



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO
AMBIENTE**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO GEÓGRAFO Y DEL MEDIO
AMBIENTE**

**TEMA: “ANÁLISIS DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA
PRODUCCIÓN DE AGUA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO
PITA MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DE LA HUELLA
HÍDRICA Y DISPONIBILIDAD DE AGUA”**

AUTOR: LALA AYO, HENRY DANIEL

DIRECTORA: FERNÁNDEZ, MIRIAM MSC.

SANGOLQUÍ

2017



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “ANÁLISIS DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO PITA MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA Y DISPONIBILIDAD DE AGUA” realizado por el señor **HENRY DANIEL LALA AYO**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **HENRY DANIEL LALA AYO** para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 02 de junio del 2017

ING. MIRIAM FERNÁNDEZ MSC.
Directora del Proyecto de Titulación.



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **HENRY DANIEL LALA AYO**, con cédula de identidad N° 172456134-3, declaro que este trabajo de titulación “**ANÁLISIS DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO PITA MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA Y DISPONIBILIDAD DE AGUA**” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 02 de junio del 2017

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Henry Daniel Lala Ayo', is positioned above the printed name. The signature is stylized and fluid.

HENRY DANIEL LALA AYO

CC: 172456134-3



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

AUTORIZACIÓN

Yo, **HENRY DANIEL LALA AYO**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**ANÁLISIS DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO PITA MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA Y DISPONIBILIDAD DE AGUA**” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 02 de junio del 2017



HENRY DANIEL LALA AYO

CC: 172456134-3

DEDICATORIA

“Soy el resultado de lo que una gran mujer quiso hacer de mí”.

Thomas Edison.

A Dios, quien guía mi camino aunque muchas veces no comprendo el porqué de las cosas entiendo que es parte de un plan mejor que tiene para mí.

Te dedico este logro donde quiera que estés, y sé que te sientes orgulloso de mí, el tiempo de Dios es perfecto y por algo te nos adelantaste, no cambiaría nada de lo que ha pasado, simplemente con todo el corazón para ti; papi Alcides.

A mi madre Blanca Ayo, por ser una mujer de temple, aguerrida como ella sola, que me ha enseñado que a pesar de las adversidades siempre se puede salir adelante, las limitaciones no te limitan el que te limita eres tú.

A mi pequeño Deivid Andrés, quien llegó en un momento perfecto a nuestras vidas, llenando la casa de alegría con sus travesuras y juegos, te convertiste en el motor que me hace querer seguir y ser mejor cada día.

A mis hermanos Jessica, Malena y Ricardo ya que fueron el empuje que día a día me hacía seguir adelante, ya que han sido participes de este proceso y he podido mostrarles que con esfuerzo y dedicación los sueños se pueden cumplir, por más lejanos que puedan parecer.

A mami Zoilita y tía Lucrecia por haberme cuidado desde pequeño, siento y sé que gran parte de lo que soy como persona se los debo.

A cada una de las personas que se sientan identificadas conmigo y que fueron parte de esto, escribir nombres solo llenaría el papel, prefiero que se queden en mi mente y en mi corazón.

Henry L.

AGRADECIMIENTO

No hay palabra exacta para expresar la gratitud hacia las personas que fueron parte de esta etapa de mi vida, por lo que simplemente, desde el corazón “gracias”.

A Dios por todo lo que me brinda y sobre todo por haberme regalado el tesoro máspreciado que tengo en mi vida “Mi Familia”, que sin ellos esto no tendría sentido.

A mi madre, por todo el cariño, esfuerzo y apoyo incondicional que me ha brindado, sabes todo lo que tuvimos que pasar, cuanto sacrificio hubo que hacer; cada noche que me desvelaba y me preguntabas si ya terminaba por fin te puedo decir “termine”.

A mis ñaños simplemente por tenerme paciencia, por entender que lo diferentes que somos los cuatro, es lo que ha hecho el complemento perfecto en cada uno.

A mi abuelita, a mis tíos y mis tías por el granito de arena que fueron depositando inconscientemente en mí, por sus palabras, por sus muestras de cariño, por hacerme sentir como un hijo más en sus familias.

A mi directora de tesis Ing. Miriam Fernández Msc., por el apoyo incondicional que me brindo, por su tiempo, dedicación, por escuchar mis locas ideas y canalizar muchas de ellas plasmándolas en mi proyecto.

Al laboratorio de Medio Ambiente de la CIGMA, por el apoyo brindado, en especial a su directora Quim. Erika Murgueitio PhD., por darme todas las facilidades y asesoraría cuando lo necesitaba.

A Nico y Miguel, por simplemente ser como son, esto comencé con ustedes y con ustedes lo termine, los sobrevivientes del “grupo que trabaja”, este camino no hubiera sido lo mismo si no los hubiera conocido.

A mis amigos y demás, pocas veces se los he dicho se les quiere un montón, por todo lo que pasamos, por la amistad que tenemos, solo me queda decir. Gracias !!

Henry L.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARATULA.....	i
CERTIFICADO	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
CAPITULO I	1
GENERALIDADES	1
1.1. Introducción	1
1.2. Antecedentes	2
1.3. Planteamiento del problema	4
1.4. Justificación e importancia	5
1.5. Ubicación geográfica del área de estudio	6
1.6. Objetivos.....	9
1.6.1. Objetivo general	9
1.6.2. Objetivos específicos	9
CAPITULO II.....	10
MARCO TEORICO	10
2.1. Ciclo hidrológico del agua	10
2.1.1 Evaporación	11
2.1.2 Precipitación	11
2.1.3 Escorrentía	11
2.2. Balance hídrico	11
2.2.1 Ecuación de balance hídrico	12
2.2.2 Oferta hídrica.....	13

2.2.2.1.	Caudal.....	13
2.2.2.2.	Caudal ecológico.....	13
2.2.3	Demanda hídrica	14
2.3.	Cuenca hidrográfica	14
2.3.1	Subcuenca hidrográfica.....	15
2.3.2	Microcuenca hidrográfica	15
2.4.	Geomorfología de una cuenca hidrográfica	15
2.4.1	Área	15
2.4.2	Perímetro.....	16
2.4.3	Compacidad	16
2.4.4	Forma de forma	16
2.4.5	Pendiente de la cuenca	17
2.4.6	Pendiente del cauce	18
2.4.7	Orden de corrientes	18
2.4.8	Densidad de corrientes	19
2.4.9	Densidad de drenajes	19
2.5.	Huella Hídrica	19
2.5.1	Huella Hídrica Azul	20
2.5.2	Huella Hídrica Verde	21
2.5.3	Huella Hídrica Gris	21
2.6.	Huella Hídrica de un proceso.....	21
2.7.	Evaluación de la Huella Hídrica	22
2.8.	Sostenibilidad.....	23
2.8.1	Sostenibilidad de la Huella Hídrica.....	23
2.8.2	Sostenibilidad de la Huella Hídrica de una cuenca hidrográfica	24
2.9.	Marco legal.....	25
CAPITULO III		28
METODOLOGÍA		28
3.1.	Huella Hídrica	28
3.1.1.	Huella Hídrica Verde	29
3.1.2.	Huella Hídrica Azul	29
3.1.3.	Huella Hídrica Gris	30
3.2.	Fases de evaluación de la Huella Hídrica	31
3.3.	Fase I: Definición del alcance de evaluación de la Huella Hídrica	31

3.3.1.	Recopilación de información.....	31
3.3.2.	Muestreo	34
3.3.3.	Parámetros físico-químicos de agua.	35
3.3.4.	Parámetros físicos de suelo.....	40
3.3.5.	Información cartográfica.....	41
3.3.6.	Caracterización morfológica de la microcuenca	42
3.3.7.	Información socioeconómica.....	46
3.3.8.	Información Biofísica	49
3.4.	Fase II: Cuantificación de la Huella Hídrica por sectores	49
3.4.1.	Sector Agrícola.....	49
3.4.1.1.	Huella Verde Agrícola.....	53
3.4.1.2.	Huella Azul Agrícola.....	53
3.4.1.3.	Huella Gris Agrícola.....	54
3.4.2.	Sector Pecuario	55
3.4.2.1.	Huella Verde Pecuaria	57
3.4.2.2.	Huella Azul Pecuaria	58
3.4.2.3.	Huella Gris Pecuaria	58
3.4.3.	Sector Doméstico	59
3.4.3.1.	Huella Azul Doméstica	60
3.4.3.2.	Huella Gris Doméstica	63
3.4.4.	Sector Industrial	66
3.4.5.	Sector Minero	67
3.4.5.1.	Huella Azul Minera	68
3.4.5.2.	Huella Gris Minera	69
3.4.6.	Sector Energético	70
3.4.6.1.	Huella Azul Energética	71
3.5.	Fase III: Análisis de la sostenibilidad de la Huella Hídrica	73
3.5.1.	Criterio ambiental.....	74
3.5.1.1.	Oferta natural de agua	74
3.5.1.2.	Análisis ambiental Huella Azul	79
3.5.1.3.	Análisis ambiental Huella Verde	81
3.5.1.4.	Análisis ambiental Huella Gris	84
3.5.2.	Criterio económico.....	85
3.5.2.1.	Análisis económico Huella Azul	85

3.5.2.2. Análisis económico Huella Gris	89
CAPITULO IV	90
RESULTADOS	90
4.1. Caracterización físico – químico del Río Pita.....	91
4.2. Análisis socioeconómico	93
4.3. Cuantificación de la Huella Hídrica	101
4.4. Sostenibilidad ambiental de la Huella Hídrica	120
4.5. Sostenibilidad económica de la Huella Hídrica	128
CAPÍTULO V.....	134
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	134
5.1. Conclusiones	134
5.2. Recomendaciones	137
BIBLIOGRAFÍA	139

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas geográficas del área de estudio	7
Tabla 2. Clasificación según el área	15
Tabla 3. Clasificación según el índice de Gravelius	16
Tabla 4. Clasificación según el factor de Horton	17
Tabla 5. Tipo de pendiente de la cuenca	17
Tabla 6. Clasificación del cauce según su pendiente	18
Tabla 7. Puntos de muestreo	32
Tabla 8. Parámetros físico - químicos caracterizados	36
Tabla 9. Fuentes de información cartográfica	41
Tabla 10. Cartas topográficas	41
Tabla 11. Variables climáticas	50
Tabla 12. Variables edáficas	50
Tabla 13. Cultivos determinados en la microcuenca	51
Tabla 14. Requerimientos de cultivos	52
Tabla 15. Centrales hidroeléctricas en la microcuenca	70
Tabla 16. Estaciones meteorológicas	75
Tabla 17. Tiempo de concentración	79
Tabla 18. Caracterización morfológica microcuenca del Río Pita	90
Tabla 19. Parámetros insitu	91
Tabla 20. Parámetros de laboratorio	92
Tabla 21. Clasificación textural suelo microcuenca	93
Tabla 22. Distribución poblacional	94
Tabla 23. Prorrateo poblacional al 2016	96
Tabla 24. Huella Hídrica microcuenca	119
Tabla 25. Oferta natural de agua	121
Tabla 26. Tiempo de concentración	121
Tabla 27. Periodo de retorno y probabilidad de excedencia	122
Tabla 28. Oferta natural, regulado y hh azul	122
Tabla 29. Disponibilidad de agua verde	124
Tabla 30. Oferta regulada sostenibilidad gris	126

Tabla 31. Productividad aparente sector agrícola	129
Tabla 32. Productividad aparente sector pecuario.....	129
Tabla 33. Productividad aparente sector energético.....	130
Tabla 34. Productividad aparente sector minero	130
Tabla 35. Productividad aparente sector doméstico.....	131
Tabla 36. Costos de implementación de PTAR.....	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zona de estudio.....	8
Figura 2. Ciclo hidrológico del agua.....	10
Figura 3. Estructura de horton	19
Figura 4. Componentes de la huella hídrica	20
Figura 5. Fases de evaluación en la huella hídrica	22
Figura 6. Esquema conceptual de aplicación de la huella hídrica	28
Figura 7. Fases de evaluación en la huella hídrica	31
Figura 8. Puntos de muestreo.....	33
Figura 9. Clasificación del río de acuerdo a su curva	46
Figura 10. Etapas del sistema doméstico en la huella hídrica	60
Figura 11. Sostenibilidad de la huella hídrica en la microcuenca	74
Figura 12. Curva hipsométrica microcuenca del río pita.	91
Figura 13. Parámetros medidos en función al punto de muestreo.....	92
Figura 14. Aportaciones de población por parroquia.....	94
Figura 15. Relación de aportación superficie y población.....	95
Figura 16. Autoidentificación étnica	96
Figura 17. Analfabetismo parroquial año 2010.....	97
Figura 18. Población económicamente activa	98
Figura 19. Sectores económicos de la microcuenca.....	98
Figura 20. Uso y cobertura del suelo de la microcuenca	100
Figura 21. Huella hídrica azul agrícola por tonelada de producción	101
Figura 22. Huella hídrica verde por tonelada de producción.....	102

Figura 23. Huella hídrica gris por tonelada de producción.....	103
Figura 24. Huella hídrica agrícola anual por cultivo.....	103
Figura 25. Huella hídrica agrícola.....	104
Figura 26. Huella hídrica pecuaria por peso vivo.....	105
Figura 27. Huella hídrica por tipo de bovino.....	106
Figura 28. Huella hídrica pecuaria.....	107
Figura 29. Huella hídrica por habitante.....	108
Figura 30. Huella hídrica anual doméstica.....	109
Figura 31. Huella hídrica doméstica.....	110
Figura 32. Huella hídrica por tonelada de producción.....	110
Figura 33. Huella hídrica anual minera.....	111
Figura 34. Huella hídrica minera.....	112
Figura 35. Huella hídrica por gigajulio producido.....	113
Figura 36. Huella hídrica mensual total.....	114
Figura 37. Huella hídrica total.....	114
Figura 38. Huella hídrica azul en la microcuenca.....	116
Figura 39. Huella hídrica verde en la microcuenca.....	117
Figura 40. Huella hídrica gris en la microcuenca.....	118
Figura 41. Huella hídrica de microcuenca por sector.....	119
Figura 42. Huella hídrica total microcuenca.....	120
Figura 43. Sostenibilidad azul.....	123
Figura 44. Índice de escasez.....	123
Figura 45. Sostenibilidad verde.....	125
Figura 46. Índice de escasez verde.....	125
Figura 47. Sostenibilidad gris.....	127
Figura 48. Índice de contaminación nca.....	127
Figura 49. APW por sector.....	131
Figura 50. Producción generada en USD \$.....	132

RESUMEN

La microcuenca hidrográfica, al ser considerado un espacio económico-social, puede ser el punto de partida para promover iniciativas de desarrollo territorial e inversión, desde un enfoque participativo e incluyente. El propósito del presente trabajo es realizar un análisis referencial del uso del agua en la microcuenca del Río Pita, al determinar la Huella Hídrica, considerando el manejo sostenible y disponibilidad del agua. Para lo cual se calculó la Huella Azul, verde y gris; partiendo de la metodología referencial propuesta en el 2002 por el Dr. Arjen Hoekstra y difundida en el 2011 por el manual de la Water Footprint Network, desde un enfoque sistémico. Se obtuvo en promedio; 20.4 millones de m³ de Huella Azul, 36.1 millones de m³ de Huella Verde y 45.8 millones de m³ de Huella Gris, siendo los mayores aportantes en forma general los sectores doméstico, pecuario y agrícola. A su vez presenta la oferta natural regulada de agua azul de 188 millones de m³ y de agua verde de 64. 19 millones de m³, del que se estima que ya no está disponible en el medio el 11% y 56% respectivamente. En base a los indicadores planteados la microcuenca del Río Pita muestra sostenibilidad a la fecha, para consumo, disponibilidad y capacidad de depuración de agua, con los índices de escasez menores a 1 en los tres casos, también se establece que los sectores que más recurso monetario generan son el pecuario y energético con USD 44 millones anuales cada uno.

PALABRAS CLAVE:

- **HUELLA HÍDRICA**
- **MICROCUENCA HIDROGRÁFICA**
- **SOSTENIBILIDAD**
- **SECTORES ECONÓMICOS**

ABSTRACT

The hydrographic microbasin is considered a socio-economic space, can be the starting point to promote initiatives of territorial development and investment, a participatory and inclusive approach. The purpose of the present work is to carry out an analysis of reference of water use in the microbasin of the Pita River, to determine the water footprint, considering the sustainable management and availability of water. For which we calculated the footprint blue, green and grey; based on the reference methodology proposed in 2002 by Dr. Arjen Hoekstra and released in 2011 by the manual of the Water Footprint Network, from a systemic approach. On average was obtained; 20.4 million m³ of blue footprint, 36.1 million m³ of green footprint and 45.8 million m³ of grey footprint, being the biggest contributors in general the sectors; domestic, livestock and agricultural. At the same time, it has the regulated natural range of blue water of 188 million m³ and green water of 64. 19 million m³, of which is estimated that is no longer available in the environment the 11% and 56% respectively. Based on the raised indicators the microbasin of the Pita River shows sustainability to date, for consumption, availability and capacity of water treatment, with scarcity indices less than 1 in all three cases, also it is established that the sectors that more generate monetary resource the livestock and energy with USD 44 annual millions each one.

KEY WORDS:

- **WATER FOOTPRINT**
- **HYDROGRAPHIC MICROBASIN**
- **SUSTAINABILITY**
- **ECONOMIC SECTORS**

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. Introducción

Cerca del 75% de la superficie del planeta está cubierta por agua, sin embargo; menos del 1% es considerada apta para sostener la vida humana (Arévalo , Lozano, & Sabogal, 2011). La creciente necesidad de agua pone en evidencia la gran cantidad de explotación que se da al recurso, por lo que el agua que se extrae de los ecosistemas por el hombre está destinada a satisfacer ciertas necesidades básicas para sobrevivir, esto conlleva a que el agua altere su ciclo natural, y en su posterior vertido al medio, altera su calidad. Frente a esto a nivel mundial se ha establecido acuerdos en que los que se plantee, una adecuada administración de este recurso, sin afectar al medio y considerando un majeo sostenible.

Ciertas partes del mundo se han visto seriamente afectados por el agotamiento de este recurso, frente a este suceso la Organización de las Naciones Unidas en el cumbre del milenio, establece el objetivo primordial del DECENIO “El agua, fuente de vida”, en el que se acordó hasta 2015, elaborar planes de gestión integrada y aprovechamiento eficiente del recurso hídrico y así poner fin a la explotación insostenible del agua (ONU-Agua, 2005).

Para ello, se presenta la Huella Hídrica como un indicador alternativo de sostenibilidad en la medición del uso del agua, en el cual considera a las actividades socioeconómicas, el principal factor de presión sobre los recursos naturales. Contraponiéndose así al método tradicional, en el que solo se considera el uso y no la extracción de agua, el cual permite establecer las relaciones causa y efecto, es decir permite identificar el impacto sobre el recurso hídrico a causa de las costumbres de consumo de la población, en ubicaciones geográficamente definidas (Tólon, Lastra, & Fernández, 2013).

El estudio de la Huella Hídrica a niveles geográficos específicos, permite conocer exactamente cuánta agua, y en qué condiciones, se utiliza de los sistemas locales y cuánta agua sería necesaria para equilibrar las corrientes contaminadas.

En 2004, Chapagain y Hoekstra, realizaron la primera estimación de la Huella Hídrica, en 146 países para el periodo 1997-2001. El estudio “Water Footprints of Nations” arrojó varios resultados; como que el valor absoluto de la Huella Hídrica mundial es de 7.450 km³/año, se estima también que cada habitante del planeta consume alrededor de 1.240 m³/cápita/año (Tólon, Lastra, & Fernández, 2013).

En la actualidad es importante resaltar que el concepto de Huella Hídrica, ya implica una visión alternativa a la gestión tradicional del agua, considerando el diálogo y fortaleciendo los vínculos, entre los distintos actores sociales y económicos involucrados.

Además para lograr una gestión sostenible del agua, se debe incluir la protección del recurso hídrico, el cual debe enfocarse en el aprovechamiento íntegro del agua, en la administración y operación, de los diferentes sistemas existentes de distribución de este recurso, pudiendo ser el punto de partida para promover iniciativas de organización, desarrollo territorial e inversión, desde un enfoque participativo e incluyente.

1.2. Antecedentes

La gestión de los recursos hídricos es un tema tan importante como controvertido. En este contexto, en el que parece necesaria la reorientación de la política del agua teniendo en cuenta criterios no solo de oferta sino también de demanda y considerando aspectos económicos, sociales y ambientales, la Huella Hídrica es un indicador que proporciona un marco multidisciplinar y transparente que puede ser muy útil para mejorar la gestión de los recursos hídricos (Salmoral. et al, 2011).

Por su posición geográfica y características geomorfológicas, Ecuador posee una serie de afluentes y recursos hídricos, tomando como punto central a las cuencas hidrográficas las cuales constituyen la base de su oferta natural en materia de bienes y servicios. El agua proveniente de la microcuenca del Río Pita, sirve a gran parte del

centro y sur de Quito, convirtiéndose en el segundo sistema más importante del Distrito Metropolitano de Quito DMQ, después del de Papallacta. Su aporte cubre alrededor de un 38% de toda el agua potable producida para el DMQ (MAE, 2012).

La Huella Hídrica es un indicador de uso de agua que tiene en cuenta tanto el uso directo como indirecto por parte de un consumidor o productor (Hoekstra, 2003; Hoekstra et al., 2011 citado en Salmoral. et al, 2011). Puede ser considerada como un indicador global de la apropiación de los recursos de agua dulce, junto a la medición tradicional y restringida de la extracción de agua. Es un indicador multidimensional que muestra los volúmenes de agua consumidos y su origen y da una orientación preliminar sobre los volúmenes necesarios para reducir la contaminación causada por cada actividad (Hoekstra y Chapagain, 2010 citado en Salmoral. et al, 2011).

En el ámbito nacional no se identifican trabajos similares asociados al análisis de la Huella Hídrica en una cuenca hidrográfica y mucho menos aplicada a la sostenibilidad y disponibilidad de agua. Por lo cual se fundamentó dos estudios realizados internacionalmente que se destacan por su similitud al plantear la metodología.

- El primero de ellos es el estudio realizado en Colombia en mayo del 2013, el cual se titula “Evaluación de la Huella Hídrica en la cuenca del río Porce”. En el que identificaron las actividades socioeconómicas como el principal factor de presión sobre los recursos naturales, presenta además la evaluación de Huella Hídrica como una herramienta de la gestión integrada de recursos hídricos, identifica relaciones causa-efecto a nivel socioambiental. Además de fundamentar la metodología más adecuada a la realidad colombiana. Una de las principales conclusiones fue que “La Huella Hídrica ha probado ser una herramienta robusta para comunicar resultados comprensibles para todos los sectores y los actores presentes en la cuenca. Es decir son complementarios con los resultados obtenidos en otras aplicaciones de la evaluación de Huella Hídrica” (CTA, 2013).
- El segundo estudio realizado en Madrid en el 2011, el cual se trata del “Análisis de la Huella Hídrica extendida de la cuenca del Guadalquivir.” En el cual introduce indicadores económicos, siendo la vertiente económica clave a la

hora de analizar los consumos de agua. Presenta también por primera vez la integración de la Huella Hídrica dentro del ciclo hidrológico y su balance a escala de cuenca. “Este trabajo analiza la Huella Hídrica con el fin de facilitar información para la mejora de la asignación y gestión de los recursos hídricos en la cuenca. Este estudio diferencia entre agua verde y azul (agua de origen superficial y subterráneo)” (Salmoral, et al, 2011).

Es importante mencionar que la metodología a plantear hace referencia al método propuesto por el manual de la Water Footprint Network WFN, tomando en consideración estos dos estudios para estructurar la metodología que sea la más adecuada a la realidad de la microcuenca.

1.3. Planteamiento del problema

El río Pita abastece las necesidades de quienes viven y producen en la microcuenca; pero también de productores, ganaderos y operadores turísticos fuera de ella; y, de poblaciones más lejanas que necesitan el agua para su consumo, en particular la ciudad de Quito. Este espacio geográfico está sujeto a diversas amenazas producto de las actividades humanas; y es particularmente sensible al cambio climático por tratarse de una región de gran altura, con suelos y ecosistemas frágiles (MAE, 2012). Además de los peligros latentes asociados al lugar, uno de los más importantes el riesgo de una posible erupción volcánica por parte del volcán Cotopaxi ubicado en la parte sur de la microcuenca, que según (Aguilera & Toulkeredis, 2005) afectará a la población e infraestructura ubicada a lo largo de la microcuenca de este río.

Por lo tanto, y a fin de garantizar la satisfacción equitativa de las necesidades de los usuarios y usos del agua, es necesario cuantificar el recurso para así poder proporcionar de una manera sostenible el recurso hídrico sin olvidar a ninguno de los actores económicos sociales que intervienen intrínsecamente en el manejo integrado del recurso agua. La administración de los recursos a nivel gobierno deben garantizar el derecho al buen vivir de quienes dependen de la microcuenca y sus recursos, así como de los derechos de la naturaleza.

Frente a esta premisa se plantea determinar la Huella Hídrica Azul, Verde y Gris; ya que es un indicador del consumo y contaminación de agua dulce; este indicador se caracteriza por ser multidimensional, es decir, contempla directa e indirectamente a todas sus dimensiones, esta metodología de estimación del recurso fue introducido por primera vez en el año 2002 por el Dr. Arjen Hoekstra y desde entonces es difundido por la organización Water Footprint Network (WFN, 2011).

En el Ecuador ya se han realizado estudios para determinar la Huella Hídrica en diferentes áreas como ciudades, productos y servicios pero no hay estudios para determinación de la Huella Hídrica en cuencas hidrográficas aplicada a la disponibilidad de agua y sostenibilidad.

1.4. Justificación e importancia

El agua es la base del desarrollo sostenible. Las interrelaciones entre el agua y la sostenibilidad van mucho más allá de su dimensión social, económica y ambiental. La salud humana, la seguridad alimentaria y energética, la urbanización y el crecimiento industrial, así como el cambio climático, constituyen desafíos cruciales en los que las políticas y las acciones en la base del desarrollo sostenible pueden fortalecerse (o debilitarse) a través del agua y en la gama de servicios que proporcionan (UNESCO, 2015).

Mediante la determinación del indicador Huella Hídrica, se pretende fortalecer y ayudar en el posicionamiento de los diferentes sectores económicos agrícolas, industriales y de gobierno, frente al tema de la sostenibilidad del agua, mostrando impactos asociados al desarrollo de las actividades económicas, sociales y sus implicaciones frente a la sostenibilidad y disponibilidad del recurso hídrico, al cuantificar cada uno de los componentes de la Huella Hídrica, se pretende hacer énfasis en el análisis individual de cada una: Huella Verde, Azul y Gris; identificando el potencial de información que ofrecen individualmente en lo relativo a sus impactos asociados a variables económicas, sociales y ambientales de los sectores productivos y consumidores de la zona estudiada (Arévalo , Lozano, & Sabogal, 2011).

El estudio de cuencas hidrográficas es una herramienta muy importante para comprender y evaluar el equilibrio existente entre el medio ambiente y el ser humano que lo habita. Los planes de manejo ambiental a través de cuencas hidrográficas, es cada vez más grande para la preservación del medio ambiente, expresados en el manejo integral de cuencas (PUCE, 2008). Semejante visión permitiría mayor injerencia de todos los actores sociales directa o indirectamente relacionados, favoreciendo, de esta manera, procesos de democratización, empoderamiento de la sociedad civil y descentralización para el desarrollo sostenible (FAO, 2007).

La Huella Hídrica establece una relación directa entre el hombre y el sistema hídrico, con dicha relación se puede determinar el consumo y contaminación del agua y así establecer medidas de gestión y manejo del recurso. En Ecuador al tener riqueza hídrica se deben apoyar a las líneas de investigación que den un referente nacional ya sea estableciendo normativas, procesos, indicadores, límites que de una u otra forma aporten al manejo sustentable y sostenible del agua; frente a esta premisa, la investigación planteada pretende dar soporte en el manejo e implementación de una metodología de cuantificación y cualificación del estado y uso del agua en una microcuenca, misma que al dar una interpretación adecuada podrá complementarse como ficha primordial de análisis en los planes de manejo integrado de cuencas hidrográficas.

1.5. Ubicación geográfica del área de estudio

La microcuenca del río Pita forma parte de la cuenca alta del río Guayllabamba, ubicada en la provincia de Pichincha, específicamente en los cantones Quito, Rumiñahui y Mejía. El río Pita nace en la unión de las quebradas Hualpaloma y Carcelén en los páramos occidentales del Sincholagua (Freile & Fabara, 2009), con una extensión de 44 km aproximadamente a lo largo de su cauce.

La parte alta de esta microcuenca constituye la zona de captación del sistema de agua potable Pita-Puengasí, que administrativamente comprenden; las partes media y baja de la microcuenca; franja derecha del río, pertenecen a la parroquia Pintag (55,8% del área de la microcuenca). La parte alta pertenece a la parroquia Machachi, cantón

Mejía (38,2% de la microcuenca). Una franja de la margen izquierda del Río Pita, en la parte media de la microcuenca, es de la parroquia Rumipamba (3,2%) y esta franja en la parte baja corresponde a la parroquia Sangolquí (1,7%), todos ellos en competencia creciente por el agua (MAE, 2012).

En la tabla 1, se presenta la ubicación de la microcuenca mediante coordenadas geográficas.

Tabla 1.
Coordenadas geográficas del área de estudio

N°	ÁREA DE ESTUDIO	COORDENADAS	
		Latitud	Longitud
1	Punto de control 1	0°37'0.048"S	78°21'23.227"O
2	Punto de control 2	0°17'25.137"S	78°27'47.517"O
3	Punto de control 3	0°34'91.645"S	78°34'24.670"O
4	Punto de control 4	0°24'56.720"S	78°16'43.461"O

Fuente: (Google Earth Pro 7.1.7, 2016)

En la figura 1, se muestra la ubicación de zona de estudio (microcuenca del Río Pita).

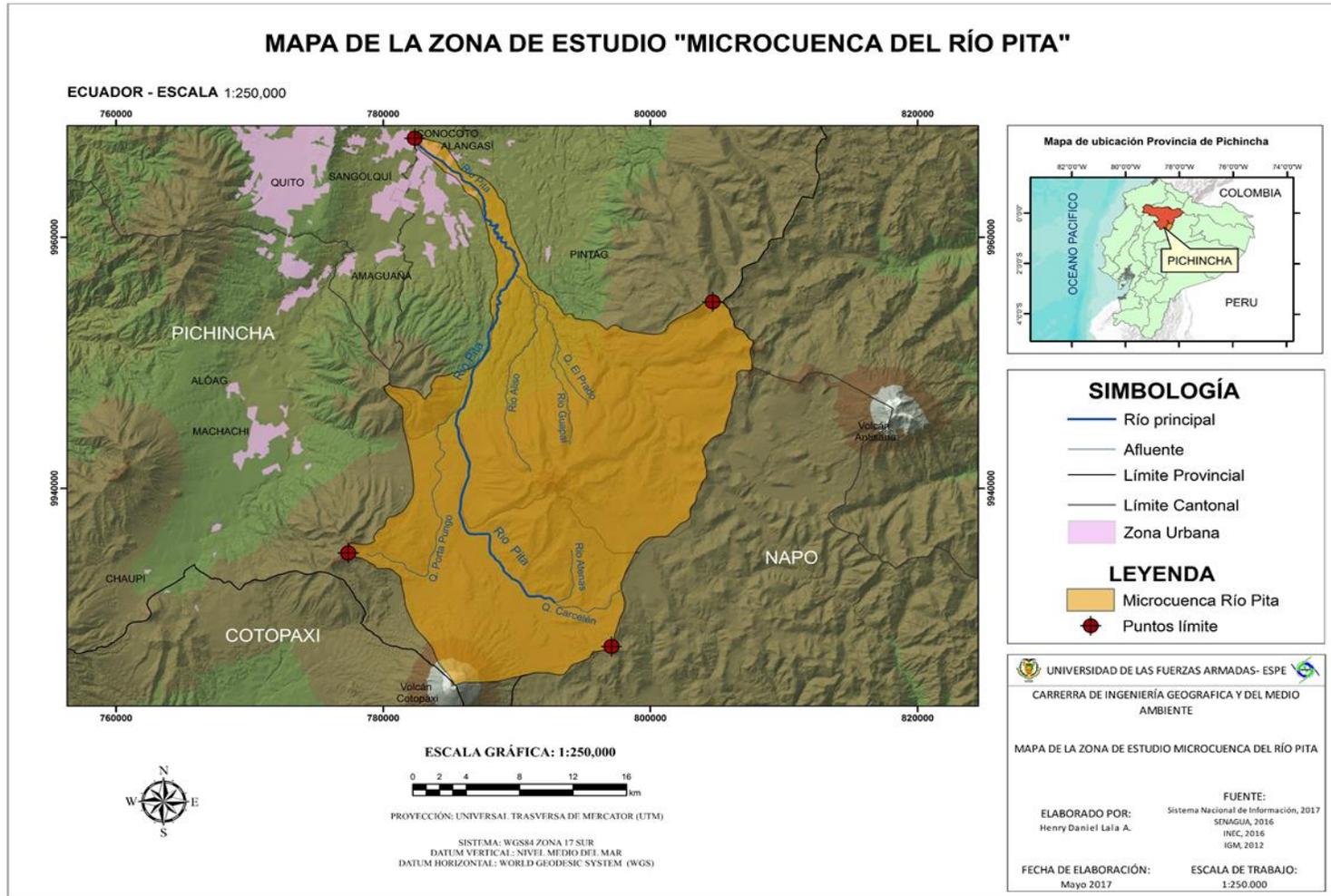


Figura 1. Zona de estudio

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Analizar la sostenibilidad de la producción de agua en la microcuenca del Río Pita mediante la determinación de la Huella Hídrica y disponibilidad de agua.

1.6.2. Objetivos específicos

- Realizar un análisis socioeconómico general de la microcuenca del Río Pita.
- Calcular la Huella Hídrica Azul, Verde y Gris, en los procesos socioeconómicos dentro de la microcuenca.
- Evaluar la disponibilidad y sostenibilidad del agua mediante la determinación de la Huella Hídrica, tomando en consideración los criterios sociales, ambientales y económicos propios para la evaluación.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Ciclo hidrológico del agua

En la naturaleza el agua no permanece estática, muestra un constante dinamismo, lo que conlleva a que las masas de agua cambien de estado y posición relativa en el planeta, en el cual se definen diferentes etapas o fases, representadas en la figura 2; estas, por su manera de enlazarse, generan un verdadero ciclo cerrado pasando por varios estados de agregación de la materia (Maderey & Jiménez, 2005).

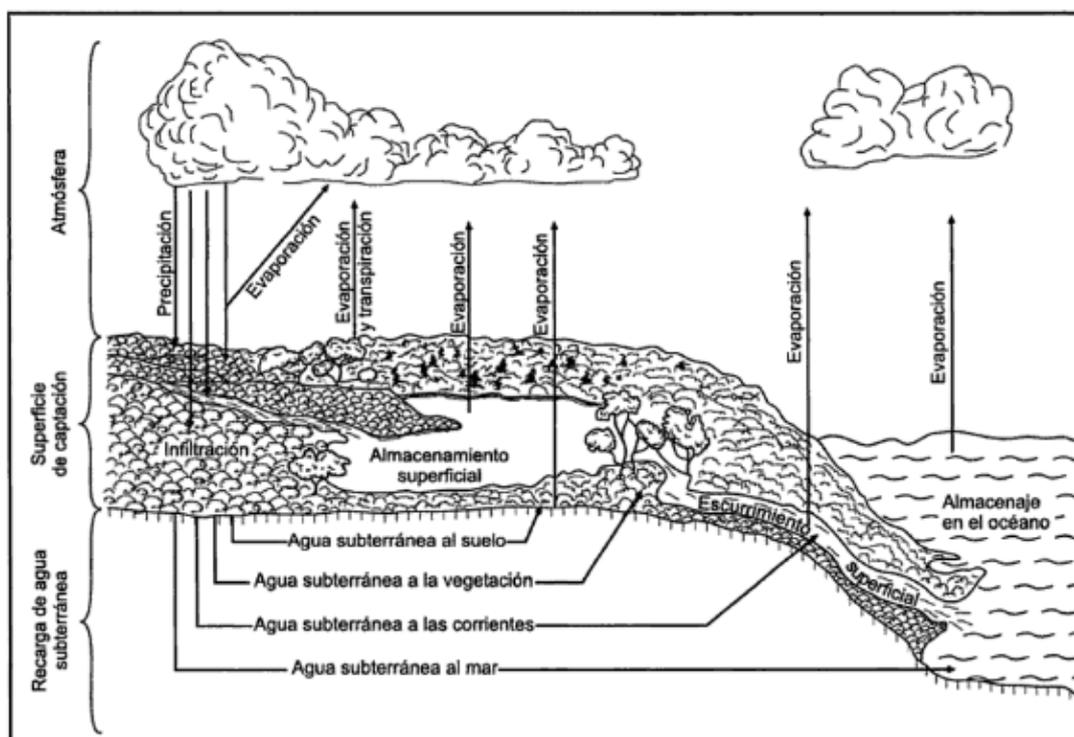


Figura 2. Ciclo hidrológico del agua

Fuente: (Maderey & Jiménez, 2005)

2.1.1 Evaporación

Se puede suponer que el ciclo hidrológico empieza con la evaporación del agua de los océanos, este es un proceso físico gradual en el que se da el traspaso del agua de estado líquido al estado gaseoso, en función del aumento sucesivo de la temperatura. El vapor resultante es transportado por las masas de aire en movimiento hacia el continente, este bajo ciertas condiciones meteorológicas forma nubes, las cuales dan origen a las precipitaciones (Campo Aranda, 1998) .

2.1.2 Precipitación

Es agua en forma de lluvia liberada desde las nubes, se produce cuando el vapor de agua presente en la atmosfera tiene una humedad relativa del 100% (USGS, 2017). No toda la precipitación llega a la superficie terrestre, ya que una parte se evapora y otra es interceptada por la vegetación. La mayor parte del agua que llega al terreno sigue su ciclo natural, es decir regresa al medio en forma de vapor, mientras que una parte es retenida almacenándose en el terreno por infiltración (Campo Aranda, 1998).

2.1.3 Escorrentía

Es el deslizamiento natural del agua, que no ha sido afectada por obras artificiales creadas por el hombre (Maderey & Jiménez, 2005), esta circula sobre la superficie de una cuenca de drenaje, fluye sobre ella y corre hacia los cauces de los ríos, que posterior descargarán en los océanos.

2.2. Balance hídrico

El balance hídrico se define como el equilibrio entre todos los recursos hídricos que ingresa y salen en un sistema, en un intervalo de tiempo de finido. Considerando los parámetros involucrados en el ciclo hidrológico y la interrelación entre ellos, dando como resultado un diagnóstico de las condiciones reales del recurso en cuanto a su oferta, disponibilidad y demanda (SNET, 2005).

La formulación matemática del ciclo del agua, considera a una unidad hidrográfica, en un periodo de tiempo definido, en el que es factible estimar el agua que entra y sale en el ciclo a través de dicha superficie y durante ese lapso de tiempo (Maderrey & Jiménez, 2005).

Esto se puede resumir en que el balance hídrico además de cuantificar el recurso hídrico, presenta un diagnóstico de las condiciones reales del recurso, con lo que se podrá establecer medidas, lineamientos y estrategias para su protección y utilización de forma integrada, en la que se garantice su disponibilidad tanto en cantidad como en calidad (SNET, 2005).

