



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y MANEJO
DE RIESGOS NATURALES**

**“DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO DEL RÍO
JATUNHUAYCU PERTENECIENTE AL SISTEMA DE
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE LA MICA - QUITO
SUR, PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DEL RECURSO
HÍDRICO”**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES**

EDWIN ROBERTO CUMBAL CUMBAL

DIRECTOR: ING. MAURICIO VALLADARES

Quito, mayo, 2016

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2016

Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo **EDWIN ROBERTO CUMBAL CUMBAL**, declaro que el trabajo descrito aquí es de mi autoría; que no ha sido presentado previamente para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y normativa institucional vigente.



EDWIN ROBERTO CUMBAL CUMBAL

C.I. 1721033916

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título **“Determinación del caudal ecológico del río Jatunhuaycu perteneciente al sistema la Mica - Quito Sur, para el manejo sustentable del recurso hídrico”**, que, para aspirar al título **de Ingeniería Ambiental y Manejo de Riesgos Naturales** fue desarrollado por **Roberto Cumbal**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 18 y 25.



Ing. Mauricio Valladares Borja

DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I. 1708523855

CARTA DE LA INSTITUCIÓN



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL



Quito DM, 21 de Octubre de 2015
UTE-DEC-FCI-BHH-No.- 1053 -15

Doctor
Carlos Espinosa
GERENTE DE OPERACIONES
EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO
DE QUITO
Presente

De mi consideración

Reciba un cordial saludo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Tecnológica Equinoccial.

Por medio del presente, comedidamente solicito a usted se sirva autorizar el ingreso a las instalaciones de la cuenca del Embalse de La Mica, al estudiante CUMBAL CUMBAL EDWIN ROBERTO, portador de la cédula de ciudadanía 1721033916, de la Carrera de Ingeniería Ambiental y Manejo de Riesgos Naturales.

La finalidad es la de recolectar datos acerca de las formaciones naturales presentes en dicho lugar, para la elaboración del Trabajo de Titulación: "DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO DEL RÍO JATUNHUAYCO PERTENECIENTE AL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE LA MICA QUITO-SUR, PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DEL RECURSO HÍDRICO", requisito previo a la obtención del título de Ingenier Ambiental y Manejo de Riesgos Naturales.

Seguro de contar con su valiosa colaboración, anticipo mi agradecimiento.

Atentamente,

Ing. Bolívar Haro Haro, MSc.
Decano
Facultad de Ciencias de la Ingeniería

QUITO
28 OCT 2015
GERMÁN BRITO N.
SECRETARÍA GENERAL



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
DECANO

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dirigido a Dios, el que guía mis pasos, ayudado a levantarme de momentos difíciles y brindarme salud y vida para cumplir mis objetivos, quien al mismo tiempo es el creador de mis padres Víctor Hugo y María Teresa, quienes con su esfuerzo y dedicación ayudaron a culminar mis estudios. A mi hermano Víctor Javier quien con sus consejos y mano siempre extendida me impulsa a ser mejor persona. A mi familia en general y seres que aprecio con toda sinceridad.

AGRADECIMIENTO

A mi familia quienes me ofrecen su amor. Amigos quienes brindan momentos inolvidables, gracias por ello. Y seres queridos que por el transcurso de mi existencia supieron formar parte de ella, por ser pilares de fundamental importancia en mi paso por la vida, totalmente agradecido a ustedes, por la confianza puesta sobre mí y contar con su apoyo incondicional desde que tengo conciencia. Este escalón superado en su mayoría es gracias a ustedes.

A los profesores de la Carrera de Ingeniería Ambiental y Manejo de Riesgos Naturales, quienes en mi paso por sus aulas brindaron su generosidad, comprensión y paciencia para impartir sus conocimientos.

A mi director de tesis Ing. Mauricio Valladares, quien con su conocimiento y disponibilidad ha guiado mis ideas para la culminación de este proyecto.

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1721033916
APELLIDO Y NOMBRES:	Cumbal Cumbal Edwin Roberto
DIRECCIÓN:	Tumbaco_El Arenal
EMAIL:	ccer4inm@hotmail.com
TELÉFONO FIJO:	2046685
TELÉFONO MOVIL:	0982554006

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO DEL RÍO JATUNHUAYCU PERTENECIENTE AL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE LA MICA - QUITO SUR, PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DEL RECURSO HÍDRICO”
AUTOR O AUTORES:	Edwin Roberto Cumbal Cumbal
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	08 de Junio del 2016
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Ing. Mauricio Valladares
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	El presente estudio tiene como objetivo principal determinar el caudal ecológico (Qe) del río Jatunhuaycu, el mismo que es de gran importancia por ser un aporte al sistema de abastecimiento La Mica – Quito Sur y suministra de agua a la población Sur de la ciudad de Quito. Es

conveniente mencionar que el caudal ecológico es la cantidad y calidad de los recursos hídricos necesarios para mantener el hábitat del río para mantener su estabilidad.

Mediante análisis previo se optó por una metodología hidrológica, en total se realizaron cuatro metodologías de este tipo. La fórmula de Matthey, Q5, Q10 y Q25, este último fue considerado para aplicarlo en el área de estudio. Se tomó en cuenta el marco legal de la República del Ecuador y de otros países para su aplicación. El Q5 básicamente se refiere al 5% del caudal medio anual, del cual varios autores la nombran como una de las metodologías más utilizadas en Latinoamérica, pero no existe una normativa nacional de respaldo. El Q10 se refiere al 10% del caudal medio anual, éste porcentaje no se encuentra normado en la legislación ecuatoriana (Ley de Recursos Hídricos), sólo existe una normativa para proyectos de generación hidroeléctrica. El Q25 es una metodología propuesta por la legislación colombiana, la misma que toma en cuenta las propiedades y características físico – geográficas del área de estudio y es compatible para el presente estudio; por ello se propone la metodología del 25% del caudal medio mensual multianual más bajo, como la más viable en el río Jatunhuaycu. Luego del análisis, se estableció que el Q25 en el río Jatunhuaycu fue de 40.7 l/s en el año 2012 y de 53.1 l/s en el 2016, estos valores

	<p>garantizan las condiciones y equilibrio del hábitat del río aguas abajo de la captación. Cabe recalcar que para la determinación del caudal ecológico es necesario tener como mínimo la disposición de caudales medios mensuales, de al menos diez años consecutivos. Para el presente trabajo se utilizaron los datos del periodo comprendido entre los años 2002 y 2012.</p>
<p>PALABRAS CLAVES</p>	<p>Caudal ecológico, recurso hídrico, hábitat, metodología hidrológica, aguas abajo, captación de agua.</p>
<p>ABSTRACT:</p>	<p>The present study has as its main objective to determine the ecological flow (Qe) of Jatunhuaycu river, it is of great importance for being a contributor to the supply system La Mica - Quito Sur and supplies water to the southern city population of Quito. It is worth mentioning that the environmental flow is the quantity and quality of water resources needed to maintain river habitat to maintain its stability.</p> <p>By previous analysis we chose a hydrological methodology, a total of four methods of this type were made. The formula Matthey, Q5, Q10 and Q25, the latter was considered to apply in the study area. It took into account the legal framework of the Republic of Ecuador and other countries for implementation. The Q5 basically refers to 5% of the average annual flow, which several authors named as one of the methodologies used in Latin America, but there is no national legislation backup. Q10 refers to 10% of</p>

	<p>the annual average flow, this percentage is not regulated in Ecuadorian legislation (Water Resources Act), there is only one standard for hydroelectric generation projects. The Q25 is a methodology proposed by Colombian law, it takes into account the properties and physical characteristics - geographic study area and is compatible for this study; therefore the methodology 25% lower, as the most viable in the river Jatunhuaycu multiyear monthly average flow is proposed. After analysis, it was established that the Q25 in the Jatunhuaycu river is 40.7 l / s in 2012 and 53.1 l / s in 2016. It should be noted that for determining the ecological flow is necessary to have at least the provision of average monthly flow of at least ten consecutive years. For this study period data were used between 2002 and 2012.</p>
KEYWORDS	Ecological flow, water resources, habitat, hydrological methodology downstream, water catchment.

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.



f: _____

EDWIN ROBERTO CUMBAL CUMBAL

1721033916

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **CUMBAL CUMBAL EDWIN ROBERTO**, CI 1721033916 autor del proyecto titulado: **Determinación del caudal ecológico del río Jatunhuaycu perteneciente al sistema de abastecimiento de agua potable la Mica - Quito Sur, para el manejo sustentable del recurso hídrico** previo a la obtención del título de **INGENIERO AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 6 de Junio del 2016



f: _____

EDWIN ROBERTO CUMBAL CUMBAL

1721033916

ÍNDICE

	PÁGINA
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. JUSTIFICACIÓN	2
1.2. OBJETIVO GENERAL	3
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. RECURSO HÍDRICO	5
2.2. CICLO HIDROLÓGICO	6
2.2.1. SUBSISTEMA ATMOSFÉRICO	7
2.2.2. AGUA SUPERFICIAL.....	8
2.2.3. AGUA SUBTERRÁNEA	9
2.3. EQUILIBRIO ENTRE NECESIDADES HÍDRICAS DE LOS SERES HUMANOS Y CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS	9
2.4. CAUDAL HIDROLÓGICO	10
2.5. CAUDAL ECOLÓGICO.....	11
2.6. MARCO LEGAL PARA LA REGULACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS.....	12
2.6.1. CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR 2008..	13
2.6.2. LEY ORGÁNICA DE RECURSOS HÍDRICOS, USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA.....	16

2.6.3. TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA.....	21
2.6.4. NORMA AMBIENTAL ECUATORIANA: PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL DEL RECURSO AGUA EN CENTRALES HIDROELÉCTRICAS.....	23
2.7. COMPETENCIAS INSTITUCIONALES EN EL PAÍS RELACIONADAS CON CAUDALES ECOLÓGICOS	25
2.8. REQUERIMIENTOS DEL CAUDAL ECOLÓGICO	26
2.9. CONDICIONES DEL CAUDAL ECOLÓGICO.....	26
2.10. METODOLOGÍAS UTILIZADAS PARA LA DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO	27
2.10.1. METODOLOGÍA HIDROLÓGICA.....	27
2.10.2. METODOLOGÍA HIDRÁULICA.....	27
2.10.2.1. Método del perímetro mojado	28
2.10.3. MÉTODOLOGÍA ECO – HIDRÁULICO.....	29
2.10.3.1. Modelo PHABSIM.....	29
2.11. 10% DEL CAUDAL EN EL RÍO	30
2.12. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	30
2.12.1. LA MICA QUITO – SUR	38
2.12.2. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE “EL TROJE”	38
3. METODOLOGÍA	42
3.1. METODOLOGÍAS PARA LA DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO.....	42
3.2. METODOLOGÍA 5% DEL CAUDAL.....	42
3.3. METODOLOGÍA 10% DEL CAUDAL.....	42
3.4. METODOLOGÍA Q25%	43

3.5. METODOLOGÍA DE ACUERDO A LA LEGISLACIÓN SUIZA, FRANCESA, ASTURIANA Y VASCA (MATTHEY).....	44
3.6. RÉGIMEN DE CAUDAL ECOLÓGICO EN EL RÍO JATUNHUAYCU ANTES DE LA CAPTACIÓN	46
3.7. REGÍMENES DE CAUDAL ECOLÓGICO AGUAS ARRIBA DE LA CAPTACIÓN DEL RÍO JATUNHUAYCU	49
3.7.1. METODOLOGÍAS HIDROLÓGICA Q5, Q10 Y Q25, A PARTIR DE LAS MEDIAS MENSUALES DE LOS AÑOS 2002 – 2012.....	49
3.7.1.1. Caudales ecológicos determinados mediante las metodologías de Q5, Q10 y Q25 para el año 2002.....	49
3.7.1.2. Caudales ecológicos determinados mediante las metodologías de Q5, Q10 y Q25 para el año 2003.....	51
3.7.1.3. Caudales ecológicos determinados mediante las metodologías de Q5, Q10 y Q25 para el año 2004.....	52
3.7.1.4. Caudales ecológicos determinados mediante las metodologías de Q5, Q10 y Q25 para el año 2005.....	53
3.7.1.5. Caudales ecológicos determinados mediante las metodologías de Q5, Q10 y Q25 para el año 2006.....	54
3.7.1.6. Caudales ecológicos determinados mediante las metodologías de Q5, Q10 y Q25 para el año 2007.....	55
3.7.1.7. Caudales ecológicos determinados mediante las metodologías de Q5, Q10 y Q25 para el año 2008.....	56
3.7.1.8. Caudales ecológicos determinados mediante las metodologías de Q5, Q10 y Q25 para el año 2009.....	57
3.7.1.9. Caudales ecológicos determinados mediante las metodologías de Q5, Q10 y Q25 para el año 2010.....	58
3.7.1.10. Caudales ecológicos determinados mediante las metodologías de Q5, Q10 y Q25 para el año 2011.....	59

3.7.1.11. Caudales ecológicos determinados mediante las metodologías de Q5, Q10 y Q25 para el año 2012.....	60
3.8. FÓRMULA DE MATTHEY UTILIZADA EN LA LEGISLACIÓN SUIZA, FRANCESA, ASTURIANA Y VASCA.....	61
3.8.1. FÓRMULA DE MATTHEY - PERÍODO 2002 – 2012	61
3.8.1.1. Cálculo del Qe mediante la fórmula de Matthey, año 2002	62
3.8.1.2. Cálculo del Qe mediante la fórmula de Matthey, año 2003	63
3.8.1.3. Cálculo del Qe mediante la fórmula de Matthey, año 2004	64
3.8.1.4. Cálculo del Qe mediante la fórmula de Matthey, año 2005	65
3.8.1.5. Cálculo del Qe mediante la fórmula de Matthey, año 2006	66
3.8.1.6. Cálculo del Qe mediante la fórmula de Matthey, año 2007	67
3.8.1.7. Cálculo del Qe mediante la fórmula de Matthey, año 2008	68
3.8.1.8. Cálculo del Qe mediante la fórmula de Matthey, año 2009	69
3.8.1.9. Cálculo del Qe mediante la fórmula de Matthey, año 2010	70
3.8.1.10. Cálculo del Qe mediante la fórmula de Matthey, año 2011	71
3.8.1.11. Cálculo del Qe mediante la fórmula de Matthey, año 2012	72
3.9. REGRESIÓN LINEAL	73
3.10. SIG	75
4. RESULTADOS.....	78
4.1. METODOLOGÍA HIDROLÓGICA	78
4.1.1. CAUDAL 5%.....	78
4.1.2. CAUDAL 10%.....	80
4.1.3. CAUDAL 25%.....	82
4.1.4. FÓRMULA DE MATTHEY	85
4.1.5. COMPARACIÓN Q5, Q10, Q25 Y MATTHEY EN EL PERÍODO 2002 – 2012	87

4.1.6. Proyección del caudal ecológico del 2013 al 2016 de las metodologías hidrológicas estudiadas, a partir de los caudales del año 2002 – 2012	89
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
5.1. CONCLUSIONES	94
5.2. RECOMENDACIONES	96
6. BIBLIOGRAFÍA	97

ÍNDICE DE TABLAS

PÁGINA

Tabla 1. Permanencia del agua en períodos de tiempo.	6
Tabla 2. Criterios de calidad admisibles para la preservación de flora y fauna en agua dulce, fría o cálida, y en aguas marinas y de estuarios.....	22
Tabla 3. Caudal mensual promedio del río Jatunhuaycu aguas arriba de la captación, período 1979 - 2013.	47
Tabla 4. Promedios anuales del caudal del río Jatunhuaycu en el período 2002 - 2012.....	62
Tabla 5. Herramientas utilizadas del Arc Gis para elaboración de mapas...	76
Tabla 6. Regímenes de caudal: caudal promedio y caudal ecológico 5% en el período 2002 - 2012.....	78
Tabla 7. Regímenes de caudal: caudal promedio y caudal ecológico 5% en el período 2002 – 2012.	81
Tabla 8. Regímenes de caudal: caudal promedio y caudal ecológico 25% en el período 2002 - 2012.....	83
Tabla 9. Regímenes de caudal del río Jatunhuaycu (Q prom, Q 347, Qe Matthey) en el período 2002 – 2012.	85
Tabla 10. Regresión lineal de los caudales promedio, Q5, Q10 y Matthey para su proyección al 2016, a partir de los años 2002 - 2012.....	91
Tabla 11. Regresión lineal de los caudales promedio del Q25 para su proyección al 2016, a partir de los años 2002 - 2012.	91

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Volcán Antisana principal fuente de agua dulce en la Reserva Ecológica Antisana.	5
Figura 2. Representación gráfica del ciclo hidrológico en el ecosistema	7
Figura 3. Agua superficial correntosa, río Jatunhuaycu.	8
Figura 4. Agua superficial léntico, Embalse La Mica.....	9
Figura 5. Caudal hidrológico del río Jatunhuaycu.	11
Figura 6. Metodología hidráulica que interpreta la relación entre una variable hidráulica y el caudal (ejemplo perímetro mojado).....	28
Figura 7. Mapa 1 - Delimitación de la cuenca del río Jatunhuaycu.	30
Figura 8. Captación de agua del río Jatunhuaycu, Sistema la Mica _ Quito Sur.	31
Figura 9. Captación de agua del río Jatunhuaycu, Sistema la Mica _ Quito Sur.	31
Figura 10. Río Jatunhuaycu aguas abajo de la captación.....	32
Figura 11. Río Jatunhuaycu aguas debajo de la captación.....	32
Figura 12. Mapa 2 - Rango de temperaturas en el área de estudio y Reserva Ecológica Antisana.	34
Figura 13. Mapa 3 - Rango de precipitación en el área de estudio y Reserva Ecológica Antisana.	35
Figura 14. Mapa 4 - Formaciones vegetales en el Reserva Ecológica Antisana.....	36
Figura 15. Cauce del río Jatunhuaycu en la Reserva Ecológica Antisana. .	37
Figura 16. Formaciones vegetales, Reserva Ecológica Antisana.	37
Figura 17. Mapa 5 - Sistema La Mica - Quito Sur y Planta de Tratamiento El Troje.....	39
Figura 18. Régimen del caudal del río Jatunhuaycu (m^3/s) aguas arriba de la captación, período 1997 - 2013.	48
Figura 19. Regímenes de caudal y caudal ecológico propuesto (Q25) para el río Jatunhuaycu en el año 2002.....	50

Figura 20. Regímenes de caudal y caudal ecológico propuesto (Q25) para el río Jatunhuaycu en el año 2003.....	51
Figura 21. Regímenes de caudal y caudal ecológico propuesto (Q25) para el río Jatunhuaycu en el año 2004.....	52
Figura 22. Regímenes de caudal y caudal ecológico propuesto (Q25) para el río Jatunhuaycu en el año 2005.....	53
Figura 23. Regímenes de caudal y caudal ecológico propuesto (Q25) para el río Jatunhuaycu en el año 2006.....	54
Figura 24. Regímenes de caudal y caudal ecológico propuesto (Q25) para el río Jatunhuaycu en el año 2007.....	55
Figura 25. Regímenes de caudal y caudal ecológico propuesto (Q25) para el río Jatunhuaycu en el año 2008.....	56
Figura 26. Regímenes de caudal y caudal ecológico propuesto (Q25) para el río Jatunhuaycu en el año 2009.....	57
Figura 27. Regímenes de caudal y caudal ecológico propuesto (Q25) para el río Jatunhuaycu en el año 2010.....	58
Figura 28. Regímenes de caudal y caudal ecológico propuesto (Q25) para el río Jatunhuaycu en el año 2011.....	59
Figura 29. Regímenes de caudal y caudal ecológico propuesto (Q25) para el río Jatunhuaycu en el año 2012.....	60
Figura 30. Regresión lineal de los caudales promedios de los años 2012 – 2016.....	75
Figura 31. Componentes de un SIG.....	76
Figura 32. Comparación de los regímenes de caudal promedio anual y Q5% del río Jatunhuaycu en el periodo 2002 2012.	79
Figura 33. Comportamiento del río Jatunhuaycu en regímenes de caudal anual (Q promedio y Q5%) en el período 2002 - 2012.	80
Figura 34. Comparación de los regímenes de caudal promedio anual y Q10% del río Jatunhuaycu en el periodo 2002 2012.	81
Figura 35. Comportamiento del río Jatunhuaycu en regímenes de caudal anual (Q promedio y Q5%) en el período 2002 - 2012.	82

Figura 36. Comparación de los regímenes de caudal promedio anual y Q25% en el río Jatunhuaycu en el periodo 2002 2012.	83
Figura 37. Comportamiento del río Jatunhuaycu en regímenes de caudal anual (Q promedio vs Q25%) en el período 2002 - 2012.....	84
Figura 38. Comparación de los regímenes de caudal promedio anual y Qe Matthey en el río Jatunhuaycu en el periodo 2002 2012.....	86
Figura 39. Comparación de los regímenes de caudal promedio anual y Qe Matthey en el río Jatunhuaycu en el periodo 2002 - 2012.	87
Figura 40. Comparación entre los caudales ecológicos mediante las metodologías del Q5, Q10, Q25 y fórmula de Matthey.	88
Figura 41. Comportamiento del río Jatunhuaycu en regímenes de caudal anual (Q promedio, Q5%, Q10%, Q25% y Matthey) en el período 2002 - 2012.....	89
Figura 42. Proyección del caudal promedio, Q5, Q10, Q25 y Matthey para el cálculo de regímenes de caudales a partir del año 2013 al año 2016.	90

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo principal determinar el caudal ecológico (Q_e) del río Jatunhuaycu, el mismo que es de gran importancia por ser un aportante al sistema de abastecimiento La Mica – Quito Sur y suministra de agua a la población Sur de la ciudad de Quito. Es conveniente mencionar que el caudal ecológico es la cantidad y calidad de los recursos hídricos necesarios para mantener el hábitat del río para mantener su estabilidad.

Mediante análisis previo se optó por una metodología hidrológica, en total se realizaron cuatro metodologías de este tipo. La fórmula de Matthey, Q5, Q10 y Q25, este último fue considerado para aplicarlo en el área de estudio. Se tomó en cuenta el marco legal de la República del Ecuador y de otros países para su aplicación. El Q5 básicamente se refiere al 5% del caudal medio anual, del cual varios autores la nombran como una de las metodologías más utilizadas en Latinoamérica, pero no existe una normativa nacional de respaldo. El Q10 se refiere al 10% del caudal medio anual, éste porcentaje no se encuentra normado en la legislación ecuatoriana (Ley de Recursos Hídricos), sólo existe una normativa para proyectos de generación hidroeléctrica. El Q25 es una metodología propuesta por la legislación colombiana, la misma que toma en cuenta las propiedades y características físico – geográficas del área de estudio y es compatible para el presente estudio; por ello se propone la metodología del 25% del caudal medio mensual multianual más bajo, como la más viable en el río Jatunhuaycu. Luego del análisis, se estableció que el Q25 en el río Jatunhuaycu fue de 40.7 l/s en el año 2012 y de 53.1 l/s en el 2016, estos valores garantizan las condiciones y equilibrio del hábitat del río aguas abajo de la captación. Cabe recalcar que para la determinación del caudal ecológico es necesario tener como mínimo la disposición de caudales medios mensuales, de al menos diez años consecutivos. Para el presente trabajo se utilizaron los datos del periodo comprendido entre los años 2002 y 2012.

ABSTRACT

The present study has as its main objective to determine the ecological flow (Q_e) of Jatunhuaycu river, it is of great importance for being a contributor to the supply system La Mica - Quito Sur and supplies water to the southern city population of Quito. It is worth mentioning that the environmental flow is the quantity and quality of water resources needed to maintain river habitat to maintain its stability.

By previous analysis we chose a hydrological methodology, a total of four methods of this type were made. The formula Matthey, Q5, Q10 and Q25, the latter was considered to apply in the study area. It took into account the legal framework of the Republic of Ecuador and other countries for implementation. The Q5 basically refers to 5% of the average annual flow, which several authors named as one of the methodologies used in Latin America, but there is no national legislation backup. Q10 refers to 10% of the annual average flow, this percentage is not regulated in ecuadorian legislation (Water Resources Act), there is only one standard for hydroelectric generation projects. The Q25 is a methodology proposed by Colombian law, it takes into account the properties and physical characteristics - geographic study area and is compatible for this study; therefore the methodology 25% lower, as the most viable in the river Jatunhuaycu multiyear monthly average flow is proposed. After analysis, it was established that the Q25 in the Jatunhuaycu river is 40.7 l / s in 2012 and 53.1 l / s in 2016. It should be noted that for determining the ecological flow is necessary to have at least the provision of average monthly flow of at least ten consecutive years. For this study period data were used between 2002 and 2012.

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas acuáticos tienen como propiedad la atenuación natural la cual permite enfrentar cambios o alteraciones antropogénicas. La mitigación del recurso hídrico depende directamente del tipo de actividades que se ejecuten, En el caso particular del río Jatunhuaycu, este se aprovecha para abastecimiento de agua, a través del Sistema La Mica - Quito Sur. Para este tipo de actividad se debe tener en consideración el flujo de agua que restaure la conexión del ecosistema, conocido como régimen de caudal ecológico o caudal ecológico (Q_e). El caudal ecológico actúa como una herramienta para la restauración del recurso hídrico y reduce conflictos entre el abastecimiento y la conservación.

La definición de caudal ecológico tiene sus raíces en los años setenta en países desarrollados como Estados Unidos, países de la Unión Europea y Canadá. Surge del término denominado instreamflow (flujo de caudal), instrumento que determina la mantención de un flujo o volumen de agua que debe permanecer en el cauce de un río para mantener ciertos usos ambientales. En general, el término caudal ecológico se ha entendido como un caudal para la preservación de valores ecológicos frente a la demanda creciente del uso del agua (Jamett Domínguez & Rodrigues Finotti, 2002).

El Ecuador a partir del año 2008 en su Constitución considera tres aspectos importantes sobre el manejo del recurso hídrico. La primera es el derecho del goce del agua y considera como un elemento vital para la naturaleza y personas. La segunda es la gestión integral del agua, ya sea de forma comunitaria o pública, impidiendo sistemas alternativos privados. La tercera considera que el recurso agua es una fuente de capital tomado en cuenta desde el punto de vista de seguridad alimentaria y consumo humano; en ese sentido se considera el caudal ecológico para la preservación de los cauces.

El caudal ecológico ha sido adoptado como un instrumento de mitigación frente a proyectos que modifican el régimen hídrico causando impactos ecológicos. Este tiene como propósito preservar los ecosistemas acuáticos a

través de la mantención de un cierto volumen de agua dentro del curso de un río. Para estimar esa cantidad de agua se han utilizado diversas aproximaciones, las más comunes estiman niveles mínimos que deben mantenerse constantes, sin tomar en cuenta criterios ecológicos básicos.

También se ha entendido que la preservación de los ecosistemas acuáticos no solo depende de la cantidad de agua que se mantiene dentro del lecho de los ríos, sino también de la variabilidad natural del flujo hídrico y de la interacción con las aguas subterráneas, con la vegetación de los márgenes y la geomorfología de los cauces (Jamett Domínguez & Rodrigues Finotti, 2002).

1.1. JUSTIFICACIÓN

La creciente explotación mundial de los recursos hídricos ha llevado a una reducción significativa de la biodiversidad de los ecosistemas de agua dulce y de los servicios que aportan los ríos. En muchos lugares, los ríos han dejado de fluir debido al manejo poco técnico del recurso (O' Keeffe & Le Quesne, 2010).

Por tanto el agua y la hidrología constituyen elementos básicos en todo ecosistema. Los páramos son fundamentales para la regulación de la hidrología a nivel regional y constituyen la única fuente de agua para la mayoría de las poblaciones localizadas en las faldas de los Andes (Mena, Josse, & Medina, 2000). Al hablar de la importancia de los páramos tenemos que necesariamente concentrarnos en la regulación de los caudales de agua. Por lo que la presente investigación se refiere a la importancia del caudal ecológico (Q_e), el mismo que se puede definir como; el caudal mínimo en ríos y humedales y que se lo utiliza como un instrumento de gestión que permite acordar un manejo integrado y sostenible de los recursos hídricos, que establece la calidad, cantidad y régimen del flujo de agua requerido para mantener los componentes, funciones, procesos y la

resiliencia de los ecosistemas acuáticos que proporcionan bienes y servicios a la sociedad. (O' Keeffe & Le Quesne, 2010).

