

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**APLICACIÓN DE LOS INDICADORES DEL ÍNDICE DE
SOSTENIBILIDAD DE CUENCAS (WSI) EN LAS
SUBCUENCAS DEL RÍO MANTARO**

Tesis para obtener el Título de **Ingeniera Civil**, que presenta la bachiller:

Mayra Lisseth Delgado Villaverde

ASESOR: Dr. Ronald Roger Gutiérrez Llantoy

Lima, noviembre del 2018

*A mis padres, Sonia y Guillermo,
por su incondicional apoyo para lograr este sueño.*

RESUMEN

La protección del medio ambiente, en especial la preservación del agua, como parte del desarrollo sostenible, se convirtió en uno de los temas más importantes de las agendas políticas en los últimos años. Por lo tanto, resulta indispensable poder contar con herramientas que permitan cuantificar y calificar el grado de sostenibilidad del recurso agua en una región. Los índices de sostenibilidad son herramientas útiles para el planeamiento, gestión y educación en el ámbito de los recursos hídricos. Una de estas, es la conocida como Índice de Sostenibilidad de Cuencas (WSI), desarrollado por Chavez y Alipaz (2007). Este índice incluye en su formulación indicadores hidrológicos, ambientales, de vida y políticos, de esta forma, es posible identificar problemas hidrológicos, ambientales, sociales y políticos para luego decidir por una solución integrada.

La presente investigación presenta la aplicación del índice WSI en la cuenca hidrográfica del río Mantaro. Esta es considerada como una de la más importante del país debido a su extensivo desarrollo en el sector agrícola y ganadero, actividades mineras y por ser una fuente de generación de energía eléctrica. El análisis se realiza en cada una de sus 23 subcuencas, la división en unidades menores permite evaluar regiones con características similares, ya que dependiendo de la ubicación donde se encuentren (norte, centro y sur de la cuenca) predominarán diferentes actividades productivas y diferentes concentraciones de la población.

La evaluación se realiza entre el 2006 y 2010, en un contexto donde existe muy limitada disponibilidad de datos. Con ello, no se logra obtener una calificación del nivel de sostenibilidad de todas las subcuencas, a excepción de Chinchaycocha. Para el resto, se presenta un análisis de manera aislada de los indicadores hidrología-cantidad de agua, medio ambiente, vida y políticas públicas. En la subcuenca Chinchaycocha, se obtuvo el valor de 0.63, valor que la califica con una sostenibilidad intermedia. En la cuenca total del Mantaro, se obtuvieron los valores de 0.54 para el indicador de medio ambiente, 0.64 para el indicador de vida y 0.47 para el de políticas públicas. El indicador cantidad de agua muestra que existen subcuencas con niveles relativamente bajos de disponibilidad de agua. En el indicador de vida, si bien existe una evolución positiva en el IDH, existen subcuencas que aún no sobrepasan los umbrales de desarrollo. Asimismo, se identificó que en el periodo de estudio no existían muchas herramientas para la gestión y conservación de los recursos, ya que a partir del 2009 con la Ley de Recursos Hídricos, se prioriza la regulación e implementación de la gestión integrada del agua en el país.

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Título : Aplicación de los indicadores del índice de sostenibilidad de cuencas (WSI) en las subcuencas del Río Mantaro

Área : Medio Ambiente y Recursos Hídricos.- Investigación

Asesor : Dr. Ronald Roger Gutierrez Llantoy

Alumno : MAYRA LISSETH DELGADO VILLAVERDE

Código : 2011.2169.412

No de Tema : # 101

Fecha : Lima, 9 de mayo de 2018



DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA:

Uno de los mayores retos que enfrenta el Perú es el de poder lograr el desarrollo sostenible. Debido a que muchas de las actividades económicas dependen de la disponibilidad del agua, es necesario tener una adecuada gestión de este recurso, ya que además involucra el equilibrio y la integridad del medio ambiente. En tal virtud, es preciso tener un conocimiento de las fortalezas y debilidades de los sistemas hidrográficos para que cada una de las partes interesadas (stakeholders) que se asientan en un área elabore decisiones adecuadas para la gestión de las cuencas hidrográficas.

La cuenca del Mantaro es una de las cuencas más importantes del Perú debido a que en su área se desarrollan actividades productivas de gran envergadura, tales como la agricultura, ganadería, piscicultura, minería y además genera el 35% de la energía hidroeléctrica del país. Aun así, hasta la fecha no se ha evaluado la sostenibilidad con la que la cuenca está siendo manejada.

Los Índices de Sostenibilidad son herramientas útiles para las actividades de planeamiento, gestión y educación en el ámbito de los recursos hídricos ya que son herramientas que engloban los aspectos económicos, sociales y ambientales de una cuenca. Por lo tanto, mediante la aplicación de Water Sustainability Index (WSI) se logrará realizar una evaluación cuantitativa y cualitativa de la sostenibilidad, además que permite identificar las actuales limitantes en la cuenca, las cuales se deberán mejorar para una adecuada gestión del agua en base de la optimización de los usos de agua, gestión de conflictos y fortalecimiento institucional.

OBJETIVO Y ALCANCE:

El objetivo principal de la presente tesis es evaluar el grado de sostenibilidad en una de las más importantes cuencas del Perú, la cuenca del río Mantaro, a través de la aplicación de los indicadores del índice WSI en cada una de sus subcuencas entre los años 2006 y 2010, debido a que es el periodo en que se encuentran disponibles los datos que hacen posible su aplicabilidad. La aplicación de este índice incluye una evaluación en el ámbito hidrológico, medio ambiente, vida y políticas públicas de las subcuencas.

67

i



Como objetivos específicos del presente trabajo se tienen los siguientes puntos:

- Identificar a las subcuencas que deben ser priorizadas a fin de promover la protección y el uso sostenible de los recursos hídricos.
- Describir el estado del conocimiento de los instrumentos de gestión de recursos hídricos en relación a su rol en el uso sostenible en el Perú.
- Realizar un análisis de las potencialidades y las limitaciones asociadas a la aplicación del índice WSI en las subcuencas de estudio, proyectándolas en el contexto peruano.

METODOLOGÍA Y RESULTADOS ESPERADOS:

Las etapas que comprenden la determinación del Índice de sostenibilidad (WSI) en las subcuencas del río Mantaro son las siguientes:

- Revisión de la literatura especializada respecto a los elementos conceptuales para la gestión del agua.
- Conocimiento de la metodología del WSI a través de cada uno de sus indicadores: Hidrología, Medio Ambiente, Vida y Políticas Públicas y los parámetros que compone cada uno de estos, denominados Presión, Estado y Respuesta.
- Revisión y organización de la información disponible de las subcuencas del Mantaro para el cálculo del índice.
- Adopción de metodologías para los datos faltantes.
- Determinación de los indicadores del índice WSI en cada una de las subcuencas.

Se ha identificado la disponibilidad de información para la aplicación del índice WSI en cada una de las subcuencas del río Mantaro para el periodo 2006-2010. Asimismo, se espera obtener rangos de sostenibilidad entre niveles intermedios y altas ya que progresivamente en el país se han ido incorporando herramientas tanto técnicas, normativas y administrativas para poder realizar una mejor gestión del recurso hídrico. En caso contrario, se deberán adoptar medidas para priorizar los recursos hídricos de esta zona. Por otro lado, de confirmarse la hipótesis sobre la disponibilidad de la información en otros contextos geográficos del país, se podría potencialmente implementar fácilmente este índice en otras subcuencas del Perú.

Máximo: 100 páginas

VB°

Dr. Nicola Tarque
Director de Investigación

Ronald R. Gutierrez

B

Índice

Lista de figuras.....	v
Lista de tablas.....	vii
Acrónimos.....	ix
1. ASPECTOS GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Objetivos	3
1.3 Justificación.....	3
2. ELEMENTOS CONCEPTUALES PARA LA GESTIÓN DEL AGUA.....	4
2.1 La crisis del agua.....	4
2.1.1 Visión global de recursos hídricos.....	4
2.1.2 Recursos hídricos en riesgo.....	5
2.2 Recursos hídricos en el Perú.....	9
2.2.1 Disponibilidad de recursos de agua dulce	9
2.2.2 Usos de agua.....	10
2.2.3 Conflictos por el agua.....	11
2.2.4 Marco institucional	13
2.3 Índices de sostenibilidad hídrica	16
2.3.1 Índices basados en el consumo humano.....	16
2.3.2 Índices basados en vulnerabilidad del recurso hídrico	18
3. METODOLOGÍA Y DATOS.....	22
3.1 Caso de estudio: Cuenca del río Mantaro.....	22
3.2 Metodología de desarrollo del Índice de Sostenibilidad WSI.....	26
3.2.1 Hidrología.....	28
3.2.2 Medio ambiente.....	29
3.2.3 Vida.....	30
3.2.4 Políticas públicas	31
3.2.5 Adopción de metodologías para los indicadores no encontrados	33
3.3 Aplicación del índice WSI en las subcuencas del río Mantaro.....	39
3.3.1 Hidrología.....	39
3.3.2 Medio ambiente.....	58
3.3.3 Vida.....	62
3.3.4 Políticas públicas	64

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	77
4.1 Cálculo del Índice de Sostenibilidad en las subcuencas	77
4.2 Discusión de resultados Índice de Sostenibilidad WSI.....	84
4.2.1 Comparación de resultados con otras cuencas hidrográficas	84
4.2.2 Análisis de los resultados de las subcuencas del río Mantaro	85
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	90
5.1 Conclusiones	90
5.1.1 Generales	90
5.1.2 Específicas.....	91
5.2 Recomendaciones	94
6. REFERENCIAS.....	95



Lista de Figuras

Figura 2.1 Distribución de agua en el mundo	5
Figura 2.2 Distribución de la densidad de la población-2007	9
Figura 2.3 Principales actores e instrumentos para la gestión de recursos hídricos en el Perú	13
Figura 2.4 Ejes de gestión de la ANA	14
Figura 2.5 Funciones de los órganos desconcentrados del ANA	15
Figura 2.6 Principios de la Ley de Recursos Hídricos (Artículo 3º).....	15
Figura 2.7 Áreas con escasez física y económica.....	21
Figura 3.1 Mapa de superposición de las concesiones mineras y las cuencas hidrográficas	23
Figura 3.2 Mapa de Subcuencas del río Mantaro.....	25
Figura 3.3 Esquema de etapas del índice WSI	26
Figura 3.4 Diagrama de flujo del índice WSI	26
Figura 3.5 Balance Hídrico Superficial en el lago Junín	40
Figura 3.6 Análisis regional 1965-2005	41
Figura 3.7 Caudales naturalizados medios anuales del Lago Junín 1965-2005	43
Figura 3.8 Caudales naturalizados medios anuales del río Yauli 1965-2005	43
Figura 3.9 Análisis regional 2001-2005	44
Figura 3.10 Distribución de la población en la cuenca del río del Mantaro en el 2010	47
Figura 3.11 Distribución de la población en las subcuencas de estudio año 2010 ..	47
Figura 3.12 Agua per cápita en las subcuencas del río Mantaro	48
Figura 3.13 Inversiones realizadas en el sector agrícola.....	49
Figura 3.14 Inversiones en el sector agrícola 2006-2010.....	50
Figura 3.15 Red de monitoreo del lago Chinchaycocha	51
Figura 3.16 Ubicación de las estaciones E-9, RMant1 y LDupa.....	53
Figura 3.17 CE generado para estación LDUPA1 (uS/cm).....	54
Figura 3.18 EPI de la cuenca en el periodo 2006 y 2010	58
Figura 3.19 Mapa de cobertura vegetal 2011	60
Figura 3.20 Mapa del Sistema de Áreas Naturales Protegidas en la Cuenca del Río Mantaro	62
Figura 3.21 IDH-ingreso per cápita para las subcuencas del río Mantaro	63
Figura 3.22 IDH para las subcuencas del río Mantaro 2007 y 2010	64
Figura 3.23 IDH-Educación de subcuencas del río Mantaro	65
Figura 3.24 Mapa de los órganos desconcentrados de la cuenca del río Mantaro ..	68
Figura 3.25 Actores de la GIRH	69
Figura 3.26 Inversiones en el sector agrícola 2006-2010.....	72

Figura 3.27 Inversiones en servicios de saneamiento 2006-2010	73
Figura 3.28 Inversiones en GIRH (agricultura y saneamiento) 2006-2010	74
Figura 3.29 Retribuciones económicas en AAA Mantaro	76
Figura 4.1 Nivel de sostenibilidad del indicador hidrología – cantidad.....	78
Figura 4.2 Nivel de sostenibilidad del indicador medio ambiente	79
Figura 4.3 Nivel de sostenibilidad del indicador Vida	81
Figura 4.4 Nivel de sostenibilidad del indicador políticas públicas	82
Figura 4.5 Usos de agua en la zona norte de la cuenca del Mantaro	86
Figura 4.6 Usos de agua en la zona centro de la cuenca del Mantaro	87
Figura 4.7 Usos de agua en zona sur de la cuenca del Mantaro.....	87



Lista de Tablas

Tabla 2.1 Distribución porcentual del agua por continente.....	5
Tabla 2.2 Distribución de área, población y recursos hídricos en el Perú.....	10
Tabla 2.3 Demanda de uso consuntivo total en el Perú	11
Tabla 2.4 Demanda de uso no consuntivo total en el Perú	11
Tabla 2.5 Clasificación propuesta por Falkenmark.....	17
Tabla 2.6 Requisitos mínimos según Gleick para satisfacer las necesidades humanas	17
Tabla 2.7 Descripción de WSI para el parámetro de Presión del WSI.....	19
Tabla 2.8 Descripción de WSI para el parámetro de Estado del WSI.....	19
Tabla 2.9 Descripción de WSI para el parámetro de Respuesta del WSI.....	20
Tabla 3.1 Volúmenes de agua utilizados por la Autoridad Administrativa del Agua Mantaro	22
Tabla 3.2 Subcuencas del río Mantaro	24
Tabla 3.3 Indicadores y parámetros del WSI	27
Tabla 3.4 Rango de sostenibilidad de cuencas	27
Tabla 3.5 Parámetro de estado para el indicador de calidad de agua del índice WSI	35
Tabla 3.6 Superficie agrícola en los años 1994 y 2012 – Cuenca del río Mantaro ..	36
Tabla 3.7 Valores límites para el cálculo del IDH	38
Tabla 3.8 Precipitación anual promedio de las estaciones del informe de Electroperú en el periodo 1965-2005 y 2001-2005	41
Tabla 3.9 Características de las estaciones hidrometeorológicas 1965-2005	42
Tabla 3.10 Parámetros de caracterización de las subcuencas.....	42
Tabla 3.11 Características de las estaciones hidrometeorológicas 2001-2005	44
Tabla 3.12 Parámetros de caracterización de las subcuencas 2001-2005.....	45
Tabla 3.13 Caudales promedios netos de largo y corto plazo, y la variación relativa entre los 2 periodos	46
Tabla 3.14 Puntaje cantidad de agua – Respuesta.....	50
Tabla 3.15 Resultados de los monitoreos 2013, 2014, 2015 y 2016 realizados por ANA	52
Tabla 3.16 Promedios de la conductividad anual largo y corto plazo, y la variación relativa entre los 2 periodos	54
Tabla 3.17 EPS en la cuenca del Mantaro.	56
Tabla 3.18 Tratamiento de aguas residuales en el año 2008.....	56
Tabla 3.19 Producción de agua potable y aguas residuales en el año 2013	57
Tabla 3.20 Producción de agua potable y aguas residuales en el año 2014	57
Tabla 3.21 Sistema de Áreas Naturales Protegidas de la cuenca del Mantaro	61

Tabla 3.22 Cuadro comparativo de los IDH-Internacional e IDH-Nacional en el componente de Educación	65
Tabla 3.23 Junta de usuarios de la AAA Mantaro	67
Tabla 3.24 Evolución en la inversión en GIRH (%)	75
Tabla 4.1 Resumen del indicador hidrología - cantidad.....	77
Tabla 4.2 Resumen del indicador hidrológico – Calidad para la subcuenca Chinchaycocha	78
Tabla 4.3 Resumen del indicador medio ambiente	79
Tabla 4.4 Resumen del indicador vida	80
Tabla 4.5 Resumen del indicador políticas públicas.....	81
Tabla 4.6 Índice de sostenibilidad de cuencas en la subcuenca Chinchaycocha	83
Tabla 4.7 Índice de sostenibilidad de las subcuencas en el río Mantaro	84
Tabla 4.8 Comparación de resultados con cuencas hidrográficas similares.....	85



Acrónimos

AAA	Autoridad Administrativa del Agua
ALA	Administración Local del Agua
ANA	Autoridad Nacional del Agua
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CRHC	Consejos de Recursos Hídricos de Cuenca
DIGESA	Dirección General de Salud Ambiental (del Ministerio de Salud)
ECA	Estándares de calidad del agua
EPS	Empresas prestadoras de servicios de saneamiento
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
FPNU	Fondo de Población de las Naciones Unidas
GIRH	Gestión Integrada de Recursos Hídricos
IDH	Índice de Desarrollo Humano
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
INRENA	Instituto Nacional de Recursos Naturales
PBI	Producto Bruto Interno
PNUD	Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo
PTAR	Plantas de tratamiento de aguas residuales
Senamhi	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
SIG	Sistema de Información Geográfica
SNIP	Sistema Nacional de Inversión Pública
SNGRH	Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos
SUNASS	Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la educación, Ciencia y Cultura
WSI	Water Sustainability Index
WWAP	World Water Assessment Programme

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

Actualmente, el recurso hídrico exhibe gran vulnerabilidad frente al crecimiento exponencial de la población. Este hecho induce un constante incremento de la demanda de agua en el uso doméstico, producción de los alimentos, actividades productivas y presión sobre los ecosistemas. La contaminación producto de estas actividades afecta la calidad del agua reduciendo su disponibilidad apta para el uso y consumo de los seres vivos. A esta situación, se suma las manifestaciones del cambio climático que alteran el balance natural del recurso, las cuales ya están causando en algunas zonas del mundo un efecto irreversible en la disponibilidad espacial y temporal del agua (PNUD, 2008). Su efecto se evidencia en la aparición de condiciones de estrés en algunas zonas del mundo, frente a ello, surgieron políticas y estrategias de Estado para optar por nuevas propuestas que ayuden a con la gestión sostenible de los recursos hídricos y así evitar la competencia por el agua minimizando los conflictos entre usuarios y la presión sobre él mismo. Al respecto, resulta de interés poder disponer de indicadores que permitan evaluar el uso de los recursos naturales y subsecuentemente desarrollar estrategias de intervención.

En particular, los índices de sostenibilidad son herramientas útiles para las actividades de planeamiento, gestión y educación en el ámbito de los recursos hídricos. Estos deben ser de fácil aplicación, integrativos y universales, además, deben extrapolar fronteras administrativas y considerar relaciones causa-efecto para determinar cuál sería el impacto resultante de la acción (Chaves & Alipaz, 2007).

El programa Hidrológico Internacional de la UNESCO, a través de su Programa de Hidrología, Medio Ambiente, Vida y Políticas (HELP) y bajo el objetivo de establecer una red mundial de cuencas para mejorar los enlaces entre los aspectos hidrológicos y las necesidades de la sociedad, inició la búsqueda de un índice que contemple sus estrategias de desarrollo (UNESCO, 2004). De esta forma, en el año 2007, los investigadores Chavez y Alipaz desarrollaron el Índice de Sostenibilidad de Cuencas (WSI, por las siglas en inglés Water Sustainability Index), el cual incluye en su formulación indicadores hidrológicos, ambientales, de vida y políticos. Este índice es adaptado por HELP para caracterizar a las cuencas de su programa y de esa forma poder establecer una dimensión que refleje el estado en el que se encuentra el nivel de gestión de la cuenca. En tal virtud, es preciso tener un conocimiento de las

fortalezas y debilidades de los sistemas hidrográficos para que cada una de las partes interesadas (stakeholders) que se asientan en un área, ejecuten decisiones adecuadas para la gestión de la cuenca. Este índice representa una herramienta importante para la integración de los factores económicos, sociales y ambientales que determinan la sostenibilidad de una cuenca.

En nuestro país, aún no se incorporan herramientas que engloben y analicen todos los aspectos para obtener el nivel de sostenibilidad de una cuenca de manera cuantitativa y cualitativa. Así, se plantea este trabajo de tesis, con la finalidad de poder evaluar el grado de sostenibilidad en una de las más importantes cuencas del Perú, la cuenca del río Mantaro. El análisis se realiza en cada una de las subcuencas del río Mantaro, ya que dependiendo del sector donde se encuentren (norte, centro y sur) predominaran diferentes actividades productivas y diferentes concentraciones de la población. La evaluación del índice se realiza para un periodo entre los años 2006-2010 y en un contexto donde existe muy limitada disponibilidad de datos. Con esta limitación de información, solo se logra realizar la evaluación en conjunto de los 4 indicadores del el índice WSI en la subcuenca Chinchaycocha. En el resto de subcuencas, se presenta un análisis individual de los indicadores hidrología-cantidad de agua, medio ambiente, vida y políticas públicas.