2.2.1 Ecuación de balance hídrico

El modelo general de balance hídrico se basa en la denominada ecuación de conservación de masas, ecuación 1, este modelo es aplicado para cualquier zona, o cuerpo de agua teniendo en consideración los siguientes criterios (SNET, 2005).

$$\textit{Entradas} - \textit{Salidas} = \textit{Cambio de Almacenamiento} \quad (1)$$

Las entradas en la ecuación de balance hídrico comprenden:

- La precipitación (P), en forma de lluvia, realmente recibida por la superficie del suelo.
- Las aguas superficiales y subterráneas recibidas dentro de la cuenca o agua captada desde fuera (Q_{SI} y Q_{UI}).

Las salidas en la ecuación de balance hídrico incluyen:

- La evaporación desde la superficie del cuerpo de agua (E).
- La salida de corrientes de agua superficial y subterránea (Q_{SO} y Q_{UO}).

Cuando las entradas superan a las salidas el volumen de agua almacenada (ΔS) aumenta y cuando ocurre lo contrario disminuye, la ecuación deberá incluir, un término residual (v) esto debido a los errores de medición.

Por lo tanto, el balance hídrico para cualquier masa de agua y cualquier intervalo de tiempo, vendrá representada por la ecuación 2 (Sokolov & Chapman, 1981).

$$P + Q_{SI} + Q_{UI} - E - Q_{SO} - Q_{UO} - \Delta S - v = 0 \quad (2)$$

2.2.2 Oferta hídrica

La oferta hídrica está directamente relacionada a la disponibilidad de agua, que el ciclo hidrológico provee en un periodo y lugar determinado (SIRH-CG, 2017). En una cuenca hidrográfica la oferta hídrica corresponde al volumen de agua, que después de haberse precipitado sobre la cuenca y satisfecho las asignaciones de evaporación e infiltración del suelo escurre por los ríos y demás corrientes superficiales, alimentando a lagos, lagunas y reservorios. Se encuentra disponible para satisfacer de la demanda generada por las actividades sociales y económicas del hombre dentro de esta (IDEAM, 2004).

La estimación de dicha oferta se lo realiza cuantificando la escorrentía superficial a partir del balance hídrico de la cuenca (CORPONARIÑO, 2011).

2.2.2.1. Caudal

El caudal es el volumen de agua que corre por el cauce de un río, en un lugar y tiempo definidos. Hace referencia fundamentalmente al volumen hidráulico de la escorrentía de una cuenca hidrográfica concentrada en el río principal de la misma. Suele expresarse en m³ por segundo, este volumen cuantificado suele emplearse en la planificación los recursos hidrológicos y su uso a través de embalses y obras de canalización.

2.2.2.2. Caudal ecológico

Azpura & Gabaldón en 1976 citado en (Pilatti, et al, 2002), sostienen que el caudal ecológico es el volumen de agua reservado a la preservación del hábitat natural de los

ríos, para favorecer el desarrollo de la fauna y de la flora, o bien sea dirigido a impedir la intrusión salina de los ríos que desembocan al mar, además de ser considerados como aspectos importantes relacionados al aprovechamiento hidráulico.

En el Ecuador según la norma técnica ambiental publicada en el Registro Oficial No. 41 con fecha 14 marzo del 2007, define al caudal ecológico como el 10% del caudal medio multianual medido.

2.2.3 Demanda hídrica

En forma general la demanda hídrica, representa el volumen de agua utilizada por las actividades socioeconómicas en un lugar y tiempo definido (IDEAM, 2004) . El cálculo de la demanda hídrica se establece a partir de las concesiones de agua, otorgadas por cada autoridad ambiental en la cuenca (Sabas & Paredes, 2009).

En una cuenca esta demanda se considera como la extracción hídrica del sistema, destinada a suplir las necesidades o requerimientos del consumo humano, la producción sectorial y las demandas esenciales de los ecosistemas no trópicos. Para esto considerara la mayor parte de las actividades humanas, ya que estas son dependientes en su gran mayoría del recurso hídrico, por ende deben ser considerandos el comportamiento y distribución del recurso en el tiempo (Gonzáles, Saldarriaga, & Jaramillo, 2010).

2.3. Cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica es, una zona hidrológica delimitada topográficamente, que desagua mediante un sistema fluvial en un cierto punto de un curso de agua o río (Sheng, 1992).

Brooks K. en 1985 citado en (Hernández, 1993), plantea que una cuenca hidrográfica es una unidad del territorio que capta la precipitación, transita el escurrimiento y la esorrentía, hasta un punto de salida en el cauce principal.

2.3.1 Subcuenca hidrográfica

Es toda área en la que su drenaje va directamente al curso principal de la cuenca, varias subcuencas pueden formar una cuenca (Faustino & Jiménez, 2000).

2.3.2 Microcuenca hidrográfica

Es toda área que desarrolla su drenaje directamente al curso principal de una subcuenca, varias microcuencas pueden conformar una subcuenca (Faustino & Jiménez, 2000), además de ser considerada como un principio de organización social, económica y operativa (Avendaño, 2016).

2.4. Geomorfología de una cuenca hidrográfica

Silva en 1998 citado en (Ocampo, 2012), sostiene que las principales características de una cuenca hidrográfica se refieren a los aspectos, morfológicos, fisiográficos y la capacidad para almacenar agua en forma superficial o subterránea.

2.4.1 Área

Es la proyección en un plano horizontal de la cuenca, que se encuentra delimitada por líneas divisorias, Campos en 1992 en función de este valor, propone una clasificación, misma que se presenta en la tabla 2.

Tabla 2.
Clasificación según el área

Tamaño de la Cuenca (km ²)	Descripción
Menos de 25	Muy Pequeña
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia Pequeña
500 a 2500	Intermedia Grande
2500 a 5000	Grande
Más de 5000	Muy Grande

Fuente: Campos, 1992 citado en (Villamontes O. et al, 2007)

2.4.2 Perímetro

Hace referencia al contorno de la forma de la cuenca proyectada al plano horizontal que recorre la divisoria de aguas.

2.4.3 Compacidad

Denominado también como índice de Gravellius o compacidad, define la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo inscrito de área equivalente, en ningún caso los valores del coeficiente serán inferiores a uno, Campos en 1992, propone una clasificación en función de este valor, tabla 3.

Tabla 3.
Clasificación según el índice de Gravellius

Clase de Forma	Índice de Compacidad	Forma de la Cuenca
Clase I	1.0 A 1.25	Casi redonda a oval-redonda
Clase II	1.26-1.50	Oval-redonda a oval oblonga
Clase III	1.51 a más de 2	Oval-oblonga a rectangular-oblonga

Fuente: Campos, 1992 citado en (Villamontes O. et al, 2007)

2.4.4 Forma de forma

Horton en 1945 citado en (Rojo, 2008) propone este índice, el cual pretende medir que tan cuadrada o alargada es una cuenca hidrográfica, una de las principales aplicaciones es establecer cuan propensa la cuenca está frente a crecidas, es decir que si el factor de forma es bajo indica que la cuenca tiene una alta probabilidad que sufra crecidas todo lo contrario con un valor alto, en la tabla 4, se presenta la caracterización de la cuenca en función a este criterio.

Tabla 4.
Clasificación según el factor de Horton

Valores Aproximados	Forma de la cuenca
< 0.22	Muy alargada
0.22 – 0.30	Alargada
0.30 – 0.37	Ligeramente alargada
0.37 – 0.45	Ni alargada, ni ensanchada
0.45 – 0.60	Ligeramente ensanchada
0.60 – 0.80	Ensanchada
0.80 – 1.20	Muy ensanchada
> 1.20	Rodeando el desagüe

Fuente: (Rojo, 2008)

2.4.5 Pendiente de la cuenca

Es el valor medio del declive del terreno y de la inclinación respecto a la horizontal, influye directamente en el tiempo de concentración de las aguas en un mismo punto (Campos, 2017). Saavedra en 2001, considera que se puede clasificar a la cuenca en función de este parámetro según la tabla 5.

Tabla 5.
Tipo de pendiente de la cuenca

Pendiente en porcentaje	Tipo de terreno
2	Llano
5	Suave
10	Accidentado medio
15	Accidentado
25	Fuertemente accidentado
50	Escarpado
Mayor a 50	Muy escarpado

Fuente: Saavedra, 2001 citado en (Villamontes O. et al, 2007)

2.4.6 Pendiente del cauce

Es la relación entre el desnivel de alturas del cauce principal y la longitud del mismo, este parámetro indica la velocidad media de la escorrentía, su poder de arrastre e inclusive provee características sobre la erosión de la cuenca (IBAL, 2008), el valor obtenido describirá el rango asociado correspondiente a este criterio según la tabla 6.

Tabla 6.
Clasificación del cauce según su pendiente

Rango	Termino descriptivo
0 - 2	Plano o casi a nivel
2 - 4	Ligeramente inclinado
4 - 8	Moderadamente inclinado
8 - 15	Fuertemente inclinado
15 - 25	Moderadamente empinado
25 - 50	Empinado
50 - 57	Muy empinado
> 75	Extremadamente empinado

Fuente: (Anaya, 2012)

2.4.7 Orden de corrientes

Refleja el grado de bifurcación de la red de drenaje, ya que este cuenta con cauces de varias dimensiones

- Modelo de Horton

Clasifica a las cuencas por control gravitatorio y excluye a las cuencas determinadas de menor rango; considera entonces de primer orden, aquellas corrientes portadoras de agua que no tienen afluentes, cuando sus corrientes de orden n se unen, generan una corriente de orden $n+1$ (ver figura 3), considerando además que si una corriente llega a otra de diferente orden, se debe conservar el orden mayor (Ocampo, 2012).

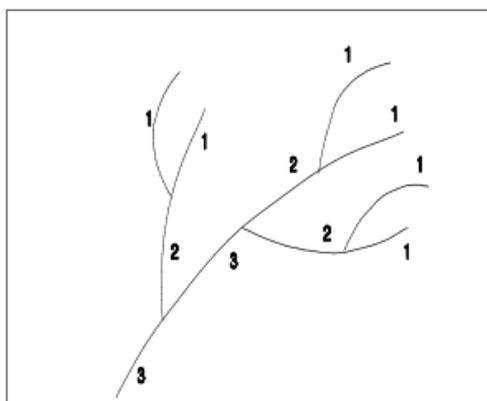


Figura 3. Estructura de Horton

Fuente: (Rojo, 2008)

2.4.8 Densidad de corrientes

Este índice describe la relación entre el número de corrientes y el área de la cuenca, es decir un valor alto es característico de una cuenca bastante ramificada, lo que provoca una menor recarga al acuífero, frente a una respuesta rápida a la entrada de lluvia (Martinez, 2009).

2.4.9 Densidad de drenajes

Indica la eficiencia de la red de drenaje, Monsalve en 2008, considera que las cuencas que alcancen densidades cercanas a $0.5 \text{ km} / \text{km}^2$, son aquellas con un drenaje pobre; mientras que las que alcance valores cercanos a $3,5 \text{ km} / \text{km}^2$, son bien drenadas (Ocampo, 2012).

2.5. Huella Hídrica

La Huella Hídrica es un indicador de uso del agua, en el que considera tanto el uso directo como indirecto, de un consumidor o productor. Se mide en términos de volumen de agua consumida o evaporada, que no retorna al medio y/o contaminada, por unidad de tiempo. Arjen Hoekstra en 2002, introdujo por primera vez el término “Huella Hídrica”, en la conceptualización de esta, consideró al agua como un suministro de interés para la población a nivel mundial.

Fue propuesto como una alternativa integral y multidimensional de asignación y apropiación del recurso hídrico. En la que sus componentes son geográfica y espacialmente definidos. Generalmente en un producto, la Huella Hídrica es considerada como el volumen de agua dulce utilizado para producir dicho producto, medido sobre toda la cadena de producción (Hoekstra, et al, 2011).

La representación esquemática de los componentes de la Huella Hídrica se presenta en la figura 4, en la cual muestra que la parte no consumida de la extracción de agua, devuelta a la cuenca, no es parte de la Huella Hídrica. Denota también que además de medir la extracción de agua, la Huella Hídrica incluye agua verde, azul y gris.

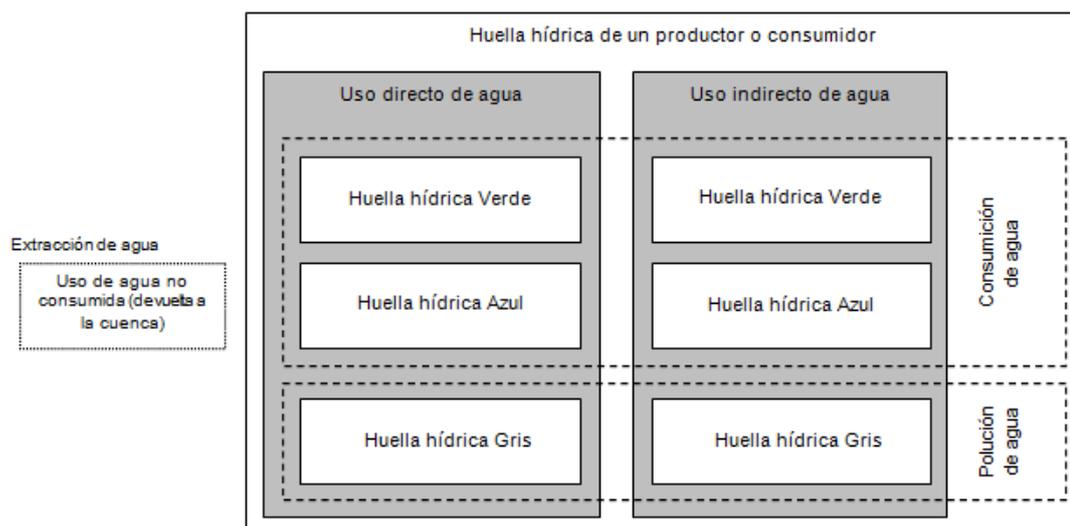


Figura 4. Componentes de la Huella Hídrica

Fuente: (Hoekstra, et al, 2011).

2.5.1 Huella Hídrica Azul

La Huella Hídrica Azul es un indicador consuntivo de agua dulce (Uribe, 2014), se refiere al consumo de recursos hídricos, agua azul (aguas superficiales y subterráneas), por un producto, a lo largo de la cadena productiva del mismo.

El uso “consuntivo” no indica que el agua desaparece, ya que este permanece en un ciclo y siempre retorna a algún lugar (Uribe, 2014). Por otra parte el término

“consumo” hace referencia a la pérdida del volumen agua disponible en la superficie del planeta, estas se producen cuando el agua se evapora, no regresa al área de captación del que fue extraído, se vierte al mar o se incorpora en un producto (Hoekstra, et al, 2011).

2.5.2 Huella Hídrica Verde

La Huella Hídrica Verde se refiere al volumen de agua de lluvia evaporada o incorporada en un producto. Este volumen hace referencia a la disponibilidad de agua verde (DAV) de los recursos naturales.

El agua verde.- Es el agua de lluvia que no se convirtió en escorrentía, ni en agua subterránea; esta agua esta almacena temporalmente como humedad en el suelo o en la vegetación (Hoekstra, et al, 2011).

El agua verde puede ser productiva en el crecimiento de cultivos, aunque no toda puede ser absorbida por ellos ya que siempre existirá evaporación del suelo y las condiciones en todas las épocas y zonas no son las mismas (Uribe, 2014).

2.5.3 Huella Hídrica Gris

La Huella Hídrica Gris se refiere al volumen de agua contaminada en un proceso, teóricamente se define como el volumen de agua necesaria para asimilar la carga de contaminantes, considerando las concentraciones naturales existente en el ambiente y las normas de calidad (Hoekstra, et al, 2011).

2.6. Huella Hídrica de un proceso

Se ha mencionada que la Huella Hídrica puede ser calculada para un proceso o producto, consumidores o productores en general, Sotelo et al, en 2011 explica que existen diferentes tipos de huellas hídricas y las caracteriza como (Uribe, 2014).

- Huella Hídrica de un proceso: Considerado como el elemento básico para calcular la Huella Hídrica, esta equivale a sumar las etapas necesarias para producirlo, considerando toda la cadena de produccion y susministros.

- Huella Hídrica de un consumidor: Es igual la suma de Huella Hídrica de todos los productos consumidos por él, si se considera a varios consumidores, el equivalente sera la suma de Huella Hídrica de cada miembro.
- Huella Hídrica de una empresa: Equivale a la suma de Huella Hídrica de los productos finales o transformafos que produce.
- Huella Hídrica de un area geografica definida: Considera la suma de huellas hídricas de todos los procesos inmersos en el área determinada, las zonas que pueden ser consideradas son: cuenca hidrografica, una ciudad, un municipio o pais).
- Huella Hídrica total: Es la suma de la buella hídrica de todos los bienes y servicios consumidos anualmente.

2.7. Evaluación de la Huella Hídrica

Es considerado como la actividad que cuantifica y localiza la Huella Hídrica de un consumidor, producto o proceso en una zona geográfica y temporalmente definida. Esta evaluación es una herramienta de análisis, en la que además de cuantificar, pretende dar las pautas para comprender la interrelación entre las actividades humanas y el consumo de agua (Hoekstra, et al, 2011).

El evaluar la Huella Hídrica permite formular estrategias de respuesta frente al consumo y disposición del agua (CTA, 2013). En términos generales, el principal objetivo de la evaluación es analizar como las actividades humanas influyen en la escasez del agua y su contaminación, y así generar alternativas que den un mejor uso al agua. Una correcta evaluación de la Huella Hídrica está compuesta por cuatro fases distintas, figura 5.

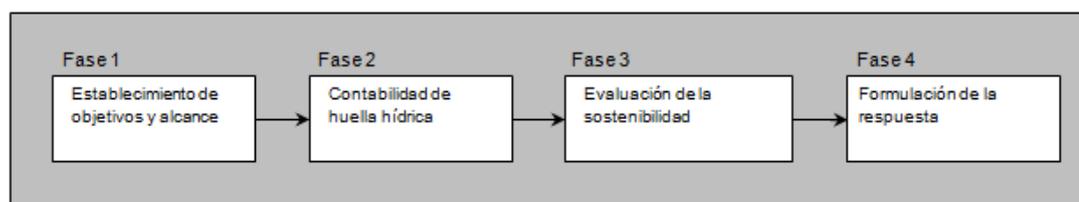


Figura 5. Fases de evaluación en la Huella Hídrica

Fuente: (Hoekstra, et al, 2011).

- Fase 1.- Se contempla la definición de objetivos buscados, el propósito del estudio, el alcance de aplicación, en concreto los límites del estudio.
- Fase 2.- Se recopila los datos según el grado de interés y se cuantifica la Huella Hídrica íntegramente.
- Fase 3.-Se evalúa a la Huella Hídrica desde una perspectiva sostenible, considerando los enfoques ambiental, económico y social.
- Fase 4.- Se formulan respuestas y estrategias a los resultados encontrados en las fases anteriores.

2.8. Sostenibilidad

“La sostenibilidad es un paradigma para pensar en un futuro en donde las consideraciones ambientales, sociales y económicas están equilibradas en la búsqueda de una mejor calidad de vida” (UNESCO, 2010).

Muchas veces se tiende a considerar como sinónimos a la sostenibilidad y desarrollo sostenible, la diferencia prácticamente radica en que a la sostenibilidad se la considera como una meta a largo plazo, mientras que el desarrollo sostenible se refiere a los muchos procesos y medios para lograr esta meta (UNESCO, 2010).

Desarrollo sostenible.- La Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo en su primer informe “Nuestro Futuro Común” conocido también como informe Brundtland publicado en 1987, introduce por primera vez el concepto de desarrollo sostenible como:

“Aquel que permite satisfacer las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades” (CMMAD, 1987).

2.8.1 Sostenibilidad de la Huella Hídrica

Ofrece una visión del agua distinta a la tradicional, permite identificar impactos sobre el recurso hídrico a causa de los hábitos de consumo de poblaciones en unidades geográficas específicas (Arévalo , Lozano, & Sabogal, 2011).

Por lo tanto, la sostenibilidad de la Huella Hídrica de un producto o sistema depende de; la sostenibilidad de las huellas hídricas de los componentes o etapas que lo conforman, se considera entonces sostenible cuando la Huella Hídrica del proceso o sistema, se reduce o en su defecto se elimina (Uribe, 2014).

2.8.2 Sostenibilidad de la Huella Hídrica de una cuenca hidrográfica

Hoekstra, et al, 2011 propone que para evaluar la sostenibilidad en una cuenca hidrográfica se deben considerar estos cuatro pasos fundamentales:

1. Criterios de sostenibilidad.- La sostenibilidad contempla tres dimensiones; ambiental, social y económica

- Sostenibilidad ambiental

Considera que los caudales de los ríos, el agua subterránea y la calidad de los mismos deben permanecer dentro de ciertos límites, estándares y normativas establecidas por la autoridad correspondiente, con el fin de mantener el equilibrio en los ecosistemas. Ya que la competencia por el recurso hídrico entre las actividades humanas y el ambiente se vuelve insostenible, cuando el uso del agua en las necesidades ambientales es excedido por las actividades productivas, y el cuerpo receptor pierde la capacidad de asimilación de contaminantes generadas a partir de dichas procesos.

- Sostenibilidad social

Denota que las necesidades humanas básicas deben tener una asignación de agua mínima para ser satisfechas. Si las necesidades del medio ambiente y las necesidades humanas básicas están cubiertas, se podrá asignar una fracción de agua que está disponible a otros bienes no básicos.

- Sostenibilidad económica

Sostiene que los beneficios de la Huella Hídrica que resulten de destinar el agua para un determinado fin, deben sobrepasar el costo total asociado a esta Huella Hídrica (CTA, 2013), de lo contrario denotara insostenibilidad económica.

2. Hostspost.- Define a los lugares y periodos de tiempo en que la Huella Hídrica es insostenible, ya que este inconveniente generalmente conlleva problemas como la escasez y la contaminación del agua.
3. Impactos primarios.- Describen los cambios primarios de flujo del agua, su calidad o cualquier variación presentado en el cuerpo hídrico que cambie las condiciones naturales del medio.
4. Impactos secundarios.- Indican los productos o servicios que han sido afectados debido a los impactos primarios, pueden ser cambios o pérdidas en la biodiversidad o efectos nocivos a la salud, entre otros (Uribe, 2014).

2.9. Marco legal

La presente investigación está fundamentada en la siguiente normativa:

CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR (REGISTRO OFICIAL 449, OCTUBRE 2008)

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”.
- **Art. 15.-** El estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzara en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectara el derecho al agua.

Capítulo Séptimo, Derechos de la Naturaleza

- **Art. 71.-** La naturaleza o pacha mama, donde se produce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.
- **Art. 72.-** La naturaleza tiene derecho a la restauración.

- **Art. 73.-** El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales.
- **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.

Título V, Organización Territorial del Estado

Capítulo Cuarto, Régimen de Competencias

Art. 263.- Los gobiernos provinciales tendrán las siguientes competencias exclusivas, sin perjuicio de las otras que determine la ley:

- **3.** Ejecutar, en coordinación con el gobierno regional, obras en cuencas y micro cuencas.
- **6.** Fomentar la actividad agropecuaria.
- **7.** Fomentar las actividades productivas provinciales.

Art. 264.- Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley:

- **2.** Ejercer el control sobre el uso y ocupación del suelo en el cantón.
- **4.** Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley.
- **12.** Regular, autorizar y controlar la explotación de materiales áridos y pétreos, que se encuentren en los lechos de los ríos, lagos, playas de mar y canteras.

Título VII, Régimen del Buen Vivir

Sección Sexta, Agua

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

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

PLAN NACIONAL DEL BUEN VIVIR (2013-2017)

Objetivo 3. Mejorar la Calidad de Vida de la Población

- **Política 3.10.-** Garantizar el acceso universal, permanente, sostenible y con calidad a agua segura y a servicios básicos de saneamiento, con pertinencia territorial, ambiental, social y cultural

Objetivo 7. Garantizar los Derechos de la Naturaleza y Promover la Sostenibilidad Territorial y Global

- **Política 7.6.-** Gestionar de manera sustentable y participativa el patrimonio hídrico, con enfoque de cuencas y caudales ecológicos para asegurar el derecho humano al agua.

Objetivo 10. Impulsar la Transformación de la Matriz Productiva

- **Política 10.4.-** Impulsar la producción y la productividad de forma sostenible y sustentable, fomentar la inclusión y redistribuir los factores y recursos de la producción en el sector agropecuario, acuícola y pesquero.

NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL, TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE (TULSMA); RECURSO AGUA, LIBRO VI, ANEXO 1 (MAE, 2015)

- Es la norma ambiental ecuatoriana que establece los límites máximos permisibles, disposiciones y prohibiciones para descargas en los cuerpos de agua y/o alcantarillado.
- Instituye criterios de calidad de las aguas en sus distintos usos.
- Instaure métodos y procedimientos para determinar y mitigar la presencia de contaminantes en el agua.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. Huella Hídrica

La Huella Hídrica permite evaluar el uso del agua, como un indicador multidimensional que muestra los consumos de agua según su origen y los volúmenes requeridos para la asimilación de la contaminación generada.

La metodología general en la que este trabajo está basado, es en las fases descritas en el manual “The Water Footprint Assessment” de Hoekstra et al., 2011 citado en (CTA, 2013), misma que fue particularizada y complementada para un contexto local y aplicada a diferentes sectores productivos.

En el siguiente esquema, figura 5, describe el proceso de cuantificación utilizado de forma general dentro de la microcuenca, en el cual establece como punto prioritario; los procesos que ocurren dentro de la misma.

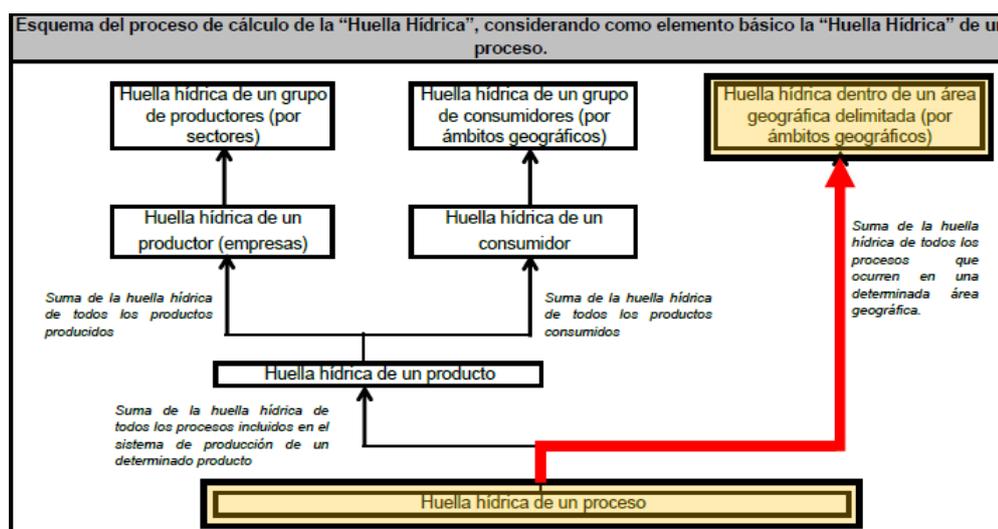


Figura 6. Esquema conceptual de aplicación de la Huella Hídrica

Fuente: CTA, 2013

El esquema planteado permitió cuantificar de manera clara los diferentes componentes de la Huella Hídrica de los sectores económicos. Se analizó los procesos inmersos que generan cinco sectores presentes en la microcuenca; agropecuario, doméstico, industrial, energético y minero.

La forma de evaluación de la Huella Hídrica en una cuenca hidrográfica viene dada por la ecuación 3.

$$HH = \sum_i HH_{procesos} (i) \quad (3)$$

Donde;

- HH= Huella Hídrica

Los componentes de la Huella Hídrica son explícitos temporal y geográficamente, ya que evalúa tres elementos, cada uno de ellos denominado huella y diferenciado por un color; azul, verde y gris. Pudiendo ser calculados de uno a tres componentes según el origen y factores asociados al sector.

3.1.1. Huella Hídrica Verde

La Huella Hídrica Verde, se refiere al consumo de agua almacenada en el suelo, proveniente de la precipitación que no se convirtió en escorrentía sino que se incorporó en los productos agrícolas. Esta huella exclusivamente se determinó para el sector agrícola y pecuario, aplicando el modelo de simulación agronómico Cropwat 8.0 de la FAO (Food and Agriculture Organization).

3.1.2. Huella Hídrica Azul

La Huella Hídrica Azul, se refiere al consumo de agua extraída de una fuente superficial o subterránea, que no vuelve a la cuenca hidrográfica de la cual fue retirada. Esta huella está presente en el sector agrícola por el agua consumida que es abastecida mediante riego, para lo cual esta se estimó utilizando el modelo FAO de simulación

agronómica Cropwat 8.0, y para los sectores que tienen procesos no asociados a la agricultura, la estimación se realizó considerando el volumen del agua evaporada o incorporada en sus cadenas de producción.

3.1.3. Huella Hídrica Gris

La Huella Hídrica Gris se refiere, al volumen de agua dulce necesario para asimilar la carga de contaminantes, por parte de un cuerpo receptor, tomando como referencia los límites máximos establecidos en una norma, para el contexto local se consideró al Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (MAE, 2015) libro VI anexo 1 (ver anexo 1).

En este estudio se calculó la Huella Hídrica Gris en función de los contaminantes, Nitrógeno y Fósforo total en los sectores agrícola y pecuario, Sólidos Suspendidos Totales (SST), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅) para los sectores minero y doméstico respectivamente, considerando siempre el mayor valor como determinante de la capacidad de asimilación del río, en este cálculo se aplicó la ecuación 4.

$$HG = \frac{C \text{ cont} \cdot Q}{C_{\text{max}} - C_{\text{nat}}} \quad (4)$$

Donde;

- HG= Huella Hídrica Gris
- C cont= concentración del contaminante evaluado
- C max= Concentración máxima permisible del contaminante según normas de calidad ambiental del agua.
- C nat= Concentración natural del contaminante en el cuerpo receptor.

3.2. Fases de evaluación de la Huella Hídrica

La Huella Hídrica se evaluó multisectorialmente, para lo cual definió tres fases, descritas en la figura 7, con el fin de categorizar los procesos inmersos en cada etapa.

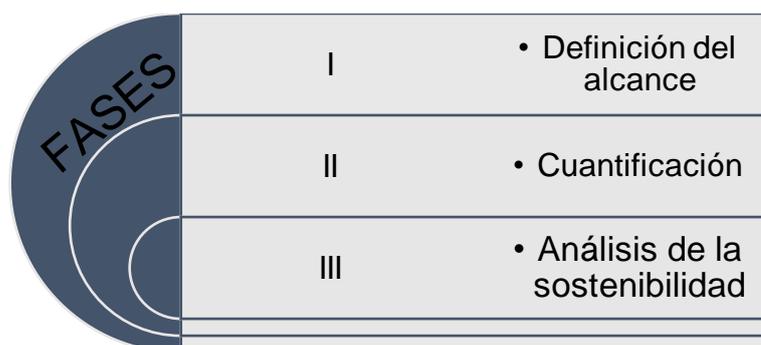


Figura 7. Fases de evaluación en la Huella Hídrica

La fase I, establece el alcance de aplicación y los objetivos deseados, es decir la dimensión espacial, temporal, indicadores, los límites y procesos que sean de interés para la cuantificación. Este proceso se lo desarrolló íntegramente en la primera parte de esta investigación (capítulo 1), en el cual se detalló cada una de estos ítems. Por ende en este apartado solo se especificara la recopilación de información base.

Para el proceso de cuantificación y análisis de sostenibilidad de la Huella Hídrica, fase II y III, fue necesario crear una base de datos con información clave, con sus fuentes respectivamente, en la que se organizó la información generada y obtenida gradualmente durante todas las etapas de evaluación.

3.3. Fase I: Definición del alcance de evaluación de la Huella Hídrica

3.3.1. Recopilación de información

La información se recolecto de dos fuentes; como fuente primaria fueron los datos levantados en campo, mismos que se especificarán en el ítem correspondiente, ya que dicha información fue precisa y específica para ciertos incisos. La fuente secundaria

fue emitida por entidades oficiales específicamente del sector, afines al tema a tratar como: IGM, INAMHI, SENAGUA, INEC.

Información primaria.- La evaluación de la Huella Hídrica implicó en ciertos casos, obtener información puntual de ciertos parámetros y criterios propios de la zona de estudio, por lo cual se realizó dos salidas de campo en el que se recolectó muestras a lo largo del río, tanto de agua como de suelo, se fijó cinco puntos específicos que se detallan en la tabla 7.

Tabla 7.
Puntos de muestreo

Código	Coordenadas UTM 17 S		Altura m.s.n.m.	Cantón	Sector
	ESTE	NORTE			
G1	788115.03	9935861.48	4136	Mejía	Tambopaxi
G2	786165.03	9937309.57	4021	Mejía	El provenir
G3	786882.28	9949659.21	3082	Rumiñahui	San Antonio
G4	789303.67	9959139.81	2677	Quito	San francisco
G5	783723.94	9966302.97	2594	Quito	Playa Chica

Se muestra en la figura 8, la ubicación geográfica de los 5 puntos de muestreo.

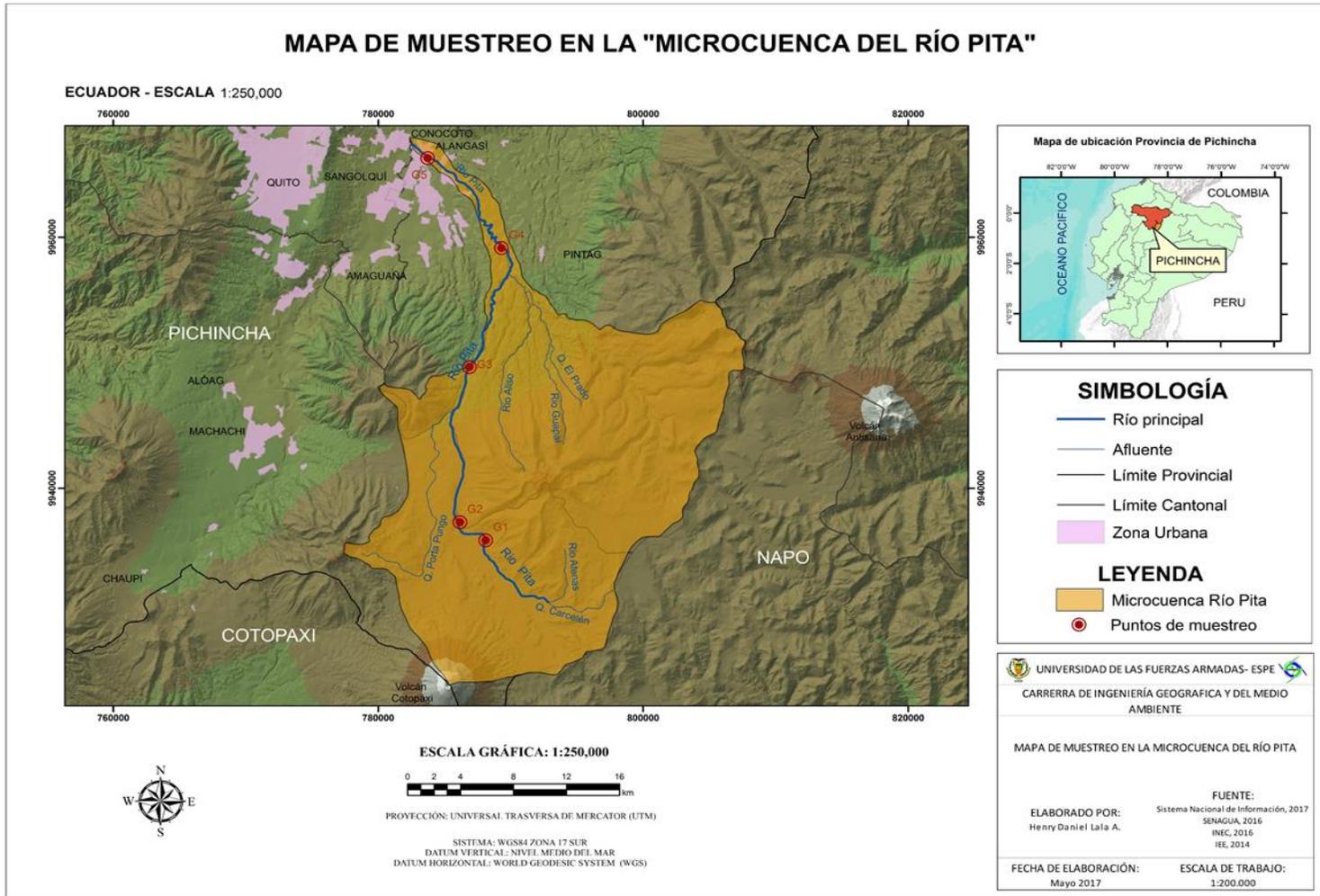


Figura 8. Puntos de muestreo

Estos puntos se determinaron en función de los siguientes criterios:

- **Accesibilidad.**- Se estableció lugares con fácil acceso tanto vehicular como peatonal, además de que sus alrededores y las condiciones climatológicas garanticen la seguridad del equipo responsable del muestreo, minimizando así cualquier tipo de incidente.
- **Representatividad.**- El punto de recolección de la muestra fue lo más representativo posible, caracterizando el cuerpo de agua para la zona, esto significa que debió ser homogéneo en su turbulencia, apariencia y velocidad (CELEC, 2011).
- **Confluencia.**- Se estableció que la toma de muestras se realizará después de la confluencia de 2 o más afluentes naturales, de cada lado de la ribera del río en la misma zona al cauce principal, esto basado en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2226:2000 primera edición.

3.3.2. Muestreo

Las condiciones físicas y químicas del Río Pita, fueron levantadas en campo, se precisó 2 salidas de campo con un intervalo de 8 días entre salida, en las cuales se identificó los parámetros asociados a un periodo de tiempo definido; en este caso se caracterizó al cuerpo de agua en el mes de febrero 2017, procedimiento que se fundamentó en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2226:2000 primera edición.

– Tipo de muestreo

Las muestras se las recogió de forma manual, a una profundidad específica en el afluente sin que este choque con el estrato. Este método se lo denomina muestreo puntual y se fundamenta en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2176:2013 primera edición.

– Manejo y conservación de la muestra

La Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169:2013 primera edición, establece las debidas precauciones que se debe tomar referente al tipo de envase, y las condiciones de temperatura a la que la muestra estará sometida durante el transporte al laboratorio.

La determinación de los parámetros se realizó el mismo día, no se utilizó preservante alguno y en forma general se utilizó botellas de plástico PET y de vidrio, mismas que fueron trasportadas en un cooler a 4°C cumpliendo así la cadena de custodia respectiva (INEN, 2013).

– Grupos de muestreo

El personal técnico que efectuó la toma de muestras, estuvo conformado por el grupo de estudiantes de la catedra de Edafología periodo 2016-2017 de la carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente, los cuales fueron capacitados previamente, reforzamiento así criterios metodológicos en las distintas actividades que se realizó.

Fueron 30 personas capacitadas, que se los organizo en cinco grupos de seis personas cada uno, y estos grupos a su vez se dividieron en cuatro subgrupos, quedando de la siguiente manera: dos personas para muestrear agua, dos personas para muestrear suelo, dos personas para recoger la muestra de suelo y dos personas para analizar la muestra de agua y suelo, por cada grupo y por cada punto (ver anexo 2).