Por lo mencionado anteriormente resulta de gran importancia estudiar el Qe del río Jatunhuaycu, por su aporte al sistema La Mica - Quito Sur, el mismo que abastece a la población del sur de Distrito Metropolitano de Quito. Es importante señalar que la cuenca de interés tiene una superficie de 36.20km² y está a una altitud de 3900 msnm, y tiene características físico-geográficas de zona de páramo.

1.2. OBJETIVO GENERAL

Determinar el caudal ecológico del río Jatunhuaycu perteneciente al sistema de abastecimiento de agua potable La Mica - Quito Sur, para el manejo sustentable del recurso hídrico.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar los métodos de cálculo para determinar el caudal ecológico de ríos en cuencas ubicadas en páramos Andinos.
- Estimar el valor del caudal ecológico del río Jatunhuaycu que es aprovechado para el sistema de abastecimiento de Agua Potable, La Mica - Quito Sur.

2. MARCO TEÓRICO

2. MARCO TEÓRICO

2.1. RECURSO HÍDRICO

La cantidad de agua existente en el planeta ocupa el 70% de la superficie terrestre, sin embargo aproximadamente el 97% de esta agua es epicontinental, es decir que está presente en los mares, océanos y es agua salada, por lo que no puede usarse para beber, para la agricultura, ni para la mayor parte de las actividades humanas.

El 3% del agua restante es dulce, pero la mayoría se encuentra en los hielos de los polos, en los glaciares, en depósitos subterráneos o en otros lugares de difícil acceso. Por todo esto sólo un 0,001% de la masa total de agua del planeta es aprovechable para la actividad humana, gran parte proveniente de los nevados. En el presente estudio el volcán Antisana y el agua proveniente de su nevado es aprovechable para el Sistema la Mica, como se puede ver en la Figura 1 las inmediaciones del mismo.



Figura 1. Volcán Antisana principal fuente de agua dulce en la Reserva Ecológica Antisana.

En el Ecuador la Ley Orgánica de Recursos Hídricos tiene como objeto “desarrollar el derecho humano al agua, así como regular la autorización, gestión, preservación, conservación, uso y aprovechamiento del agua, comprendidos dentro del territorio nacional en sus distintas fases, formas y estados físicos, a fin de garantizar el Sumak Kawsay o buen vivir”.

2.2. CICLO HIDROLÓGICO

El agua transita continuamente entre los diferentes depósitos de la atmósfera, generando un ciclo. Este ciclo, se produce a través de los procesos de evaporación, condensación, precipitación, sedimentación, la escorrentía, el flujo de la infiltración, la sublimación, la transpiración, la fusión y las aguas subterráneas. En la Tabla 1, se describen los tiempos de residencia del agua en los embalses principales. El promedio de agua se renueva en los ríos una vez cada 16 días.

Tabla 1. Permanencia del agua en períodos de tiempo.

Reservorio	Tiempo promedio
Glaciares	20 a 100 años
Cubierta de nieve	2 a 6 meses
Humedad del suelo	1 a 2 meses
Aguas subterránea superficial	100 a 200 años
Agua subterránea profunda	10 mil años
Lagos	50 a 100 años
Ríos	2 a 6 meses

(Mena, Josse, & Medina, 2000)

El ciclo hidrológico involucra un proceso de transporte recirculatorio e indefinido o permanente, este ciclo se debe fundamentalmente a dos causas: la primera, el sol que proporciona la energía para elevar el agua (evaporación); la segunda, la gravedad terrestre, que hace que el agua condensada descienda en forma de precipitación o escurrimiento (Escolero Fuentes, 2010), como se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Representación gráfica del ciclo hidrológico en el ecosistema.

(Mena, Josse, & Medina, 2000)

2.2.1. SUBSISTEMA ATMOSFÉRICO

Principalmente abastece de la precipitación, evaporación y evapotranspiración.

La precipitación se refiere a la caída de partículas de agua de forma líquida o sólida, es considerada la fase del ciclo hidrológico que da origen a las corrientes superficiales y profundas.

La evaporación se considera un fenómeno que se origina por la incidencia de la energía proveniente del sol y de la atmósfera alta, dicho fenómeno es el paso de agua en estado sólido a líquido al estado invisible de gas.

La evapotranspiración es un fenómeno que se presenta sobre una cubierta vegetal, depende directamente de la influencia de las condiciones atmosféricas sobre el sistema agua-suelo-planta. En otras palabras es la cantidad de agua del suelo que vuelve a la atmósfera como consecuencia de la evaporación y de la transpiración de las plantas.

2.2.2. AGUA SUPERFICIAL

Aguas superficiales son aquellas que circulan sobre la superficie del suelo y sigue el camino que le ofrece menor resistencia. Esta se produce por la escorrentía generada a partir de las precipitaciones cuando el suelo se satura o por el afloramiento de aguas subterráneas. Pueden presentarse en forma correntosa, como en el caso de corrientes, ríos y arroyos (lóticos), como se muestra en la Figura 3., o quietas en el caso de lagos, reservorios, embalses, lagunas, humedales, estuarios (lénticos), como se puede visualizar en la Figura 4.



Figura 3. Agua superficial correntosa, río Jatunhuaycu.



Figura 4. Agua superficial léntico, Embalse La Mica.

2.2.3. AGUA SUBTERRÁNEA

Otro elemento importante del ciclo hidrológico de la cuenca es el agua subterránea, que se refiere al agua de lluvia o de escurrimientos superficiales que se infiltra y almacena en las rocas del subsuelo, conformando los acuíferos. Entiéndase por acuífero, las rocas o material no consolidado, lo suficientemente porosas para almacenar agua y con permeabilidad necesaria para permitir que el agua fluya a través de ellas en cantidades económicas y de calidad deseable. (Escolero Fuentes, 2010).

2.3. EQUILIBRIO ENTRE NECESIDADES HÍDRICAS DE LOS SERES HUMANOS Y CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS

La conducta de las personas hacia la preservación del recurso hídrico es casi nula, es decir no hay un conocimiento sobre la administración del líquido vital.

En el Ecuador recientemente se ha tomado conciencia sobre la conservación del medio ambiente, lo que implica valorar el recurso agua dejando suficiente del mismo en las corrientes hídricas; este valor se encuentra ligado a la extracción necesaria del recurso para satisfacer las necesidades o actividades de las personas con la disponibilidad de las fuentes. Allí la importancia de determinar el caudal ecológico del cuerpo de agua para la preservación de las actividades propias del ecosistema y para que el hombre se pueda beneficiar de la misma, sin alterarlo.

Por lo mencionado anteriormente, es de vital importancia que cada una de las personas que habitamos en el país y en el resto del mundo tome conciencia sobre el uso del agua, para no desperdiciarlo en las diferentes actividades cotidianas, paradójicamente son muy pocas personas las que toman acciones para conservar este recurso hídrico.

2.4. CAUDAL HIDROLÓGICO

Se denomina caudal (hidrología) al volumen de agua que recorre por el cauce de un río en un lugar y tiempo determinados. Fundamentalmente se refiere al volumen hidráulico de la esorrentía de una cuenca hidrográfica concentrada en el río principal de la misma, tal como se muestra en la Figura 5. El caudal ecológico es un valor que se lo puede medir en m^3/s lo cual genera un valor anual medido en m^3 o en Hm^3 (hectómetros cúbicos: un Hm^3 equivale a un millón de m^3) que puede emplearse para planificar los recursos hidrológicos y su uso a través de embalses y obras de canalización. El caudal de un río se mide en los sitios de aforo.



Figura 5. Caudal hidrológico del río Jatunhuaycu.

2.5. CAUDAL ECOLÓGICO

En el Ecuador y el mundo los caudales ecológicos o ambientales, son un concepto nuevo y su mejor definición es la que se plantea en varios estudios: es una herramienta de la gestión integrada de los recursos hídricos.

El caudal ecológico es la cantidad y calidad de los recursos hídricos necesarios para mantener el hábitat del río y su entorno en buenas condiciones, considerando las necesidades de las poblaciones humanas, animales y vegetales, así como los requerimientos físicos para mantener su estabilidad y cumplir sus funciones tales como la de flujo de dilución, capacidad de conducción de sólidos, recarga de acuíferos, mantenimiento de las características estéticas y paisajísticas del medio y amortiguación de

los extremos climatológicos e hidrológicos. Después de los usos de agua para las diferentes actividades humanas hay que mantener un caudal para la naturaleza, que sirve para conservar la biodiversidad y las funciones ambientales (Vélez Upegui & Ríos Rojas, 2004).

(CEDA, 2012), menciona que el caudal ecológico es el caudal que se estudia y se analiza de acuerdo al hábitat biológico que circunda por el río y sus alrededores, para que éste pueda asegurar el mantenimiento futuro de las especies biológicas en el momento de efectuar un proyecto que requiera captar un porcentaje de agua.

2.6. MARCO LEGAL PARA LA REGULACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS

El presente estudio acerca de la determinación del caudal ecológico basa su análisis en la Constitución de la República del Ecuador del año 2008, y también examina cuidadosamente leyes y reglamentos para el aprovechamiento y manejo sustentable del recurso hídrico, analizando los artículos y disposiciones para la determinación del caudal ecológico.

Cabe indicar que en el Ecuador, el concepto de caudal ecológico fue introducido anteriormente de forma aislada y mediante el Acuerdo Ministerial No.155 (R.O. 41 del 14 de marzo de 2007) como Norma Técnica Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental para los sectores de infraestructura: eléctrico, telecomunicaciones y transporte (puertos y aeropuertos) emitido por el Ministerio de Ambiente (MAE) e implementado por el ex Consejo Nacional de Electrificación (ex Conelec), como autoridad ambiental de aplicación responsable (CEDA, 2012).

El objetivo de la introducción de dicha herramienta legal de regulación hídrica fue el de gestionar principalmente las hidroeléctricas. La referida herramienta determina que el Q_e es el 10% del caudal promedio anual.

A continuación se muestran las distintas leyes y normas involucradas en el Ecuador, para el Manejo Integrado de los Recursos Hídricos conjuntamente con la regulación de los Caudales Ecológicos.

- Constitución de la República del Ecuador (2008).
- Ley de Gestión Ambiental.
- Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamientos del Agua.
- Sistema Único de Manejo Ambiental; y
- Código Orgánico de Ordenamiento Territorial y Autonomía Descentralizada.

2.6.1. CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR 2008.

TITULO II

DERECHOS

Capítulo segundo

DERECHOS DEL BUEN VIVIR

Sección primera

Agua y alimentación

Art. 12.- El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida.

Sección Segunda

Ambiente sano

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.

Capítulo séptimo

Derechos de la naturaleza

Art. 71.- La naturaleza o Pachamama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales.

Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda. El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema.

Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tiene el Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados.

En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas.

Art. 74.- Las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades tendrán derecho a beneficiarse del ambiente y de las riquezas naturales que les permitan el buen vivir.

Los servicios ambientales no serán susceptibles de apropiación; su producción, prestación, uso y aprovechamiento serán regulados por el Estado.

Capítulo noveno

Responsabilidades

Art. 83.- Son deberes y responsabilidades de las ecuatorianas y los ecuatorianos, sin perjuicio de otros previstos en la Constitución y la ley:

Literal 6: Respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible.

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.

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 público, 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 permiso 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 a la ley, Publicada en el Registro Oficial No. 449. República del Ecuador, (Asamblea Nacional, 2008).

2.6.2. LEY ORGÁNICA DE RECURSOS HÍDRICOS, USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA

CAPÍTULO VI

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 volumen, duración, época y frecuencia y la calidad de agua expresada en términos de rango, continuidad y duración de la concentración de parámetros que se requieren para mantener un nivel adecuado de salud en el ecosistema.

La Autoridad Única del Agua en coordinación en la Autoridad Ambiental Nacional establecerá reglamentariamente las normas, parámetros y metodologías para la determinación del caudal ecológico de acuerdo con las condiciones y las propiedades de los cuerpos de agua, que serán considerados dentro de la planificación hídrica nacional.

Toda resolución de la Autoridad Única del Agua por la que se otorgue autorización para uso o aprovechamiento productivo del agua deberá establecer y considerar el caudal ecológico que fue determinado para ello, conforme con los criterios de la planificación hídrica nacional.

Artículo 77.- Limitaciones y responsabilidades. El caudal ecológico de los cursos permanentes de agua en toda cuenca hidrográfica es intangible.

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 para la protección de la biodiversidad acuática y los ecosistemas aledaños.

Todas las actividades productivas respetarán el caudal ecológico.

El caudal ecológico definido no es susceptible de autorización para su uso o aprovechamiento productivo, a excepción de aquellos usos que no tenga como consecuencia la afectación en la calidad ni en cantidad del caudal ecológico. La autoridad administrativa que contravenga esta disposición, será responsable por los daños ambientales que genere y por el pago de la indemnización por daños y perjuicios ocasionados a terceros afectados o al patrimonio natural del Estado; además será sancionado de conformidad con la Ley, sin perjuicio de la nulidad de la autorización concedida.

Únicamente en el caso de declaración de estado de excepción, podrá concederse el uso del caudal ecológico para consumo humano, hasta tanto se adopten las medidas emergentes para garantizar nuevamente el abastecimiento.

Artículo 78.- Áreas de protección hídrica. Se denominan áreas de protección hídrica a los territorios donde existan fuentes de agua declaradas como de interés público para su mantenimiento, conservación y protección, que abastezcan el consumo humano o garanticen la soberanía alimentaria, las mismas formarán parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas.

La Autoridad Única del Agua, previo informe técnico emitido por la Autoridad Ambiental Nacional y en coordinación con los Gobiernos Autónomos Descentralizados en el ámbito de sus competencias, establecerá y delimitará las áreas de protección hídrica que sean necesarias para el mantenimiento y conservación del dominio hídrico público.

El uso de las áreas de protección hídrica será regulado por el Estado para garantizar su adecuada administración, respetando los usos espirituales de pueblos y nacionalidades. En el Reglamento de esta Ley se determinará el procedimiento para constituir estas áreas de protección hídrica, siempre que no se trate de humedales, bosques y vegetación protectores.

Cuando el uso del suelo afecte la protección y conservación de los recursos hídricos, la Autoridad Única del Agua en coordinación con los Gobiernos Autónomos Descentralizados y las circunscripciones territoriales, establecerá

y delimitará las áreas de protección hídrica, con el fin de precaver y controlar la contaminación del agua en riberas, lechos de ríos, lagos, lagunas, embalses, estuarios y mantos freáticos.

CAPÍTULO VII

OBLIGACIONES DEL ESTADO PARA EL DERECHO HUMANO AL AGUA

Sección Primera

De las Obligaciones y la Progresividad

Artículo 84.- Obligaciones de corresponsabilidad.

El Estado en sus diferentes niveles de gobierno es correspondiente con usuarios, consumidores, comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades del cumplimiento de las siguientes obligaciones:

- a) Reducir la extracción no sustentable, desvío o represamiento de caudales;
- b) Prevenir, reducir y revertir la contaminación del agua;
- c) Vigilar y proteger las reservas declaradas agua de óptima calidad;
- d) Contribuir al análisis y estudio de la calidad y disponibilidad del agua;
- e) Identificar y promover tecnologías para desarrollar la eficiencia en el uso del agua;
- f) Reducir el desperdicio del agua durante su captación, conducción y distribución;
- g) Adoptar medidas para la restauración de ecosistemas degradados;
- h) Apoyar los proyectos de captación, almacenamiento, manejo y utilización racional, eficiente y sostenible de los recursos hídricos; y
- i) Desarrollar y fomentar la formación, la investigación científica y tecnológica en el ámbito hídrico.

Sección Segunda

De los Usos del Agua

Artículo 86.- Agua y su prelación. De conformidad con la disposición constitucional, el orden de preferencia entre los diferentes destinos o funciones del agua es:

- a) Consumo humano;
- b) Riego que garantice la soberanía alimentaria;
- c) Caudal ecológico; y,
- d) Actividades productivas.

El agua para riego que garantice la soberanía alimentaria comprende el abrevadero de animales, acuicultura y otras actividades de la producción agropecuaria alimentaria doméstica; de conformidad con el Reglamento de esta Ley.

Artículo 90.- Condiciones para el otorgamiento de autorizaciones de uso del agua. Previo al otorgamiento de autorizaciones para el uso del agua, la Autoridad Única del Agua verificará el cumplimiento de la prelación establecido en esta Ley. Que estudios y proyectos de infraestructura hidráulica hayan sido aprobados por la Autoridad Única del Agua.

Sección Tercera

Condiciones de Autorización para Aprovechamiento

Artículo 94.- Orden de prioridad para las actividades productivas. Entre las actividades productivas susceptibles de aprovechamiento del agua se aplicará el siguiente orden de prioridad:

- a) Riego para producción agropecuaria, acuicultura y agro industria de exportación;
- b) Actividades turísticas;
- c) Generación de hidroelectricidad y energía hidrotérmica;

- d) Proyectos de sectores estratégicos e industriales;
- e) Balneoterapia, envasado de aguas minerales, medicinales, tratadas o enriquecidas; y,
- f) Otras actividades productivas.

En orden de prioridad de las actividades productivas podrá modificarse por la Autoridad Única del Agua, en atención a las características de la cuenca, en el marco de los objetivos y lineamientos de la planificación hídrica nacional y el Plan Nacional de Desarrollo.

TÍTULO IV

APROVECHAMIENTO DEL AGUA

CAPÍTULO I

DE LOS TIPOS DE APROVECHAMIENTO PRODUCTIVO

Sección Segunda

Aprovechamiento Energético e Industrial del Agua

Artículo 106.- Principios y prioridades para el aprovechamiento productivo hidroeléctrico. En el marco del respeto al orden de prelación que se regula en esta Ley, la Autoridad Única del Agua otorgará autorizaciones de aprovechamiento productivo del agua para la generación de electricidad, de manera preferente para aquellos proyectos de preponderancia nacional que se contemplen en el plan maestro de electrificación, incorporando los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia.

Sección Cuarta

Aprovechamiento del Agua en Minería

Artículo 111.- Protección en fuentes de agua.- La Autoridad Única del Agua y la Autoridad Ambiental Nacional emitirán las regulaciones necesarios

para garantizar el mantenimiento y el equilibrio de los ecosistemas, en especial de las fuentes y zonas de recarga de agua.

La Autoridad Ambiental Nacional coordinará con la Autoridad Única del Agua, el monitoreo del sistema de manejo ambiental previsto en la respectiva licencia ambiental, emitida por aquella.

CAPÍTULO IV

RÉGIMEN ECONÓMICO

Sección Tercera

Tarifas por el Aprovechamiento Productivo

Artículo 146.- Infraestructura hidráulica para aprovechamiento del agua.

Las inversiones que se requieran para la cimentación de infraestructura hidráulica o civil para un determinado aprovechamiento productivo del agua, la realizará el interesado de manera directa.

En atención al interés nacional, el Estado podrá concurrir también como inversionista, de acuerdo con las prioridades establecidas en el Plan Nacional de Desarrollo, Segundo Suplemento - Registro Oficial N° 305 . Quito, República del Ecuador, (Asamblea Nacional, 2014).

2.6.3. TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA

En este cuerpo se compilan todas las normas específicas referentes a la Autoridad Ambiental, la Gestión Ambiental, el Régimen Forestal, la Biodiversidad, la Gestión de Recursos Costeros, la Calidad Ambiental, el Régimen Especial para Galápagos, el Instituto para el Ecodesarrollo Regional Amazónico y el Sistema de Tasas por los Servicios Ambientales.

NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA

LIBRO VI ANEXO 1

Esta norma técnica “es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional” y determina, ente otros aspectos, los límites permisibles y las disposiciones para las descargas en cuerpos receptores, así como los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos.

El objetivo principal de la presente norma es proteger la calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general.

Los criterios de calidad para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, aguas marinas y de estuario, se presentan a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2. Criterios de calidad admisibles para la preservación de flora y fauna en agua dulce, fría o cálida, y en aguas marinas y de estuarios.

Parámetros	Expresad o como	Unidad	Límite máximo permisible
			Agua fría dulce
Oxígeno Disuelto	O.D	mg/l	No menor al 80% y no menor a 6 mg/l
Potencial de hidrógeno	pH		6,5 - 9
Temperatura	°C		Condiciones naturales +3 Máxima 20

(TULAS, Norma de Calidad Ambiental LIBRO VI-ANEXO 1, 2003)

2.6.4. NORMA AMBIENTAL ECUATORIANA: PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL DEL RECURSO AGUA EN CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

En su sección **4.3 Normas que deben cumplir los promotores de proyectos hidroeléctricos para el mantenimiento, preservación o mejora de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, en los sectores hidrográficos respectivos y embalses de las diferencias centrales de generación hidroeléctrica.**

Literal 4.3.1, describe que:

El mantenimiento de la calidad físico-químico y biológico de los embalses y ríos, agua arriba y aguas debajo de las hidroeléctricas, estará determinado por factores externos al proyecto y factores producto de las actividades propias del mismo. Para controlar los factores externos el promotor del proyecto deberá monitorear las condiciones de las aguas superficiales a través de muestreos periódicos en diferentes puntos a lo largo del río y en los reservorios. Adicionalmente deberá implementar las medidas de mitigación y manejo identificadas en el Estudio de Impacto Ambiental del proyecto correspondiente.

Sección 4.4 Normas para la determinación de caudal ecológico y régimen de caudales ecológicos en los sectores hidrográficos respectivos.

Literal 4.4.3 De los métodos a utilizarse para el cálculo o la determinación del caudal ecológico.

4.4.3.1 El cálculo del caudal ecológico se podrá realizar utilizando diferentes modelos, métodos, herramientas o programas existentes para el efecto y que hayan sido utilizados o probados para propósitos similares en proyectos hidroeléctricos.

4.4.3.2 Los modelos y programas a ser utilizados para el cálculo del caudal ecológico tendrá como requerimiento mínimo el “considerar variables de

importancia para la integridad biológica de los ecosistemas del río”. El modelo o método seleccionado por el promotor de una obra deberá ser sustentado adecuadamente, tomando en cuenta las variables de control que aseguren el mantenimiento o control de las condiciones.

4.4.3.3 Entre los modelos sugeridos se encuentran: el IFIM (Instream flow Incremental Methodology) que es utilizado además como herramienta para toma de decisiones y realiza un análisis de la variación del hábitat con los caudales circulantes.

4.4.3.4 No es suficiente la utilización de métodos de cálculo basado en caudales medios mensuales o un porcentaje del promedio de los caudales mínimos mensuales en épocas de estiaje. Estos métodos no son suficientes mientras estén basados solamente en el análisis de los regímenes de caudales hidráulicos históricos. Para la utilización de los mismos se deberá tomar en consideración aspectos adicionales y se deberá realizar estudios complementarios en el río. Los métodos basados en los caudales mínimos históricos, debe ser complementado con estudios que demuestre que esos caudales son ecológicos.

Literal 4.4.4 De las consideraciones para el cálculo del caudal ecológico y el régimen de caudales ecológicos.

Sección 4.4.4.1 El cálculo del caudal ecológico se deberá realizar tomando en consideración los siguientes aspectos:

- a) Régimen del caudal (caudal, velocidad, variaciones estacionales, sequías).
- b) Calidad del agua; físico-químicas (caudal, pluviosidad, sequías, calidad del agua, biológicas (ictiofauna, hábitat acuático) y microbiológicas.
- c) Interacciones bióticas (especies endémicas, especies exóticas, estructura poblacional biótica, estructura trófica).

d) Además se considerarán los diferentes usos del agua (agricultura, extracción, consumo humano, recreativas) en el área de influencia del proyecto.

En su **literal 4.4.4.2 El cálculo del régimen de caudales ecológicos tomará en consideración principalmente:**

a) El régimen natural estacional del río, ya que el caudal debe fluctuar como sucede de manera natural.

b) Oscilación estacional natural, además de una fluctuación interanual de acuerdo al clima (años húmedos, años secos, años extremadamente secos). Esto porque posibles especies autóctonas del río estarán acostumbrados a esta variación lo que las hace competitivas contra especies introducidas.

c) El régimen de caudales ecológicos debe fluctuar a lo largo del año siguiendo la pauta similar a la del régimen natural del río.

2.7. COMPETENCIAS INSTITUCIONALES EN EL PAÍS RELACIONADAS CON CAUDALES ECOLÓGICOS

La Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), concede las autorizaciones para el uso y aprovechamiento económico del agua, así como también regulaciones para los caudales ecológicos. Esta entidad por mandato constitucional coordina con el MAE temas relativos al agua, y se rige por la Ley de Gestión Ambiental codificada en el 2004 y sus reglamentos y normas técnicas contempladas en el Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiental (TULSMA) del MAE.

El Código Orgánico de Ordenamiento Territorial de Autonomía Descentralizada, (COOTAD), aprobado en el 2010, otorga competencias a los Gobiernos autónomos descentralizados (GAD), las mismas que se disponen de la siguiente manera:

- Gobiernos autónomos regionales, (que no existen todavía), la planificación y gestión de cuencas hidrográficas y ordenamiento territorial.
- Gobiernos provinciales, la operación de sistemas de riego e infraestructura, así como la planificación y ordenamiento territorial de cuencas hidrográficas.
- A los municipios se le otorgan la administración de servicios de agua potable.

2.8. REQUERIMIENTOS DEL CAUDAL ECOLÓGICO

Cabe recalcar que el Q_e va a ser específico para cada cauce o tramo de cauce. Los resultados a obtener deben estar en línea con experiencias empíricas como son los datos hidrológicos anuales. A pesar de la variabilidad de técnicas para la determinación del Q_e , los resultados obtenibles siguen un patrón que encierra el intervalo de máxima probabilidad entre el 10% y el 30% del caudal medio interanual, con el fin de representar un equilibrio racional entre la conservación de los ambientes fluviales y el aprovechamiento del agua como recurso (Rojas Vásquez & Tarambis Enriquez, 2012).

2.9. CONDICIONES DEL CAUDAL ECOLÓGICO

Los organismos acuáticos (peces, invertebrados, plantas acuáticas) necesitan un caudal de agua mínimo para desarrollarse adecuadamente (umbral); el mismo que se denomina también caudal ecológico, y que varía a lo largo del año ya sea en época lluviosa o seca, denominándose un régimen ecológico.

2.10. METODOLOGÍAS UTILIZADAS PARA LA DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO

A escala mundial existen más de 200 metodologías diferentes para la determinación del caudal ecológico, lo cual refleja la importancia otorgada a la preservación del recurso hídrico. Estos métodos se agrupan en tres tipologías básicas: hidrológicos, hidráulicos y eco - hidráulicos.

2.10.1. METODOLOGÍA HIDROLÓGICA

Es una manera de determinar el caudal ecológico mediante análisis estadísticos, por ejemplo datos hidrológicos estudiados de varias formas (promedio del caudal, tanto por ciento del caudal medio, análisis de series anuales).

Están basados generalmente en índices hidrológicos o el comportamiento histórico (estadística) del caudal, y utiliza los registros históricos del caudal, como son los datos diarios, mensuales, medias, etc.

2.10.2. METODOLOGÍA HIDRÁULICA

Este método basa su análisis en relacionar diferentes parámetros hidráulicos (perímetro mojado o la profundidad máxima del río) con los distintos tipos de hábitats presentes en los ecosistemas acuáticos, para posteriormente determinar el caudal ecológico, (Ver Figura 6).

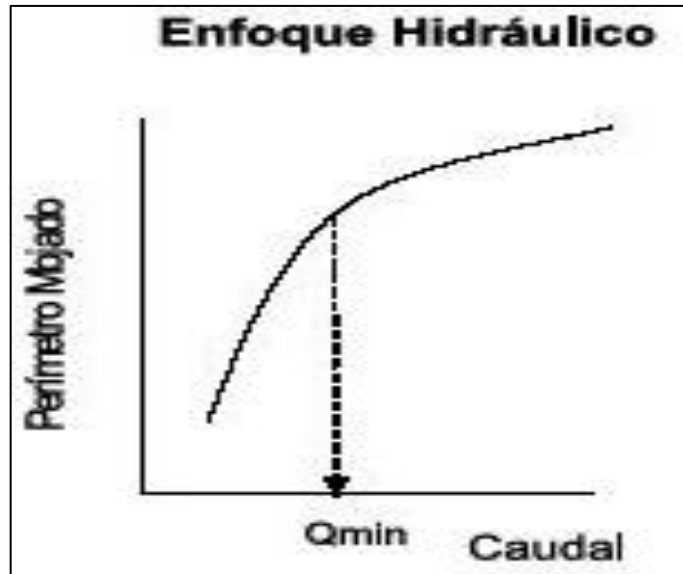


Figura 6. Metodología hidráulica que interpreta la relación entre una variable hidráulica y el caudal (ejemplo perímetro mojado).