La aplicación de este índice en la cuenca del río Mantaro representa un aporte para desarrollar una mejor planificación hidrológica. Asimismo, representa una herramienta necesaria para la formulación, ejecución y control de las políticas de desarrollo de todos sectores involucrados directa o indirectamente con los recursos hídricos. Este estudio permite evaluar si el uso y aprovechamiento se realiza de forma racional en cantidad y calidad, incluyendo además en su análisis la evaluación de aspectos sociales, medioambientales y políticos de la cuenca. Con ello, se logra identificar las fortalezas y actuales limitantes en la cuenca, las cuales se deberán mejorar para la gestión del agua en base a la optimización de los usos de agua, gestión de conflictos y fortalecimiento institucional.

1.2 Objetivos

El objetivo principal de esta investigación es el de evaluar cuantitativa y cualitativamente el grado de sostenibilidad de las subcuencas del río Mantaro a través de la aplicación del índice WSI en el periodo entre los años 2006 y 2010. El análisis involucrará la evaluación de cada subcuenca en el ámbito hidrológico, medio ambiente, vida y políticas públicas.

Como objetivos específicos se tienen los siguientes puntos:

- Identificar a las subcuencas que deben ser priorizadas a fin de promover la protección y el uso sostenible de los recursos hídricos.
- Describir el estado del conocimiento de los instrumentos de gestión de recursos hídricos, en relación a su rol en el uso sostenible en el Perú.
- Realizar un análisis de las potencialidades y las limitaciones asociadas a la aplicación del índice WSI en el contexto peruano.

1.3 Justificación

La aplicación del índice WSI se fundamenta en su gran utilidad como una herramienta para la planificación y gestión de los recursos hídricos. Esta, evalúa el nivel de sostenibilidad bajo sus indicadores de hidrología, medio ambiente, vida y políticas públicas. Los resultados de la evaluación proveerán la información para medir y mejorar la gestión integrada del recurso del agua, de esta forma, la región podrá plantear herramientas tanto técnicas como normativas y administrativas para poder ejecutar una gestión eficiente y eficaz, además, que involucrará la participación institucional estatal, privada y de la población de las subcuencas para promover la conservación y aprovechamiento sostenible del agua.

CAPÍTULO II

ELEMENTOS CONCEPTUALES PARA LA GESTIÓN DEL AGUA

2.1 La crisis del agua

Actualmente, el mundo se enfrenta a una crisis del agua pero esta no se debe únicamente a la escasez del recurso por manifestaciones del cambio climático o la variabilidad extrema de climas. Esta situación probablemente tiene sus inicios en la deficiente gestión de los recursos hídricos, ya que se realizaba de manera sectorial; es decir, se ejecutaba con las visiones y acciones de manera fragmentada y descoordinada entre los usuarios. Por ello, muchos expresan que el mayor problema del siglo XXI es el de la calidad y la gestión del agua, por ende la crisis mundial del agua es una crisis de gobernabilidad (Solanés & Peña, 2003).

2.1.1 Visión global de recursos hídricos

Se estima que en el mundo existen aproximadamente 1400 millones de km² de agua, de los cuales alrededor de 35 millones (2.5%) son de agua dulce y se encuentran distribuidos en los glaciares, agua subterránea, lagos y ríos, tal como se muestra en la Figura 2.1. Se hace evidente que la cantidad de agua dulce en la Tierra es limitada y, por ende, la disponibilidad hídrica para abastecer las necesidades de la población son muy reducidas. El promedio anual de precipitaciones es de 119 000 km³, de los cuales alrededor de 74 000 km³ se evaporan a la atmósfera. Los 45 000 km³ restantes fluyen hacia lagos, embalses y cursos de agua o se infiltran en el suelo alimentando a los acuíferos. Considerando que el recurso hídrico se encuentra sujeto en algunos lugares a estiajes, se estima que solo de 9000 a 14 000 km³ son económicamente utilizables, por lo que considerando la cantidad total del agua que puede aprovecharse es muy pequeño (FAO, 2002).

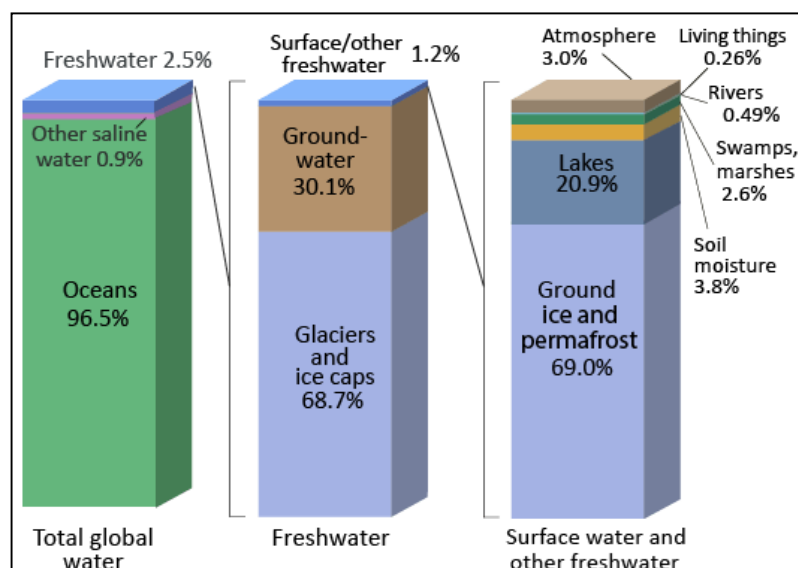


Figura 2.1 Distribución de agua en el mundo

Fuente: Igor Shiklomanov's chapter "World fresh water resources" in Peter H. Gleick (editor), 1993, *Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources* (Oxford University Press, New York).

2.1.2 Recursos hídricos en riesgo

La disponibilidad de los recursos hídricos es diferente en cada uno de los lugares del mundo, tal como se muestra en la Tabla 2.1, a su vez, presentan variaciones estacionales en las precipitaciones.

El hombre ejerce un control global sobre el agua dulce superficial, por ello, desempeña un rol determinante en el ciclo hidrológico. El crecimiento rápido de la población causa que el consumo de agua en sus diversos usos se incremente y por ende, la contaminación que las actividades generan, potencialmente reduce la cantidad de recursos de agua dulce aptos para el consumo humano.

Tabla 2.1 Distribución porcentual del agua por continente

Continentes	(%) Lt/s/km ²
América del Sur	20.9
América del Norte	10.3
Asia	9.9
Australia y Oceanía	9.7
Europa	5.2
África	4.5
África Sub Sahara	7.0

Fuente: (ANA, 2012)

A continuación, se detallan los retos que involucran la gestión del agua:

a. Escasez del agua

El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, en el año 2006, estimaba que cerca de 1200 millones de personas vivían en áreas de escasez física de agua, mientras que 500 millones se aproximan a esta situación. Otros 1600 millones, se enfrentan a situaciones de escasez económica de agua, donde los países carecen de la infraestructura necesaria para transportar el agua desde ríos y acuíferos (PNUD, 2006). Notablemente, para la actualidad estas cifras han aumentado; sin embargo, si bien aún no se habla de una escasez hídrica global, el número de regiones con niveles de carencia va en aumento. La escasez de agua puede empeorar por efectos del cambio climático (aunque su efecto preciso sobre los recursos hídricos es incierto), fenómenos como el crecimiento acelerado de la población urbana y aumento de las actividades agrícolas también se pueden convertir en causantes de este hecho. No solo las aguas superficiales se encuentran amenazadas, sino también las aguas subterráneas. Algunos acuíferos están excesivamente explotados debido a las necesidades de irrigación y de consumo doméstico. En las zonas costeras, la depresión de la napa freática llega a niveles tan bajos que el agua de mar contamina los recursos de agua dulce por un fenómeno llamado salinización.

A su vez, existen regiones donde los recursos hídricos disponibles parecen ser suficientes para satisfacer las actividades de desarrollo, pero solo si estos países toman medidas apropiadas sobre la demanda y la gestión del suministro de agua se podrá evitar una escasez adicional. Caso contrario, se observará problemas de escasez en ciudades que tienen hasta recursos hídricos totales suficientes, como sucedió en Barcelona (2007), Sao Paulo (2014) y California (2014).

b. Contaminación del agua

El deterioro de la calidad del agua disminuye la cantidad disponible para consumo humano y provoca efectos nocivos en la salud de quienes la consumen, a su vez, afecta la integridad de los ecosistemas naturales. Las poblaciones más pobres resultan ser las más afectadas por los desechos arrojados diariamente en aguas receptoras, en especial, de los países en desarrollo, ya que en estos las instituciones no pueden alcanzar el esfuerzo financiero que supone la descontaminación. Asia Meridional, especialmente India, y Asia Sudoriental enfrentan graves problemas de contaminación. La lista de los ríos más contaminados del mundo está encabezada por el Amarillo (China), el Ganges (India), y el Amur Daria y Sir Daria (Asia Central) (Echarri, 1998).

Las formas más recurrentes de contaminación del agua dulce son los microorganismos patógenos (bacterias coliformes fecales), sustancias orgánicas industriales y los acidificantes de lavaderos mineros y de emisiones atmosféricas, metales pesados de la industria, los residuos de plaguicidas, los sedimentos de erosión provocada por el hombre en los ríos, lagos y pantanos, y la salinización. En cuanto a la contaminación de aguas subterráneas, se da mayor importancia al factor tiempo, ya que estos sistemas son casi imposibles de limpiar y muchos contaminantes son persistentes y siguen siendo un peligro durante largos periodos de tiempo, incluso en bajas concentraciones (UNESCO, 2003)

c. Crecimiento poblacional

Los países más desarrollados cuentan con una población relativamente estable, por el contrario, las regiones menos desarrolladas experimentan, por lo general, un crecimiento acelerado. En la actualidad, más de la mitad de la población mundial vive en ciudades y se prevé que de aquí al 2030 este número aumente hasta aproximadamente los 5000 millones (UNFPA, 2015). En muchas de las zonas urbanas de rápido crecimiento, resulta complicado erigir la infraestructura para satisfacer las necesidades de saneamiento de toda la población, ello da lugar al deterioro de la salud y una baja calidad de vida (UNESCO, 2006).

A medida que la cantidad de población aumenta, la demanda de alimentos también crece. La agricultura, en el 2050, tendrá que producir un 60% más de alimentos a nivel mundial, y un 100% más en los países en desarrollo (Alexandratos & Bruinsma, 2012). El uso insostenible del agua para este sector agota los acuíferos, reduce el caudal de los ríos y degrada los hábitats de la vida silvestre y amenaza la seguridad alimentaria de otras millones de personas (FAO, 2011).

Por otro lado, la energía es necesaria para la captación, el tratamiento de aguas residuales y el suministro de servicios hídricos, por lo que, a medida que aumenta la población será necesario una mayor cantidad de energía para poder lograr el suministro final del agua. A su vez, casi todas las energías necesitan del agua para ser generadas, se estima que alrededor del 15% del total mundial de agua captada es destinada a la industria energética (WWAP, 2014). Las energías que requieren por lo general mayor cantidad de agua son la térmica y la hidroeléctrica, y estas representan el 80% y el 15% de la producción mundial de electricidad respectivamente (WWAP, 2015a)

Finalmente, el aumento de la población conlleva a un crecimiento de las industrias, Se estima que la demanda mundial de agua en la industria manufacturera aumentará

en un 400% entre 2000 y 2050 (WWAP, 2015b). Las aguas residuales industriales, al igual que las municipales, contienen gran cantidad de sólidos en suspensión, los cuales al sedimentarse modificarán el estado natural de los ríos y, por ende, afectará la salud humana cuando sea consumida y la vida de los organismos acuáticos.

d. Crecimiento económico

El agua es un recurso esencial en la producción de la mayoría de bienes y servicios, así como en la generación de alimentos y energía. Por otro lado, el abastecimiento y saneamiento no solo trae beneficios en la salud sino también económicos (HSBC, 2012), por ello, es un componente necesario para mitigar la pobreza (OMS/UNICEF, 2000) , ya que se mejora la eficiencia de los usos del agua y también salvaguarda las futuras ganancias económicas, permitiendo tener mejores capacidades adaptativas frente al cambio climático y preservar el ecosistema (SIWI, 2005).

En las industrias, el suministro de agua tiene que ser fiable y predecible para lograr una inversión sostenible. De esta forma, facilita los cambios para impulsar los avances en otras áreas productivas de la economía, como, mejoras en salud y educación, reforzando a su vez una dinámica auto sostenida en el desarrollo económico (WWAP, 2015b). Por lo tanto, las inversiones en infraestructura hídrica son fundamentales para desarrollar todo el potencial económico de un país. A su vez, permitirá tener un control del riesgo de la escasez del agua reduciendo la vulnerabilidad de la población y aumentando la resiliencia de las economías frente a hechos extremos.

e. Cambio climático

El cambio climático constituye uno de los mayores retos ambientales que la humanidad debe afrontar. La relación es tan estrecha que es crucial formular medidas para la gestión de los recursos hídricos, a su vez, tomar acciones para lograr la reducción de las emisiones y elaborar estrategias para adaptarse al cambio climático.

Los cambios del clima previstos para los próximos decenios tendrán efectos diversos sobre la disponibilidad de humedad, cantidad de los caudales fluviales, disminuciones del nivel de agua en numerosos humedales, extensión de los lagos de termokarst del Ártico, y disminuciones de la disponibilidad de agua de niebla en los bosques de montaña tropicales. Asimismo, tendrá efectos sobre la precipitación, la escorrentía, frecuencia de eventos de inundaciones y sequías en diversas partes del mundo (Bates, Zbigniew, Wu, & Palutikof, 2008). Estos cambios no solo generan desequilibrios en los ecosistemas ecológicos también afecta la dinámica de las poblaciones que dependen de los recursos naturales, la disponibilidad de alimentos

y la estabilidad de actividades industriales que en suma pueden ser devastadores para la economía de un país.

2.2 Recursos hídricos en el Perú

2.2.1 Disponibilidad de recursos de agua dulce

El sistema de cuencas en el Perú se divide en tres vertientes hidrográficas mayores, se demarcan un total de 159 cuencas denominadas unidades hidrográficas: 62 cuencas en la vertiente del Pacífico, 84 en la vertiente del Atlántico (llamada también cuenca amazónica) y 13 en la vertiente del Lago Titicaca (Comisión Técnica Multisectorial, 2009).

El Perú dispone de 2 043 548.26 MMC al año ubicándose entre los 20 países más ricos del mundo con más de 70 000 m³/hab/año como indicador per cápita (World Resource Institute, 2009). Asimismo, cuenta con 12 200 lagunas en la sierra y más de 1007 ríos, con los que se alcanza una disponibilidad media de agua de 2458 MMC concentrados principalmente en la vertiente amazónica.

No obstante, los recursos hídricos en el país se encuentran distribuidos de manera desigual. La Figura 2.2 muestra que la mayoría de la población peruana vive a lo largo de la vertiente del Pacífico y va descendiendo en dirección hacia el Atlántico.

La Tabla 2.2 muestra que la vertiente del Pacífico cuenta con el 1.8% de la disponibilidad del recurso hídrico del país, en donde paradójicamente se concentra el 65% de la población. La mayoría de ciudades tienen una disponibilidad menor a 1000 m³/hab/año.

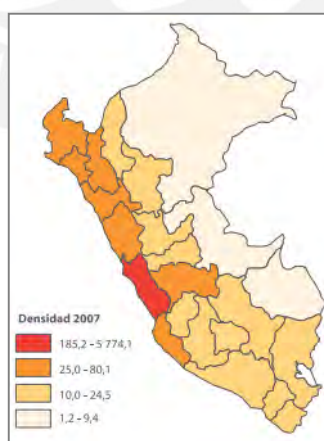


Figura 2.2 Distribución de la densidad de la población-2007

Fuente: INEI, 2007

La cuenca del río Rímac, donde se ubica la ciudad de Lima, tiene una disponibilidad de sólo 148.6 m³/hab/año, que está muy por debajo del umbral de escasez hídrica (Kuroiwa, 2012). Por su lado, la cuenca amazónica, presenta una disponibilidad de

1 998 752 MMC que representa aproximadamente 114 veces la disponibilidad que existe en la cuenca del Pacífico. Finalmente, el lago Titicaca abarca en su área de vertiente el 5% del total de la población y una disponibilidad anual de 10 172 MMC, la cual solo representa el 0.5% de lo existente en el país.

Tabla 2.2 Distribución de área, población y recursos hídricos en el Perú

Vertiente	Área (1000 km²)	Disponibilidad hídrica (MMC/año)	Disponibilidad hídrica (%)	Población	Población (%)	Disponibilidad hídrica* (m³/hab/año)
Pacífico	279.7	37 363.0	1.8	18 315 276.0	65.0	2040.0
Amazónica	958.5	1 998 752.0	97.7	8 579 112.0	30.0	232 979.0
Titicaca	47.2	10 172.0	0.5	1 326 376.0	5.0	7669.0
Total	1285.2	2 046 268.0	100.0	28 220 764.0	100.0	72 510.0

Fuente: (Comisión Técnica Multisectorial, 2009), citando fuentes del INRENA del año 1995

**Índice de Fakenmark*

Por otro lado, la disponibilidad temporal también es irregular, puesto que casi el 70% de todo el agua precipitada se produce entre los meses de diciembre y marzo, contrastando con épocas de aridez en algunas ciudades para el resto de meses del año. Cabe resaltar que muchas lagunas han sufrido el impacto del cambio climático, la contaminación por desechos mineros, agrícolas y urbanos reduciendo así la disponibilidad normal del recurso (MINAM, 2015).

El Perú concentra alrededor del 70% de los glaciares tropicales de los Andes Centrales, el resto se encuentra en Bolivia, Ecuador y Colombia. Los glaciares de los Andes Peruanos son sistemas que poseen mucha importancia en los sectores económicos, ambientales y sociales. El agua proveniente del deshielo es el origen de todos los recursos hídricos que aportan en la satisfacción de la demanda de las ciudades. Sin embargo, existe un retroceso de los glaciares causando alteraciones en el valor de los caudales de los ríos que posteriormente causará problemas de desertificación. En 1970, en el Perú, el área cubierta por los glaciares era de 2041 km², en el año 1997, solo cubría 1595 km². Es decir, se produjo una pérdida del 22% en tan solo 27 años que además incluye la desaparición por completo de glaciares pequeños (Kohler & Maselli, 2009).

2.2.2 Usos de agua

En algunos sectores del Perú existen prácticas ineficientes de uso de agua, como malas prácticas en los procesos de riego de zonas agrícolas o ineficientes sistemas de agua potable y alcantarillado, entre otros, estos hechos agravan aún más los

problemas de distribución geográfica del recurso en nuestro país. Las Tablas 2.3 y 2.4 ponen en evidencia un predominio absoluto del consumo de agua en el sector agrícola ya que abarca alrededor del 80%, 18% son usados en servicios de agua potable y alcantarillado y usos industriales, y 2% es empleado en la industria minera.

Tabla 2.3 Demanda de uso consuntivo total en el Perú

Región Hidrográfica	Usos consuntivos (hm ³ /año)							Total
	Agrícola	Poblacional	Industrial	Minero	Pecuario	Recreativo	Turístico	
Pacífico	19 041.54	1779.15	170.82	155.85	1.90	4.65	0.00	21 153.91
Amazonas	3017.31	493.84	78.48	110.70	47.92	17.80	1.00	3767.05
Titicaca	1106.94	46.50	0.08	5.98	0.00	0.00	0.00	1159.50
Total (hm³/año)	23 165.79	2319.49	249.38	272.53	49.82	22.45	1.00	26 080.46

Fuente: (ANA, 2013)

Tabla 2.4 Demanda de uso no consuntivo total en el Perú

Región Hidrográfica	Usos no consuntivos (hm ³ /año)			Total
	Energético	Transporte	Acuícola	
Pacífico	9001.74	0.22	91.59	9093.55
Amazonas	13 781.13	646.84	104.73	14 532.70
Titicaca	0.00	0.00	11.00	11.00
Total (hm³/año)	22 782.87	647.06	207.32	23 637.25

Fuente: (ANA, 2013)

De acuerdo a las estimaciones de la ANA, el consumo total del agua en el país representa apenas el 1% de la disponibilidad total. El problema, sin embargo, es la gran desigualdad en la distribución territorial, ya que dos tercios de la población total del país que habitan en la vertiente del Pacífico disponen de solo el 1.8% del total de agua dulce. En esta vertiente se encuentran las cuencas con mayor demanda de agua principalmente para uso agrícola, con excepción de la cuenca del Rímac, donde es mayor el uso industrial y el doméstico (PNUD, 2009).

