce en concreto, evitando planteamientos basados en proporcionalidades fijas. La

información que cada cauce aporta sobre las necesidades de sus comunidades naturales, son evaluadas en profundidad. (Tennant, 1976)

Derivado en parte del requisito anterior, el método adoptado debe cumplir un axioma tan simple y obvio como que: el caudal de mantenimiento o caudal ecológico es comparativamente más conservativo en los cauces menores y menos en los de mayores. Restar menos de “poco” puede conducir a nada, mientras que restar mucho de “más” puede permitir una situación sostenible. (Tennant, 1976)

6.7 Tipos de métodos para determinar el caudal ecológico

6.7.1 Método hidrológico (MI)

Los métodos hidrológicos son herramientas que nos ayudan a comprender, explorar y analizar estos procesos y cómo evaluar opciones de gestión sostenibles. Los resultados que se derivan de los modelos constituyen una información muy valiosa para la toma de decisiones estratégicas o en tiempo real. La aplicación y el desarrollo de modelos hidrológicos son actividades clave de los recursos hídricos. Esto nos permite aumentar nuestro conocimiento sobre los procesos hidrológicos, y proporcionamos soluciones sostenibles para la gestión integrada de recursos hídricos. (Ronquillo & Cecilia, 2008)

6.7.2 Método Ecológico (ME)

Podría definirse como el flujo de agua requerido para mantener las necesidades mínimas de los ecosistemas acuáticos existentes en un área de influencia antrópica que modificará los caudales naturales de un río o quebrada. Los caudales ecológicos son escurrimientos que se dejan fluir por el río para preservar la integridad ecológica sin menoscabo del desarrollo de los habitantes. (Hernández, 2005).

6.7.3 Métodos hidráulicos (MH)

Los conocidos como métodos hidráulicos 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, 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. (Duabily & Méndez, 2006)

6.8 Microcuenca Río Cutuchi

6.8.1 Factores climáticos (FC)

La precipitación de la cuenca del río Cutuchi es 753.9mm anuales, temperatura de 12,39 °C y evapotranspiración de 951,13mm anuales, para un periodo promedio de 10 años (2005-2014). Pudiendo definirse que la cuenca es considerada como deficitaria, al presentarse mayores niveles de evapotranspiración (salida) en relación con la cantidad de precipitación (entrada). (Ramírez & Muñoz, 2013)

Los datos obtenidos en el balance hídrico fueron los siguientes:



Figura 1. Evotranspiración en la Cuenca del Río Cutuchi

Fuente: (Ramírez & Muñoz, 2013)

6.8.2 Componente biofísico

6.8.2.1 Cobertura vegetal (CV)

Las áreas agrícolas ocupan alrededor de 1436Km² de la cuenca, alrededor de 24.000has tienen acceso al riego la capacidad potencial de riego en la cuenca es de 60.000has, pero si estas se regaran existirá un déficit de caudal de 1.5m³/s. (Ramírez & Cayetano,(2010)

Tabla 2. Cobertura Vegetal

Tipo	Area Km ²
Bosque	24
Ceja Andina	34
Nieves Perpetuas	11

Páramo	665
Silvicultura	79
Suelos Intervenidos	17
Superáramos	30
Tierras Húmedas	77
Vegetación de sucesión	24
Vegetación herbácea – arbustiva / Asociación agropecuaria	255
Áreas Agropecuarias	1436
Áreas Pobladas	16
TOTAL	2668

Fuente: (Ramírez & Cayetano,(2010))

6.8.2.2 Pendiente

El relieve de la cuenca presenta pendientes irregulares en zonas de las cordilleras o en las divisorias de agua y pendientes más regulares en las zonas del valle interandino. (Calvache & Cayetano, 2010)

6.8.2.3 Textura del suelo

Tabla 3. Textura del suelo

Tipo	Km²
Fina	151
Gruesa	850
Media	1457
Moderadamente Gruesa	115
No Aplicable	95

Fuente: (Calvache & Cayetano, 2010)

6.9 Oferta Hídrica

El caudal del río Cutuchi a la altura de Latacunga es de 5.2 m³/s. La precipitación es menor que la evapotranspiración por lo que la cuenca presenta un déficit de agua en los meses de junio, Julio Agosto y Septiembre el caudal se reduce y no satisface la demanda

de riego. El área total de riesgo es de 24.000has las zonas de Mulaló presentan mayor disponibilidad de agua, pero el manejo es insipiente, las zonas de Píllaro existe poca disponibilidad del agua, existen canales de gran recorrido, pero con baja eficiencia en su estructura, pero realizan un mejor manejo del agua y más eficiente. Para el agua potable 100 sistemas independientes cumplen con la demanda de población, la calidad de los servicios de agua potable es deficiente en los meses de verano es discontinuo. (Breilh, 2007)

6.10 Artículos y leyes referentes a la temática del trabajo

6.10.1 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. 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 eco sistémico.

6.10.2 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 318.- de la Constitución prohíbe toda forma de privatización del agua y determina que la gestión del agua será exclusivamente pública o comunitaria y que el servicio de saneamiento, el abastecimiento de agua potable y el riego serán prestados únicamente por personas jurídicas estatales o comunitarias; prescribe además, que el Estado a través de la Autoridad Única del Agua, será responsable directa de la planificación y gestión de los recursos hídricos que se destinarán a consumo humano y riego que garantice la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas, en este orden de prelación y que se requerirá autorización estatal 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.

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 PREGUNTA CIENTIFICA

¿Mediante la utilización del método de Tennant en PYTHON para el periodo 1988 - 2014 se puede determinar el caudal ecológico en la microcuenca del río Cutuchi?

8 METODOLOGÍA

La metodología a desarrollarse se detalla en la figura 2:

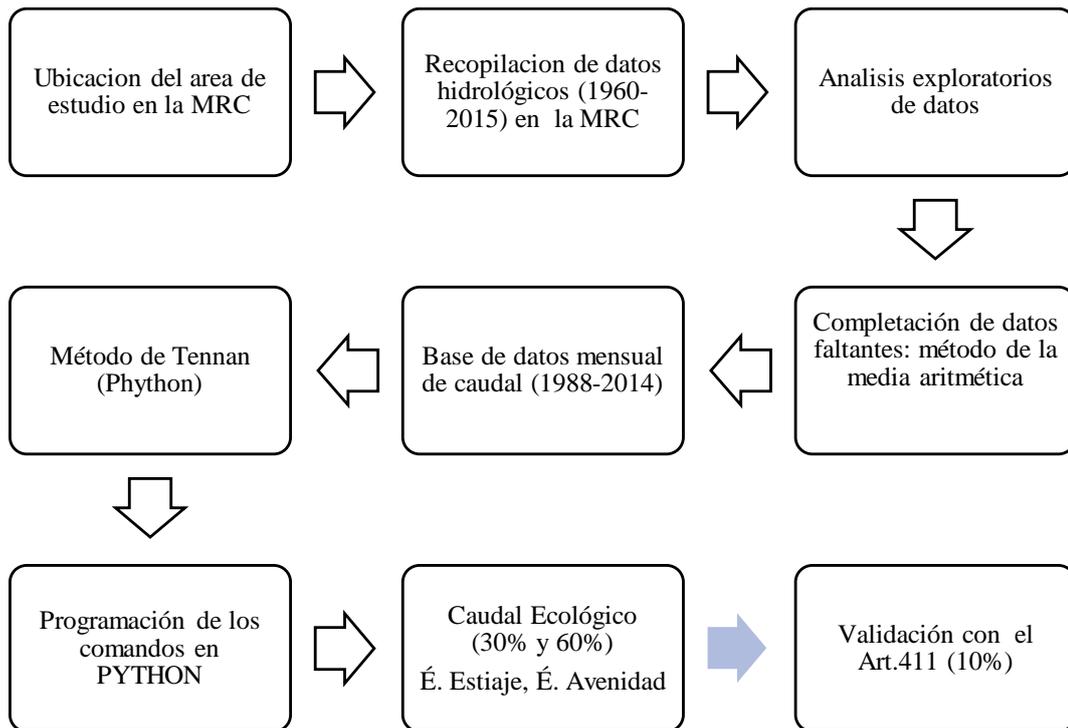


Figura 2. Esquema metodológico para la determinación de caudales en la microcuenca del Río Cutuchi (parte media)

Elaborado por: Vaca J. Tubón C., 2018.

Las herramientas a utilizarse se detallan en la figura 3:

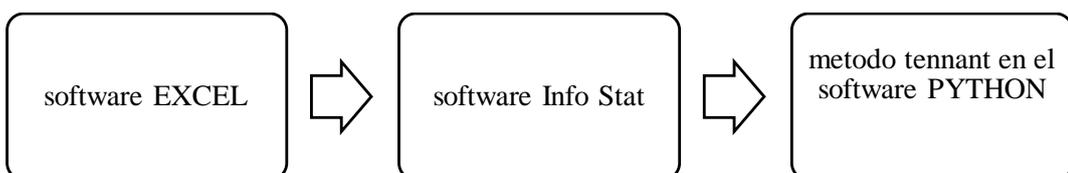


Figura 3. Herramientas utilizadas en la determinación del Caudal Ecológico.

Elaborado por: Vaca J. Tubón C., 2018.

8.2 Herramientas utilizadas

8.2.1 Excel:

Se distingue de todos los programas ofimáticos porque nos permitió trabajar con datos numéricos. Con los números que se almacenó en Excel podremos realizar cálculos aritméticos básicos y también podremos aplicar funciones matemáticas de mayor complejidad, o utilizar funciones estadísticas.

8.2.2 Info Stat:

Cubre tanto las necesidades elementales para la obtención de estadísticas descriptivas y gráficos para el análisis exploratorio, como métodos avanzados de modelación estadística y análisis multivariado.

8.2.3 PYTHON:

Es un lenguaje de programación interpretado cuya filosofía hace hincapié en una sintaxis que favorezca un código legible. Se trata de un lenguaje de programación multiparadigma, ya que soporta orientación a objetos, programación imperativa y, en menor medida, programación funcional.

8.3 Ubicación del Área de Estudio

El río Cutuchi forma parte de la subcuenca del río Patate, cuenca del río Pastaza. Esta microcuenca se ubica en la provincia de Cotopaxi, comprende los cantones de Saquisilí, Pujilí, Latacunga, Salcedo. (ver figura 4).