3.3.3. Parámetros físico-químicos de agua.

La caracterización físico-química se basó en los parámetros señalados en la Metodología de Evaluación de Huella Hídrica, establecida por el Centro de Ciencia y Tecnología (CTA), para el caso de estudio en la cuenca del Río Porce en Antioquia – Colombia, específicamente en el apartado Huella Hídrica Agropecuaria (CTA, 2013), además de otras pruebas básicas que caracterizaran al río, (ver la tabla 8), estas mediciones se las realizó en dos fases; análisis en campo y análisis en laboratorio.

Tabla 8.
Parámetros físico - químicos caracterizados

Parámetro	Tipo de Análisis
pH	Campo
Temperatura	Campo
Caudal	Campo
DBO5	Laboratorio
DQO	Laboratorio
Sólidos Totales	Laboratorio
Nitrógeno	Laboratorio
Fosforo Total	Laboratorio

Fase de campo.- Estos parámetros se realizó “in situ” esto para evitar que no existan variaciones en el valor medido.

Fase de laboratorio.- Estas mediciones se las realizaron en el laboratorio de Medio Ambiente de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

Cada parámetro está asociado a una prueba y esto a un método de determinación estandarizado, mismos que serán descritos en los siguientes ítems. Por cada parámetro se realizó 3 repeticiones en la determinación de este, esto sirvió para reforzar la confianza en que la prueba dio resultados fiables, ya que aumenta considerablemente en comparación con el resultado de una sola muestra.

– Determinación del pH

Este parámetro se realizó in situ, para lo cual se utilizó un potenciómetro marca HQ 40d Hach con electrodos de vidrio, previamente calibrado con soluciones estándar Buffer de pH 4, 7 y 10.

– Determinación de la Temperatura

El potenciómetro marca HQ 40d Hach, se lo utilizó para medir este parámetro ya que cuenta con la opción de medición de temperatura.

– Determinación del Caudal

El procedimiento que se maneja fue el flotador, este método utiliza valores promedio de las variables determinadas, como flotador se utilizó un limón. Se delimitó un tramo del río en el punto muestral de preferencia, que tenga una distancia en el orden de los 10 metros sin interferencia y se determinó el tiempo que se demora el flotador en llegar, del punto inicial al punto final del tramo de los 10 metros definidos, se realizó varias repeticiones y se calculó el promedio para determinar la velocidad media en función de la ecuación 5.

$$Vm = \frac{d}{t} \quad (5)$$

Donde;

- V_m = velocidad media (m/s).
- d = distancia del tramo en (m).
- t = tiempo promedio determinado con el flotador en (s).

El área transversal se lo obtuvo al medir el ancho del río y la profundidad del mismo, teniendo en consideración las mediciones del centro y los laterales, se realizó repeticiones, se promedió los valores obtenidos y se obtuvo el área transversal mediante la ecuación 6.

$$At = a \times hp \quad (6)$$

Donde;

- A_t = área transversal en m^2 .
- a = ancho del río en (m).
- h_p = profundidad media en (m).

Para obtener el caudal mediante este método se aplicó la ecuación 7.

$$Q = At \times Vm \quad (7)$$

Donde;

- Q= caudal en (m³/s).
- At= área transversal en (m²).
- Vm= velocidad media en (m/s).

Cabe mencionar que el valor obtenido únicamente describe el caudal en la fecha y hora de medición.

– Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

El método APHA 5210 B establece el llenado de la muestra diluida y sembrada en una botella hermética de 300 ml, se realizó gemelos de todas las muestras. Las mismas que fueron divididos en dos grupos a y b, el grupo a, se las incubo a 20° C ± 1°C durante 5 días. El grupo b no fue incubado y se midió el oxígeno disuelto (OD) mediante el método winkler, posterior a la incubación del grupo a se realizó el mismo procedimiento para oxígeno disuelto, la DBO₅ se la calculó mediante la ecuación 8.

$$DBO_5 = F(T0 - T5) - (F - 1)(D0 - D5) \quad (8)$$

Donde;

- F= Factor de dilución
- T0= Contenido de OD en mg/l de una dilución al principio del ensayo.
- T5= Contenido de OD en mg/l de una dilución al cabo de 5 días del ensayo.
- D0= Contenido de OD en mg/l del agua de dilución al principio del ensayo.
- D5= Contenido de OD en mg/l del agua de dilución al cabo de 5 días.

Cabe mencionar que el valor obtenido siempre será menor o igual al valor de la DQO.

– Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO)

El método APHA 5220 D establece los criterios para esta prueba, se precalentó el digestor a 150°C y se homogenizó la muestra durante 2 minutos.

Se quitó la tapa del vial COD comercial y se añadió 2.5 ml del blanco (agua destilada), de la muestra y además del estándar solución biftalato de potasio para hacer la curva de calibración, ya que esta solución tiene una DQO teórica de 500 ppm; se realizó las siguientes diluciones a partir de esta solución madre: 10, 50, 100, 200, 300 y 400 ppm.

Se cerró herméticamente con la tapa y se agitó en el Vórtex, se llevó al digestor previamente calentado a una temperatura de 150° C durante dos horas. Transcurrido este tiempo se dejó enfriar a temperatura ambiente hasta que el precipitado sedimente, se procedió con las lecturas de la absorbancia en el espectrofotómetro DR 5000 HACH, y mediante la curva de calibración se obtuvo los valores de DQO.

– Determinación de Sólidos Suspendedos Totales (SST)

El método APHA 2540 D cuantifica los SST mediante el incremento de peso que experimenta un filtro de fibra de vidrio, tras la filtración al vacío y posterior secado en una estufa a 105°C.

El filtro se lo puso en una caja Petri y se secó una hora a 105°C en una estufa, se lo dejó en el desecador hasta que se enfrió, se lo pesó. El filtro se lo puso en la bomba de filtración con la cara rugosa hacia arriba del embudo de filtrado, con un balón aforado se colocó 250 ml de muestra sobre el embudo y se inició la filtración al vacío, se lavó con 20 ml de agua destilada hasta eliminar cualquier sobrante de agua.

Se quitó con dos pinzas el filtro del embudo de filtración y se lo colocó en la caja Petri, se ubicó en la estufa nuevamente a 105°C durante una hora, y posterior al desecador hasta que se enfrió; se lo pesó nuevamente y se registró el valor. Los sólidos suspendidos totales se calculan en función de la ecuación 9.

$$SST = \frac{(B - A) \times 1000}{\text{volumen de la muestra en ml}} \quad (9)$$

Donde;

- SST= solidos suspendidos totales (mg/l).
- A= peso del crisol + filtro seco (g).
- B= peso del crisol + filtro evaporado (g).

Cabe mencionar que la muestra debe estar homogenizada antes de ser vertida en los filtros.

– Determinación de Nitrógeno Total

En la determinación de Nitrógeno Total se utilizó el método de digestión con persulfato, mediante el procedimiento realizado con viales TNT 827 plus HR (Método 10208 de Hach), en rango de 5-40 mg/l N.

– Determinación de Fósforo Total

El Fósforo Total se halló utilizando el método del ácido ascórbico, mediante el procedimiento con viales TNT 845 plus HR (Método 10210 de Hach), en rango de 2-20 mg/l PO₄-P y 6-60 mg/l PO₄.

3.3.4. Parámetros físicos de suelo

La caracterización del estrato superficial de suelo, se realizó en las mismas 5 zonas muestreadas, donde se identificó las principales características físicas del suelo, según las guías metodológicas FAO, peculiaridades que son indispensables como variables de entrada en el software CROPWAT 8.0, de la FAO para el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos, como parte del proceso de cuantificación de la Huella Hídrica agropecuaria Verde y Azul. Este método de estimación es señalado en la Metodología de Evaluación de Huella Hídrica, establecida por el CTA, en el apartado Huella Hídrica Agropecuaria (CTA, 2013).

3.3.5. Información cartográfica

La información cartográfica se obtuvo en el sistema de referencia WGS84-UTM 17S, en formato shapefile; la fuente, escala y año se detalla en la tabla 9.

Tabla 9.
Fuentes de información cartográfica

Cobertura	Fuente	Escala	Año
Unidades hidrográficas nivel 5	SENAGUA	1:50000	2014
Cartografía base	IGM	1:50000	2012
Hidrografía	INAMHI	1:50000	2016
Provincias	INEC	1:50000	2012
Cobertura del suelo	IEE	1:25000	2014
Uso del suelo	IEE	1:25000	2014

La información mencionada se complementó con las 6 cartas topográficas del IGM, escala 1:50000 para el año 2012 en formato shapefile, se utilizan cuando existan vacíos de información, y se muestran a continuación en la tabla 10.

Tabla 10.
Cartas topográficas

Carta / Código	Fuente	Escala	Año
Cotopaxi (CT-ÑIII-F1, 3991-IV)	IGM	1:50000	2012
Machachi (CT-ÑIII-C4, 3892-II)	IGM	1:50000	2012
Papallacta (CT-ÑIII-D2, 3992-I)	IGM	1:50000	2012
Pintag (CT-ÑIII-D1, 3992-IV)	IGM	1:50000	2012
Sangolquí (CT-ÑIII-B3, 3993-III)	IGM	1:50000	2012
Sincholagua (CT-ÑIII-D3, 3992-III)	IGM	1:50000	2012

3.3.6. Caracterización morfológica de la microcuenca

Es necesario establecer ciertos parámetros propios de la zona de estudio, ya que son base fundamental para la evaluación de los recursos que interviene en este proyecto, en este caso se realizó la caracterización morfológica de la microcuenca del Río Pita.

Esta caracterización procura establecer la interrelación de los factores hídricos, el clima y el terreno dentro de una cuenca como: el área, la forma, la pendiente, las características del drenaje y del cauce principal. Estas particularidades físicas se relacionan profundamente en el comportamiento hidrológico de dicha zona permitiendo así una transferencia de información dentro de la misma (Guerrero, 2015).

Para determinar dichos parámetros se aplicaron fórmulas planteadas por diferentes autores, tomando en consideración la información cartográfica antes mencionada y tratada en un Sistema de Información Geográfica (GIS), además los valores obtenidos se los interpretó en función a las tablas anexas a cada ítem.

– Área de la microcuenca (Ac)

Es la proyección horizontal de toda el área de drenaje de la microcuenca, dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. Según SENAGUA la microcuenca del Río Pita es una unidad hidrográfica N° 5 en función a la metodología Pfafstetter aplicada para delimitación de cuencas en el país, por lo que para el cálculo se tomó el shapefile Unidades_hidrográficas_nivel_5 escala 1:50000 publicado por dicha entidad para el año 2014 y mediante un Sistema de Información Geográfica (GIS) se obtuvo el área de la microcuenca.

– Perímetro de la microcuenca (P)

Es la longitud del contorno que delimita el área de la microcuenca. Para el cálculo se tomó el shapefile Unidades_hidrográficas_nivel_5 escala 1:50000 del año 2014 y mediante un Sistema de Información Geográfica (GIS) se obtuvo el perímetro de la microcuenca.

– Índice de compacidad o coeficiente de Gravellius (Kc)

Se establece como la relación equivalente entre el perímetro de la microcuenca (P) y el perímetro de un círculo de área (A). Para el cálculo de dicho índice se aplicó la ecuación 10.

$$Kc = \frac{0.28 \times Perimetro}{\sqrt{Area}} \quad (10)$$

Donde;

- Kc= índice de compacidad
- P= perímetro de cuenca en (km)
- A= área de la cuenca en (km²)

– Factor de forma método de Horton

Este factor relaciona el área de la microcuenca (A) y la longitud axial (L) de la misma, para el cálculo se aplicó la ecuación 11, donde la longitud axial es medida desde la salida hasta el límite del cauce a lo largo de una línea recta, para calcular esta longitud se utilizó el shapefile Hidrografía escala 1:50000 publicado por el INHAMI para el año 2016 y mediante un Sistema de Información Geográfica (GIS) se trazó la línea recta sobre el cauce principal obteniendo así dicho valor.

$$Kf = \frac{A}{L^2} \quad (11)$$

Donde;

- Kf= factor de forma.
- A= área de la cuenca en (km²).
- L= longitud de la cuenca o longitud axial en (km)

– Pendiente de la microcuenca

Se aplicó el Método de Alvord que define la ecuación 12, para lo cual se utilizó las curvas de nivel de las 6 cartas topográficas detalladas en la tabla 10, y mediante un Sistema de Información Geográfica (GIS) se realizó la sumatoria de las curvas dentro de la microcuenca y se determinó el desnivel de la misma.

$$Sc = \frac{D \cdot \sum L}{A} \quad (12)$$

Donde;

- Sc= Pendiente de la cuenca.
- L= Longitud de las curvas de nivel en (km).
- D= Desnivel entre las curvas de nivel (km).
- A= Área de la cuenca (km²).

– Pendiente del cauce principal (ms)

Es la relación entre el desnivel que hay en los dos extremos del cauce y su longitud, para determinar la pendiente se aplicó la ecuación 13, se utilizó las curvas de nivel de las 6 cartas topográficas antes mencionadas y mediante un Sistema de Información Geográfica (GIS) se obtuvo la cota mayor y menor dentro de la microcuenca, además se utilizó el shapefile Hidrografía y se determinó la longitud del cauce principal.

$$ms = \frac{H \max - H \min}{Lp} \quad (13)$$

Donde;

- H max= cota máxima (m).
- H min= cota mínima (m).
- Lp= longitud del cauce principal (m)

– Orden de corrientes

Es el sistema jerárquico de los cauces que confluyen unos en otros hasta bifurcarse en uno principal. Se procedió a cuantificar y estratificar mediante el siguiente sistema:

1. Orden 1.- no tiene afluentes.
2. Orden 2.- es la unión de dos corrientes de orden 1.
3. Orden 3.- es la unión de 2 corrientes de orden 2, así hasta el orden n.

– Densidad de corrientes (Dc)

Para determinar se aplicó la ecuación 14, donde el número de corrientes se calculó mediante la sumatoria total de los afluentes en cada orden determinado anteriormente.

$$Dc = \frac{Nc}{A (km^2)} \quad (14)$$

Donde;

- Dc= Densidad de corrientes.
- Nc= Número de corrientes.
- A=Área de la microcuenca en (km²).

– Densidad de drenaje (Dd)

Se determinó mediante la ecuación 15, para determinar la longitud de las corrientes dentro de la microcuenca se procedió con el shape Hidrología del INHAMI y un Sistema de Información Geográfica (GIS) a cuantificar la longitud total de estas.

$$Dd = \frac{Lt}{A (km^2)} \quad (15)$$

Donde;

- Dd= Densidad de drenaje.
- Lt= Longitud total de las corrientes en el interior.
- A=Área de la microcuenca en (km²).

– Curva Hipsométrica

Llamas, 1993 citado en (Anaya, 2012) considera que es la representación gráfica de la variación altitudinal, en la cual la curva traza el porcentaje de área de la microcuenca sobre una determinada curva de nivel. Como se observa en la figura 9, la curva puede tomar tres tipos de formas

1. Fase de juventud (cuenca con gran potencial erosivo).
2. Fase de madurez (cuenca en equilibrio).
3. Fase de vejez (cuenca sedimentaria).

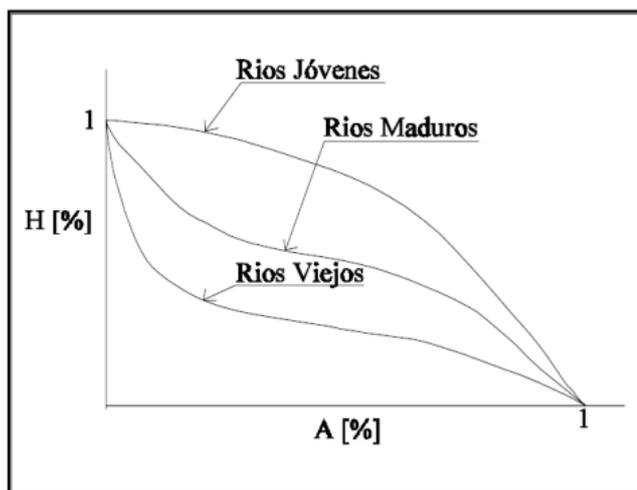


Figura 9. Clasificación del río de acuerdo a su curva

Fuente: (Anaya, 2012)

Para encontrar la curva hipsométrica se utilizó las curvas de nivel de las cartas topográficas dentro de la microcuenca y mediante un Sistema de Información Geográfica (GIS) se realizó el procedimiento para determinarla.

3.3.7. Información socioeconómica

El criterio metodológico para describir el módulo socioeconómico de la microcuenca parte del sustento de las guía metodológicas “Guías FAO: conservación” específicamente la N° 13, donde da las pautas para desarrollar los componentes e

indicadores que formarán parte del contenido de este análisis social y económico, al que se refiere como:

“El contenido de un estudio socioeconómico abarca un vasto conjunto de condiciones sociales y actividades económicas en una cuenca hidrográfica y estas dependen de las necesidades del proyecto” (FAO, 1992).

La información necesaria se tomó del censo de población y vivienda realiza por el INEC en el año 2010, además de los planes de ordenamiento territorial de los tres cantones en los que la microcuenca forma parte: Quito, Mejía y Rumiñahui, a su vez para información más específica se apoyó en los planes de ordenamiento territorial de las cinco parroquias de las cuales la cuenca es parte Pintag, Rumipamba, Machachi, Sangolquí y Alangasí.

– Demografía

El análisis demográfico se planteó desde un marco referencial teórico, es decir que se dividió a la microcuenca en función de los límites administrativos de las parroquias que están inmersas en esta, y posterior se tomó la información de estas mismas para realizar la unificación demográfica de la zona. Se consideró el shapefile Provincias y Unidades_hidrografias_nivel_5 detalladas en la tabla 9 y se realizó el cruce de capas en un Sistema de Información Geográfica (GIS) para obtener el detalle de las zonas.

– Densidad poblacional

El INEC en base al censo nacional de población y vivienda del 2010, ha cuantificado y estratificado la población de las parroquias inmersas en la microcuenca por lo que se descargó del sistema integrado de consultas (REDATAM) dichos valores.

– Población

El método señalado se basa en establecer la superficie a partir de los límites parroquiales y al haber obtenido la densidad poblacional de dichas parroquias se determinó la población en función de la ecuación 16. Al final se realizó la sumatoria total y se determinó la población teórica en toda la microcuenca.

$$Dp = \frac{Poblacion}{Superficie} \quad (16)$$

Donde;

- Dp= Densidad poblacional (hab/km²).
- Población= # de personas en un espacio delimitado.
- Superficie=Área en (km²).

– Crecimiento poblacional

La proyección poblacional a nivel parroquial, se tomó del INEC publicada para el año 2017 y se determinó la densidad poblacional de estas según la ecuación 16, se relacionó con las áreas de las parroquias inmersas en la microcuenca y se procedió de manera similar a determinar el número de personas estimada para este año, y por ende el crecimiento poblacional en función de dichas proyecciones.

– Información económica

La información se la obtuvo del Censo nacional económico del 2010, realizado por el INEC, y se complementó con los datos obtenidos en los planes de ordenamiento territorial parroquiales, en los que esta información apareció mucho más detallada; en función de las características propias de la zona y de los pobladores.

– Principales actividades económicas y sectores económicos

Las principales actividades económicas de la zona se las determinó a partir de características propias del territorio detalladas en los planes de ordenamiento territorial parroquiales, e información económica obtenida del INEC, con la que se realizó una aproximación a las zonas inmersas de la microcuenca, dichas actividades fueron agrupadas según niveles económicos y estos dieron pauta para establecer los sectores económicos predominantes.

– Población económicamente activa (PEA)

La información de la población económicamente activa se la obtuvo del censo de población y vivienda del año 2010, de forma general se la representó considerando las principales actividades económicas de las parroquias inmersas en la microcuenca. No se obtuvieron valores exactos sino aproximados útiles para caracterizar este ítem.

3.3.8. Información Biofísica

– Uso y cobertura del suelo

En la caracterización para determinar el uso y cobertura del suelo se utilizó la información en formato shapefile del IEE para el año 2014 (ver tabla 9), en el cual mediante el cruce de capas en un Sistema de Información Geográfica (GIS) se determinó el uso y cobertura del suelo dentro de la microcuenca.

Al haber obtenido el uso del suelo y conjuntamente con el análisis de sectores económicos realizados se procedió a jerarquizar las actividades que tenían mayor impacto en la microcuenca y así determinar la Huella Hídrica en las más significativas.

3.4. Fase II: Cuantificación de la Huella Hídrica por sectores

A continuación se presenta la metodología aplicada en los cinco sectores, en los que se fundamenta la estimación de agotamiento hídrico, los procesos y programas que se han utilizado para cada caso.

3.4.1. Sector Agrícola

Los requerimientos de agua verde y azul se estimaron mediante la modelación de las variables de entorno, que influyen en el comportamiento esperado por la especie vegetal. Para ello se utilizó el modelo CROPWAT 8.0 (FAO), este software permite cuantificar el requerimiento de agua de los cultivos los cuales pueden ser suplidos por la precipitación o por algún sistema de riego, a través de la interrelación de variables climáticas y edáficas propias del cultivo.

VARIABLES CLIMÁTICAS. Esta información se la obtuvo de la base de datos CLIMWAT 2.0 FAO, con un compendio promedio de 30 años de datos climáticos, de estaciones climáticas más cercanas a la microcuenca. En la tabla 11, se observa las variables necesarias en este ítem.

Tabla 11.
VARIABLES CLIMÁTICAS

VARIABLE	COMPONENTE	PERMITE CALCULAR	MÓDULO CROPWAT 8.0
climáticas	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura máx/min (°C) • Velocidad del viento (km/día) • Humedad (%) • Precipitación (mm) • Horas de sol (horas/día) 	<ul style="list-style-type: none"> • Evapotranspiración de referencia - ETo (mm/día). Método Penman–Monteith • Radiación solar (MJ/m²/día) 	<ul style="list-style-type: none"> • Climate/Eto • Rain

Fuente: (CTA, 2013)

VARIABLES EDÁFICAS. Toda la información de suelos fue generado a partir de la toma de muestras en campo, considerando los cinco puntos muestrales en el Río Pita antes mencionados, para cada uno de ellos se hallaron valores promedio de las variables necesarias, para la operación en el módulo “SUELO” del software CROPWAT 8.0, mismos que fueron representados en la tabla 12.

Tabla 12.
VARIABLES EDÁFICAS

VARIABLE	COMPONENTE	PERMITE CALCULAR	FUENTE
Agua Disponible Total (ADT).	• Cantidad total de agua disponible para el cultivo	• La disponibilidad de agua de cada horizonte en cm/cm	• Se utilizó información de la granulometría del suelo en el Módulo Soil Water
Tasa máxima de infiltración.	• Lámina de agua que puede infiltrarse en el suelo en 24 horas	• El valor que la conductividad hidráulica del suelo a saturación	Characteristics del software libre SPAW Hidrology

Continúa 

Profundidad radicular máxima	<ul style="list-style-type: none"> • La profundidad máxima radicular 	<ul style="list-style-type: none"> • Se asumió como la profundidad máxima de los perfiles del suelo reportadas la salida de campo.
Agotamiento inicial de la humedad del suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Humedad o sequedad del suelo al inicio de la época del cultivo. 	<ul style="list-style-type: none"> • 0% para cultivos establecidos en meses húmedos • 50% para meses secos.

Cultivos.- Al no estar disponibles a nivel de microcuenca, se combinaron los datos estadísticos de los municipios inmersos. La principal fuente de información acerca de los cultivos presentes en la zona proviene del Instituto espacial ecuatoriano (IEE), del censo nacional agropecuario (CNA) y de diversas literaturas citadas en estudios relacionados a cultivos.

El IEE presenta para el año 2014 la capa de información acerca del uso y cobertura del suelo, en el cual detalla aproximadamente 12 cultivos, mismos que son representados en la tabla 13, para la microcuenca del Río Pita, se consideró a todos los cultivos ya que su área cultivada era mayor de 1 hectárea.

Tabla 13.
Cultivos determinados en la microcuenca

Cultivo	Área cultivada (ha)
Avena	22.144
Cebada	54.389
Haba	38.025
Maíz	367.399
Papa	129.033
Tomate	7.984
Frejol	61.730
Alfalfa	3.106
Arveja	27.715
Rosas	27.778

Continúa 

Pino	219.619
Eucalipto	1010.65
Pasto	9680.14

Los parámetros necesarios para cultivos en el software CROWAT 8.0 se describen a continuación en la tabla 14.

Tabla 14.
Requerimientos de cultivos

VARIABLE	COMPONENTE	FUENTE
Fecha de siembra y cosecha	Las fechas de siembra de los cultivos (calendario agrícola)	• Varios autores
Coefficiente del cultivo (kc) y fases de crecimiento	Se establece el kc para cuatro etapas: <ul style="list-style-type: none"> • inicial, • desarrollo • media • maduración 	• Los valores fueron obtenidos de la FAO (2006) a escala global.
Profundidad radicular.	<ul style="list-style-type: none"> • Profundidad radicular en la etapa inicial y en la etapa media de desarrollo. 	
Fracción de agotamiento crítico (p)	Se expresa como una fracción del ADT <ul style="list-style-type: none"> • Varían entre 0,4 y 0,6. • Cultivos sin dicho valor, se asumió un valor de 0,5. 	
Factor de respuesta de la productividad del cultivo (ky)	Ky es específico en cada cultivo. <ul style="list-style-type: none"> • Los cultivos sin ky asumir valores de cultivos similares. • Cultivos sin similitud con otro cultivo, se asume ky de 1. 	
Altura del cultivo	<ul style="list-style-type: none"> • Dato opcional, en caso que no se ingrese, no se hará ningún ajuste (FAO, 2006). 	

La metodología se aplicó a cultivos transitorios, anuales y perennes también se consideró las plantaciones forestales como un cultivo permanente, la información referente a cultivos (calendario agrícola) se presenta en el anexo 3. La Huella Hídrica de este sector está compuesta de los tres componentes azul, verde y gris.

3.4.1.1. Huella Verde Agrícola

En la agricultura la Huella Verde es representada por la precipitación efectiva que corresponde al agua resultante de la precipitación, la cual será utilizada netamente por el cultivo, durante el período de estudio propuesto; desde que se sembró hasta que se cosecho. El valor de la precipitación - ET verde, fue obtenido por del módulo “Climate/Eto” del CROPWAD 8.0, previo el ingreso de las variables anteriormente descritas.

El resultado que da el modulo se multiplicó por 10, ya que es el factor de conversión de mm a m³/ha, y a este se denomina consumo de agua de cultivo - CUW, únicamente corresponde a la Huella Hídrica Verde de un producto agrícola en una hectárea cultivada; se dividió este valor entre el rendimiento del mismo producto, dato que fue obtenido de la ESPAC-Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (INEC, 2015) , este relación se lo realiza mediante la ecuación 17.

$$HH \text{ cultivo verde} = \frac{CWU \text{ verde}}{Y} \quad (17)$$

Donde;

- HH cultivo verde= Huella Hídrica Verde de un cultivo en (m³/t).
- CWU verde= agua verde utilizada por el cultivo en (m³/ha).
- Y=rendimiento de los cultivos en (t/ha).

3.4.1.2. Huella Azul Agrícola

La Huella Azul se la obtuvo mediante la diferencia entre el requerimiento de agua del cultivo y la precipitación efectiva, hay que considerar que si esta diferencia es menor o igual a cero, no se tiene Huella Hídrica Azul; a su vez la variable “requerimiento Actual de Riego” del software CROPWAD 8.0, representa el agua que debe ser suplida a través del riego - ET azul.

Se debió seguir el mismo procedimiento de cálculo que con la Huella Hídrica Verde agrícola anteriormente descrito y utilizando la ecuación 18.

$$HH \text{ cultivo azul} = \frac{CWU \text{ azul}}{Y} \quad (18)$$

Donde;

- HH cultivo azul= Huella Hídrica Verde de un cultivo en m³/t.
- CWU azul= agua azul utilizada por el cultivo en m³/ha.
- Y=rendimiento de los cultivos en t/ha.

3.4.1.3. Huella Gris Agrícola

La Huella Gris se determinó en la agricultura utilizando como referente la presencia de contaminantes en el agua, por la aplicación de fertilizantes y pesticidas que manejan en su composición nitrógeno (N) y fósforo (P). Sin embargo al no encontrar información relevante sobre pesticidas se calculó solo para fertilizantes.

Se encontró la concentración del contaminante N y P en las aguas del Río Pita mediante pruebas de laboratorio y se estableció las cargas máximas permisibles para descargas en cuerpos de agua según el (MAE, 2015) en el TULSMA libro VI anexo 1.

La Huella Hídrica Gris para la agricultura en la microcuenca del Río Pita se calculó mediante la ecuación 19.

$$HH \text{ gris producto A} = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}} \quad (19)$$

Donde;

- HH gris producto A= Huella Hídrica Gris por producto agrícola (m³/ha).
- L= cantidad de fertilizante aplicado (kg/ha)

- C max= Concentración máxima permisible de N y P en el agua (kg/m³).
- C nat= Concentración natural de N y P en el cuerpo receptor (kg/m³).

En ríos poco alterados a modo práctico, para contaminantes elaborados por el hombre la concentración natural en el ambiente es cero (Hoekstra et al., 2011). Para obtener un valor más cercano a la realidad se utilizó la concentración de N y P medido mediante laboratorio en el agua del Río Pita, Entonces en la ecuación 19, se reemplazó el valor de la concentración medida por la concentración natural de N y P.

El valor que se obtuvo en el cálculo anterior corresponde únicamente a la Huella Gris de un producto agrícola, en una hectárea cultivada; es necesario dividir este valor sobre el rendimiento del mismo producto; para equipararlo y compararlo con las otras dos huellas azul y verde del mismo sector, esto se realiza mediante la ecuación 20.

$$HH\ gris\ A = \frac{HH\ gris\ producto\ A}{rend_cult} \quad (20)$$

Donde;

- HH gris A = Huella Hídrica Gris agrícola (m³/t).
- HH gris producto A = Huella Hídrica Gris por producto agrícola (m³/ha).
- rend_cult= rendimiento del cultivo (ton/ha).

3.4.2. Sector Pecuario

La Huella Hídrica pecuaria se calculó en función de la metodología planteada en la Huella Hídrica Agrícola, teniendo en consideración la información de cultivos necesaria para el CROPWAT 8.0 que corresponde específicamente a las áreas que se encuentran en pastos, en el mapa de uso y cobertura del suelo.

Únicamente se tuvo en cuenta el subsector bovino, con información del Proyecto de Erradicación de la Fiebre Aftosa – PEFA. Para ello la Huella Hídrica del sector pecuario se determinó mediante la ecuación 21:

$$HH\text{ pecuaria} = HH\text{ alimento} + HH\text{ consumo} + HH\text{ servidumbre} \quad (21)$$

Hay que tener en consideración que para establecer una relación directa con las Huellas de los otros sectores, estas deben guardar la misma relación entre cada una, es decir que la Huella Hídrica del sector pecuario se determinaría según la ecuación 22.

$$HH\text{ pecuaria} = HH\text{ Verde } P + HH\text{ Azul } P + HH\text{ Gris } P \quad (22)$$

Donde;

- HH verde P = Huella Hídrica del alimento
- HH azul P = Huella Hídrica del consumo
- HH gris P = Huella Hídrica de servidumbre

La Huella Hídrica pecuaria se da en m³/t de peso vivo, y se halló dividiendo el consumo total de agua en m³ de cada huella, sobre el número de bovinos dentro de la microcuenca del Río Pita, multiplicado por su peso vivo promedio en toneladas; valor que se obtuvo específicamente de la Base Ganadera “Fase de Vacunación Fiebre Aftosa 2015-2016: PEFA”.

El número de bovinos en la microcuenca se lo determinó en función de la capacidad de carga animal, es decir el número cabezas de ganado por hectárea de pastos en cada parroquia. Para esto la CTA en 2013, consideró que el número de bovinos en un área determinada está relacionado proporcionalmente con el área de pastos en esta. Esta relación se la efectuó en función de la ecuación 23.

$$CCBovina = \frac{\# \text{ cabezas ganado}}{\text{Área de pastos}} \quad (23)$$

Donde;

- CC Bovina = Capacidad de carga Animal de los bovinos (cabezas/ha).
- # cabezas ganado = Número de cabezas de ganado por parroquia (cabezas).
- Área de pastos = Área de pastos por parroquia (ha).

El valor obtenido se lo multiplicó con el área de pastos por parroquia contenidos en la microcuenca, estos se los sumo, y se obtuvo el número de cabezas de ganado total teórico que estarían dentro de la microcuenca.

3.4.2.1. Huella Verde Pecuaria

La Huella Hídrica Verde pecuaria corresponde a la Huella Hídrica del alimento que usan los bovinos, para este caso se asumió como fuente principal de alimento al pasto, cultivado presente en la microcuenca.

El cálculo de esta huella se lo realizó siguiendo el mismo procedimiento que en los cultivos por medio del CROPWAD 8.0. Para el caso del rendimiento se consideró los mismos valores propuesto por Palacios en 2005 citado por el (CTA, 2013), de 15 toneladas de MS/ha para pasto de ganado lechero, 5 toneladas de MS/ha para pasto de ganado de carne, además en la zona se encontró ganado mixto es decir de carne/leche, para este se asumió un rendimiento del pasto de 5 toneladas de MS/ha. De esta forma se obtiene el contenido de agua verde en m³/t, considerando los pastos cultivados en la microcuenca, para obtener el valor de consumo de agua verde en m³; es necesario multiplicar por el requerimiento de materia seca de los bovinos, la determinación del requerimiento de masa seca por animal, se calcula en función de la ecuación 24.

$$Req. MS \left(\frac{kg}{animal * dia} \right) = \frac{peso del animal vivo (kg) * 2.7 \%}{100\%} \quad (24)$$

Donde;

- Req. MS = Requerimiento de materia seca por animal
- Peso animal vivo = Peso en promedio de un bovino
- 2.7= % de requerimiento de materia seca en relación al peso total del bovino

El pasto predominante en la zona es el *Pennisetum clandestinum* (kikuyo) (Colimba, 2009), para un correcto manejo se considera un pastoreo rotacional de entre 40 a 80 días y de 5 a 10 cortes en el año (Granizo, 2011), además la ganadería presente en la zona de estudio es de raza Holstein, la misma que tiene un peso de 650 kg para bovino promedio (ASOCIACIÓN HOLSTEIN FRIESIAN DEL ECUADOR, 2016), información que es corroborada por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP, 2014) y el Ministerio del Ambiente (MAE, 2013). A su vez según el SENA en 1985 citado en él (CTA, 2013), en forma general estima que el consumo diario de materia seca está en un promedio de 2.7% de su peso vivo, también propone que el porcentaje de humedad en el pasto es de 80% y que el valor de materia seca corresponde al 20% restante. Hay que considerar que estos valores fluctúan en función de características propias de la zona de estudio y de tipo de pasto, pudiendo llegar a una humedad entre 65% a 85%.

La cantidad de agua verde de los bovinos se obtuvo al dividir el valor del consumo de agua verde en m^3 por el peso promedio de los bovinos en toneladas.

3.4.2.2. Huella Azul Pecuaria

La Huella Hídrica Azul pecuaria corresponde a la Huella Hídrica del consumo, para la cual se tomó el volumen de agua que consumen los animales, por su actividad fisiológica, este cálculo contó con datos de consumo de agua por animal.

Para estimar este valor se consideró que un bovino de carne adulto promedio consumirá aproximadamente del 8 al 10% de su peso vivo de agua por día (Sager, 2000), y para ganado lechero se estima un valor de 3-5 litros de agua por cada kg de materia seca (MS) consumida. Estos valores se utilizaron para el cálculo de la Huella Hídrica Azul en (m^3), en el presente estudio.

3.4.2.3. Huella Gris Pecuaria

En el cálculo de la Huella Hídrica Gris, se utilizó el mismo procedimiento seguido en la Huella Agrícola gris, usando datos de contaminantes contenidos en orina y heces

de los bovinos, mismos que se los obtuvo de investigaciones realizadas en lugares con similares características al área de estudio. Para la presente investigación se utilizó los siguientes valores utilizados por el CTA.

Contenido de Nitrógeno en orina y heces, según León et al. 2008 citado en el (CTA, 2013):

- Tasa de lixiviación del Nitrógeno: 10%
- Excreción fecal de 210.9 (g N/día)
- Excreción urinaria de 240.6 (g N/día)

Se debe considerar que esta información no diferencia entre ganado de carne y leche, ya que es muy general, por ende estos valores permiten tener un valor aproximado de requerimientos de agua. Con estos valores se procedió a aplicar la ecuación de Huella Hídrica Gris propuesta por Hoekstra et, al (2011) citado en (CTA, 2013).

3.4.3. Sector Doméstico

La Huella Hídrica en este sector fue calculada según la metodología diseñada por el Grupo de Investigaciones Ambientales - GIA, de la Universidad Pontificia Bolivariana y del Tecnológico de Antioquia, para el “cálculo de la Huella Hídrica en el sector doméstico en la cuenca del Río Porce”. Según (Arango Ochoa, 2013) se deben identificar tres volúmenes de control o etapas importantes que aporta a la Huella del sector doméstico y estas corresponden a:

- La captación y potabilización del agua.
- La distribución, pérdidas por fugas técnicas y por acometidas ilegales.
- El consumo de los usuarios y sus vertimientos del agua a la microcuenca, ya sea con y sin tratamiento previo.

Los puntos antes mencionados se representan en la figura 10.

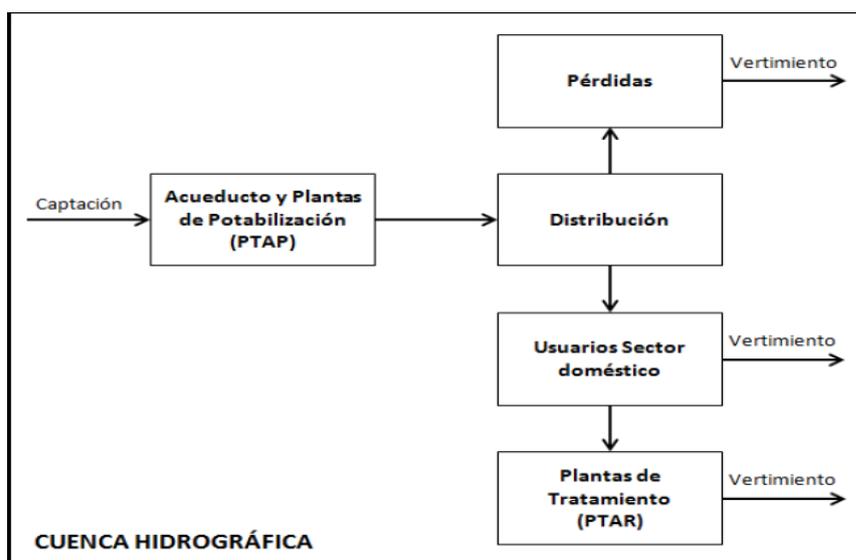


Figura 10. Etapas del sistema doméstico en la Huella Hídrica

Fuente: (Arango Ochoa, 2013)

3.4.3.1. Huella Azul Doméstica

En la determinación de la Huella Hídrica Azul doméstica, se sumó los aportes de los procesos determinados en el sistema potable, ecuación 25.

$$HH \text{ azul } TOTAL = HH \text{ azul } PTAP + HH \text{ azul } AI + HH \text{ azul } USU \quad (25)$$

Donde;

- HH azul TOTAL = Huella Hídrica Azul total en (m³)
- HH azul PTAP = Huella Hídrica Azul de la planta de potabilización en (m³).
- HH azul AI = Huella Hídrica Azul de las acometidas ilegales en (m³).
- HH azul USU = Huella Hídrica Azul de los usuarios en (m³).
- Huella Hídrica Azul de los usuarios

En este aporte se consideró que del total del caudal de consumo facturado por los municipios, un porcentaje de esta agua facturada es consumida por los usuarios, convirtiéndose en Huella Hídrica Azul según la ecuación 26 y el otro porcentaje se convierte en caudal de vertimiento, este se determina en función de la ecuación 27.