(Díez Hernández, Noviembre 30 de 2005)

2.10.2.1. Método del perímetro mojado

Esta metodología adjudica que la integridad del hábitat está directamente relacionada con el área húmeda. Básicamente consiste en la representación de curvas que muestran la relación entre el caudal y el perímetro.

A partir de las curvas representadas se puede determinar hasta qué volumen de agua el perímetro crece rápidamente a medida que aumenta la descarga, pero una vez que excede este volumen el perímetro se mantiene constante.

El flujo recomendado en esta metodología es aquel que está cerca de este punto de inflexión, puesto que es el nivel óptimo para la prolongación de especies como los peces e invertebrados bentónicos.

2.10.3. MÉTODOLÓGÍA ECO – HIDRÁULICO

Este método se deduce a partir de una cuantificación previa del hábitat físico de organismos indicadores (peces) y del análisis de relación con el caudal mediante simulación hidráulica.

Evalúa un tramo del río y la calidad del hábitat. Se encuentran basados en datos de respuesta hidrológica, hidráulica y biológica. Adecúa para cada temporada el caudal mínimo, que asegura la realización de los ciclos biológicos de los organismos más sensibles.

2.10.3.1. Modelo PHABSIM

Denominado “Physical Habitat Simulation Model”, en español “Modelo de Simulación Física del Hábitat”, propuesto por Bovee en 1986. Actualmente este tipo de metodológica es una de las más usadas, para la estimación de caudales ecológicos.

a) Características generales

- Permite predecir los cambios en el micro hábitat físico con los diferentes cambios de caudales.
- Acopla modelos biológicos e hidrológicos, donde se puede evaluar los cambios de las comunidades biológicas, conjuntamente con la modificación de las condiciones hidrológicas.

b) Modelos biológicos

Se basan en la ecología de organismos indicadores como: Macro – invertebrados acuáticos y peces.

2.11. 10% DEL CAUDAL EN EL RÍO

Este porcentaje se encuentra directamente relacionado con la construcción de hidroeléctricas. El consumo de electricidad mundial durante los últimos diez años se ha incrementado en un promedio de 3%.

El aprovechamiento de los cursos de agua de un río, modifica el flujo y en menor grado a su régimen hídrico natural; por ello, los caudales que mantienen el equilibrio de los ecosistemas de flora y fauna se establecen a lo largo del río.

La preservación de los ecosistemas hídricos están sujetos a leyes o reglamentos, éstos aseguran una circulación por el río de un régimen de caudales (caudales ecológicos) que garantice su equilibrio. Evaluar con exigencia y rigor los caudales ecológicos, demanda de estudios y análisis complejos, por lo que se adoptan normas sencillas para asegurar su continuidad. Así, en el Ecuador se ha estimado que el caudal ecológico no debería ser inferior al 10% del caudal medio anual, en los ríos de la vertiente del Pacífico, ni al 40% en la vertiente amazónica (Alejandro & Rovere, 2006).

Este porcentaje varía dependiendo de factores como el clima y la hidrología. En el presente estudio del río Jatunhuaycu, se determinará el caudal ecológico tomando en cuenta las metodologías hidrológicas. Cabe recalcar que dicho porcentaje de caudal está en función de los diversos usos que se dan al recurso hídrico.

2.12. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Reserva Ecológica Antisana (REA) se localiza a 50 km del sureste de Quito en las provincias de Pichincha y Napo. El área de estudio corresponde específicamente a la cuenca hidrográfica de la captación del río Jatunhuaycu, el mismo que forma parte del sistema de abastecimiento La Mica - Quito Sur, el área se encuentra localizado en la provincia de Napo,

cantón Archidona, y tiene una superficie de 31.5 km², (Figura 7). Dicho sistema tiene como objetivo abastecer de agua potable al Sur de la ciudad de Quito, tal como se muestran en las Figuras 8 y 9.

Así mismo las Figuras 10 y 11, muestran las condiciones del cauce del río Jatunhuaycu aguas abajo del sitio de la captación.

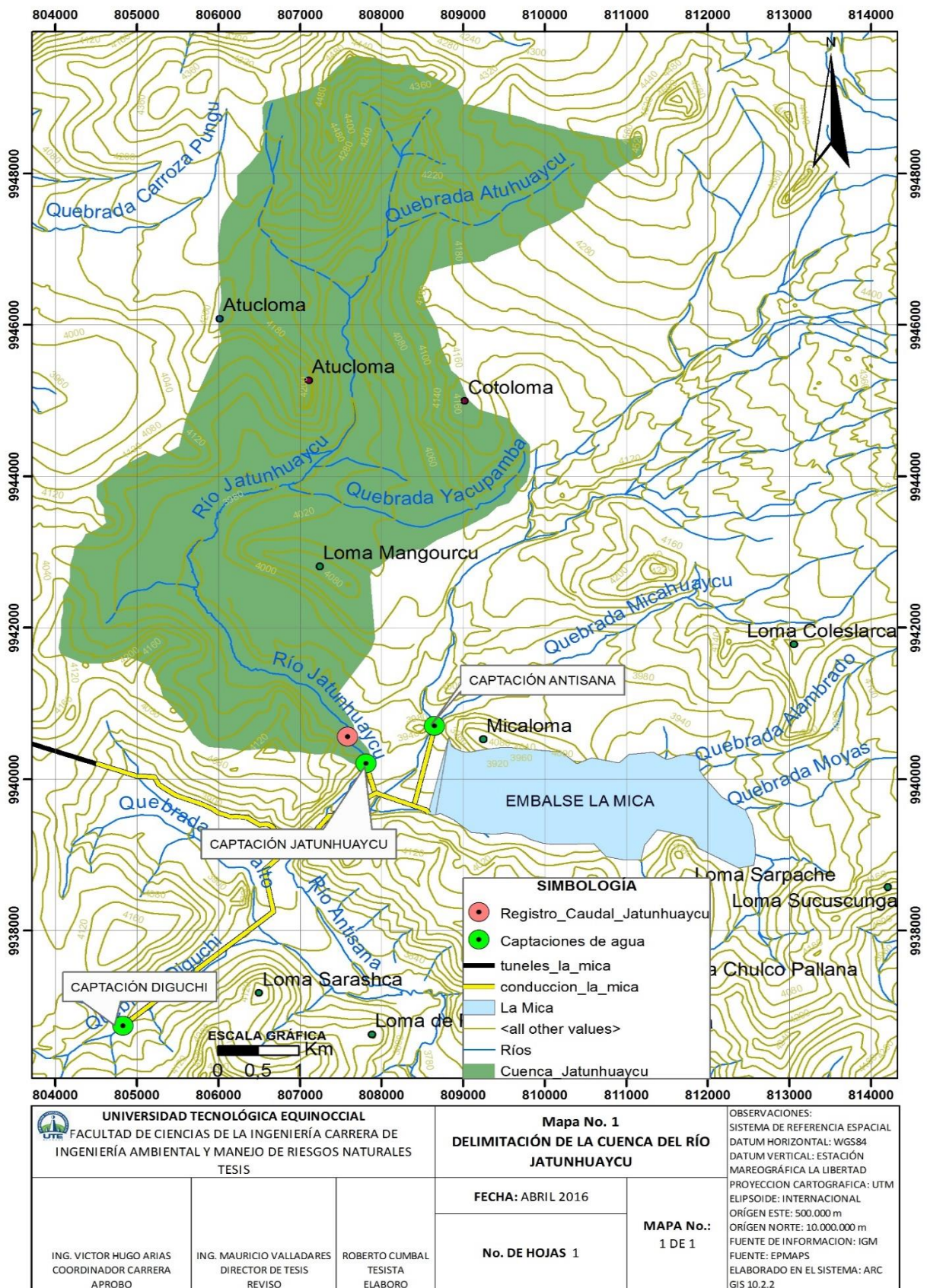


Figura 7. Mapa 1 - Delimitación de la cuenca del río Jatunhuaycu.



Figura 8. Captación de agua del río Jatunhuaycu, Sistema la Mica _ Quito Sur.



Figura 9. Captación de agua del río Jatunhuaycu, Sistema la Mica _ Quito Sur.



Figura 10. Río Jatunhuaycu aguas abajo de la captación.



Figura 11. Río Jatunhuaycu aguas debajo de la captación.

La Reserva Ecológica Antisana (REA) posee una superficie de 120.000 hectáreas y un rango altitudinal que varía entre los 1.200 y 5.758 msnm. Su temperatura oscila entre los 3 y 17°C (Figura 12). Posee un rango de precipitación entre los 500 y 1500 mm promedio anual, como se muestra en la Figura 13. En dicha reserva se localizan las siguientes formaciones vegetales: bosque siempreverde piemontano, bosque siempreverde montano bajo, bosque de neblina montano, bosque siempreverde montano alto, páramo herbáceo, páramo de almohadilla y herbazal lacustre montano, como se muestra en la Figura 14.

Los páramos del Antisana (Figura 15), también ofrecen importantes servicios ambientales, puesto que allí nacen varios ríos que proporcionan agua potable para la ciudad de Quito y otras zonas aledañas. Estos páramos se encuentran comprendidos entre los 3300 y 4800 msnm, contiene amplios pajonales (zona húmeda) que se mezclan con plantas rastreras, almohadillas, zonas de arbustos y varios remanentes de bosques andino, como se muestra en la Figura 16.

La fauna silvestre la componen varias especies en peligro de extinción en el Ecuador como el cóndor andino, el oso de anteojos, danta o tapir de montaña, venado de cola blanca, conejo, zorrillo, lobo de páramo y ciervo.

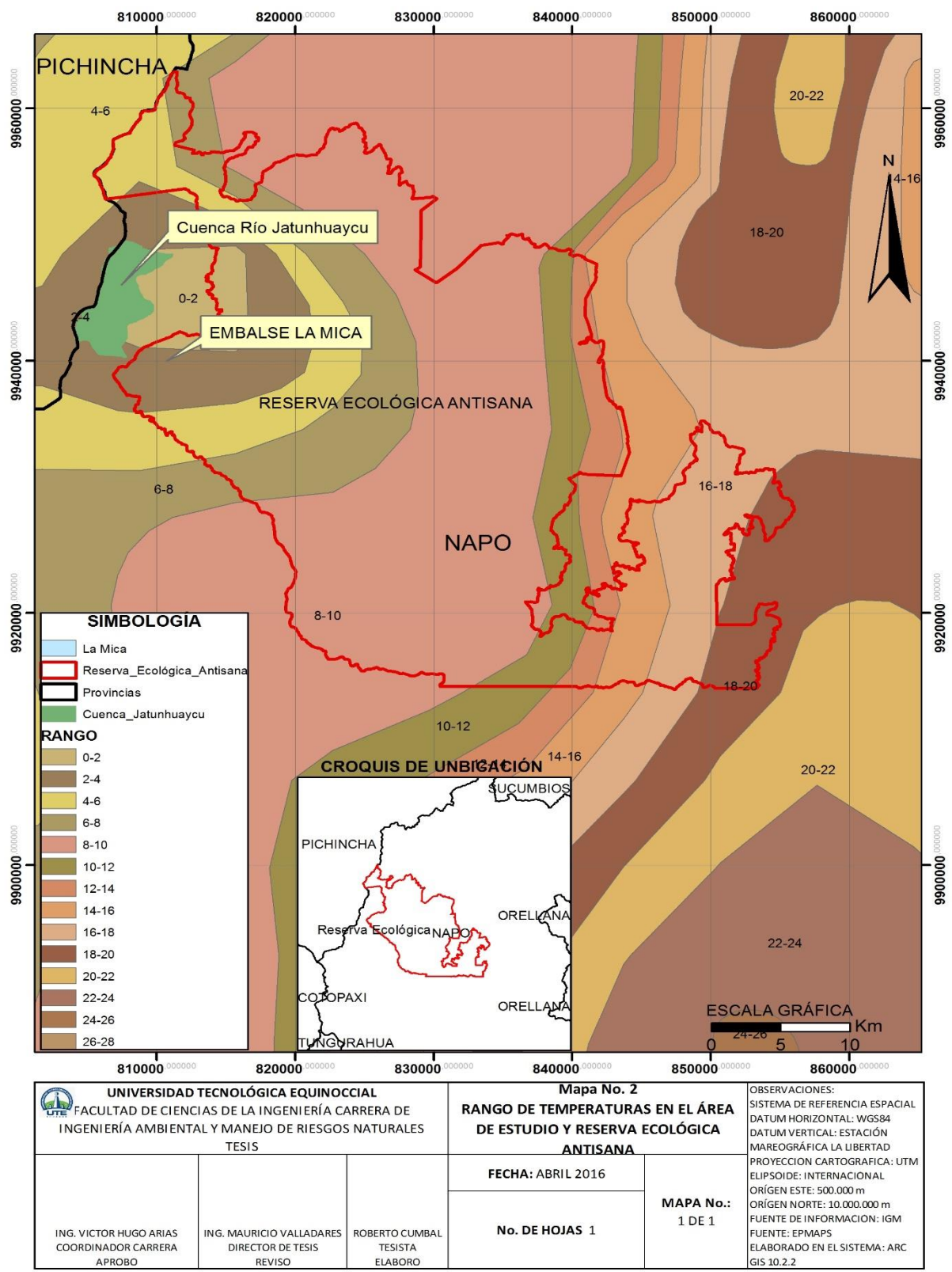


Figura 12. Mapa 2 - Rango de temperaturas en el área de estudio y Reserva Ecológica Antisana.

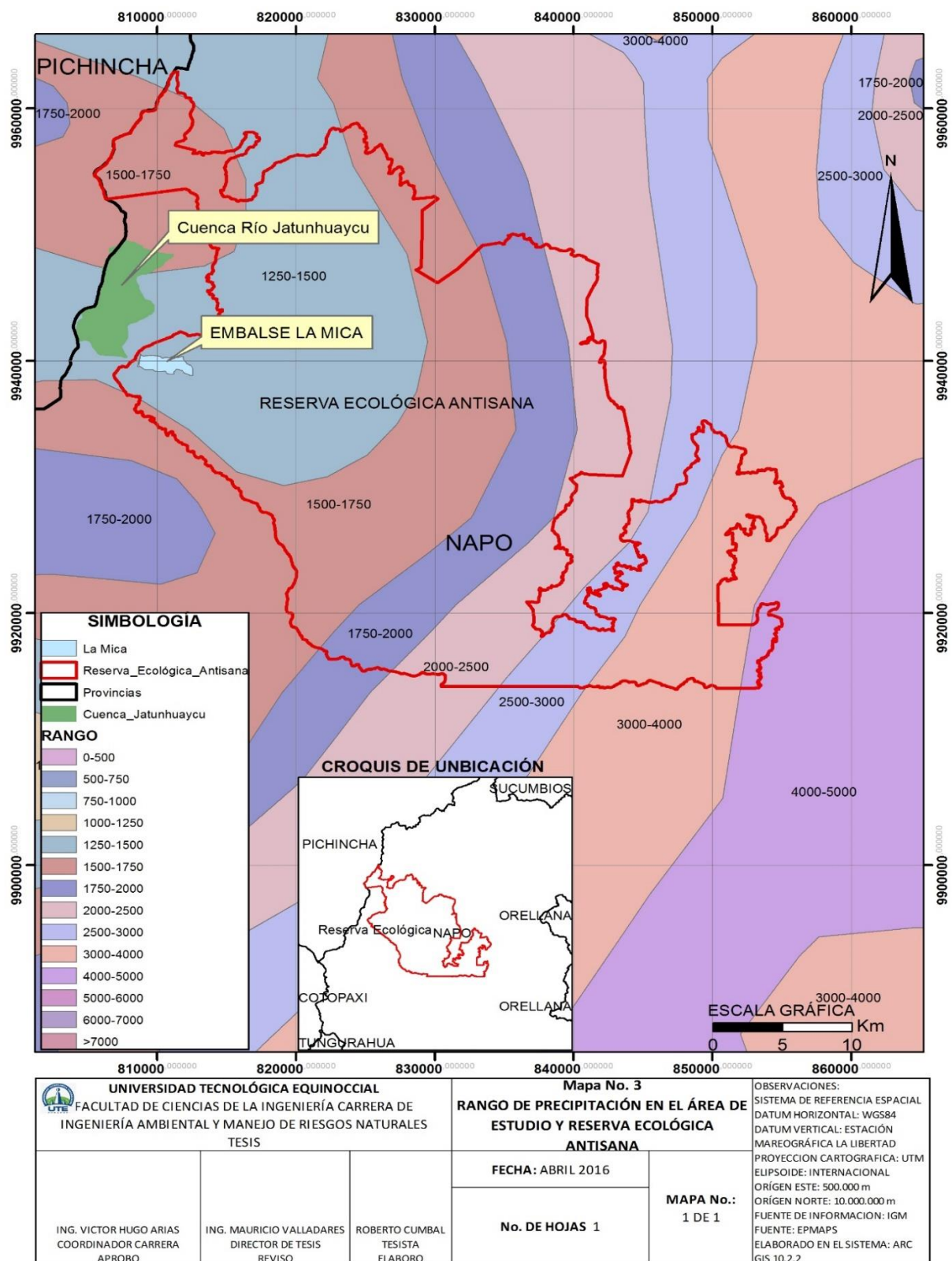
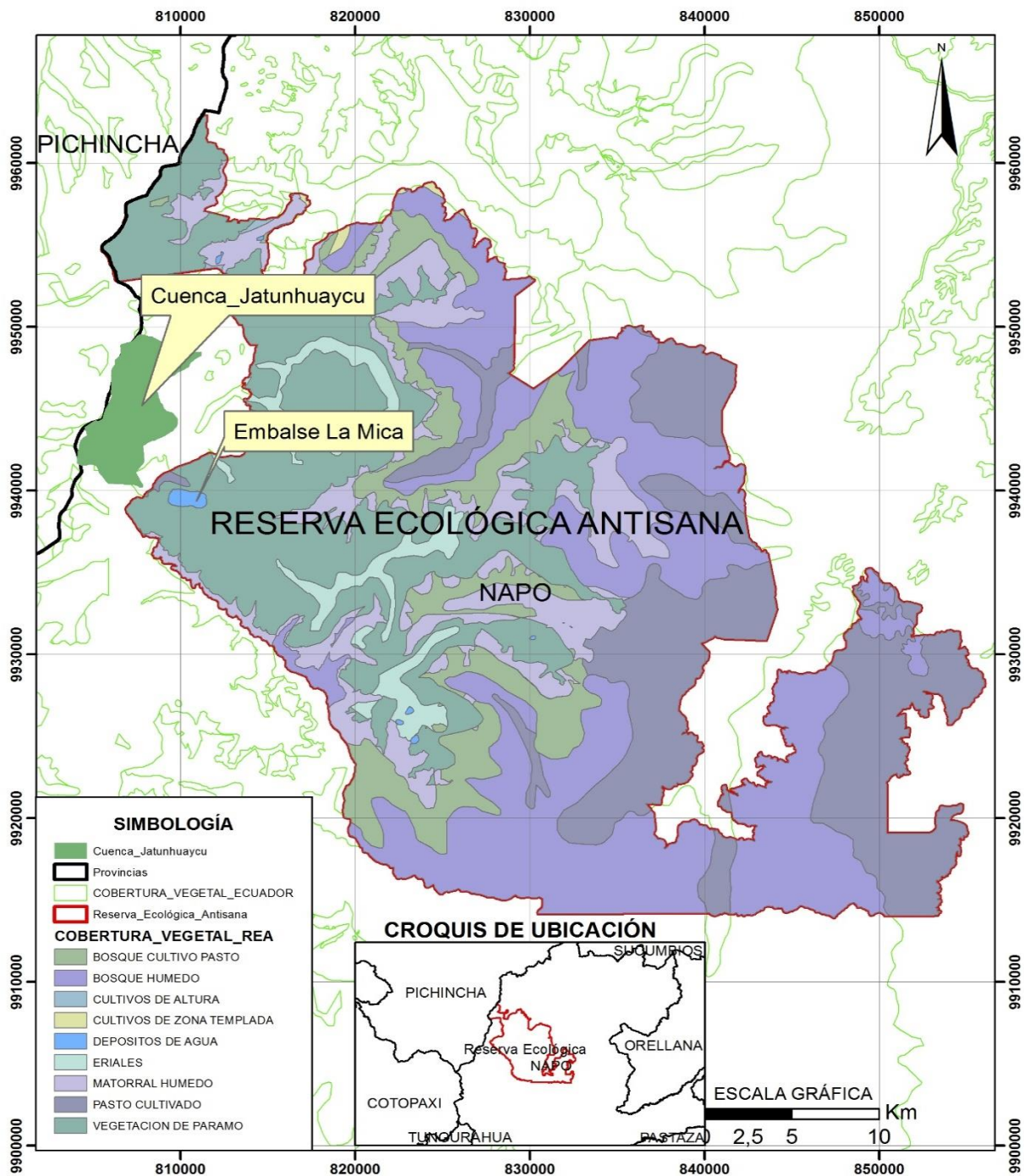


Figura 13. Mapa 3 - Rango de precipitación en el área de estudio y Reserva Ecológica Antisana.



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES TESIS			Mapa No. 4 FORMACIONES VEGETALES EN LA RESERVA ECOLÓGICA ANTISANA		OBSERVACIONES: SISTEMA DE REFERENCIA ESPACIAL DATUM HORIZONTAL: WGS84 DATUM VERTICAL: ESTACIÓN MAREOGRÁFICA LA LIBERTAD PROYECCION CARTOGRAFICA: UTM ELIPSOIDE: INTERNACIONAL ORIGEN ESTE: 500.000 m ORIGEN NORTE: 10.000.000 m FUENTE DE INFORMACION: IGM FUENTE: EPMAPS ELABORADO EN EL SISTEMA: ARC GIS 10.2.2
			FECHA: ABRIL 2016	MAPA No.: 1 DE 1	
ING. VICTOR HUGO ARIAS COORDINADOR CARRERA APROBO	ING. MAURICIO VALLADARES DIRECTOR DE TESIS REVISO	ROBERTO CUMBAL TESISISTA ELABORO	No. DE HOJAS 1		

Figura 14. Mapa 4 - Formaciones vegetales en el Reserva Ecológica Antisana.



Figura 15. Cauce del río Jatunhuaycu en la Reserva Ecológica Antisana.



Figura 16. Formaciones vegetales, Reserva Ecológica Antisana.

2.12.1. LA MICA QUITO – SUR

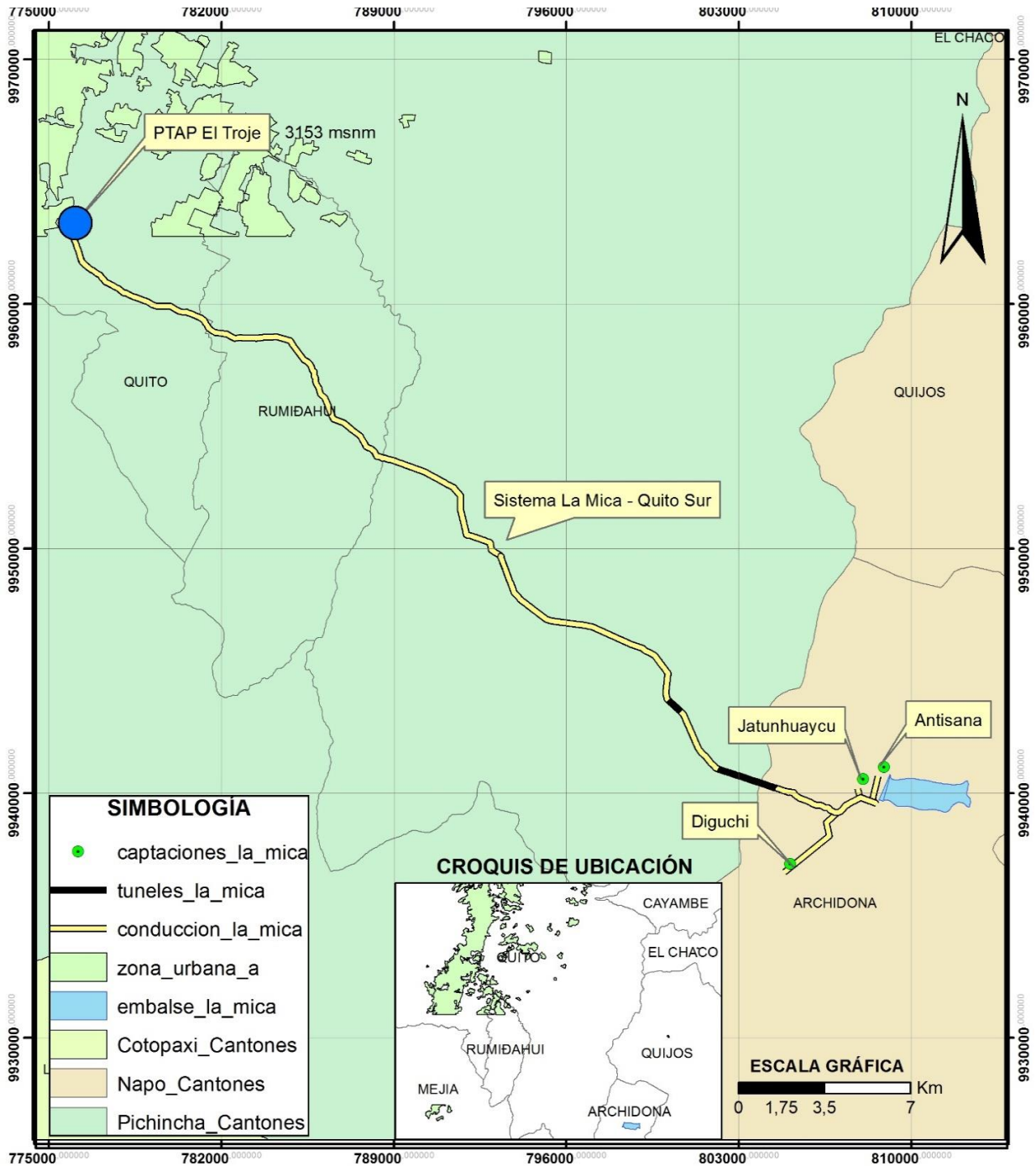
Las captaciones del Sistema de abastecimiento la Mica – Quito Sur se encuentran localizadas a 70 kilómetros al Sur – Este de la ciudad de Quito, en la provincia de Napo, al interior del cantón Archidona, en las inmediaciones del Volcán Antisana a una altura promedio de 3900 m.s.n.m. El Sistema está conformado por tres captaciones (Antisana 1500 l/s, Jatunhuaycu 400 l/s y Diguchi 150 l/s), el Embalse La Mica con un volumen superior a 50'000.000 m³, de los cuales el volumen útil es 23'500.000 m³; y la conducción que se desarrolla hasta la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) El Troje, la misma que tiene una capacidad de tratamiento de 1700 l/s. En la Figura 17, se detalla la importancia del Sistema La Mica.

2.12.2. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE “EL TROJE”

La PTAP El Troje, está ubicada en la loma del mismo nombre, al Sur de la ciudad de Quito, a una altura de 3.153 m.s.n.m., lo que permite abastecer casi la totalidad del sector Sur de la ciudad de Quito por gravedad, en la Figura 17 se puede apreciar el Sistema La Mica y su conexión con la PTAP El Troje.

La planta tiene capacidad para el tratamiento de 1700 l/s. Del volumen tratado el 60% es destinado a los hogares, el 22% se utilizan en industrias y 18% al sector comercial, según las estadísticas que maneja la EPMAPS.

El Sistema La Mica - Quito Sur se construyó en el año 2000 beneficiando a 276.000 personas que habitan desde el sector de Quitumbe, Sur de Quito, alcanzando el límite con el cantón Mejía. Hoy en día la PTAP El Troje abastece aproximadamente a 350.000 habitantes del sector Sur de la ciudad.