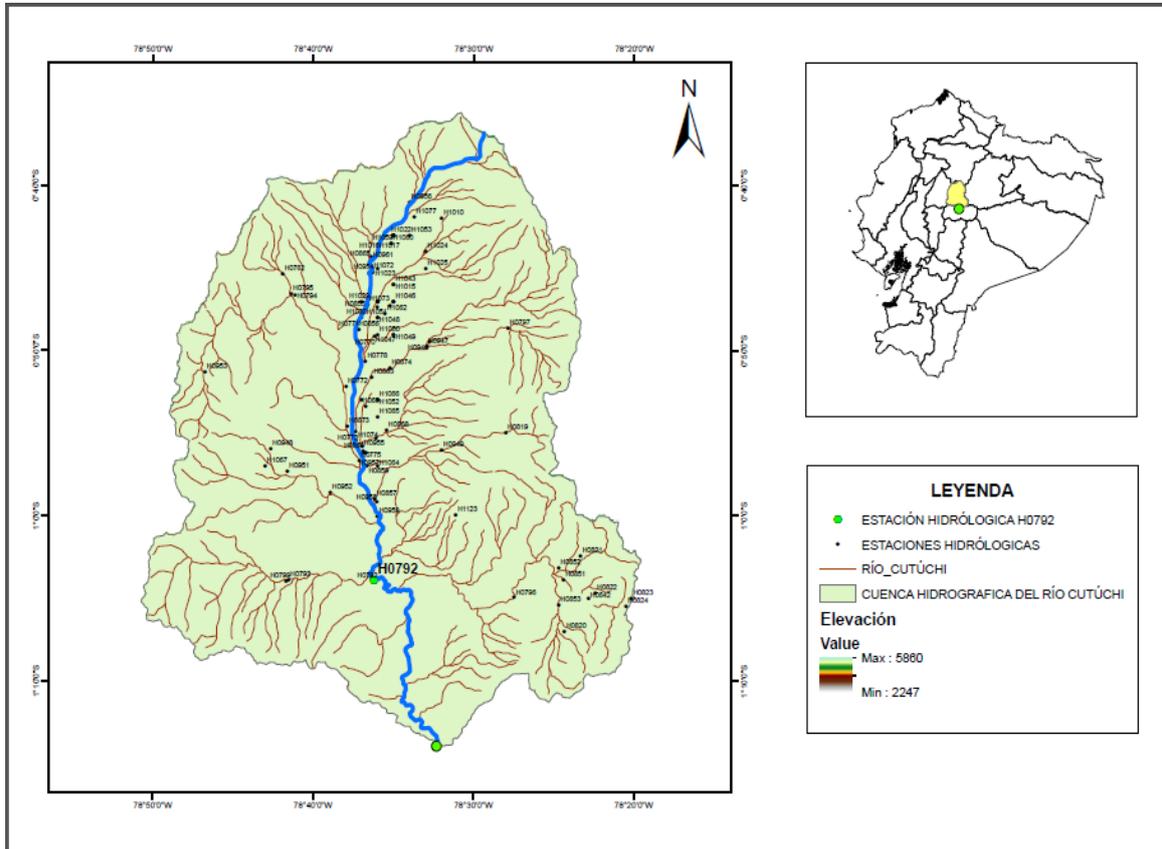


Figura 4. Delimitación de la microcuenca río Cutuchi (estaciones hidrológicas)

Elaborado por: Vaca J. Tubón C., 2019.

8.4 Datos

Se han recopilado datos mensuales de caudal de 6 estaciones proveniente del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) (Tabla 4), del total de estaciones se escogió una estación hidrológica (H0792) para el periodo de 1988-2014. Se seleccionó esta estación por poseer un periodo de 27 años consecutivos y menor porcentaje de datos faltantes.

Tabla 4. Estaciones hidrologías y meteorológicas, su ubicadas dentro de la microcuenca del río Cutuchi. (MRC)

Código	Nombre	Tipo	Cuenca	Latitud (°S)	Longitud (°W)	Altitud (msnm)
H1022	Ac. Reservoirio Drensa. Callo	Limnimétrica	Pastaza	-78.58	-0.71	2785
H1065	Ac. Julio Molina tq.ag.ptbl.	Limnimétrica	Pastaza	-78.6	-0.9	2610
H0796	Yanayacu en Pte. Pucara	Limnigráfica	Pastaza	-78.46	-1.0	3095
H1074	Desfogue Maltería la Victoria	Limnimétrica	Pastaza	-78.62	-0.92	2820
H1077	Ac. la Rinconada	Limnimétrica	Pastaza	-78.56	-0.69	3260
H0792	Cutuchi A.J Yanayacu	Limnimétrica	Pastaza	-78.60	-1.06	2582

Fuente: INAMHI, 1960-2015

8.5 Análisis exploratorio de datos (AED)

Se realizará un análisis exploratorio de datos para la estación Cutuchi A. J Yanayacu (H0792), ubicada dentro del área de estudio. El AED se realizó mediante medidas de resumen como son: la media, la mediana, la varianza, el coeficiente de asimetría, la desviación estándar. (Batanero & Godino, 1991)

8.6 Completación de Datos Faltantes

La completación de datos se realizó mediante el método de la media aritmética, para datos faltantes menores al 10% (Anexo 2)

8.7 La media aritmética

La media aritmética se utilizará a partir de obtención de todos los valores dividida entre el número de sumandos. Cuando el conjunto es una muestra aleatoria recibe el nombre de media maestra siendo uno de los principales estadísticos muestrales. (Rondero & Font, 2015)

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

8.8 Determinación de caudales por el Método de Tennant (1976) o de Montana

Para la aplicación de este método se requiere un registro de por lo menos 20 años, por eso se seleccionó un periodo de 27 años (1988-2014) de datos mensuales de caudal en la MRC. Este método se caracteriza por realizar un análisis de series temporales de los caudales naturales del curso de agua y proporciona pautas de para el manejo del caudal con base al porcentaje de caudal promedio para mantener atributos biológicos de un río. Es un método rápido donde la mayoría de los países lo han usado, básicamente en corrientes que no tienen estructuras de regulación como represas, diques u otras modificaciones en el cauce (Tennant). El proceso de este método es el siguiente:

- Se determinó los caudales medios, máximo y mínimo de la estación H0729
- Se calculó el promedio anual, con base a este valor se calculó el periodo de avenida y de estiaje.
- Se determinó el 10%, 20%, 30%, 40%, 50% y 60% del caudal medio como referencia del caudal ambiental, los diferentes rangos se explican en la (tabla 5)
- Todo el proceso se realizó en PYTHON.

Tabla 5. Estimaciones del caudal ambiental por el método Tennant (1976) o de montana

Descripción de caudales	Regímenes de caudales recomendados	
	Estación lluviosa	Estación seca
Máximo	200% del caudal medio	200% del caudal medio
Rango óptimo	60 -100% del caudal medio	60 -100% del caudal medio
Sobresaliente	40%	60%
Excelente	30%	50%
Bueno	20%	30%
Justo o degradable	10%	30%
Pobre o mínimo	10%	10%
Grave degradación	10%	10%

Fuente: (Donald L. Tennant, 1976)

Se considera que el flujo es estable cuando se cumple la condición: $Q > 10\% Q_{\text{medio}}$.

8.9 Descripción de caudales

Según las recomendaciones de Tennant (1976) se considera un caudal de:

8.9.1 Grave Degradación:

La severa degradación para la mayoría de los elementos del medio acuático.

8.9.2 Pobre o mínimo:

Permite proteger temporalmente algunos hábitats para los organismos acuáticos.

8.9.3 Sobresaliente, Excelente, Bueno:

Caudal recomendado para mantener los Hábitats y vida acuática.

8.9.4 Rango Óptimo:

Particularmente para los primeros estadios de desarrollo de la mayoría de los organismos acuáticos y para la mayoría de usos recreativos.

8.9.5 Máximo:

Valores mayores pueden causar severos procesos de erosión de riberas y degradación del ecosistema acuático.

9 ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

9.2 Medidas de resumen de la estación H0792

El caudal promedio anual fue $9.52 \text{ m}^3/\text{s}$, con una desviación estándar mensual de $\pm 5.88 \text{ m}^3/\text{s}$ y un caudal máximo de $40.9 \text{ m}^3/\text{s}$ correspondiente al mes de mayo (Tabla 5.). El caudal presenta una gran variabilidad interanual (>0.6), los años con mayor caudal corresponde a: 1993, 1999, 2000, 2006-2008, 2011-2012 y 2014 (Figura 4.), debido a las máximas precipitaciones que se presentan en el callejón interandino influenciadas por el Pacífico Tropical y del Atlántico. (Berenson & Levine, 1991)

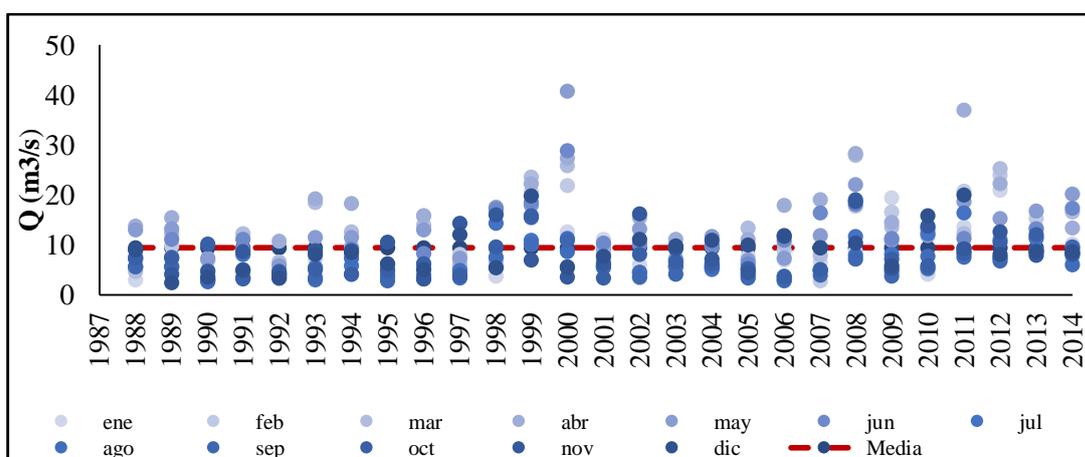


Figura 5. Variabilidad interanual e intranual de caudales para el río Cutuchi.

Elaborado por: Vaca J. Tubón C., 2019.

En el gráfico de caja (Figura 6) se compara el caudal para los doce meses del año, mostrando la distribución por años en el río Cutuchi. Es decir, la distribución corresponde a la variable años y cada serie corresponde una categoría de la variable meses. Puede observarse (Figura 5) que la distribución es mayor (es decir, mayor dispersión) para los meses de avenidas. Por otra parte, presenta un caudal (mediana) mayor que la época de estiaje. Además, el 95 % de los meses de estiaje llegan obtener los caudales mínimos observados en el río Cutuchi.