2.2.3 Conflictos por el agua

La desigual distribución espacial del agua y su variabilidad estacional, determinan diferencias significativas en la disponibilidad del recurso en sus tres vertientes. Esta situación determina que la vertiente del Pacífico, posea grandes limitaciones en la disponibilidad del recurso hídrico, por lo que, en esta, se generan la mayor cantidad de conflictos por el acceso al agua. Los conflictos entre usuarios que compiten por el agua se hacen cada vez más frecuentes, conforme se incrementan las demandas en los sectores productivos correspondientes (Comisión Técnica Multisectorial, 2009).

El Perú, por su diversidad de recursos, depende de las industrias extractivas y la agricultura, ya que impulsan la economía del país. El aprovechamiento de los

recursos como los forestales, de minería, de petróleo y gas se han expandido dramáticamente durante estos últimos años en áreas de producción agrícola y, además, en zonas que incluyen cursos de agua (Oxfam, 2014). El control de la tierra y, en especial, el del agua han producido protestas y conflictos en muchas localidades del Perú. El 96% del territorio destinado a la exploración y explotación de los recursos está habitado por comunidades locales y pueblos indígenas (Alforte, et al., 2014). Estas poblaciones poseen la incertidumbre de si en la ejecución de un proyecto se verán afectados en el valor de sus tierras, la demanda y la calidad de sus recursos hídricos.

A continuación, se detallan los tipos de conflictos que se identifican en el Perú en base a las investigaciones de Pereyra, 2008 :

a. Conflictos intersectoriales por el agua

- Los tres principales sectores en conflicto son el urbano (agua potable), el agrario y el minero. Los tres en conjunto, representan alrededor del 72% de los conflictos.
- Los sectores que generan en su mayoría conflictos por la calidad de agua son el de consumo doméstico y el sector minero. La mala disposición de las aguas residuales provoca el reclamo de las comunidades a las autoridades por el mejoramiento de la calidad del mismo. En el caso del sector minero, los pobladores frente a los proyectos poseen la desconfianza de que la disposición y la calidad de sus fuentes de aguas se vean alteradas con las actividades de la compañía minera.
- El sector agrario es el que demanda mayor cantidad de agua dulce, por ello, los regantes son los que entran en conflicto constante con sus propios integrantes.

b. Conflictos regionales por el agua

Existen conflictos que abarcan espacios territoriales amplios, como departamentos o regiones.

- Interregionales o entre departamentos, como lo sucedido entre el departamento de Ica con Huancavelica debido al trasvase de agua.
- Intercuencas o intracuencas

Desde el año 2006, la economía del país ha tenido un marcado crecimiento, superior al 6%. La actividad minera ha sido la mayor influencia para el desarrollo de la economía peruana (Oxfam, 2014). A la par de este crecimiento, los conflictos debido a los proyectos mineros también se han incrementado. Los principales se encuentran en

las zonas andinas, debido a la gran riqueza de minerales que posee. El desarrollo de las actividades mineras poseen un significativo impacto en las cuencas donde estas se desarrollan, ya que altera potencialmente la disponibilidad del agua, el régimen natural de los cauces, su calidad, ecosistemas acuáticos y los de la alta montaña (Balvín, 2008).

2.2.4 Marco institucional

El agua al ser un recurso limitado e insustituible, además, de ser clave para la sociedad por tener efectos directos en sus pilares económicos, sociopolíticos y ambientales, solo podrán cumplir su rol si está bien gestionado. A partir de ese concepto es que se va desarrollando la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos como herramienta base para lograr el desarrollo sostenible. En el Anexo N° 1 se presentan los conceptos y acciones desarrolladas para lograr el desarrollo sostenible, las cuales, además, son la base de la normatividad peruana para lograr una adecuada gestión del agua.

La legislación peruana en materia del agua se inicia con el Código de Aguas en 1902; sin embargo, la falta de planificación institucional durante muchos años causó la contaminación y malas prácticas de uso del agua en muchas cuencas. Frente a la necesidad de contar con una herramienta que se encargue específicamente de la protección de los recursos hídricos, en el año 2009, se publica la actual Ley de Recursos Hídricos N° 29338. Con este documento, se inician prácticas que promuevan el uso eficiente del recurso agua con el objetivo de lograr una gestión sostenible adoptando metodologías de la GIRH. En la Figura 2.3 se muestra la normativa principal en nuestro país referente a los recursos hídricos.

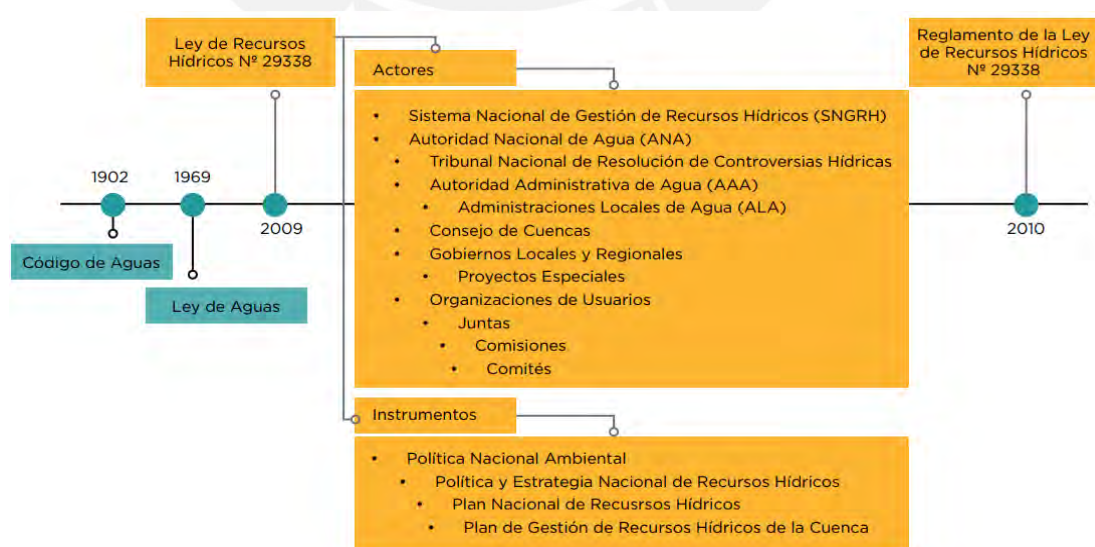


Figura 2.3 Principales actores e instrumentos para la gestión de recursos hídricos en el Perú

Fuente: (BID, 2016)

A continuación, se mencionan las instituciones y herramientas legislativas que en los últimos años tuvieron a su cargo el cuidado de los recursos hídricos en el Perú:

a. Autoridad Nacional del Agua

La ANA es el único ente rector de los recursos hídricos en el país. Su creación fue dada bajo la Ley de Organizaciones y Funciones del Ministerio de Agricultura con Decreto legislativo N° 997 del 13 de marzo de 2008. Tiene como fin el de administrar conservar, proteger y aprovechar los recursos hídricos de las diferentes cuencas de manera sostenible, promoviendo a su vez la cultura del agua. Esta institución se encuentra adscrito al Ministerio de Agricultura y Riego.

En el marco de la Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos y el Plan Nacional de Recursos Hídricos, la ANA coordina y articula la participación de instituciones públicas y privadas, gobiernos regionales y locales, y la sociedad civil para una GIRH. El trabajo de la ANA se desarrolla bajo 5 ejes, los cuales se muestran en la Figura 2.4.

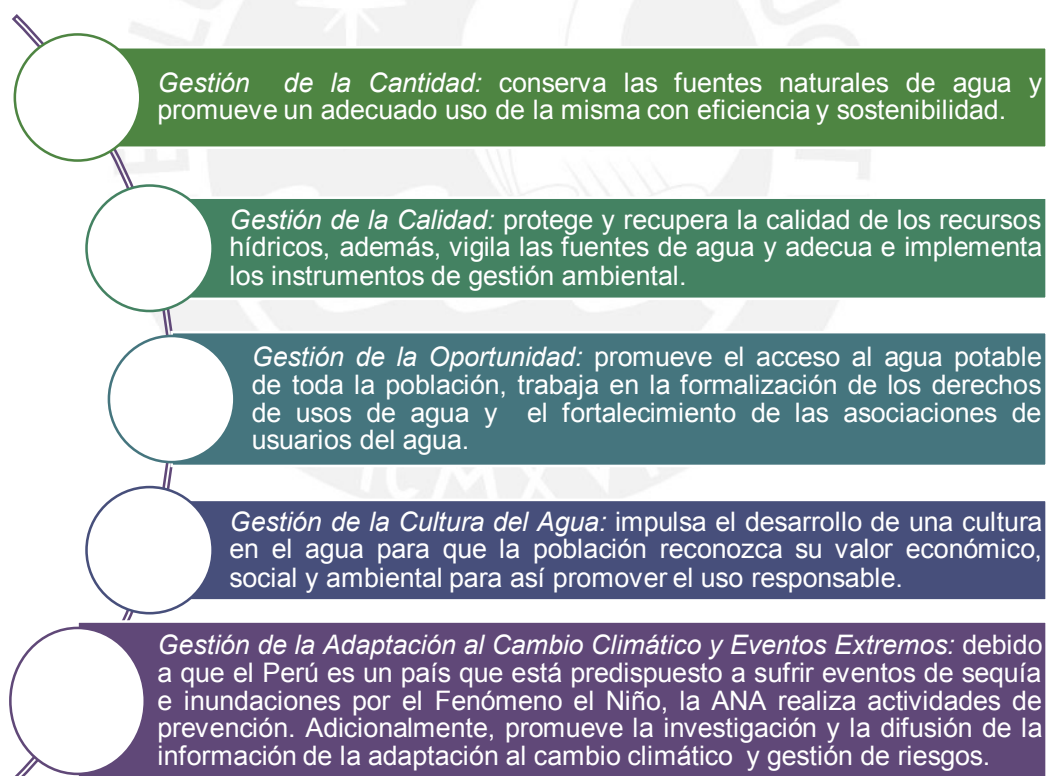


Figura 2.4 Ejes de gestión de la ANA

La ANA ejerce jurisdicción territorial administrativa sobre la distribución de los recursos hídricos a nivel nacional. Debido a que en el Perú existen 159 cuencas hidrográficas, la ANA se tuvo que organizar a través de órganos desconcentrados (Figura 2.5). En la actualidad, estos consisten en 14 Autoridades Administrativas

de Agua (AAA), 72 Administraciones Locales de Agua (ALA) y 6 Consejos de Recursos Hídricos de Cuenca (CRHC) .

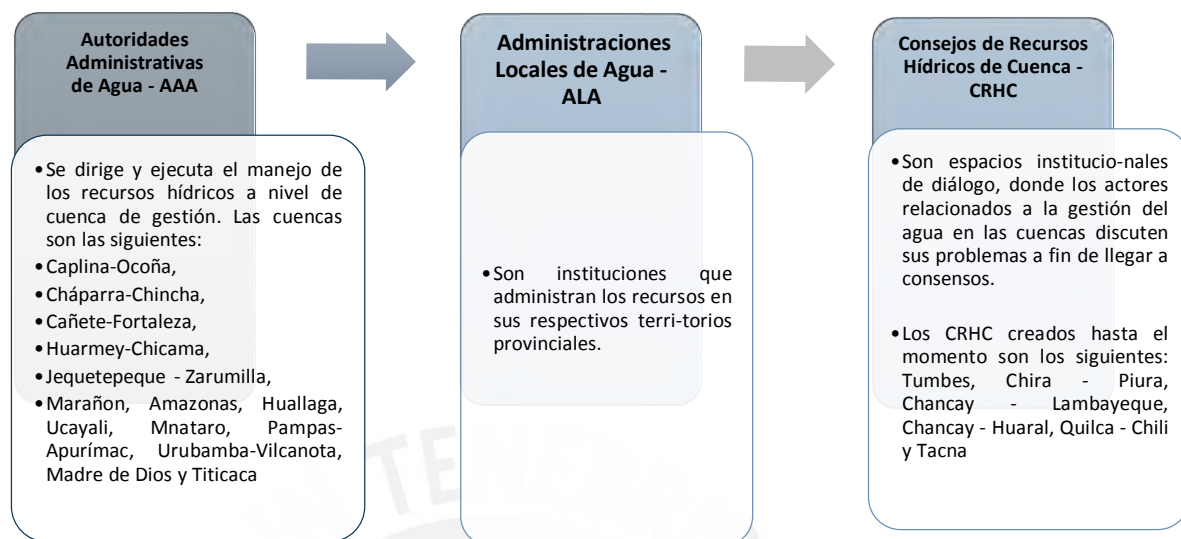


Figura 2.5 Funciones de los órganos desconcentrados del ANA

b. Ley de Recursos Hídricos N° 29338 (Marzo de 2009)

Esta ley tiene como finalidad regular el uso del agua y mantener sobre ella una gestión integrada a través de 11 principios (Figura 2.6). Estos se detallan en el Artículo 3° y se han logrado en convertir en determinantes para el cambio del modelo de gestión de recursos hídricos del país.



Figura 2.6 Principios de la Ley de Recursos Hídricos (Artículo 3°)

Adicionalmente, en la búsqueda de vincular el accionar del Estado para lograr la conducción de los procesos de gestión integrada y la conservación del agua en el ámbito de las cuencas hidrográficas, se creó el Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos (SNGRH). Este sistema está conformado por el conjunto de instituciones del sector público, usuarios, principios, normas, procedimientos, técnicas e instrumentos mediante los cuales el Estado desarrolla y asegura la gestión integrada del agua (Artículo 9°). Los instrumentos de gestión y planificación que permiten articular al Estado y las componentes del SNGRH consisten en 4 pilares fundamentales:

- Política Nacional Ambiental
- Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos
- Plan Nacional de los Recursos Hídricos
- Planes de Gestión de Recursos Hídricos en las Cuencas.

Esta ley reconoce como único ente rector encargado de conducir el SNGRH y de construir la GIRH en el Perú es la ANA. También, le asigna la función de conducir, organizar y administrar el Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos, entre otros.

2.3 Índices de sostenibilidad hídrica

Para gestionar los recursos hídricos de manera eficaz, es necesaria una evaluación de múltiples escalas de la vulnerabilidad sobre la base de las fronteras políticas y las cuencas hidrográficas. Brown & Matlock (2011) señalan que caracterizar el estrés hídrico resulta un proceso difícil ya que existen múltiples escenarios para el uso del agua y el suministro. Por tal motivo, existen muchos criterios para la evaluación de la vulnerabilidad y la mejor opción deberá ser tomada tanto bajo una decisión política tanto como científica. Los índices son una herramienta cuantitativa que sintetiza los atributos y pesos de múltiples variables, con el fin de proporcionar una descripción más concisa del manejo del recurso hídrico. En las siguientes líneas, se presentan los índices y las metodologías que los autores Brown y Matlock analizaron en su artículo de investigación: A Review of Water Scarcity Indices and Methodologies:

2.3.1 Índices basados en el consumo humano

Los índices de este tipo son a escala nacional y están basados en la cantidad de agua per cápita, ya que como bien se explicó la disponibilidad de agua, también depende de la cantidad de población. La lógica que sustenta esta clasificación se basa en conocer la cantidad de agua para satisfacer las necesidades de la persona,

para luego compararla con la disponibilidad de agua real que se podrá encontrar. Las diferencias (déficit o superávit) servirán como una medida de la escasez.

a. El índice de Falkenmark

En 1989, el investigador Falkenmark realizó un estudio en múltiples países para calcular el consumo de agua por persona (escorrentía anual total disponible para el uso humano). Ello le permitió encontrar umbrales que clasifiquen la condición del agua en un área, las cuales se presentan en la Tabla 2.5:

Tabla 2.5 Clasificación propuesta por Falkenmark

Índice (m ³ per cápita)	Categoría
> 1700	No estrés
1000-1700	Estrés
500-1000	Escasez
<500	Absoluta escasez

b. Requisitos del consumo humano básico

En 1996 se desarrolló este índice como una medida de la capacidad de cumplir con todas las necesidades básicas: agua potable para la supervivencia, la higiene humana, los servicios de saneamiento y las necesidades del hogar como para la preparación de alimentos. La cantidad mínima para satisfacer cada una de ellas se muestra en la Tabla 2.6. El investigador Gleick determinó que para satisfacer las necesidades básicas de las personas es necesario un mínimo de 50 lt/día/persona. Por otro lado, también desarrolló un indicador estándar 1000m³ per cápita al año, el cual ha sido aceptado por el Banco Mundial.

Tabla 2.6 Requisitos mínimos según Gleick para satisfacer las necesidades humanas

Necesidades humanas básicas	Dotación mínima (lt/día/persona)
Agua potable para la supervivencia	5
Higiene personal	15
Servicios de saneamiento	20
Preparación de alimentos	10
Total	50

c. Estrés hídrico social

El investigador Ohlsson trabajó sobre la base del indicador de Falkenmark, con ello, logró identificar que la capacidad adaptativa, tanto en lo económico y tecnológico,

llega a tener un efecto en la disponibilidad del agua. El Índice de Desarrollo Humano (IDH) es un indicador ampliamente aceptado para evaluar la adaptación de una sociedad ya que incluye parámetros como la riqueza, oportunidades de educación y participación política. Por ello, las funciones del IDH son un indicador que logra dar a conocer la capacidad de adaptación al estrés hídrico, el cual es denominado índice de estrés hídrico social.

2.3.2 Índices basados en vulnerabilidad del recurso hídrico

a. Índice local relativo al uso y reuso del agua

Este índice se desarrolló empleando herramientas geoespaciales y se calculó para celdas de 8 km. El uso del agua es la suma de las extracciones de agua para el hogar (D), industrial (I) y sectores agrícolas(A). La descarga generada es el producto del escurrimiento generado y el área de la célula y la descarga corredor fluvial es la suma de todas las descargas locales (Q_c). Su cálculo se realiza según la ecuación (2.1).

$$\frac{\sum DIA_n}{Q_{cn}} \quad (2.1)$$

b. Índice de sostenibilidad de la cuenca (WSI)

El WSI está estructurado para una cuenca específica con una superficie máxima de 2,500 km², si se superaría este valor, la cuenca tendría que ser dividida en secciones de menor área. Este estima la sostenibilidad de una cuenca con relación a aspectos hidrológicos, medioambientales y socioeconómicos a través de la media aritmética de 4 indicadores, conforme a la siguiente ecuación (2.2).

$$WSI = \frac{H+E+L+P}{4} \quad (2.2)$$

Donde, H es el indicador de hidrología, E de medio ambiente, L es el indicador de vida y P es el indicador de políticas pública. Cada uno de estos indicadores toma valores entre 0 y 1. A su vez, cada uno de los indicadores H, E, L y P están integrados por parámetros que corresponden de Presión, Estado y Respuesta. A continuación, se detalla lo que cada uno de los parámetros representa en el índice:

- *Parámetro de presión:* describen las presiones ejercidas sobre el ambiente por las actividades humanas, las cuales son identificadas analizando sus variaciones en un periodo de tiempo.
- *Parámetro de estado:* se refieren a la cantidad, condición o características de los recursos naturales y del medio ambiente en un estado actual.

- **Parámetro de respuesta:** analiza los esfuerzos realizados por la sociedad o por las autoridades para reducir o mitigar la degradación del ambiente; es decir, analiza la acción de respuesta que contribuye a la solución de un problema. Estos indicadores en su mayoría se determinan de manera cualitativa.

En las Tablas 2.7, 2.8 y 2.9 se muestran la puntuación para cada parámetro.