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES TESIS			Mapa No. 5 SISTEMA LA MICA- QUITO SUR Y PLANTA DE TRATAMIENTO EL TROJE		OBSERVACIONES: SISTEMA DE REFERENCIA ESPACIAL DATUM HORIZONTAL: WGS84 DATUM VERTICAL: ESTACIÓN MAREOGRÁFICA LA LIBERTAD PROYECCION CARTOGRAFICA: UTM ELIPSOIDE: INTERNACIONAL ORIGEN ESTE: 500.000 m ORIGEN NORTE: 10.000.000 m FUENTE DE INFORMACION: IGM FUENTE: EPMAPS ELABORADO EN EL SISTEMA: ARC GIS 10.2.2
			FECHA: ABRIL 2016	MAPA No.: 1 DE 1	
ING. VICTOR HUGO ARIAS COORDINADOR CARRERA APROBO	ING. MAURICIO VALLADARES DIRECTOR DE TESIS REVISO	ROBERTO CUMBAL TESIS TA ELABORO	No. DE HOJAS 1		

Figura 17. Mapa 5 - Sistema La Mica - Quito Sur y Planta de Tratamiento El Troje.

Cabe recalcar que la Planta de Tratamiento tiene una garantía de suministrar agua potable para abastecer a la ciudad en los próximos 35 años. Allí los procesos de tratamiento están conformados por floculadores hidráulicos de flujo horizontal con tres zonas de velocidad, sedimentadores de alta tasa de flujo ascendente con seditubos y recolección superior en tuberías perforadas, filtros rápidos dobles de doble capa, arena y antracita, de tasa declinante escalonada con retrolavado con carga de las otras unidades (lavado mutuo) y además se cuenta con lavado auxiliar con agua (Sichique Sánchez & Rocano Portoviejo, 2014).

3. METODOLOGÍA

3. METODOLOGÍA

3.1. METODOLOGÍAS PARA LA DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO

Las metodologías a tener en cuenta en el presente estudio, consideran los siguientes aspectos:

- Disponer de un régimen de caudales diarios o mensuales de mínimos los últimos 10 años consecutivos. Por ser un período que permite analizar la variabilidad y comportamiento del caudal.
- Analizar los métodos más usados a nivel nacional e internacional.

En ese sentido las metodologías a utilizar en el presente estudio son: Q5, Q10, Q25 y fórmula de Matthey.

3.2. METODOLOGÍA 5% DEL CAUDAL

Es una metodología hidrológica, la misma que consiste en tomar el 5% del caudal medio anual de la última década. Esta metodología es utilizada por varios países en América Latina, por tener condiciones similares de temperatura, clima, etc. en las cuencas de los ríos a aplicar (Mayo Rustarazo, 2000).

3.3. METODOLOGÍA 10% DEL CAUDAL

En el Ecuador existen múltiples obras de captación para agua potable, riego y otros usos, los mismos que se encuentran a partir de los 4500 metros de altitud. Esto en la mayoría de los casos dificulta determinar en qué casos se debería aplicar o medir el caudal ecológico, sobre todo cuando exista

competencia entre el caudal ecológico, caudal para agua potable y el caudal para seguridad alimentaria. En la mayoría de los ríos de las provincias de la sierra ecuatoriana existe un déficit generalizado de agua para los diferentes usos.

Las metodologías para la implementación del caudal ecológico en el Ecuador están aún pendientes y la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) y el Ministerio del Ambiente de Ecuador (MAE) estarían promoviendo el estudio y determinación del caudal ecológico en diferentes cuencas hidrográficas, tal como lo establece la Ley Orgánica de Recursos Hídricos del Ecuador. Dicha Ley expresa que el caudal ecológico debe ser respetado para todas las actividades productivas. Para este estudio se utilizó la serie de caudales del período 2002- 2012, proporcionados por la EPMAPS.

3.4. METODOLOGÍA Q25%

Esta metodología se aplica en la mayoría de ríos, cuenca y microcuencas de Colombia. El presente estudio aplicó esta metodología por la similitud de condiciones naturales del área de investigación.

Este método emplea series históricas a nivel mensual multianual, siendo un método de cálculo ampliamente utilizado y aceptado en Colombia y normado por la Corporación Autónoma Regional de La Orinoquía (CORPORINOQUÍA) en la resolución 200.41.10.1398 de 2010.

Ésta metodología establece que el caudal ecológico es igual a el 25% del caudal medio mensual multianual más bajo de la corriente en estudio.

3.5. METODOLOGÍA DE ACUERDO A LA LEGISLACIÓN SUIZA, FRANCESA, ASTURIANA Y VASCA (MATTHEY)

En algunos países de Europa se han determinado caudales ecológicos utilizando métodos de tipo hidrológico, como los que se detallan a continuación:

La legislación suiza, establece la conservación de un caudal mínimo cualitativo y cuantitativo considerando lo siguiente:

- El caudal mínimo cualitativo considera la calidad de agua superficial (tomando en cuenta los vertidos de aguas residuales actuales y futuros), resguardando lugares de esparcimiento, cuyo aspecto estético y ambiental dependa del agua.
- El caudal mínimo cuantitativo será de por lo menos 50 l/s. A partir de esta cantidad los caudales se definen en función del Q347, debiéndose mantener una profundidad mínima de 20 cm, para permitir el movimiento migratorio de los peces.

Los caudales ecológicos que define la ley federal suiza en función del Q347, se basan en el uso de la ecuación (1). Esta ecuación se utiliza en el caso en que no existan caudales medios diarios, pero se cuente con información sobre el caudal medio anual.

$$Q_{347} = \frac{a_0(Q_{ma})}{10} \quad [1]$$

Donde a_0 es un coeficiente que puede tomar los valores 0.5, 1, 1.5 y 1.8, dependiendo del tipo de clima de los diferentes países en donde se aplica ésta fórmula. De esta manera el valor de 0.5 se toma cuando el área de estudio tenga características similares a una precipitación anual menor o igual a 700 mm y una temperatura que varíe entre los 5°C y -2°C. Con respecto al valor de 1, se aplica cuando el área de estudio tenga una

temperatura media que oscila entre los 9°C y 15°C anuales y la precipitación se encuentre entre 500 y 2500 mm anuales. Para utilizar el valor de 1.5, las características a considerar son: la temperatura que varíe entre 15°C y 30°C y las precipitaciones se encuentren entre 1000 y 3000 mm promedio anual. Para tomar en consideración el valor de 1.8, el parámetro de temperatura debe estar entre los 20° y 30°C, y la precipitación no sea superior a los 300 mm anuales (CENTRO DE ECOLOGIA APLICADA LTDA., 2008).

El Q_{ma} se refiere al caudal medio anual. En este estudio se utiliza el valor de a_0 tal que Q_{347} se asemeje al valor obtenido de la serie histórica de caudales medios mensuales.

EN 1980 la Dirección General de Obras Públicas del País Vasco estimó un caudal de circulación permanente por los cauces regulados igual a 10% de las aportaciones naturales anuales medias al cauce, es decir, el 10% del caudal medio anual. (CENTRO DE ECOLOGIA APLICADA LTDA., 2008).

El Q_{347} se calcula mediante la ecuación 1, en el caso de no contar con información de caudales medios diarios.

La Confederación Hidrográfica del Norte de España considera que la ecuación (4) da valores superiores a las ecuaciones (2) y (3), por ello la aplican en los ríos donde $Q_{347} < 750$ l/s. En cambio, en las cuencas con caudal $Q_{347} > 750$ l/s, aplican la ecuación (3).

$$Q_e = \frac{150 \times Q_{347}}{10} \quad [2]$$

$$Q_e = 0.35 \times Q_{347} \quad [3]$$

$$Q_e = 0.25 \times Q_{347} + 75 \quad [4]$$

3.6. RÉGIMEN DE CAUDAL ECOLÓGICO EN EL RÍO JATUNHUAYCU ANTES DE LA CAPTACIÓN

En la Tabla 3, se presenta el caudal promedio de los meses, desde marzo de 1979 hasta abril del 2013, determinadas aguas arriba de la captación de agua, localizada en las coordenadas planas: 807944m E 9940777m N (Fuente EPMAPS).

A partir de dicha serie de datos recopilada y revisada, se calculó el Q_e mediante el empleo de las metodologías Q5, Q10, Q25 y Matthey.

Tabla 3. Caudal mensual promedio del río Jatunhuaycu aguas arriba de la captación, período 1979 - 2013.

Caudales (m3/s)															
mar-79	0,362	nov-83	0,319	mar-88	0,251	nov-92	0,257	may-99	0,524	feb-04	0,208	jun-08	0,332	oct-12	0,288
abr-79	0,414	dic-83	0,313	abr-88	0,297	dic-92	0,221	jul-99	0,487	mar-04	0,174	jul-08	0,346	nov-12	0,163
may-79	0,429	ene-84	0,299	may-88	0,281	ene-93	0,287	sep-99	0,368	abr-04	0,203	ago-08	0,235	dic-12	0,229
jun-79	0,350	feb-84	0,349	jun-88	0,303	feb-93	0,290	dic-99	0,422	may-04	0,225	sep-08	0,359	ene-13	0,255
jul-79	0,291	mar-84	0,300	jul-88	0,377	mar-93	0,275	ene-00	0,382	jun-04	0,243	oct-08	0,441	feb-13	0,301
ago-79	0,328	abr-84	0,427	ago-88	0,321	abr-93	0,319	feb-00	0,360	jul-04	0,211	nov-08	0,471	mar-13	0,368
sep-79	0,283	may-84	0,369	sep-88	0,303	may-93	0,360	mar-00	0,306	ago-04	0,225	dic-08	0,438	abr-13	0,287
ene-80	0,263	jun-84	0,409	oct-88	0,319	jun-93	0,326	abr-00	0,486	sep-04	0,191	ene-09	0,353		
feb-80	0,263	jul-84	0,375	nov-88	0,431	jul-93	0,280	may-00	0,841	oct-04	0,211	feb-09	0,354		
mar-80	0,275	ago-84	0,336	dic-88	0,354	ago-93	0,253	jun-00	0,580	nov-04	0,295	mar-09	0,385		
abr-80	0,303	sep-84	0,392	ene-89	0,369	sep-93	0,255	jul-00	0,446	dic-04	0,205	abr-09	0,320		
may-80	0,353	oct-84	0,358	feb-89	0,304	oct-93	0,284	ago-00	0,595	ene-05	0,197	may-09	0,366		
jun-80	0,363	nov-84	0,379	mar-89	0,313	nov-93	0,278	sep-00	0,616	feb-05	0,167	jun-09	0,357		
jul-80	0,329	dic-84	0,322	abr-89	0,299	dic-93	0,279	oct-00	0,479	mar-05	0,213	jul-09	0,312		
ago-80	0,263	ene-85	0,279	may-89	0,401	ene-94	0,261	nov-00	0,408	abr-05	0,167	ago-09	0,279		
sep-80	0,258	feb-85	0,256	jul-89	0,407	feb-94	0,264	dic-00	0,328	may-05	0,228	sep-09	0,267		
oct-80	0,275	mar-85	0,276	ago-89	0,386	mar-94	0,252	ene-01	0,368	jun-05	0,258	oct-09	0,203		
nov-80	0,294	abr-85	0,301	sep-89	0,307	abr-94	0,437	feb-01	0,430	jul-05	0,243	nov-09	0,262		
dic-80	0,292	may-85	0,383	oct-89	0,321	may-94	0,361	mar-01	0,382	ago-05	0,219	dic-09	0,264		
ene-81	0,218	jun-85	0,383	nov-89	0,265	jun-94	0,456	abr-01	0,353	sep-05	0,186	ene-10	0,259		
feb-81	0,242	jul-85	0,339	dic-89	0,285	ago-94	0,266	may-01	0,427	oct-05	0,174	feb-10	0,255		
mar-81	0,248	ago-85	0,313	ene-90	0,274	oct-94	0,330	jun-01	0,416	nov-05	0,206	mar-10	0,247		
abr-81	0,267	sep-85	0,429	mar-90	0,253	nov-94	0,336	jul-01	0,414	dic-05	0,169	abr-10	0,284		
may-81	0,258	oct-85	0,390	abr-90	0,288	dic-94	0,396	ago-01	0,308	ene-06	0,166	may-10	0,168		
jun-81	0,235	nov-85	0,265	may-90	0,380	ene-95	0,292	sep-01	0,339	feb-06	0,170	jun-10	0,947		
jul-81	0,306	dic-85	0,263	jun-90	0,343	mar-95	0,270	nov-01	0,281	mar-06	0,203	jul-10	0,280		
ago-81	0,290	ene-86	0,252	jul-90	0,277	abr-95	0,255	dic-01	0,285	abr-06	0,147	ago-10	0,348		
sep-81	0,248	feb-86	0,344	ago-90	0,287	jun-95	0,334	ene-02	0,334	may-06	0,220	sep-10	0,314		
oct-81	0,246	mar-86	0,513	sep-90	0,294	nov-95	0,264	feb-02	0,311	jun-06	0,470	oct-10	0,280		
nov-81	0,270	abr-86	0,444	oct-90	0,283	ene-96	0,262	mar-02	0,272	jul-06	0,210	nov-10	0,290		
dic-81	0,270	may-86	0,415	nov-90	0,290	abr-96	0,256	abr-02	0,427	ago-06	0,257	dic-10	0,301		
ene-82	0,295	jun-86	0,388	dic-90	0,311	may-96	0,366	may-02	0,340	sep-06	0,200	ene-11	0,349		
feb-82	0,247	jul-86	0,330	ene-91	0,329	jul-96	0,405	jun-02	0,603	oct-06	0,190	feb-11	0,366		
mar-82	0,236	ago-86	0,271	feb-91	0,276	sep-96	0,283	jul-02	0,319	nov-06	0,275	mar-11	0,376		
abr-82	0,319	sep-86	0,261	mar-91	0,308	dic-96	0,293	ago-02	0,326	dic-06	0,291	abr-11	0,743		
may-82	0,308	oct-86	0,303	abr-91	0,313	mar-97	0,296	sep-02	0,296	ene-07	0,214	may-11	0,546		
jun-82	0,280	nov-86	0,255	may-91	0,282	abr-97	0,501	oct-02	0,259	feb-07	0,227	jun-11	0,513		
jul-82	0,247	dic-86	0,248	jun-91	0,287	jul-97	0,359	nov-02	0,333	mar-07	0,209	jul-11	0,480		
ago-82	0,304	ene-87	0,243	jul-91	0,287	sep-97	0,246	dic-02	0,397	abr-07	0,247	ago-11	0,364		
oct-82	0,280	feb-87	0,403	ago-91	0,277	oct-97	0,281	ene-03	0,216	may-07	0,207	sep-11	0,414		
nov-82	0,256	mar-87	0,256	sep-91	0,233	nov-97	0,314	feb-03	0,240	jun-07	0,266	oct-11	0,955		
dic-82	0,525	abr-87	0,333	oct-91	0,252	ene-98	0,278	mar-03	0,264	jul-07	0,284	nov-11	0,320		
ene-83	0,300	may-87	0,395	nov-91	0,313	may-98	0,347	abr-03	0,197	ago-07	0,185	dic-11	0,380		
feb-83	0,291	jun-87	0,304	dic-91	0,339	jul-98	0,331	may-03	0,254	sep-07	0,253	ene-12	0,459		
mar-83	0,346	jul-87	0,300	ene-92	0,273	ago-98	0,488	jun-03	0,232	oct-07	0,203	feb-12	0,292		
abr-83	0,445	ago-87	0,297	feb-92	0,253	sep-98	0,331	jul-03	0,265	nov-07	0,229	mar-12	0,367		
may-83	0,378	sep-87	0,291	mar-92	0,280	oct-98	0,350	ago-03	0,219	dic-07	0,223	abr-12	0,444		
jun-83	0,345	oct-87	0,323	abr-92	0,322	dic-98	0,263	sep-03	0,203	ene-08	0,190	may-12	0,410		
jul-83	0,351	nov-87	0,315	may-92	0,246	ene-99	0,309	oct-03	0,223	feb-08	0,224	jun-12	0,370		
ago-83	0,344	dic-87	0,313	jul-92	0,257	feb-99	0,497	nov-03	0,172	mar-08	0,205	jul-12	0,345		
sep-83	0,329	ene-88	0,258	ago-92	0,296	mar-99	0,229	dic-03	0,234	abr-08	0,239	ago-12	0,324		
oct-83	0,341	feb-88	0,252	oct-92	0,262	abr-99	0,358	ene-04	0,306	may-08	0,324	sep-12	0,306		

Con la información estudiada se desarrolló el histograma de los caudales comprendidos en este periodo, tal como se muestra en la Figura 18.

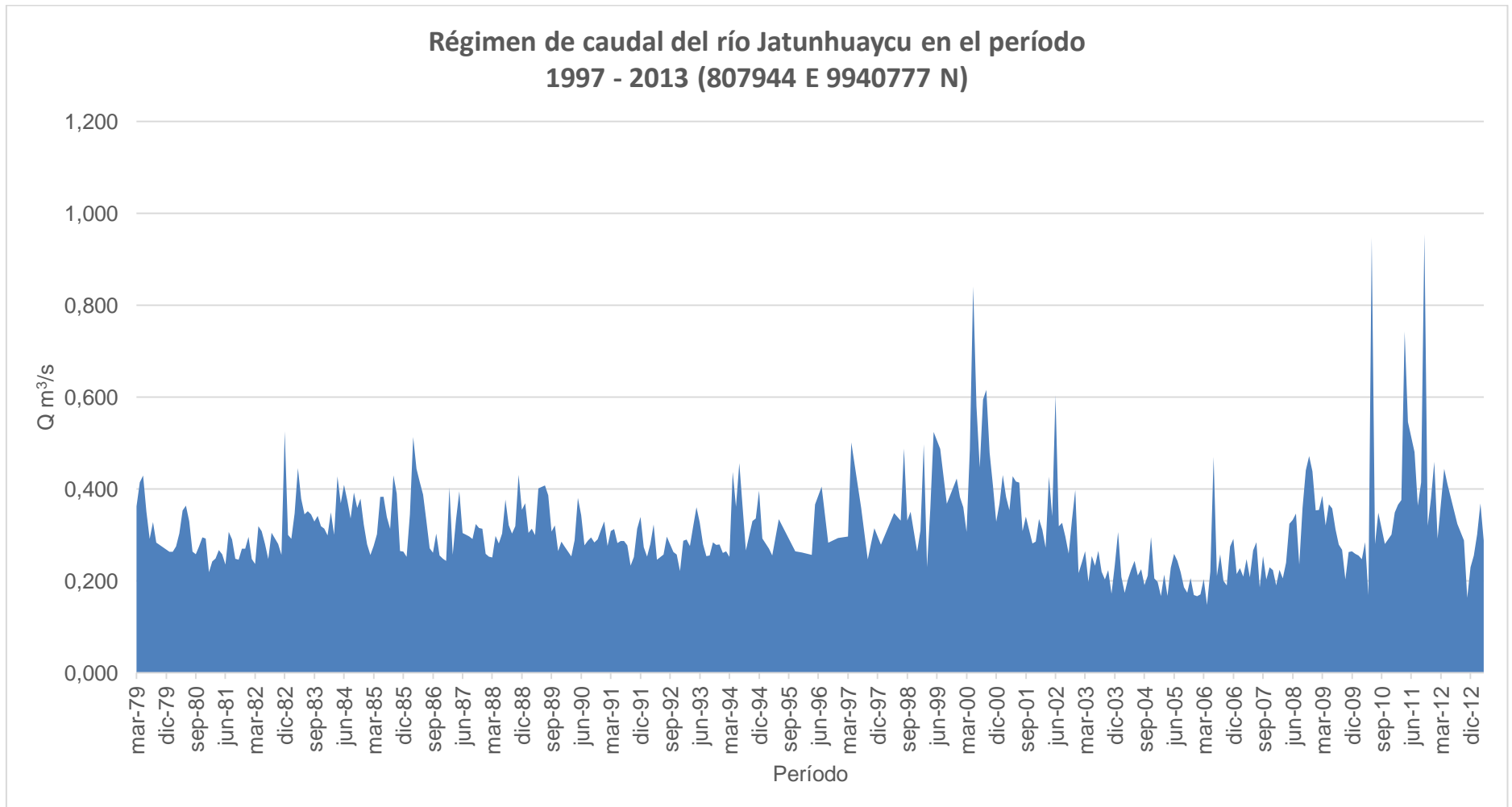


Figura 18. Régimen del caudal del río Jatunhuaycu (m³/s) aguas arriba de la captación, período 1997 - 2013.

El histograma se realizó con los caudales mensuales desde marzo de 1979 hasta abril del 2013. EL promedio en este período es de $0.314 \text{ m}^3/\text{s}$, muestra un máximo de $0.955 \text{ m}^3/\text{s}$ en el mes de octubre y un mínimo de $0.147 \text{ m}^3/\text{s}$ en el mes de abril del 2006. A partir del año 2000 se presenta una variabilidad notable en cuanto a caudales máximos y mínimos, posiblemente influenciado por el cambio climático.

3.7. REGÍMENES DE CAUDAL ECOLÓGICO AGUAS ARRIBA DE LA CAPTACIÓN DEL RÍO JATUNHUAYCU

A partir del régimen de caudal mensual del período 1979 – 2013 mostrado en la Tabla 3, se logró extraer y estudiar una serie de datos de 10 años correspondiente al período 2002 – 2012, en este período los caudales promedios mensuales se encuentran completos para cada uno de los meses, a diferencia del resto de la serie de datos (1979 – 2013), la misma que no dispone de datos para todos los meses.

Con la serie de 10 años comprendidos entre el año 2002 y el 2012 se aplicaron las metodologías hidrológicas del Q5, Q10, Q25 y fórmula de Matthey.

3.7.1. METODOLOGÍAS HIDROLÓGICA Q5, Q10 Y Q25, A PARTIR DE LAS MEDIAS MENSUALES DE LOS AÑOS 2002 – 2012

3.7.1.1. Caudales ecológicos determinados mediante las metodologías de Q5, Q10 y Q25 para el año 2002

A partir del año 2002, se toma en cuenta los demás caudales ecológicos el Q5 y el Q10, los mismos que son aceptados en algunos países de Latinoamérica, pero tomando en cuenta las condiciones del área de estudio,

se aplicará el Q25, el mismo que tiene un caudal constante y en comparación a las otras metodología guarda un caudal mayor para el río aguas abajo después del aprovechamiento. En la Figura 19, muestra un caudal ecológico de 64.7 l/s mediante la metodología hidrológica del Q25. Para la metodología del Q10 muestra un caudal promedio de 35.1 l/s, el cual representa un 45.7% menos, al caudal propuesto (Q25). El Q5 muestra un caudal de 17.6 l/s y representa un 72.7% menos, en relación al caudal propuesto. En este año el río Jatunhuaycu presenta un promedio de 351.4 l/s, un máximo de 603.4 l/s en junio y un mínimo de 258.9 l/s en octubre.

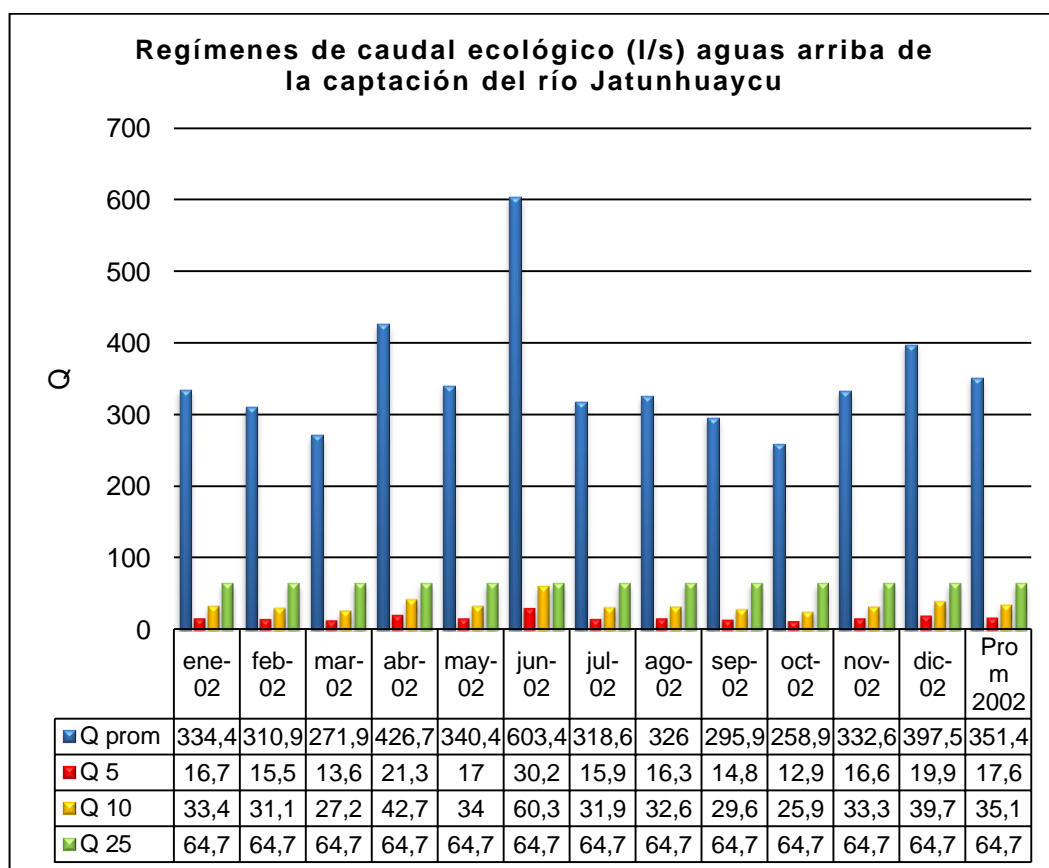


Figura 19. Regímenes de caudal y caudal ecológico propuesto (Q25) para el río Jatunhuaycu en el año 2002.

3.7.1.2. Caudales ecológicos determinados mediante las metodologías de Q5, Q10 y Q25 para el año 2003

El año 2003 presenta un caudal ecológico de 42.9 l/s mediante la metodología hidrológica del Q25. Para la metodología del Q10 muestra un caudal promedio de 22.7 l/s, el mismo que representa un 47.1% menos, al caudal propuesto (Q25). El Q5 tiene caudal promedio de 11.3 l/s y representa un 73.6% menos, en relación al Q25 propuesto. En este año el río Jatunhuaycu presenta un promedio de 226.6 l/s, un máximo de 265 l/s en julio y un mínimo de 171.6 l/s en noviembre, tal como se muestra en la Figura 20.

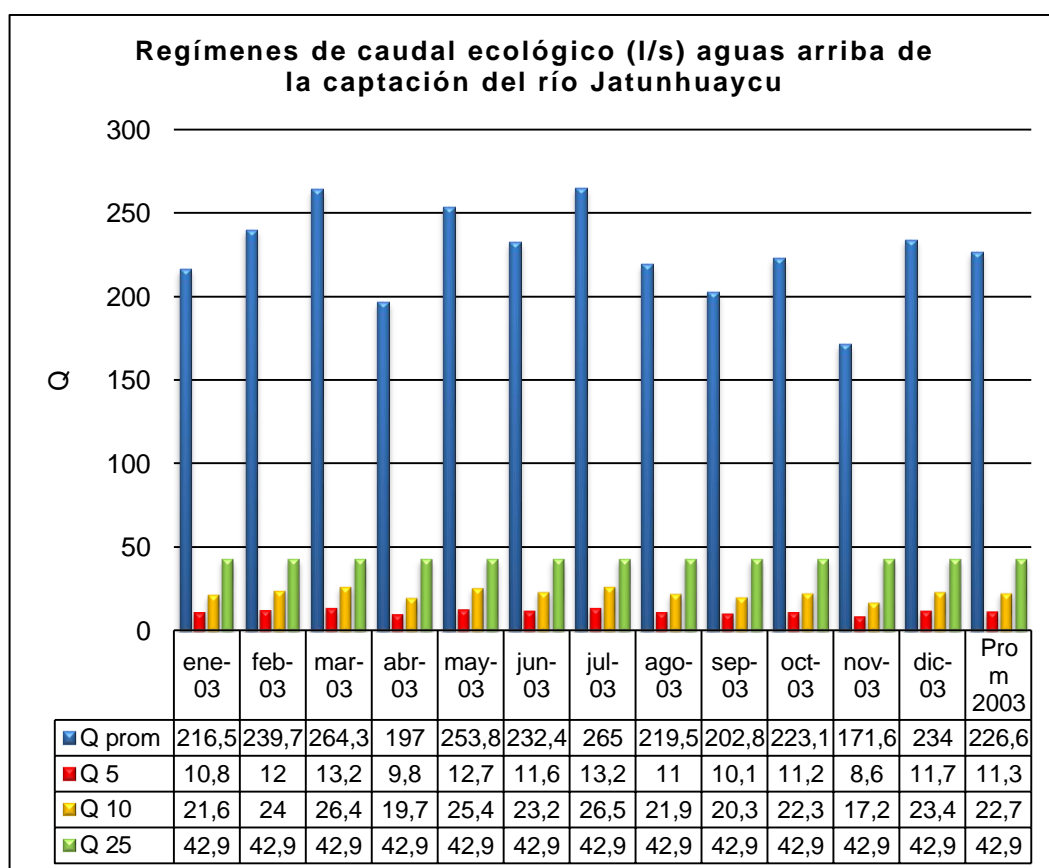


Figura 20. Regímenes de caudal y caudal ecológico propuesto (Q25) para el río Jatunhuaycu en el año 2003.