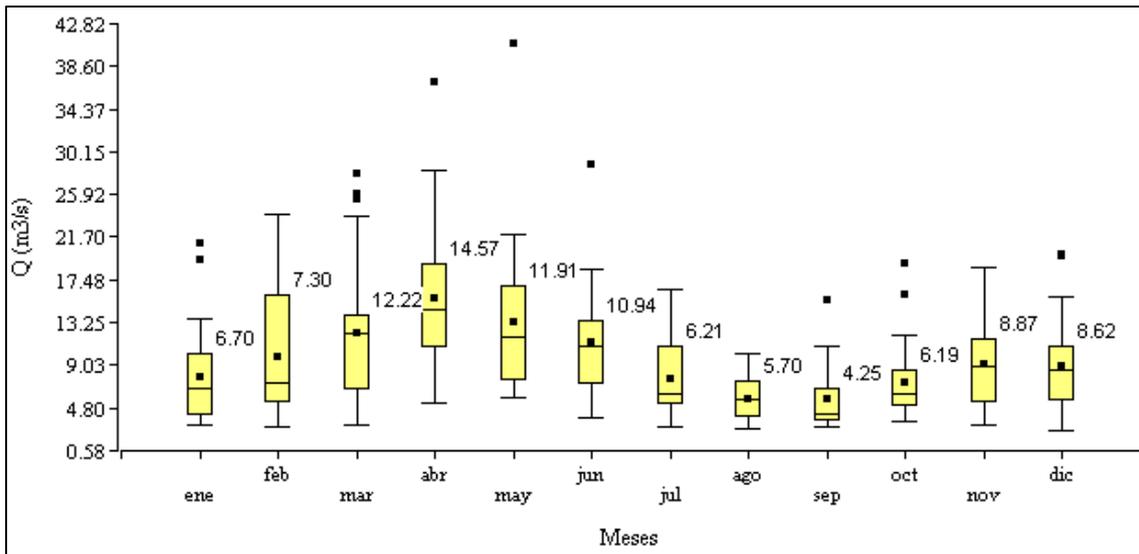


Figura 6. Diagrama de caja
 Elaborado por: Vaca J. Tubón C., 2019.

9.3 Distribución temporal del caudal

Para un periodo de 27 años (1988-2014) el caudal promedio anual fue 9,52 m³/s y su distribución interanual considerando este promedio fue unimodal, con una época de estiaje de febrero a junio, y otra de avenida (julio - enero). Siendo abril el mes que presenta mayor caudal y septiembre el mínimo (Figura. 7).

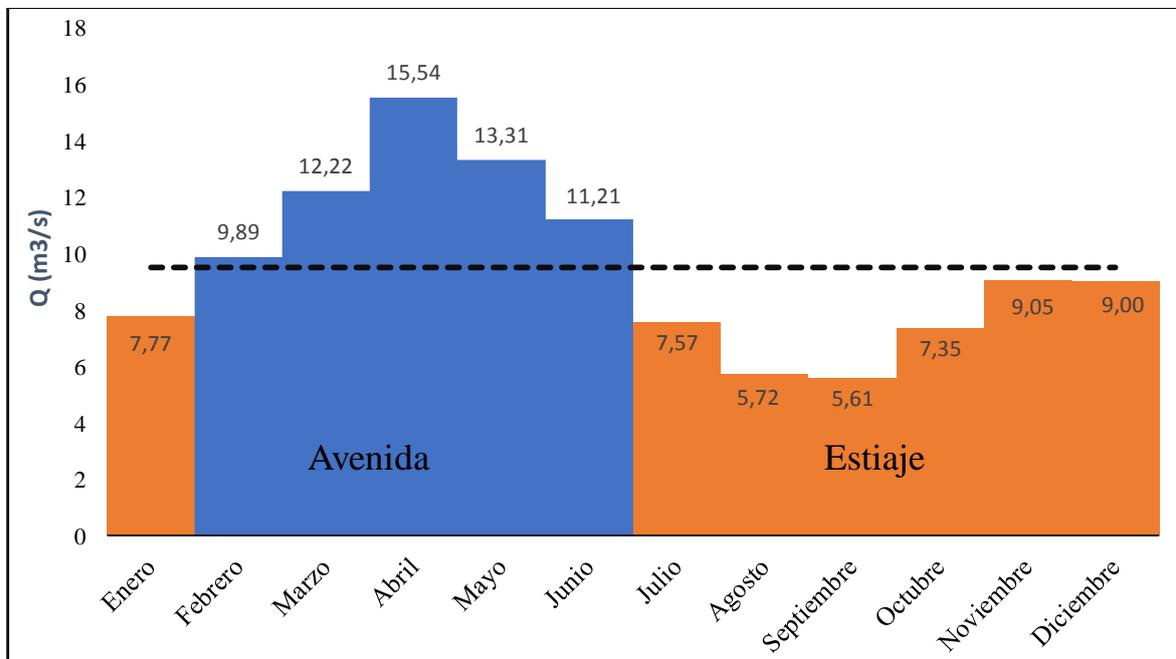


Figura 7. Caudal promedio mensual y anual para la determinación de épocas de avenida y estiaje
 Elaborado por: Vaca J. Tubón C., 2019.

El caudal mínimo observado para un periodo de 27 años fue 2.5 m³/s correspondiente al mes de diciembre (periodo de estiaje) y un caudal máximo de 40.90 m³/s en el mes de mayo (periodo de avenidas).

Tabla 6. Caudal medio mensual y caudal medio anual

Meses	Qmax	Qmin	Qme
Enero	21.03	3.05	7.77
Febrero	23.95	2.90	9.89
Marzo	27.91	3.20	12.22
Abril	37.02	5.24	15.54
Mayo	40.90	5.81	13.31
Junio	28.93	3.92	11.21
Julio	16.51	2.98	7.57
Agosto	10.16	2.72	5.72
Septiembre	15.42	2.92	5.61
Octubre	19.12	3.40	7.35
Noviembre	18.75	3.16	9.05
Diciembre	20.02	2.50	9.00
Caudal medio anual			9.52

Elaborado por: Vaca J. Tubón C., 2019.

El caudal promedio anual fue 9.52 m³/s, con base a estos datos se determinó los caudales al 10%, 30%, 40%, 50% y 60% para la época de estiaje, dando como resultado que el caudal mínimo fue 0.99 m³/s y un caudal bueno de 6.22 m³/s como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 7. Caudales al 10, 30, 40, 50, 60% en la parte media del río Cutuchi para el periodo de avenidas.

Meses	Mínimo	Aceptable	Bueno	Excelente	Excepcional
Febrero	0.99	0.99	3.95	4.94	5.93
Marzo	1.22	1.22	4.89	6.11	7.33
Abril	1.55	1.55	6.22	7.77	9.32
Mayo	1.33	1.33	5.32	6.65	7.99
Junio	1.12	1.12	4.48	5.61	6.73

Elaborado por: Vaca J. Tubón C., 2019.

Para el periodo de avenidas (febrero- junio), se determinó los caudales al caudales al 10%, 20%, 30% y 40% considerando el mismo caudal promedio anual, dando como resultado que el caudal mínimo fue 0.9 m³/s y un caudal bueno de 1.55 m³/s como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 8. Caudales al 10, 20, 30, 40% en la parte media del río Cutuchi para el periodo de estiaje.

Meses	Mínimo	Aceptable	Bueno	Excelente	Excepcional
Enero	0.78	0.78	1.55	2.33	3.11
Julio	0.76	0.76	1.51	2.27	3.03
Agosto	0.57	0.57	1.14	1.72	2.29
Septiembre	0.56	0.56	1.12	1.68	2.24
Octubre	0.74	0.74	1.47	2.21	2.94
Noviembre	0.90	0.90	1.81	2.71	3.62
Diciembre	0.90	0.90	1.80	2.70	3.60

Elaborado por: Vaca J. Tubón C., 2019.

9.4 Determinación del Caudal Ecológico de Tennant en PYTHON

9.4.1 Estimaciones de caudal ecológico

En la figura 7 se puede observar el caudal al 40% y 60%, siendo un caudal recomendable para generar un hábitat de características excepcionales para la mayoría de las formas de vida acuática, durante los períodos de crecimiento iniciales (García, et al., 1999; Maunder & Hindley, 2005; Pyrcce, 2004).

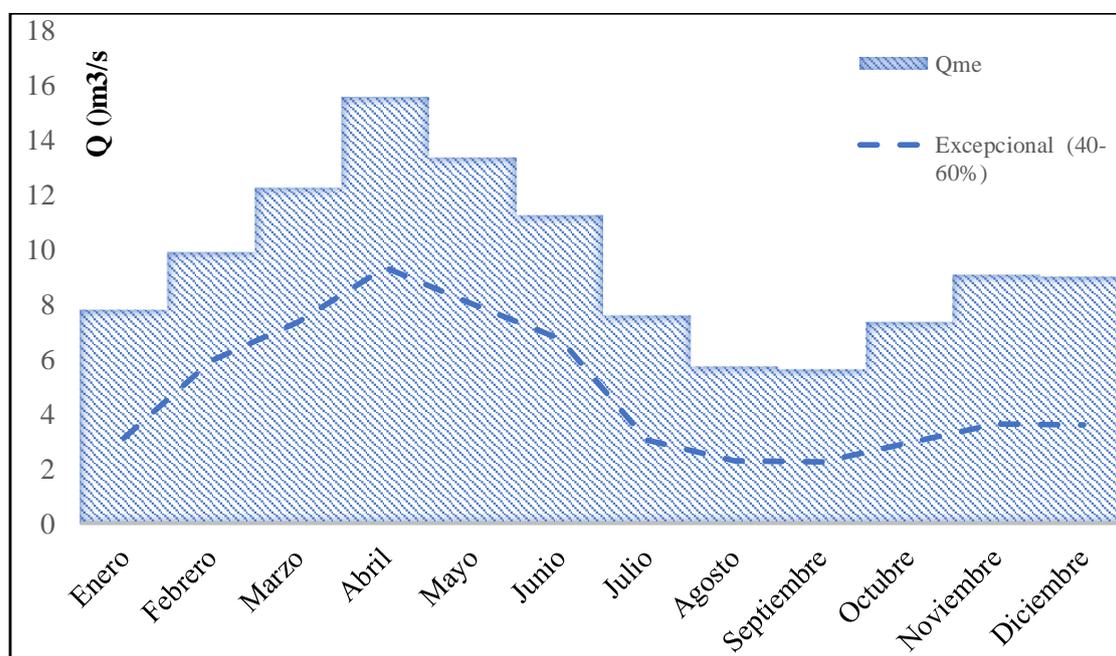


Figura 8. Caudal Ecológico Excepcional representado del MRC.

Elaborado por: Vaca J. Tubón C., 2019.

En la figura 8 se puede observar el caudal ecológico excelente 30% y 50 % para el río Cutuchi (zona media), este tipo de caudal proporcionaría condiciones de hábitat excelente para la vida acuática (Tennant 1976).