Tabla 2.7 Descripción de WSI para el parámetro de Presión del WSI

Indicador	Parámetros de presión	Nivel	Puntaje
Hidrología	Cantidad de agua Δ1- Variación de la disponibilidad de agua, en el período estudiado con respecto al promedio histórico (m3/persona.año).	$\Delta 1 < -20\%$	0.00
		$-20\% < \Delta 1 < -10\%$	0.25
		$-10\% < \Delta 1 < 0\%$	0.50
		$0 < \Delta 1 < +10\%$	0.75
		$\Delta 1 > +10\%$	1.00
Calidad de agua	Δ2- Variación en la DBO5 del período, en relación al promedio histórico.	$\Delta 2 > 20\%$	0.00
		$20\% > \Delta 2 > 10\%$	0.25
		$0 < \Delta 2 < 10\%$	0.50
		$-10\% < \Delta 2 < 0\%$	0.75
Medio ambiente	EPI (Índice de Presión Antrópica) describe la presión ejercida por el ambiente por las actividades humanas de la cuenca en el período de estudio.	$\Delta 2 < -10\%$	1.00
		$EPI > 20\%$	0.00
		$20\% > EPI > 10\%$	0.25
		$10\% < EPI < 5\%$	0.50
		$5\% < EPI < 0\%$	0.75
Vida	Variación en del IDH ingreso <i>per cápita</i> en la cuenca, en el período de estudio.	$EPI < 0\%$	1.00
		$\Delta < -20\%$	0.00
		$-20\% < \Delta < -10\%$	0.25
		$-10\% < \Delta < 0\%$	0.50
		$0 < \Delta < +10\%$	0.75
Políticas públicas	Variación del IDH-Ed. en el período de estudio.	$\Delta > +10\%$	1.00
		$\Delta < -20\%$	0.00
		$-10\% < \Delta < -20\%$	0.25
		$-10\% < \Delta < 0\%$	0.50
		$0 < \Delta < +10\%$	0.75
		$\Delta > +10\%$	1.00

Tabla 2.8 Descripción de WSI para el parámetro de Estado del WSI

Indicador	Parámetros de estado	Nivel	Puntaje
Hidrología	Cantidad de agua Wa – Disponibilidad de caudal promedio histórico en la cuenca (superficial y sub-terránea), en relación con la población existente en ella (m3/persona.año).	$Wa < 1700$	0.00
		$1700 < Wa < 3400$	0.25
		$3400 < Wa < 5100$	0.50
		$5100 < Wa < 6800$	0.75
		$Wa > 6800$	1.00
Calidad de agua	DBO ₅ - Promedio de la DBO ₅ en la cuenca (largo plazo), en mg/l.	$DBO_5 > 10$	0.00
		$10 > DBO_5 > 5$	0.25
		$5 > DBO_5 > 3$	0.50
		$3 > DBO_5 > 1$	0.75
		$DBO_5 < 1$	1.00

Indicador	Parámetros de estado	Nivel	Puntaje
Medio ambiente	% de vegetación natural remanente en la cuenca (Av).	Av < 5	0.00
		5 < Av < 10	0.25
		10 < Av < 25	0.50
		25 < Av < 40	0.75
		Av > 40	1.00
Vida	IDH ponderado de cuenca, el último año del período estudiado.	IDH < 0.5	0.00
		0.5 < IDH < 0.6	0.25
		0.6 < IDH < 0.75	0.50
		0.75 < IDH < 0.9	0.75
		IDH > 0.9	1.00
Políticas públicas	Capacidad legal e institucional en el manejo de los recursos hídricos en la cuenca (existe marco legal, marco institucional y manejo de la participación).	Muy pobre	0.00
		Pobre	0.25
		Regular	0.50
		Buena	0.75
		Excelente	1.00

Tabla 2.9 Descripción de WSI para el parámetro de Respuesta del WSI

Indicador	Parámetros de respuesta	Nivel	Puntaje	
Hidrología	Cantidad de agua	Acciones o mejoras en el manejo del recurso hídrico en la cuenca del período estudiado con respecto al histórico	Muy pobre	0.00
			Pobre	0.25
			Regular	0.50
			Buena	0.75
			Excelente	1.00
	Calidad de agua	Acciones que se han estado realizando en las cuencas en materias de tratamiento y calidad de aguas, en el período estudiado.	Muy pobre	0.00
			Pobre	0.25
			Regular	0.50
			Buena	0.75
			Excelente	1.00
Medio ambiente	Evolución en las áreas protegidas (áreas de reservas) en la cuenca, en el período estudiado.	$\Delta < -10\%$	0.00	
		$-10\% < \Delta < 0\%$	0.25	
		$0\% < \Delta < 10\%$	0.50	
		$10\% < \Delta < 20\%$	0.75	
		$\Delta > 20\%$	1.00	
Vida	Variación en el IDH (ponderado) en la cuenca, en el período estudiado.	$\Delta < -10\%$	0.00	
		$-10\% < \Delta < 0\%$	0.25	
		$0\% < \Delta < 10\%$	0.50	
		$10\% < \Delta < 20\%$	0.75	
		$\Delta > 20\%$	1.00	
Políticas públicas	Evolución en la inversión monetaria en el manejo integrado de los recursos de agua (durante período anterior v/s actual) en la cuenca.	$\Delta < -10\%$	0.00	
		$-10\% < \Delta < 0\%$	0.25	
		$0\% < \Delta < 10\%$	0.50	
		$10\% < \Delta < 20\%$	0.75	
		$\Delta > 20\%$	1.00	

c. Índice de estrés de abastecimiento de agua (WaSSI)

En el año 2010 se propone un nuevo término hidrológico para evaluar cuantitativamente la relación entre la magnitud de la oferta y la demanda de agua. La metodología se muestra en la ecuación (2.3).

$$WaSSI_x = \frac{WD_x}{WS_x} \quad (2.3)$$

Donde, WD se refiere a la demanda de agua, WS al suministro de agua y x representa o bien a la oferta histórica o futuro del agua y / o la demanda de los sectores ambientales y antropogénicos. El WaSSI es una herramienta que solo cuantifica los factores de la demanda de agua antropogénica, por ello, no considera los niveles de precipitación.

d. Escasez física y económica del agua

El Instituto Internacional para el Manejo del Agua (IWMI) realizó la evaluación de la escasez de agua en todo el mundo. Esta consistió en un análisis de los recursos renovables de agua dulce disponible (infraestructura de agua existente) para las necesidades humanas con respecto al suministro principal de agua. Asigna a las regiones indicativos de ninguna o poca escasez, escasez física, acercándose a la escasez física, y escasez económica de agua. La Figura 2.7 muestra los resultados de la investigación.

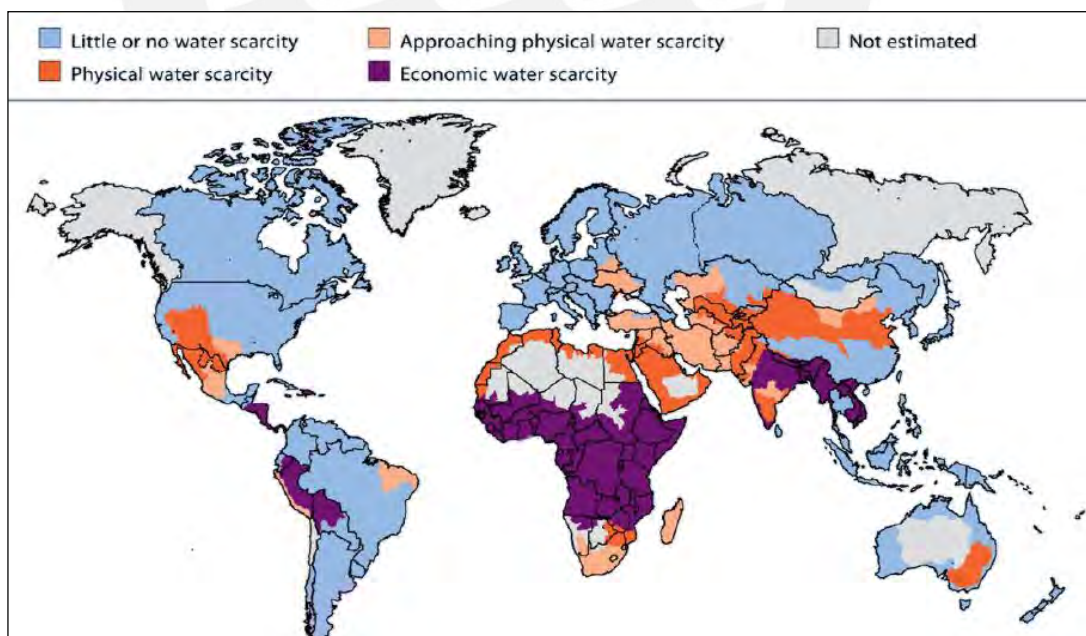


Figura 2.7 Áreas con escasez física y económica

Fuente: (Brown & Matlock, 2011)

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y DATOS

3.1 Caso de estudio: Cuenca del río Mantaro

La elección de la cuenca de estudio está basada en identificar a una de las cuencas de mayor área en concesión minera. Esta es una de las más importantes actividades extractivas que contribuye en el desarrollo económico del país y a su vez, es en la que el agua cumple un papel importante para la producción de los minerales. El procedimiento se inicia a través del manejo de mapas temáticos en el software ArcGIS 10.2. Los mapas en formato shapefile de los lotes de concesiones para minería fueron descargados del portal virtual GEOCATMIN del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico INGEMMET con última actualización en el 2015. La superposición de los mapas se muestra en la Figura 3.1.

Entre las cuencas con mayor área concesionada se encuentran las siguientes: Apurímac (16 922 km²), Mantaro (12 309 km²), Alto Marañón (11 008 km²), Inambari (8152 km²) y Tambo (7011 km²).

En este trabajo, se estudia a la cuenca del río Mantaro debido a que además de tener gran parte de su área concesionada, en ella, se desarrollan otras importantes actividades económicas como la agricultura, ganadería y piscicultura, adicionalmente, es considerada como una cuenca estratégica debido a que genera el 35% de la energía hidroeléctrica del país. En la Tabla 3.1 se muestran los diferentes usos en los que interviene el agua según el Compendio de Estadísticas de Recursos Hídricos realizado en el 2015, donde además se la califica como la cuenca que consumió la más alta cantidad de volumen en comparación a las otras AAA. Lo anterior reafirma que la cuenca juega un rol vital en la economía del país, por ello, es de mucha importancia tener una cuantificación del grado de sostenibilidad del recurso hídrico en esta región hidrográfica.

Tabla 3.1 Volúmenes de agua utilizados por la Autoridad Administrativa del Agua Mantaro

Volumen (hm ³)		Volumen por tipo de uso (hm ³)							
Consuntivo	No Consuntivo	Agrario	Acuicola	Energetico	Industrial	minero	Poblacional	Recreativo	Otros
742.88	13 276.61	564.69	304.81	12 957.49	1.25	58.99	117.82	14.31	0.14

Fuente: Compendio Nacional de Estadísticas de Recursos Hídricos, 2015

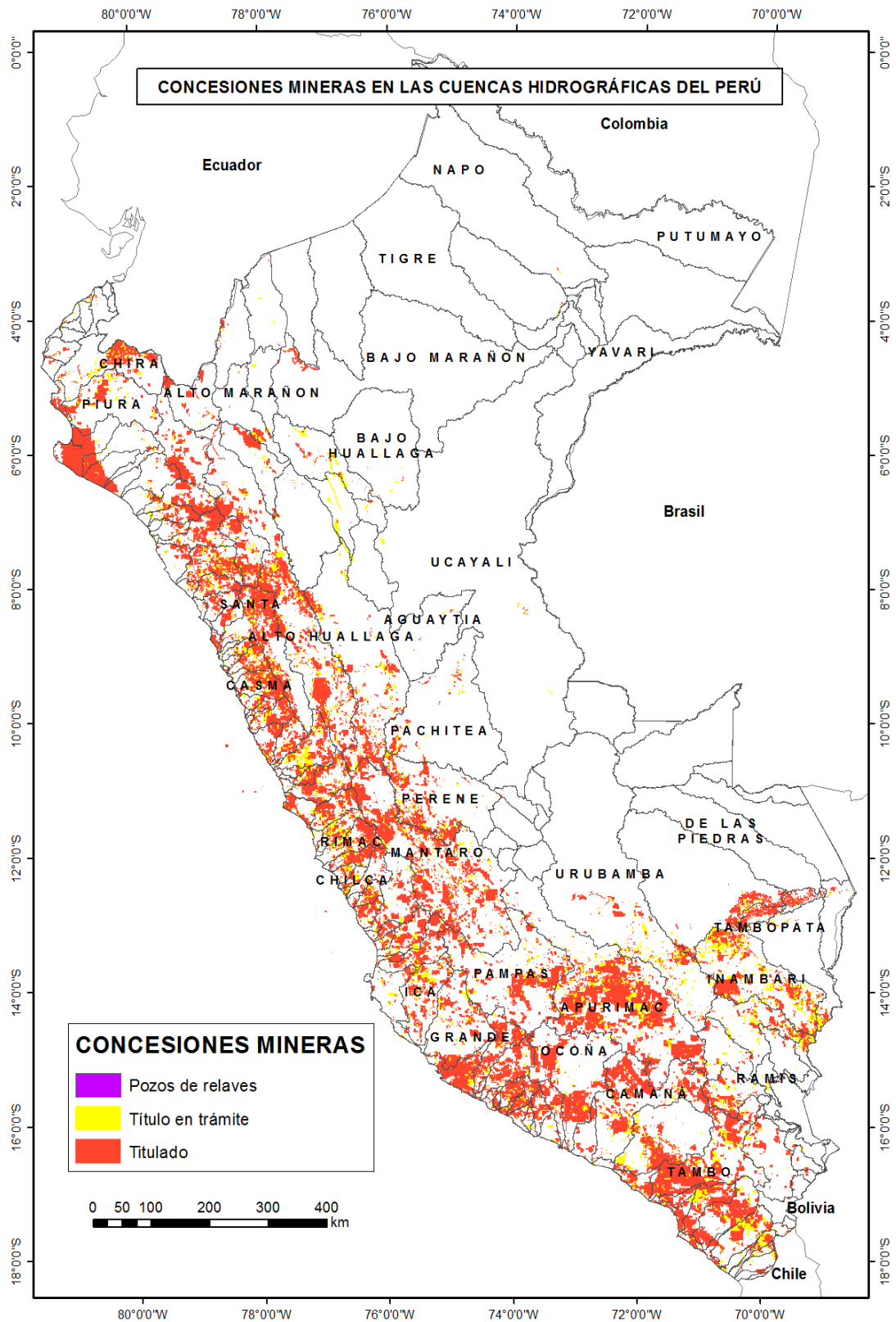


Figura 3.1 Mapa de superposición de las concesiones mineras y las cuencas hidrográficas

Fuente: Catastros mineros 2015, GEOCATMIN

La Cuenca del río Mantaro está ubicada en el centro del Perú, en la vertiente del Océano Atlántico, entre los paralelos 10°34'30" y 13°35'30" de latitud sur, y entre los meridianos 73°55'00" y 76°40'30" de longitud oeste. Limita al norte con territorios de la región Pasco, al este con parte de las regiones Pasco, Junín y Ayacucho, al sur con áreas de las regiones Ayacucho y Huancavelica, y al Oeste con otros territorios de la región Huancavelica y con la región Lima. El río Mantaro nace en el nudo de Pasco a 4300 msnm, recorre 725 km a través de las regiones de Pasco, Junín, Huancavelica y Ayacucho, abarcando una extensión de 34 363.18 km². Asimismo, por su distribución hidrográfica se divide en 23 subcuencas, las cuales albergan importantes capitales de provincia como Junín, La Oroya, Jauja, Concepción, Chupaca y Huancayo en la región Junín; Cerro de Pasco en la región Pasco; Pampas, Huancavelica, Churcampa, Acobamba y Lircay en Huancavelica; y Huanta y Ayacucho en la región Ayacucho.

Dado que la cuenca abarca un extenso y complejo territorio, los estudios de investigación ya realizados sugieren la división de la cuenca en zona norte, centro y sur teniendo en cuenta aspectos como el clima, la fisiografía, hidrología y aspectos socioeconómicos (IGP, 2005). En la Tabla 3.2 se presenta un resumen de las subcuencas de la cuenca hidrográfica del Mantaro, mientras en la Figura 3.2 se muestra su ubicación. La aplicación del índice WSI se realizará en cada una de ellas, ya que al analizar subcuencas de menor extensión las características que la representan son más homogéneas.

Tabla 3.2 Subcuencas del río Mantaro

Zona	Subcuenca	Área (km²)	Zona	Subcuenca	Área (km²)
Norte	Atoc Huarco	302.27	Sur	Huanchuy	705.73
	Chinchaycocha	1679.95		Huarpa	6810.2
	Colorado	261.27		Ichu	1380.4
	Conocancha	717.69		Paraiso	394.29
	Huari	493.71		Pariahuanca	988.72
	Pachacayo	825.63		San Fernando	1208.58
	Quisualcancha	336.11		Upamayu	268.79
	Santa Ana	606.95		Vilca Moya	3053.44
	San Juan	935.03		Viscatan	550.35
Yauli	694.63	Microcuencas		9724.63	
Centro	Achamayo	308.64			
	Cunas	1710.09			
	Shullcas	221.17			
	Yacus	368.38			

Fuente: Elaboración propia

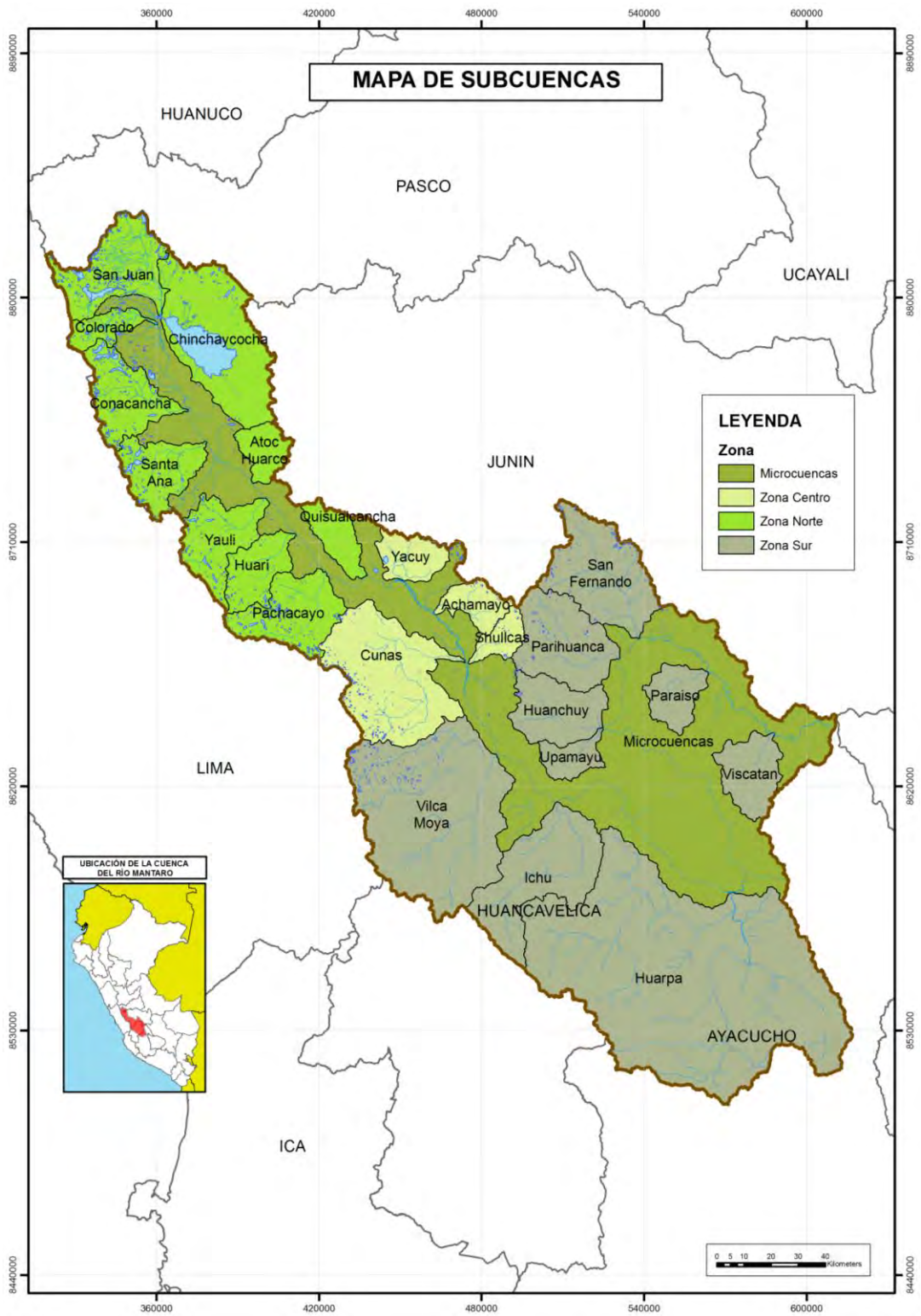


Figura 3.2 Mapa de Subcuencas del río Mantaro
Fuente: Elaboración propia a partir de las Cartas Topográficas del MINEDU

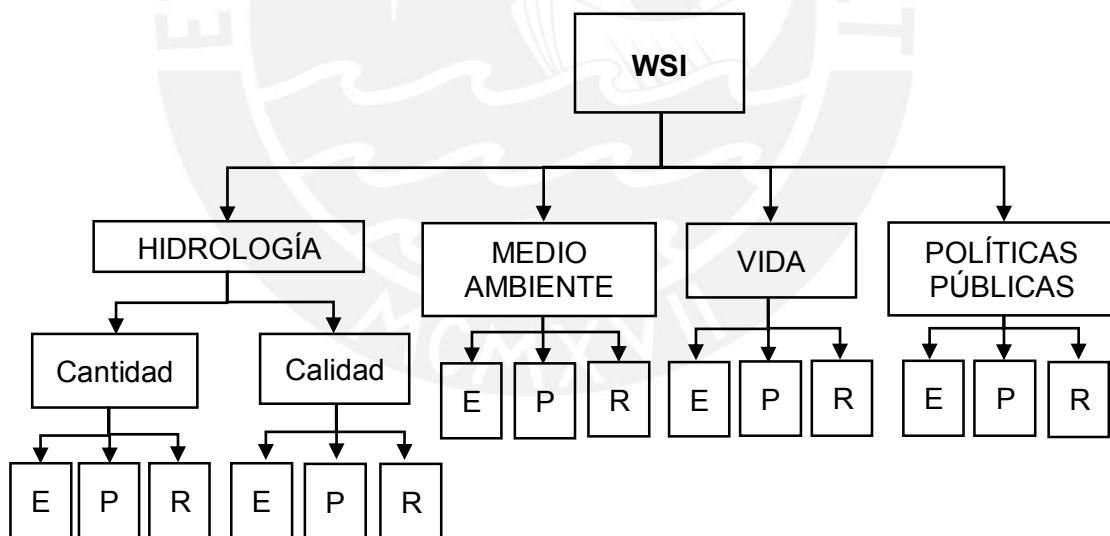
3.2 Metodología de desarrollo del Índice de Sostenibilidad WSI

Las etapas que comprenden la determinación del Índice de Sostenibilidad de Cuencas (WSI) en la cuenca del río Mantaro se presentan en la Figura 3.3.