Como no se conoce con exactitud la cantidad de agua consumida, se asume para este estudio que el 10% del agua facturada en el sector corresponde al aporte a la Huella Hídrica Azul y el 90% restante corresponde a los vertimientos.

$$HH \text{ azul } USU = 0.1 * Q \text{ cf} \quad (26)$$

$$Q \text{ v } USU = 0.9 * Q \text{ cf} \quad (27)$$

Donde;

- Q_{cf} = Caudal facturad por cada municipio (m^3).
- $Q \text{ v } USU$ = Caudal de vertimiento por los usuarios (m^3).

El valor del consumo facturado se lo obtuvo de las empresas potables de agua, tanto del cantón Quito como de Rumiñahui.

– Huella Hídrica Azul de las acometidas ilegales

El agua al encontrarse en la red de distribución sufre perdidas, por la infraestructura e incluso por capitaciones ilegales. Se asume que el 10% del caudal vertido en las acometidas ilegales corresponden al aporte que va a la Huella Hídrica Azul, esto según la ecuación 28.

$$HH \text{ azul } AI = 0.1 * Q \text{ e } AI \quad (28)$$

Donde;

- $HH \text{ azul } AI$ = Huella Hídrica Azul de las acometidas ilegales en (m^3).
- $Q \text{ e } AI$ = Caudal de vertido en las acometidas ilegales en (m^3).

Se determinó el caudal de las acometidas ilegales a partir del caudal de pérdidas totales en el sistema, ecuaciones 29, 30 y 31.

$$Q_p = \frac{Q_{total\ Distrib} * \% P}{100\ \% - \% P} \quad (29)$$

$$\% AI = \% P - \% FT \quad (30)$$

$$Q_{e\ AI} = Q_p * \% AI \quad (31)$$

Donde;

- Q_p = Caudal de pérdidas en (m^3).
- $Q_{cf\ total\ Distrib}$ = Caudal de distribución total en (m^3).
- $\% P$ = porcentaje de pérdidas.
- $\% AI$ = porcentaje de acometidas ilegales.
- $\% FT$ = porcentaje de fugas técnicas.
- $Q_{e\ AI}$ = Caudal de acometidas ilegales en (m^3).

El caudal total distribuido, el porcentaje de pérdidas totales y el porcentaje de fugas técnicas, se las obtuvo del programa de agua no contabilizada de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento Quito (EPMAPS-Q, 2016)

– Huella Hídrica Azul de la captación y potabilización

El Caudal que se importa desde la microcuenca sufre variaciones ya sea por: evaporación o pérdidas, mismas que se reflejan en el caudal que entre en la planta de potabilización, esta variación se la contabilizó como Huella hídrica azul en la etapa de captación – potabilización, en función de la ecuación 32.

$$HH\ AZUL\ PTAP = Q_{Cap\ Cuenca} - Q_{e\ PTAP} \quad (32)$$

Donde;

- $HH\ AZUL\ PTAP$ = Huella Hídrica Azul en la planta de potabilización (m^3).
- $Q_{Cap\ Cuenca}$ = Caudal de captación en la microcuenca (m^3).

- Q e PTAP = Caudal de entrada en la planta de potabilización en (m^3).

El caudal de captación de la microcuenca y el de captación a la planta de potabilización (PTAP), se la obtuvo del departamento de producción de agua en plantas de la (EPMAPS-Q, 2016).

3.4.3.2. Huella Gris Doméstica

En el proceso de cuantificación de la Huella Hídrica Gris se tomó en consideración los contaminantes: DBO₅, DQO Y SST; es decir se calculó la Huella Gris en función de cada, pero únicamente se considera al valor máximo de los tres, ecuación 33.

$$HH \text{ gris } TOTAL = MAXIMA[HH \text{ gris } total \text{ cont } (DBO5, DQO, SST)]$$

$$HH \text{ gris } TOTAL = HH \text{ gris } PTAP + HH \text{ gris } AI + HH \text{ gris } USU \quad (33)$$

Donde;

- HH gris TOTAL= Huella Hídrica Gris total en (m^3).
- HH gris PTAP= Huella Hídrica Gris de la planta de potabilización en (m^3).
- HH gris AI= Huella Hídrica Gris de las acometidas ilegales en (m^3).
- HH gris USU = Huella Hídrica Gris de los usuarios en (m^3).

– Huella Hídrica Gris de los usuarios

Una parte del agua vertida por los usuarios es llevada a plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), y el resto es vertido sin tratar, lo cual implica un aporte a la Huella Hídrica Gris en ambos casos, estas huellas se las determina en función de las ecuaciones 34, 35 y 36 respectivamente.

$$HH \text{ gris } USU = HH \text{ gris } ST + HH \text{ gris } PTAR \quad (34)$$

$$HH \text{ gris } ST = \frac{Q \text{ v } ST * C \text{ v } ST}{C \text{ max} - C \text{ nat}} \quad (35)$$

$$HH \text{ gris } PTAR = \frac{Q \text{ v } PTAR * C \text{ v } PTAR}{C \text{ max} - C \text{ nat}} \quad (36)$$

Donde;

- HH gris ST = Huella Hídrica Gris sin tratamiento (m³).
- Q v ST = Caudal de vertido sin tratar (m³).
- C v ST= Concentración del contaminante de vertido sin tratar (kg/m³).
- Q v PTAR = Caudal de vertido planta de tratamiento residual (m³).
- C v PTAR = Concentración del contaminante de vertido sin tratar (kg/m³).
- C max = Concentración máxima del contaminante (kg/m³).
- C nat = Concentración natural del contaminante en el afluente (kg/m³).

La información de los caudales de vertimiento sin tratar y de la planta de tratamiento, esta información no fue proporcionada por las entidades a cargo, por lo que se calculó mediante la estimación propuesta en la metodología de (Arango Ochoa, 2013), para ello estos caudales se determinaron en función de las ecuaciones 37 y 38 respectivamente.

$$Q \text{ tra } PTAR = Q \text{ v } USU * \% Q \text{ tra } PTAR \quad (37)$$

$$Q \text{ v } ST = Q \text{ v } USU - Q \text{ tra } PTAR \quad (38)$$

Donde;

- Q tra PTAR= Caudal tratado en una planta de tratamiento residual (m³).
- Q v USU = Caudal de vertido por los usuarios (m³).
- % Q tra PTAR = Porcentaje del caudal tratado en una planta de tratamiento residual (m³).
- Q v ST = Caudal de vertido sin tratar (m³).

Según (Arango Ochoa, 2013), el porcentaje del caudal que es tratado en una planta de tratamiento de aguas residuales es de un 30%. Para las concentraciones de vertimiento se asumió el promedio obtenido en las pruebas de laboratorio para DQO, DBO₅ Y SST tanto para el vertimiento sin tratar como para la PTAR.

– Huella Hídrica Gris de las acometidas ilegales

En esta cuantificación se consideró que el porcentaje de aportación de los volúmenes de acometidas ilegales y de fugas técnicas es del 90%, ya que este volumen es necesario para determinar la Huella hídrica gris, misma que puede ser calculados en función de las ecuaciones 39 y 40 respectivamente.

$$HH \text{ gris AI} = \frac{Q v AI * C v AI}{C max - C nat} \quad (39)$$

$$Q v AI = 0.9 * Q e AI \quad (40)$$

Donde;

- HH gris AI = Huella Hídrica Gris de las acometidas ilegales en (m³).
- Q e AI = Caudal de vertido en las acometidas ilegales en (m³).
- Q v AI = Caudal de vertido en acometidas ilegales en (m³).
- C v AI = Concentración del contaminante vertido en acometidas ilegales (kg/m³).

El caudal de las acometidas ilegales se calculó anteriormente en la Huella Hídrica Azul de los usuarios.

– Huella Hídrica Gris en la etapa de captación y potabilización

En la planta de potabilización existe un volumen de agua denominada agua de vertimiento, este es el resultante de los procesos operacionales en la planta de

potabilización, este volumen se lo contabiliza como Huella Hídrica Gris en esta etapa, en función de la ecuación 41.

$$HH\ GRIS\ PTAP = \frac{Q\ V\ PTAP * C\ V\ PTAP}{C\ max - C\ nat} \quad (41)$$

Donde;

- HH GRIS PTAP = Huella Hídrica Gris en la planta de potabilización (m³).
- Q V PTAP = Caudal de vertido por la planta de potabilización (m³).
- C V PTAP = Concentración de vertido por la planta de potabilización (m³).

El caudal vertido por la planta de potabilización (PTAP) se la obtuvo del departamento de producción de agua en plantas de la (EPMAPS-Q, 2016) y las concentraciones de vertido para contaminantes DBO₅, DQO Y SST se lo obtuvo de los parámetros medidos del punto de muestreo 2 “El porvenir”, lugar más cercanos a la zona de captación.

3.4.4. Sector Industrial

En el cálculo de la Huella Hídrica industrial, se estableció ciertos estándares para homogenizar al sector, debido a la gran diversidad que existe. Para ello la CTA, 2013 considera que se debe elegir un tamaño de muestra representativo, suponiendo la disponibilidad de los datos y que este sea significativo para el estudio.

Se debió priorizar las industrias en base a dos criterios básicos según la (CTA, 2013):

- La producción bruta, y
- El impacto ambiental que genera.

En este proyecto se definió únicamente el criterio Ambiental, como prioritario para cuantificar la Huella Hídrica, por lo que se excluyó a aquellas industrias que no tienen “relevancia ambiental” es decir aquellas que no cuenten con una licencia ambiental y los requisitos que ella conlleva como:

1. Estudio de impacto ambiental
2. Plan de manejo ambiental

La principal fuente de información fue el Ministerio de Industrias y Productividad, los planes de ordenamiento territorial cantonales y el Ministerio del Ambiente (MAE).

En base a los dos puntos anteriores, las industrias dentro de la microcuenca del Río Pita, no cumplen con estos dos requisitos por lo que este sector queda excluido de la determinación de Huella Hídrica.

En el caso que existiera industrias que cumplan estos dos requisitos se deberá seguir el procedimiento para Huella Hídrica del sector industrial, basada en la metodología estándar de la Water Footprint Network (WFN).

Hay que considerar que el consumo de agua generada en las industrias, debido a su gran número de empleados, será considerado en el consumo de agua doméstico y por ende en la Huella Hídrica de ese sector.

3.4.5. Sector Minero

La Huella Hídrica en el sector minero se calculó a partir de la información cartográfica base asociada a los títulos de explotación minera, de la Agencia de Regulación y Control Minero (ARCOM), 2016. En la que se evidenció la existencia únicamente de títulos mineros de materiales pétreos (arena y grava), y descartó algún tipo de material precioso, por ende en este sector solo se calculó la Huella Hídrica para estos materiales, ya que en estos se incorpora agua en la etapa de lavado, una parte se evapora y la otra queda contenida en el material.

Se consideró además el área de cada título minero, ya que se efectuó relaciones en función al área de la microcuenca, estos porcentajes sirvieron para representar y relacionar la producción de la zona. Para lo cual se realizó una ponderación de la producción de material pétreo, con los porcentajes de las áreas halladas en la microcuenca.

Posteriormente esta producción se multiplicó por el indicador estimado, m³ agua por cada kg de material producido, y así se obtuvo la Huella Hídrica Azul y Gris. Este

indicador de Huella Hídrica del sector minero para materiales pétreos se determinó en función de la metodología modificado por el CTA, 2013; que estipula como base la propuesta por la WFN (Hoekstra, Chapagain, & Aldaya, 2011).

Además de lo expuesto se tuvo en cuenta la siguiente consideración; (Escobar & Rivas, 2016) determinan algunas de las propiedades de arenas y gravas:

- La densidad promedio de arena es 2.649 kg/m³ y de la grava es 2.610 kg/m³.
- El porcentaje de absorción de agua en la arena es 4.05% y en la grava es 3.6% en peso.
- El contenido de humedad de la arena es 2.08% y de la grava es 0.09%

En la Huella Gis, el principal contaminante proveniente de los procesos de extracción y erosión en materiales de construcción, son los sólidos suspendidos totales.

3.4.5.1. Huella Azul Minera

En la determinación de la Huella Hídrica Azul Minera, se encontró información para un total de 25 concesiones de explotación, que presentan características similares en los procesos de extracción. En consecuencia se decidió calcular el indicador de Huella Hídrica Azul en una de las concesiones mineras y este considerarlo como un único valor, mismo que será el indicador de Huella para toda la producción de arenas y gravas en la zona de estudio, el indicador de Huella se obtuvo en función a la ecuación 42.

$$\text{Indicador HHA} = \left(\frac{(\% \text{ de absorción de agua en peso}) * (\text{peso del material explotado}) \left(\frac{\text{m}^3 \text{ agua}}{\text{año}} \right)}{\frac{\text{producción} \left(\frac{\text{m}^3 \text{ material}}{\text{año}} \right)}{\text{Densidad promedio} \frac{\text{kg material}}{\text{m}^3 \text{ material}}}} \right) \quad (42)$$

La información necesaria para la cuantificación, fue obtenida del informe de producción minera, reportada a noviembre 2016 de la Agencia de Regulación y Control Minero - ARCOM.

Una vez calculado el indicador de Huella Hídrica Azul, se procedió a multiplicar por la producción ponderada, misma que se determinó considerando el porcentaje del área total de los títulos mineros antes descritos, esto según la ecuación 43.

$$HH \text{ Azul } M = \text{Indicador } HHA * \text{Prod } \text{pond } \text{area} \quad (43)$$

Donde;

- HH Azul M = Huella Hídrica Azul en la minería (m³).
- Indicador HHA = indicador de Huella Hídrica Azul por material (m³/kg material).
- Prod pond área = producción estimada de las concesiones en función a su área. (kg material).

3.4.5.2. Huella Gris Minera

La Huella Hídrica Gris se determinó en función al valor de la carga aportante de sólidos suspendidos totales (SST), para este sector se tomó el valor medio obtenido en los análisis de aguas del Río Pita, valor específico del Punto 4 (San Francisco), por su cercanía a los títulos de extracción minera encontrados, esta carga se dividió por la producción de la concesión. Además se consideró que por su similitud en los procesos de extracción de las empresas mineras, solo se necesitó determinar el valor de una y este valor se consideró como un único indicador de Huella Hídrica Gris, para sólidos suspendidos totales en la microcuenca, el indicador de Huella Hídrica Gris se determinó en función de la ecuación 44.

$$\text{Indicador } HHG = \left(\frac{\text{Carga contaminante } \left(\frac{kg \text{ SST}}{\text{dia}} \right)}{\frac{\text{produccion } \left(\frac{kg \text{ material}}{\text{dia}} \right)}{(C_{max} - C_{nat}) \frac{kg \text{ SST}}{m^3 \text{ agua}}}} \right) \quad (44)$$

Por último, el indicador se multiplica por la producción ponderada y se obtuvo la Huella Hídrica Gris total de los SST para arenas y gravas, esto en función de la ecuación 45.

$$HH \text{ Gris } M = \text{Indicador HHG} * \text{Prod pond area} \quad (45)$$

Donde;

- HH Gris M = Huella Hídrica Gris en la minería (m³).
- Indicador HHG = indicador de Huella Hídrica Gris por material (m³/kg material).
- Prod pond área = producción estimada de las concesiones en función a su área. (kg material).

3.4.6. Sector Energético

La Huella Hídrica del sector energético se estimó, estableciendo la existencia de centrales hidroeléctricas inmersas en la microcuenca, además de conocer la potencia instalada de cada una. Según la Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC), y en función de la clasificación emitida por la Norma Técnica Ecuatoriana GPE INEN 59:2012, se encontraron tres hidroeléctricas en la zona, detalladas en la tabla 15.

Tabla 15.
Centrales hidroeléctricas en la microcuenca

Central Hidroeléctrica (INEN, 2012)	Nombre	Capacidad instalada	Reservorio	Reservorio dentro de microcuenca
Mediana	Guangopolo I y II	74.45 MW	SI	NO
Pequeña	Pasochoa	4.50 MW	NO	SI
Pequeña	Los Chillos	1.78 MW	SI	SI

Únicamente se consideró a las centrales hidroeléctricas que tengan reservorio de agua y que no estén inmersos en la microcuenca. En base a esto se realizó el cálculo para la central de Guangopolo, ya que fue la única que cumplió con las especificaciones establecidas.

La metodología de cálculo de la Huella Hídrica energética, es la propuesta por (Mekonnen & Hoekstra, 2011) en la que plantea ciertas variables necesarias como:

Temperatura: Se utilizó la información de isotermas medias mensuales (INAMHI, 2013), determinadas para una serie de 1981-2010, con las que se calculó la evaporación del embalse.

Área inundada. Se determinó la cantidad de agua evaporada del embalse determinando el área del espejo de agua que tiene, esto se logró mediante la digitalización de dicho reservorio a partir de imágenes satelitales de Google earth 2017 en Software GIS.

Generación de energía. Fue necesario conocer el promedio mensual de generación de energía, esto a partir de los siguientes criterios.

- Potencia instalada de la central Guangopolo I y II según (CELEC EP. TERMOPICHINCHA, 2016): 74.45 MW.
- Factor de conversión a Gigajulio: 3.6

Además se consideró que la central trabaja en un 100% los 12 meses del año.

3.4.6.1. Huella Azul Energética

La Huella Hídrica Azul de la energía en una central hidroeléctrica, se calculó dividiendo la cantidad de agua evaporada del embalse sobre el total de energía generada, relación realizada en función de la ecuación 46.

$$HH \text{ Azul } E = \frac{AE \text{ (m}^3\text{)}}{EG \text{ (GJ)}} \quad (46)$$

Donde;

- HH Azul E = Huella Hídrica Azul energética (m³/GJ)
- AE = volumen de agua evaporada desde el embalse (m³)
- EG= energía generada (GJ)

El volumen de agua que se evapora desde el embalse se calculó en función de la ecuación 47.

$$AE = 10 * E * A \quad (47)$$

Donde;

- AE = volumen de agua evaporada desde el embalse (m³).
- E= evaporación mensual del embalse (mm).
- A= área del reservorio de agua (ha).

El área del reservorio se la obtuvo mediante la digitalización de imágenes satelitales de Google earth, 2017 tomada de la zona.

La evaporación se determinó según el método propuesto por Thomthwaite en 1948, mismo que propone calcular la evapotranspiración potencial, en función de la temperatura y corregida mediante la duración astronómica del día y el número de días de cada mes. Thomthwaite comprobó que la evapotranspiración es proporcional a la temperatura media, esta relación se efectúa según la ecuación 48.

$$E = 16 \left(\frac{10 Tm}{I} \right)^a \quad (48)$$

Donde;

- E = evapotranspiración mensual sin ajuste (mm/mes)
- Tm= temperatura media mensual en °C
- I= índice de calor anual
- a= parámetro ajustado

El índice de calor mensual “I”, está en función de la temperatura media mensual, el valor obtenido por cada mes se lo suma y se obtiene el índice de calor anual, también el parámetro ajustado “a” que está en función del valor de “I” calculado, estos valores fueron obtenidos de las tablas índice detalladas en el anexo 4.

Se realizó una corrección a la evapotranspiración calculada según la ecuación 49, para ello es necesario conocer la ubicación del reservorio de agua (longitud y latitud), esto con el fin de obtener del anexo 4, los valores N y d, ya que estos dependen estrictamente de la longitud.

$$ETP = E * \frac{N}{12} * \frac{d}{30} \quad (49)$$

Donde;

- E = evapotranspiración mensual sin ajuste (mm/mes).
- ETP = evapotranspiración mensual justada (mm/mes).
- N = número máximo de horas de sol.
- d= número de días al mes.

Estos valores se los obtuvieron para los 12 meses del año, posteriormente se sumó dichos resultados y se obtuvo el referente anual.

3.5. Fase III: Análisis de la sostenibilidad de la Huella Hídrica

Una vez cuantificado la fase II, se procedió a hacer la evaluación de sostenibilidad, para lo cual se consideró tres ejes fundaméntales, mismos que derivan de un análisis; ambiental, social y económico. Evaluando así criterios propios de cada uno para finalmente establecer la condición de sostenibilidad de la producción de agua en la microcuenca. En la figura 11, se representa un esquema de la sostenibilidad en función de los tres ejes considerados.

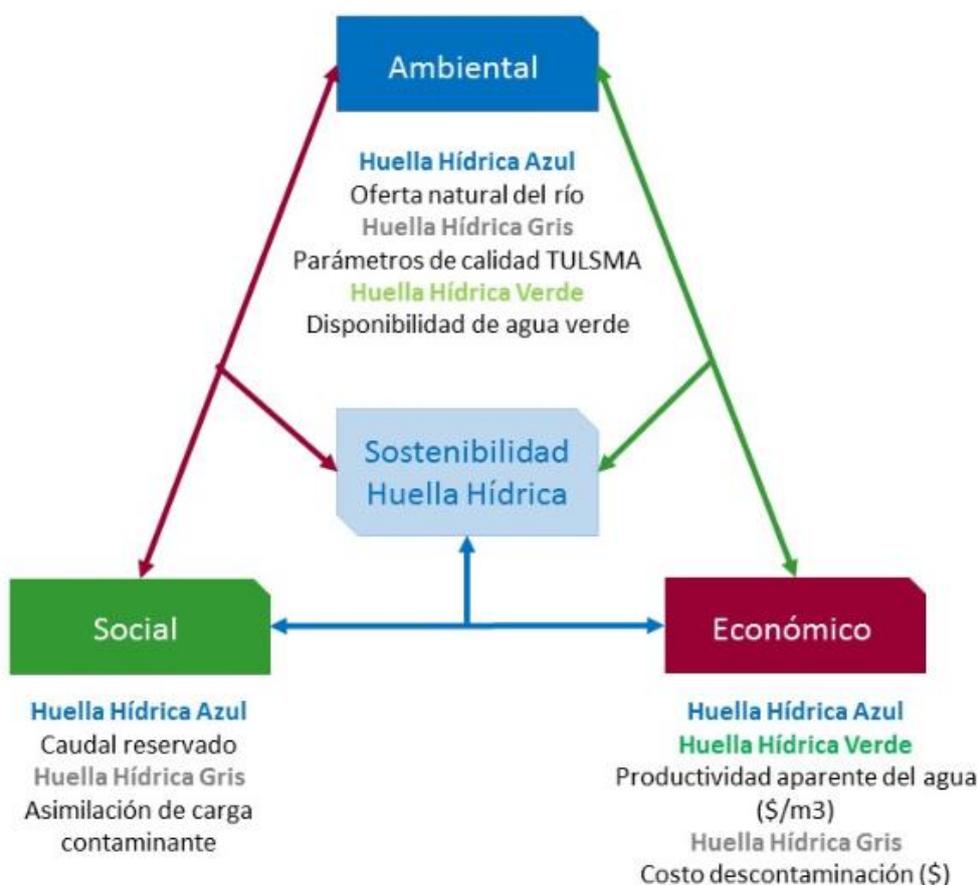


Figura 11. Sostenibilidad de la Huella Hídrica en la microcuenca

Fuente: Adaptado del CTA, 2013. Publicado en el: Resumen de resultados de la Evaluación de la Huella Hídrica en la cuenca del río Porce

3.5.1. Criterio ambiental

3.5.1.1. Oferta natural de agua

La oferta natural de agua en la microcuenca se obtuvo a partir de la determinación del caudal del Río Pita, para esto fue necesario conocer ciertos criterios propios de la microcuenca como:

- Precipitación media
- Volumen medio
- El coeficiente de escorrentía

– La precipitación media

Es la altura de lluvia presente en un sitio específico, para obtenerla fue necesario medir la precipitación inmersa en la microcuenca, estos datos fueron obtenidos de las estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología - INAMHI, a partir de estos registros se realizó el cálculo de la lluvia media ponderada, en la tabla 16 se detallan las estaciones utilizadas en este procedimiento.

Tabla 16.
Estaciones meteorológicas

Código red	Nombre estación	Tipo	Estado	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (msnm)
M0002	La Tola	AU,CP	Activa	-0.22944	-78.36667	2480
M0113	Uyumbicho	PV	Activa	-0.38833	-78.52528	2740
M0120	Cotopaxi- CLIRSEN - IEE	CO	Activa	-0.62333	-78.58139	3510
M0188	Papallacta	CO	Activa	-0.36500	-78.14472	3150
M0353	Rumipamba- Pichincha	PV	Activa	-0.42750	-78.41583	2940
M0364	Loreto Pedregal	PV	Activa	-0.56139	-78.42639	3620
M0371	Pastocalle	PV	Activa	-0.72194	-78.62750	3074
M0436	Cuyuja	AU, PV	Activa	-0.41667	-78.04944	2380
NOTA* AU: Automática; CP: Climatológica Principal; PV: Pluviométrica; CO: Climatológica Ordinaria.						

Fuente: (INAMHI, 2016)

El método utilizado para determinar la precipitación media fue el “Método Aritmético”, en el cual se calculó el promedio numérico de las alturas de precipitación, registrado por cada una de las estaciones antes mencionadas, para lo cual se emplea la ecuación 50.

$$P = \frac{1}{n} \sum_i^n P_i \quad (50)$$

Donde;

- n = número de estaciones
- P_i = precipitación registrada en la estación (mm)

Este método es aceptado cuando la dispersión es $< 10\%$ de la sumatoria de precipitación anual calculada. Además cabe mencionar que para aplicar este procedimiento, es necesario contar con un compendio de datos de al menos 5 años.

– Volumen medio

Para determinar el volumen medio de precipitaciones de la microcuenca, se tiene la ecuación 51.

$$V = 1000 * P * A_c \quad (51)$$

Donde;

- V = volumen promedio (m^3).
- P = precipitación media ponderada multianual (mm).
- A_c = Área de la microcuenca (km^2).

– Volumen escurrido

El volumen escurrido de la microcuenca para el mismo periodo se lo obtiene mediante la ecuación 52.

$$V_e = 31.536 * Q_o * 10^6 \quad (52)$$

Donde;

- V_e = volumen escurrido (m^3)
- Q_o = Caudal medio de la microcuenca (m^3/s)

– Caudal medio

Es común que el caudal medio en una cuenca hidrológica, se exprese únicamente en función del área a través de la ecuación 53, Sandoval W., en 2014 citado en (Morales & Topón, 2016).

$$Q_o = \frac{31.71 * P * C * A_c}{10^6} \quad (53)$$

Donde;

- Q_o = Caudal medio de la microcuenca (m^3/s)
- V_e = volumen escurrido (m^3)
- P = precipitación media ponderada multianual (mm)
- A_c = Área de la microcuenca (km^2)
- C = coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía se lo obtuvo del Soil Conservation Services, en función a los criterios propios de la microcuenca, valor igual a 0.4 considerado por (Cisneros & Díaz, 2016).

La metodología presentada tiene una escala temporal anual, por lo que para obtener el volumen medio, volumen escurrido y caudal medio mensual se realizó una asignación en función de la precipitación media mensual, registrada en el año de interés, además se determinó los periodo de retorno, la probabilidad de excedencia y el tiempo de concentración de la microcuenca para establecer criterios más sólidos en este ítem.

– Periodo de retorno

El periodo de retorno se determinó en función de la ecuación 54

$$T = \frac{(N + 1)}{m} \quad (54)$$

Donde;

- T = periodo de retorno (años)

- N = número de datos
 - m = número de orden
- Probabilidad de excedencia

La probabilidad de excedencia se determinó en función de la ecuación 55.

$$P = \frac{m}{(N + 1)} \quad (55)$$

Donde;

- P = probabilidad de excedencia (%)
- N = número de datos
- m = número de orden

Se debe ordenar las precipitaciones de mayor a menor, el lugar según se hayan ordenado es el valor denominado “m”, y N se obtiene del número de datos trabajados.

- Tiempo de concentración

Conocido como el tiempo que demora en salir el flujo del agua, del punto entrada al punto hidrológicamente más lejano. Este tiempo fue determinado en función a varios autores según la tabla 17.

Tabla 17.
Tiempo de concentración

AUTOR	ECUACIÓN	OBSERVACIONES
USDA Tk(min)	$k = 3.3 * L * \sqrt{m}$ $m = \frac{H}{L}$	
KIRPICH (1940)	$T = 0.02 * L^{0.77} * m^{-0.385}$	<ul style="list-style-type: none"> • T= tiempo de concentración (horas) • L= longitud del cauce principal (km) • H = diferencia de cotas (m) • m=pendiente del cauce principal • K= factor USDA (Km)
California (1942)	$Tc = 60(11.9 \frac{L^3}{H})^{-0.385}$	
Raser	$Tc = 0.947 \frac{(L^3)^{0.385}}{H}$	

3.5.1.2. Análisis ambiental Huella Azul

La sostenibilidad ambiental de la Huella Hídrica Azul (HH Azul), se determinó a través del índice de escasez, denominado también como estrés hídrico azul, mismo que se obtuvo comparando por cada mes el resultado total de HH Azul multisectorial de la microcuenca; con la oferta natural disponible total y con la oferta natural disponible regulada, según la ecuación 56 y 57 respectivamente. Además en cada oferta se descontó la HH Azul, porque esa agua ya no está disponible en el medio.

$$Et \text{ Azul mes} = \frac{\sum HH \text{ azul mes}}{OA \text{ azul t. mes}} \quad (56)$$

Donde;

- Et Azul mes = índice de Estrés Hídrico azul total
- HH azul mes = Huella Hídrica Azul mensual
- OA azul t. mes = Oferta de Agua azul total por mes

$$Er\ Azul\ mes = \frac{\sum HH\ azul\ mes}{OA\ azul\ r.\ mes} \quad (57)$$

Donde;

- Er Azul mes = índice de Estrés Hídrico azul regulado
- HH azul mes = Huella Hídrica Azul mensual
- OA azul r. mes = Oferta de Agua azul regulada por mes

La Huella Hídrica Azul mensual, se determinó dividiendo el valor obtenido de Huella Hídrica total de la microcuenca anual entre los 12 meses del año.

La oferta de agua azul total, se la obtuvo a partir de la oferta natural de agua en la microcuenca, descontado el caudal ecológico, ecuación 58.

$$OA\ azul\ t.\ mes = Oferta\ Nat.\ mes - Caudal\ Eco.\ mes \quad (58)$$

Donde;

- OA azul t. mes = Oferta de Agua azul total por mes (m³).
- Oferta Nat. mes = Agua producida por la microcuenca por mes (m³)
- Caudal Eco. mes = Caudal ecológico mensual (m³).

La oferta de agua azul regulada se la obtuvo a partir de la oferta natural de agua en la microcuenca, descontado el caudal ecológico y el caudal extracción o consumo, ecuación 59.

$$OA\ azul\ t.\ mes = Oferta\ Nat.\ mes - Caudal\ Eco.\ mes - Caudal\ Con.\ mes \quad (59)$$

Donde;

- OA azul t. mes = Oferta de Agua azul total por mes (m^3).
- Oferta Nat. mes = Agua producida por la microcuenca por mes (m^3)
- Caudal Eco. mes = Caudal ecológico mensual (m^3).
- Caudal Con. mes = Caudal de extracción para consumo (m^3).

La oferta natural del agua de la microcuenca por mes, se obtuvo en el ítem anterior en el cual se determinó la oferta natural de agua.

Caudal ecológico.- En el Ecuador según las normas técnicas ambientales, publicadas mediante el Registro Oficial No. 41 con fecha 14 marzo del 2007, define al caudal ecológico como el 10% del caudal medio mensual multianual, es decir se obtuvo el 10% de agua de la oferta natural por mes calculado.

Caudal de extracción.- Denominado caudal de consumo, se lo obtuvo a partir de las captaciones realizadas en el Río Pita, por parte de los municipios de Quito y Rumiñahui. Valores que fueron entregados de las direcciones de agua potable y alcantarillado de cada cantón, para el año 2016.

Se tuvo en consideración que si en algún mes la Huella Hídrica supera a la oferta natural o regulada, se entendiendo como insostenibilidad ambiental, en términos del índice calculado de esta huella, se considera la siguiente definición.

- $E < 1$; sostenibilidad
- $E = 1$; utiliza el agua azul total
- $E > 1$; insostenibilidad

3.5.1.3. Análisis ambiental Huella Verde

La sostenibilidad ambiental de la Huella Hídrica Verde (HH Verde), se determinó a través del índice de escasez denominado también como estrés hídrico verde, mismo que se obtuvo comparando por cada mes el resultado total de HH Verde total de la microcuenca, con la disponibilidad de agua verde, esto según la ecuación 60.

$$E \text{ Verde mes} = \frac{\sum HH \text{ verde mes}}{DA \text{ verde mes}} \quad (60)$$

Donde;

- Et Verde mes = índice de Estrés Hídrico verde.
- HH verde mes = Huella Hídrica Verde mensual (m^3).
- D A verde mes = Disponibilidad de agua verde mensual (m^3).

La Huella Hídrica Verde mensual, se determinó dividiendo el valor obtenido de Huella Hídrica total anual de la microcuenca entre los 12 meses del año.

La disponibilidad de agua verde, se la determinó en función a la evapotranspiración real total, menos la evapotranspiración natural y menos la evapotranspiración de las zonas no productivas, esto para cada mes, según la ecuación 61.

$$DAV = ET \text{ verde} - ET \text{ natural} - ET \text{ no productiva} \quad (61)$$

Donde;

- DAV = disponibilidad de agua verde (m^3).
- ET verde = evapotranspiración total verde (m^3).
- ET natural = evapotranspiración reservada para la vegetación natural (m^3).
- ET no productiva = evapotranspiración del suelo no productivo (m^3).

Se estimó la evotranspiración real (ETR) anual de toda la microcuenca, usando el método de Budyko propuesto en 1974, mismo que se basa en los balances de agua y energía a largo plazo (Rodríguez Ortiz, 2016).

La metodología utiliza el valor promedio anual de la precipitación, para lo cual se utiliza el valor de las 8 estaciones meteorológicas descritas en el cálculo de la oferta natural de agua en la microcuenca, además de los datos obtenidos de la estación Uyumbicho del Climwat 2.0 de la FAO.

Como la metodología planteada por Budyko tiene una escala temporal anual, se obtiene el valor mensual realizando una asignación de la ETR a través de la evotranspiración potencial (ETP) ya que esta tiene una escala temporal mensual (Rodríguez Ortiz, 2016). Para lo cual es necesario conocer la evotranspiración potencial, mismo que se calculó por el método de Thornthwaite descrito en la cuantificación de la Huella Hídrica del sector energético, la ETR se calculó a través de la ecuación 62.

$$ETR = \left[ETP * P * \tanh\left(\frac{P}{ETP}\right) \left(1 - \cosh\left(\frac{ETP}{P}\right) + \sinh\left(\frac{ETP}{P}\right)\right) \right]^{1/2} \quad (62)$$

Donde;

- ETR = evapotranspiración real (mm/año).
- ETP = evapotranspiración potencial (mm/año).
- P = precipitación (mm/año).

Cabe mencionar que para obtener la ETR correspondientes a las zonas no productivas, sin vegetación, naturales o de protección y zonas donde están los cuerpos de agua presentes de la microcuenca, primero se determinó la ETP de estas zonas, para lo cual se determinó el área correspondiente a estas, median un Sistema de Información Geográfica (GIS) y el shape uso y cobertura del suelo del Instituto Espacial Ecuatoriano IEE, y se obtuvo la temperatura promedio en cada zona, mediante las isotermas medias mensuales obtenidas del (INAMHI, 2013).

Posteriormente se aplica la ecuación de Thornthwaite en cada zona, el valor obtenido se multiplica por 10, que es el factor de conversión a m³/ha y se multiplica además por el área calculada para obtener el agua verde en m³.

La sostenibilidad en la Huella Hídrica Verde, se lo interpreta en función del resultado obtenido del índice de escasez verde a través de estas definiciones.

- E < 1; sostenibilidad
- E = 1; utiliza el agua verde total

- $E > 1$; insostenibilidad.

3.5.1.4. Análisis ambiental Huella Gris

La sostenibilidad en esta Huella Hídrica Gris, se lo evaluó determinando el “Nivel de contaminación de agua (NCA)” esto a través de la ecuación 63. El procedimiento simplemente es comparar la oferta real total mensual de agua en la microcuenca, descontado la Huella Hídrica Azul, ya que esa agua ya no está disponible en el medio como caudal disponible para asimilar la carga contaminante generada por los sectores analizados.

$$E \text{ Gris mes} = \frac{\sum HH \text{ gris mes}}{DA \text{ azul mes}} \quad (63)$$

Donde;

- $E \text{ Gris mes}$ = índice de Estrés Hídrico gris.
- $HH \text{ gris mes}$ = Huella Hídrica Gris mensual (m^3).
- $D A \text{ azul mes}$ = Oferta natural regulada de agua en la microcuenca (m^3).

La Huella Hídrica Gris mensual, se obtuvo dividiendo el valor obtenido de Huella Hídrica total anual de la microcuenca entre los 12 meses del año.

Para la disponibilidad de agua azul, se consideró el mismo valor denominado como oferta natural regulada, determinada en la sostenibilidad de la Huella Hídrica Azul.

El índice NCA obtenido, se lo interpretó en función de estas definiciones.

- $E < 1$; sostenibilidad
- $E = 1$; utiliza el agua gris total
- $E > 1$; insostenibilidad

Además los índices del NCA determinados, reflejan el grado o porcentaje de contaminación en el que se encuentra el cuerpo receptor por mes. También se

consideró que si la insostenibilidad es recurrente en la mayoría de los meses, el cuerpo de agua tendría copada y superada su capacidad de asimilación, denotando así la no sostenibilidad en términos de calidad.

3.5.2. Criterio económico

En el desarrollo de este ítem, se ha tomado como referencia el estudio diseñado para la determinación de la Huella Hídrica extendida de la cuenca del Guadalquivir (Salmoral, et al, 2011), en el que se plantea un análisis económico cuantitativo del recurso hídrico, partiendo de un estudio del valor económico del agua. Considera además que los recursos naturales son “activos fijos”, esto con el fin de gestionar adecuadamente dicho recurso hasta llegar a un agotamiento óptimo, desde el punto de vista de la sostenibilidad.

3.5.2.1. Análisis económico Huella Azul

Salmoral, et al, 2011 citado en (CTA, 2013), planteó que se debe estimar el valor de producción a precios de mercado por m³ de agua consumida, determinando la productividad aparente del agua azul, este indicador manifiesta la capacidad de generación de ingresos en relación al consumo de agua, además de considerarse como un factor dinámico que evoluciona en el tiempo.

– Agrícola

La productividad aparente del agua azul (APW Azul) de la agricultura, se estimó dividiendo el precio del producto agrícola sobre su Huella Hídrica Azul, esto según la ecuación 64.

$$APW\ azul = \frac{Valor\ producción\ cultivo}{HH\ Azul\ cultivo} \quad (64)$$

Donde;

- APW azul = productividad aparente del agua azul (\$/m³).
- Valor producción cultivo = precio de mercado del producto (\$/t).
- HH Azul cultivo = Huella Hídrica Azul de cada cultivo (m³/t).