3.7.1.3. Caudales ecológicos determinados mediante las metodologías de Q5, Q10 y Q25 para el año 2004

El año 2004 presenta un caudal ecológico de 43.4 l/s mediante la metodología hidrológica del Q25. Para la metodología del Q10 muestra un caudal promedio de 22.5 l/s, el mismo que representa un 48.8% menos, al caudal propuesto (Q25). El Q5 tiene un caudal promedio de 11.2 l/s y representa un 74.4% menos, en relación al Q25 propuesto. En este año el río Jatunhuaycu presenta un promedio de 224.8 l/s, un máximo de 305.9 l/s en enero y un mínimo de 173.5 l/s en marzo, tal como se muestra en la Figura 21.

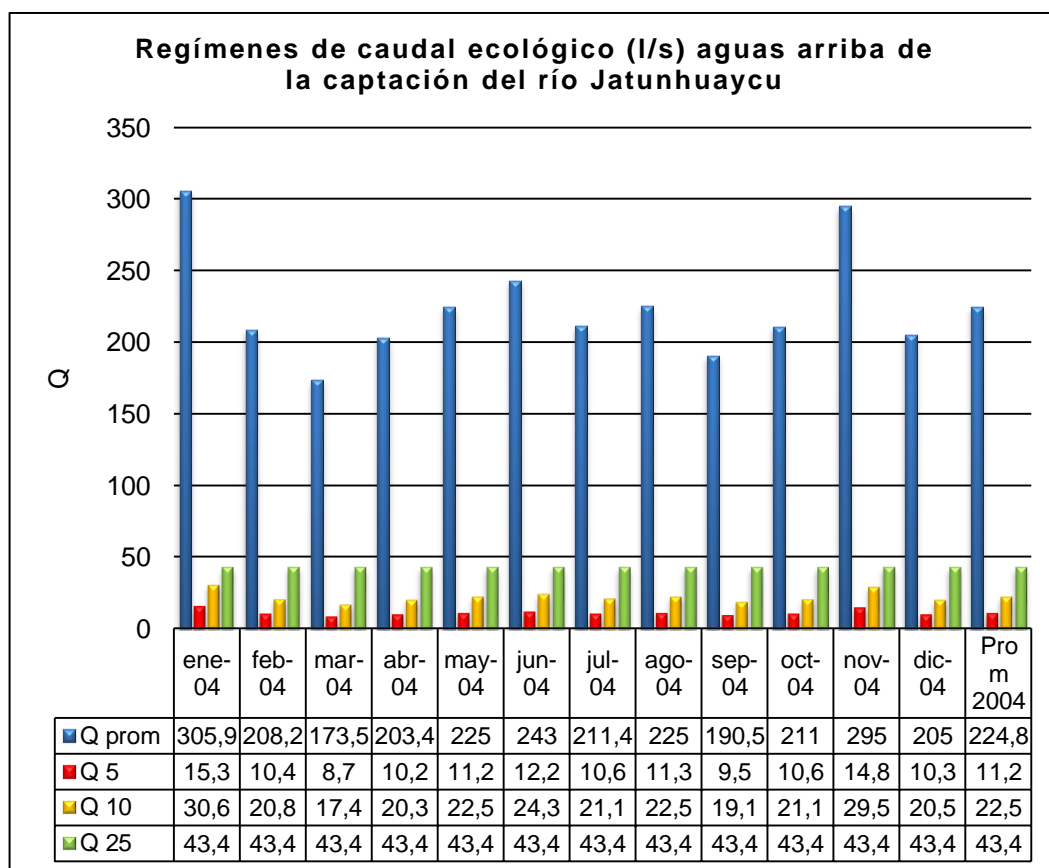


Figura 21. Regímenes de caudal y caudal ecológico propuesto (Q25) para el río Jatunhuaycu en el año 2004.

3.7.1.4. Caudales ecológicos determinados mediante las metodologías de Q5, Q10 y Q25 para el año 2005

El año 2005 muestra un caudal ecológico de 41.6 l/s mediante la metodología hidrológica del Q25. Para la metodología del Q10 muestra un caudal promedio de 20.2 l/s, el mismo que representa un 51.4% menos, al caudal propuesto (Q25). El Q5 tiene un caudal promedio de 10.1 l/s y representa un 75.7% menos, en relación al Q25 propuesto. En este año el río Jatunhuaycu presenta un promedio de 202.2 l/s, un máximo de 258.4 l/s en junio y un mínimo de 166.6 l/s en febrero, tal como se muestra en la Figura 22.

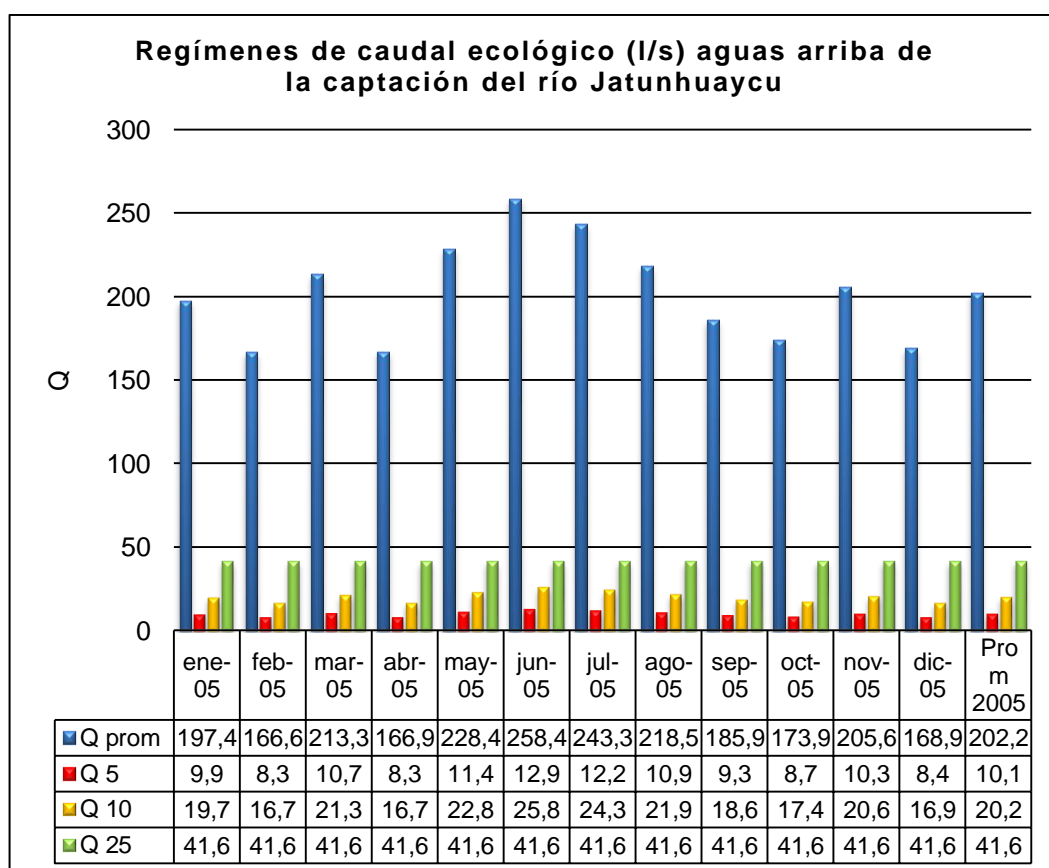


Figura 22. Regímenes de caudal y caudal ecológico propuesto (Q25) para el río Jatunhuaycu en el año 2005.

3.7.1.5. Caudales ecológicos determinados mediante las metodologías de Q5, Q10 y Q25 para el año 2006

El año 2006 presenta un caudal ecológico de 36.8 l/s mediante la metodología hidrológica del Q25. Para la metodología del Q10 el caudal promedio de 23.3 l/s, el mismo que representa un 37.8% menos, al caudal propuesto (Q25). El Q5 tiene un caudal promedio de 11.7 l/s y representa un 67.6% menos, en relación al Q25 propuesto. En este año el río Jatunhuaycu presenta un promedio de 233.3 l/s, un máximo de 469.9 l/s en junio y un mínimo de 147.3 l/s en abril, tal como se muestra en la Figura 23.

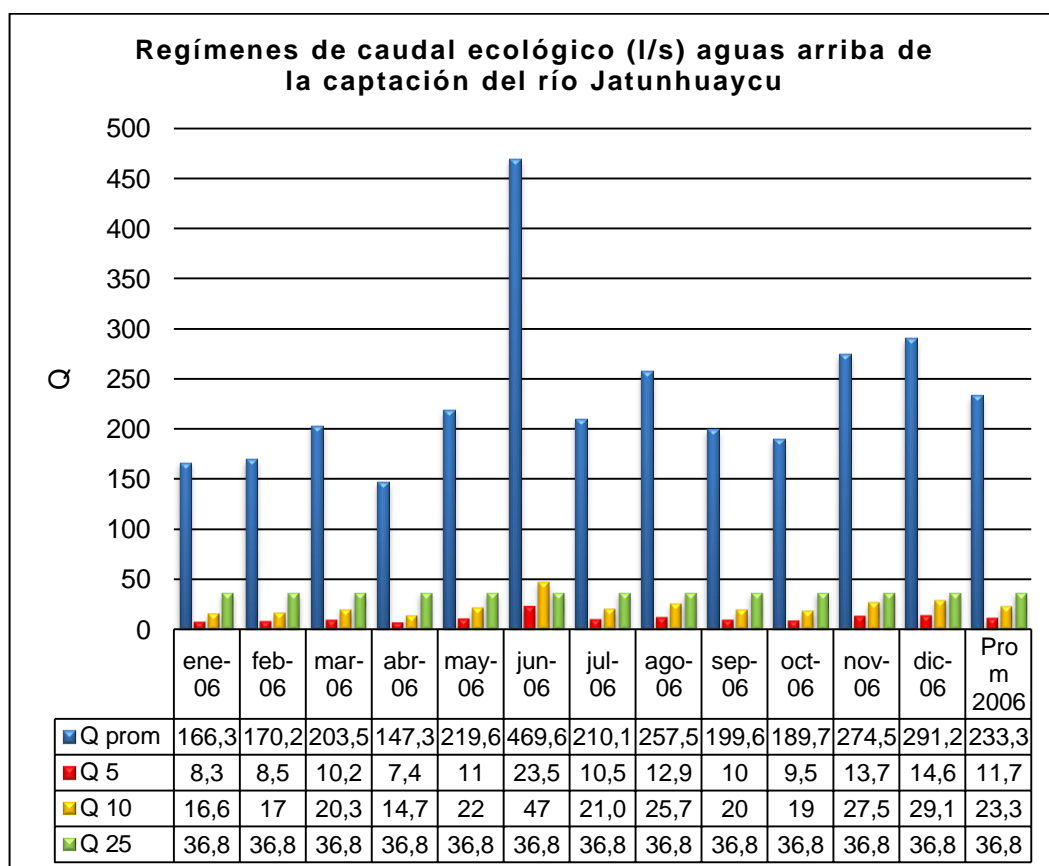


Figura 23. Regímenes de caudal y caudal ecológico propuesto (Q25) para el río Jatunhuaycu en el año 2006.

3.7.1.6. Caudales ecológicos determinados mediante las metodologías de Q5, Q10 y Q25 para el año 2007

El año 2007 presenta un caudal ecológico de 46.3 l/s mediante la metodología hidrológica del Q25. Para la metodología del Q10 muestra un caudal promedio de 22.9 l/s, el mismo que representa un 50.5% menos, al caudal propuesto (Q25). El Q5 tiene un caudal promedio de 11.5 l/s y representa un 75.1% menos, en relación al Q25 propuesto. En este año el río Jatunhuaycu presenta un promedio de 229.1 l/s, un máximo de 283.8 l/s en julio, y un mínimo de 185.3 l/s en agosto, tal como se muestra en la Figura 24.

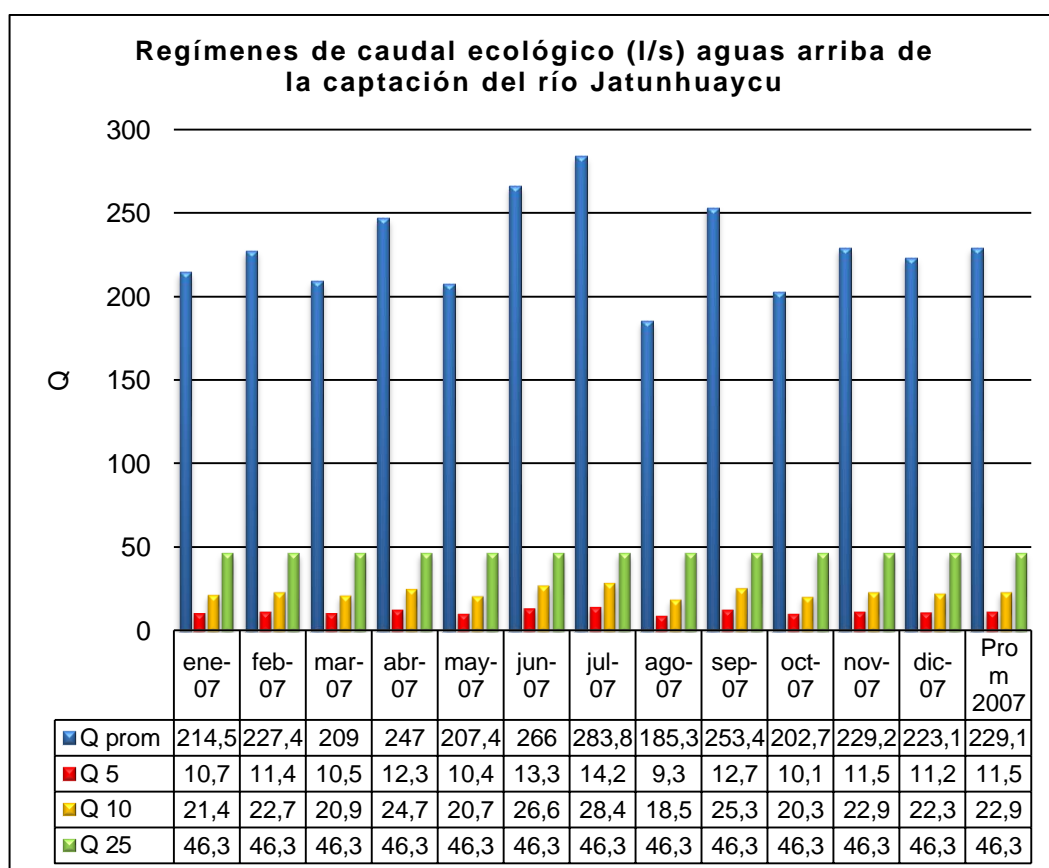


Figura 24. Regímenes de caudal y caudal ecológico propuesto (Q25) para el río Jatunhuaycu en el año 2007.

3.7.1.7. Caudales ecológicos determinados mediante las metodologías de Q5, Q10 y Q25 para el año 2008

El año 2008 presenta un caudal ecológico de 47.5 l/s mediante la metodología hidrológica del Q25. Para la metodología del Q10 muestra un caudal promedio de 31.7 l/s, el mismo que representa un 33.2% menos, al caudal propuesto (Q25). El Q5 tiene un caudal promedio de 15.8 l/s y representa un 66.7% menos, en relación al Q25 propuesto. En este año el río Jatunhuaycu presenta un promedio de 317 l/s, un máximo de 471.4 l/s en noviembre y un mínimo de 189.8 l/s en enero, tal como se muestra en la Figura 25.

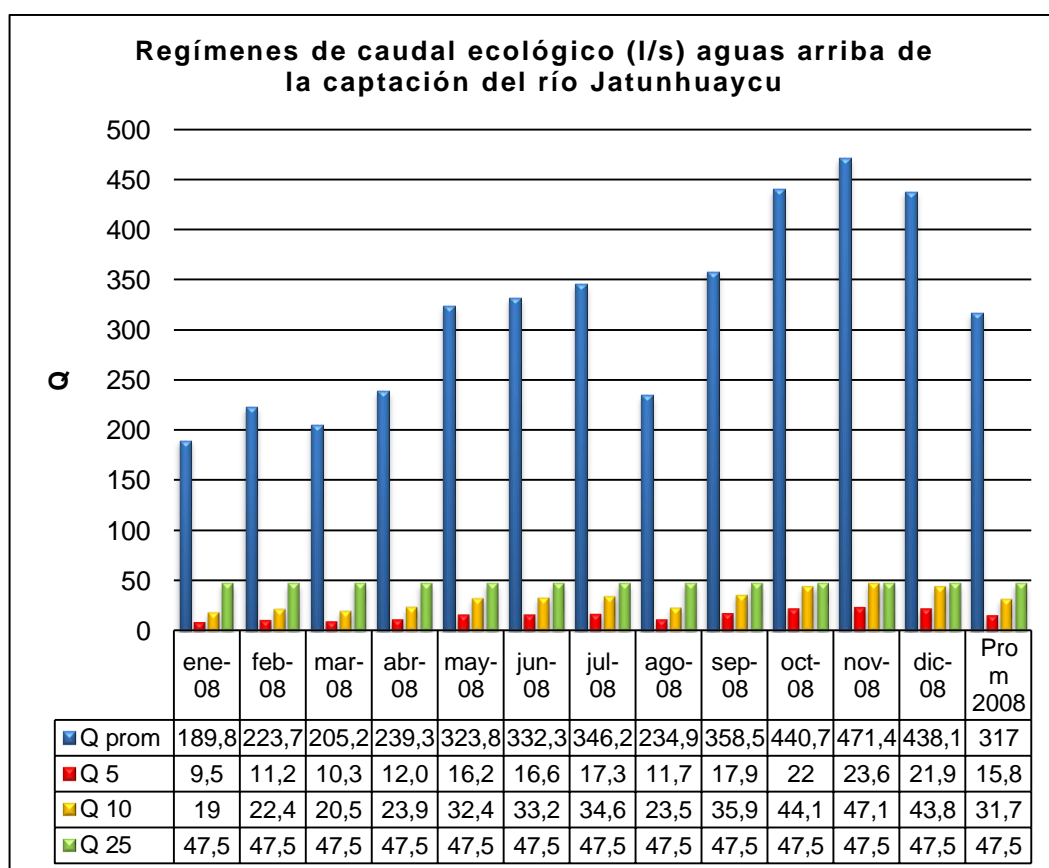


Figura 25. Regímenes de caudal y caudal ecológico propuesto (Q25) para el río Jatunhuaycu en el año 2008.

3.7.1.8. Caudales ecológicos determinados mediante las metodologías de Q5, Q10 y Q25 para el año 2009

El año 2009 presenta un caudal ecológico de 50.7 l/s mediante la metodología hidrológica del Q25. Para la metodología del Q10 muestra un caudal promedio de 31 l/s, el mismo que representa un 38.8% menos, al caudal propuesto (Q25). El Q5 tiene un caudal promedio de 15.5 l/s y representa un 69.4% menos, en relación al Q25 propuesto. En este año el río Jatunhuaycu presenta un promedio de 310.3 l/s, un máximo de 385 l/s en marzo y un mínimo es 202.8 l/s en octubre, tal como se muestra en la Figura 26.

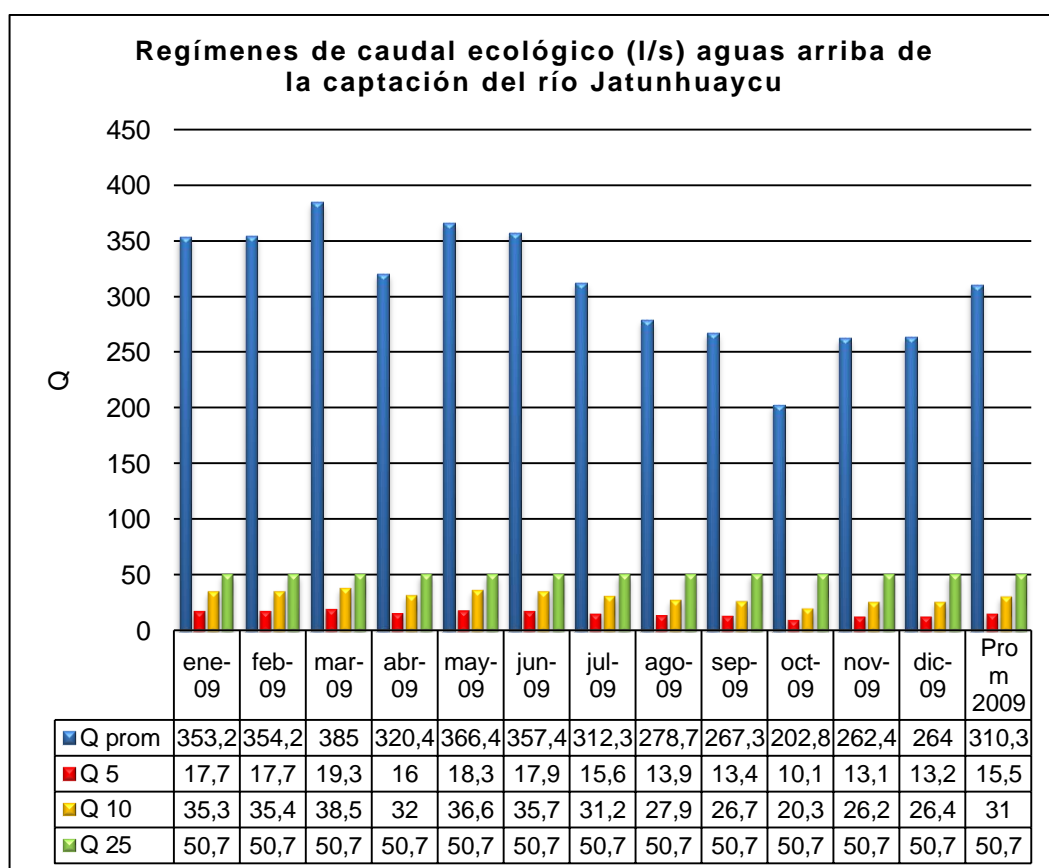


Figura 26. Regímenes de caudal y caudal ecológico propuesto (Q25) para el río Jatunhuaycu en el año 2009.

3.7.1.9. Caudales ecológicos determinados mediante las metodologías de Q5, Q10 y Q25 para el año 2010

El año 2010 muestra un caudal ecológico de 42.1 l/s mediante la metodología hidrológica del Q25. Para la metodología del Q10 muestra un caudal promedio de 33.1 l/s, el mismo que representa un 21.3% menos, al caudal propuesto (Q25). El Q5 tiene un caudal promedio de 16.6 l/s y representa un 60.5% menos, en relación al Q25 propuesto. En este año el río Jatunhuaycu presenta un promedio de 331 l/s, un máximo de 947.4 l/s en junio y un mínimo de 168.4 l/s en mayo, tal como se muestra en la Figura 27.

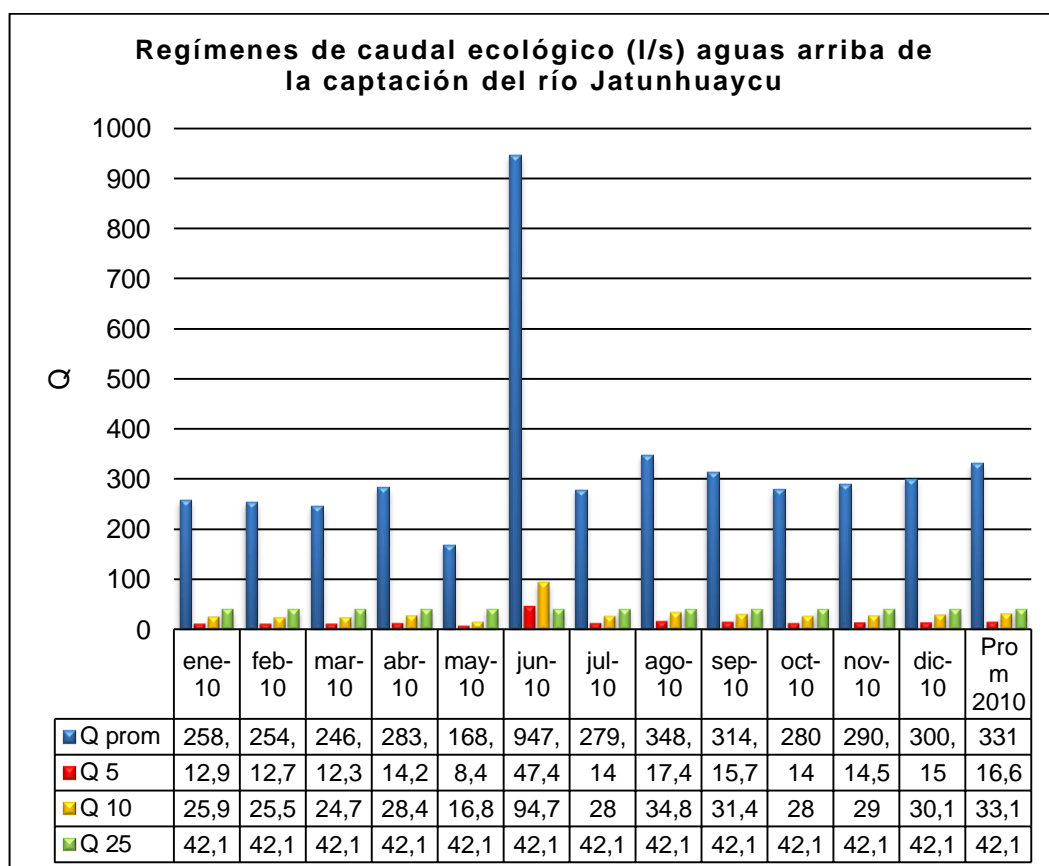


Figura 27. Regímenes de caudal y caudal ecológico propuesto (Q25) para el río Jatunhuaycu en el año 2010.

3.7.1.10. Caudales ecológicos determinados mediante las metodologías de Q5, Q10 y Q25 para el año 2011

El año 2011 presenta un caudal ecológico de 80 l/s mediante la metodología hidrológica del Q25. Para la metodología del Q10 muestra un caudal promedio de 48.4 l/s, el mismo que representa un 39.5% menos, al caudal propuesto (Q25). El Q5 tiene un caudal promedio de 24.2 l/s y representa un 69.7% menos, en relación al Q25 propuesto. En este año el río Jatunhuaycu presenta un promedio de 483.7 l/s, un máximo de 955 l/s en octubre y un mínimo de 319.8 l/s en noviembre, tal como se muestra en la Figura 28.