Figura 3.3 Esquema de etapas del índice WSI

Este índice cuantifica la sostenibilidad a través de la media aritmética de 4 indicadores: H (hidrología), E (medio ambiente), L (vida) y P (políticas públicas), a su vez, cada uno de estos está integrados por 3 parámetros que corresponden a la situación de Presión, Estado y Respuesta (Ver Figura 3.4).



Donde: E – Estado, P – Presión y R - Respuesta

Figura 3.4 Diagrama de flujo del índice WSI

La incorporación de estos tres parámetros permite identificar la causa y efecto a las relaciones, lo cual facilita la visualización de las conexiones entre los parámetros (Chaves & Alipaz, 2007). Los puntajes de evaluación de cada parámetro toman valores entre 0 y 1. En la Tabla 3.3 se muestra un resumen de las variables que involucran este índice.

Tabla 3.3 Indicadores y parámetros del WSI

Indicadores	Parámetros		
	Presión	Estado	Respuesta
Hidrología (H)	Cantidad	Variación de la Disponibilidad per cápita de agua en la cuenca.	Evolución en la eficiencia del uso del agua en el período
	Calidad	Variación en la DBO5 del período, en relación al pro-medio histórico.	DBO5 de la cuenca (promedio de largo plazo). Evolución en el tratamiento y/o disposición de aguas servidas en el período de estudio.
Medio ambiente (E)	EPI de la cuenca en el período estudiado.	% de la superficie de la cuenca con vegetación natural.	Evolución en áreas protegidas en la cuenca en el período de estudio.
Vida (L)	Variación del IDH- Ingreso de la cuenca en el período estudiado.	IDH de la cuenca en el período anterior (ponderado).	Evolución del IDH de la cuenca en el período de estudio.
Políticas públicas (P)	Variación del IDH-Ed en el periodo de estudio	Capacidad legas e institucional en GIRH n la cuenca en el periodo de estudio.	Evolución de los gastos en GIRH en la cuenca durante el periodo de estudio.

Los niveles y puntajes de cada uno de los parámetros mencionados de la Tabla 3.3 se encuentran en las Tablas 2.7, 2.8 y 2.9, donde el valor de 0 es asignado al nivel más pobre y 1, a la mejor condición.

El valor final del índice WSI surge del promedio global de los parámetros, para luego calificarlos con los rangos de la Tabla 3.4 y determinar el grado de sostenibilidad de la cuenca en estudio.

Tabla 3.4 Rango de sostenibilidad de cuencas

Baja	Intermedia	Alta
WSI<0.5	0.5<WSI<0.8	0.8<WSI

A continuación, se describe cada uno de los procedimientos para obtener los indicadores (H, E, L y P) de acuerdo a los 3 parámetros correspondientes, según lo presentado en la investigación An Integrated Indicator for Basin Hydrology, Enviroment, Life, and Policy: The Water ter Sustainability Index por los investigadores Chavez y Alipaz en el 2007 :

3.2.1 Hidrología

Los autores señalan que este indicador incorpora 2 variables: una relacionada a la cantidad de agua y otra a la calidad de la misma.

La cantidad está relacionada a la disponibilidad de agua per cápita por año. El uso de esta variable está basado en el Índice de Falkenmark (1989). Este índice se emplea para clasificar la condición del agua en un área.

En el caso de la calidad, se considera como variable de análisis a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) ya que es un parámetro que cuantifica la cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos en los cuerpos de agua con desechos orgánicos, tales como, nutrientes y pesticidas que son las sustancias contaminantes más comunes por efluentes de aguas residuales e industriales. Asimismo, presenta una alta correlación con otros datos importantes de la calidad del agua (oxígeno disuelto, turbidez). Valores bajos de DBO₅ representan una menor cantidad de desechos orgánicos y más oxígeno disuelto en el cuerpo de agua. Los autores señalan que en caso de no contar con registros de DBO₅, podrá ser sustituido por otro parámetro que mejor evalúa la calidad de agua del lugar.

a. Parámetro de presión

El indicador de cantidad califica la variación entre la disponibilidad de agua promedio durante el periodo de estudio y la disponibilidad promedio en un largo plazo (periodo histórico). Según la Organización Mundial de Meteorología (OMM), para establecer un historial climatológico de largo plazo se deberá contar como mínimo 30 años de registros (OMM, 2010). El valor obtenido de las variaciones de entre el periodo estudiado y el histórico se compara con los rangos de la Tabla 2.7 para la respectiva puntuación.

Por otro lado, el puntaje que corresponde a la calidad de agua se obtiene de analizar la variación de la DBO₅ como subindicador de calidad de agua en el periodo estudiado, en relación con el registro promedio a largo plazo o rango histórico, que según los autores, debe ser de un mínimo de diez años. Este parámetro es de suma importancia ya que al verter aguas contaminadas a los cursos naturales la hace peligrosa no solo para el consumo humano sino también para la industria, agricultura, la pesca y la vida natural.

b. Parámetro de estado

La cantidad del recurso hídrico está basado en la disponibilidad per cápita del agua (W_a). Para determinar este parámetro es necesario contar valores de caudal

promedio a nivel anual disponible en un rango histórico (flujo superficial y subterráneo) y la población que habita la cuenca. La relación entre las variables mencionadas se presenta en la ecuación (3.1).

$$W_a = \frac{Q}{P_{Total}} \quad (3.1)$$

Donde,

W_a = Disponibilidad per cápita de agua subterránea y superficial en la cuenca (m^3 /persona/año)

Q = Caudal promedio histórico (m^3/s)

P_{total} = Población total en la cuenca

En cuanto a la calidad del agua, se obtendrá el valor de evaluación al promediar los valores de DBO_5 en el periodo de estudio de la cuenca.

c. Parámetro de respuesta

La calificación de la cantidad de agua consiste en la evaluación de las mejoras y/o evolución en los usos eficiente del agua de la cuenca a lo largo de los años de estudio de la cuenca.

El parámetro de calidad se determina evaluando las mejoras en el tratamiento y disposición de aguas residuales durante el periodo de estudio.

3.2.2 Medio ambiente

a. Parámetro de presión

En este parámetro se describe la presión provocada en el medio ambiente debido a las diversas actividades humanas, tales como, la actividad agrícola y las involucradas en las áreas urbanas. El parámetro es definido por el Índice de Presión Ambiental (EPI), el cual es estimado por el promedio de la variación (%) de las áreas de la cuenca destinadas a agricultura y las áreas urbanas durante los 5 años del periodo de estudio. La ecuación (3.2) presenta el cálculo de este índice.

$$EPI = \frac{(\% \Delta A_{ag} + \% \Delta P_{urb})}{2} \quad (3.2)$$

Donde,

EPI = Environment Pressure Index (%)

$\% \Delta A_{ag}$ = porcentaje de variación de las áreas agrícolas en el periodo de estudio

$\% \Delta P_{urb}$ = porcentaje de variación de la población urbana en el periodo de estudio

El valor del índice EPI puede ser positivo, negativo o cero. Los valores mas positivos indican que existe una presión alta sobre la vegetación natural en la cuenca, mientras

que los valores negativos indican que existe en la cuenca implementaciones en cuanto a acciones para mantener el medio ambiente estable.

b. *Parámetro de estado*

Este parámetro está fuertemente relacionado con la biodiversidad (flora y fauna), por lo tanto, se debe contar con información del porcentaje de área de cuenca que se mantiene ocupada por los bosques y/o la vegetación natural.

Este parámetro puede ser determinado por medio de censos agropecuarios o empleando imágenes satelitales para aplicar el Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI). La metodología empleada dependerá de la disponibilidad de información que exista durante el periodo de estudio seleccionado.

c. *Parámetro de respuesta*

Considera las medidas adoptadas por las instituciones estatales para proteger las áreas de biodiversidad en la cuenca. Este parámetro es evaluado cuantitativamente al calificar la evolución de las áreas protegidas (AP) y las buenas prácticas de manejo (BPM) en el periodo de estudio.

3.2.3 *Vida*

En este parámetro se evalúa al Índice de Desarrollo Humano (IDH). Este índice fue creado en 1990 por el Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Este es un indicador de los logros medios obtenidos en las 3 dimensiones fundamentales del desarrollo humano: calidad de vida – “Ingreso”, vida saludable y longeva – “Salud” y adquisición de conocimientos – “Educación”.

a. *Parámetro de presión*

El parámetro de presión está relacionado con la calidad de vida de las personas establecidas en una región, para calificarlo se emplea el subindicador de vida digna. Este califica la disponibilidad de los recursos económicos a partir del poder adquisitivo y es cuantificado por el Producto Bruto Interno per cápita (o PBI per cápita).

Este parámetro califica la variación entre el PBI per cápita por persona del inicio y el final del periodo de estudio. Debido a que la cuenca incluye a diversas comunidades, el PBI de los años a analizar se obtiene a través de una ponderación, según la ecuación (3.3).

$$PBI \text{ per cápita} = \frac{\sum PBI_i * P_i}{P_{total}} \quad (3.3)$$

Donde,

P_{Bi} = PBI para las diferentes comunidades en la cuenca

P_i = Población de la comunidad "i"

P_{total} = Población total de la cuenca

La variación del PBI para el periodo de estudio seleccionado se determinará con la ecuación 3.4.

b. *Parámetro de estado*

Este parámetro se refiere al IDH en el último año del periodo de estudio. Al igual que en el parámetro de presión, su valor es determinado por medio de la ponderación entre el IDH de cada comuna y la población asentada en las respectivas comunidades. Su valor se determina bajo la ecuación (3.3).

c. *Parámetro de respuesta*

En el parámetro de respuesta, la evaluación se realiza con el porcentaje de variación del IDH ponderado durante el periodo de estudio. Se analizan los valores del IDH del año inicial y final, los cuales son determinados siguiendo la fórmula (3.3).

3.2.4 *Políticas públicas*

Este indicador está relacionado con las medidas y la inversión designada por parte de las autoridades locales para el desarrollo de una Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) en la cuenca.

a. *Parámetro de presión*

En este parámetro se realiza la evaluación del nivel de educación de la población, a través del parámetro IDH relacionado a la Educación en el periodo de 5 años. Este parámetro es importante en la GIRH, ya que mide las potencialidades de las personas para mejorar diversos aspectos de su entorno a través del conocimiento. El IDH Educación se determina de forma ponderada para el año final e inicial del periodo estudiado. La fórmula para su cálculo se presenta en la ecuación (3.4).

$$IDH_{Ed} = \frac{\sum IDH_{Ed_i} * P_i}{P_{total}} \quad (3.4)$$

Donde,

IDH_{Ed} = IDH Educación ponderado para la cuenca en estudio para el periodo inicial o final

IDH_i = IDH Educación para cada comunidad "i" asentada en la cuenca, en el periodo de estudio

P_i = Población de la comunidad "i"

P_{total} = Población total de la cuenca

b. *Parámetro de estado*

El parámetro de Estado refleja la capacidad institucional y legal de las instituciones en la GIRH. La calificación es de carácter cualitativo ya que se evalúa la existencia de un marco legal e institucional que promueva el manejo integrado en el periodo estudiado.

En la aplicación del índice WSI en la cuenca Lerma-Chapala (Aparicio, Guitron de los Reyes, & Preciado, 2011), se presenta una metodología para la calificación de este parámetro la cual incluye la evaluación de un marco legal, institucional y manejo de la participación. A continuación, se detalla cada uno de estos aspectos:

b.1 *Marco legal (L)*

En este marco se califica a las normas legales para el manejo integrado de la cuenca. Se evalúa que la aplicación sea de forma justa para los usuarios y que periódicamente cambie para adaptarse al contexto de la zona y las necesidades de los diferentes actores en la cuenca.

b.2 *Marco institucional (I)*

En este marco se califica a la capacidad de los organismos institucionales encargados de la gestión de la cuenca ya sean organismos gubernamentales o no.

b.3 *Manejo de la participación (P)*

No solo se debe contar con la normatividad en la GIRH sino también la opinión de los usuarios de los diversos sectores de la cuenca. La forma de identificar el grado del conocimiento sobre la GIRH, compromiso de ejecutarla y mejorarla continuamente, es a través de reuniones de trabajo donde se involucre a todos actores. Esta actividad califica la participación activa de todos los usuarios en la toma de decisiones sobre la gestión del recurso hídrico. La participación es llevada a cabo a través de talleres, consultas, foros, proyectos de investigación, entre otros.

El valor final se obtiene al promediar los valores de los 3 ámbitos mencionados, según la ecuación (3.5).

$$PP_{Estado} = \frac{L+I+P}{3} \quad (3.5)$$

c. *Parámetro de respuesta*

Este parámetro califica la evolución de la inversión monetaria en la GIRH para la cuenca en estudio. Esta variación refleja el proceso de implementación de la gestión

integrada en el país por parte de las autoridades estatales y todos los stakeholders. Califica la capacidad en la toma de decisiones para mejorar la gestión de los recursos hídricos y solucionar los problemas sobre el agua. A medida que se invierta en la GIRH, la cuenca tendrá mayores posibilidades de cumplir con los objetivos planteados para su sostenibilidad.

3.2.5 Adopción de metodologías para los indicadores no encontrados

En la cuenca del río Mantaro, no existe información completa para determinar el índice WSI. Existen limitaciones tanto en disponibilidad temporal, por no cubrir el periodo de años de estudio, como en la disponibilidad espacial, ya que la información se centra en las ciudades más representativas de la cuenca. A continuación, se presentan las metodologías adoptadas para la aplicación del índice:

3.2.5.1 Hidrología - Cantidad de agua

Para determinar la disponibilidad total de agua en las subcuencas del río Mantaro, se tomó como fuente de información a la investigación realizada por ELECTROPERÚ S.A.. En este estudio, se presenta información de caudales medios mensuales de 8 estaciones y de precipitaciones medias mensuales históricas de 15 estaciones pluviométricas durante el periodo 1695-2005.

La metodología para analizar estos datos está basado en la tesis desarrollada por Córdova (2015), en la que estudia las técnicas estadísticas de regionalización para predecir caudales medios mensuales a partir de una correlación entre los parámetros geomorfológicos de la cuenca del Mantaro. En este trabajo, se concluye que de acuerdo a las pruebas de significancia estadística para las subcuencas principales del río Mantaro, existe una relación significativa entre el área y el caudal medio mensual.

Con esta premisa se parte a desarrollar un análisis regional, en primer lugar, con la precipitación ya que se incluirán a otras estaciones para poder cubrir a todas las subcuencas del Mantaro. Posteriormente, se desarrollará un análisis regional con los caudales en relación con las áreas de las subcuencas, ya que se demostró la existencia de una relación significativa estadística entre ambos parámetros.

a. Análisis regional de la precipitación

El análisis regional relaciona las altitud de las estaciones meteorológicas y las precipitaciones anuales registradas en las mismas. La ecuación (3.6) representa la relación lineal entre la precipitación y altitud. Los coeficientes a_0 y a_1 se determinan al realizar una regresión lineal entre las variables de altitud y precipitación.

$$P = a_0 + a_1x \quad (3.6)$$

Donde:

P : Precipitación del periodo considerado (mm)

x : Altitud (msnm)

a_0 y a_1 : Constantes

Al determinar las constantes de la ecuación que caracterice a la zona de estudio, se empleará para determinar la precipitación de las cuencas desconocidas, considerando como valor conocido a la altitud media.

b. Estimación de caudales en cada cuenca de interés

Los valores de caudal se determinan usando la ecuación de transposición (3.7), la cual relaciona el área, precipitación media y el coeficiente de escorrentía de la cuenca según el coeficiente de escorrentía de cada subcuenca.

$$\frac{\left(\frac{\bar{Q}}{\bar{P}A}\right)_x}{\left(\frac{\bar{Q}}{\bar{P}A}\right)_i} = \frac{CE_x}{CE_i} \quad (3.7)$$

Donde,

Q : Caudal (m³/s)

P : Precipitación (mm)

A : Área (m²)

CE : Coeficiente de escorrentía

Las variables con x representan a la cuenca sin información hidrométrica, mientras que las señaladas como i se refieren a las cuencas con información hidrométrica conocida. Para este estudio, se asume que las cuencas son hidrológicamente similares ya que se trata de una misma cuenca hidrográfica, por lo tanto, tienen coeficientes de escorrentía iguales. La expresión (3.8) permite determinar el caudal promedio en cada cuenca de análisis:

$$\left(\frac{\bar{Q}}{\bar{P}A}\right)_x = \left(\frac{\bar{Q}}{\bar{P}A}\right)_i \quad (3.8)$$

3.2.5.2 Hidrología - Calidad del agua

Debido a que no se cuenta con suficientes registros de DBO₅ en la zona de estudio, se optó por realizar este análisis asumiendo las consideraciones de la aplicación del índice WSI en la cuenca del río Elqui en Chile. En esta cuenca, al igual que en la del

Mantaro, se desarrollan principalmente actividades mineras y agrícolas, por lo que las consideraciones para la evaluación del parámetro de calidad serían también válidas para el río Mantaro por también caracterizarse de las mismas actividades que producen efluentes de contaminación.

En la cuenca del Elqui, se consideró como parámetro integrador a la conductividad eléctrica, ya que relaciona la cantidad de aniones y cationes presentes en el agua. Si bien este parámetro de análisis no indica, específicamente, cuales son los iones presentes en la muestra de agua, permitió identificar los posibles impactos ambientales que ocurren en la cuenca (Cortés Mondaca, 2010).

Para determinar los nuevos límites de la calidad de agua en el río Elqui, se consideraron los límites dispuestos en la Norma Chilena NCh 1333 (>750 umhos/cm), en las Guías para la Calidad del Agua Potable OMS (500-1600 umhos/cm) y en Anteproyecto de Norma Secundaria Calidad de Agua, Clase 4 (>2500 umhos/cm). En cuanto a la normatividad peruana, se consideró la clasificación de los cuerpos de agua establecidas en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua aprobados por Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM. De esta manera, se clasifica al río Mantaro y a todos los cuerpos de agua que le tributen en la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales (<2000 umhos/cm) y en las zonas con uso poblacional y recreacional como Categoría 1-A2 (<1600 umhos/cm). En la Tabla 3.5 se presentan los niveles y rangos de evaluación de la conductividad eléctrica.