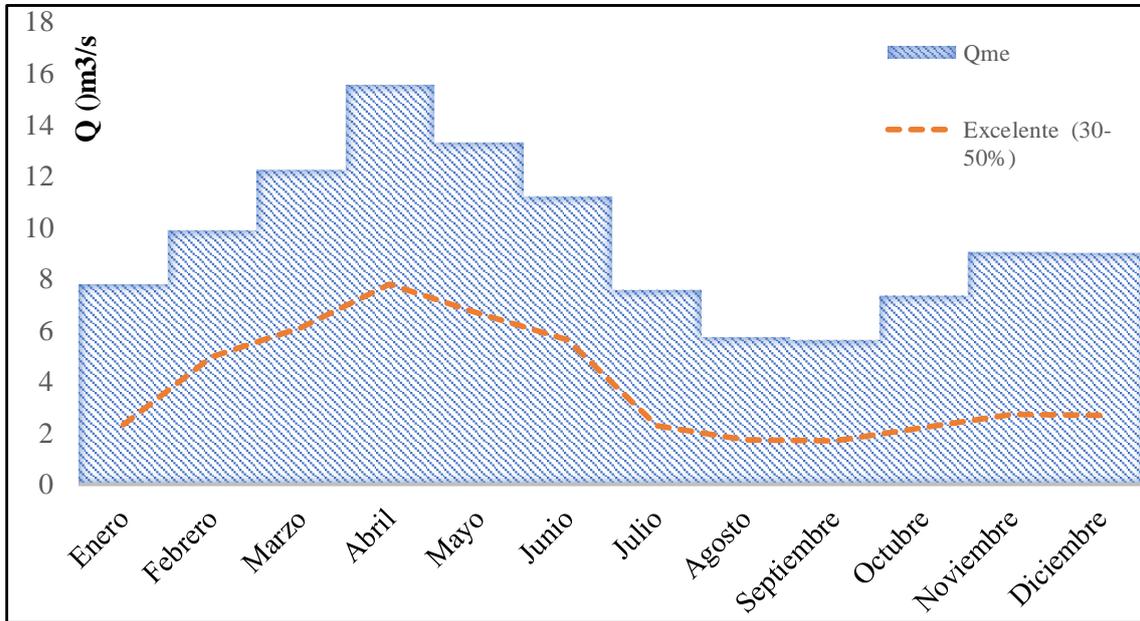


Figura 9. Caudal Ecológico Excelente representado del MRC.

Elaborado por: Vaca J. Tubón C., 2019.

En la figura 9, se observa el caudal al 20 % y 30%, recomendable para mantener un hábitat adecuado para la sobrevivencia de las diversas formas de vida acuática. (Tennant 1976).

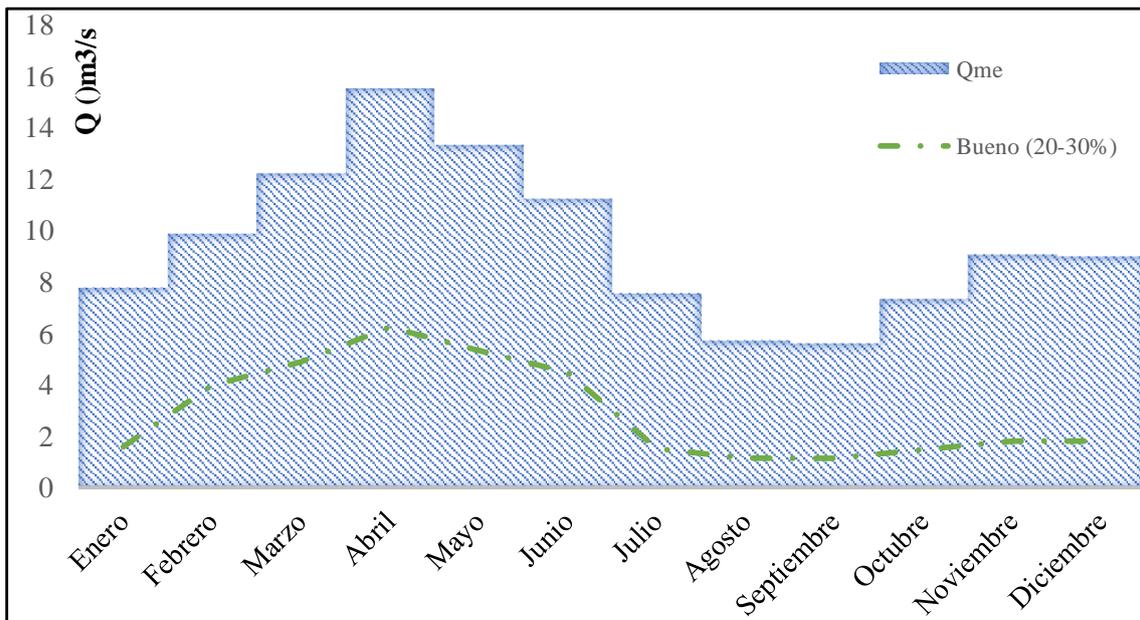


Figura 10. Caudal Ecológico Bueno representado del MRC.

Elaborado por: Vaca J. Tubón C., 2019.

En la figura 10, se observa el caudal al 10%, es el mínimo recomendable para mantener un hábitat que permite en un corto plazo la sobrevivencia de la mayoría de las formas de vida acuática; según el 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.

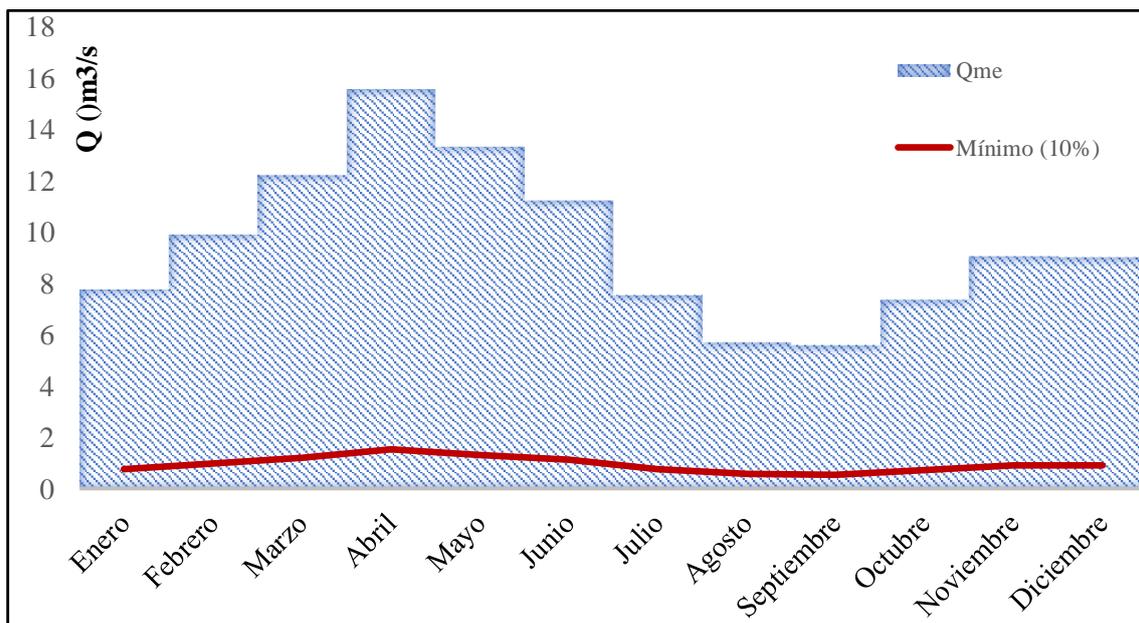


Figura 11. Caudal Ecológico Mínimo representado del MRC.

Elaborado por: Vaca J. Tubón C., 2019.

9.5 Discusión de caudal ecológico (validación con el Art. 411)

Es decir el método Tennant identifica diferentes niveles de caudales como adecuados para la vida acuática con base en diversas proporciones de los caudales medios (Acreman & Dunbar, 2004; Moore, 2004; Smakhtin, 2001; Stewardson, 2005). Además proporciona de manera rápida, sencilla y económica una aproximación de los caudales ecológicos, considerandos como un porcentaje del caudal medio anual (Pyrce, 2004).

El valor del caudal ecológico seleccionado para esta investigación fue excelente, es decir 50% para época de avenidas y 30% para el estiaje (Figura 8), considerando la propuesta de varios autores (MMM, (2008), sD, 2003, Brazil), Por razón que este caudal mantiene los hábitat en estado adecuado para la sobrevivencia de la mayoría de las formas de vida acuática, el caudal ecológico establecido fue 30% (2.2 ms^{-1}) y 50% (6.2 ms^{-1}) para época de avenida y estiaje respectivamente.

SENAGUA es la autoridad competente encarga de 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. El caudal ecológico designado por la legislación es el 10%; establecido de acuerdo a las condiciones y características de los cuerpos de agua que establecidos dentro de la planificación hídrica nacional, sin embargo este caudal ecológico no se debería considerar para todos los ríos del Ecuador ya que todos los ríos no mantienen un mismo cauce. Por lo tanto se debe considerar que el caudal ecológico, debería mantenerse al 30% en épocas de estiaje y 50% en épocas de avenida es así que mantendría una calidad de agua donde existiría macro invertebrados acuáticos, conservando la biodiversidad de los ecosistemas existente y manteniendo las zonas de recargas hídricas. Esto aseveramos que el cálculo del caudal ecológico mediante Tennant en Python es de gran observación para previas legislaciones al momento de mantener un caudal que beneficie a diferentes juntas de riego, industrias, el medio ambiente y a la misma SENAGUA logrando conservar al recurso hídrico para nuestras futuras generaciones.

10 CONCLUSIONES

En general la microcuenca de río Cutuchi existe una gran diferencia reflejado en las magnitudes que presenta la variable de caudal, hecho que es notorio en la aplicación

mediante el método de Tennant en Python para los resultados alcanzados. A partir del presente proyecto de investigación y la determinación del caudal ecológico, se pudo señalar que anualmente sería posible que el caudal siga aumentando a través del tiempo, producto de la variabilidad climática observada en esta zona. Por su parte los caudales tienen una tendencia incremental en el periodo 1988 – 2014, incluso más de lo históricamente conocido.

El caudal ecológico determinado para MRC es el 50% en avenida y 30% en estiaje, se determinó un caudal excelente en la metodología de Tennant en Python para mantener un nivel adecuado de la salud en el ecosistema, logrando así recuperar hábitats naturales, conservación de la Fauna y Flora, preservación de paisajes que sin duda alguna ayudarían a futuro y notablemente a una purificación natural de agua. Por lo tanto, dada esta investigación, SENAGUA en coordinación con autoridad ambiental nacional deberían considerar dentro de la planificación hídrica dicha metodología.

11 RECOMENDACIONES

Antes de realizar la determinación del caudal ecológico se debe tener en cuenta la contaminación existente ya que un río puede tener un caudal ecológico excelente pero si encuentra totalmente contaminado no se podrá conservar hábitats naturales importantes en la conservación de la fauna y flora.

Es recomendable realizar la determinación del caudal ecológico para la zona alta y baja de la microcuenca del río Cutuchi, porque si se realiza la investigación se podrá mantener el caudal ecológico como garantía de preservación de los ecosistemas y la biodiversidad, teniendo en cuenta las instituciones y de todas las personas, sean o no usuarios del agua, respetando la cantidad y calidad requerida que proteja la biodiversidad acuática y ecosistemas aledaños.

Es muy importante tener en cuenta que los caudales calculados con el método de Tennant y el criterio de la Legislación Ecuatoriana no toman en cuenta directamente las características hidrobiológicas de los ríos, ni las magnitudes; por esta razón, es importante verificar en campo que con el criterio adoptado se tengan caudales suficientes para el mantenimiento de la ecología fluvial y que las alteraciones en el caudal no afecten la vida acuática. Además se debe tener en cuenta la variabilidad de los resultados de un método al otro, al momento de elegir alguno de ellos.