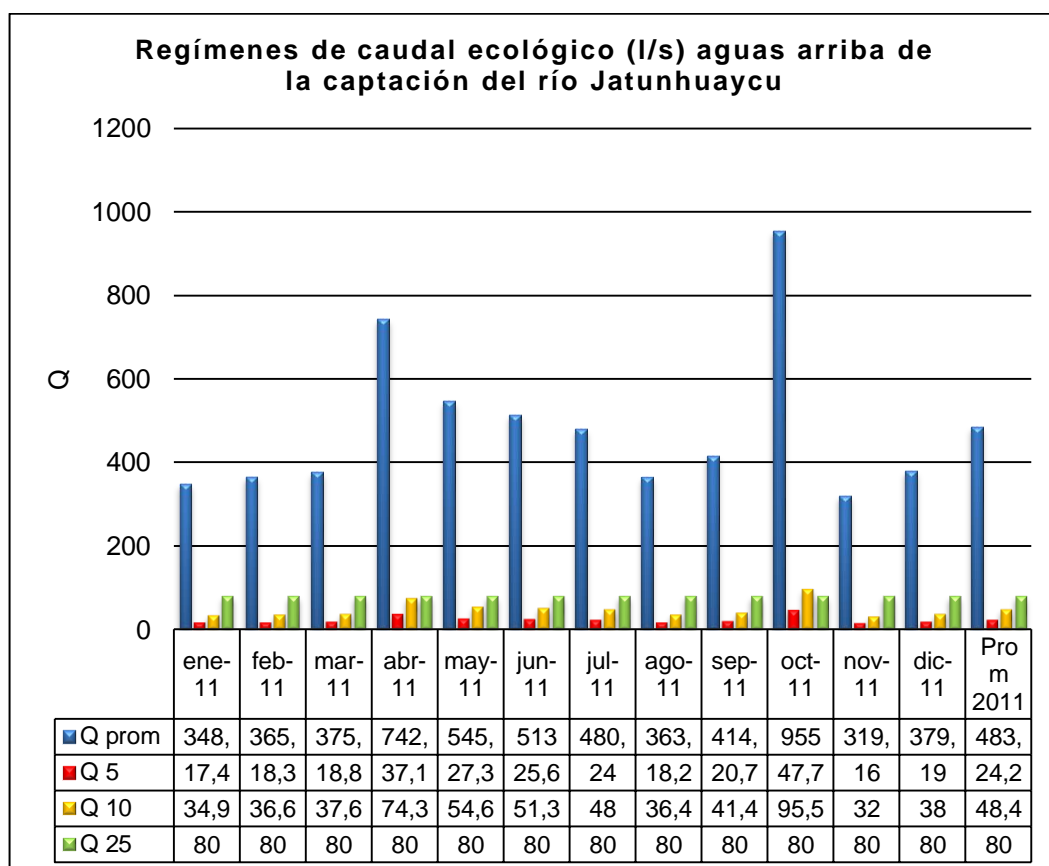


Figura 28. Regímenes de caudal y caudal ecológico propuesto (Q25) para el río Jatunhuaycu en el año 2011.

3.7.1.11. Caudales ecológicos determinados mediante las metodologías de Q5, Q10 y Q25 para el año 2012

El año 2012 presenta un caudal ecológico de 40.7 l/s mediante la metodología hidrológica del Q25. Para la metodología del Q10 muestra un caudal promedio de 33.3 l/s, el mismo que representa un 18.1% menos, al caudal propuesto (Q25). El Q5 tiene un caudal promedio de 16.6 l/s y representa un 59.2% menos, en relación al Q25 propuesto. En este año el río Jatunhuaycu presenta un promedio de 332.8 l/s, un máximo de 459 l/s en enero y un mínimo de 162.7 m³/s en noviembre, tal como se muestra en la Figura 29.

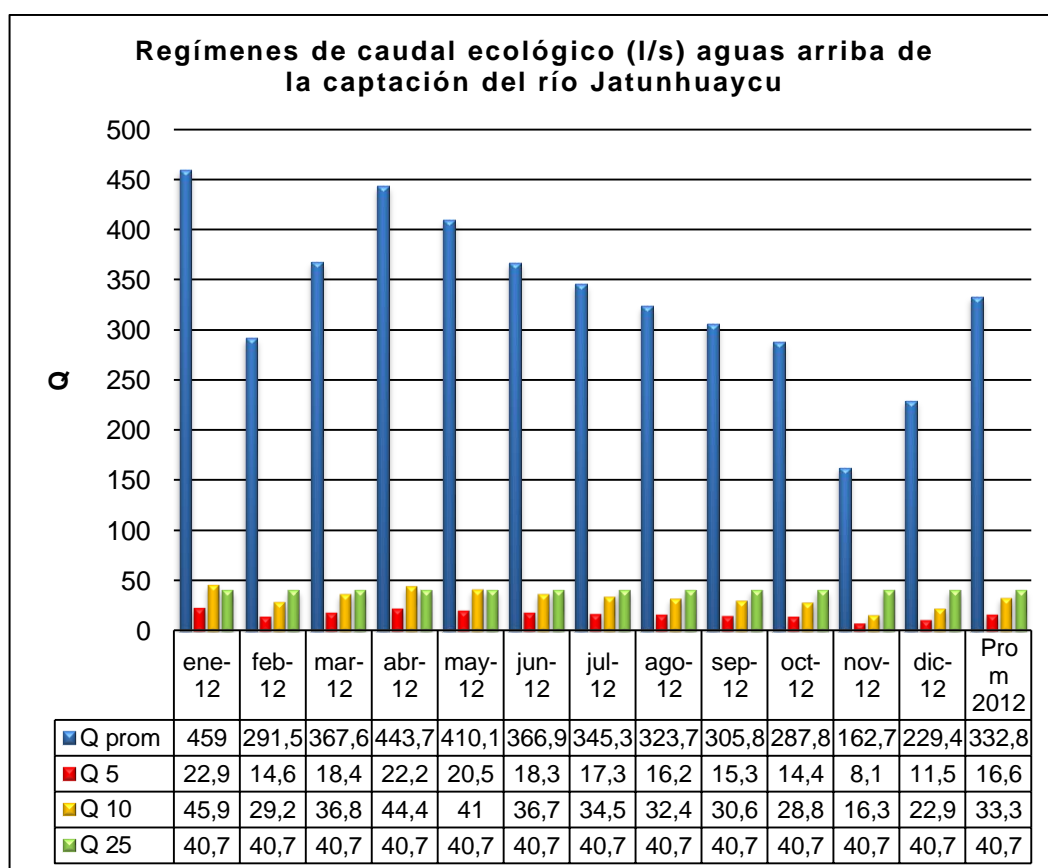


Figura 29. Regímenes de caudal y caudal ecológico propuesto (Q25) para el río Jatunhuaycu en el año 2012.

3.8. FÓRMULA DE MATTHEY UTILIZADA EN LA LEGISLACIÓN SUIZA, FRANCESA, ASTURIANA Y VASCA

Matthey elaboró una fórmula que permite calcular el caudal mínimo a partir de aquel caudal que circula al menos durante trescientos días al año (Q300: caudal superado en 300 días del año, obtenido a partir de la curva de caudales clasificados).

Posteriormente se sustituyó Q300 por Q347, ya que los caudales resultantes de la aplicación de las fórmulas originales resultaban ser muy altos. Utilizando las fórmulas originales se consiguen unos caudales bastante conservadores, pues al utilizar Q300 se dejan fuera los caudales más bajos correspondientes a parte de la época de estiaje. Al utilizar Q347 se obtienen valores de caudal más bajos, ya que hay que tener en cuenta que los caudales inferiores al Q347 sólo se producen 18 días al año.

3.8.1. FÓRMULA DE MATTHEY - PERÍODO 2002 – 2012

Para el presente estudio, en el río Jatunhuaycu se aplicará la siguiente ecuación:

$$Q_e = 0.25 \times Q_{347} + 75 \quad [4]$$

Dicha ecuación se aplica porque el valor de Q347 es menor a 750 l/s en el río Jatunhuaycu.

En la Tabla 4, se muestran los promedios anuales del caudal del río Jatunhuaycu comprendidos en el período 2002 – 2012, a partir de los cuales se calcularán los Q_e mediante la fórmula de Matthey.

Tabla 4. Promedios anuales del caudal del río Jatunhuaycu en el período 2002 - 2012

Tiempo	Caudal (l/s)	Caudal (m ³ /s)
Año	Q prom	Q prom
Prom 2002	351,4	0,351
Prom 2003	226,6	0,227
Prom 2004	224,8	0,225
Prom 2005	202,2	0,202
Prom 2006	233,3	0,233
Prom 2007	229,1	0,229
Prom 2008	317	0,317
Prom 2009	310,3	0,310
Prom 2010	331	0,331
Prom 2011	483,7	0,484
Prom 2012	332,8	0,333

3.8.1.1. Cálculo del Qe mediante la fórmula de Matthey, año 2002

Para el cálculo del caudal ecológico mediante esta metodología hidrológica se utilizó el valor del coeficiente a_0 igual a 0.5, por presentar condiciones similares de precipitación y temperatura en el área de estudio, ya que la precipitación oscila entre 500 – 1500 mm, y la temperatura se encuentra entre 0^o - 15^o C. El Q347 tiene un valor de 17.6 l/s, por lo que según Matthey, este valor se presentará 18 días al año. Dicho valor se lo reemplaza en la ecuación 4, esta ecuación se utiliza cuando el río en estudio presenta un caudal medio anual menor o igual a 750 l/s. Por lo mencionado anteriormente el caudal ecológico del río Jatunhuaycu en el año 2002 fue de 79.4 l/s.

Ecuación (1),

$$Q_{347} = \frac{a_0(Q_{ma})}{10}$$

$$Q_{347} = \frac{0.5(351.43 \frac{l}{s})}{10}$$

$$Q_{347} = 17.6 \frac{l}{s}$$

Ecuación (4),

$$Q_e = 0.25Q_{347} + 75$$

$$Q_e = 0.25(17.57 \frac{l}{s}) + 75$$

$$Q_e = 79.4 \frac{l}{s}$$

3.8.1.2. Cálculo del Q_e mediante la fórmula de Matthey, año 2003

Para el cálculo del caudal ecológico mediante esta metodología hidrológica se utilizó el valor del coeficiente a_0 igual a 0.5, por presentar condiciones similares de precipitación y temperatura en el área de estudio, ya que la precipitación oscila entre 500 – 1500 mm, y la temperatura se encuentra entre 0^0 - 15^0 C. El Q_{347} tiene un valor de 11.3 l/s, por lo que según Matthey, este valor se presentará 18 días al año. Dicho valor se lo reemplaza en la ecuación 4, esta ecuación se utiliza cuando el río en estudio presenta un caudal medio anual menor o igual a 750 l/s. Por lo mencionado anteriormente el caudal ecológico del río Jatunhuaycu en el año 2003 fue de 77.8 l/s.

Ecuación (1),

$$Q_{347} = \frac{a_0(Q_{ma})}{10}$$

$$Q_{347} = \frac{0.5(226.62 \frac{l}{s})}{10}$$

$$Q_{347} = 11.3 \frac{l}{s}$$

Ecuación (4),

$$Q_{ec} = 0.25Q_{347} + 75$$

$$Q_{ec} = 0.25(11.33 \frac{l}{s}) + 75$$

$$Q_e = 77.8 \frac{l}{s}$$

3.8.1.3. Cálculo del Q_e mediante la fórmula de Matthey, año 2004

Para el cálculo del caudal ecológico mediante esta metodología hidrológica se utilizó el valor del coeficiente a_0 igual a 0.5, por presentar condiciones similares de precipitación y temperatura en el área de estudio, ya que la precipitación oscila entre 500 – 1500 mm, y la temperatura se encuentra entre 0° - 15° C. El Q_{347} tiene un valor de 11.2 l/s, por lo que según Matthey, este valor se presentará 18 días al año. Dicho valor se lo reemplaza en la ecuación 4, esta ecuación se utiliza cuando el río en estudio presenta un caudal medio anual menor o igual a 750 l/s. Por lo mencionado anteriormente el caudal ecológico del río Jatunhuaycu en el año 2004 fue de 77.8 l/s.

Ecuación (1),

$$Q_{347} = \frac{a_0(Q_{ma})}{10}$$

$$Q_{347} = \frac{0.5(224.75 \frac{l}{s})}{10}$$

$$Q_{347} = 11.2 \frac{l}{s}$$

Ecuación (4),

$$Q_{ec} = 0.25Q_{347} + 75$$

$$Q_{ec} = 0.25(11.24 \frac{l}{s}) + 75$$

$$Q_e = 77.8 \frac{l}{s}$$

3.8.1.4. Cálculo del Q_e mediante la fórmula de Matthey, año 2005

Para el cálculo del caudal ecológico mediante esta metodología hidrológica se utilizó el valor del coeficiente a_0 igual a 0.5, por presentar condiciones similares de precipitación y temperatura en el área de estudio, ya que la precipitación oscila entre 500 – 1500 mm, y la temperatura se encuentra entre 0° - 15° C. El Q_{347} tiene un valor de 10.1 l/s, por lo que según Matthey, este valor se presentará 18 días al año. Dicho valor se lo reemplaza en la ecuación 4, esta ecuación se utiliza cuando el río en estudio presenta un caudal medio anual menor o igual a 750 l/s. Por lo mencionado anteriormente el caudal ecológico del río Jatunhuaycu en el año 2005 fue de 77.5 l/s.

Ecuación (1),

$$Q_{347} = \frac{a_0(Q_{ma})}{10}$$

$$Q_{347} = \frac{0.5(202.24 \frac{l}{s})}{10}$$

$$Q_{347} = 10.1 \frac{l}{s}$$

Ecuación (4),

$$Q_{ec} = 0.25Q_{347} + 75$$

$$Q_{ec} = 0.25(10.11 \frac{l}{s}) + 75$$

$$Q_e = 77.5 \frac{l}{s}$$

3.8.1.5. Cálculo del Q_e mediante la fórmula de Matthey, año 2006

Para el cálculo del caudal ecológico mediante esta metodología hidrológica se utilizó el valor del coeficiente a_0 igual a 0.5, por presentar condiciones similares de precipitación y temperatura en el área de estudio, ya que la precipitación oscila entre 500 – 1500 mm, y la temperatura se encuentra entre 0° - 15° C. El Q_{347} tiene un valor de 11.7 l/s, por lo que según Matthey, este valor se presentará 18 días al año. Dicho valor se lo reemplaza en la ecuación 4, esta ecuación se utiliza cuando el río en estudio presenta un caudal medio anual menor o igual a 750 l/s. Por lo mencionado anteriormente el caudal ecológico del río Jatunhuaycu en el año 2006 fue de 77.9 l/s.

Ecuación (1),

$$Q_{347} = \frac{a_0(Q_{ma})}{10}$$

$$Q_{347} = \frac{0.5(233.25 \frac{l}{s})}{10}$$

$$Q_{347} = 11.7 \frac{l}{s}$$

Ecuación (4),

$$Q_{ec} = 0.25Q_{347} + 75$$

$$Q_{ec} = 0.25(11.66 \frac{l}{s}) + 75$$

$$Q_e = 77.9 \frac{l}{s}$$

3.8.1.6. Cálculo del Q_e mediante la fórmula de Matthey, año 2007

Para el cálculo del caudal ecológico mediante esta metodología hidrológica se utilizó el valor del coeficiente a_0 igual a 0.5, por presentar condiciones similares de precipitación y temperatura en el área de estudio, ya que la precipitación oscila entre 500 – 1500 mm, y la temperatura se encuentra entre 0° - 15° C. El Q_{347} tiene un valor de 11.5 l/s, por lo que según Matthey, este valor se presentará 18 días al año. Dicho valor se lo reemplaza en la ecuación 4, esta ecuación se utiliza cuando el río en estudio presenta un caudal medio anual menor o igual a 750 l/s. Por lo mencionado anteriormente el caudal ecológico del río Jatunhuaycu en el año 2007 fue de 77.9 l/s.

Ecuación (1),

$$Q_{347} = \frac{a_0(Q_{ma})}{10}$$

$$Q_{347} = \frac{0.5(229.06 \frac{l}{s})}{10}$$

$$Q_{347} = 11.5 \frac{l}{s}$$

Ecuación (4),

$$Q_{ec} = 0.25Q_{347} + 75$$

$$Q_{ec} = 0.25(11.45 \frac{l}{s}) + 75$$

$$Q_e = 77.9 \frac{l}{s}$$

3.8.1.7. Cálculo del Q_e mediante la fórmula de Matthey, año 2008

Para el cálculo del caudal ecológico mediante esta metodología hidrológica se utilizó el valor del coeficiente a_0 igual a 0.5, por presentar condiciones similares de precipitación y temperatura en el área de estudio, ya que la precipitación oscila entre 500 – 1500 mm, y la temperatura se encuentra entre 0° - 15° C. El Q_{347} tiene un valor de 15.9 l/s, por lo que según Matthey, este valor se presentará 18 días al año. Dicho valor se lo reemplaza en la ecuación 4, esta ecuación se utiliza cuando el río en estudio presenta un caudal medio anual menor o igual a 750 l/s. Por lo mencionado anteriormente el caudal ecológico del río Jatunhuaycu en el año 2008 fue de 78.9 l/s.

Ecuación (1),

$$Q_{347} = \frac{a_0(Q_{ma})}{10}$$

$$Q_{347} = \frac{0.5(316.98 \frac{l}{s})}{10}$$

$$Q_{347} = 15.9 \frac{l}{s}$$

Ecuación (4),

$$Q_{ec} = 0.25Q_{347} + 75$$

$$Q_{ec} = 0.25(15.9 \frac{l}{s}) + 75$$

$$Q_e = 78.9 \frac{l}{s}$$

3.8.1.8. Cálculo del Q_e mediante la fórmula de Matthey, año 2009

Para el cálculo del caudal ecológico mediante esta metodología hidrológica se utilizó el valor del coeficiente a_0 igual a 0.5, por presentar condiciones similares de precipitación y temperatura en el área de estudio, ya que la precipitación oscila entre 500 – 1500 mm, y la temperatura se encuentra entre 0° - 15° C. El Q_{347} tiene un valor de 15.5 l/s, por lo que según Matthey, este valor se presentará 18 días al año. Dicho valor se lo reemplaza en la ecuación 4, esta ecuación se utiliza cuando el río en estudio presenta un caudal medio anual menor o igual a 750 l/s. Por lo mencionado anteriormente el caudal ecológico del río Jatunhuaycu en el año 2009 fue de 78.9 l/s.

Ecuación (1),

$$Q_{347} = \frac{a_0(Q_{ma})}{10}$$

$$Q_{347} = \frac{0.5(310.35 \frac{l}{s})}{10}$$

$$Q_{347} = 15.5 \frac{l}{s}$$

Ecuación (4),

$$Q_{ec} = 0.25Q_{347} + 75$$

$$Q_{ec} = 0.25(15.52 \frac{l}{s}) + 75$$

$$Q_e = 78.9 \frac{l}{s}$$

3.8.1.9. Cálculo del Q_e mediante la fórmula de Matthey, año 2010

Para el cálculo del caudal ecológico mediante esta metodología hidrológica se utilizó el valor del coeficiente a_0 igual a 0.5, por presentar condiciones similares de precipitación y temperatura en el área de estudio, ya que la precipitación oscila entre 500 – 1500 mm, y la temperatura se encuentra entre 0° - 15° C. El Q_{347} tiene un valor de 16.6 l/s, por lo que según Matthey, este valor se presentará 18 días al año. Dicho valor se lo reemplaza en la ecuación 4, esta ecuación se utiliza cuando el río en estudio presenta un caudal medio anual menor o igual a 750 l/s. Por lo mencionado anteriormente el caudal ecológico del río Jatunhuaycu en el año 2010 fue de 79.2 l/s.

Ecuación (1),

$$Q_{347} = \frac{a_0(Q_{ma})}{10}$$

$$Q_{347} = \frac{0.5(336.82 \frac{l}{s})}{10}$$

$$Q_{347} = 16.6 \frac{l}{s}$$

Ecuación (4),

$$Q_{ec} = 0.25Q_{347} + 75$$

$$Q_{ec} = 0.25(16.6 \frac{l}{s}) + 75$$

$$Q_e = 79.2 \frac{l}{s}$$

3.8.1.10. Cálculo del Q_e mediante la fórmula de Matthey, año 2011

Para el cálculo del caudal ecológico mediante esta metodología hidrológica se utilizó el valor del coeficiente a_0 igual a 0.5, por presentar condiciones similares de precipitación y temperatura en el área de estudio, ya que la precipitación oscila entre 500 – 1500 mm, y la temperatura se encuentra entre 0° - 15° C. El Q_{347} tiene un valor de 24.2 l/s, por lo que según Matthey, este valor se presentará 18 días al año. Dicho valor se lo reemplaza en la ecuación 4, esta ecuación se utiliza cuando el río en estudio presenta un caudal medio anual menor o igual a 750 l/s. Por lo mencionado anteriormente el caudal ecológico del río Jatunhuaycu en el año 2011 fue de 81.1 l/s.

Ecuación (1),

$$Q_{347} = \frac{a_0(Q_{ma})}{10}$$

$$Q_{347} = \frac{0.5(481.00 \frac{l}{s})}{10}$$

$$Q_{347} = 24.2 \frac{l}{s}$$

Ecuación (4),

$$Q_{ec} = 0.25Q_{347} + 75$$

$$Q_{ec} = 0.25(24.05 \frac{l}{s}) + 75$$

$$Q_e = 81.1 \frac{l}{s}$$

3.8.1.11. Cálculo del Q_e mediante la fórmula de Matthey, año 2012

Para el cálculo del caudal ecológico mediante esta metodología hidrológica se utilizó el valor del coeficiente a_0 igual a 0.5, por presentar condiciones similares de precipitación y temperatura en el área de estudio, ya que la precipitación oscila entre 500 – 1500 mm, y la temperatura se encuentra entre 0° - 15° C. El Q_{347} tiene un valor de 16.6 l/s, por lo que según Matthey, este valor se presentará 18 días al año. Dicho valor se lo reemplaza en la ecuación 4, esta ecuación se utiliza cuando el río en estudio presenta un caudal medio anual menor o igual a 750 l/s. Por lo mencionado anteriormente el caudal ecológico del río Jatunhuaycu en el año 2012 fue de 79.2 l/s.

Ecuación (1),

$$Q_{347} = \frac{a_0(Q_{ma})}{10}$$

$$Q_{347} = \frac{0.5(325.99 \frac{l}{s})}{10}$$

$$Q_{347} = 16.6 \frac{l}{s}$$

Ecuación (4),

$$Q_{ec} = 0.25Q_{347} + 75$$

$$Q_{ec} = 0.25(16.30 \frac{l}{s}) + 75$$

$$Q_e = 79.2 \frac{l}{s}$$

El resultado en cada uno de los años, aplicando la fórmula del Q347 (ecuación 1) muestra el caudal que se producirá 18 veces en el año; en ese sentido, esta ecuación se aplica porque adopta valores mínimos en épocas de estiaje.

Con el valor resultante del Q347, y por el caudal del río Jatunhuaycu que es menor a 750 l/s, se puede calcular mediante la ecuación número 4, que por lo propuesto por el autor, siempre va a tener un mínimo de 75 l/s. En el presente estudio se utilizó un a_0 de 0.5, por presentar condiciones de precipitación y temperatura que se asemejan a las del área en estudio. Por lo tanto al utilizar esta ecuación y coeficiente, el río Jatunhuaycu mediante esta metodología hidrológica presenta un Q_e máximo de 81.1 l/s en el año 2011 y un mínimo de 77.5 l/s en el año 2005.

3.9. REGRESIÓN LINEAL

El objeto de un análisis de regresión es investigar la relación estadística que existe entre una variable dependiente (Y) y una o más

variables independientes ($X_1, X_2, X_3 \dots$). Para poder realizar esta investigación, se debe postular una relación funcional entre las variables. Debido a su simplicidad analítica, la forma funcional que más se utiliza en la práctica es la relación lineal. Cuando solo existe una variable independiente, esto se reduce a una línea recta:

$$y = mx + b$$

Donde los coeficientes b y m son parámetros que definen la posición e inclinación de la recta.

Para el presente estudio se utiliza un diagrama de "dispersión", el mismo que no mantiene una relación matemáticamente exacta entre las variables, ya que no toda la variación en el caudal del río Jatunhuaycu puede ser explicada por la variación en el tiempo determinado (2013 - 2016). Si entre estas variables existiera una relación lineal perfecta, entonces todos los puntos caerían a lo largo de la recta de regresión, que también ha sido trazada y que muestra la relación "promedio" que existe entre las dos variables, como se muestra en la Figura 31.

Los puntos que caen en la recta son correspondientes a los años 2003, 2008, 2009, 2010. Por lo que siguiendo esta relación, en la recta caen los puntos desde los años 2013 con un caudal de 379.5 l/s, 2014 con un caudal de 379.5 l/s, 2015 con un caudal de 407.7 l/s y 2016 con un caudal de 421.9 l/s, como se muestra en la Figura 30.

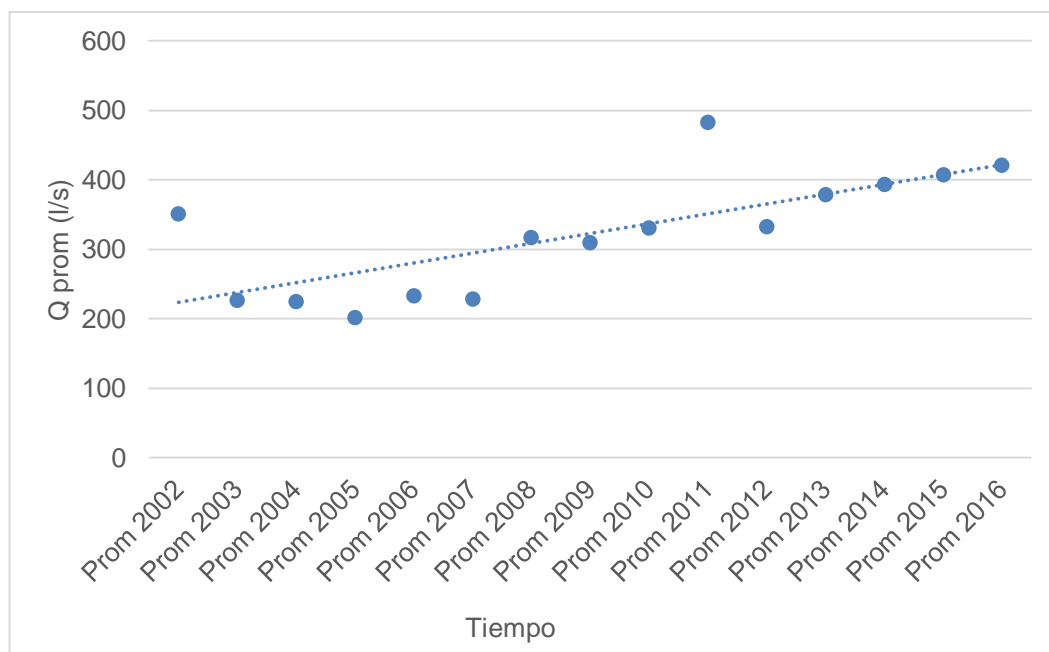


Figura 30. Regresión lineal de los caudales promedios de los años 2012 – 2016.

3.10. SIG

Sistema de información Geográfica (SIG) es un sistema diseñado para trabajar con datos referenciados mediante coordenadas espaciales o geográficas. En otras palabras, un SIG es un sistema de base de datos con capacidades específicas para datos georeferenciados, como un conjunto de operaciones para trabajar con esos datos, a fin de brindar apoyo en la toma de decisiones sobre planificación y manejo del uso del suelo, recursos naturales, medio ambiente, transporte, instalaciones urbanas, y otros registros administrativos (Oyala, 2011).

El software ArcGIS es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica, los componentes del ArcGis se muestran en la Figura 31. Para el presente estudio se utilizó para la realizar mapas de ubicación del área de estudio, delimitación de la cuenca del río Jatunhuaycu y descripción física del área de la cuenca (área, cuenca, perímetro, temperatura, precipitación, cotas, cobertura vegetal, etc).



Figura 31. Componentes de un SIG.

A continuación la Tabla 5 describe las principales herramientas utilizadas para cumplir el objeto del estudio.

Tabla 5. Herramientas utilizadas del Arc Gis para elaboración de mapas.

Geoprocessing	Conjunto de herramientas que permiten procesar datos geográficos. Analiza datos espaciales o para administrar datos SIG de forma automática.
Create TIN	Crea un dataset de red irregular de triángulos (TIN).
TIN to Raster	Crea un ráster interpolando sus valores de celda desde la elevación del TIN de entrada a la distancia de muestra especificada.
Flow Direction	Crea un ráster de dirección de flujo desde cada celda hasta su vecina con la pendiente descendente más empinada.
Watershed	Determina el área de contribución por sobre un conjunto de celdas de un ráster.
Raster to Polygon	Convierte un dataset ráster en entidades de polígono.
Extract by Mask	Extrae las celdas de un ráster que corresponden a las áreas definidas por una máscara.

(ARCGIS PRO, 2015).