Tabla 3.5 Parámetro de estado para el indicador de calidad de agua del índice WSI

Indicador	Parámetro de estado	Nivel	Puntaje
		2000 < CE	0.00
Hidrología (Calidad de agua)	Promedio de la Conductividad en la cuenca (en el periodo de largo plazo) umhos/cm	1600 < CE < 2000	0.25
		750 < CE < 1600	0.50
		600 < CE < 750	0.75
		CE < 600	1.00

Fuente: Elaboración propia

La entidad DIGESA fue la encargada de monitorear la calidad del agua en la cuenca del Mantaro durante los años 2003 y 2008. Después de la creación de la ANA, la AAA Mantaro fue designada como la entidad encargada de realizar los monitoreos en la cuenca, a través de la Sub Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos. Los únicos monitoreos realizados en toda la extensión de la cuenca Mantaro corresponden a los años 2015 y 2016. Asimismo, se desarrollaron monitoreos participativos de la calidad de agua en el lago Chinchaycocha entre los años 2013 y

2016. Los puntos de control y los valores registrados de ambas instituciones se muestran en el Anexo N° 3.

La información monitoreada no logra cubrir un rango amplio de años para calificar su variación, además, las estaciones no se encuentran en todas las subcuencas analizadas. Frente a esta limitación, se opta por estudiar este parámetro únicamente en la subcuenca de la laguna Chinchaycocha ya que esta presenta un mayor rango de datos.

3.2.5.3 Superficie agrícola y cobertura natural en las cuencas

El análisis de superficie agrícola se desarrolla en base a los censos agropecuarios realizados, ya que no se cuenta con información georeferenciada de la superficie agrícola en el territorio nacional durante el periodo de estudio elegido. Estos registros se encuentran como información libre en el portal del INEI: III Censo Nacional Agropecuario 1994 y IV Censo Nacional Agropecuario 2012. Para determinar los cambios de cobertura en la superficie agrícola se consideró la información de cada distrito que se encuentra dentro de la subcuenca. Las áreas de las extensiones agrícolas se muestran en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6 Superficie agrícola en los años 1994 y 2012 – Cuenca del río Mantaro

Superficie Agrícola (ha)		1994	2012
Tierras de Labranza	Cultivos transitorios	196 825.60	145 546.10
	En barbecho	34 322.60	75 037.04
	En descanso	59 634.15	100 884.54
	No trabajadas	25 594.72	17 529.07
Tierras con cultivos permanentes	Propiamente dichos	3316.14	12 889.08
	Pastos cultivados	3700.76	28 770.49
	Cultivos forestales	1 305.01	1018.55
Cultivos Asociados		16 125.73	10 742.00
Total		340 824.71	392 416.87

Fuente: (INEI, 2012) (INEI, 1994)

Al determinar la variación de áreas agropecuarias entre los años 2012 y 1994, se obtiene:

$$\% \Delta \text{Sup. Agrícola} = \frac{(392\,416.87 - 340\,824.71) * 100}{340\,824.71} = 15.13 \%$$

Esta variación porcentual es considerada grande ya que involucra alrededor de 50,000 ha, por lo tanto, no se puede adoptar como un valor representativo para las subcuencas. Se decidió realizar estimaciones considerando que la superficie agrícola

se encuentra en función de la población rural de la zona de estudio ya que las actividades agrícolas son la principal actividad en los sectores rurales (IGP, 2012). La población y el área agrícola para cada subcuenca se determinaron considerando la información de los distritos que componen cada una de ellas.

Debido a que no se realizaron censos poblacionales en los años 2006 y 2010, que pertenecen al rango de estudio, ni en los años 1994 y 2012 correspondientes a los censos agrícolas, se trabajó con las proyecciones de cantidad de población realizadas por el INEI. Solo para el año 1994 se consideró como población a los resultados obtenidos en el censo poblacional de 1993. En cuanto a la distribución población rural y urbana en los distritos que componen las zonas de estudio, se determinaron a partir de estimaciones realizadas por el Ministerio de Salud - Oficina General de Estadística e Informática para los años 2012, 2013, 2014 y 2015 a nivel distrital. Esta institución realizó las estimaciones de población rural y urbana en base a la información presentada por el INEI en los Boletines de Análisis Demográficos N° 36 y 37: Estimaciones y Proyecciones de Población por Departamento, Sexo y Grupos Quinquenales de Edad de 1950-2050 y 1995-2025, respectivamente.

3.2.5.4 Índice de Presión Ambiental (EPI)

Este índice relaciona la variación de las áreas de la cuenca destinadas a agricultura con la variación de las áreas urbanas. Debido a que no se cuenta con registros sobre las áreas urbanas en las subcuencas a lo largo de los años, se asumirá que la variación porcentual es igual a la variación de la cantidad de la población en las áreas urbanas. Esta consideración se asume debido a que existe una relación directa entre las áreas urbanas y la población que la habita.

3.2.5.5 Índice de Desarrollo Humano (IDH)

El IDH en sus 3 dimensiones: longitud de la vida, el logro educativo y los ingresos de la población, es una variable que evalúa a los 3 parámetros del indicador vida y para el indicador de políticas públicas, solo al parámetro de presión.

Los valores a evaluar se obtuvieron de la publicación realizada por el PNUD: Informe sobre Desarrollo Humano Perú 2013. Cambio climático y territorio: Desafíos y respuestas para un futuro sostenible. En este estudio se encuentra la información a nivel distrital de los años 2003, 2007, 2010, 2011 y 2012 recalculados según la nueva metodología aplicada a nivel global desde el 2010 por la Oficina del Informe sobre Desarrollo Humano. Llegar a una resolución de valores distritales significa necesariamente una proyección de información a través de regresiones y ajustes indirectos. Los indicadores del IDH de los años mencionados se realizaron gracias

a la existencia de los censos: uno de recuento en 2005 y otro del 2007 (PNUD Perú, 2013).

Debido a que no se dispone de información de los tres componentes del IDH para uno de los años del periodo de estudio, se consideró para los análisis del año 2007 como el equivalente al año 2006. Asimismo, en la información disponible no se presentan los índices para cada una de las 3 dimensiones (índice de esperanza de vida, de educación y PIB) sino un valor ya promediado que representa el IDH de cada distrito. Para obtener cada uno de los índices se hace uso de valores límites; es decir, se normaliza realizando cálculos con valores máximos y mínimos para cada uno de los tres indicadores con el fin de que cada componente tenga la misma ponderación y expresar el desempeño de cada uno de ellos en valores entre 0 y 1 (PNUD, 2007). Para el cálculo de los índices se aplica la ecuación (3.9).

$$\text{Índice de componente} = \frac{\text{Valor real} - \text{Valor mínimo}}{\text{Valor Máximo} - \text{Valor mínimo}} \quad (3.9)$$

Los valores límites depende del país donde se esté determinando el IDH nacional, para los análisis se emplean los límites presentados en el anexo metodológico del informe del PNUD mencionado anteriormente, los valores se presentan en la Tabla 3.7. En este anexo, como parte de la nueva metodología para el IDH nacional, también se indica que los ingresos familiares per cápita distritales no se deben transformar a logaritmos, ya que se tiene una menor dispersión que el PBI *per cápita* internacional.

Tabla 3.7 Valores límites para el cálculo del IDH

	Esperanza de vida al nacer (años)	Población con Educ. secundaria completa (%)	Años de educación - Poblac. 25 y más (años)	Ingreso familiar per cápita (Nuevos Soles)
Máx	85	100	18	2500
Mín	25	0	1.6	35

Fuente: (PNUD Perú, 2013)

3.3 Aplicación del índice WSI en las subcuencas del río Mantaro

La aplicación del índice WSI se realiza en cada una de las subcuencas del río Mantaro para los años entre el 2006 y 2010. A continuación, se presenta el cálculo del Índice de Sostenibilidad WSI analizando cada uno de los 4 indicadores: hidrología, medio ambiente, vida y políticas públicas, en sus respectivos parámetros presión, estado y respuesta. La aplicación integrada del índice solo se realizó para la subcuenca Chinchaycocha, para el resto, solo se presenta individualmente los resultados de cada uno de los indicadores, ya que la principal limitante de información son los datos de calidad de agua.

3.3.1 Hidrología

La información meteorológica empleada en este estudio se encuentra en el Anexo N° 2.

3.3.1.1 Cantidad de agua

a. Presión

a.1 Caudal promedio neto en el periodo 1965-2005

Para determinar la disponibilidad total de agua en las subcuencas del río Mantaro, se realizó el análisis de regionalización y la transposición de caudales.

- Subcuenca Chinchaycocha

Para determinar la disponibilidad hídrica en la subcuenca del lago Chinchaycocha se tomó en cuenta los resultados de la investigación realizada por ELECTROANDES en el 2006.

Es así que para determinar los caudales naturalizados de ingreso en el lago Junín, el estudio adoptó la metodología de Balance Hídrico Superficial (Figura 3.5). Esta metodología incluye una serie de componentes que se relacionan con las características físicas de la infraestructura hidráulica, tales como, el nivel de agua en el lago para determinar el volumen embalsado, los caudales que llegan al embalse, la precipitación que cae sobre el espejo de agua, las pérdidas por evapotranspiración e infiltración y los caudales regulados (ELECTROANDES, 2006).

La ecuación (3.10) presenta el balance ingreso – salida.

$$Q_I + Q_P + Q_C = Q_E + Q_F + Q_S + Q_R + Q_V \quad (3.10)$$

Los valores promedio anuales hallados en el estudio para los años 1965 – 2005 se presentan a continuación:

$$Q_{\text{naturalizado de ingreso}} = 31.799 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_I = 24.374 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_P = 7.426 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_E = 9.577 \text{ m}^3/\text{s}$$

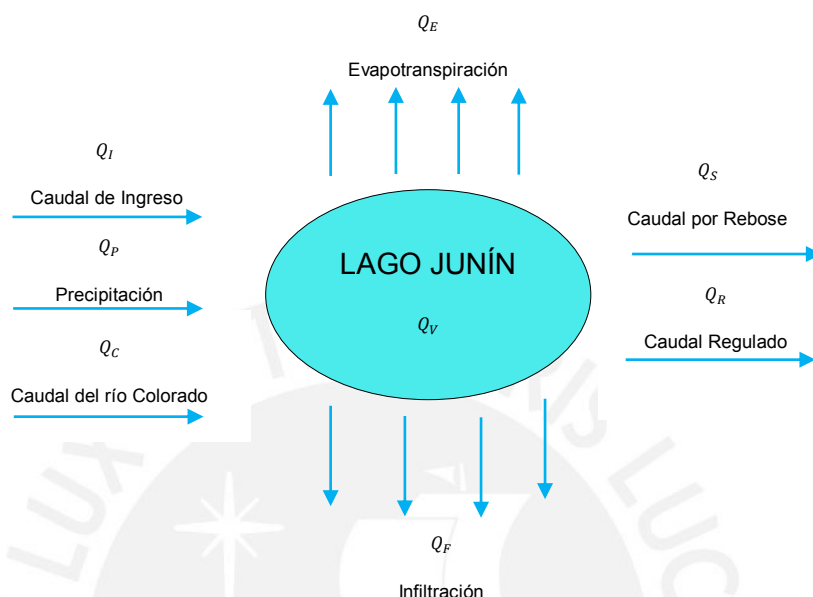


Figura 3.5 Balance Hídrico Superficial en el lago Junín

Fuente: ELECTROANDES, 2006

- Subcuenca Yauli

En la investigación realizada por ELECTROANDES, se realizó el análisis de los caudales naturales del subsistema Oroya-Pachachaca tomando en cuenta lo registrado en los embalse Pomacocha, Toma Rumichaca, Taza Vieja y Toma Cut Off; el caudal aportado por río Pucará; caudal incremental entre el embalse Huallacocha Baja y embalse Pomacocha; caudal entre embalse Huallacocha Alta y Baja y el aporte de la quebrada Rumichaca. La suma de cada uno de los aportes mencionados resulta un caudal medio anual naturalizado de **6.06 m³/s**.

- Resto de subcuencas

Para el resto de subcuencas se hizo uso de la información hidrometeorológica del informe desarrollado por Electroperú S.A. (2005), en la Tabla 3.8 se muestran las estaciones del informe.

Tabla 3.8 Precipitación anual promedio de las estaciones del informe de Electroperú en el periodo 1965-2005 y 2001-2005

N°	Estación	Altitud (msnm)	Este	Norte	P Anual (mm) 1965-2005	P Anual (mm) 2001-2005
P1	Upamayo	4080	360 545	8 792 357	836.8	800.3
P2	Tambo de Sol	4100	377 770	8 797 740	742.6	706.6
P3	Junín	4120	392 113	8 766 764	833.0	820.6
P4	Hueghue	4175	360 179	8 757 486	824.9	789.3
P5	Huichicocha	4700	442 547	8 611 279	812.3	776.3
P6	Chilicocha	4275	450 902	8 595 874	802.2	785.0
P7	Palaco	3650	467 445	8 635 063	655.8	745.9
P8	Cercapuquio	4390	465 305	8 631 375	801.4	786.0
P9	Tellería	3050	486 865	8 631 976	570.0	617.1
P10	Pachacayo	3550	421 654	8 694 970	659.3	634.8
P11	Yauricocha	4375	401 281	8 678 199	734.8	728.6

Fuente: ElectroPerú S.A., 2005

En la Figura 3.6 se muestra la relación entre la información de precipitación anual promedio del periodo histórico 1965-2005 de las estaciones y sus altitudes.

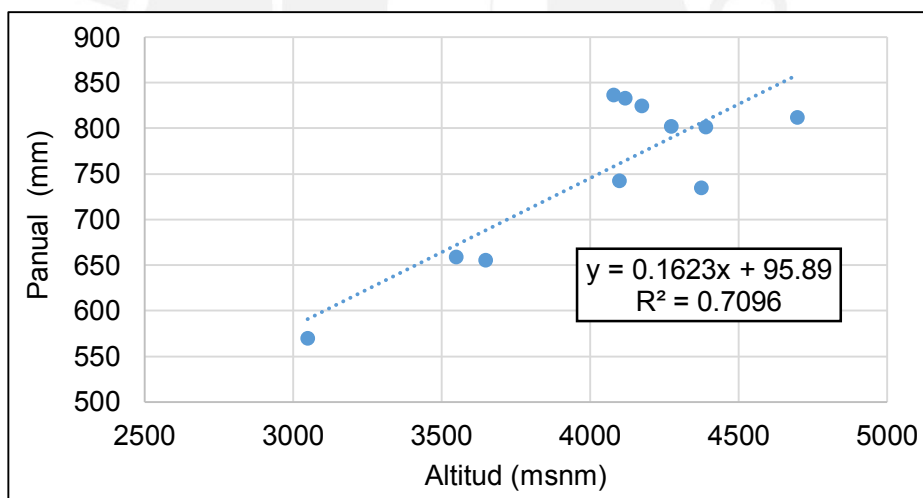


Figura 3.6 Análisis regional 1965-2005

En la ecuación 3.11 se muestra la relación entre las altitudes y la precipitación para el periodo histórico:

$$y = 0.1623x + 95.89 \quad (3.11)$$

El coeficiente de correlación obtenido fue de 0.71, este valor no es del todo el ideal pero al no ser tan bajo permite seguir con el procedimiento de la Transposición de Caudales. La Tabla 3.9 indica las estaciones que se utilizaron para realizar ese análisis en las subcuencas.

Empleando la ecuación de correlación resultante (3.11), se determina la precipitación anual de las estaciones hidrometeorológicas en función a la altitud que se encuentra. La estación Puente Chúléc resultó por su altitud de 3710 msnm con una precipitación de 698.0 mm, mientras que la estación mejorada, con una precipitación de 550.2 mm. La estación Upamayo se empleará en el análisis de la subcuenca San Juan, mientras que la estación Puente Chúléc. En el análisis de las subcuencas Colorado, Conocancha, Santa Ana y Atoc Huarco y la estación La Mejorada, para el resto de las subcuencas.

Tabla 3.9 Características de las estaciones hidrometeorológicas 1965-2005

Estación	Altitud (msnm)	Este	Norte	Área de captac. (km ²)	Q anual histórico (m ³ /s)
Upamayo	4080	360 545	8 792 357	2860	21.83
Puente Chúléc	3710	399 367	8 727 129	6020	55.63
Mejorada	2799	508 571	8 615 053	18 775	170.99

Fuente: ElectroPerú S.A., 2005

En la Tabla 3.10 se muestran los parámetros geomorfológicos de las subcuencas, los fueron determinados por herramientas del software ArcGIS. Asimismo, se presenta la precipitación resultante en las subcuencas al emplear la ecuación de correlación (3.11). Finalmente, se determina los caudales anuales históricos empleando la ecuación de transposición de caudales (3.8), en la que se relaciona la información de las estaciones hidrometeorológicas: áreas de captación, caudal anual y precipitación anual (Tabla 3.9) con datos de las subcuencas.

Tabla 3.10 Parámetros de caracterización de las subcuencas

Zona	Subcuenca	Área (km ²)	Altitud Media	P Annual (mm)	Q anual histórico (m ³ /s)
Norte	San Juan	935.03	4601.13	842.7	7.93
	Colorado	261.27	4610.05	844.1	2.92
	Conocancha	717.69	4644.24	849.6	8.07
	Santa Ana	606.95	4635.78	848.3	6.82
	Atoc Huarco	302.27	4284.01	791.2	3.17
	Huari	261.27	4610.05	837.0	3.62
	Quisualcancha	717.69	4644.24	766.9	9.11
	Pachacayo	606.95	4635.78	819.0	8.23
Centro	Yacus	302.27	4284.01	756.7	3.79
	Cunas	1710.09	4222.42	781.2	22.11
	Achamayo	308.64	4246.72	785.1	4.01
	Shullcas	221.17	4275.58	789.8	2.89

	Parihuanca	988.72	3737.32	702.5	11.50
	San Fernando	1208.58	3532.19	669.2	13.39
	Huanchuy	705.73	3667.28	691.1	8.07
	Upamayu	268.79	3525.22	668.0	2.97
Sur	Vilca Moya	3053.44	4311.03	795.6	40.21
	Ichu	1380.40	4245.35	784.9	17.94
	Paraiso	394.29	3272.61	627.0	4.09
	Viscatan	550.35	2926.57	570.9	5.20
	Huarpa	6810.20	3941.17	735.5	82.92

a.2 Caudal promedio neto en el periodo 2001-2005

En cuanto al procedimiento para determinar la variación de la disponibilidad de agua en el periodo estudiado con respecto al promedio histórico, se asumió que los caudales correspondientes al periodo estudiado serán los mismos que los registrados en el año 2001-2005 ya que la diferencia temporal entre ambos rango de años es mínima por tratarse de años consecutivos y la variabilidad climática en un periodo corto no es extrema.

Para la subcuenca Chinchaycocha se analizó los registros de caudales naturales medios anuales (Figura 3.7) en el lago Junín realizado por ELECTROANDES. Los registros de la subcuenca Yauli se muestran en la Figura 3.8. En la subcuenca Chinchaycocha se obtuvo un caudal de $30.14 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que para la subcuenca Yauli se determinó un caudal de $6.77 \text{ m}^3/\text{s}$.