Además únicamente para este sector se calculó la productividad aparente de la tierra (APL), mismo que representa el valor económico a precios constantes, en función a las hectáreas cultivadas. Se lo obtiene multiplicando el precio de mercado del producto agrícola por su rendimiento, esto según la ecuación 65.

$$APL = Pm * Rendimiento \quad (65)$$

Donde;

- APL = Productividad aparente de la tierra (\$/ha).
- Pm = precio de mercado del cultivo (\$/t)
- Rendimiento = rendimiento de un cultivo en una hectárea (t/ha)

Los valores de precio de mercado se los obtuvo del sistema “Infoproductor Precio”, actuales a la cuarta semana de abril del presente año (MAGAP, 2017).

– Pecuario

La productividad aparente del agua azul (APW Azul) pecuario, se estimó dividiendo el precio de la producción de carne bovina sobre la Huella Hídrica Azul asociada a este sector, esto según la ecuación 66.

$$APW \text{ azul} = \frac{\text{Valor producción de carne}}{HH \text{ Azul pecuaria}} \quad (66)$$

Donde;

- APW azul = productividad aparente del agua azul (\$/m³).
- HH Azul pecuaria = Huella Hídrica Azul de cada cultivo (m³/año).

- Valor producción carne = precio de mercado del ganado en peso vivo por el peso promedio del ganado y por número de cabezas de ganado (\$/año).

Los precios de ganado en peso vivo se los obtuvo del sistema “Infoprodutor Precio”, actuales a la cuarta semana de abril del presente año (MAGAP, 2017).

– Energía

La productividad aparente del agua azul (APW Azul) del sector energía, se estimó dividiendo el precio del Gigavatio-hora (GWh) de energía en el mercado, sobre la Huella Hídrica Azul asociada a este sector, esto según la ecuación 67.

$$APW \text{ azul} = \frac{\text{Valor producción de la energía}}{HH \text{ Azul energética}} \quad (67)$$

Donde;

- APW azul = productividad aparente del agua azul (\$/m³).
- HH Azul energética = Huella Hídrica Azul del sector energía (m³/año).
- Valor producción de la energía = precio de mercado del KWh por la energía generada en la planta (\$/año).

El precio del KWh se asumió en 0.068 \$, mismo que fue obtenido como referencial a la tasa residencial- R1 (EEQ, 2014).

– Minería

La productividad aparente del agua azul (APW Azul) del sector minero, se estimó dividiendo el precio promedio de arenas y gravas de un año en el mercado, sobre la Huella Hídrica Azul asociada a este sector, esto según la ecuación 68.

$$APW \text{ azul} = \frac{\text{Precio promedio pétreos} * \text{produccion de pétreos}}{HH \text{ Azul minera}} \quad (68)$$

Donde;

- APW azul = productividad aparente del agua azul (\$/m³).
- HH Azul minera = Huella Hídrica Azul del sector minero (m³/año).
- Producción de los pétreos = material arenas y gravas producidos en las concesiones mineras (kg/año).
- Precio promedio pétreos = costo de mercado de 1 m³ de área y grava multiplicado por su densidad. (\$/kg).

El precio del material pétreo se obtuvo de la lista de precios de materiales de construcción del “Suplemento Construir” (El Comercio, 2016).

– Doméstico

La productividad aparente del agua azul (APW Azul) del sector doméstico, se estimó dividiendo el precio del m³ de agua en el mercado, sobre la Huella Hídrica Azul asociada a este sector, esto según la ecuación 69.

$$APW \text{ azul} = \frac{\text{Valor producción del agua potable}}{HH \text{ Azul doméstico}} \quad (69)$$

Donde;

- APW azul = productividad aparente del agua azul (\$/m³).
- HH Azul doméstica = Huella Hídrica Azul del sector doméstico (m³/año).
- Valor producción del agua potable = precio de mercado del m³ por el agua facturada en los municipios de Quito y Rumiñahui (\$/año).

El precio del m³ se asumió en 0.31 \$ mismo que fue obtenido como referencial del pliego tarifario doméstico (EPMAPS, 2017).

3.5.2.2. Análisis económico Huella Gris

El análisis económico de la Huella Gris, se asocia al costo referencial de la implementación de plantas de tratamiento de agua, para remoción de contaminantes, estos valores se los obtuvo de estudios relacionados.

CAPITULO IV

RESULTADOS

La caracterización morfológica de la microcuenca del Río Pita se muestra en la tabla 18, en la que establece ciertas particularidades físicas que relacionan el comportamiento hidrológico de la zona.

Tabla 18.
Caracterización morfológica microcuenca del Río Pita

PARÁMETRO	UNIDAD	SÍMBOLO	VALOR	CARACTERÍSTICA
Área de la microcuenca	km ²	Ac	592.4	Intermedia pequeña
Perímetro de la microcuenca	km	P	140.5	-
Coefficiente de compacidad	-	Kc	1.6	Oval oblonga a rectangular oblonga
Longitud axial	km	Lc	43.8	
Factor de forma de Horton	-	Kf	0.3	Ligeramente alargada
Desnivel entre curvas	m	H	40.0	-
Pendiente de la microcuenca	%	Sc	26.5	Fuertemente accidentado
Cota máxima	m	Cot max	5880.0	-
Cota mínima	m	Cot min	2440.0	-
Longitud del cauce principal	km	Lr	51.8	-
Pendiente del cauce principal	%	Ms	6.6	Moderadamente inclinado
Densidad de corriente	1/km ²	Dc	0.7	Cuencas bien drenadas Dc > 1 y Dd > 2.5
D. de drenaje	km/km ²	Dd	1.8	km/km ²
Corriente	# de afluentes	Longitud (km)		Sistema de drenaje radial centrífugo, típico de las zonas volcánicas su principal distintivo es que están montados como rayos o radios en forma de una rueda focalizando un punto central.
Orden 1	315	554.8		
Orden 2	71	290.9		
Orden 3	19	122.3		
Orden 4	7	27.6		
Orden 5	3	61.1		
Total	415	1056.6		

Otra de las características de la microcuenca se observa en la figura 12, en el cual denota la relación entre la variación altitudinal y el área que la conforma, se obtuvo la curva característica de la microcuenca, denominada curva hipsométrica; la cual establece que la microcuenca se encuentra en su Fase de madurez, es decir es una cuenca en equilibrio. Para fines prácticos en el anexo 5, se encuentra los cálculos asociados a dicha curva.

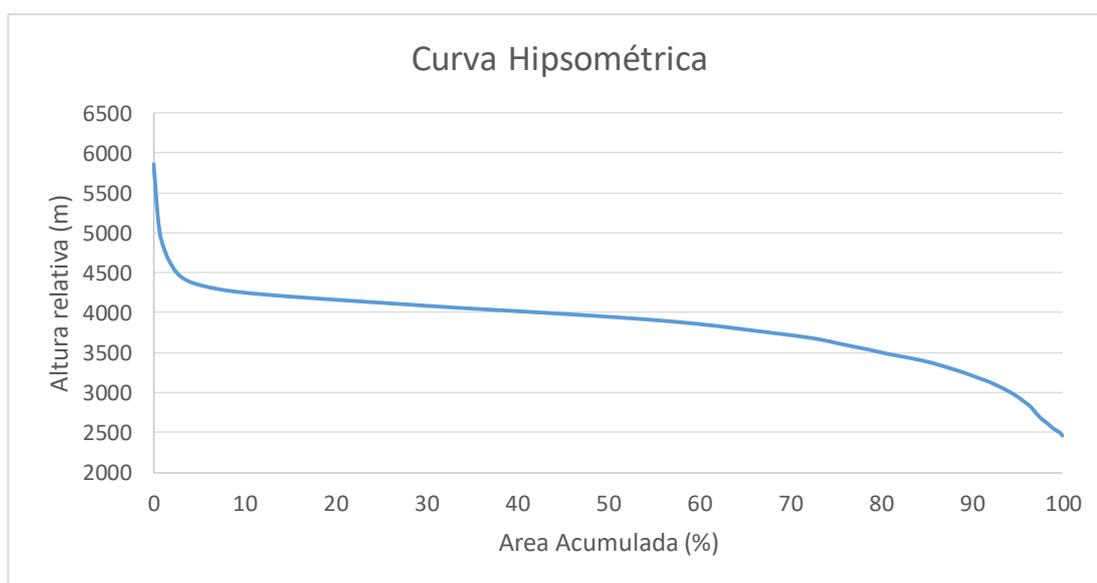


Figura 12. Curva hipsométrica microcuenca del Río Pita.

4.1. Caracterización físico – químico del Río Pita

Agua.- Los parámetros medidos In situ: caudal, temperatura y pH de los 5 puntos muestreados arrojaron datos promedio, mismos que se observa en la tabla 19.

Tabla 19.
Parámetros In situ

	Q (m³/s)	T °C	pH
G1	3.65	10.10	8.40
G2	3.25	11.10	8.61
G3	1.34	11.57	8.19
G4	1.53	15.13	8.13
G5	1.55	17.97	7.93
Promedio	2.26	13.17	8.25

Se obtuvo un caudal medio de 2.26 m³/s, esto se debe a la topografía de la zona que denota una gran variabilidad entre los 5 puntos muestreados, ya que se encuentran a diferentes altitudes. Se determinó también una temperatura de 13.17 °C, se observa que esta va aumentando a medida que la altitud va disminuyendo, además se obtuvo un pH de 8.25, valor muy próximo al rango de 7 a 9 reportado en estudios similares del Río Pita, en el anexo 6 se detalla los informes en campo de estas mediciones.

Los parámetros medidos en el laboratorio igualmente se presentan con valores promedios, estos datos están expresados en partes por millón (ppm) (ver tabla 20).

Tabla 20.
Parámetros de laboratorio

Punto	DBO ₅	DQO	P	N	SST
G1	12.40	16.90	0.26	3.08	52.16
G2	15.38	24.85	0.33	3.18	62.22
G3	18.00	27.95	0.42	4.32	68.06
G4	21.15	35.20	0.62	4.16	71.37
G5	27.33	44.53	0.79	6.41	81.26
Promedio	18.85	29.89	0.48	4.23	67.01

El común de los resultados es que los valores tienden a subir, a medida que disminuye la altitud a la que estuvo el punto de muestreo (ver figura 13).

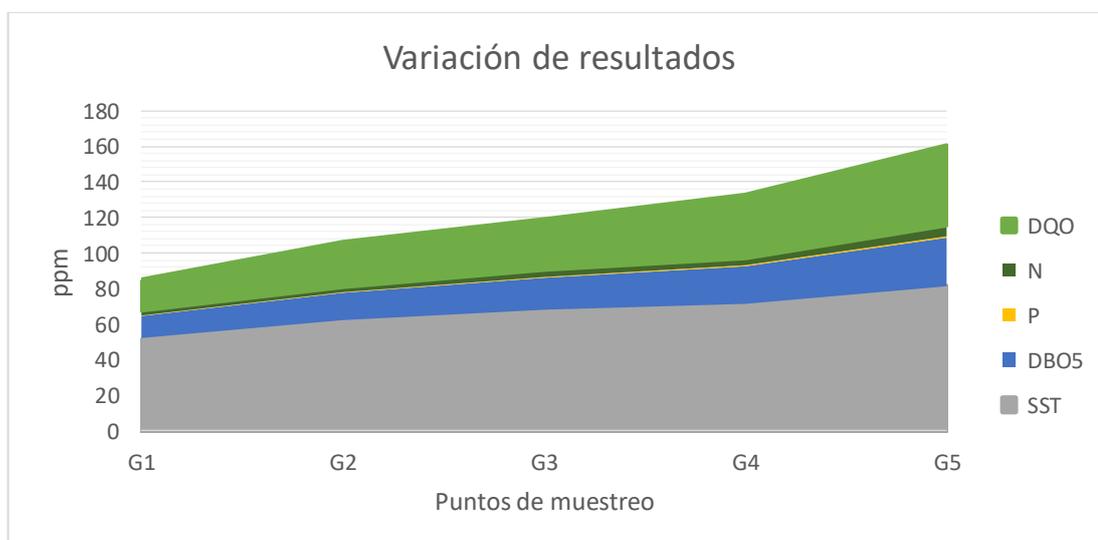


Figura 13. Parámetros medidos en función al punto de muestreo

En consideración el punto G5 presenta las concentraciones más altas. El contenido de fósforo promedio total es de 0.48 mg P/l y Nitrógeno es 4.23 mg N/l, valores que se utilizaron en la cuantificación de la Huella Hídrica Agropecuaria. Los sólidos suspendidos totales con 67.01 ppm, se utilizaron en la determinación de la Huella Hídrica Minera. El valor de la DBO₅ y DQO fueron de 18.85 y 29.89 ppm respectivamente y estos se los utilizo en la Huella Hídrica Doméstica, en el anexo 7 se detalla los resultados obtenidos por parámetro y repetición en laboratorio.

Suelo

La clase textural se determinó, a base de cinco barrenaciones a lo largo del cauce del Río Pita, en la que se obtuvo dos texturas muy parecidas en sus características edáficas, por lo que se asumió como una sola a la textura Franco Arenosa, como se observa en la tabla 21. En el anexo 8 se detalla la caracterización completa en campo de los puntos de muestreo.

Tabla 21.
Clasificación textural suelo microcuena

CODIGO	horizonte	TEXTURA			clase textural
		partículas			
		% arena	% limo	% arcilla	
G001	A	30	40	30	FL
G002	A	60	30	10	FA
G003	A1	10	60	30	FL
G004	A0	15	60	25	FL
	A1	30	50	20	FA
G005	A	30	30	40	FA

NOTA* FL: Franco Limoso; FA: Franco Arenoso

4.2. Análisis socioeconómico

Compendio social

La microcuenca del Río Pita es parte de 5 parroquias rurales: Pintag, Machachi, Sangolquí, Alangasí y Rumipamba mismas que cuentan con características propias de la población que reside dentro de la microcuenca, se calculó teóricamente el número de pobladores que estarían dentro de esta, así en la tabla 22, se muestra que aproximadamente 44000 personas residirían en la zona, donde el 51 % son mujeres y el 49 % son hombres.

Tabla 22.
Distribución poblacional

Parroquia	Hombres	Mujeres	Población	Superficie de la Parroquia (km ²)	Densidad Poblacional (hab/km ²)
Alangasí	2557	2676	5233	6.35	824.02
Pintag	5809	6007	11816	323.23	36.56
Machachi	6712	7085	13796	233.73	59.03
Sangolquí	6192	6505	12697	8.97	1416.06
Rumipamba	178	168	346	18.80	18.43
Total	21448	22440	43888	591.07	

La parroquia que más aporta con población es Machachi con cerca de 31%, seguido de Sangolquí y Pintag con el 29 y 27 % respectivamente, mientras que Rumipamba es la que menos aporta con el 1%, como se observa en la figura 14.

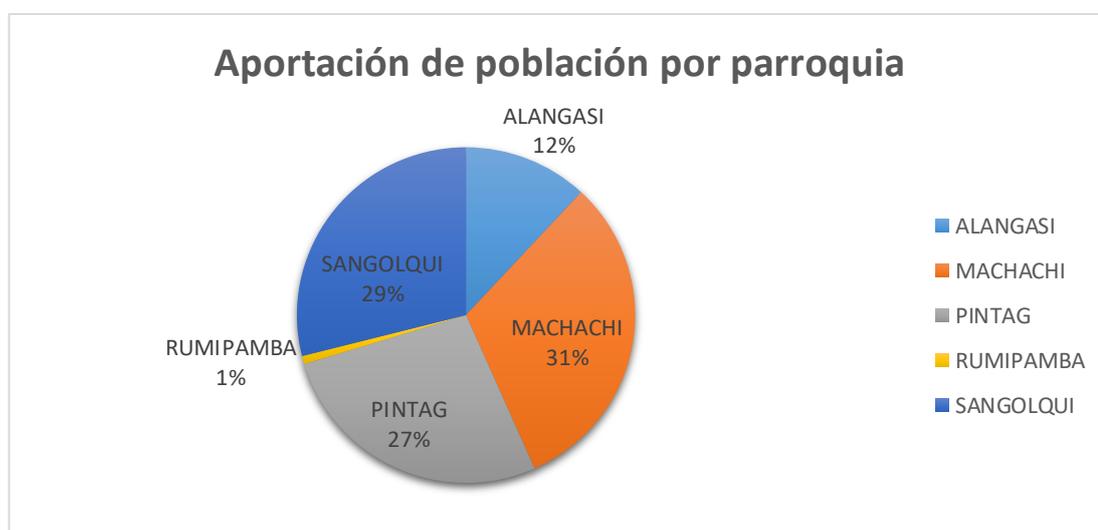


Figura 14. Aportaciones de población por parroquia

Tomando en consideración la población total de cada parroquia y la población teórica que aporta a la microcuenca cada una, se establece que el 66% de la población de Pintag está dentro de la microcuenca, muy contrario al porcentaje de aportación antes mencionado. En la figura 15, se muestran porcentajes que son directamente proporcionales al área que los contiene, es decir que el 66% del área total de la parroquia Pintag está dentro de la microcuenca.

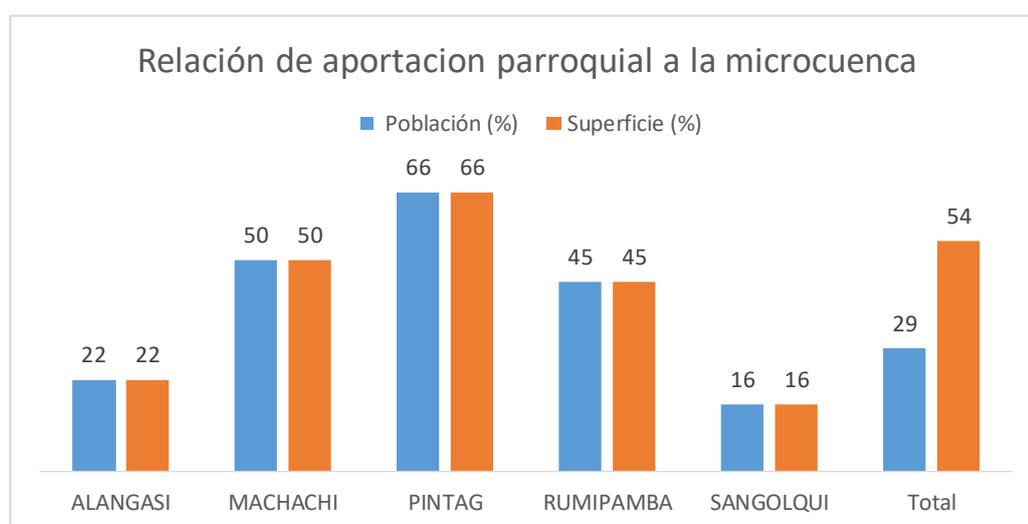


Figura 15. Relación de aportación superficie y población

Cabe mencionar que únicamente 29% de la población de las cinco parroquias está dentro de la microcuenca, y que en relación a la superficie estas comprenden el 54 % del territorio total cuantificado. Estos resultados son un compendio para el año 2010, efectuando este mismo criterio se calculó dichas relaciones para el año 2016.

Se consideró para esto, la tasa de crecimiento intercensal anual parroquial, y se prorrateo hasta el año de interés. La población aproximadamente subió un 16%, llegando así a un estimado de 51000 habitantes (ver tabla 23), por otro lado las relaciones de aportación de población y superficie se mantienen, según el estimado realizado para este año.

Tabla 23.
Prorrato poblacional al 2016

Parroquia	Tasa crecimiento intercensal	Años de prorrato	Población	Densidad Poblacional
Alangasí	3.74%	6	6407	1008.87
Pintag	2.37%	6	13495	41.75
Machachi	2.28%	6	15686	67.11
Sangolquí	2.89%	6	14898	1661.52
Rumipamba	5.39%	6	458	24.39
			50945	

Pese al incremento de población en la zona de estudio, una de las características principales que se determinó es que; aproximadamente el 88% de los pobladores se considera Mestizo, y el otro 12 % se identifica con otras etnias, lo que indica una población bastante diversa, como lo muestra la figura 16.

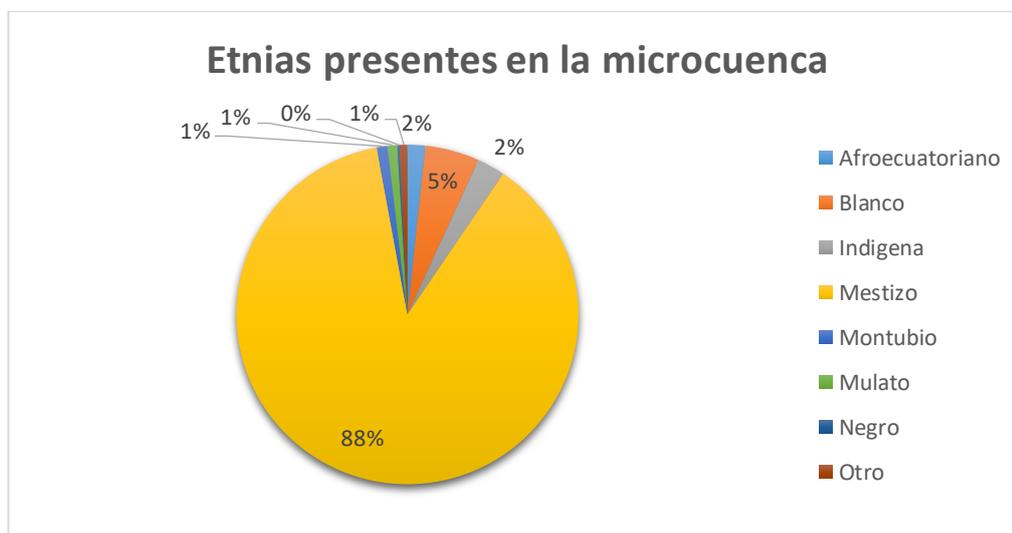


Figura 16. Autoidentificación étnica

Además se consideró la tasa de analfabetismo, para establecer un criterio más sólido acerca del estatus actual de la población. Se encontró entonces dos casos; la población procedente de Alangasí, Machachi y Sangolquí mantiene un índice de

analfabetismo menor al 6.1 %, menos que la media nacional de 6.8%, mientras que Pintag y Rumipamba un índice mayor a 8.8 %, esto se muestra en la figura 17.

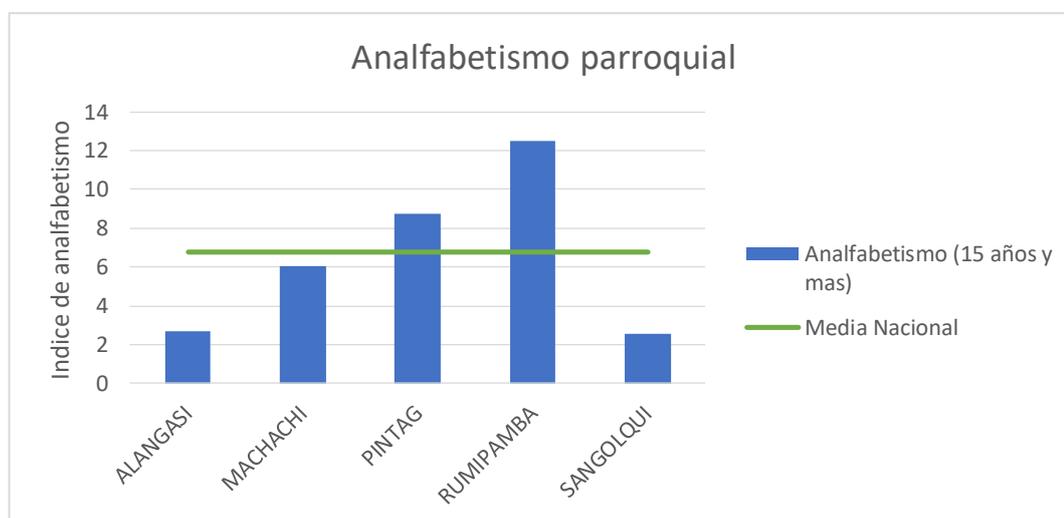


Figura 17. Analfabetismo parroquial año 2010

Compendio económico

El estrato poblacional es diverso como ya se observó anteriormente, y siendo base fundamental para el desarrollo económico la fuerza laboral de las parroquias; esta se puede cuantificar en función de la población económicamente activa (PEA), la cual se expresó en función del índice del PEA, este denota que las parroquias Alangasí y Machachi tienen una la mayor población ocupada en alguna actividad económica con cerca del 60% (ver figura 18).

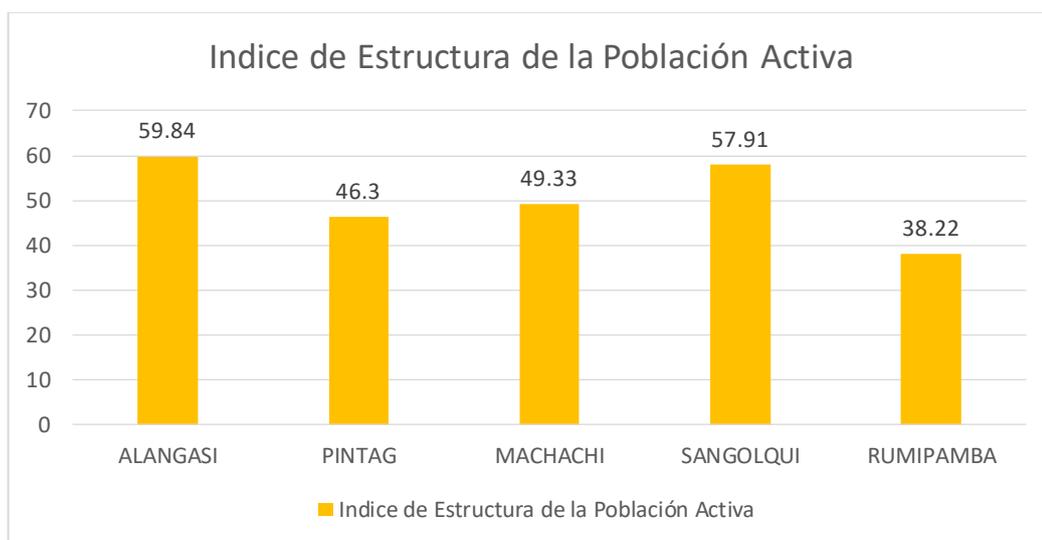


Figura 18. Población económicamente activa

Las actividades económicas son diversas y estas se pueden agrupar en sectores económicos, por lo cual se estratifico los principales sectores donde se muestra el mayor número de persona que laboran, en la figura 19, se observa que mayoritariamente la población está concentrada en la sector industrial, sin embargo esto se debe al gran aporte de las industrias de la zona de Sangolquí, pero al estar fuera de la microcuenca este valor se lo toma como un referente dentro de la población.

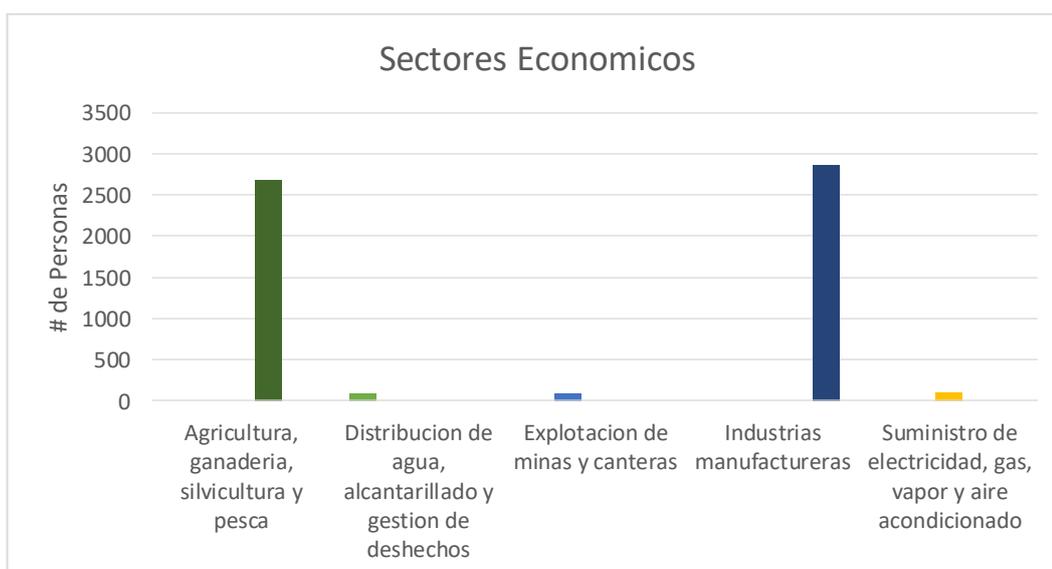


Figura 19. Sectores económicos de la microcuenca

Otro de los valores que se considera es el número de personas que se enfoca en la agricultura, ganadería y pesca, valor que contrasta con la realidad de la zona que se ha detallado en parte de este estudio, el compendio de las actividades económicas se puede ver en el anexo 9.

Caracterización biofísica - Uso y cobertura del suelo

Se observa en el mapa de uso y cobertura del suelo, que mediante la cuantificación realizada en la microcuenca se establece que el 61% es páramo, 17% pastizales cultivados, 11% sin cobertura vegetal y 11% otras coberturas (ver figura 20). Ya que por su ubicación privilegiada esta caracterización representa acertadamente la realidad de la zona. En la determinación de parte de la Huella Hídrica en los diferentes sectores se utilizó las coberturas, pastizal cultivado, cultivo, plantaciones forestales y el área poblada que aproximadamente representa el 21% de la superficie.

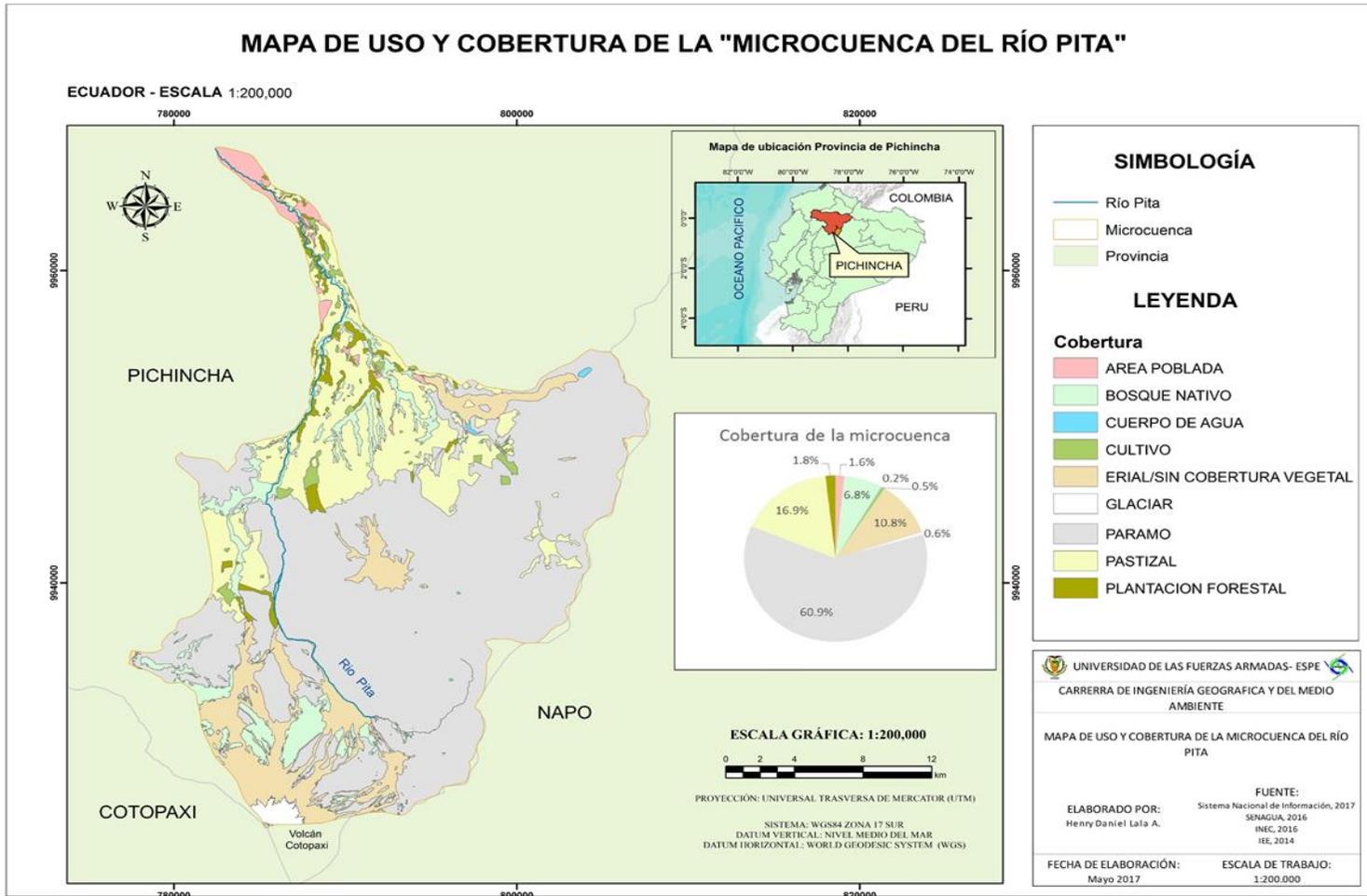


Figura 20. Uso y cobertura del suelo de la microcuenca

4.3. Cuantificación de la Huella Hídrica

Sector agrícola

Huella Hídrica por tonelada de producción

La Huella Hídrica del sector, se cuantifica en función del volumen de agua utilizada por tonelada de producción del cultivo, denota entonces los cultivos que necesitan volúmenes considerables de agua para producir una tonelada de este.

El principal aportante de la Huella Hídrica agrícola azul es el frejol con cerca de 3000 m³ de agua por cada tonelada producida, esto es debido a que su segundo periodo de siembra se lo realiza en los meses considerados “secos”, por lo que el requerimiento de agua es sustancialmente notorio, es decir que en muchos de los casos este debió ser suplido mediante riego; razón por la que la huella es relativamente alta para este. En el caso de la arveja se debe a una condición muy parecida, ya que su periodo de siembre es entre los mismos meses que el segundo ciclo del frejol, mientras que los otros productos muestran realidades diferentes, como se observa en la figura 21.

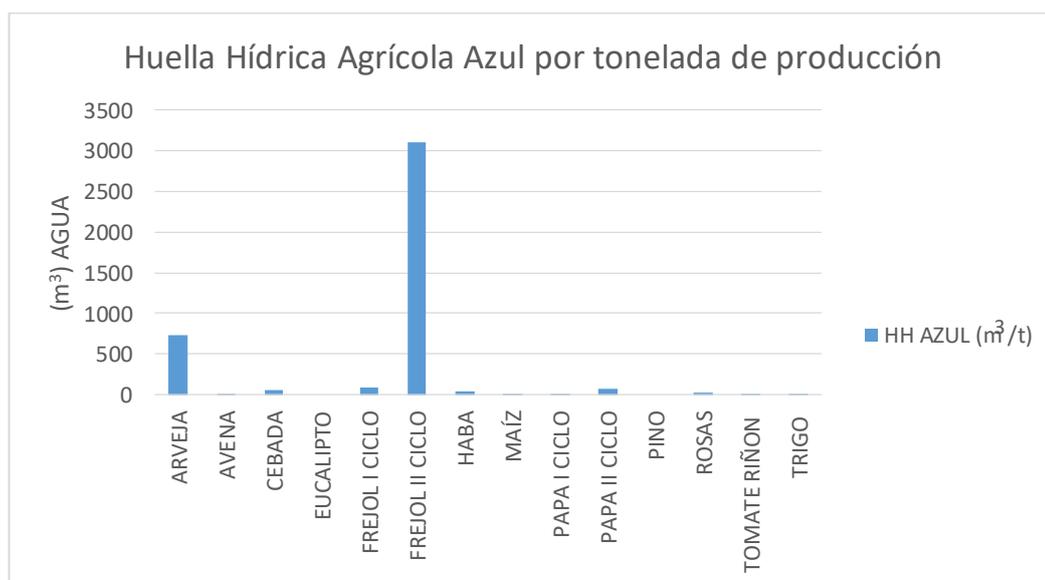


Figura 21. Huella Hídrica Azul Agrícola por tonelada de producción

Los principales cultivos aportantes a la Huella Hídrica Verde son los cultivos de; frejol en ambos ciclos, haba, trigo, cebada y arveja con una media de 5000 m³ de agua por cada tonelada de cultivo producido, esto se debe a que estos productos necesitan grandes requerimientos de agua para proliferar, como esta agua verde está disponible en el medio, dichos productos son los que mayor provecho le saca al ocuparla, cuando esta agua no es suficiente ya que el requerimiento es alto; es necesario regarlos, como el caso del frejol y los otros cultivos antes detallados, como se mostró en la Huella Azul en este sector, para los otros cultivos la aportación es baja, se muestra en la figura 22.

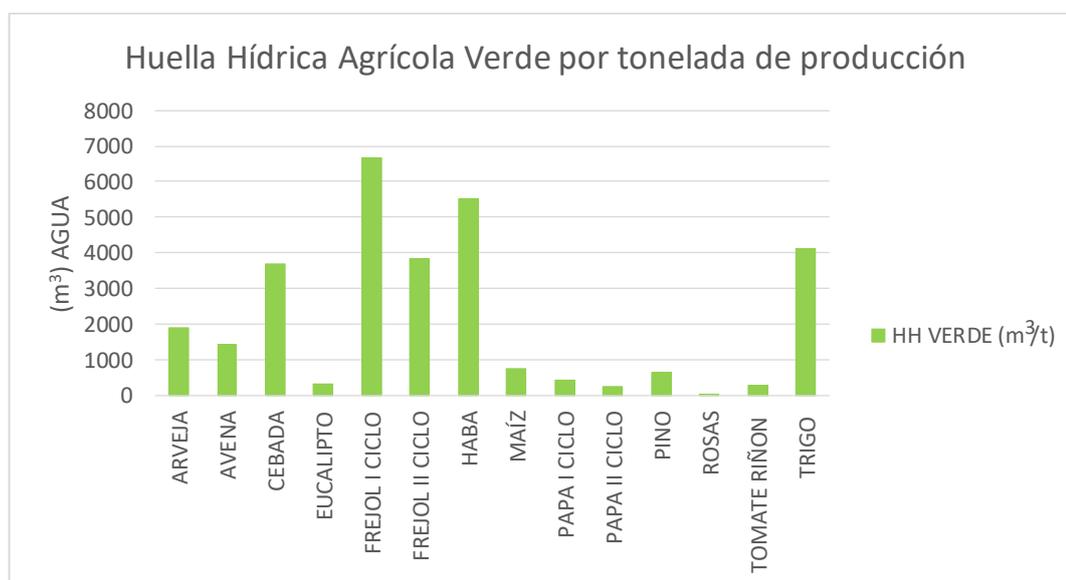


Figura 22. Huella Hídrica Verde por tonelada de producción

En el caso de la Huella Hídrica Gris, coincide con los cultivos que tienen requerimientos de agua relativamente altos como frejol, haba, trigo, cebada y arveja; es decir que estos productos necesitan grandes volúmenes de agua dulce para disipar la contaminación generada al producir una tonelada de dicho cultivo, aproximadamente 900 m³ por cada tonelada de cultivo producido. Esta contaminación únicamente se refiere a la generada por Nitrógeno contenido en los fertilizantes aplicados, los otros cultivos tienen aportaciones a esta huella pero no muy notoria, como se muestra en la figura 23.