12 BIBLIOGRAFIA

- Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M., & Prat, N. (2009). Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnética*, 28(1), 035-64.

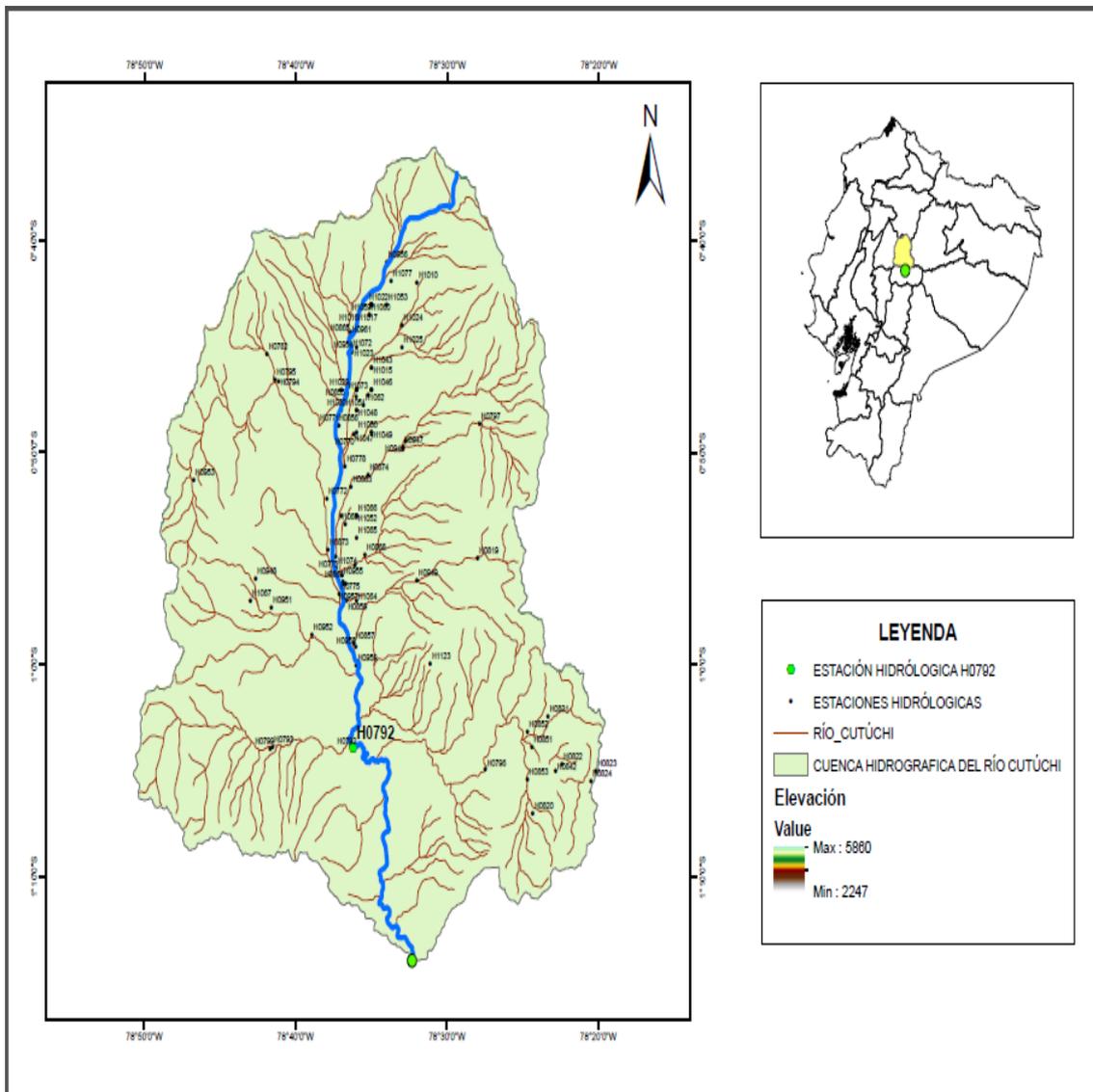
- Acreman, A y M. Dunbar. 2004. Definición de requisitos de caudal del río ambiental - una revisión. *Hidrología y ciencias del sistema terrestre* 8 (5): 861–876.
- Alvarez Calvache, F. C. (2010). Las Aguas Residuales Provenientes del faenamiento en el Camal Municipal Salcedo Y su Incidencia en la contaminación del Río Cutuchi (Bachelor's thesis).
- Arthington, A., R. Thharme, S. Brizga, B. Pusey y M. Kennard. 2005. Evaluación del flujo ambiental con énfasis en metodologías holísticas. Reporte técnico. Centro de paisajes ribereños, Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad de Griffith, Nathan, Queensland, Australia. 31 p.
- Batanero, C., Estepa, A., & Godino, J. D. (1991). Análisis exploratorio de datos: sus posibilidades en la enseñanza secundaria. *Suma*, 9(25-31).
- Berenson, M. L., & Levine, D. M. (1991). *Estadística para administración y economía: conceptos y aplicaciones*. McGraw-Hill Interamericana,.
- Breilh, J. (2007). Nuevo modelo de acumulación y agroindustria: las implicaciones ecológicas y epidemiológicas de la floricultura en Ecuador. *Ciência & Saúde Coletiva*, 12, 91–104. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232007000100013>
- Calvache, A., & Cayetano, F. (2010). Las Aguas Residuales Provenientes del faenamiento en el Camal Municipal Salcedo Y su Incidencia en la contaminación del Río Cutuchi. Recuperado de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/1774>
- Castro Heredia, L. M., Carvajal Escobar, Y., & Monsalve Durango, E. A. (2006). Enfoques teóricos para definir el caudal ambiental. *Ingeniería y Universidad*, 10(2).
- Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Administración del Agua, (1990), CD_HIDRO, Datos Hidrométricos de México 1937-1985, 1a ed...
- Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola, (1994), El agua y su aprovechamiento múltiple, presas construidas por la Comisión Nacional del Agua de 1989 a 1994, Editorial Códice, S.A. de C.V., México, 320 pp.
- Dafonte, D. J., Valcárcel, A. M., Neira, X. X., & Paz, A. (1999). Análisis de los métodos de cálculo de la conductividad hidráulica saturada de campo medida con permeámetro Guelph. *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo (Muñoz-Carpena, R, 5-10)*FETTER

- Díez-Hernández, J. M. (2005). Bases metodológicas para el establecimiento de caudales ecológicos en el ordenamiento de cuencas hidrográficas. *Ingeniería y Competitividad*, 7(2).
- Dingman S. L., (1994) *Hidrología física*. Macmillan Publishing Co., Nueva York.
- Dolomanov, O. V., Bourhis, L.J., Gildea, R.J., Howard, J.A., y Puschmann, H. (2009). OLEX2: un programa completo de solución, refinamiento y análisis de estructuras. *Diario de la cristalografía aplicada*, 42 (2), 339-341.
- Duabily, Y. D. C. A., & Méndez, C. E. C. (2006). Metodologías para la determinación de los caudales ecológicos en el manejo de los recursos hídricos. *Tecnogestión*, 3(1).
- Dyson, M., G. Bergkamp, & J.Scanlon (Eds.) 2003. *Caudal. Elementos esenciales de los caudales ambientales*. Traducción de José María Blanch. UICN–ORMA. San José, Costa Rica. 125 p.
- Encalada, A. (2010). Funciones ecosistémicas y diversidad de los ríos: Reflexiones sobre el concepto de caudal ecológico y su aplicación en el Ecuador. *Polémika*, 2(5). Recuperado de <http://revistas.usfq.edu.ec/index.php/polemika/article/view/370>
- García, E., González, R., Martínez, P., Athala, J., & Paz, G. (1999). *Guía de aplicación de los métodos de cálculo de caudales de reserva ecológicos en México*. Comisión Nacional del Agua, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México.
- Hidalgo Ramírez, C. E., & Osorio Muñoz, E. A. (2013). Evaluación y determinación de la capacidad secuestrante de los metales pesados cromo (CR) y cadmio (CD) por taxas de mohos aisladas de los alrededores de los ríos Cutuchi y Machángara. Recuperado de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6006>
- Maunder, D y B. Hindley. 2005. *Establecimiento de Requerimientos de Flujo Ambiental –Informe de Síntesis*. Producido por Fisheries and Oceans Canada, Ontario, Canadá. 77 p.
- Moore, M. 2004. *Percepciones e interpretaciones de los flujos ambientales e implicaciones para la gestión futura de los recursos hídricos*. Tesis de Maestría. Departamento de Agua y Estudios Ambientales. Universidad de Linköping. Suecia. 56 p.
- Ronquillo, M., & Cecilia, M. (2008). *Metodología y determinación de caudales ambientales en la cuenca del río Pastaza*. Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/722>

- Sandoval Erazo, W. R., & Aguilera Ortiz, E. P. (2014). DETERMINACIÓN DE CAUDALES EN CUENCAS CON POCO INFORMACIÓN HIDROLÓGICA. Repositorio de la Universidad Estatal de Milagro. Recuperado de <http://repositorio.unemi.edu.ec//handle/123456789/3072>
- Santacruz de León, G., & Aguilar-Robledo, M. (2009). Estimación de los caudales ecológicos en el Río Valles con el método Tennant. *Hidrobiológica*, 19(1), 25-32.
- Tennant, D. L., (1976), *Instream Flow Regimenes para Fish, Wildlife, Recreation y Related Environmental Resources*, U. S. Fish y Wild Life Service, Montana, 15 p.
- Tutorial para Determinar el Caudal Ecológico con Python — gidahatari. (s/f). Recuperado el 13 de febrero de 2019, de <http://gidahatari.com/ih-es/tutorial-para-determinar-el-caudal-ecologico-con-python>

13 ANEXOS

Anexo 1. Determinación de la MRC y recopilación de estaciones de estudio



Elaborado por: Vaca J. Tubón C., 2019.

Anexo 2. Resultados de la recopilación de datos hidrológicos.