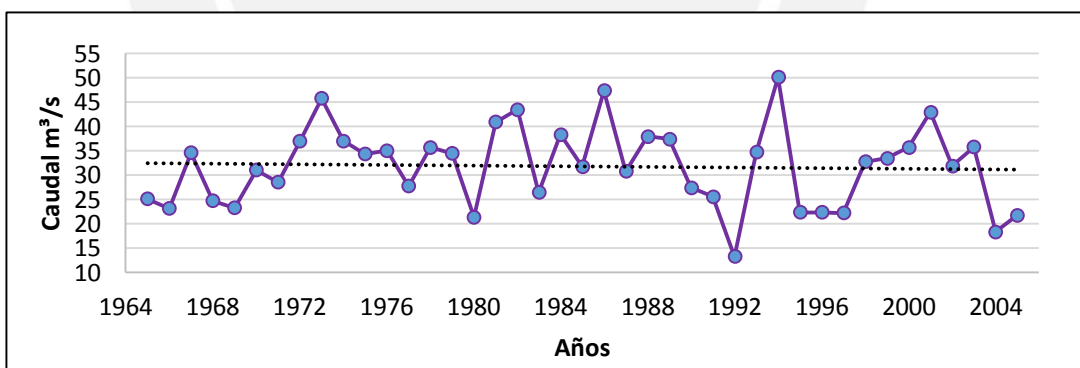


Figura 3.7 Caudales naturalizados medios anuales del Lago Junín 1965-2005

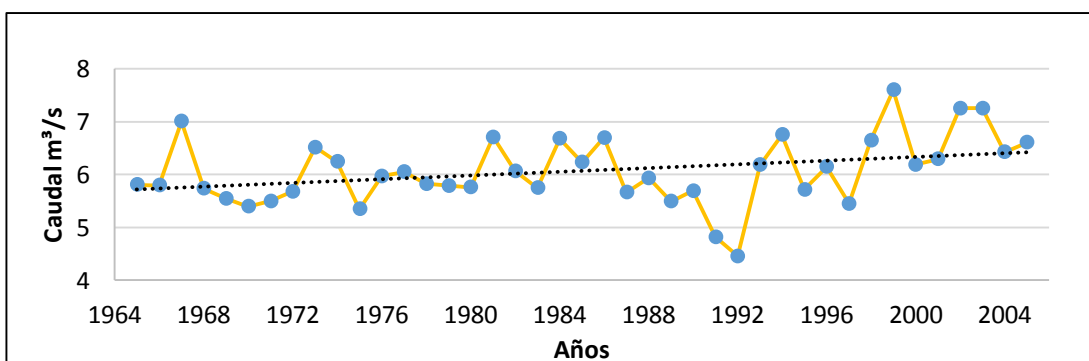


Figura 3.8 Caudales naturalizados medios anuales del río Yauli 1965-2005

Para las demás subcuencas se desarrolló el mismo procedimiento empleado el caudal en el periodo 1965-2005. En la Figura 3.9 se muestra el análisis regional:

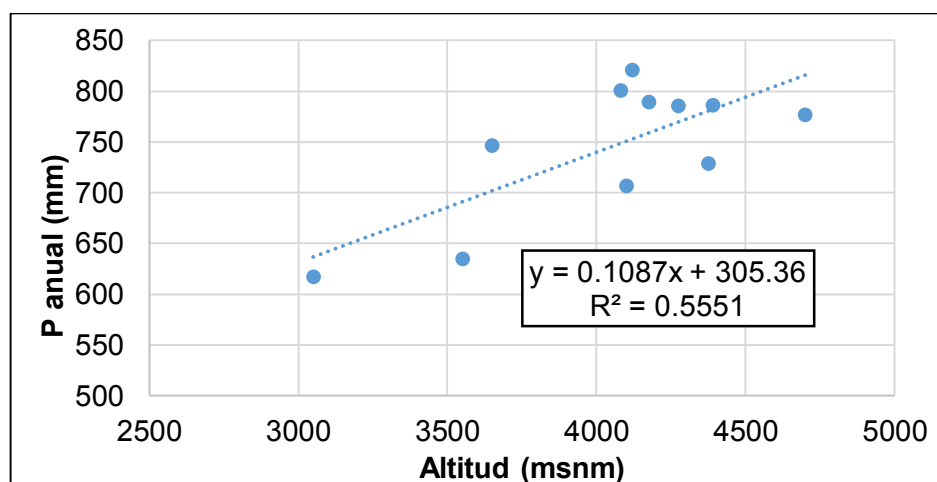


Figura 3.9 Análisis regional 2001-2005

El coeficiente de correlación obtenido fue de 0.56, este valor es bajo debido a que solo se están tomando 5 años de registros y con un rango tan corto, se hacen más evidente la falta de tendencia. A pesar de ello, se asumirá como válido este valor para poder seguir con el procedimiento de la Transposición de Caudales. En la ecuación 3.12 se muestra la relación entre las altitudes y la precipitación para el periodo corto:

$$y = 0.1087x + 305.36 \quad (3.12)$$

La Tabla 3.11 indica los valores de caudal en el rango 2001-2005 de las estaciones que se utilizaron para realizar este análisis.

Tabla 3.11 Características de las estaciones hidrometeorológicas 2001-2005

Estación	Altitud (msnm)	Este	Norte	Área de captac. (km²)	Q anual (m³/s) 2001-2005
Upamayo	4080	360 545	8 792 357	2860.0	20.39
Puente Chúlec	3710	399 367	8 727 129	6020.0	47.17
Mejorada	2799	508 571	8 615 053	18 775.0	157.96

Empleando la ecuación de correlación resultante (3.12), se determina la precipitación anual de las estaciones hidrometeorológicas en el rango de años 2001-2005. La estación Upamayo resultó con una precipitación de 748.9 mm, la estación Puente Chúlec resultó con una precipitación de 708.6 mm, mientras que la estación mejorada, con una precipitación de 609.61 mm.

En la Tabla 3.12 se presenta la precipitación resultante en las subcuencas en el rango de años 2001 -2005 al emplear la ecuación de correlación (3.11). Asimismo, se

muestran los caudales anuales históricos determinados con la ecuación de transposición de caudales (3.8). En donde se relacionó la información de las estaciones hidrometeorológicas para el rango corto (Tabla 3.11) con datos de las subcuencas.

Tabla 3.12 Parámetros de caracterización de las subcuencas 2001-2005

Zona	Subcuenca	Área (km²)	Altitud Media	P Annual (mm)	Q anual (m³/s) 2001-2005
Norte	San Juan	935.03	4601.13	842.7	6.22
	Colorado	261.27	4610.05	844.1	1.82
	Conocancha	717.69	4644.24	849.6	5.02
	Santa Ana	606.95	4635.78	848.3	4.24
	Atoc Huarco	302.27	4284.01	791.2	2.01
	Huari	261.27	4610.05	837.0	2.32
	Quisualcancha	717.69	4644.24	766.9	6.00
	Pachacayo	606.95	4635.78	819.0	5.31
Centro	Yacus	302.27	4284.01	756.7	2.50
	Cunas	1710.09	4222.42	781.2	14.48
	Achamayo	308.64	4246.72	785.1	2.62
	Shullcas	221.17	4275.58	789.8	1.89
Sur	Parihuanca	988.72	3737.32	702.5	7.79
	San Fernando	1208.58	3532.19	669.2	9.23
	Huanchuy	705.73	3667.28	691.1	5.50
	Upamayu	268.79	3525.22	668.0	2.05
	Vilca Moya	3053.44	4311.03	795.6	26.17
	Ichu	1380.40	4245.35	784.9	11.72
	Paraiso	394.29	3272.61	627.0	2.89
	Viscatan	550.35	2926.57	570.9	3.80
Huarpa	6810.20	3941.17	735.5	55.34	

En la Tabla 3.13 se muestran los caudales para el periodo largo y corto, y la respectiva variación para determinar el parámetro de presión. El puntaje de la variación relativa de cada subcuenca se obtiene evaluándolo con los niveles de la Tabla 2.7.

Tabla 3.13 Caudales promedios netos de largo y corto plazo, y la variación relativa entre los 2 periodos

Subcuenca	Caudal (m ³ /s)		Variación Relativa	Puntaje
	1965-2005	2001-2005	Δ%	
San Juan	7.93	6.22	-21.6%	0.0
Colorado	2.92	1.82	-37.7%	0.0
Chinchaycocha	31.80	30.14	-5.2%	0.5
Conocancha	8.07	5.02	-37.8%	0.0
Santa Ana	6.82	4.24	-37.8%	0.0
Atoc Huarco	3.17	2.01	-36.6%	0.0
Yauli	6.06	6.77	11.7%	1.0
Huari	3.62	2.32	-35.9%	0.0
Quisualcancha	9.11	6.00	-34.1%	0.0
Pachacayo	8.23	5.31	-35.5%	0.0
Yacus	3.79	2.50	-34.0%	0.0
Cunas	22.11	14.48	-34.5%	0.0
Achamayo	4.01	2.62	-34.7%	0.0
Shullcas	2.89	1.89	-34.6%	0.0
Parihuanca	11.50	7.79	-32.3%	0.0
San Fernando	13.39	9.23	-31.1%	0.0
Huanchuy	8.07	5.5	-31.8%	0.0
Upamayu	2.97	2.05	-31.0%	0.0
Paraiso	4.09	2.89	-29.3%	0.0
Viscatan	5.20	3.80	-26.9%	0.0
Vilca Moya	40.21	26.17	-34.9%	0.0
Ichu	17.94	11.72	-34.7%	0.0
Huarpa	82.92	55.34	-33.3%	0.0

b.Estado

La disponibilidad de agua per cápita en la cuenca (W_a) para el último año del periodo de estudio (2010) se determina a partir del promedio histórico del agua y la población de la cuenca. Para determinar la población en el año 2010, se recurrió a la información presentada en el portal web del INEI que elabora las proyecciones y estimaciones basadas en los censos de población que realizaron en el año 1993 y 2007. La cantidad de población de la cuenca y de las subcuencas del río Mantaro se determinaron a partir de la población de los distritos que las componen.

En la Figura 3.10 se muestra los departamentos y provincias que forman parte de la cuenca del río Mantaro, dando un total de aproximadamente 1 625 933 habitantes para el año 2010. Asimismo, en la Figura 3.11 se presenta la población en cada una de las subcuencas de estudio.

DEPARTAMENTOS

Pasco	Junín	Huancavelica	Ayacucho
<ul style="list-style-type: none"> • Pasco • Daniel Alcides Carrión 	<ul style="list-style-type: none"> • Junín • Yauli • Jauja • Concepción • Chupaca • Huancayo • Tarma 	<ul style="list-style-type: none"> • Huancavelica • Acobamba • Angares • Castrovirreyna • Churcampa • Huaytará • Tayacaja 	<ul style="list-style-type: none"> • Huamanga • Cangallo • Huanta

POBLACIÓN



Figura 3.10 Distribución de la población en la cuenca del río del Mantaro en el 2010

Fuente: INEI, Población 2000 al 2015

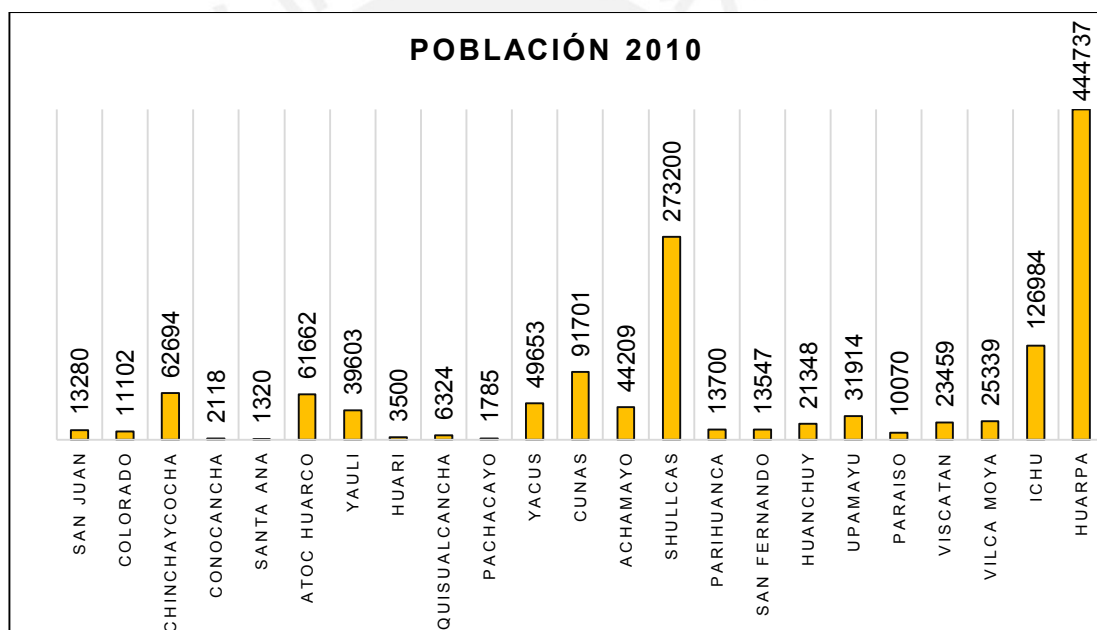


Figura 3.11 Distribución de la población en las subcuencas de estudio año 2010

En la Figura 3.12 se muestran los valores de agua per cápita de cada subcuenca al reemplazar los caudales disponibles y la cantidad de población en la ecuación (3.1) para cada subcuenca. El puntaje del parámetro estado está en base a la Tabla 2.8.

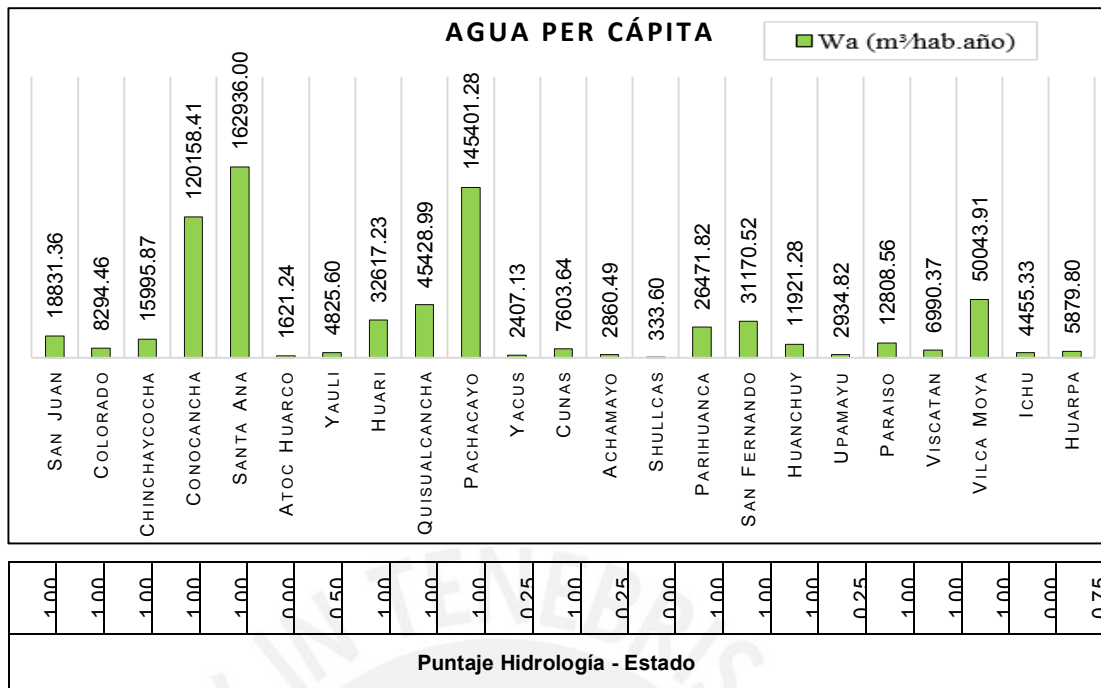


Figura 3.12 Agua per cápita en las subcuencas del río Mantaro

c. Respuesta

La agricultura es uno de los principales sectores económicos del país, además, es el principal sustento de vida para la población rural. Según cifras del Censo Nacional Agropecuario realizado en 1994, la superficie agrícola en la cuenca cubre aproximadamente 5477 ha, lo que equivale al 15% del total de la superficie nacional.

En esta cuenca, se ubica el valle del Mantaro, la cual es considerada como una de las principales zonas de cultivo de toda la sierra del Perú. En la región, existe la constante necesidad de incrementar la producción agrícola, así, cada vez se asume mayor importancia en el mejoramiento de las técnicas de manejo de suelos, riego y drenaje. Para poder mejorar las prácticas agrícolas se debe contar con infraestructura hidráulica que permita el manejo sostenible de los recursos hídricos. Sin embargo, se tiene el conocimiento que a nivel nacional existe un bajo financiamiento e inversión en este tipo de infraestructura, por ello, este es planteado como uno de los 7 ejes de la Estrategia Nacional de Recursos Hídricos (ALA Mantaro, 2012). En la última evaluación de recursos hídricos realizado por ANA, se inventariaron en la cuenca del río Mantaro 229 represas o lagunas represadas, 639 bocatomas y 224 canales principales, todo ello la posiciona como una de las cuencas con mayor infraestructura hidráulica en su territorio (ANA, 2016).

Para calificar este parámetro, las inversiones en proyectos que mejoran la eficiencia del uso del agua estarán relacionadas a la agricultura. Se evalúa la evolución en proyectos referidos a canales, embalses y sistema de riego tecnificado. En la Figura

3.13 y 3.14 se muestran las inversiones realizadas por parte de los gobiernos de los departamentos de Pasco, Junín, Huancavelica y Ayacucho en el periodo de estudio, además del puntaje del parámetro estado en las subcuencas.

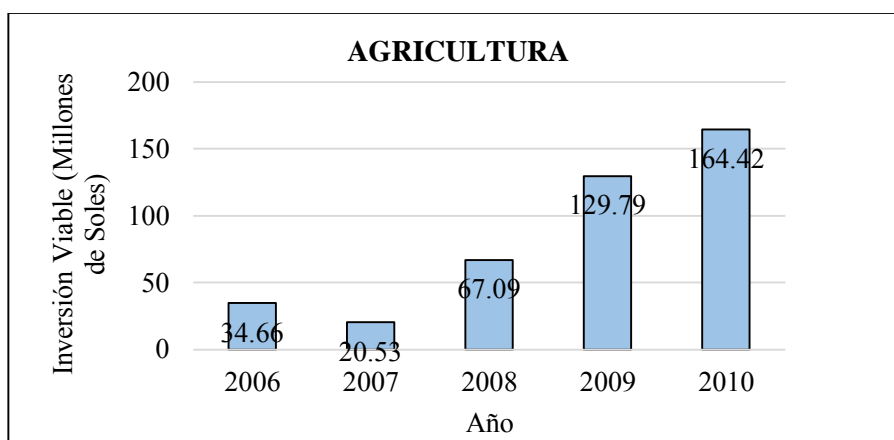
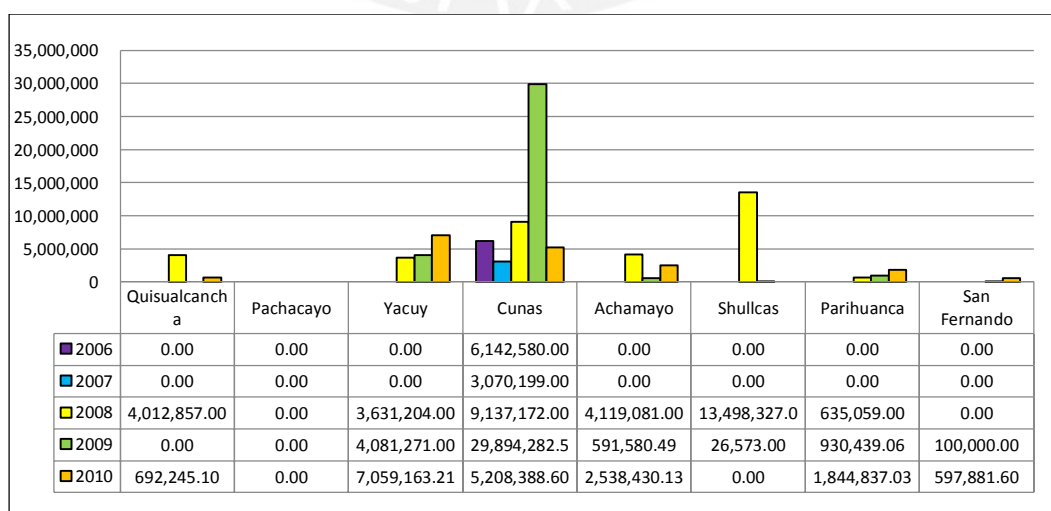
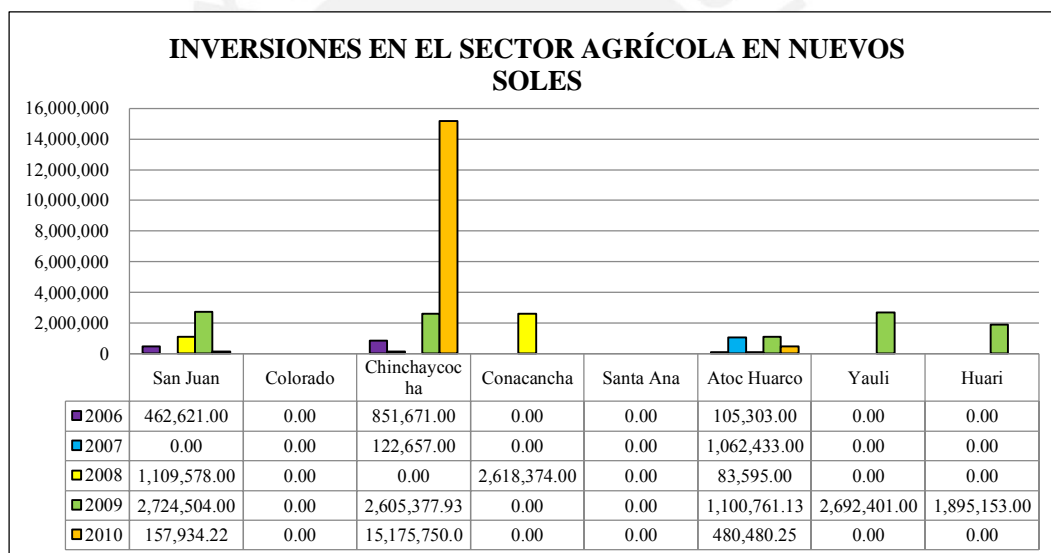


Figura 3.13 Inversiones realizadas en el sector agrícola



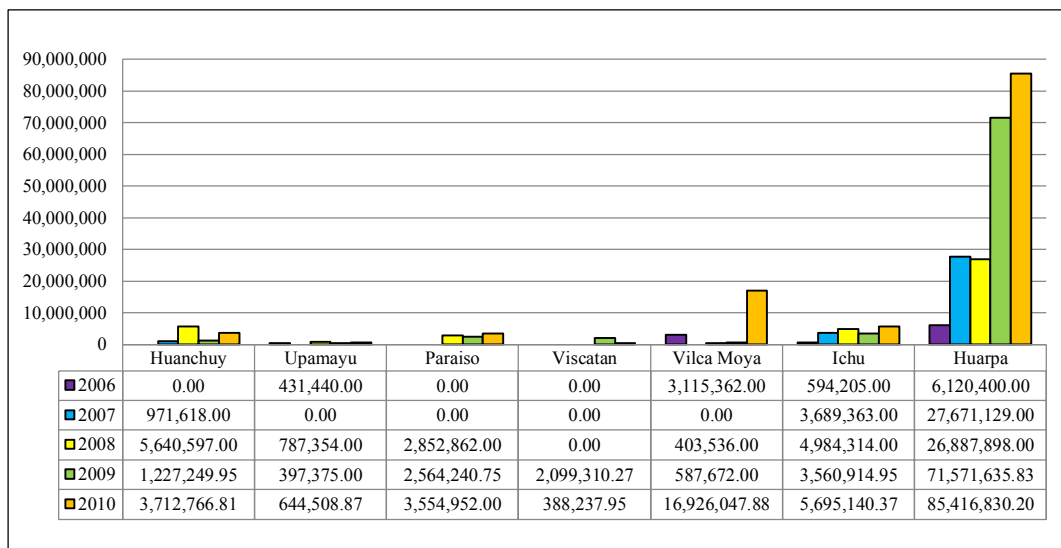


Figura 3.14 Inversiones en el sector agrícola 2006-2010

Fuente: SNIP

De la recopilación de la información disponible del SNIP para las subcuencas, se observa que no existe alguna tendencia importante en los valores de inversión. Si bien, en general, la cuenca del Mantaro podría ser calificada con un nivel “Medio” de inversión por una tendencia creciente (Figura 3.13), la calificación para las subcuencas en base a la Tabla 3.14 no es del todo representativas ya que al no existir alguna relación entre las inversiones se hace complicado calificar la evolución de manera cualitativa. Los puntajes otorgados se presentan en la Tabla 3.14.