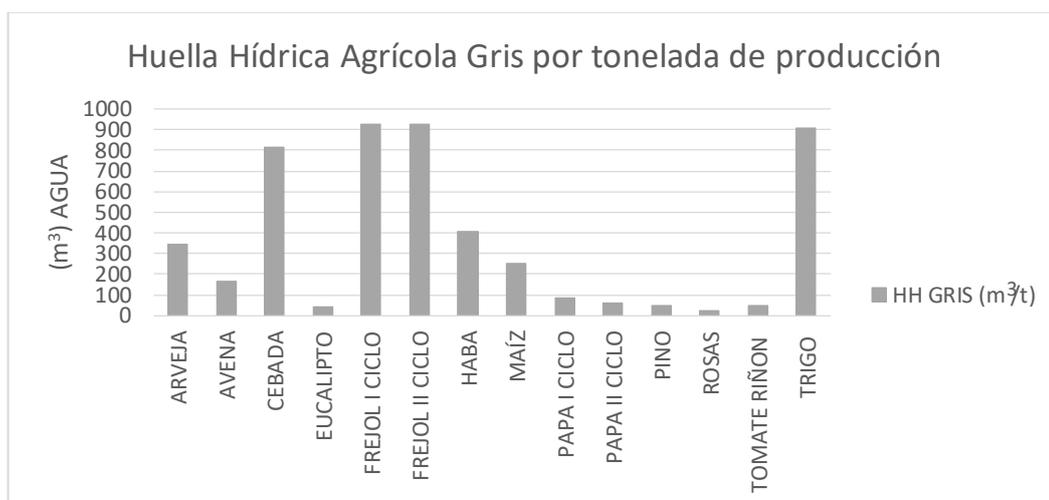


Figura 23. Huella Hídrica Gris por tonelada de producción

Cabe mencionar que si bien, ciertos cultivos utilizan volúmenes de agua altos para producir una tonelada, la realidad torna hacer diferente cuando se analiza un año completo de producción, ya que se considera el rendimiento del cultivo y las toneladas que este produjo. Estas características son propias para cada cultivo, por ende las variaciones en los diferentes requerimientos de agua son notorias al cuantificarlas.

Huella Hídrica anual por cultivo

La Huella Hídrica del sector considerando el volumen total de agua utilizada por cultivo en un año típico de producción, en la figura 24 las diferentes aportaciones.

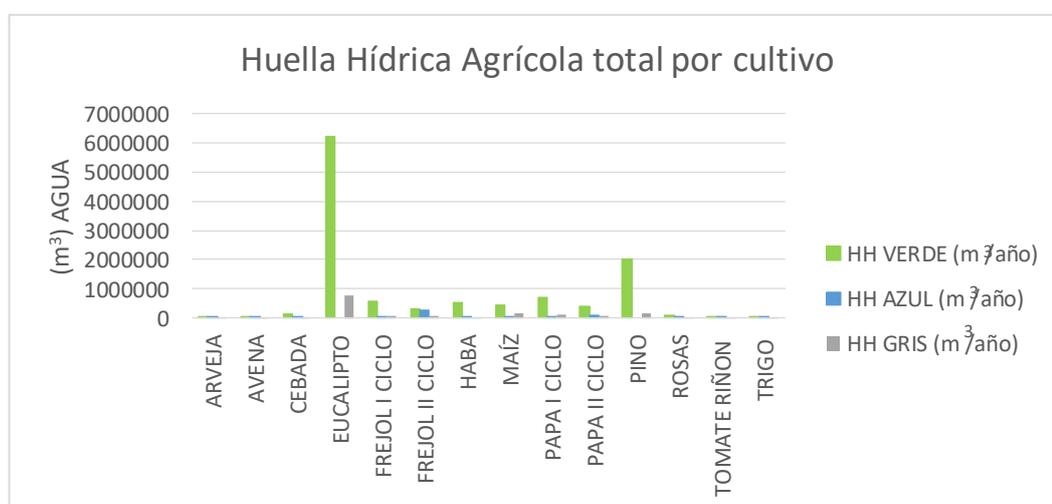


Figura 24. Huella Hídrica agrícola anual por cultivo

En la Huella Hídrica Azul, los mayores aportantes en el año son: el frejol y la papa ambos en su segundo ciclo de producción con cerca de 200000 m³ de agua azul.

En la Huella Hídrica Verde, los cultivos forestales de pino y eucalipto son los que más sobresalen con cerca de 2'000000 m³ y 6'000000 m³ respectivamente, estos requerimientos son suplidos por el agua verde ya que por lo general los cultivos forestales no son regados, si bien la naturaleza de estos cultivos, de consumir agua es notoria, el valor obtenido se debe en gran medida a la vasta extensión cultiva que se encontró en la zona.

En la Huella Gris, los cultivos con altos los volumen de agua necesarios para disipar la contaminación generada por fertilización son los forestales con cerca de 1'000000 m³, esto es debido a que al eucalipto y pino se los considero como cultivos en su etapa inicial, es decir cultivos de 0 a 1 año de crecimiento, y los requerimientos de fertilización se da precisamente en dicha etapa. El caso de los cultivos agrícolas denota que los mayores aportantes son el maíz y la papa con un volumen cercano a 200000 m³ de agua, esto se debe ya que son los cultivos que necesitan mayor fertilización en sus diferentes etapas, además las mayores áreas de cultivo están destinadas a estos y por ende el volumen producido es alto.

Huella Hídrica total sector Agrícola

En la figura 25, se muestra el compendio total de huella expresado en Millones de m³

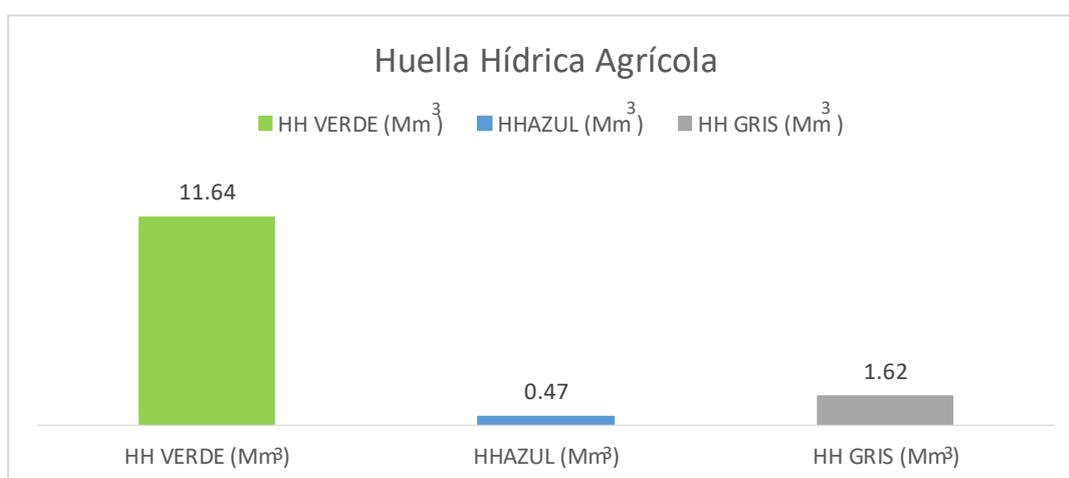


Figura 25. Huella Hídrica agrícola

En el sector agrícola se cuantificó, 11.63 Mm³ de Huella Verde, 1.62 Mm³ de Huella Gris y 0.47 Mm³ de Huella Azul, siendo estos dos últimos volúmenes bajos frente al consumo generado por la Huella Verde. Los cálculos realizados para cuantificar la huella en este sector están detalladas en el anexo 10, el cual contiene los procedimientos realizados.

Sector pecuario

Huella Hídrica por tonelada de peso vivo

La Huella Hídrica del sector, en función al volumen de agua utilizada por tonelada de peso vivo de los bovinos, se muestra en la figura 26, estos están asociados directamente a los requerimientos de agua de los pastos que consume el ganado y se expresa en función del peso vivo de cada bovino.

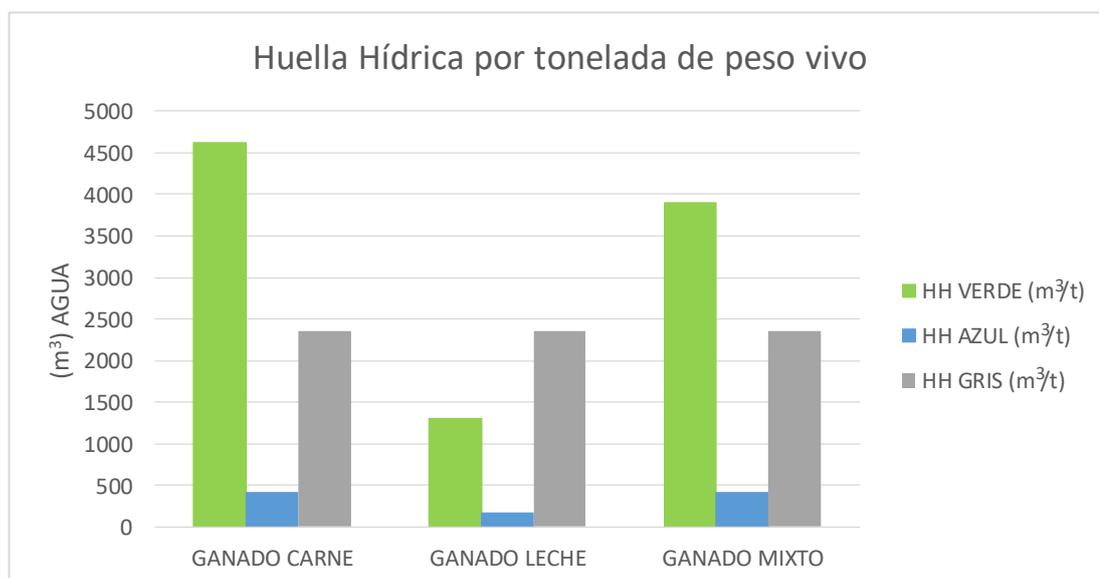


Figura 26. Huella Hídrica pecuaria por peso vivo

En la Huella Hídrica Azul se muestra que el ganado de carne y ganado de carne/leche, consumen cada uno alrededor de 500 m³ de agua por cada tonelada de peso vivo, mientras que el ganado de leche consume alrededor de 200 m³ por cada

tonelada, esto pese a que este ganado predomine en la zona y por ende las áreas destinadas para pastos de ganado de leche, sean el 70% del total cuantificado.

Los mayores consumidores de agua verde son el ganado de leche y ganado de carne/leche, teniendo como media 4000m^3 por cada tonelada de peso vivo, mientras que el ganado de leche 1200 m^3 de agua.

Los resultados obtenidos en estos dos casos se deben exclusivamente al rendimiento utilizado por cada pasto, en el caso del ganado de leche se trabajó un rendimiento de 15 toneladas de materias seca por hectárea, mientras que para los otros tipos de ganado se utilizó un rendimiento de 5 toneladas, es decir que el un pasto rinde 3 veces más que el otro, esta relación se vio reflejada inversamente en los resultados obtenidos de ambas huellas.

La Huella Hídrica Gris fue; 2250 m^3 para cada uno, no se observa variabilidad entre los tres ya que las concentraciones de Nitrógeno en las heces fecales y urinales utilizadas, no diferencia que tipo de pasto consumen.

Huella Hídrica anual por tipo de ganado

La Huella Hídrica del sector en función al volumen total de agua utilizada por tipo de bovino en un año típico de desarrollo, se muestra en la figura 27.

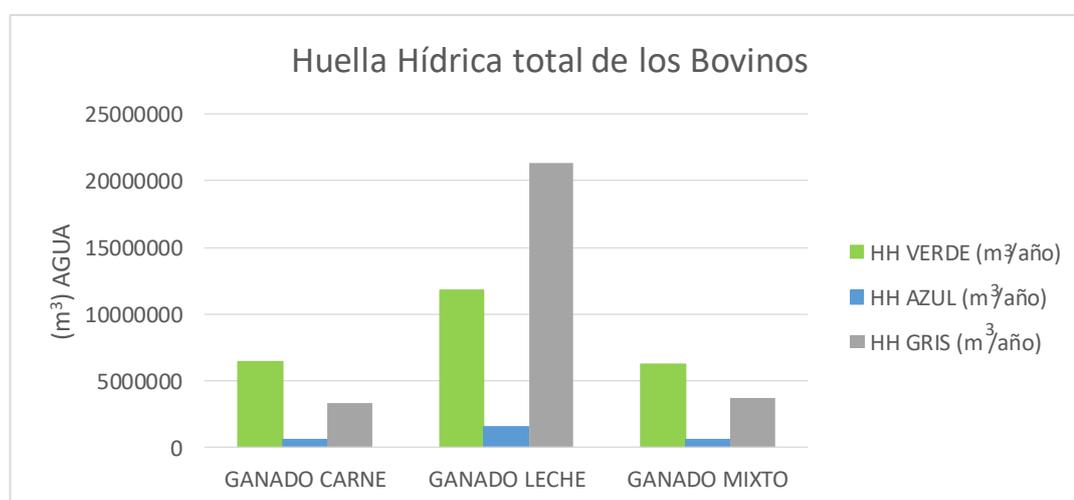


Figura 27. Huella Hídrica por tipo de bovino

Las huellas azul verde y gris del ganado de leche son mayores a la de los otros ganados esto se debe a que el número de cabezas de ganado es mayor, en consecuencia el resultado anual de las huellas denoto que es directamente proporcional al número de cabezas de ganado, ya que consumen más pasto, más agua y por ende generan más desechos, que acarrear en una posterior contaminación. Esta realidad es inversa a la obtenida en la Huella Hídrica por tonelada de peso vivo.

Huella Hídrica total sector agrícola

En la figura 28, se muestra el compendio total de huella expresado en Millones de m^3 .

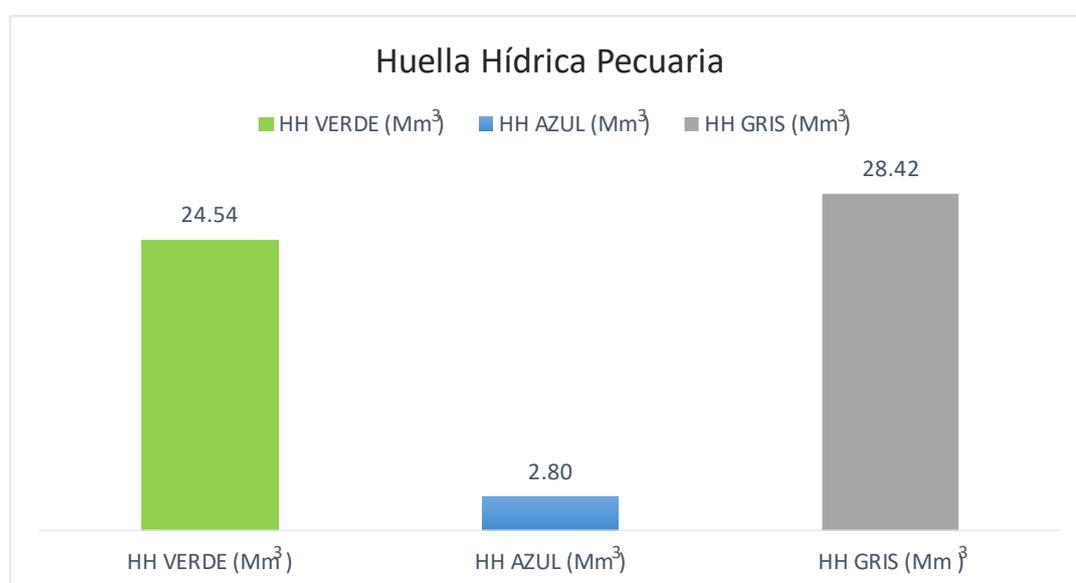


Figura 28. Huella Hídrica pecuaria

En el sector pecuario se cuantificó, 24.54 Mm^3 de Huella Verde, 28.42 Mm^3 de Huella Gris y 2.80 Mm^3 de Huella Azul, siendo este último volumen bajo frente al consumo generado por la Huella Verde y gris. Los cálculos realizados para cuantificar la huella en este sector están detalladas en el anexo 11, el cual contiene los procedimientos ejecutados.

Sector Doméstico

Huella Hídrica por habitante

La Huella Hídrica del sector doméstico en función del volumen de agua utilizada por habitante, se muestra en la figura 29 los valores obtenidos, considerando los cantones de Quito y Rumiñahui.

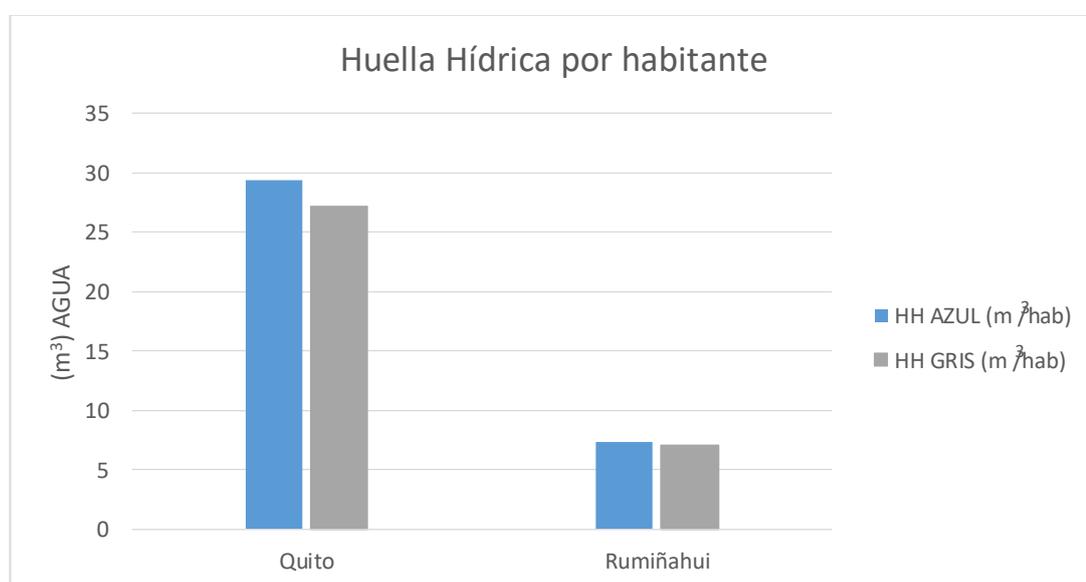


Figura 29. Huella Hídrica por habitante

La Huella Hídrica Azul cuantificada para Quito es de 29 m³ por habitante, frente a los 7 m³ de Rumiñahui, esto se debe a que la captación que realiza Quito es mucho mayor a la de Rumiñahui, ya que Quito abastece a un número mayor de usuarios, por ende los requerimientos son más altos. En este caso de la Huella Hídrica Gris, los valores obtenidos son similares a los de la Huella Azul, para Quito un volumen de 27 m³ y para Rumiñahui 7 m³ por habitante.

Huella Hídrica anual por municipio

La Huella Hídrica está en función del volumen total de agua utilizada por los usuarios en un año típico, se muestra en la figura 30 dichos valores que se los obtuvieron partir del caudal facturado según cada municipio.

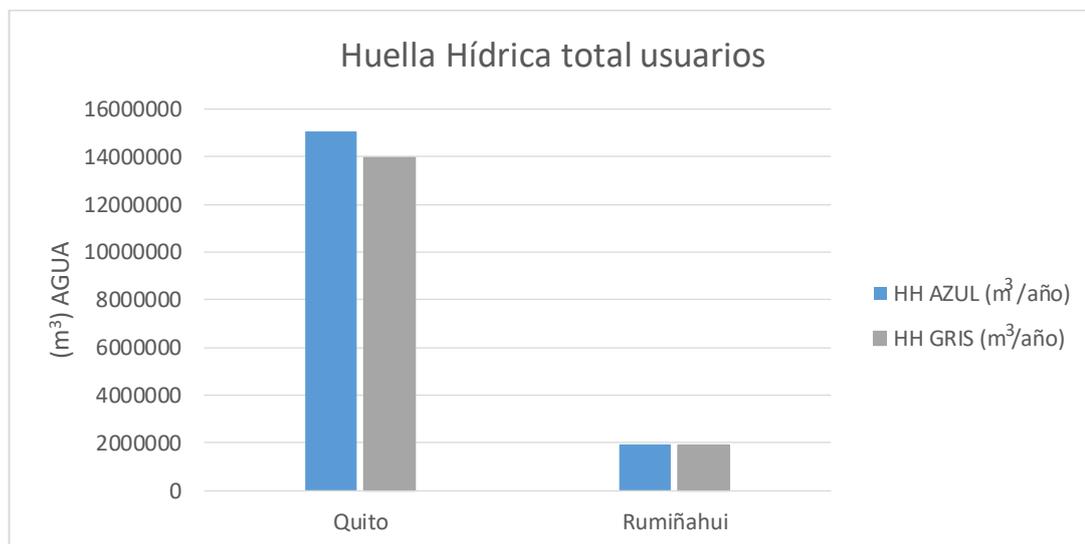


Figura 30. Huella Hídrica anual doméstica

La tendencia para este sector se mantiene, la Huella Hídrica Azul anual es de 15'000000 m³ para Quito, y para Rumiñahui es de 2'000000 m³, valores que son similares en la Huella Hídrica Gris de 14' 000000 m³ y 2'000000 m³ respectivamente.

Huella Hídrica total sector doméstico

En la figura 31, se muestra el compendio total de huella expresado en Millones de m³

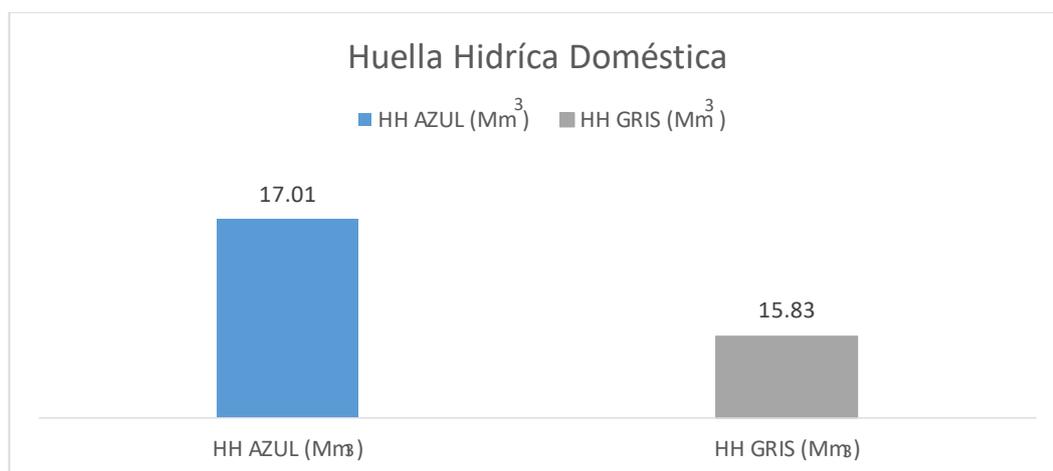


Figura 31. Huella Hídrica doméstica

En el sector doméstico se cuantificó, 15.83 Mm³ de Huella Gris y 17.01 Mm³ de Huella Azul, siendo estos valores similares y bastante considerables. Los cálculos realizados para cuantificar la huella en este sector están detalladas en el anexo 12, el cual contiene los procedimientos ejecutados.

Sector Minero

Huella Hídrica por tonelada de material producido

La Huella Hídrica en función del volumen de agua utilizada para producir una tonelada de mineral, se obtuvieron resultados a partir de cuatro agregados, figura 32.

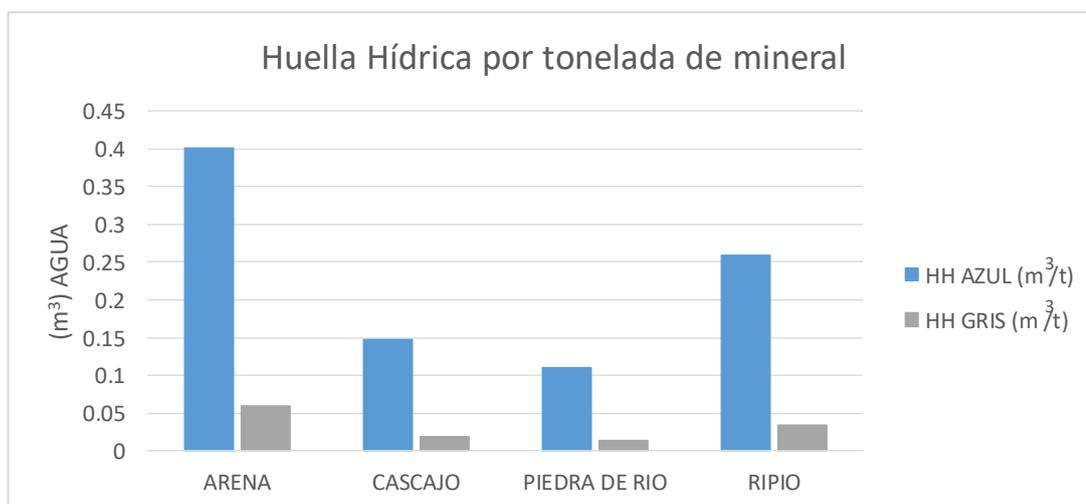


Figura 32. Huella Hídrica por tonelada de producción

En la Huella Hídrica Azul, el mayor aportante es la arena con 0.4 m^3 agua por cada tonelada de arena producida, los otros materiales tienen aportaciones menores a esta. Lo mismo para la Huella Hídrica Gris con cerca de 0.05 m^3 de agua, utilizada para disipar la contaminación generada por Sólidos Suspendedos Totales, además hay que acotar que el bajo resultado, se debe a casi nula presencia de este sector en la microcuenca, denotando así una baja concentración de SST determinada en la zona cerca de las concesiones mineras.

Huella Hídrica anual por tipo de agregado

En la figura 33 se muestra la Huella Hídrica del sector en función del agua utilizada en la explotación por mineral, en un año típico de producción. Los mayores aportantes son; el ripio con cerca de 60000 m^3 de agua para Huella Azul, y 8000 m^3 para Huella Gris, esto se debe a que en la mayoría de áreas explotan ripio principalmente

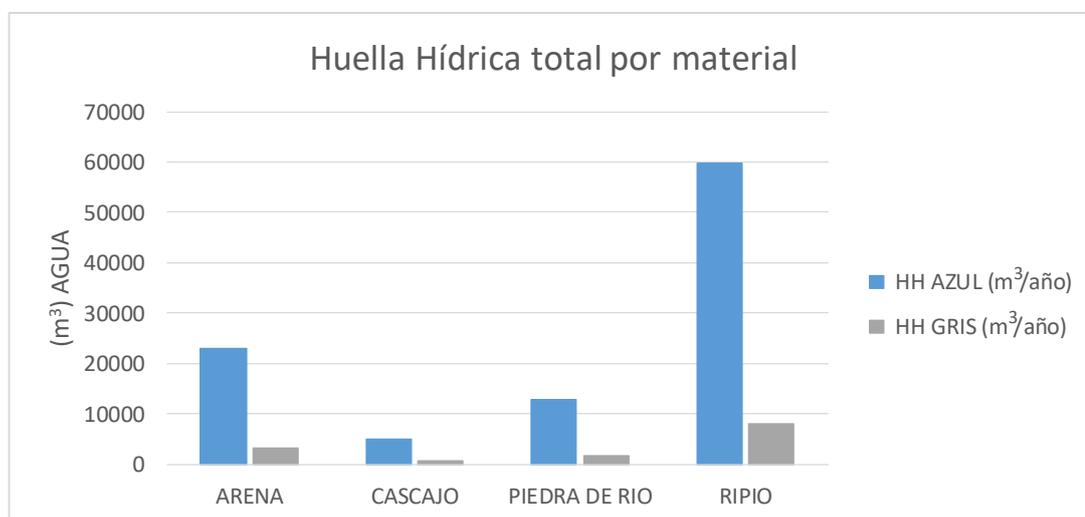


Figura 33. Huella Hídrica anual minera

Huella Hídrica total sector minero

En la figura 34, se muestra el compendio total de huella expresado en Millones de m^3

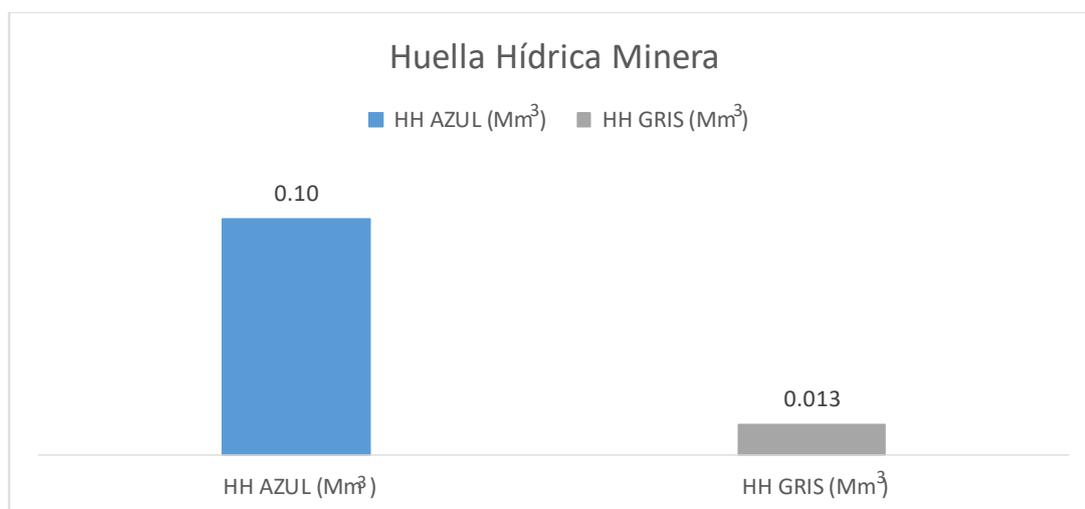


Figura 34. Huella Hídrica minera

En el sector minero se cuantificó, 0.013 Mm³ de Huella Gris y 0.10 Mm³ de Huella Azul, siendo estos valores bastante bajos frente a los otros sectores, esto se debe a que las áreas de concesión no llegan al 1% del área total de la microcuenca. Los cálculos realizados para cuantificar la huella en este sector están detallados en el anexo 13, el cual contiene los procedimientos ejecutados.

Sector Energético

Huella Hídrica mensual por Gigajulio generado

Huella Hídrica del sector energético, se expresó en función del volumen de agua utilizada para generar un Gigajulio de energía eléctrica, en la figura 35, se observa que la huella del mes de Julio es de 0.0243 m³, muy por debajo de los otros meses, esto se debe a que este cálculo está directamente relacionado a la evapotranspiración en la zona del embalse, y este a su vez íntimamente ligado a la temperatura media mensual, en consecuencia para la serie analizada la temperatura media en este mes es baja frente a la de los otros meses.

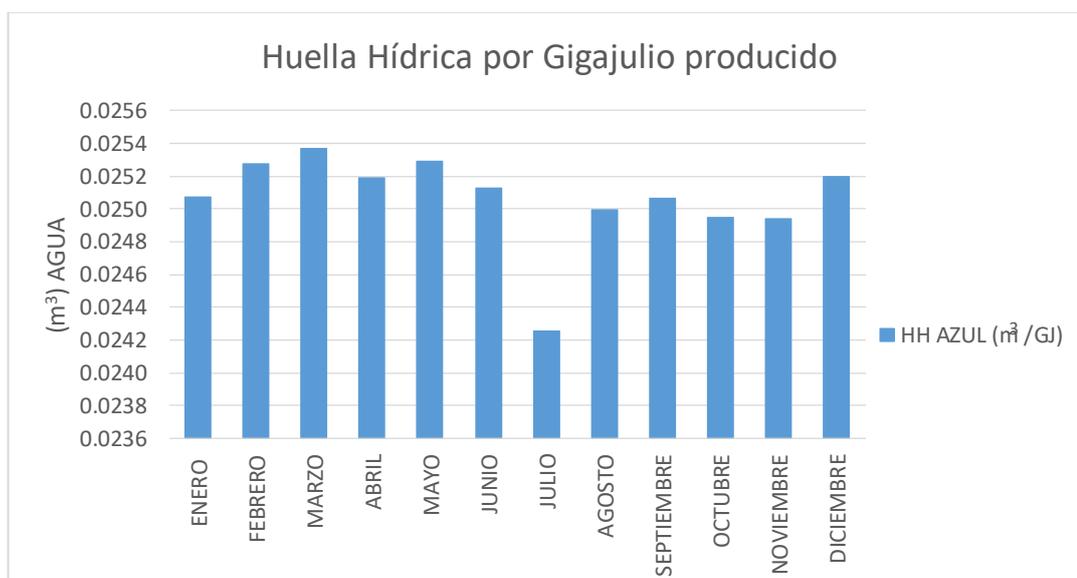


Figura 35. Huella Hídrica por Gigajulio producido

La Huella Hídrica anual de 0.30 m^3 por cada Gigajulio generado, es la sumatoria de las Huellas mensuales descritas en la figura 35.

Huella Hídrica mensual total

La Huella Hídrica energética, representa el volumen total de agua utilizada para la producción de energía en un año, en la figura 36, se observa que el volumen más bajo se reporta en febrero con 4550 m^3 de agua, mientras que el más alto se reporta en marzo valor próximo a 5050 m^3 de agua, estas variaciones en gran medida están asociadas al número de días de cada mes; ya que se consideró un 100 % de eficiencia en la producción.

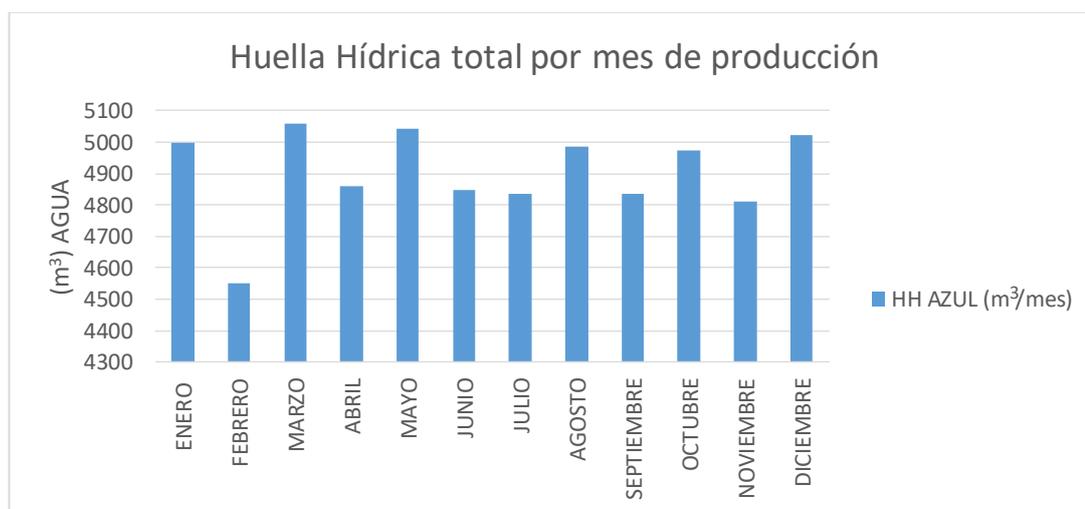


Figura 36. Huella Hídrica mensual total

Huella Hídrica total sector energético

En la figura 37, se muestra el compendio total de huella expresado en Millones de m³

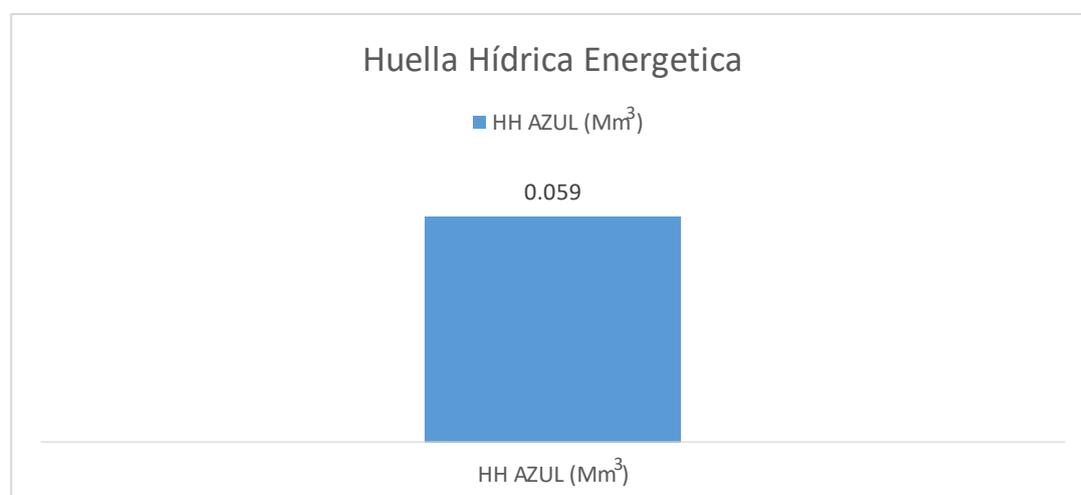


Figura 37. Huella Hídrica total

En el sector energético se cuantificó, 0.059 Mm³ de Huella Azul, este valor es el más bajo frente a los otros sectores, esto se debe a que se cuantificó para una central hidroeléctrica. Los cálculos realizados para cuantificar la huella en este sector están detallados en el anexo 14, el cual contiene los procedimientos ejecutados.

Huella Hídrica de la microcuenca del Río Pita

Los resultados por cada sector y disgregado por color, se muestra en los siguientes mapas, en lo que denotan geográficamente las variaciones y aportaciones de cada sector en función de la Huella Hídrica Azul, Verde y Gris respectivamente.

En la figura 38, se observa que en Huella Azul el mayor aportante es el sector doméstico con 17 Mm^3 y el que menor aportación tiene es el sector energético con 0.058 Mm^3 .

En la figura 39, se observa que en Huella Verde el mayor aportante es el sector pecuario con 17 Mm^3 y el sector agrícola con 11.64 Mm^3 .

En la figura 40, se observa que en Huella Gris el mayor aportante es el sector pecuario con 28 Mm^3 y el que menor aportación tiene es el sector minero con 0.013 Mm^3 .