4. RESULTADOS

4. RESULTADOS

4.1. METODOLOGÍA HIDROLÓGICA

4.1.1. CAUDAL 5%

Los regímenes de caudales determinados en el río Jatunhuaycu mediante el método hidrológico Q5 en el periodo 2002 – 2012, presentaron un caudal máximo de 24.2 l/s en el año 2011 y un caudal mínimo de 10.1 l/s en el año 2005, como muestran los datos presentados en la Tabla 6. La dinámica del caudal promedio y del caudal ecológico 5%, se muestran en la Figura 32.

Tabla 6. Regímenes de caudal: caudal promedio y caudal ecológico 5% en el período 2002 - 2012.

Tiempo		Caudal (l/s)	
Año	Q prom	Q 5	
Prom 2002	351,4	17,6	
Prom 2003	226,6	11,3	
Prom 2004	224,8	11,2	
Prom 2005	202,2	10,1	
Prom 2006	233,3	11,7	
Prom 2007	229,1	11,5	
Prom 2008	317	15,8	
Prom 2009	310,3	15,5	
Prom 2010	331	16,6	
Prom 2011	483,7	24,2	
Prom 2012	332,8	16,6	

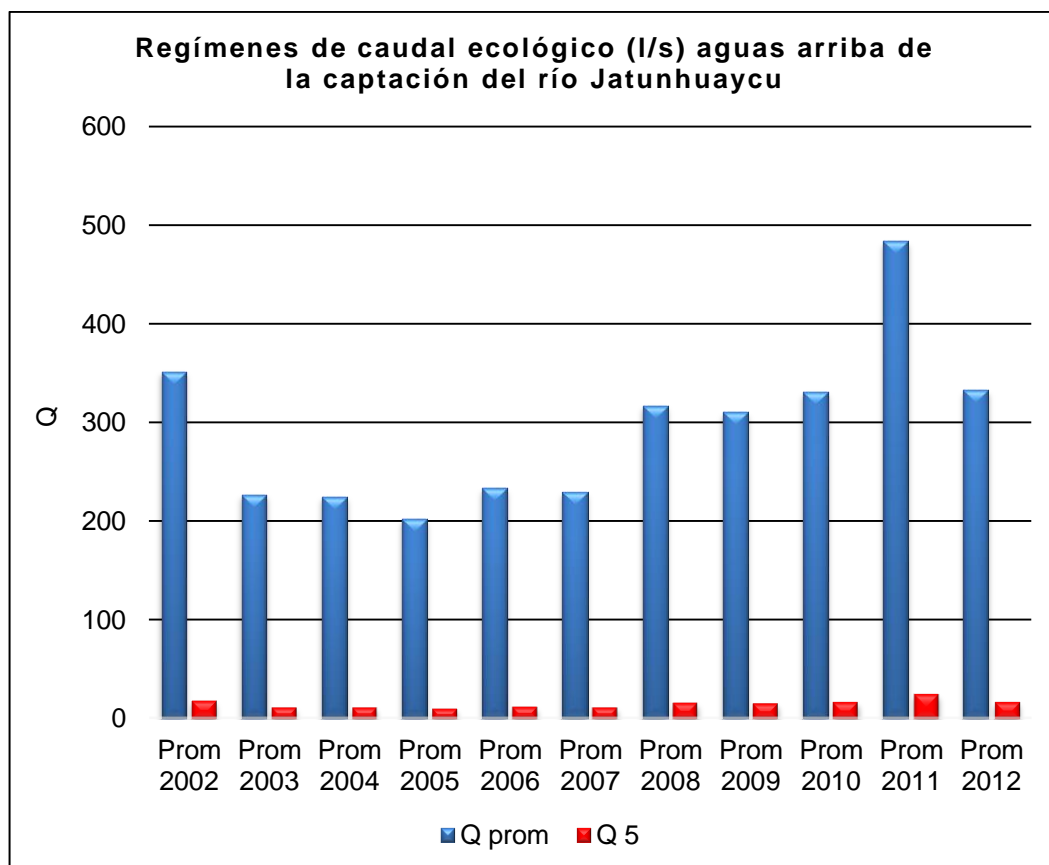


Figura 32. Comparación de los regímenes de caudal promedio anual y Q5% del río Jatunhuaycu en el periodo 2002 2012.

A diferencia de las otras metodologías hidrológicas aplicadas, ésta determina como caudal ecológico un valor mucho menor después del aprovechamiento del agua. El análisis del caudal ecológico mediante la metodología hidrológica se estableció desde el año 2002 hasta el 2012, por la existencia de un registro de datos constante en todos los meses dentro de este periodo. El mayor valor determinado de caudal ecológico fue de 24.4 l/s, en el año 2011, y el menor fue de 10.1 l/s en el año 2005, tal como se muestra en la Figura 33.

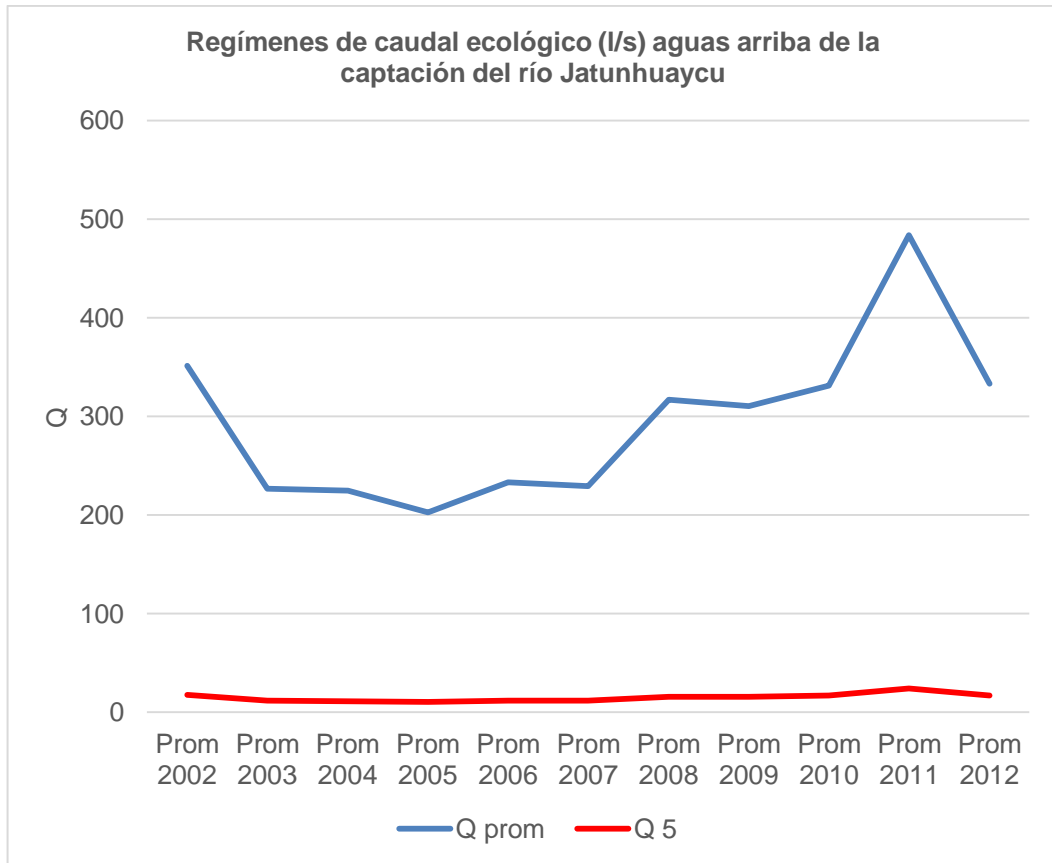


Figura 33. Comportamiento del río Jatunhuaycu en regímenes de caudal anual (Q promedio y Q5%) en el período 2002 - 2012.

4.1.2. CAUDAL 10%

Los regímenes de caudales determinados en el río Jatunhuaycu mediante el método hidrológico Q10 en el periodo 2002 – 2012 presentaron un comportamiento relativamente constante en los años del 2003 al 2007. Presentado un caudal máximo de 48.4 l/s en el año 2011 y un caudal mínimo de 20.2 l/s en el año 2005, como se presentan los datos en la Tabla 7. La dinámica del caudal promedio y del caudal ecológico 10%, se visualizan en la Figura 34.

Tabla 7. Regímenes de caudal: caudal promedio y caudal ecológico 5% en el período 2002 – 2012.

Tiempo		Caudal (l/s)	
Año	Q prom	Q 10	
Prom 2002	351,4	35,1	
Prom 2003	226,6	22,7	
Prom 2004	224,8	22,5	
Prom 2005	202,2	20,2	
Prom 2006	233,3	23,3	
Prom 2007	229,1	22,9	
Prom 2008	317	31,7	
Prom 2009	310,3	31	
Prom 2010	331	33,1	
Prom 2011	483,7	48,4	
Prom 2012	332,8	33,3	

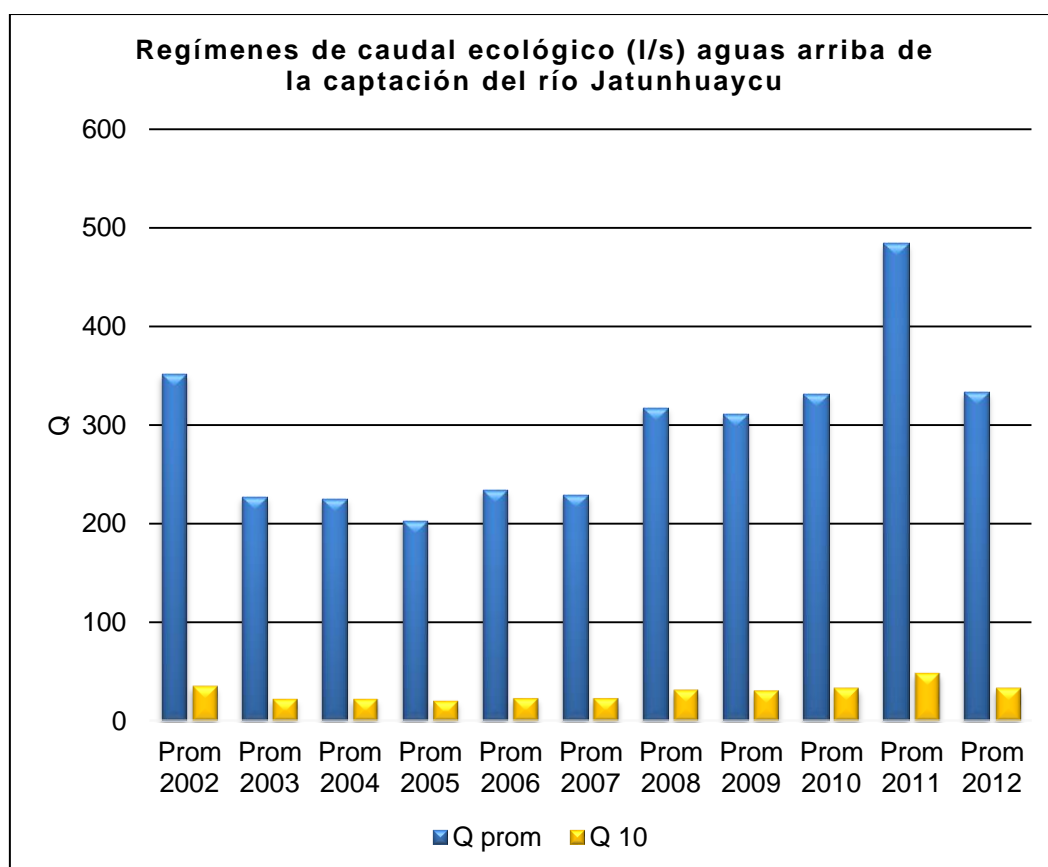


Figura 34. Comparación de los regímenes de caudal promedio anual y Q10% del río Jatunhuaycu en el periodo 2002 2012.

El análisis del caudal ecológico mediante la metodología hidrológica del Q10 se estableció desde el año 2002 hasta el 2012, por la existencia de un

registro de datos constante en todos los meses dentro de este periodo. El mayor valor determinado de caudal ecológico fue de 48.8 l/s en el año 2011, y el menor fue de 20.2 l/s en el año 2005, como se presenta en la Figura 35.

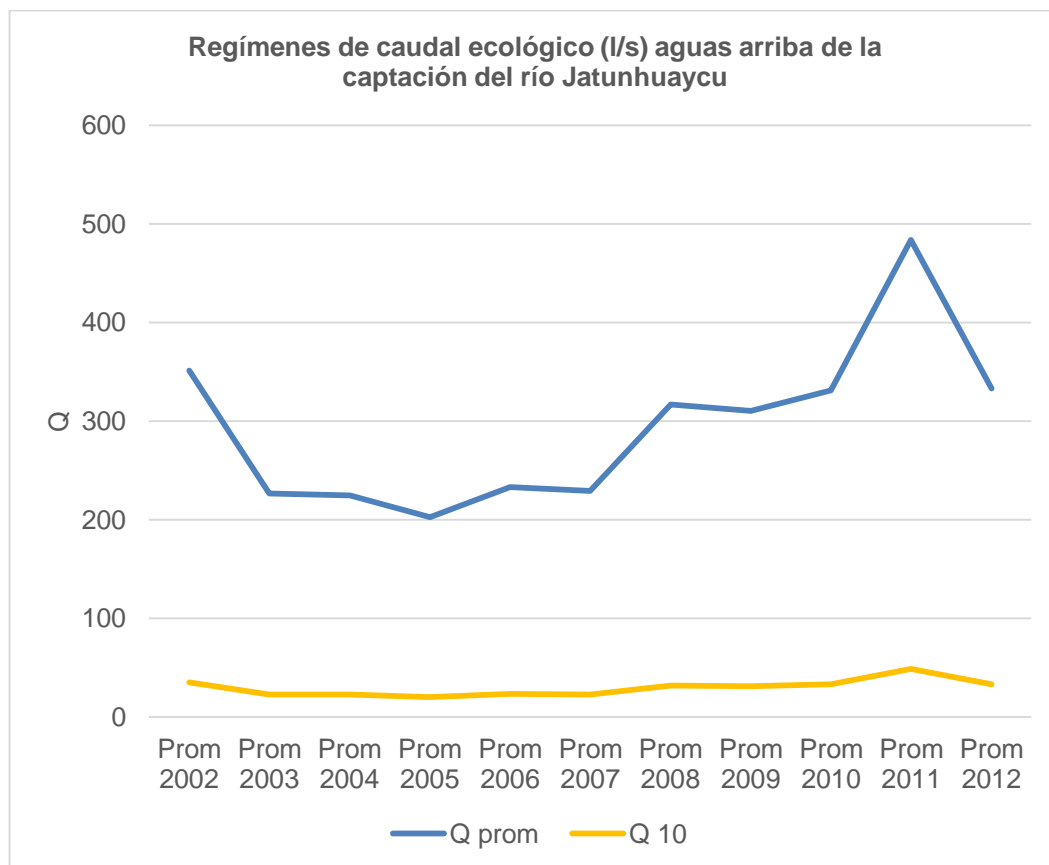


Figura 35. Comportamiento del río Jatunhuaycu en regímenes de caudal anual (Q promedio y Q5%) en el período 2002 - 2012.

4.1.3. CAUDAL 25%

Los regímenes de caudales determinados en el río Jatunhuaycu mediante el método hidrológico Q25 en el periodo 2002 – 2012, presentaron un caudal máximo de 80 l/s en el año 2011 y un caudal mínimo de 36.8 l/s en el año 2006, como se presentan los datos en la Tabla 8. La dinámica del caudal promedio y del caudal ecológico 25%, se visualiza en la Figura 36.

Tabla 8. Regímenes de caudal: caudal promedio y caudal ecológico 25% en el período 2002 - 2012.

Tiempo	Caudal (l/s)	
	Año	Q prom
Prom 2002	351,4	64,7
Prom 2003	226,6	42,9
Prom 2004	224,8	43,4
Prom 2005	202,2	41,6
Prom 2006	233,3	36,8
Prom 2007	229,1	46,3
Prom 2008	317	47,5
Prom 2009	310,3	50,7
Prom 2010	331	42,1
Prom 2011	483,7	80
Prom 2012	332,8	40,7

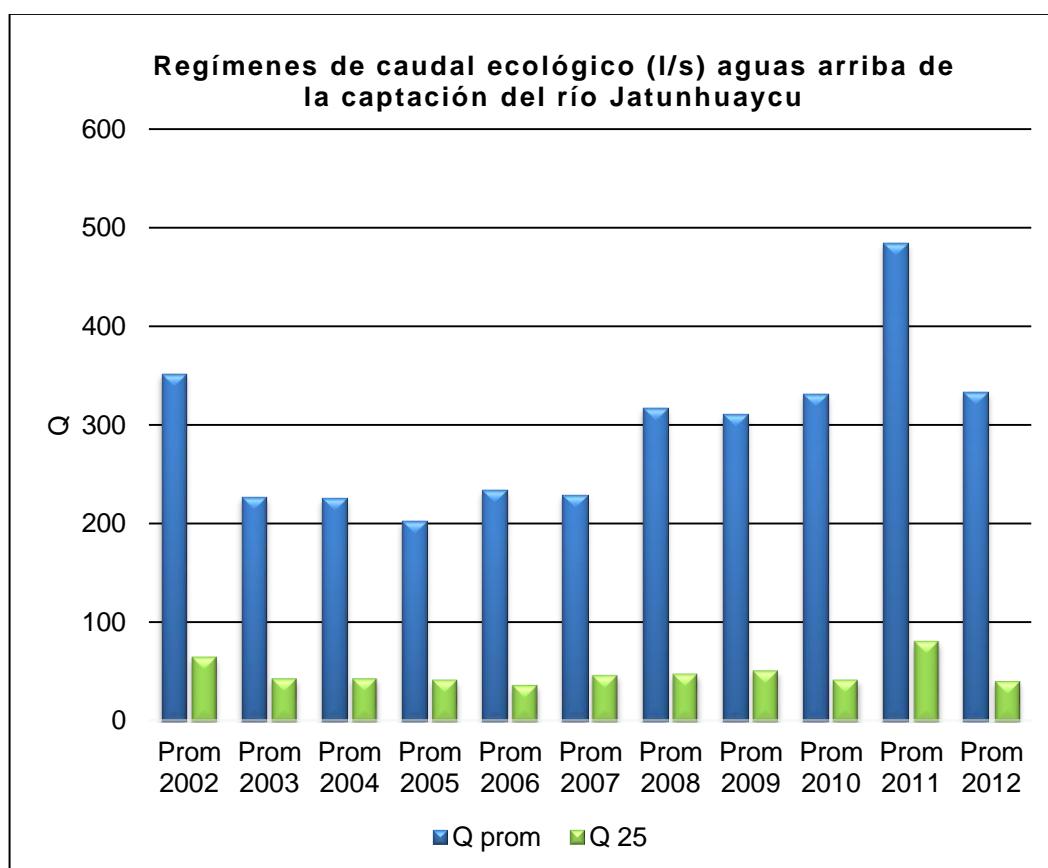


Figura 36. Comparación de los regímenes de caudal promedio anual y Q25% en el río Jatunhuaycu en el periodo 2002 2012.

El caudal determinado mediante ésta metodología es el propuesto para el presente estudio, dicho caudal determinado es mayor a los mencionados anteriormente como el Q5 y Q10. El análisis del caudal ecológico mediante la metodología hidrológica se estableció desde el año 2002 hasta el 2012, por la existencia de un registro de datos constante en todos los meses en este periodo. El mayor valor determinado de caudal ecológico fue de 80 l/s, en el año 2011, y el menor fue de 36.8 l/s en el año 2006, como se visualiza en la Figura 37.

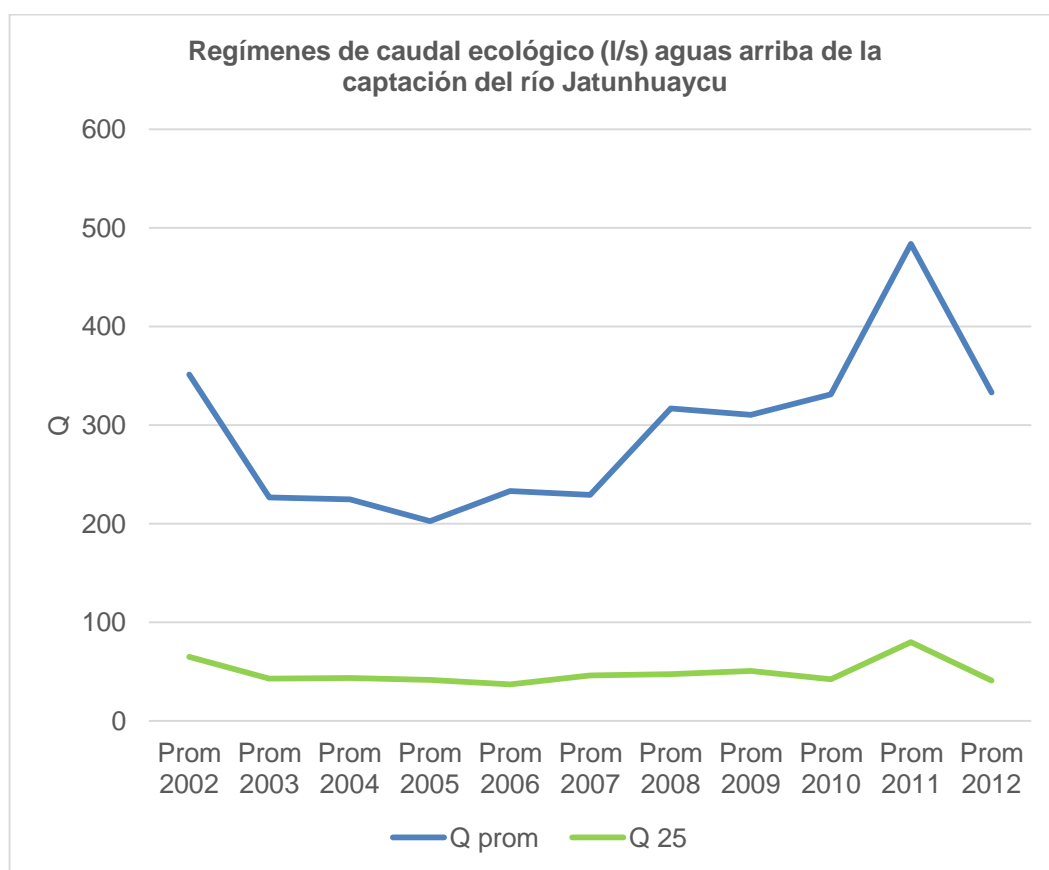


Figura 37. Comportamiento del río Jatunhuaycu en regímenes de caudal anual (Q promedio vs Q25%) en el período 2002 - 2012.

4.1.4. FÓRMULA DE MATTHEY

El caudal ecológico propuesto mediante esta fórmula determina como resultado un caudal no menor a los 77 l/s, como se presentan los datos en la Tabla 9. Dicho caudal garantiza el equilibrio entre el río y el ecosistema aguas abajo, al igual que los métodos hidrológicos anteriores después del aprovechamiento, tal como se presenta en la Figura 38. El Q347 considera el caudal que 18 días al año va a tener un valor similar, durante los diferentes años en el periodo en estudio.

Tabla 9. Regímenes de caudal del río Jatunhuaycu (Q prom, Q 347, Qe Matthey) en el período 2002 – 2012.

Tiempo		Caudal (l/s)	
Año	Q prom	Q 347	Qe (Matthey)
Prom 2002	351,4	17,6	79,4
Prom 2003	226,6	11,3	77,8
Prom 2004	224,8	11,2	77,8
Prom 2005	202,2	10,1	77,5
Prom 2006	233,3	11,7	77,9
Prom 2007	229,1	11,5	77,9
Prom 2008	317	15,9	78,9
Prom 2009	310,3	15,5	78,9
Prom 2010	331	16,6	79,2
Prom 2011	483,7	24,2	81,1
Prom 2012	332,8	16,6	79,2

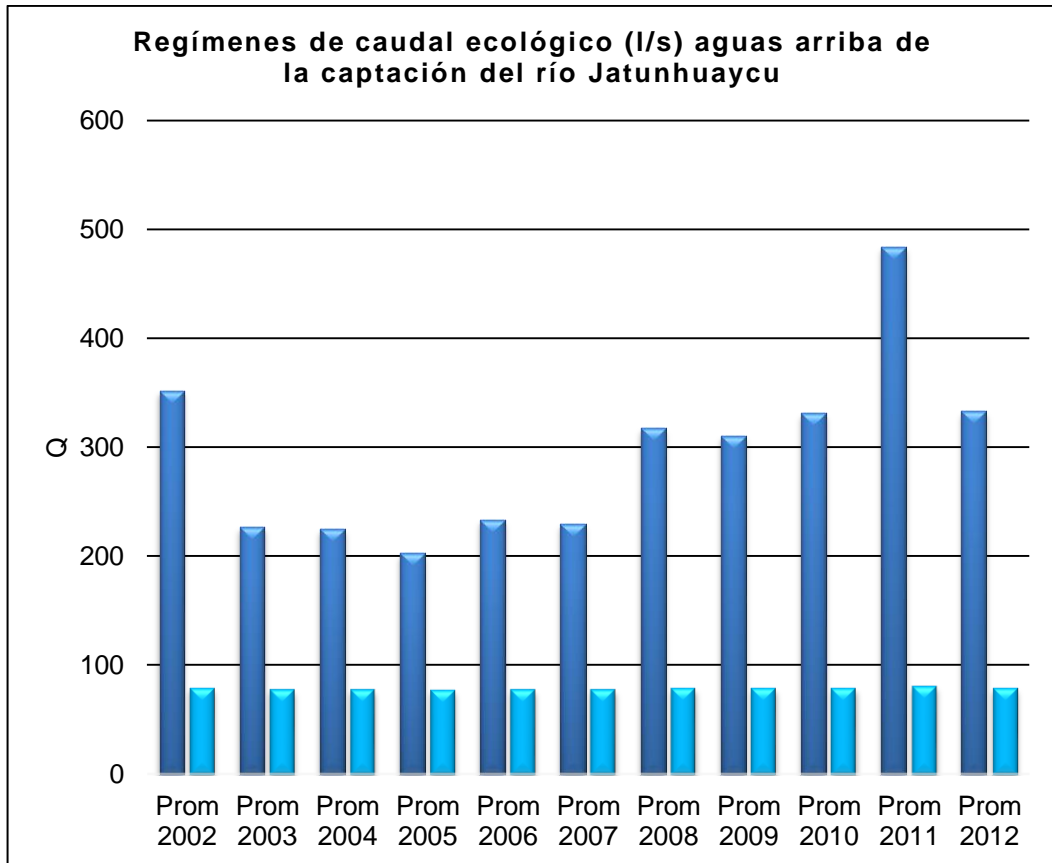


Figura 38. Comparación de los regímenes de caudal promedio anual y Q_e Matthey en el río Jatunhuaycu en el periodo 2002 2012.

La fórmula de Matthey, en comparación con las anteriores metodologías hidrológicas analizadas, mantiene en su cauce, después de la captación, un caudal mayor. Esto porque en dicha fórmula guarda una constante de 75 l/s, como se visualiza en la Figura 39. El caudal mínimo en este periodo fue de 77.5 l/s en el año 2005 y el máximo fue de 81.1 l/s en el año 2011.