Estación	año	CAUDAL EN m ³ /s											
		ene	feb	mar	abr	may	Jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
H0792	1988	3.045	5.367	4.651	13.89	13.08	7.26						
H0792	1989											4.146	2.496
H0792	1990	3.408	4.008	3.2	7.012	7.402	4.89	2.98	2.72	3.06	10.3	4.67	3.644
H0792	1991	3.648	4.223		8.096	9.152		8.17	5.15	3.25	3.395	8.67	4.975
H0792	1992	3.27	4.729	6.631	10.82	5.809	4.03	3.46	3.82	4.15	4.823	4.263	3.408
H0792	1993	4.04	7.301	18.52	19.37	11.48	5.48	5.48	3.09	3.5	5.078	8.866	8.127
H0792	1994	8.324	9.894	12.62	18.41	11.55	9.22	5.9	7.31	4.25	4.194	8.875	8.529
H0792	1995	3.587	3.473	4.225	6.055	6.331	3.92	5.03	3.78	2.92	4.873	10.67	6.222
H0792	1996	5.641	15.92	13.98	15.79	13.07	8.32	6.21	3.89	3.31	6.19	3.159	5.141
H0792	1997	6.232	8.047	6.18	5.242	7.4	5	4.96	3.34	4.12	3.808	14.47	12.11
H0792	1998	3.806	6.723	6.534	16.7	17.67	17.1	14.4	7.5	5.58	9.563	16.11	5.417
H0792	1999	10.14	20.55	23.7	22.27	18.04	18.6	11	10.2	15.4	15.95	7.023	19.79
H0792	2000	12.71	21.86	25.95	27.32	40.9	28.9	11.3	8.64	10.9	5.673	3.687	5.532
H0792	2001	11.13	5.507	9.651	8.28	6.821	10.3	5.54	5.69	5.81	3.499	6.224	7.802
H0792	2002	6.057	3.356	10.12			10.2	4.45	4.61	3.62	8.209	16.25	11.11
H0792	2003	4.877	5.593	7.313	11.09	9.811	7.09	5.85		4.15	6.548	9.224	9.816
H0792	2004	5.419	5.281	6.487	9.857	11.75	10	5.08			6.153	7.276	10.99
H0792	2005		6.074	13.36	11.21	7.053	6.31	5.11	3.9	3.46	5.223	4.461	9.972
H0792	2006	6.942	8.865	10.13	17.98	7.333	10.9	3.72	2.88	3.04	3.532	11.68	12
H0792	2007	6.695	2.902	7.905	19.08	11.91	16.5	4.9	4.88	3.93	5.117	9.516	9.516
H0792	2008	8.661	17.69	27.91	28.27	22.06	18.1	11.8	8	7.1	19.12	18.75	10.4
H0792	2009	19.42	16.61	13.63	14.57	11.04	11.3	8.15	4.73	3.82	7.183	5.303	5.925
H0792	2010	4.262	5.662	5.152	13.03	11.94	13.4	12.3	7.75	5.35	5.775	13.86	15.81
H0792	2011	13.67	20.73	12.32	37.02	18.74	11.3	16.5	7.61	8.64	8.403	9.265	20.02
H0792	2012	21.03	23.95	25.34	22.26	15.35		7.51	7.3	6.83	10.54	12.63	8.082
H0792	2013	8.064	15.41	13.33	11.59	16.91	13.2	11.3	8.81	8.76	12.04	7.937	8.663
H0792	2014	10.23	7.337	16.68	13.34	20.17	17.5	8.14	6.13	9.57	8.598	8.222	8.624

Fuente: INAMHI, 1960-2015

Anexo 3. Resultados de la completación de datos hidrológicos por el método de la media aritmética

CAUDAL EN m ³ /s		completado con la media aritmética											
Estación	Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	Jul	ago	sep	Oct	nov	dic
H0792	1988	3.0	5.4	4.7	13.9	13.1	7.3	7.6	5.7	5.6	7.4	9.0	9.0
H0792	1989	7.8	9.9	12.2	15.5	13.3	11.2	7.6	5.7	5.6	7.4	4.1	2.5
H0792	1990	3.4	4.0	3.2	7.0	7.4	4.9	3.0	2.7	3.1	10.3	4.7	3.6
H0792	1991	3.6	4.2	12.2	8.1	9.2	11.2	8.2	5.2	3.3	3.4	8.7	5.0
H0792	1992	3.3	4.7	6.6	10.8	5.8	4.0	3.5	3.8	4.2	4.8	4.3	3.4
H0792	1993	4.0	7.3	18.5	19.4	11.5	5.5	5.5	3.1	3.5	5.1	8.9	8.1
H0792	1994	8.3	9.9	12.6	18.4	11.5	9.2	5.9	7.3	4.2	4.2	8.9	8.5
H0792	1995	3.6	3.5	4.2	6.1	6.3	3.9	5.0	3.8	2.9	4.9	10.7	6.2
H0792	1996	5.6	15.9	14.0	15.8	13.1	8.3	6.2	3.9	3.3	6.2	3.2	5.1
H0792	1997	6.2	8.0	6.2	5.2	7.4	5.0	5.0	3.3	4.1	3.8	14.5	12.1
H0792	1998	3.8	6.7	6.5	16.7	17.7	17.1	14.4	7.5	5.6	9.6	16.1	5.4
H0792	1999	10.1	20.6	23.7	22.3	18.0	18.6	11.0	10.2	15.4	16.0	7.0	19.8
H0792	2000	12.7	21.9	26.0	27.3	40.9	28.9	11.3	8.6	10.9	5.7	3.7	5.5
H0792	2001	11.1	5.5	9.7	8.3	6.8	10.3	5.5	5.7	5.8	3.5	6.2	7.8
H0792	2002	6.1	3.4	10.1	15.5	13.3	10.2	4.5	4.6	3.6	8.2	16.2	11.1
H0792	2003	4.9	5.6	7.3	11.1	9.8	7.1	5.8	5.7	4.1	6.5	9.2	9.8
H0792	2004	5.4	5.3	6.5	9.9	11.7	10.0	5.1	5.7	5.6	6.2	7.3	11.0
H0792	2005	7.8	6.1	13.4	11.2	7.1	6.3	5.1	3.9	3.5	5.2	4.5	10.0
H0792	2006	6.9	8.9	10.1	18.0	7.3	10.9	3.7	2.9	3.0	3.5	11.7	12.0
H0792	2007	6.7	2.9	7.9	19.1	11.9	16.5	4.9	4.9	3.9	5.1	9.5	9.5
H0792	2008	8.7	17.7	27.9	28.3	22.1	18.1	11.8	8.0	7.1	19.1	18.8	10.4
H0792	2009	19.4	16.6	13.6	14.6	11.0	11.3	8.1	4.7	3.8	7.2	5.3	5.9
H0792	2010	4.3	5.7	5.2	13.0	11.9	13.4	12.3	7.7	5.4	5.8	13.9	15.8
H0792	2011	13.7	20.7	12.3	37.0	18.7	11.3	16.5	7.6	8.6	8.4	9.3	20.0
H0792	2012	21.0	24.0	25.3	22.3	15.3	11.2	7.5	7.3	6.8	10.5	12.6	8.1
H0792	2013	8.1	15.4	13.3	11.6	16.9	13.2	11.3	8.8	8.8	12.0	7.9	8.7
H0792	2014	10.2	7.3	16.7	13.3	20.2	17.5	8.1	6.1	9.6	8.6	8.2	8.6

Fuente: INAMHI, 1960-2015

Anexo 4. Estaciones hidrologías y meteorológicas, ubicadas dentro de la microcuenca del río Cutuchi. (MRC)

Código	Nombre	Tipo	Cuenca	Latitud	Longitud	Altitud
				(°S)	(°W)	(msnm)
H1022	Ac. Reservorio drensa. Callo	Limnimétrica	Pastaza	2785	-0.71	-78.58
H1065	Ac. Julio Molina tq.ag.ptbl.	Limnimétrica	Pastaza	2610	-0.9	-78.6
H0796	Yanayacu en Pte. Pucara	Limnigráfica	Pastaza	3095	-1.0	-78.46
H1074	Desfogue Maltería la Victoria	Limnimétrica	Pastaza	0	-0.92	-78.62
H1077	Ac. la Rinconada	Limnimétrica	Pastaza	0	-0.69	-78.56
H0792	Cutuchi A.J Yanayacu	Limnimétrica	Pastaza	2582	-1.06	-78.60

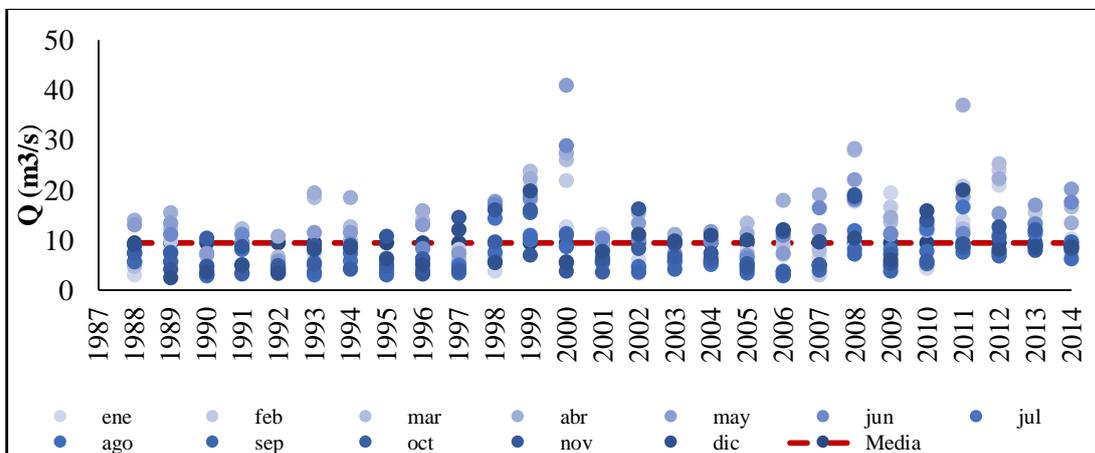
Fuente: INAMHI, 1960-2015

Anexo 5. Estimaciones del caudal ambiental por el método Tennant (1976)

Descripción de caudales	Regímenes de caudales recomendados	
	Estación lluviosa	Estación seca
Máximo	200% del caudal medio	200% del caudal medio
Rango óptimo	60 -100% del caudal medio	60 -100% del caudal medio
Sobresaliente	40%	60%
Excelente	30%	50%
Bueno	20%	30%
Justo o degradable	10%	30%
Pobre o mínimo	10%	10%
Grave degradación	10%	10%

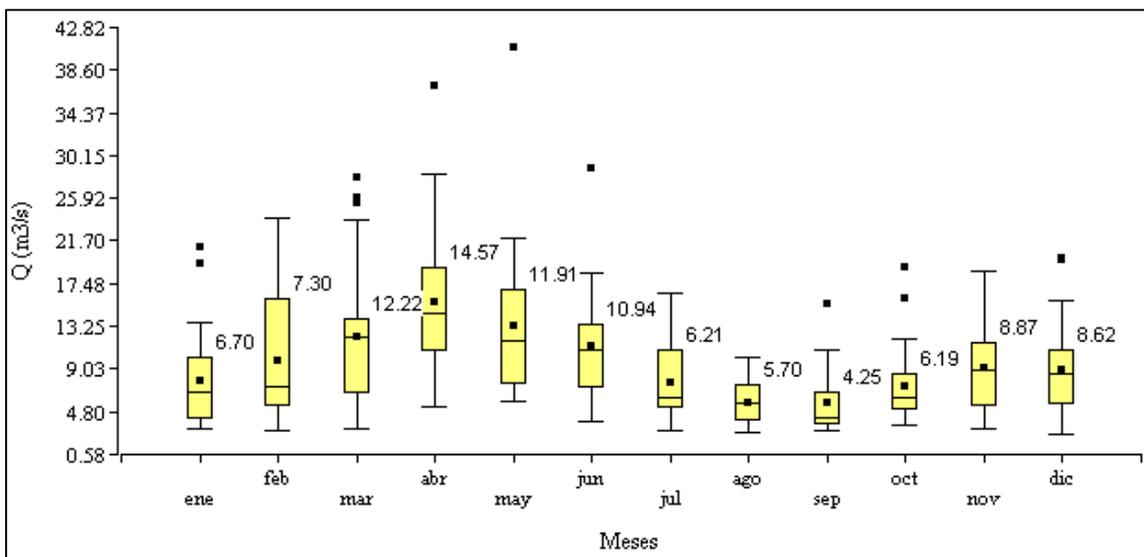
Fuente: Donald L. Tennant

Anexo 6. Variabilidad interanual e intranual de caudales para el río Cutuchi.