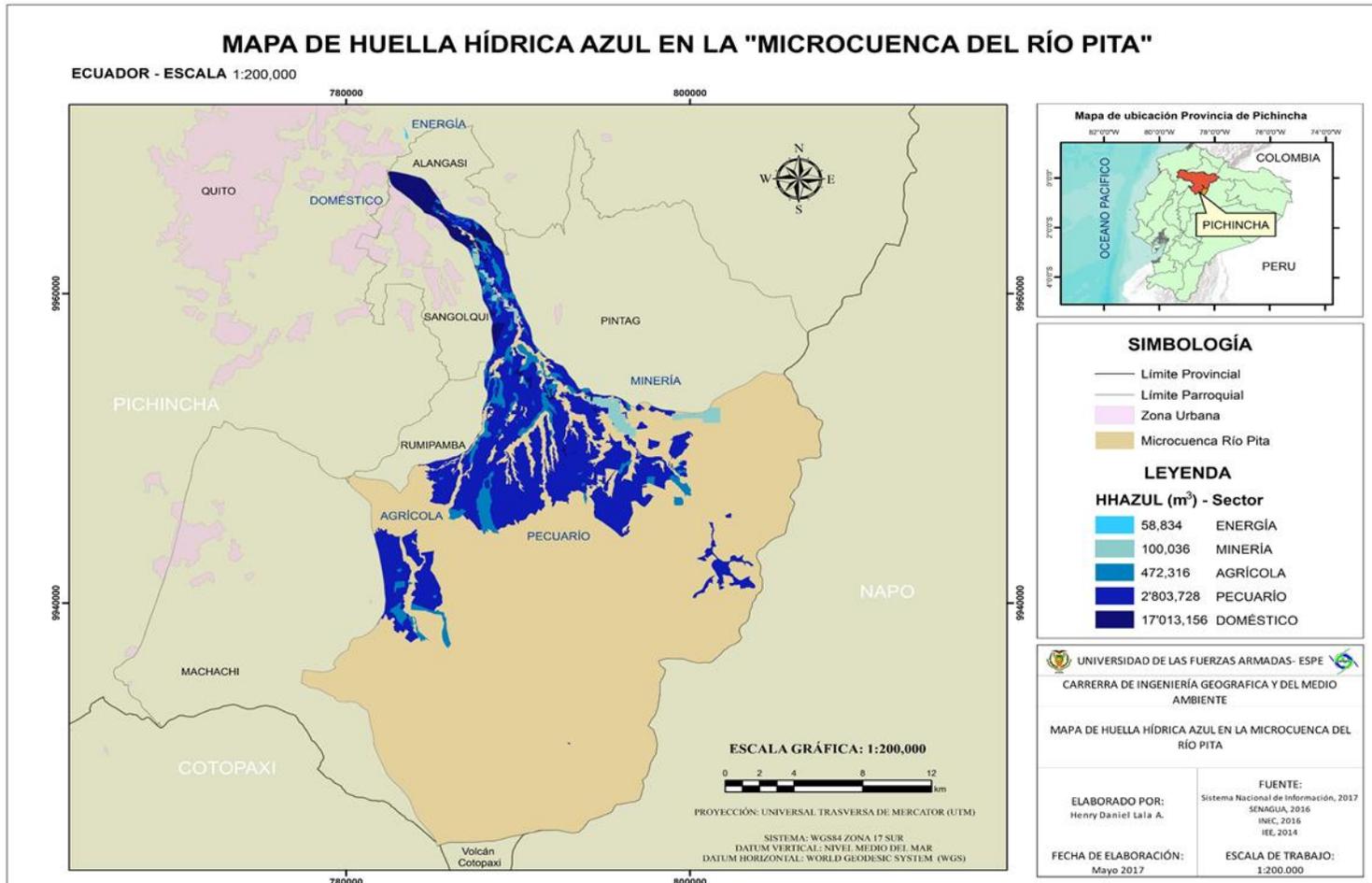


Figura 38. Huella Hídrica Azul en la microcuenca

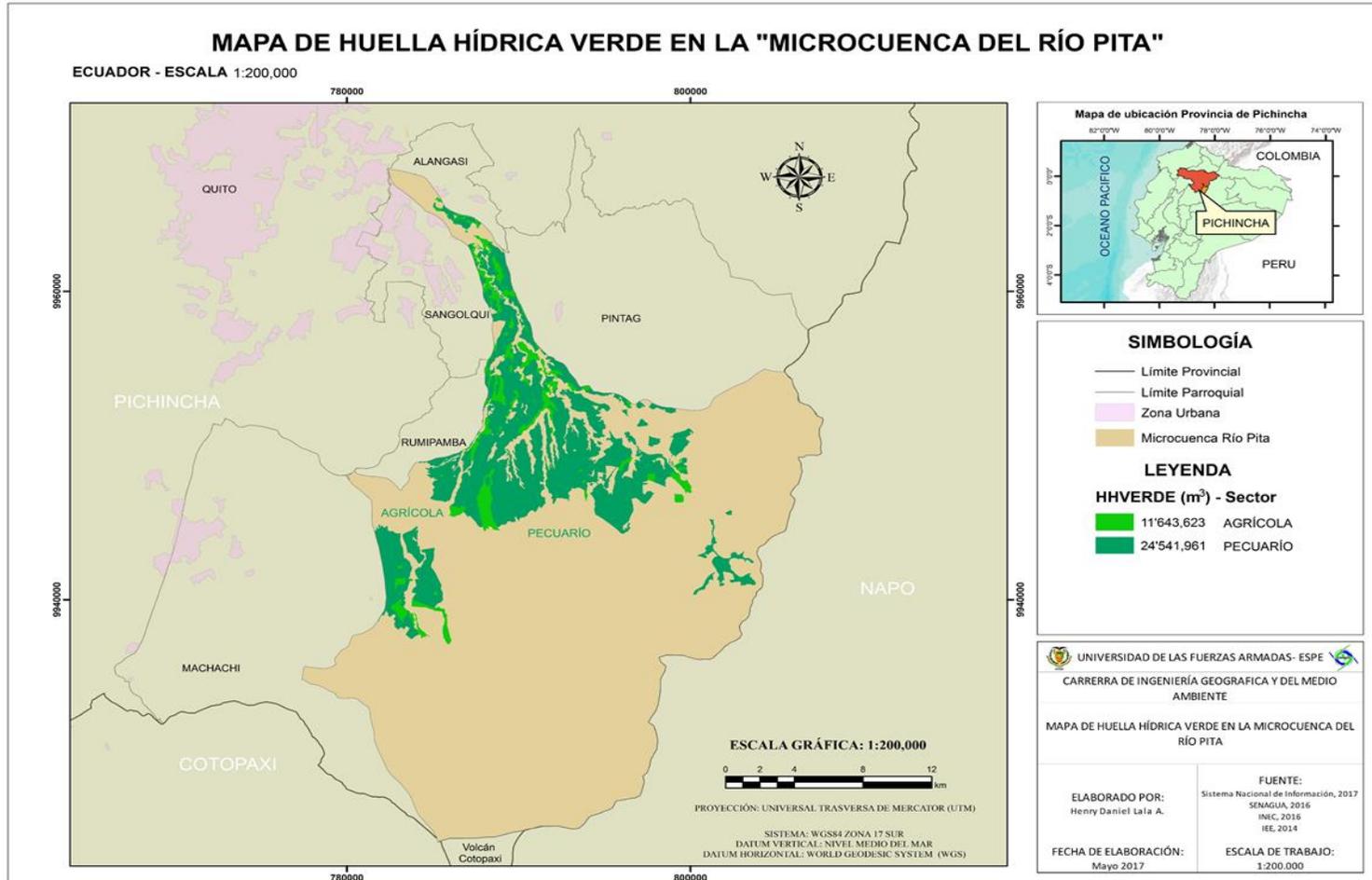


Figura 39. Huella Hídrica Verde en la microcuenca

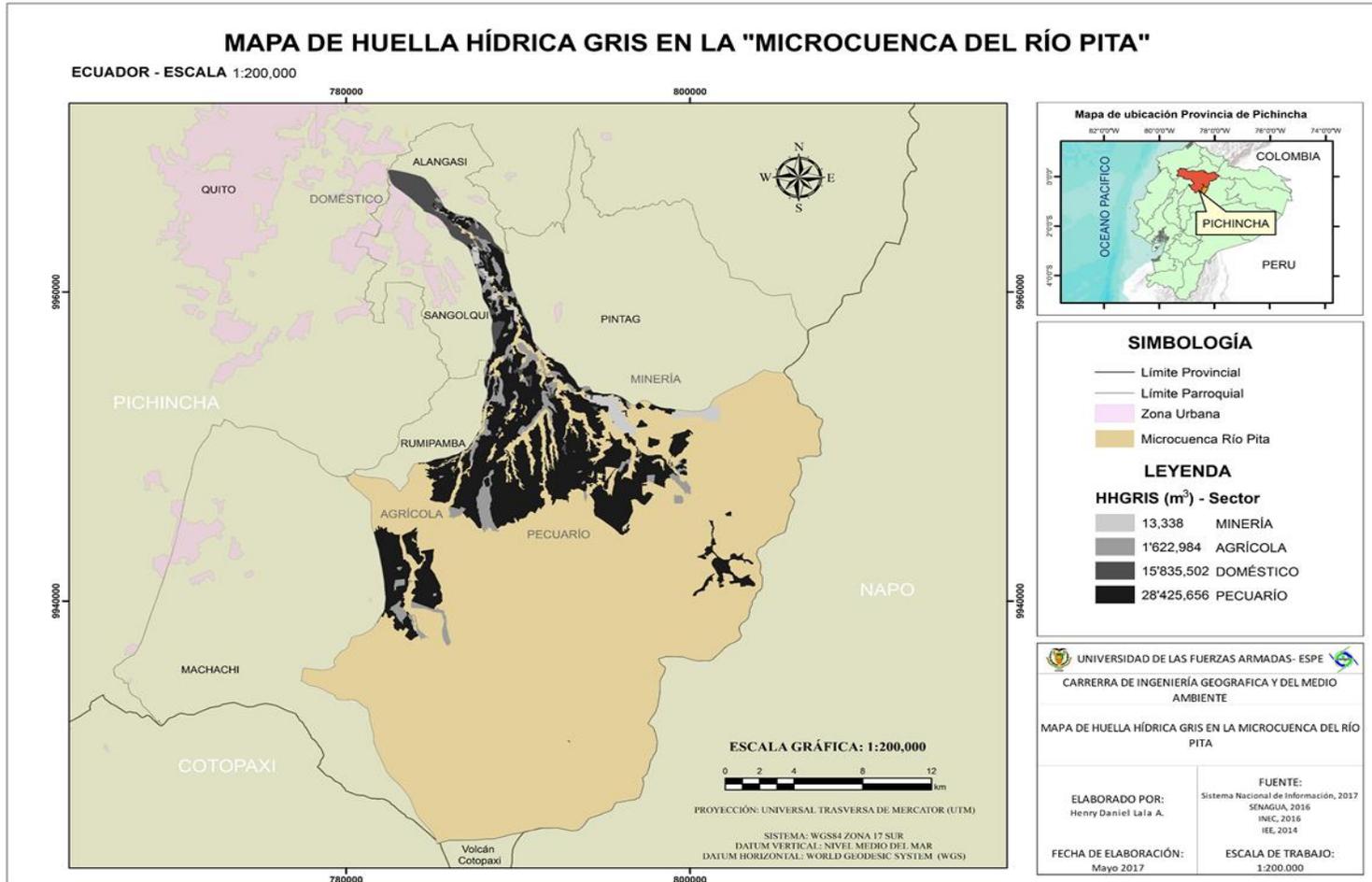


Figura 40. Huella Hídrica Gris en la microcuenca

El compendio de los 5 sectores antes mencionados se muestra en la tabla 24.

Tabla 24.
Huella Hídrica microcuencia

SECTOR	HH VERDE (Mm ³)	HH AZUL (Mm ³)	HH GRIS (Mm ³)
AGRÍCOLA	11.64	0.47	1.62
PECUARIO	24.54	2.80	28.43
DOMÉSTICO		17.01	15.84
MINERO		0.10	0.01
ENERGÉTICO		0.06	
TOTAL	36.19	20.45	45.90

Existe además una diferenciación entre cada sector y cada huella, en la figura 41, se muestra que sectores son los mayores aportantes y la variación entre cada uno.

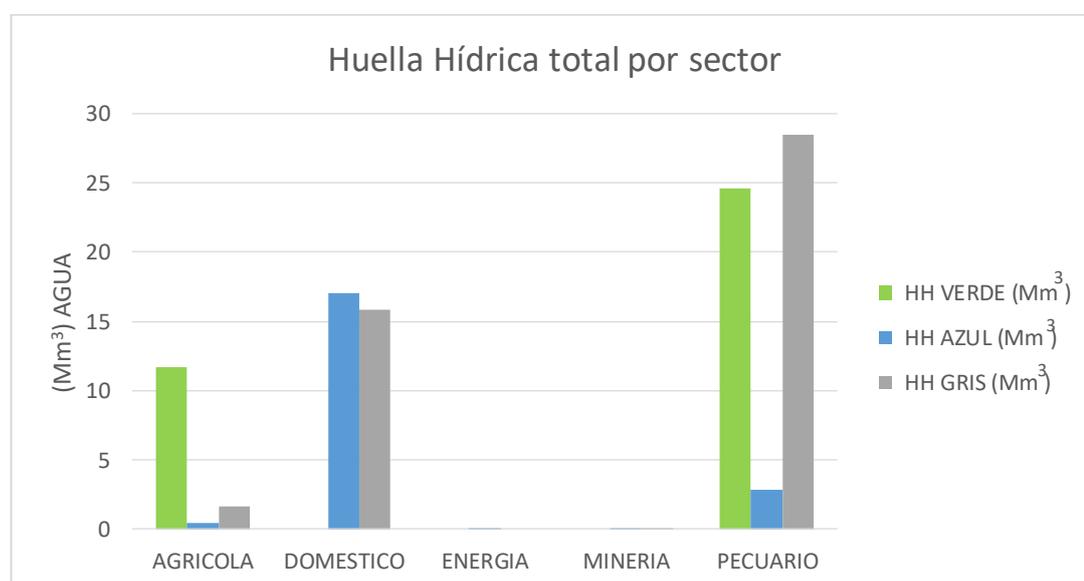


Figura 41. Huella Hídrica de microcuencia por sector

La suma de las huellas hídricas de todos los sectores se muestran en la figura 42, en el que la Huella Hídrica Azul es de 20.4 Mm³, la Huella Hídrica Verde es de 36.1 Mm³ y la Huella Gris es de 45.8 Mm³ de agua.

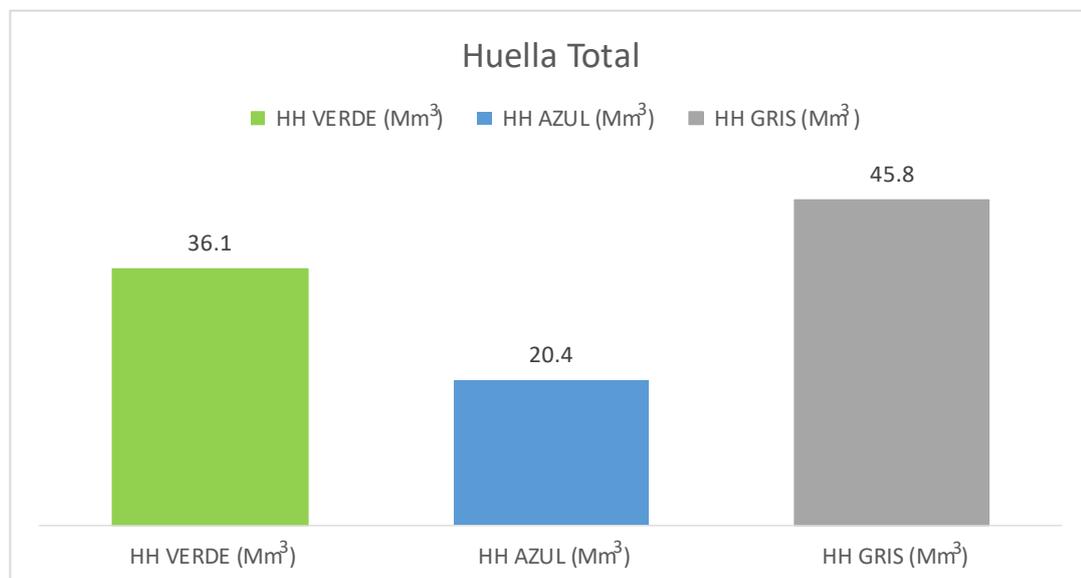


Figura 42. Huella Hídrica total microcuenca

4.4. Sostenibilidad ambiental de la Huella Hídrica

Al analizar la sostenibilidad ambiental de las huellas, fue necesario cuantificar la disponibilidad del recurso que existe en la actualidad, y de ahí partir para establecer cuanto de este ya se ha consumido y cuanto está disponible, por este motivo se cuantificó la oferta natural del agua en la microcuenca, esto se detalla en la tabla 25 donde también se muestra el caudal ecológico determinado para cada mes.

La oferta natural disponible es de 313 Mm³ de agua al año y el caudal ecológico es de 31 Mm³ de agua, también se muestra la distribución para cada mes. Cabe mencionar que los cálculos completos, asociados a la disponibilidad de agua en la microcuenca se los detalla en el anexo 15.

Tabla 25.
Oferta natural de agua

Mes	Precipitación media (mm)	Volumen promedio (Mm ³)	Caudal medio (m ³ /s)	Volumen escurrido (Mm ³)	Caudal ecológico (Mm ³)
Enero	110.93	65.71	0.83	26.29	2.63
Febrero	125.95	74.61	0.95	29.85	2.98
Marzo	152.22	90.17	1.14	36.07	3.61
Abril	158.07	93.64	1.19	37.46	3.75
Mayo	126.94	75.20	0.95	30.08	3.01
Junio	90.44	53.58	0.68	21.43	2.14
Julio	70.28	41.63	0.53	16.65	1.67
Agosto	57.38	33.99	0.43	13.60	1.36
Septiembre	80.05	47.42	0.60	18.97	1.90
Octubre	114.95	68.09	0.86	27.24	2.72
Noviembre	116.75	69.16	0.88	27.66	2.77
Diciembre	118.84	70.40	0.89	28.16	2.82
Total (Anual)	1322.81	783.62	9.94	313.45	31.34

Otro de los factores importantes al momento de determinar la oferta natural, es el tiempo de concentración, para este caso fue de 201.56 minutos es decir 3.36 horas, valor promedio en función al método determinado, como se observa en la tabla 26.

Tabla 26.
Tiempo de concentración

MÉTODO	TC (min)
USDA Tk(min)	200
KIRPICH	199.62
California	199.62
Ramser	206.98
Promedio	201.56

La oferta natural de agua está directamente relacionada a las precipitaciones de la zona, estas precipitaciones son cambiantes es decir en un periodo de tiempo pueden repetirse o no, ya que no son constantes; por tal razón se determinó su periodo de retorno, así se podrá estimar en qué periodo de tiempo se repetirá dichas

precipitaciones y por ende la oferta de agua asociada a la precipitación. En la tabla 27 se muestra las probabilidades de excedencia y el periodo de retorno expresado en años.

Tabla 27.
Periodo de retorno y probabilidad de excedencia

Precipitaciones	Orden	Probabilidad excedencia (%)	Periodo se retornó (Años)
1687.20	1	3.33	30
1619.12	2	6.67	15
1542.20	3	10.00	10
1497.34	4	13.33	8
1399.89	5	16.67	6
1125.87	6	20.00	5
862.71	7	23.33	4
848.11	8	26.67	3.8

Sostenibilidad Huella Azul

La sostenibilidad de la Huella Hídrica Azul fue determinada a partir de la oferta natural de agua, la oferta regulada y la Huella Hídrica Azul mensual, determinada en la microcuenca, valores que se muestran en la tabla 28.

Tabla 28.
Oferta natural, regulado y HH azul

Mes	HH AZUL (Mm ³)	Oferta agua total (Mm ³)	Oferta agua regulada (Mm ³)
ENERO	1.7	22.0	15.8
FEBRERO	1.7	25.2	19.6
MARZO	1.7	30.8	24.6
ABRIL	1.7	32.0	26.0
MAYO	1.7	25.4	19.2
JUNIO	1.7	17.6	11.6
JULIO	1.7	13.3	7.1
AGOSTO	1.7	10.5	4.4
SEPTIEMBRE	1.7	15.4	9.4
OCTUBRE	1.7	22.8	16.6
NOVIEMBRE	1.7	23.2	17.2
DICIEMBRE	1.7	23.6	17.5
Total	20.4	261.7	188.9

Al efectuar las relaciones respectivas entre cada oferta y la Huella Hídrica, se determina la sostenibilidad para cada mes, se observa que en ninguno de los meses la Huella Hídrica Azul sobrepasa a las ofertas de agua, como se muestra en la figura 43.

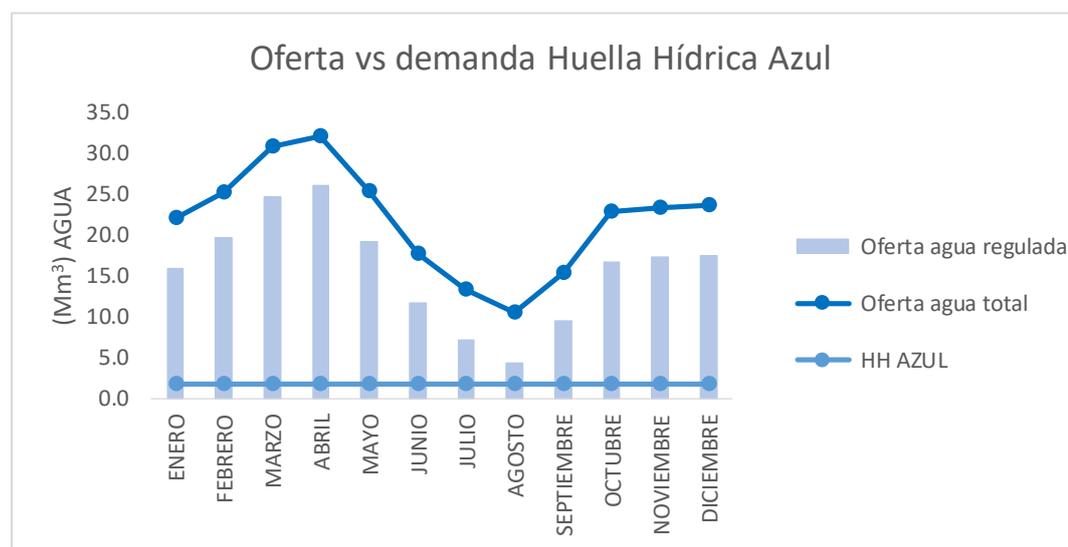


Figura 43. Sostenibilidad azul

La relación de la Huella Hídrica y la oferta de agua, indican el grado de sostenibilidad de la microcuenca, esto mediante el índice de escasez calculado, relación que se observa en la figura 44.

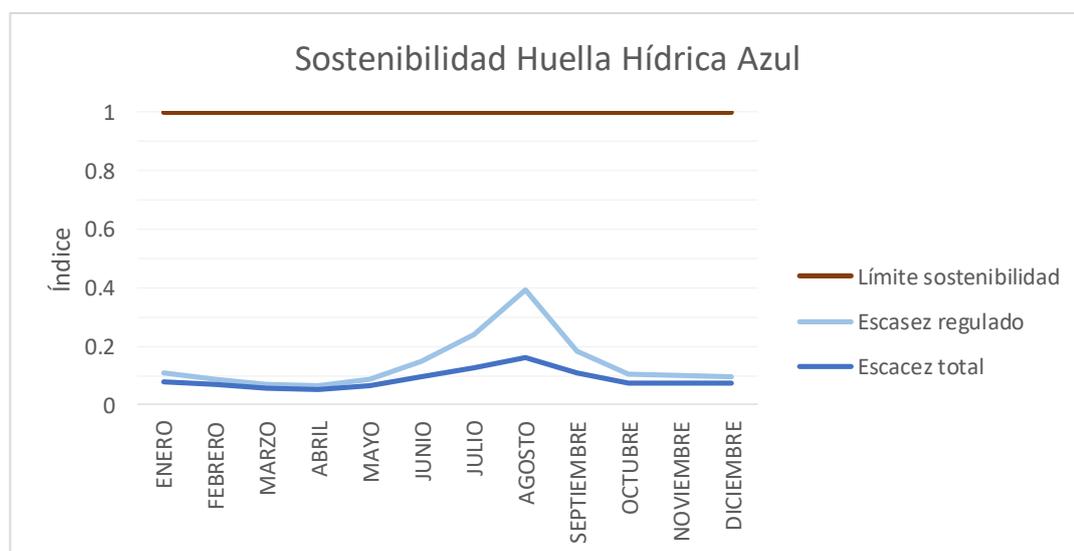


Figura 44. Índice de escasez

Si bien la sostenibilidad se denota ya que el índice calculado en cada mes es menor que uno, hay que tener en consideración a los meses de Julio, Septiembre y en especial a Agosto; ya que el índice de estos denotan que el consumo de agua en estos meses es de aproximadamente el 40% de la oferta de agua regulada disponible. Con el constante aumento de la población y los requerimientos que estos necesitan para sostenerse, la demanda de agua tendera a subir y este índice también, por lo que se volvería insostenible en algún punto.

Sostenibilidad Huella Verde

En la sostenibilidad verde igualmente que en la sostenibilidad azul es fundamental conocer la disponibilidad de agua, para este caso la disponibilidad de agua verde (DAV) que la microcuenca entrega, esta disponibilidad y la Huella Hídrica Verde se presenta en la tabla 29. La disponibilidad cuantificada fue de 64 Mm³, además se muestra las aportaciones por cada mes. Cabe mencionar que los cálculos completos, asociados a la disponibilidad de agua verde de la microcuenca, se los puede observar en el anexo 16.

Tabla 29.
Disponibilidad de agua verde

Mes	HH VERDE (Mm ³)	DAV (Mm ³)
ENERO	3.02	5.40
FEBRERO	3.02	4.89
MARZO	3.02	5.38
ABRIL	3.02	5.20
MAYO	3.02	5.44
JUNIO	3.02	5.27
JULIO	3.02	5.35
AGOSTO	3.02	5.54
SEPTIEMBRE	3.02	5.35
OCTUBRE	3.02	5.54
NOVIEMBRE	3.02	5.35
DICIEMBRE	3.02	5.50
TOTAL (Mm³)	36.19	64.20

Al efectuar las relaciones respectivas entre la DAV y la Huella Hídrica, se determina la sostenibilidad para cada mes, se observa que en ninguno de los meses la Huella Hídrica Verde sobrepasa a la oferta de agua, como se muestra en la figura 45.

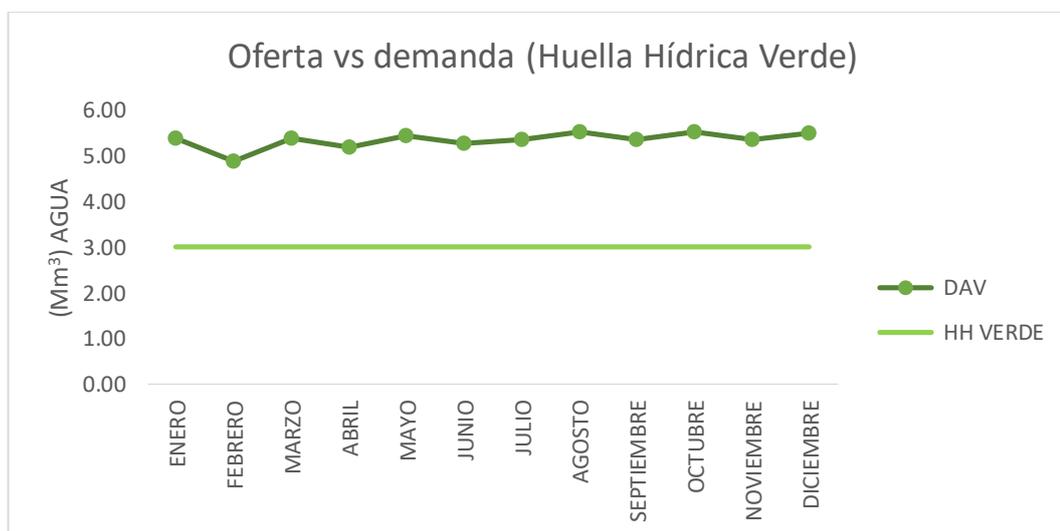


Figura 45. Sostenibilidad verde

La relación de la Huella Hídrica y la oferta de agua verde, indican el grado de sostenibilidad de la microcuenca esto mediante el índice de escasez calculado, relación que se observa en la figura 46.

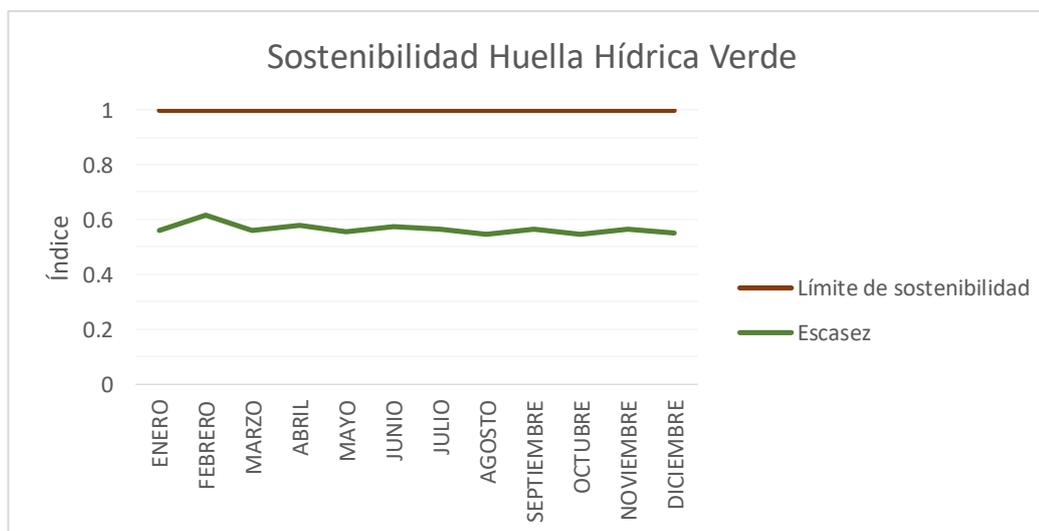


Figura 46. Índice de escasez verde

Si bien la sostenibilidad se muestra ya que el índice calculado en cada mes es menor que uno, hay que considerar que en todos los meses el índice supera el 0.5, lo que denota que el consumo de agua verde en estos meses es más del 50% de la oferta de agua verde disponible. Con el constante aumento de la población y los requerimientos que estos necesitan para sostenerse, en especial la demanda de productos agrícolas y pecuarios, estos sectores tenderán a expandirse, por tal razón el consumo de agua verde subirá y este índice también; por lo que se volvería insostenible en algún punto.

Sostenibilidad Huella Gris

En este análisis se presenta la oferta natural regulada de 188 Mm³ que la microcuenca dispone, la Huella Hídrica Gris mensual y el nivel de contaminación que se determinó al relacionar la huella y el caudal regulado, se presentan en la tabla 30. Cabe mencionar que los cálculos completos, asociados a la oferta de agua regulada de la microcuenca se los puede observar en el anexo 17.

Tabla 30.
Oferta regulada sostenibilidad gris

Mes	Oferta agua regulada (Mm ³)	HH GRIS (Mm ³)	Nivel de contaminación (%)
Enero	15.77	3.82	24
Febrero	19.57	3.82	20
Marzo	24.58	3.82	16
Abril	26.02	3.82	15
Mayo	19.19	3.82	20
Junio	11.60	3.82	33
Julio	7.10	3.82	54
Agosto	4.35	3.82	88
Septiembre	9.38	3.82	41
Octubre	16.63	3.82	23
Noviembre	17.21	3.82	22
Diciembre	17.46	3.82	22
TOTAL	188.87	45.90	24

Al efectuar las relaciones respectivas entre la oferta regulada y la Huella Hídrica, se determina la sostenibilidad para cada mes, se observa que en ninguno de los meses la Huella Hídrica Gris sobrepasa a la oferta de agua, esto se muestra en la figura 47.

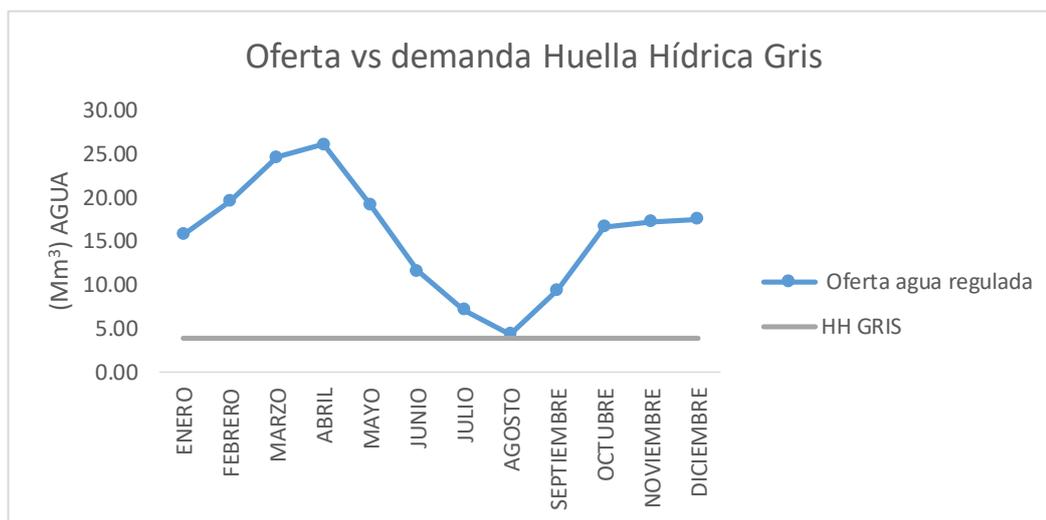


Figura 47. Sostenibilidad gris

La relación de la Huella Hídrica y la disponibilidad de agua gris, indica el grado de sostenibilidad de la microcuenca mediante el nivel de contaminación NCA, y este a su vez denota la capacidad de depurara de la microcuenca por sí misma; hacia la contaminación hídrica generada, relación que se observa en la figura 48.

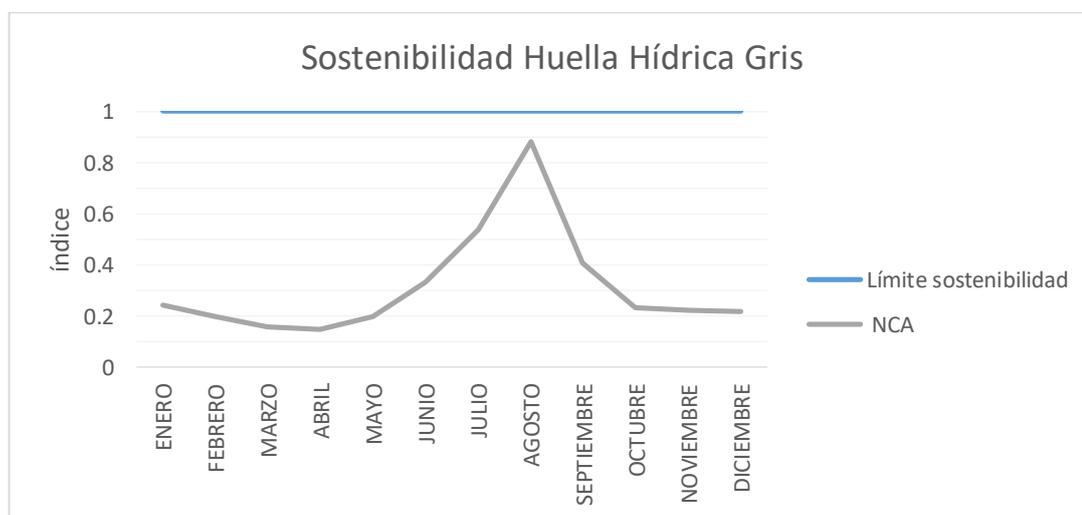


Figura 48. Índice de contaminación NCA

Si bien la sostenibilidad se muestra en cada mes, ya que el índice calculado es menor que uno, hay que considerar que en los meses de Mayo a Octubre tiende a subir, llegando al punto más crítico en Agosto con un índice de 0.88, lo que denota que la capacidad de asimilación y depuración de contaminantes en ese mes está en el 88% de su capacidad. Con el constante aumento de las demandas de agua en los sectores económicos, existirá una mayor carga de contaminantes que asimilar, hasta un punto en que la oferta natural de agua no lo logre por sí sola, volviéndose insostenible en algún punto.

4.5. Sostenibilidad económica de la Huella Hídrica

Sostenibilidad Azul

Se analizó la sostenibilidad económica de la Huella Hídrica Azul, para lo cual se separó por los sectores económicos antes trabajados, cabe mencionar que los cálculos completos, asociados al costo de productividad aparente se los puede observar en el anexo 18.

Sector agrícola

En el sector agrícola, los cultivos en los que el agua representa mayor valor económico son: el tomate riñón, la papa y el maíz con precios entre USD 2.08 y USD 0.72 por cada m³ de agua, mientras que un cultivo no agrícola con alto valor es las rosas con cerca de USD 14.81 representado un coste aparente en el mercado, al hacer referencia al costo de la tierra, los mismos productos dan valores relativos entre USD 1000 y USD 4000 por cada hectárea. Por el contrario los cultivos de rosas y forestales sobresalen con precio entre USD 13000 y USD 14000, esto debido a que son las áreas más extensas que se cuantifica., los cuales se muestran en la tabla 31.

Tabla 31.
Productividad aparente sector agrícola

PRODUCTO	Producción (USD/año)	APW AZUL (USD/m³)	APL AZUL (USD/ha)
Avena	8632.4	0.50	2424
Cebada	21571.5	0.13	400
Haba	33528.0	0.06	322
Maíz	315023.0	0.72	2369
Papa i ciclo	507074.8	0.73	3441
Papa ii ciclo	425288.5	0.81	4069
Tomate riñón	128180.9	2.08	1112
Trigo	468.7	0.04	120
Frejol I ciclo	55965.8	0.09	230
Frejol II ciclo	69957.2	0.12	288
Arveja	36721.0	0.41	1156
SUBTOTAL	1602411.8	5.69	15931
Rosas	1927585.7	14.81	14250
Pino	0	0.52	5597
Eucalipto	0	1.22	13552
SUBTOTAL	1927585.7	16.55	33398
TOTAL	3529997	22.24	49329

Una de las acotaciones importantes es que los cultivos agrícolas con baja productividad aparente, son aquellos cultivos que tienen mayor asignación del recurso hídrico.

Sector pecuario

Por producción se obtiene alrededor de USD 4.5 millones en un año, mientras que el coste del agua por m³ es de USD 7.83, estos valores se observan en la tabla 32.

Tabla 32.
Productividad aparente sector pecuario

Ganado	Producción (USD/año)	APW AZUL (USD/m³)
Leche	61563	0.05
Carne	2033915	3.89
Mixto	2317607	3.89
TOTAL	44130085	7.83

Sector energía

Por producción se obtiene alrededor de USD 44 millones en un año, mientras que el coste del agua por m³ es de USD 753.8, estos valores se observan en la tabla 33. Cabe mencionar que estos costos son los más altos que se podría cuantificar, ya que se consideró una eficiencia del 100 % de la central.

Tabla 33.
Productividad aparente sector energético

Central Hidroeléctrica	Producción (USD/año)	APW AZUL (USD/m³)
Guangopolo	44348376	753.8
TOTAL	44348376	753.8

Sector minero

Por producción total se obtiene alrededor de USD 12.3 millones en un año, mientras que el coste del agua por m³ es de USD 111.3 para arena y USD 127.1 para grava, llegando a un total de USD 238.4, estos valores se observan en la tabla 34.

Tabla 34.
Productividad aparente sector minero

TIPO MINERAL MANIFIESTO	Producción (USD/año)	APW AZUL (USD/m³)
Arena	2545019	111.3
Grava	9806298	127.1
TOTAL	12351318	238.4

Sector doméstico

Por producción se obtiene alrededor de USD 19.4 millones en un año, mientras que el coste del agua por m³ es de USD 1.13 para Quito y USD 1.26 para Rumiñahui, llegando a un total de USD 2.39, estos valores se observan en la tabla 35.