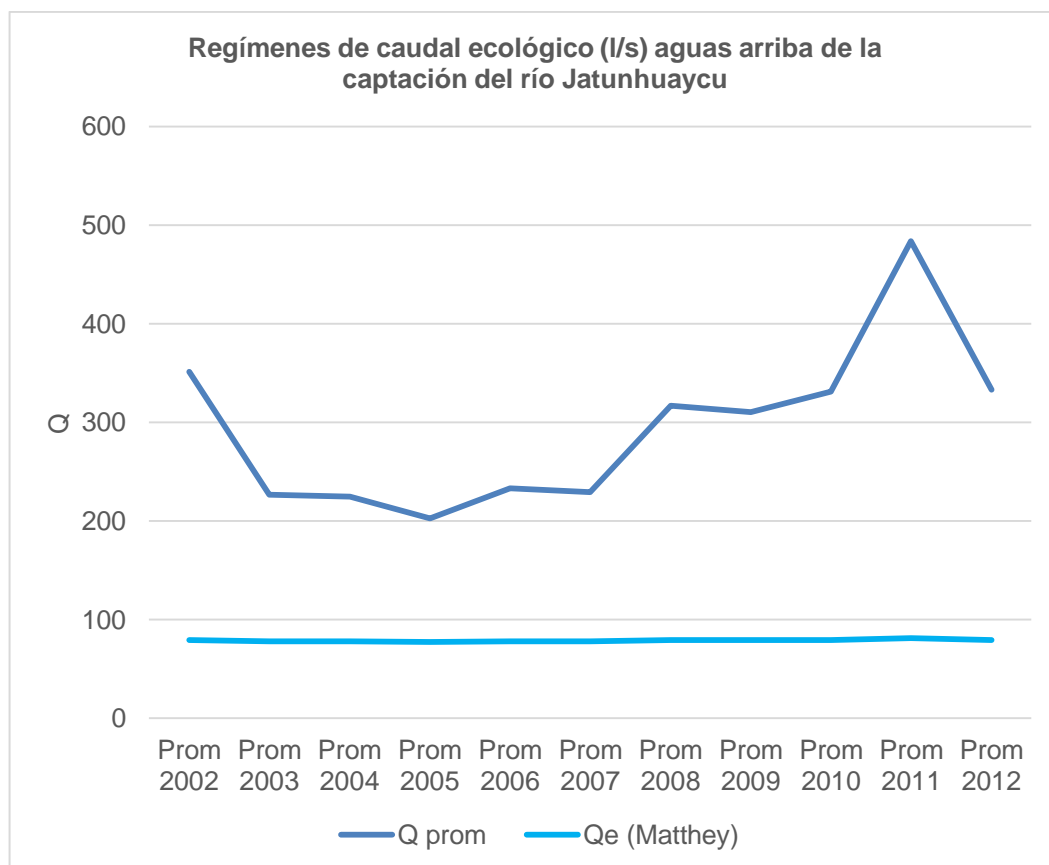


Figura 39. Comparación de los regímenes de caudal promedio anual y Qe Matthey en el río Jatunhuaycu en el periodo 2002 - 2012.

4.1.5. COMPARACIÓN Q5, Q10, Q25 Y MATTHEY EN EL PERÍODO 2002 – 2012

Una vez concluido el análisis de las cuatro metodologías hidrológicas planteadas, la metodología que determina el mayor caudal ecológico en el río Jatunhuaycu después del aprovechamiento de agua, es la fórmula de Matthey. Mientras que la metodología Q25 (25% del caudal mínimo mensual registrado anualmente), es la segunda metodología que mayor caudal proporciona después de la captación, como se presenta en la Figura 40. En base de los resultados obtenidos, se recomienda que la metodología Q25 sería la más adecuada para el río Jatunhuaycu, porque dicha metodología es utilizada para ríos que tiene la misma finalidad de consumo humano, y

similares características físico – geográficas del área de estudio que ríos en donde se aplica el Q25.

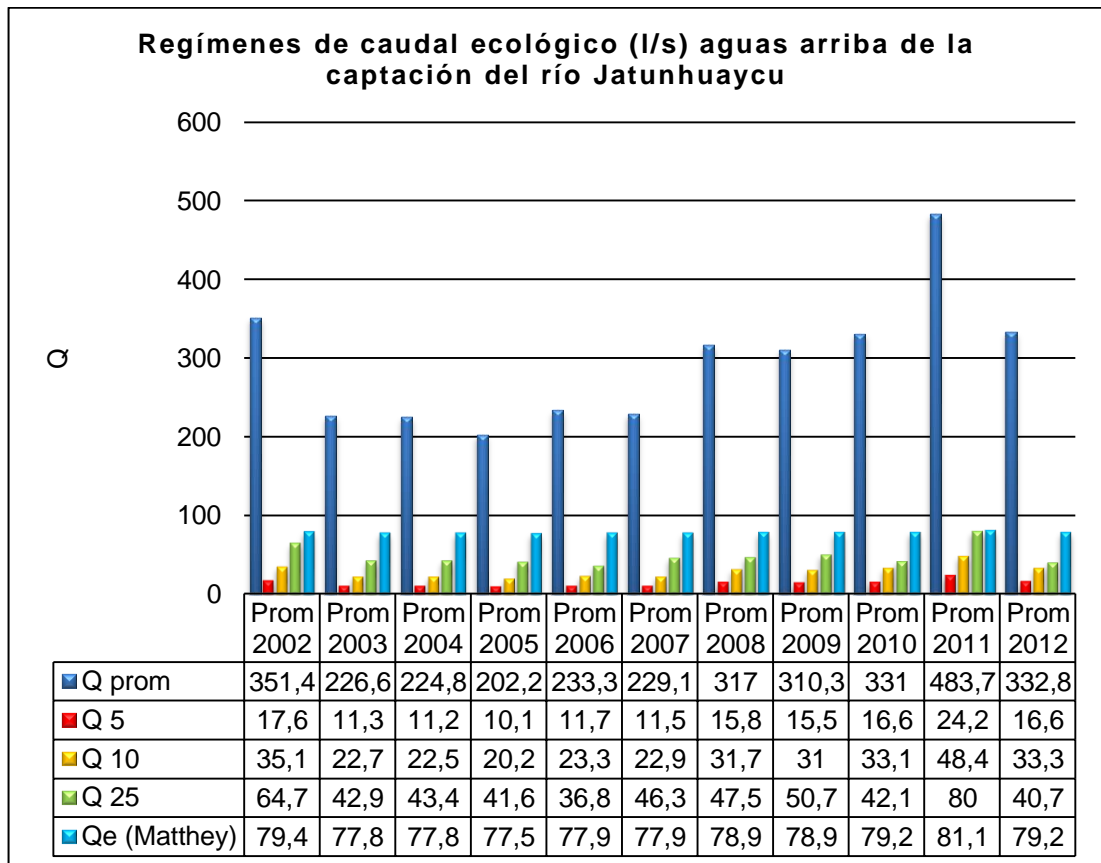


Figura 40. Comparación entre los caudales ecológicos mediante las metodologías del Q5, Q10, Q25 y fórmula de Matthey.

El caudal ecológico propuesto (Q25), presentó un máximo de 80 l/s, en el año 2011. A partir de este año mantiene una variabilidad en los caudales no menor a los 40 l/s, a excepción del año 2006 el cual su régimen de caudal es de 36.8 l/s. La fórmula de Matthey presentó un máximo de 80.1 l/s también en el año 2011, por lo que su diferencia no es notable en dicho año. En cuanto a los caudales mínimos el Q25 tuvo un valor de 36.8 l/s en el año 2006, mientras que Matthey presentó un mínimo de 77.5 l/s en el año 2005, existiendo una diferencia de 40.7 l/s, como se visualiza en la Figura 41.

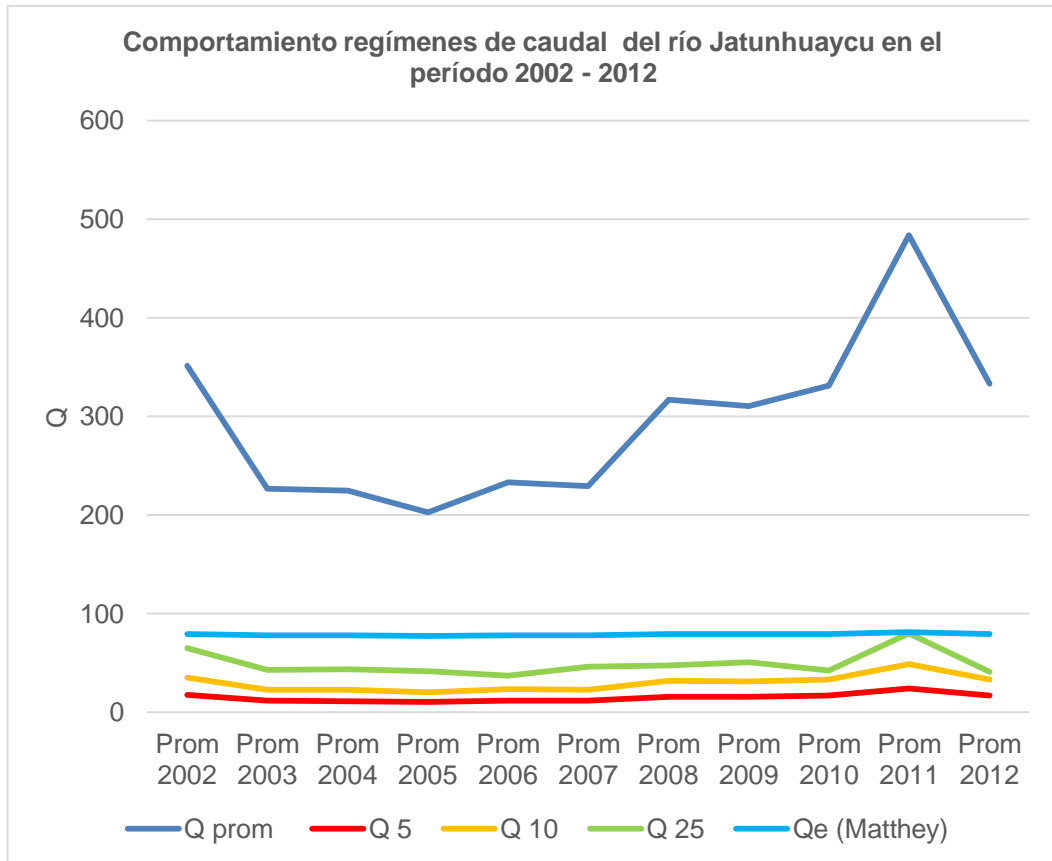


Figura 41. Comportamiento del río Jatunhuaycu en regímenes de caudal anual (Q promedio, Q5%, Q10%, Q25% y Matthey) en el período 2002 - 2012.

4.1.6. Proyección del caudal ecológico del 2013 al 2016 de las metodologías hidrológicas estudiadas, a partir de los caudales del año 2002 – 2012

Tomando en cuenta los datos promediados desde el año 2002 al 2012 y mediante el método estadístico de regresión lineal, se pudo proyectar el caudal promedio del año 2013 al 2016, con una confiabilidad superior al 95%, como muestran los datos presentados en la Tabla 10. De dicho caudal se pudo determinar los métodos hidrológicos del Q5, Q10 y Matthey, los mismos que dependen directamente del caudal promedio anual.

Para el Q25 se hace un cálculo de regresión lineal diferente, tomando en cuenta los caudales calculados por ésta metodología desde el año 2002 al 2012. Esto debido a que se calcula el 25% del caudal más bajo mensual del año. De igual manera esta regresión lineal tiene una confiabilidad superior al 95%, como se presentan los fatos en la Tabla 11. La proyección obtuvo un valor de 53.1 l/s para el año en transcurso (2016), tal como se presenta en la Figura 42.

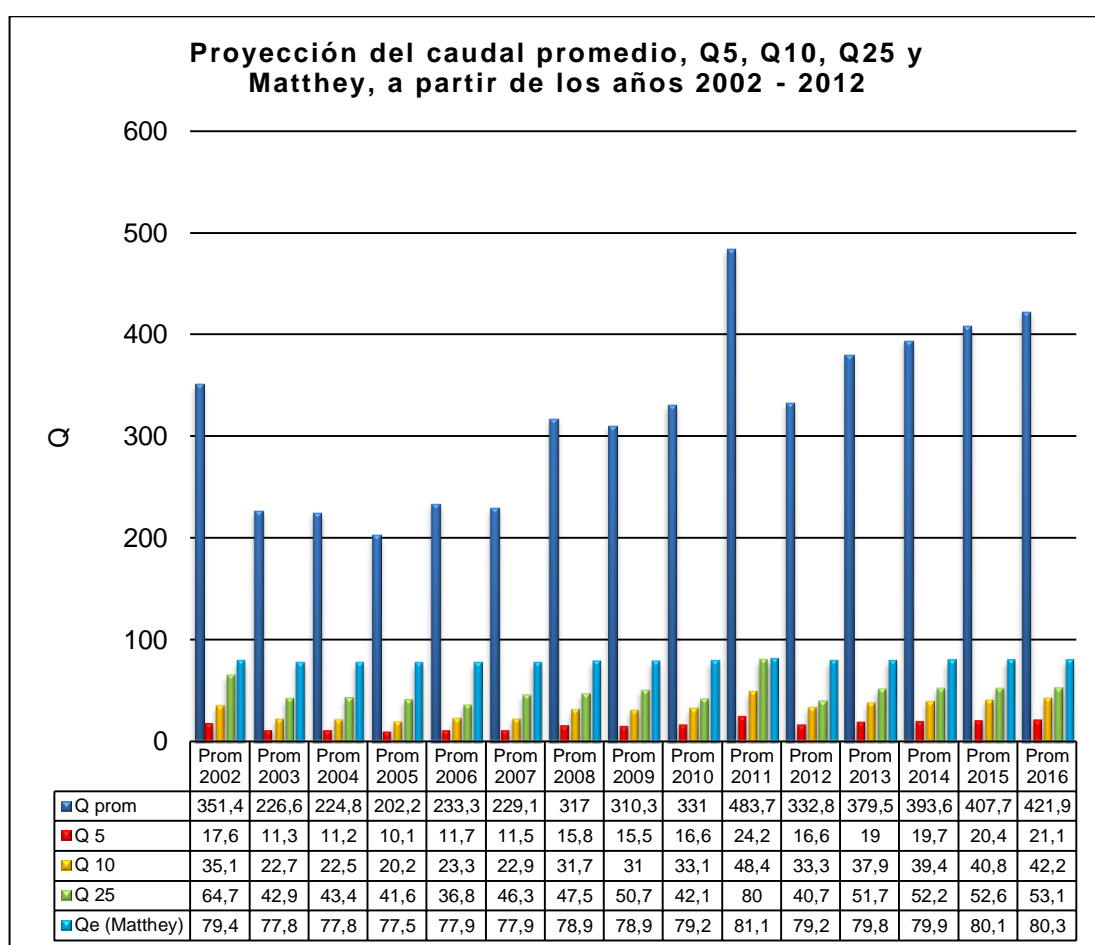


Figura 42. Proyección del caudal promedio, Q5, Q10, Q25 y Matthey para el cálculo de regímenes de caudales a partir del año 2013 al año 2016.

Tabla 10. Regresión lineal de los caudales promedio, Q5, Q10 y Matthey para su proyección al 2016, a partir de los años 2002 - 2012.

Estadísticas de la regresión								
Coefficiente de correlación múltiple	0,565630241							
Coefficiente de determinación R ²	0,319937569							
R ² ajustado	0,244375077							
Error típico	71,99606631							
Observaciones	11							
ANÁLISIS DE VARIANZA								
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F			
Regresión	1	21947,06771	21947,06771	4,2340791	0,069740694			
Residuos	9	46650,90208	5183,433565					
Total	10	68597,96979						
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Intercepción	-28054,35587	13777,18015	-2,036291575	0,07219663	-59220,50263	3111,790895	-59220,50263	3111,790895
Variable X 1	14,1251123	6,86455558	2,057687804	0,06974069	-1,40359128	29,65381587	-1,40359128	29,65381587

Tabla 11. Regresión lineal de los caudales promedio del Q25 para su proyección al 2016, a partir de los años 2002 - 2012.

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,125727103
Coefficiente de determinación R ²	0,015807304
R ² ajustado	-0,09354744
Error típico	13,25011072
Observaciones	11

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	25,37810564	25,37810564	0,1445507	0,712615615
Residuos	9	1580,088906	175,565434		
Total	10	1605,467012			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Intercepción	-915,219248	2535,543561	-0,360955837	0,7264599	-6651,017276	4820,57878	-6651,017276	4820,57878
Variable X 1	0,480322862	1,263348487	0,380198232	0,71261561	-2,377569968	3,338215691	-2,377569968	3,338215691

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- En el Ecuador el tema de los caudales ecológicos son un concepto nuevo que demanda un estudio profundo. La Ley Orgánica de Recursos Hídricos regula los tipos de aprovechamientos y establece la obligación de mantener el valor de dicho caudal, el mismo que debe ser determinado mediante un apropiado estudio técnico.
- Las metodologías aplicadas en el estudio (Q5, Q10, Q25 y Matthey) son de tipo hidrológicas, el propuesto para el río Jatunhuaycu es el Q25, el mismo que toma el 25% del menor caudal mensual registrado al año. Esta es aplicada en cuencas hidrográficas de similares condiciones físicas y geográficas que la cuenca estudiada; particularmente por encontrarse en similares condiciones de altitud mayor 3500 msnm, precipitaciones promedio anuales mayores a 500 mm y formaciones vegetales de páramos de almohadilla, bosque pie montano y montano bajo y pantanos.
- El valor del caudal ecológico determinado mediante la metodología del Q5 fue de 16.6 l/s, para el año 2012. La aplicación de la metodología estadística de regresión lineal, con una confiabilidad superior al 95%, estableció que el caudal ecológico proyectado para el año 2016, es de 21.1 l/s.
- El valor del caudal ecológico determinado mediante la metodología del Q10 fue de 33.3 l/s, para el año 2012. La aplicación de la metodología estadística de regresión lineal, con una confiabilidad superior al 95%, estableció que el caudal ecológico proyectado para el año 2016, es de 42.2 l/s.

- El valor del caudal ecológico determinado mediante la metodología del Q25 fue de 40.7 l/s, para el año 2012, un valor constante para todo el año. La aplicación de la metodología estadística de regresión lineal, con una confiabilidad superior al 95%, estableció que el caudal ecológico para el año 2016 es de 53.1l/s.
- La fórmula de Matthey es una metodología hidrológica aplicada en países europeos y su aplicación se hace en aprovechamientos para consumo humano. Matthey pone a consideración cuatro ecuaciones, pero son aplicables en este estudio las ecuaciones 1 y 4. El valor del caudal ecológico determinado mediante la metodología de Matthey para el año 2012 fue de 79.2 l/s. La aplicación de la metodología estadística de regresión lineal, con una confiabilidad superior al 95%, estableció que el caudal ecológico es de 80.3 l/s para el año 2016.

5.2. RECOMENDACIONES

- La Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) como autoridad competente de la gestión de recursos hídricos, según lo establece la Constitución de la República del Ecuador (2008), conjuntamente con el Ministerio del Ambiente (MAE), deberían expedir una normativa técnica para determinar el caudal ecológico aplicable para diferentes aprovechamientos de agua. De la misma manera la SENAGUA debería contar con un plan de monitoreo que permita controlar el cumplimiento de la normativa para determinación de caudales ecológicos.
- Es recomendable aplicar metodologías de simulación de hábitats eco-hidráulicos, especialmente en ríos con buena integridad ecológica, para obtener mayor información y poder determinar el caudal ecológico de una manera más exacta; dicha metodología eco-hidráulica no fue posible ser aplicada debido al tiempo que ella demanda.
- El río Jatunhuaycu es un aportante importante al Sistema La Mica – Quito Sur, por lo que se debería continuar realizando estudios de caudal ecológico y de cobertura vegetal; de tal forma de mantener el manejo sustentable del recurso hídrico y garantizar el abastecimiento seguro para la ciudad de Quito.

6. BIBLIOGRAFÍA

Agualimpia Dualiby, Y., & Castro Méndez, C. (Septiembre 2006). Metodologías para la determinación de los caudales ecológicos para el manejo de los recursos hídricos. *Tecnogestión*, 3 - 12.

Alejandro, I., & Rovere, M. (2006). *Gobernanza del agua en América del Sur: Dimensión ambiental*. Reino Unido: Editores del puerto.

Álvarez Montoya, G. (2013). ANÁLISIS DE LOS CRITERIOS FÍSICOS DE LA METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE CAUDALES AMBIENTALES DEL MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE CASOS PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS MAYABA Y SANTO DOMINGO. ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTIOQUIA.

ArcGis. (2010). *Esri*. Obtenido de Arc Gis: <http://resources.arcgis.com/es/communities/analysis/017z0000001q000000.htm>

ARCGIS PRO. (2015). <https://pro.arcgis.com>. Recuperado el 21 de Marzo de 2016, de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/help/analysis/geoprocessing/modelbuilder/what-is-modelbuilder.htm>

Asamblea Nacional. (20 de Octubre de 2008). Constitución de la República del Ecuador, Publicada en el Registro Oficial No. 449. República del Ecuador.

Asamblea Nacional. (06 de Agosto de 2014). LEY ORGÁNICA DE RECURSOS HÍDRICOS, USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA, Segundo Suplemento - Registro Oficial N° 305 . Quito, República del Ecuador.

ASAMBLEA NACIONAL REPÚBLICA DEL ECUADOR. (Agosto 2014). *LEY ORGÁNICA DE RECURSOS HÍDRICOS, USOS Y APROVECHAMIENTOS DEL AGUA*. Quito.

- Bermeo Noboa, A. (2010). *AGUA – SANEAMIENTO – ASENTAMIENTOS HUMANOS*.
- Calvo Alvarado , J. (2008). Determinación preliminar del caudal ambiental en el río Tempisque, Costa Rica: el enfoque hidrológico con limitación de datos. *Kurú, Revista Forestal*, 1 - 16.
- Catro Heredia, L., Carvajal Escobar, Y., & Monsalve Durango, E. (Julio 2006). *ENFOQUES TEÓRICOS PARA DEFINIR EL CAUDAL AMBIENTAL*.
- CEDA. (Marzo de 2012). Los caudales ecológicos en el Ecuador: análisis institucional y legal.
- CENTRO DE ECOLOGIA APLICADA LTDA. (2008). *DETERMINACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS EN CUENCAS CON FAUNA ÍCTICA NATIVA Y EN ESTADO DE CONSERVACIÓN*.
- Consuegra Martínez, C. (2013). SÍNTESIS METODOLÓGICA PARA LA OBTENCIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS (Q_e), RESULTADOS Y POSIBLES CONSECUENCIAS. ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO.
- Delgado Guerra, A., & Elizalde Guevara, Á. (2011). ELABORACIÓN DE UN PLAN DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA PARA LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE PAPALLACTA Y LA MICA DE LA EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE QUITO. Universidad Politécnica Salesiana, Quito - Ecuador.
- Díez Hernández, J. (Noviembre 30 de 2005). Bases metodológicas para el establecimiento de caudales ecológicos en el ordenamiento de cuencas hidrográficas. *Ingeniería y Competitividad*, 11 - 17.
- Diez Hernández, J., & Olmeda Sanz, S. (Julio 2008). DISEÑO ECO-HIDROLÓGICO DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS:

EVALUACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS. *Revista Energética*
Número 39, 65 - 75.

EPMAPS. (Noviembre de 2015). *EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO/LA MICA - QUITO SUR*.
Obtenido de <http://www.aguaquito.gob.ec/la-mica-quito-sur>

Escolero Fuentes, O., Domínguez Mariani, E., & Martínez Edda, S. (2010).
Ciclo Hidrológico. *ATLAS DE LA CUENCA LERMA-CHAPALA* , 16 -
21.

García de Jalón, D., & González del Tánago, M. (2000). *EL CONCEPTO DE CAUDAL ECOLÓGICO Y CRITERIOS PARA SU APLICACIÓN EN LOS RÍOS ESPAÑOLES*.

HIDRO WARM. (2010). *EIAD – Proyecto Hidroeléctrico Normandía: Caudales ecológicos y régimen de caudales*.

INAMHI - EMMAP. (2007). *GLACIARES DEL ECUADOR: ANTISANA Y CARIHUAYRAZO Balance de Masa, Topografía, Pluviometría, Meteorología & Hidrología*. Quito.

Jamett Domínguez, G., & Rodríguez Finotti, A. (2002). Evaluación del instrumento caudal ecológico, panorama legal e institucional en Chile y Brasil. *REGA*, 83 - 96.

Madroñero Palacios, S., & Mafla Chamorro, F. (Mayo 2013). CAUDALES ECOLÓGICOS Y SU RELACIÓN CON EL CAMBIO Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA. *Revista Unimar No. 61*, 61 - 77.

Magdaleno Mas, F. (2004). Caudales ecológicos: conceptos básicos, métodos de cálculos y nuevas interpretaciones. *Ingeniería Civil*, 81 - 91.

Mayo Rustarazo, M. (2000). DETERMINACIÓN DE REGÍMENES DE CAUDALES ECOLÓGICOS MÍNIMOS - ADAPTACIÓN DEL MÉTODO IFIM-PHABSIM Y APLICACIÓN A LOS RÍOS

ESPAÑÓLES. DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA FORESTAL,
España.

Mena, P., Josse, C., & Medina, G. (2000). *El Páramo como fuente de recurso hídrico*. Quito.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. (2013). *METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN Y EVALUACIÓN DEL CAUDAL AMBIENTAL EN PROYECTOS QUE REQUIEREN LICENCIA AMBIENTAL*. Bogotá D. C.

O' Keeffe, J., & Le Quesne, T. (2010). *Cómo conservar los ríos vivos - Guía sobre los caudales ecológicos*.

Oyala, V. (2011). *Sistemas de Información Geográfica*.

Palau Ibars, A. (2012). *Régimen Ambiental de Caudales: Estado del Arte*.

Paredo Parada, M., Salcedo Sandoval, G., & Quevedo Tejada, D. (Agosto 2014). *DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO MEDIANTE EL MÉTODO CAUDAL BÁSICO DE MANTENIMIENTO EN EL RÍO BUREO*. Santiago de Chile.

Parra Rodríguez, E. (2012). *Modelamiento y manejo de las interacciones entre la hidrología, la ecología y la economía en una cuenca hidrográfica para la estimación de caudales ambientales*. Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Minas, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, Colombia.

Pinilla Agudelo, G., Rodríguez Sandoval, E., & Camacho Botero, L. (Abril 2014). *PROPUESTA METODOLÓGICA PRELIMINAR PARA LA ESTIMACIÓN DEL CAUDAL AMBIENTAL EN PROYECTOS LICENCIADOS POR EL MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE (MADS), COLOMBIA*. *Acta biol. Colomb.*, 45 -62.

PRENSA. (01 de Diciembre de 2010). *Quito tiene garantizado el suministro de agua potable*. Obtenido de

http://noticiasquito.gob.ec/Noticias/news_user_view/quito_tiene_garantizado_el_suministro_de_agua_potable--1989

Rodríguez Torres, S. (2012). CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL Y DETERMINACIÓN DE CAUDAL ECOLÓGICO EN LA CUENCA DEL RÍO VERDE, OAXACA. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, México.

Rojas Vásquez, D., & Tarambis Enriquez, H. (2012). BASES DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS EN DIQUES TRANSVERSALES PARA LA CAPTACIÓN Y TRÁNSITO DEL CAUDAL ECOLÓGICO. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

Salinas Rodríguez, S. (Agosto 2011). *Guía rápida para la determinación de caudales*. México.

Sandoval Erazo, W. (Diciembre 2014). Determinación de Caudales en cuencas con poca información Hidrológica. *Revista Ciencia UNEMI*, 100 - 109.

Sichique Sánchez, A., & Rocano Portoviejo, A. (Diciembre de 2014). Aplicación del Método PHABSIM para la determinación del caudal ecológico en el río Chulco de la Subcuenca del río Machángara. Universidad Politécnica Salesiana - Sede Cuenca, Cuenca, Ecuador.

TELEAMAZONAS. (19 de Octubre de 2015). *Sistema de agua potable La Mica beneficia a más de 350.000 personas*. Obtenido de <http://www.teleamazonas.com/2015/10/sistema-de-agua-potable-la-mica-beneficia-a-mas-de-350-000-personas/>

TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. (2012). NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DESCARGAS DE EFLUENTES: RECURSO AGUA IIBRO VI ANEXO 1.

Urmeneta Migone, F. (2013). METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO EN ESTUARIOS: APLICACIÓN EN EL

ESTUARIO DEL RÍO AYSÉN. UNIVERSIDAD DE CHILE, Santiago de Chile.

Vélez Upegui, J., & Ríos Rojas, L. (2004). *SEMINARIO INTERNACIONAL SOBRE EVENTOS EXTREMOS MÍNIMOS EN REGÍMENES DE CAUDALES: DIAGNÓSTICO, MODELAMIENTO Y ANÁLISIS*. Medellín, Colombia.

Verweij, M. (2002). A propósito del caudal ecológico. *Sectores y Mercados*, 1 - 4.

Villagómez, A., & León, J. (sf). *Gestión Automática para un Proyecto de Agua Potable y Electricidad "Proyecto Mica - Quito Sur"*. Quito.

Villanueva Ure, J., & Alata Rey, J. (2011). ANÁLISIS Y PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO EN CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DEL PERÚ, APLICACIÓN A UN CASO TÍPICO. Universidad Nacional de Ingeniería Lima - Perú, Perú.