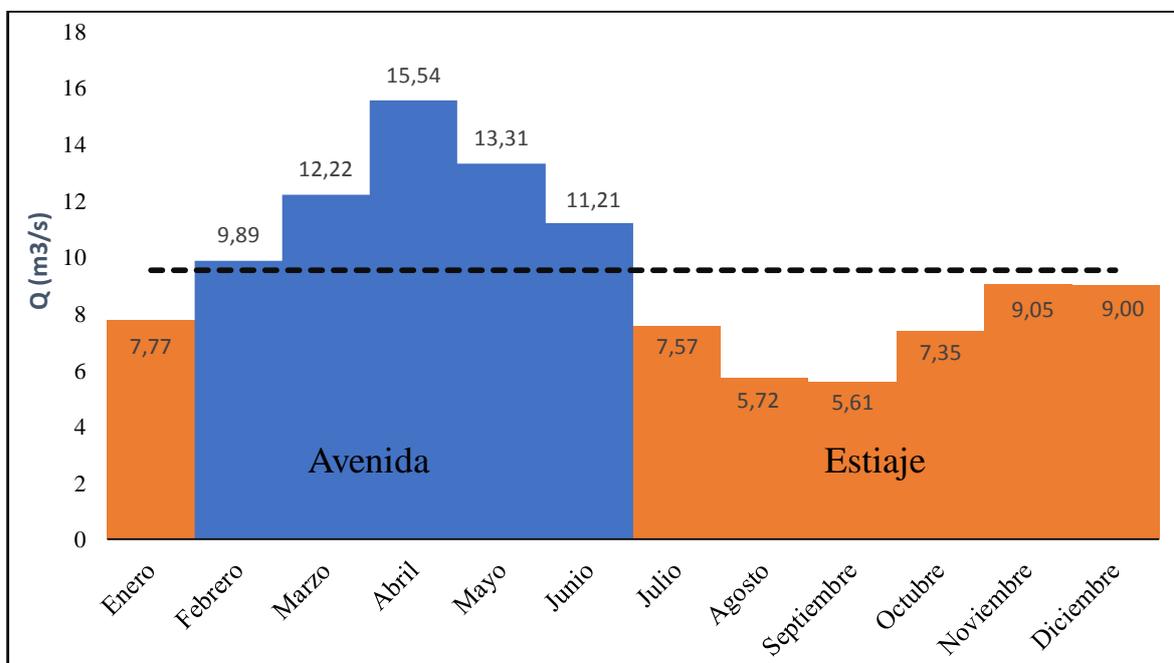
Elaborado por: Vaca J. Tubón C., 2019.

Anexo 7. Diagrama de caja



Elaborado por: Vaca J. Tubón C., 2019.

Anexo 8. Caudal promedio mensual y anual para la determinación de épocas de avenida y estiaje



Elaborado por: Vaca J. Tubón C., 2019.

Anexo 9. Caudal medio mensual y caudal medio anual

Meses	Qmax	Qmin	Qme
Enero	21.03	3.05	7.77
Febrero	23.95	2.90	9.89
Marzo	27.91	3.20	12.22
Abril	37.02	5.24	15.54
Mayo	40.90	5.81	13.31
Junio	28.93	3.92	11.21
Julio	16.51	2.98	7.57
Agosto	10.16	2.72	5.72
Septiembre	15.42	2.92	5.61
Octubre	19.12	3.40	7.35
Noviembre	18.75	3.16	9.05
Diciembre	20.02	2.50	9.00
Caudal medio anual			9.52

Elaborado por: Vaca J. Tubón C., 2019.

Anexo 10. Caudales al 10, 30, 40, 50, 60% en la parte media del río Cutuchi para el periodo de avenidas.

Meses	Mínimo	Aceptable	Bueno	Excelente	Excepcional
Febrero	0.99	0.99	3.95	4.94	5.93
Marzo	1.22	1.22	4.89	6.11	7.33
Abril	1.55	1.55	6.22	7.77	9.32
Mayo	1.33	1.33	5.32	6.65	7.99
Junio	1.12	1.12	4.48	5.61	6.73

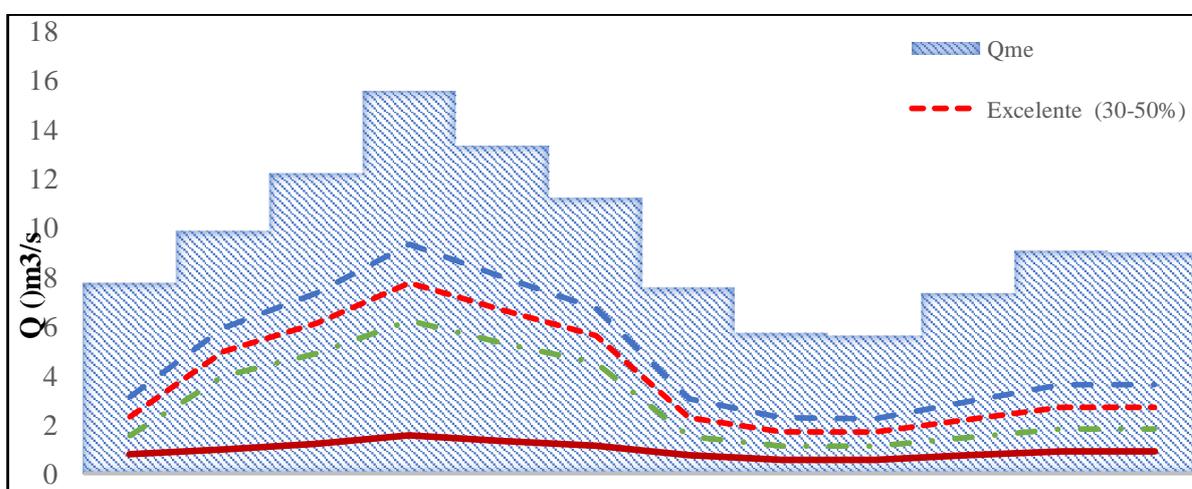
Elaborado por: Vaca J. Tubón C., 2019.

Anexo 11. Caudales al 10, 20, 30, 40% en la parte media del río Cutuchi para el periodo de estiaje.

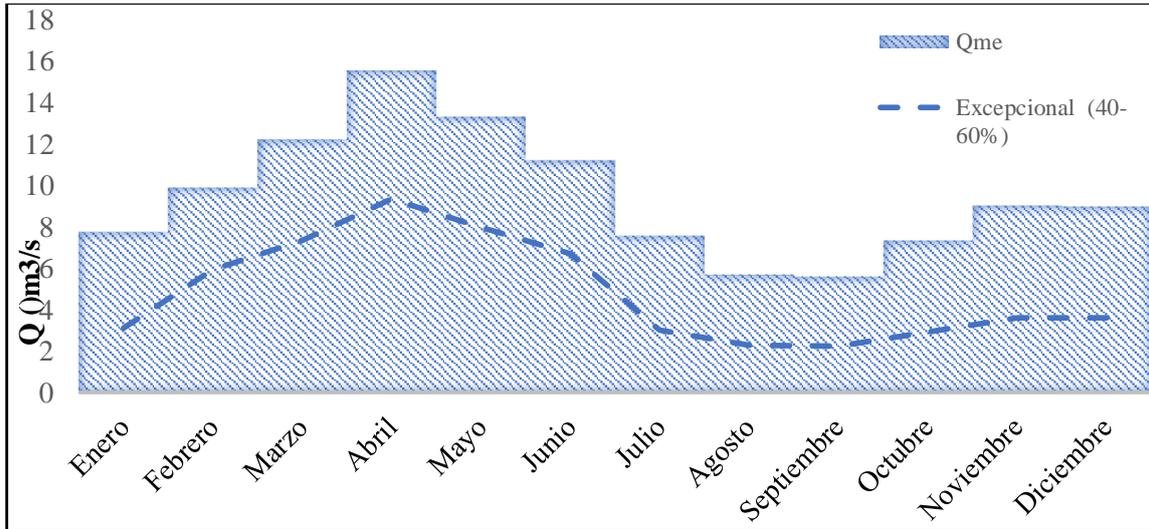
Meses	Mínimo	Aceptable	Bueno	Excelente	Excepcional
Enero	0.78	0.78	1.55	2.33	3.11
Julio	0.76	0.76	1.51	2.27	3.03
Agosto	0.57	0.57	1.14	1.72	2.29
Septiembre	0.56	0.56	1.12	1.68	2.24
Octubre	0.74	0.74	1.47	2.21	2.94
Noviembre	0.90	0.90	1.81	2.71	3.62
Diciembre	0.90	0.90	1.80	2.70	3.60

Elaborado por: Vaca J. Tubón C., 2019.