Tabla 35.
Productividad aparente sector doméstico

Cantón	Producción (USD/año)	APW AZUL (USD/m ³)
Quito	17033721	1.13
Rumiñahui	2448373	1.26
TOTAL	19482095	2.39

De los resultados obtenidos se consideró que cuando el costo del agua que paga el usuario está por debajo de su precio económico real, indica un uso ineficiente del agua, en dicho caso es importante discutir el porcentaje que se cobra a los usuarios del costo total del agua (Hoekstra et al. 2010) citado en (CTA, 2013).

Compendio de la sostenibilidad económica

En la figura 49, se muestra la variabilidad económica a partir del indicador APW en el que denota los sectores más productivos por cada m³ de agua consumido en un año. Siendo los sectores energético y minero los que mayor valor presentan con 753.8 USD/m³ y 238.4 USD/m³, muy distante de los costos asociados a los otros sectores, esto debido a que se consideró una eficiencia máxima en generación y explotación, es decir que para estos dos sectores son los máximos valores que pueden llegar a tomar.

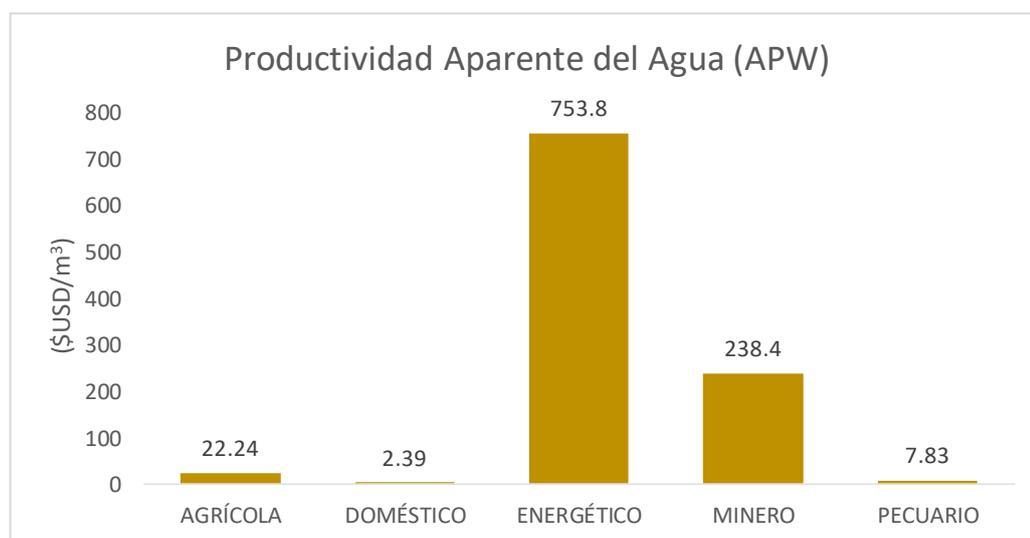


Figura 49. APW por sector

En cambio en la figura 50, se muestra la variabilidad por cada sector del dinero que generaran en un año de producción

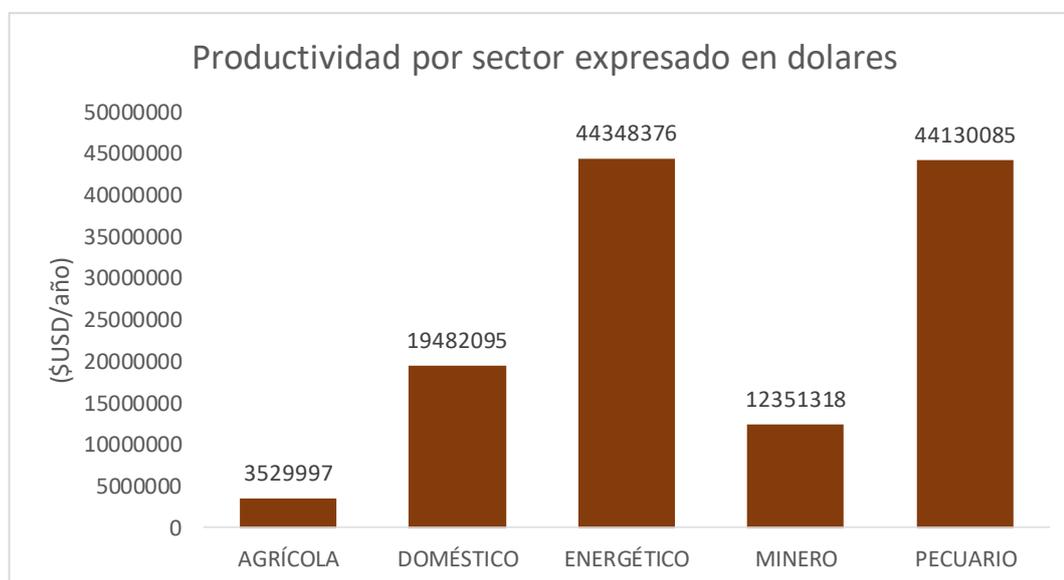


Figura 50. Producción generada en USD \$

Los sectores que generaron mayor producción expresada en dólares son: el energético y el pecuario, con cerca de USD 44.5 millones, esto debido a que se consideró una productividad del 100%.

Sostenibilidad Gris

En la tabla 36, se muestra cuatro estudios referenciales de implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), con diferentes métodos de remoción para los contaminantes: N, DBO₅ Y SST.

Tabla 36.
Costos de implementación de PTAR

Lugar	Proyecto	Costo	Remoción	Extensión de la zona (km ²)	Habitantes
Colombia	Planta de tratamiento de aguas residuales domésticas tipo filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) con lenteja de agua. (Carrera & Florián, 2013)	USD 1,195,149	N (40%) SST (84%) DBO ₅ (79%)	1533	5 hab/vivienda
Colombia	Sistema de tratamiento de aguas residuales descentralizados (filtro de arena, de goteo) en la ciudad de Guadalajara de Buga. (Macas, 2014)	USD 4,276,733	SST (85%) DBO ₅ (85%)	832	114434
Guatemala	Planta de tratamiento con la ayuda de la programación pert-tiempo (reactor anaeróbico de flujo ascendente). (Rodas, 2003)	USD 100,229.81	Según requerimiento	-	1800
El Salvador	Planta de tratamiento de aguas residuales (filtro percolador) de la ciudad de Metapán en Santa Ana. (Román et al, 2012)	USD 2,666,586.75	SST (88%) DBO ₅ (88%)	668.36	59004

Los costos mostrados son únicamente referenciales como se indicó anteriormente, ya que son elaborados para condiciones específicas de cada zona.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La Huella Hídrica total en la microcuenca del Río Pita, se estableció en 20.4 millones de m³ de Huella Azul, 36.1 millones de m³ para Huella Verde y 45.8 millones de m³ de Huella Gris, estos valores están asociados a contribuciones desde los sectores económicos, ya que son generadores activos de consumo, denotando variabilidad entre cada aporte realizado.
- El sector económico que más genera Huella Hídrica Azul es el doméstico con 17.01 millones de m³, producto de las captaciones realizadas por los municipios de Quito y Rumiñahui, con el fin de satisfacer las necesidades de la población a la que va dirigida el recurso, considerando que el 30% de los quiteños y el 50% de los rumiñahuenses se sirven de este; por otra parte el sector energético cuantificó 0.06 millones de m³, con menor aportación en este tipo de huella, debido a la utilización de grandes volúmenes de agua para generar energía, esta no se transforma en Huella Hídrica ya que el líquido después del proceso de generación, es canalizado mediante tuberías y reutilizada en otras centrales fuera del área de la microcuenca, pero se mantiene disponible en el ecosistema, sin ser alterada su calidad.
- En la Huella Hídrica Verde se tiene dos aportaciones, el sector pecuario que llega a 24.54 millones de m³, el cual considera la producción bovina de tipo lechero característico de la zona, mientras que el sector agrícola alcanza a 11.64 millones de m³, siendo los cultivos representativos la papa, frejol y maíz, la producción que genera abastece al mercado local y no corresponde a una producción a gran escala, es importante destacar la diferencia de m³ en la Huella Verde comparando los dos sectores, siendo la relación 2:1 evidenciando el costo ambiental de la producción pecuaria en el rubro agua.
- En la Huella Hídrica Gris el mayor aportante es el sector pecuario con 28.43 millones de m³; este valor es considerable ya que son altos los requerimientos de

agua para asimilar la concentración de Nitrógeno contenido en las heces de los bovinos, mismas que por escurrimiento llega a los cauces naturales generando contaminación difusa en la zona, otro de los sectores que tiene una contribución considerable es el doméstico con 15.84 millones de m^3 , volumen de agua que se necesita para asimilar la carga contaminante de DBO_5 , ya que la población genera contaminación y es proporcional al consumo presentado, por otro lado el que menos aporta es el sector minero con 0.01 millones de m^3 , esto es consistente por la baja producción minera que se da, denotando así una diferencia notable en base a la capacidad productiva de cada sector.

- La microcuenca del Río Pita presenta una oferta natural media anual de 313.45 millones de m^3 , de la cual 10% se considera como caudal ecológico, descontando la Huella Hídrica Azul y el caudal de captación, la oferta natural regulada de agua es de 188 millones de m^3 , del que se estima el 11% ya no está disponible en el medio; también se cuantificó la disponibilidad de agua verde de 64.19 millones de m^3 , del cual aproximadamente el 56% ya se consumió, esto según las estimaciones realizadas. Estas ofertas son cuantificadas a partir de una precipitación media de 1322.81 mm/año, determinadas en función de 8 estaciones meteorológicas en el periodo comprendido entre los años 1980 a 2010, un evapotranspiración potencial de 624.84 mm/año, establecida por la temperatura media anual entre $6^{\circ}C$ y $14^{\circ}C$, y una evapotranspiración real de 550.84 mm/año.
- La microcuenca del Río Pita muestra sostenibilidad a la fecha, para consumo, disponibilidad y capacidad de depuración de agua, a partir de los indicadores establecidos; en los tres casos estos indicadores son menores que uno, característica que denota sostenibilidad según la metodología planteada.
- El índice de escasez azul calculado para la oferta regulada de agua se encuentra entre 0.08 a 0.1 para los meses lluviosos y 0.2 a 0.4 para los meses secos, dichos valores son consecuentes ya que la disponibilidad real de agua es alta además de que los requerimientos de los sectores es mesurada, mientras que para la oferta total de agua se tiene un índice inferior a 0.15 no haciendo distinción notoria entre cada época. Este indicador varía en el tiempo principalmente por el aumento de la población, ya que para satisfacer las necesidades como; alimentación, vestimenta y servicios se necesitan muchos más requerimientos primarios, principalmente el

agua, por lo que generarían presión entre los otros sectores económicos para pugnar por más asignación del recurso, incrementando así la demanda del agua y disminuyendo consecuentemente la oferta presentada.

- El índice de escasez verde calculado está entre 0.5 a 0.6 con una variabilidad ínfima entre cada mes, la pugna de agua en este sector se vuelve variable ya que la necesidad de alimentos agrícolas y cárnicos, es directamente proporcional al crecimiento de la población la cual debe satisfacer necesidades básicas, por lo que en estos sectores los requerimientos primarios incrementarían.
- El índice NCA calculado se encuentra entre 0.15 a 0.19 para los meses lluviosos y 0.33 a 0.88 en los meses secos, la producción de todos los sectores acarrea contaminación, misma que llega a los afluentes naturales, en la actualidad esta es asimilada sin problema, ya que la microcuenca presenta un 24% de su capacidad depurativa, sin embargo las consideraciones antes planteadas del incremento de los requerimientos por sector en el tiempo, conlleva a que aumente y disminuya la cantidad de agua disponible para asimilar la contaminación generada.
- En cuanto a la productividad aparente del agua APW, el sector más productivo es el energético con 753.8 USD/m³; sin embargo esto es debido a que se consideró para este sector la capacidad máxima que generara en la microcuenca, dicha consideración también fue aplicada en el sector minero en el que su productividad es de 238.4 USD/m³, en el caso de los sectores menos productivos; agrícola, pecuario y doméstico se reciben 22.24 USD/m³, 7.83 USD/m³ y 2.39 USD/m³ respectivamente.
- Al relacionarlos con la Huella Hídrica Azul se obtuvo la productividad generada, expresada en dólares para un año típico; el sector agrícola el menos productivo con USD 3.5 millones, muy por el contrario el energético y pecuario con USD 44 millones, aproximadamente. Si solo se considera el aspecto económico se entendería que teóricamente se debería asignar más agua a los dos sectores más productivos así generaría más riqueza, pero no se puede limitar o reducir a los otros sectores, ya que ahí se encuentra el núcleo poblacional esto en ningún caso es viable. Por lo que para tener un criterio más sólido fue necesario considerar los tres ejes; ambiental, social y económico fundamentales en el análisis planteado.

5.2. Recomendaciones

- La Huella Hídrica debe ser considerada como una metodología alterna o complementaria en los estudios de gestión integrada de los recursos hídricos, planteada por la Secretaría Nacional del Agua, y amparada por el Art. 263 y Art. 264 de la Constitución de la República del Ecuador (2008), ya que en la metodología de Huella Hídrica considera varios indicadores y variables no convencionales, manejado y relacionando desde un enfoque sistémico, a diferencia de la metodología tradicional en donde el principal criterio es la morfología de la cuenca.
- Se debe considerar que mientras más específico sea el nivel de detalle de la información primaria, se reducirá el nivel de incertidumbre en los resultados, expresando así la totalidad y veracidad de la zona, se pretende que el análisis sirva como herramienta para la toma de decisiones bajo un enfoque sistémico para la asignación y distribución del recurso hídrico.
- En este estudio la metodología utiliza información gubernamental, sin embargo el nivel de confianza debería ser tratado con especial cuidado ya que los datos proporcionados no responden a un protocolo donde se manifieste el nivel de confiabilidad, en los datos obtenidos por parte de las instituciones afines a los requerimientos, ya que los volúmenes de información en mucho de los casos fueron netamente brutos, específicamente la información minera y energética, misma que se presta para hacer interpretaciones acorde a diferentes criterios o lineamientos esto según el enfoque establecido.
- Es necesario modelar la metodología planteada y especificar en muchos de los incisos ciertas consideraciones propias, ya que pueden presentarse muchas confusiones porque el volumen de información manejado es bastante amplio, pudiendo ser en mucho de los casos información innecesaria pero planteada como requerimiento en la metodología, un claro ejemplo fue el sector industrial; que si bien se encontró la metodología planteada para este, era muy general, y no contemplaba el peso ambiental necesario, el cual para este estudio es fundamental, se estableció entonces que aquellas industrias que no tengan

una licencia ambiental no se las consideraría, por lo cual este sector se desestimó al no cumplir este ítem.

- Las instituciones generadoras de información deben considerar desarrollar un método estadístico para establecer fiabilidad en sus resultados, ya que en ningún caso la metodología de Huella Hídrica plantea dicho procedimiento, por lo que se establece que la confiabilidad de los resultados obtenidos netamente depende de la confiabilidad de la información utilizada y obtenida de fuentes gubernamentales.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, E., & Toulkeredis, T. (2005). El volcán Cotopaxi una amenaza que acecha. *PREVOLCO*. Recuperado el 08 de Noviembre de 2016, de <http://geo1.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2012/07/Cotopaxi-AguileraToulkeridis2.pdf>
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Estudio de Riego y Drenaje 56, FAO, Roma. Recuperado el 11 de Marzo de 2017, de <http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm>
- Almorox, J. (2015). *metodos de evapotranspiraciones ETP y ETr. Evotranspiración potencial según Thornthwaite 1948*. Universidad Politécnica de Madrid, Ingeniería Forestal. Recuperado el 25 de Abril de 2017, de <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal>
- Anaya, O. (2012). *Caracterización morfológica de la cuenca hidrográfica Chinchao, distrito de Chinchao, provincia Huanuco, región Huanuco*. Universidad Selva Agraria, Tingo Maria.
- Arango Ochoa, J. (2013). *Determinación de la Huella Hídrica del sector doméstico en la Cuenca del Río Porce*. Tesis, Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de Ingeniería Química, Medellín.
- Arévalo , D., Lozano, J., & Sabogal, J. (2011). Estudio nacional de Huella Hídrica Colombia Sector Agrícola. *SOSTENIBILIDAD TECNOLOGÍA Y HUMANISMO*, 9-10. Recuperado el 10 de Enero de 2017, de <http://www.huellahidrica.org/Reports/Articulo%20Huella%20Hidrica%20Colombia%20publicado.pdf>
- ASOCIACIÓN HOLSTEIN FRIESIAN DEL ECUADOR. (2016). *holsteinecuador*. Obtenido de <http://holsteinecuador.com/clasificacion-lineal.html>
- Avendaño, R. (2016). *La cuenca hidrogáfica como espacio y territorio*. Recuperado el 09 de Mayo de 2017, de <https://es.slideshare.net/kimberlynveronica/subcuencas-y-microcuencas>
- Basantes, E. R. (2015). *Manejo de Cultivos Andinos del Ecuador*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Recuperado el 15 de Febrero de 2017, de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10163/4/Manejo%20Cultivos%20Ecuador.pdf>
- Campo Aranda, D. F. (1998). *Procesos del Ciclo Hidrológico* (Tercera Reimpresión ed.). San Luis Potosí, México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

- Campos, H. (2017). *Definiciones hidrologia parametros cuenca*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/harrycamposventura/definiciones-hidrologia-parametros-cuenca>
- Cardenas, A., & Garzón, J. P. (2011). *Guía de Manejo de pastos para la sierra sur ecuatoriana*. INIAP, Cuenca. Recuperado el 03 de Marzo de 2017, de <http://www.iniap.gob.ec>
- Carrera, I. (2011). *Fertilización del Kikuyo Pennisetum clandestinum con tres fuentes nitrogenadas, dos sólidas y una líquida en tres niveles y dos frecuencias*. Tesis, ESPE-IASA I. Sede El Prado., Carrera de Ingeniería de Ciencias Agropecuarias, Sangolquí.
- Carrera, S., & Florián, A. (2013). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas tipo filtro anaerobio de flujo ascendente (fafa) con lenteja de agua*. Tesis, Universidad SURCOLOMBIANA, Facultad de Ingeniería Especialización en Ingeniería Ambiental, Neiva.
- CELEC. (2011). *Estudio de impacto ambiental definitivo de la línea de transmisión eléctrica Santo Domingo – Esmeraldas de 230 kv y de la ampliación de la subestación eléctrica Esmeraldas de 230/138/69 kv*. Recuperado el 04 de Marzo de 2017, de <https://www.celec.gob.ec>
- CELEC EP. TERMOPICHINCHA. (2016). *Metas cumplidas de CELEC EP. Termopichincha en el 2016*. Quito. Recuperado el 25 de Abril de 2017, de <https://www.celec.gob.ec/>
- Chahin, G., & Azocar, G. (2015). *Cultivo del Eucalipto*. INIA. Recuperado el 01 de Marzo de 2017, de <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR38364.pdf>
- Cisneros, J., & Díaz, E. (2016). *Diseño de una obra de mitigación ante el flujo de los lahares del volcán Cotopaxi que confluyen al Río Pita en el cause norte sector La Caldera*. Tesis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ciencias de la Tierra y Construcción, Ingeniería Civil, Sangolquí.
- CMMAD. (1987). *Nuestro Futuro Común*. ONU. Recuperado el 09 de Mayo de 2017, de <http://www.un.org/es/comun/docs/?symbol=A/42/427>
- Colimba, C. (2009). *Evaluación de parámetros productivos y reproductivos de la cruce bovina montbeliarde con razas lecheras de las haciendas el Relicario y Guagrabamba en la provincia de Pichincha*. Tesis, ESPE-IASA I. Sede El Prado, Facultad de Ingeniería de Ciencias Agropecuarias., Sangolquí.
- CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR. (2008). *Ciudad Alfaro: Asamblea Constituyente*. Recuperado el 31 de Mayo de 2017, de http://www.asambleanacional.gob.ec/documentos/constitucion_de_bolsillo.pdf

- CORPONARIÑO. (2011). *OFERTA Y DEMANDA HIDRICA*. Pasto. Recuperado el 07 de Mayo de 2017, de <http://www.corponarino.gov.co/expedientes/descontaminacion/porhmiraflore-sp3.pdf>
- CTA. (2013). *Guía metodológica de aplicación de Huella Hídrica en una cuenca*. Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia. Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación – COSUDE, Antioquia.
- Dickens, D., Moorhead, D., & McElvany, B. (2004). *Fertilización de plantaciones de pino*. Instituto de la potasa y el fosforo - INPOFOS A. S. Recuperado el 14 de 02 de Marzo, de <http://www.ipni.net/>
- Ecuadorforestal. (2012). *Ficha técnica N° 11- Pino*. Recuperado el 05 de Marzo de 2017, de <http://www.ecuatorforestal.org/download/contenido/pino.pdf>
- EEQ. (2014). *Pago Tarifario Vigente*. Quito. Recuperado el 02 de Mayo de 2017, de <https://www.eeq.com.ec>
- El Comercio. (2016). Recuperado el 29 de Marzo de 2017, de <http://www.elcomercio.com/>
- EPMAPS. (2017). *Pliego Tarifario EPMAPS*. Quito. Recuperado el 02 de Mayo de 2017, de <https://www.aguaquito.gob.ec/>
- EPMAPS-Q. (2016). *Programa de agua no contabilizada EPMAPS, Informe Técnico - Quito*. Quito.
- EPMAPS-Q. (2016). *Programa producción de agua en plantas EPMAPS, Informe Técnico - Quito*. Quito.
- Escobar , X., & Rivas, J. (2016). *Uso de espuma flex como agregado para la elaboración de adoquines de hormigón*. Tesis, UCE, Carrera de Ingeniería Civil, Quito.
- Esmeral, Y. (2011). *Análisis de la evapotranspiración real en el cultivo de rosa*. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado el 06 de Marzo de 2017, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/3858/1/820021.2010.pdf>
- FAO. (1992). *Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas: estudio y planificación de cuencas hidrográficas*. En T. Sheng. Roma. Recuperado el Enero de 2017, de <http://www.fao.org/docrep/006/T0165S/T0165S00.HTM>
- FAO. (2007). *Las cuencas y la gestión del riesgo a los desastres naturales en Guatemala*. Ciudad de Guatemala, Guatemala, C.A., 01013: Serviprensa S.A. Recuperado el 30 de Octubre de 2016, de <http://coin.fao.org/coin-static/cms/media/5/12820628912320/fao20manejo20de20cuencas.pdf>
- Faustino, J., & Jimenéz, F. (2000). *Manejo de cuencas hidrográficas*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronomico Tropical de Investigación y Enseñanza.

- FONAG. (2006). *Apoyo a la conservación de la cuenca alta del río Pita*. Quito: RisperGraf. Recuperado el 11 de Noviembre de 2016, de http://www.fonag.org.ec/doc_pdf/5.pdf
- Freile, J., & Fabara, J. (Marzo- Abril de 2009). La sublime y trágica historia del valle del Pita. *ECUADOR TERRA INCOGNITA*(58). Recuperado el 16 de Noviembre de 2016, de http://www.terraecuador.net/revista_58/58_pita.html
- Fuentes, G., & Casar, E. (1990). *INIAP-MOJANDA 90. Avena para consumo humano*. INIAP, Sección Avena, Quito. Recuperado el 11 de Marzo de 2017, de <http://www.iniap.gob.ec/>
- Garófalo, J., Ponce-Molina, L., & Abad, S. (2011). *Guía del cultivo de trigo*. INIAP, Programa de cereales. Estación experimental Santa Catalina. Recuperado el 10 de Marzo de 2017, de <http://www.iniap.gob.ec>
- González, M., Saldarriaga, G., & Jaramillo, O. (2010). *Estimación de la demanda de agua. Conceptualización y dimensionamiento de la demanda hídrica sectorial*. IDEAM. Recuperado el 08 de Mayo de 2017, de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021888/CAP5.pdf>
- Google Earth Pro 7.1.7. (2016). *Google Earth*. Recuperado el 03 de Noviembre de 2016, de <https://earth.google.com/web/>
- Granizo, O. (2011). *Estudio de factibilidad para la producción de un hato lechero en condiciones de estabulación, alimentado con maralfalfa (Pennisetum sp.) en la parroquia de Mindo - Pichincha*. Tesis, Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Agricultura, Alimentos y Nutrición, Quito.
- Guerrero, O. (2015). *Geomorfología de Cuencas*. Merida. Obtenido de http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/oguerre/4_Geomorfologia.pdf
- Hernández, E. (1993). *Monitoreo y evaluación de logros en proyectos de ordenación de cuencas hidrográficas*. (FAO, Ed.) Mérida, Venezuela.
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual*. London, UK: Earthscan.
- IBAL. (2008). *Ordenación y manejo ambiental de la microcuenca de las Qubradas, Las Palmas y La Balsa*. Recuperado el 07 de Mayo de 2017, de <https://www.cortolima.gov.co/>
- IDEAM. (2004). *Metodología para El Cálculo del Índice de Escasez de Agua Superficial*. Organización de los Estados Americanos, Lima. Recuperado el 07 de Mayo de 2017, de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021143/metodologia-calculo.pdf>

- IFA. (2002). *Los fertilizantes y su uso*. FAO, Asociación internacional de la industria de fertilizantes, París. Recuperado el 09 de Marzo de 2017, de <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>
- INAMHI. (2013). *METEOROLOGIA / ISOLINEAS TEMPERATURA / TEMPERATURA MEDIA/ISOTERMAS MENSUALES/shp*. Recuperado el 25 de Abril de 2017, de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/>
- INAMHI. (2016). Recuperado el 15 de Noviembre de 2016, de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/>
- INEC. (2000). *III Censo Nacional Agrícola*. MAGAP, Quito. Recuperado el 12 de Marzo de 2017, de http://www.ecuadorencifras.gob.ec//documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/CNA/Tomo_CNA.pdf
- INEC. (2015). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC)*. MAGAP. Recuperado el 10 de Marzo de 2017, de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/20ESPAC_2015.pdf
- INEN. (2000). *Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Diseño de los Programas de Muestreo*. Quito. Recuperado el 04 de Marzo de 2017, de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2226.2000.pdf>
- INEN. (2012). *Guía de práctica para el desarrollo de estudios inventario, prefactibilidad, factibilidad y diseño definitivo de proyectos de generación hidroeléctrica*. Norma, Quito. Recuperado el 10 de Abril de 2017, de <https://ia601900.us.archive.org/35/items/ec.gpe.59.2012/ec.gpe.59.2012.pdf>
- INEN. (2013). *Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y Conservación de Muestras*. Recuperado el 22 de Febrero de 2017, de <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte1/2169-1.pdf>
- INEN. (2013). *Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de muestreo*. Recuperado el 22 de Febrero de 2017, de <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte1/2176-1.pdf>
- INIAP. (2012). *INIAP 481 rojo del valle.. Variedad mejorada de fréjol arbustivo de grano de color rojo moteado*. MAGAP. Recuperado el 07 de Marzo de 2017, de <http://www.iniap.gob.ec/>
- Investiga. (2005). *Flores en el Ecuador: Pasado y Futuro. Perspectiva*. Recuperado el 12 de Marzo de 2017, de <http://investiga.ide.edu.ec/index.php/revista-febrero-2005/774-flores-en-el-ecuador-pasado-y-futuro>
- Jarrín , G. (2014). *Efecto de la aplicación foliar complementaria y la profundidad de aplicación del fertirriego en dos variedades de tomate riñón (lycopersicum esculentum mill), Tumbaco. Pichincha*. Tesis, Universidad Central del Ecuador, Ingeniería Química, Quito.

- Macas, G. (2014). *Evaluación económica de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Guadalajara de Buga*. Tesis, Universidad del Valle, Facultad de Ciencias Sociales y Económicas, Santiago de Cali.
- Maderey, L. E., & Jiménez, A. (2005). *Principios de Hidrogeografía. Estudio del Ciclo Hidrológico* (Primera ed., Vol. I). (A. Fernández , & M. Pavón , Edits.) México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- MAE. (2012). *Plan de manejo adaptativo del sistema de agua potable Pita-Puengasí y sus cuencas abastecedoras*. Ministerio del Ambiente, Quito.
- MAE. (2013). *Implementación de buenas prácticas para el manejo adaptativo del sistema pecuario y la conservación del ecosistema páramo en la microcuenca de papallacta*. Ministerio del Ambiente, Quito.
- MAE. (2015). *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes : recurso agua libro VI anexo 1*. Ministerio del Ambiente, Quito.
- MAGAP. (2014). *Preguntas frecuentes del sector forestal*. Recuperado el 06 de Marzo de 2017, de <http://balcon.magap.gob.ec/magap01/magapaldia/2529.pdf>
- MAGAP. (2017). *infoproductor-precios*. Recuperado el 01 de Mayo de 2017, de <http://sinagap.agricultura.gob.ec/index.php/infoproductor-precios>
- Martinez, R. (2009). *Geología Urbana de la Ciudad de Guaymas*. Tesis, Universidad Nacional de Sonora, Facultad de Geología.
- Mascarini , L., & Rocha, M. (2012). Análisis de la importación y mercado de rosas de corte en la provincia de Buenos Aires entre 2002 y 2010. *Economía y Viveros*. Recuperado el 03 de Marzo de 2017, de http://www.economiayviveros.com.ar/noviembre2012/investigacion-proyectos-floricultura_y_jardinaria.html
- Mekonnen, M., & Hoekstra, A. (2011). The blue water footprint of electricity from hydropower. *Hydrology and Earth System Sciences*, 9. Recuperado el 25 de Abril de 2017, de <http://ayhoekstra.nl/pubs/Mekonnen-Hoekstra-2012b.pdf>
- Monteros, A. (2016). *Rendimientos de papa en el ecuador primer ciclo 2016 (diciembre-junio)*. MAGAP. Recuperado el 10 de Marzo de 2017, de http://sinagap.agricultura.gob.ec/pdf/estudios_agroeconomicos/rendimiento_p_apa2016.pdf
- Monteros, A. (2016). *Rendimientos de papa en el ecuador segundo ciclo 2015 (junio-noviembre)*. MAGAP. Recuperado el 10 de Marzo de 2017, de http://sinagap.agricultura.gob.ec/pdf/estudios_agroeconomicos/rendimiento_p_apa.pdf
- Monteros, A., Sumba, E., & Salvador, S. (2014). *Productividad Agrícola en el Ecuador*. MAGAP, Dirección de Análisis y Procesamiento de la Información. Recuperado el 02 de Marzo de 2017, de

http://sinagap.agricultura.gob.ec/pdf/estudios_agroeconomicos/indice_productividad.pdf

- Morales, A. A., & Topón, E. D. (2016). *Ubicación y diseño de una obra de regulación de caudales sobre el Río Quijos*. Tesis pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción, Sangolquí.
- Ocampo, O. L. (2012). *Análisis de vulnerabilidad de la cuenca del río Chinchiná para condiciones estacionarias y de cambio climático*. Tesis Mestría, Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- ONU-Agua. (2005). *EL AGUA, FUENTE DE VIDA 2005-2015*. Recuperado el 11 de Febrero de 2017, de <http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/waterforlifebklt-s.pdf>
- Otórola, A. (1997). *Resultados de 10 años de investigación silvicultural del proyecto Madeleña en Nicaragua* (Vol. 292 de Informe tecnico). (1. CATIE, Ed.) Nicaragua.
- Peralta, E., Murillo, A., Caicedo, C., Pinzón, J., & Rivera, M. (2000). *Manual Agrícola de leguminosas*. Recuperado el 07 de Marzo de 2017, de <http://www.iniap.gob.ec>
- Peralta, E., Murillo, Á., Mazón, N., Monar, C., Pinzón, J., & Rivera, M. (2010). *Manual Agrícola de fréjol y otras leguminosas cultivos variedades y costos de producción* (Segunda impresión actualizada ed.). Quito, Ecuador.
- Pilatti, M. A., D' Angelo, C., Marano, R., Pensiero, J., Potente, H., & López Calderón, A. (2002). *Ordenamiento territorial de la cuenca de Los Saladillos (Santa Fe). Estudio de prefactibilidad del uso actual y potencial de los recursos naturales*. (I. Tosti, Ed.) Santa Fe, Argentina: Universidad Nacional del Litoral.
- PUCE. (2008). *Hidrología y cuencas hidrográficas*. Quito. Obtenido de http://www.puce.edu.ec/sitios/documentos_DGA/6_16_1602_2008-01_13179_1000706166_S_1.pdf
- Ramírez, G. (2013). *Evaluación agronómica bajo cubierta de tres híbridos de tomate riñón (lycopersicum sculentum mill), en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas*. Tesis, Universidad de las Fuerzas Armadas, Ciencias de la Vida, Sangolquí.
- Rodas, R. (2003). *Determinación del costo directo de construcción de una planta de tratamiento con la ayuda de la programación pert-tiempo*. Tesis, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Guatemala.
- Rodríguez Ortiz, C. (2016). *Análisis de la disponibilidad de agua verde a partir del ajuste de cálculo de la evapotranspiración en zonas de vegetación natural*. Tesis Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Departamento de Geociencias y Medio Ambiente, Medellín.

- Rojo, J. (2008). *Morfometría de cuencas*. Recuperado el 07 de Mayo de 2017, de <http://julianrojo.weebly.com/uploads/1/2/0/0/12008328/morfometria.pdf>
- Román, F., Monge, J., De Aguilar, M., & Franco, M. (2012). *Estudio de pre-factibilidad planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Metapán en Santa Ana*. USAID. Recuperado el 02 de Mayo de 2017, de http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00HSSC.pdf
- Sabas, C. A., & Paredes, D. (2009). Estudio de oferta y demanda hídrica en la cuenca del Río Barbas. *Scientia et Technica Año XV, No 42*, 405. Recuperado el 07 de Mayo de 2017, de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4713083.pdf>
- Sager, R. L. (2000). *Agua para bebida de bovinos*. INTA E.E.A San Luis. Reedición de la Serie Técnica N° 126. Recuperado el 01 de Abril de 2017, de http://www.produccion-animal.com.ar/agua_bebida/67-agua_para_bebida_de_bovinos.pdf
- Salmoral, G., Dumont, A., Aldaya, M., Rodríguez-Casado, R., Garrido, A., & Llamas, M. (2011). *Análisis de la Huella Hídrica extendida de la cuenca del Guadalquivir*. Madrid, España. Recuperado el 30 de Octubre de 2016, de <http://www.huellahidrica.org/Reports/Salmoral-et-al-2011.pdf>
- SENPLADES. (2013). *PLAN NACIONAL DEL BUEN VIVIR (2013-2017)*. Recuperado el 31 de Mayo de 2017, de <http://www.buenvivir.gob.ec/versiones-plan-nacional>
- Sheng, T. C. (1992). *Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas*. (FAO, Ed.) Roma, Italia.
- SILVA, A., PONCE DE LEÓN, J., GARCÍA, F., & DURÁN, A. (1988). *Aspectos metodológicos en la determinación de la capacidad de retener agua de los suelos del Uruguay*. Tesis, Universidad de la Republica, Facultad de Agronomía.
- SIRH-CG. (2017). *Sistema de información y monitoreo de recursos hídricos*. Recuperado el 07 de Mayo de 2017, de Cuenca del GUAYLLABAMBA: <http://www.infoagua-guayllabamba.ec/index.php/disponibilidad-de-agua/analisis-de-oferta-hidrica>
- SNET. (2005). *Balance hídrico integrado y dinámico en El Salvador componente evaluación de recursos hidricos*. San Salvador. Recuperado el 07 de Mayo de 2017, de <http://www.snet.gob.sv/Documentos/balanceHidrico.pdf>
- Sokolov, A. A., & Chapman, T. G. (1981). *Métodos de cálculo del balance hídrico. Guía internacional de investigación y métodos*. UNESCO, Madrid. Recuperado el 07 de Mayo de 2017, de <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001377/137771so.pdf>
- Sotelo, J. A., Olcina, J., Tolón, A., García, J. M., Lastra, X., García, F., . . . Sotelo, I. (2011). *Huella Hídrica, Desarrollo y sostenibilidad en España*. Fundación

- MAPRE. Madrid: Fundación MAPRE. Recuperado el 09 de Mayo de 2017, de <http://www.huellahidrica.org/Reports/FundacionMapfre-2011-huella-hidrica-y-desarrollo-sostenible.pdf>
- Tólon, A., Lastra, X., & Fernández, V. (2013). Huella Hídrica y sostenibilidad del uso de los recursos hídricos. Aplicación al Poniente Almeriense. Estudios previos y medidas de eficiencia. *ELECTRÓNICA DE MEDIAMBIENTEUCM.*, 3-4. Recuperado el 10 de Febrero de 2017, de <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-41205/61articulo.pdf>
- UDELAR. (2013). *Evotranspiracion*. Universidad de la república del Uruguay, Ciencias de la atmósfera. Recuperado el 25 de Abril de 2017, de http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/climatologia/practico_climatologia_2013/EVAPOTRANSPIRACION.pdf
- UNESCO. (2010). *Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura*. Recuperado el 09 de Mayo de 2017, de <http://www.unesco.org/new/es/education/themes/leading-the-international-agenda/education-for-sustainable-development/sustainable-development/>
- UNESCO. (2015). *Informe de las Naciones Unidas sobre los Recursos Hídricos en el Mundo 2015*. 06134 Colombella, Perugia, Italia: Oficina del Programa sobre Evaluación Mundial de los Recursos Hídricos, División de Ciencias del Agua. Recuperado el 30 de Octubre de 2016, de <http://www.unesco.org/>
- Uribe, M. (2014). *Evaluación de la Huella Hídrica Azul y gris de la central hidroeléctrica Miel I De Isagen S.A E.S.P.* Tesis, Universidad EAFIT, Departamento de Ingeniería de Procesos, Medellín.
- USGS. (2017). *El ciclo del agua: The water Cycle*. Obtenido de USGS science for a changing world: <https://water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>
- Valverde, F., Córdova, J., & Parra, R. (1988). *Fertilización del cultivo de la papa*. INIAP, Quito. Recuperado el 09 de Marzo de 2017, de <http://www.iniap.gob.ec>
- Villamontes, O., Escoboza, L., Pinedo, C., Pinedo, A., Reyes, V., Roman, J., & Perez, A. (2007). Morfometría de la cuenca del río San Pedro, Conchos, Chihuahua. *Tecnociencia*, 21. Recuperado el Enero de 2017, de <http://tecnociencia.uach.mx/numeros/v1n3/data/5-morfometria-de-la-cuenca.pdf>
- Vinueza, M. (2012). *Ficha Técnica N° 10: EUCALIPTO*. Ecuadorforestal. Recuperado el 04 de Marzo de 2017, de <http://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-10-eucalipto/>
- Vinueza, M. (2013). *Ficha Técnica No. 13 Pino (Pinus radiata)*. Ecuadorforestal. Recuperado el 17 de Marzo de 2017, de <http://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-13-pino-pinus-radiata/>

- WFN. (2011). *Manual para la evaluación de la Huella Hídrica*. Recuperado el 30 de Octubre de 2016, de <http://waterfootprint.org/media/downloads/ManualEvaluacionHH.pdf>
- Yong , A. (2004). El cultivo del rosal y su propagación. *Cultivos Tropicales*, 25(2), 53-67. Recuperado el 06 de Marzo de 2017, de <http://www.redalyc.org/html/1932/193217832008/>