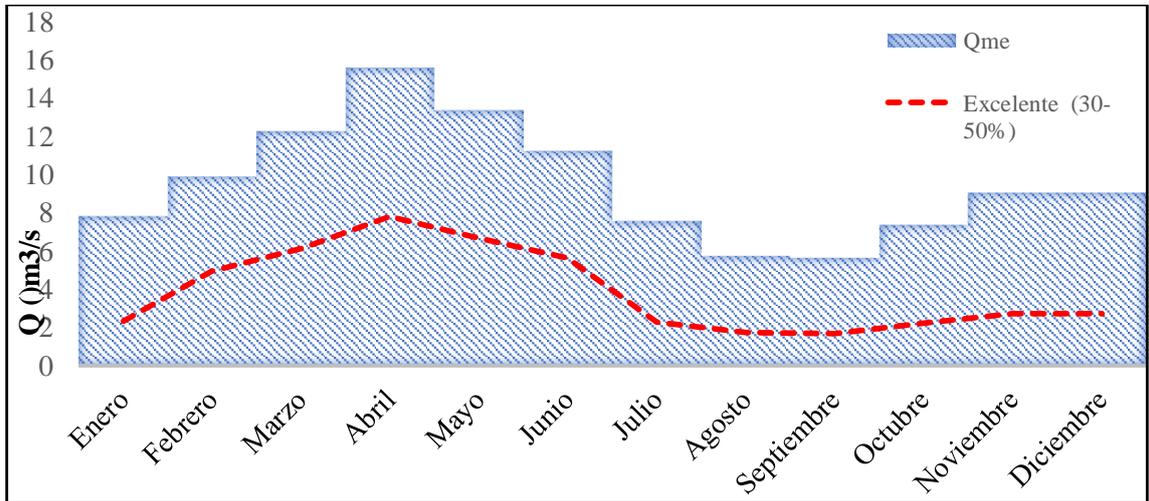
Anexo 12. Representación gráfica de la obtención del caudal ecológico



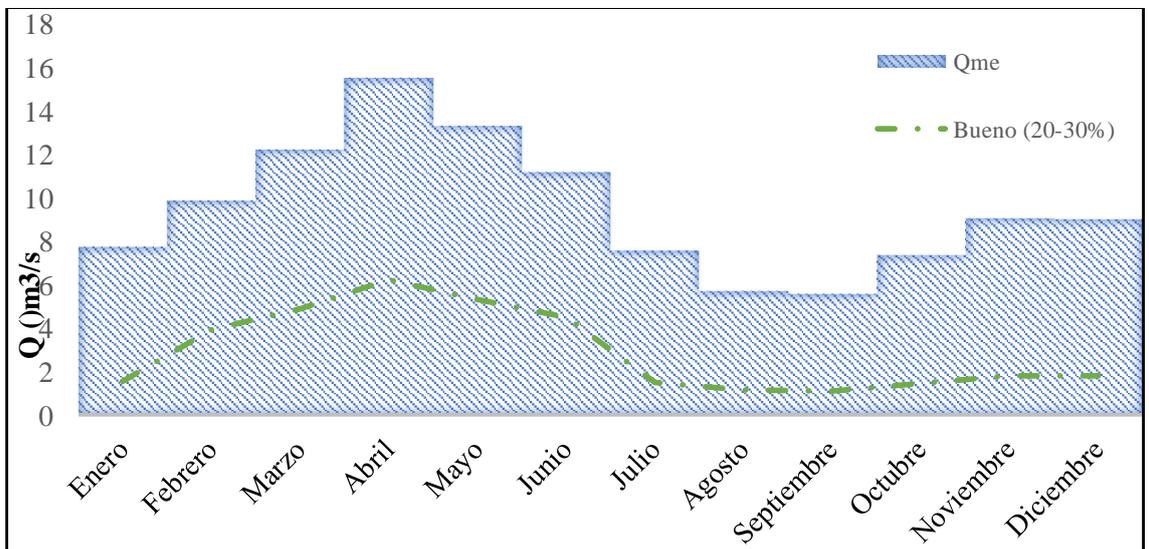
Elaborado por: Vaca J. Tubón C., 2019.



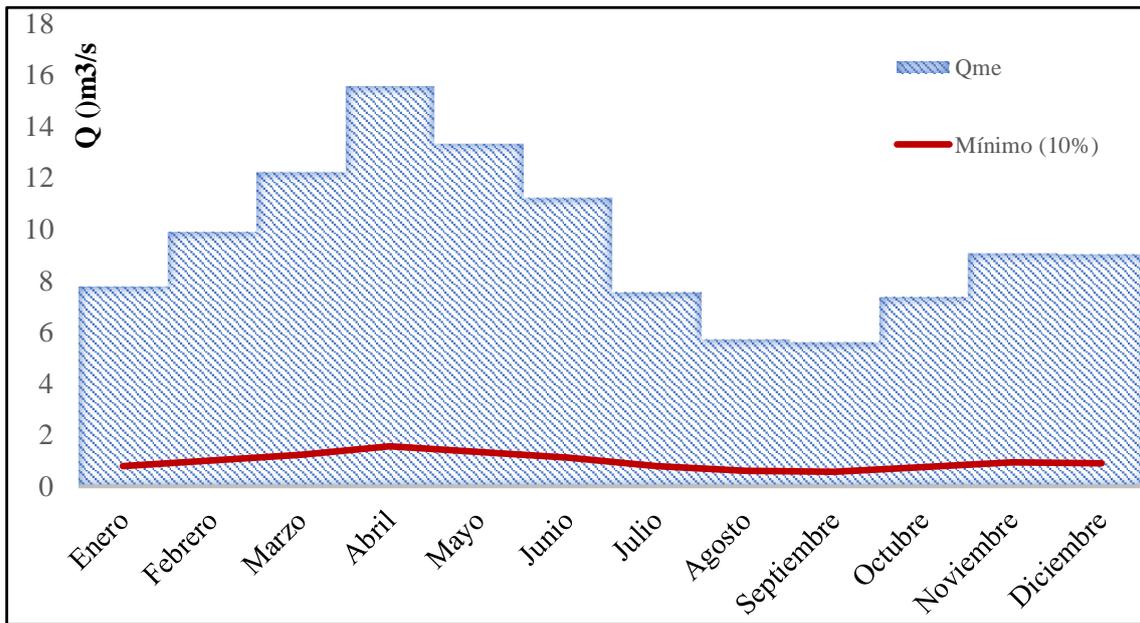
Elaborado por: Vaca J. Tubón C., 2019.



Elaborado por: Vaca J. Tubón C., 2019.



Elaborado por: Vaca J. Tubón C., 2019.



Elaborado por: Vaca J. Tubón C., 2019.

Anexo 13. Comandos de PYTHON para la determinación del Caudal Ecologico.

Primer comando

```
%ls
```

Segundo comando

```
%pylab inline
```

```
import pandas as pd
```

```
datosH0345 = pd.read_csv("Datos_Estacion_H0345.csv", index_col=2,  
parse_dates=True)
```

Tercer comando

```
datosH0345.head()
```

Cuarto comando

```
datosH0345.tail()
```

Quinto comando

```
datosH0345["Caudal(m3/s)"].plot()
```

```
figsize(16,3)
```

```
xticks(rotation="horizontal")
```

Sexto comando

```
H034520yrs = datosH0345["1972-01-01":"1991-01-12"]
```

```
H034520yrsFilter = H034520yrs[["Caudal(m3/s)"]]
```

```
H034520yrsFilter.head()
```

Séptimo comando

```
H034520yrsFilter.plot(style=".")
```

```
figsize(16,3)
```

```
xticks(rotation="vertical")
```

Octavo comando

```
H0345anuales = H034520yrsFilter.groupby(lambda m: m.year)
```

```
H0345anuales.head()
```

Noveno comando

```
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
plt.plot(H0345anuales.max())
```

```
plt.plot(H0345anuales.mean())
```

```
plt.plot(H0345anuales.median())
```

```
plt.plot(H0345anuales.min())
```

```
plt.show()
```

Decimo comando

```
H0345anuales.boxplot(subplots=False, return_type="dict");
```

```
xticks(rotation="vertical")
```

Onceavo comando

```
H0345anuales.quantile(.05).plot()
```

Doceavo comando

H0345anuales.quantile(0.3),(0.5) **Anexo 14.** 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

N°	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 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 SUUPERIOR			
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

INFORMACIÓN ADICIONAL QUE CONSIDERE ÚTIL

OEA, Beca para estudios de doctorado
JICA-MIAMBIENTE, Beca para un curso en Panamá
AECID, Beca para un curso en Bolivia
ESPOCH, Beca para estudios de tercer nivel (Ingeniería)
Universidad, Mejor egresada y 2° Mejor Graduada del año ESPOCH –FRN-EIA
Colegio, Abanderada de la Provincia ITES “RIOBAMBA”

Anexo 15. Hoja de vida del autor: José Rodrigo Vaca Arias.

Datos Personales:

Nombre: José Rodrigo

Apellidos: Vaca Arias



Cedula de ciudadanía: 050379415-8

Fecha Nacimiento: 22/07/1996

Estado Civil: Soltero

Móvil: 0998162967

Ciudad: Salcedo

Dirección: Salcedo – Mulliquindil Santa Ana

E-mail: jose.vaca8@utc.edu.ec

Formación Académica:

PRIMARIA	<ul style="list-style-type: none">• Escuela Fiscal Mixta “Dr. Camilo Gallegos Domínguez”
SECUNDARIA	<ul style="list-style-type: none">• Instituto Tecnológico “Vicente León”
NIVEL SUPERIOR	<ul style="list-style-type: none">• Universidad Técnica de Cotopaxi

Títulos Obtenidos:

- Título de Bachillerato General Unificado.
- Competente nivel B1 del idioma Inglés.

Seminarios – cursos Realizados:

- III Seminario Científico Internacional de Cooperación Universitaria para el Desarrollo Sostenible-Ecuador 2017.
- Curso – Taller “Gestión de riesgos naturales en América Latina y el Caribe”
- Congreso Internacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales “Un nuevo reto para la conservación ambiental”

- Seminario Nacional del Cóndor Andino.

FIRMA: _____

Vaca Arias José Rodrigo

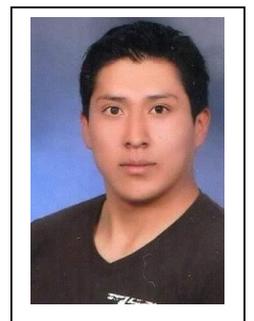
CI: 050379415-8

Anexo 16. Hoja de vida del autor: Christian Gonzalo Tubón Llerena.

Datos Personales:

Nombre: Christian Gonzalo

Apellidos: Tubon Llerena



Cedula de ciudadanía: 180345759-5

Fecha Nacimiento: 26/12/1991

Estado Civil: Soltero

Móvil: 0984107925

Ciudad: Pelileo, Barrio “Central”

Dirección: Av. Padre Chacón y Juan León Mera (La Matriz)

E-mail: christian.tubon5@utc.edu.ec

chris_gt26@outlook.com

Formación Académica:

PRIMARIA	<ul style="list-style-type: none"> • Escuela Fiscal “Liceo Juan Montalvo”
SECUNDARIA	<ul style="list-style-type: none"> • Instituto Tecnológico Superior “Bolívar” (AMBATO-TUNGURAHUA)
NIVEL SUPERIOR	<ul style="list-style-type: none"> • Universidad Técnica de Cotopaxi

Títulos Obtenidos:

- Título de Bachiller en Ciencias.
- Competente nivel B1 del idioma Inglés.

Seminarios – cursos Realizados:

- III Seminario Científico Internacional de Cooperación Universitaria para el Desarrollo Sostenible-Ecuador 2017.
- Curso – Taller “Gestión de riesgos naturales en América Latina y el Caribe”

- Congreso Internacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales “Un nuevo reto para la conservación ambiental”
- Seminario Nacional del Cóndor Andino.
- Seminario de Capacitación en Calidad Ambiental.
- Foro “Los recursos Hídricos en la Provincia de Cotopaxi”
- Curso – Taller de “Manejo de Instrumentación Ambiental”
- Capacitación a los sujetos de control en planes de manejo ambiental, planes de acción, planes de emergencia, informes de cumplimiento y auditorias en el cantón Latacunga, enfocado en la educación sobre los problemas de cambio climático.

FIRMA: _____

Tubón Llerena Christian Gonzalo

CI: 180345759-5