Tabla 3.14 Puntaje cantidad de agua – Respuesta

Puntaje Cantidad de Agua - Respuesta	
San Juan	0.25
Colorado	0.00
Chinchaycocha	0.50
Conocancho	0.00
Santa Ana	0.00
Atoc Huarco	0.25
Yauli	0.00
Huari	0.00
Quisualcancho	0.00
Pachacayo	0.00
Yacus	0.50
Cunas	0.50
Achamayo	0.25
Shullcas	0.25
Parihuanca	0.50
San Fernando	0.25
Huanchuy	0.50
Upamayu	0.50
Paraiso	0.50
Viscatan	0.25
Vilca Moya	0.50
Ichu	0.50
Huarpa	0.75

3.3.1.2 Calidad de agua

En la cuenca de estudio, las fuentes de contaminación recurrente son el vertimiento de aguas negras o servidas y basura en los ríos. Los efluentes líquidos contaminantes resultan posiblemente de las actividades productivas como minería (relaves), agricultura (fertilizantes y plaguicidas) y de infiltraciones de plantas de tratamiento. En la zona norte existe un gran número de concesiones mineras, por ello los agentes que causan el deterioro de la calidad de agua son diferentes al de la zona

centro y sur donde predomina la actividad agrícola. Por otro lado, en la zona central se encuentra asentada la mayor cantidad la población, la cual provoca mayor contaminación por los desechos domésticos.

Para los parámetros de presión y estado, la evaluación se realiza con el criterio de la Conductividad Eléctrica. La evaluación de la calidad de agua en esta cuenca fue realizada por DIGESA entre los años 2003 y 2008 y por la ANA en los años 2015 y 2016. En el Anexo N° 3 se encuentra la ubicación de las estaciones de monitoreo y los valores registrados.

Las estaciones de ambas instituciones no llegan a cubrir el control de todas las subcuencas ni la escala temporal exigida por el índice (10 años). De todas formas, representa una información base con la que se podrá evaluar la mejora de la calidad de agua en los ríos. Por tal motivo, el índice de hidrología – calidad de agua se aplicará solo en la subcuenca Chinchaycocha considerando asunciones que permiten cubrir una mayor disponibilidad temporal de datos que serán explicadas posteriormente. Esta subcuenca cuenta con monitoreos realizados en los años 2013, 2014, 2015 y 2016 por la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos de la ANA.

En la Figura 3.15 se muestran las estaciones de monitoreo y en la Tabla 3.15 los valores registrados.



Figura 3.15 Red de monitoreo del lago Chinchaycocha

Tabla 3.15 Resultados de los monitoreos 2013, 2014, 2015 y 2016 realizados por ANA

Estación	Descripción	Este	Norte	Altitud mnsnm	2013	2014	2015	2016
LDupa1	Delta Upamayo , puen-te Upamayo al Noro-este del lago ,C.P. San Pedro de Pari	361 991	8 792 461	4091	256.90	289.80	243.00	-
LChin1	Lago Chinchaycocha frente al distrito de Vicco	365 834	8 787 653	4088	255.50	257.50	240.50	253.60
LChin2	Lago Chinchaycocha, al suroeste de Carhuamayo.	373 674	8 786 260	4093	244.90	232.60	233.10	245.60
LChin3	Lago Chinchaycocha, frente al distrito de Vicco	372 387	8 782 875	4095	256.20	252.30	254.60	258.10
LChin4	Lago Chinchaycocha, al oeste de la localidad de Huayre	382 187	8 785 086	4092	264.70	253.50	247.40	252.40
LChin5	Lago Chinchaycocha, suroeste del centro poblado de Chuiro	378 674	8 784 423	4093	261.50	251.90	260.60	230.70
LChin6	Lago Chinchaycocha, centro del lago Chinchaycocha	379 249	8 781 270	4092	274.30	255.30	260.30	257.00
LChin7	Lago Chinchaycocha, al Noroeste del Mirador del Lago	375 616	8 780 462	4095	270.40	255.60	258.50	258.60
LChin8	Lago Chinchaycocha, al Suroeste de la localidad de Huayre	383 321	8 781 592	4092	272.50	257.50	252.80	253.40
LChin9	Lago Chinchaycocha, al Este de Ondores	379 943	8 777 292	4094	267.70	256.80	261.80	259.70
LChin10	Lago Chinchaycocha, al Noroeste de la localidad de Junín	383 683	8 778 048	4095	274.70	255.90	257.10	254.70
RChac1	Río Chacachimpa, frente a la	288 514	8 766 049	4093	347.30	251.20	370.40	343.50
RHual1	Río Hualamayo, a 300m , de la localidad de Ondores	375 416	8 774 213	4071	348.20	354.70	429.20	371.50
RCarh1	Río Carhuamayo, frente a la localidad de Carhuamayo	382 201	8 792 150	4115	338.80	208.40	334.40	309.80
RPoma1	Río Pomahuailin, localidad de Vicco	366 367	8 793 860	4158	325.70	247.00	387.60	309.30

Fuente: Primer, Segundo, Tercer y Cuarto Monitoreo de la Calidad de Agua Superficial del Lago Chinchaycocha, AAA Mantaro.

La estación a analizar será LDupa1 debido a que se encuentra en la desembocadura de la subcuenca. Para la generación de valores entre los años 2003 y 2008 se emplearán los registros colectados por DIGESA en la estación E-9, mientras que para los últimos años 2015 y 2016, a la estación RMant1 de los Monitoreos Participativos de la Calidad del Agua desarrollados por la ANA. Los valores de las estaciones mencionadas se encuentran en el Anexo N° 3.

La elección de estas estaciones como base para generar los datos en la estación LDupa1 se debe principalmente a la cercanía entre ellas, además, que la estación RMant1 tendría las mismas condiciones que la estación E-9 debido a que en el transcurso de esos puntos no se observa ninguna descarga de flujo considerable que pueda generar impactos en la calidad del agua. La ubicación de las estaciones se muestra en la Figura 3.16.



Figura 3.16 Ubicación de las estaciones E-9, RMant1 y LDupa

El dato en común entre las estaciones LDupa1 y RMant1 es el registro del año 2015. Se asumirá que existe una relación proporcional directa entre ambos valores. Con ese factor de proporción, se podrá determinar los valores para los años 2003-2008 tomando como base los valores de los monitoreos de DIGESA de la estación E-9, mientras que para la generación del valor para el año 2016, se tomará de base el Monitoreo Participativo de la Calidad del Agua 2016 en la estación RMant 1. El procedimiento consistirá en la multiplicación entre el factor y los valores de los años mencionados de las estaciones E-9 y RMant1, respectivamente.

En la Figura 3.17 se muestran los valores generados para los años 2003-2008 y 2016 y los registrados en la estación LDupa1 durante los años 2013-2016. En el análisis, solo se podrán emplear estos valores, ya que al no existir una tendencia clara entre los valores, no es posible hallar una tendencia que permita generar registros en el rango 2009-2012. Esta asunción permitirá continuar con la aplicación de la metodología y dará una previa calificación del estado de la calidad de agua en la subcuenca Chinchaycocha.

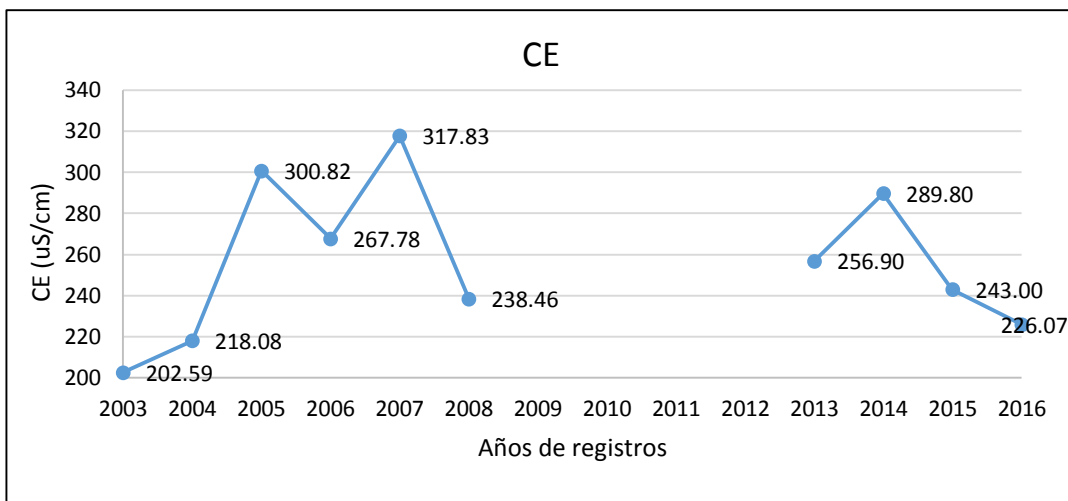


Figura 3.17 CE generado para estación LDUPA1 (uS/cm)

El análisis presentado a continuación, deberá ser verificado cuando se disponga de un registro histórico más largo que cumpla los requisitos de escala temporal de la metodología.

a. Presión

Se considera como promedio anual de la CE en el periodo de largo plazo a los años 2003-2016 y como periodo de estudio, solo a los años 2006-2008. Estos rangos son definidos de esta manera debido a la disponibilidad de información.

En la Tabla 3.16, se muestran los valores de CE que se obtuvieron del análisis.

Tabla 3.16 Promedios de la conductividad anual largo y corto plazo, y la variación relativa entre los 2 periodos

CE Promedio 2003-2016 (umhos/cm)	CE Promedio 2006-2008 (umhos/cm)	Variación Relativa D%
256.133	274.69	7.25%

De acuerdo a la metodología, el valor de calificación sería de 1.0, lo cual indicaría que existe una mejoría en la calidad del agua en los años del rango de estudio. Por lo tanto, se deduciría que se han ido implementando medidas de control y mitigación, esto podría ser respaldado con la aplicación de acciones para mejorar la gestión de agua en base a la Ley de Recursos Hídricos implementada en el año 2009.

b. Estado

En la Tabla 3.16, se presenta el valor del promedio anual de la CE en el largo plazo entre los años 2003 y 2016, el cual corresponde a un valor de 256.13 (umhos/cm, lo cual equivale a un puntaje de 1.0, según los niveles de calificación de la Tabla 2.8. Esta puntuación indica una condición excelente en cuanto a la calidad de agua en el periodo largo.

c. Respuesta

En este indicador, se evalúa la evolución de las inversiones para mejorar la calidad del agua a través de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Si bien, en el indicador de medio ambiente solo se evalúa a la subcuenca Chinchaycocha, en este parámetro, si es posible analizar a todas las subcuencas.

A nivel nacional, se sufre un déficit tanto en la cobertura como en la ejecución del servicio. Existen insuficientes recursos destinados a la operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento, además, se suma al problema, la escasa investigación y desarrollo tecnológico en este sector (SUNASS, 2008).

Este problema se evidencia, en el estudio realizado por la SUNASS en el año 2007, donde se inventariaron 143 PTAR a nivel nacional y se determinó que solo el 29.1% de los 747.3 MMC de aguas residuales recolectadas ingresaron a un sistema de tratamiento. Se concluyó además, que muchas de las PTARs se encuentran con deficiencias operativas y de mantenimiento o descargan directamente a un cuerpo de agua (mar, ríos o lagos), un problema que hasta la actualidad se mantiene en varias de ellas.

El problema en la gestión de las aguas residuales es un hecho que se repite en todas las subcuencas del río Mantaro. El servicio de saneamiento y alcantarillado que brindan las empresas prestadoras de servicios de saneamiento (EPS) presenta un déficit de cobertura ya que cubre a solo algunos distritos de la población de la cuenca (Tabla 3.17). Tal es el caso del río Shullcas, donde se ubica la mayor población urbana de la cuenca (Huancayo y El Tambo), que si bien no presenta contaminación por actividades extractivas como la agricultura y minería, esta se encuentra altamente contaminada debido a que se vierten los desechos de la población sin ningún control al cauce del río (SENAMHI, 2012).

De las aguas residuales que administran las EPS, solo un porcentaje recibe tratamiento en la cuenca. Para el año 2008, se tiene información de solo 3 PTAR en funcionamiento (Tabla 3.18). Adicionalmente, en el sector de la institución Emapa Pasco se encuentra el proyecto de la PTAR Quiulacocha, este inició en el año 2004 como parte del tratamiento de las aguas residuales de Cerro de Pasco y de la empresa minera Volcan; sin embargo, hasta la fecha de la emisión del informe realizado por SUNASS en el año 2015: "Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicio de saneamiento", la PTAR no entraba en operación.

En el Anexo 4, se presentan los aspectos generales de las EPS Emapa Pasco, EPSASA y EPS Mantaro que se incluye como diagnóstico en este estudio. En general, el estudio sirve como base para poder continuar con la evolución de las capacidades de los gobiernos regionales para poder obtener un mejor tratamiento de las aguas residuales al cubrir una mayor extensión de los volúmenes de aguas residuales generados. De esta forma, mejoran las condiciones de saneamiento de una mayor cantidad de población.

Tabla 3.17 EPS en la cuenca del Mantaro.

Cód EPS	Empresa	Distrito	Clasificación por su tamaño*	Fecha de aprobación de estructura, fórmulas tarifarias y metas de gestión
009	EMAPA PASCO S.A.	Pasco y Vicco	EPS Pequeña	08/11/2013
015	EPSASA	Huanta y Ayacucho	EPS Grande	18/12/2007
021	EMAPA HUANCVELICA S.A.C.	Huancavelica	EPS Pequeña	15/08/2013
042	EPS MANTARO S.A.	Jauja, Yauyos, Sausa, Chupaca, Concepción y 9 de Julio	EPS Mediana	12/07/2012
046	SEDAM HUANCAYO S.A.	Huancayo, El Tambo, Chilca, Huancan Viques y Huacrapuquio	EPS Grande	06/12/2011
050	EMSAPA YAULI	Yauli	EPS Pequeña	12/10/2009

*EPS GRANDE de 4000000 a 10000000 a más conexiones, EPS Mediana de 15000 a 40000 conexiones y EPS Pequeña de 0 a 15000 conexiones

Fuente: (SUNASS, 2015)

Tabla 3.18 Tratamiento de aguas residuales en el año 2008

Cód EPS	PTAR	Localidad	Población Servida	Caudal (l/s)	Capacidad de diseño (l/s)	Tipo de Planta
EPSASA	Aguas Servidas Titora	Huamanga	170 833	249.18	273	2 cámaras de rejillas, 2 desarenadores, 1 medidor Parshal, 2 tanques Imhoff, 2 lagunas de oxidación, 1 batería de 4 unidades de lechos de secado, obras auxiliares y 1 edificio de operación
	Aguas Servidas Huanta	Huanta	29 367	22.23	40	Lagunas de oxidación
EPS MANTARO S.A.	Laguna de Oxidación Carato	Chupaca	17 724	3.16	15.47	Lagunas de oxidación

Fuente: (SUNASS, 2008)

En los estudios del año 2013 y 2015 realizado por la SUNASS, se verifica que existe un aumento de las capacidades de las PTAR en cuanto a los caudales de aguas residuales tratadas y a la cantidad de población servida de agua potable y

alcantarillado (Tablas 3.19 y 3.20). Además, de tener proyectos por parte del Gobierno Regional de Pasco de incorporar una ampliación del sistema de alcantarillado y la construcción de 2 nuevas PTAR. Sin embargo, aún existe falta de inversiones en el tratamiento de aguas servidas para cubrir el resto de los distritos, se calificó a las subcuencas con PTAR (Cunas y Huarpa) con la categoría de Pobres y al resto, Muy Pobres.

Tabla 3.19 Producción de agua potable y aguas residuales en el año 2013

EPS	Conexiones totales		Población Servida		Volumen de aguas residuales (m3)	
	Agua potable	Alcantarillado	Agua potable	Alcantarillado	Volcado	Tratado
EMAPA PASCO S.A.	11 343	11 329	53 284	53 284	1 448 576	0
EPSASA	52 066	46 423	209 588	184 684	10 680 041	10 666 622
EMAPA HUANCVELICA S.A.C.	8024	7569	30 024	28 385	2 105 898	0
EPS MANTARO S.A.	17 565	12 755	68 926	50 082	3 197 019	0
SEDAM HUANCAYO S.A.	15 806	13 547	61 607	56 274	7 573 236	6 307 200
EMSAPA YAULI	3215	2653	10 614	8759	362 778	0

Fuente: (SUNASS, 2013)

Tabla 3.20 Producción de agua potable y aguas residuales en el año 2014

EPS	Localidad	PTAR ⁽¹⁾	Agua Potable	Aguas Residuales	
			Producción Total	Vertidas las alcantarillado	Caudal Promedio de Ingreso a la PTAR
EMAPA PASCO S.A.		Quilacocha ⁽²⁾	-	-	-
EPSASA S.A.	Huanta	Alameda	61	34	40
		Ischpico	-	-	15
	Huamanga (Ayacucho)	Totora	401	305	280
EPS MANTARO S.A.	Jauja	Jauja	81	46.5	45
	Chupaca ⁽³⁾		75	18.5	SIN PTAR
	Concepcion	Concepcion	96	36.5	40

(1) Información verificada hasta el 1 de julio de 2014 (2) La PTAR Quilacocha es parte de un proyecto integral del 2004. Debido a observaciones, el gobierno regional no ha recibido la PTAR, por lo cual no se la ha transferido a la EPS. Hasta la fecha de emisión del informe, esta PTAR aún no entraba en funcionamiento y las aguas residuales eran descargadas sin tratamiento al río San Juan. (3) Chupaca contaba hasta el año 2010 con una PTAR de tecnología de lagunas de oxidación. En ese año, se inició un proyecto de modificación y ampliación de la PTAR, lo que implicó la paralización de su operación. Hasta la verificación realizada en el año 2013, el proyecto todavía no había terminado.

Fuente: (SUNASS, 2015)

3.3.2 Medio ambiente

a. Presión

Es claro que en todo el Perú existe un crecimiento exponencial de la población. La población urbana va en aumento, mientras que por el contrario, la rural va decreciendo. Esta emigración hacia las ciudades ha promovido el incremento de la urbanización de ciertos territorios de la cuenca del Mantaro como las ciudades de Huancayo, Concepción y Chupaca. Esto implica un reto para los gobiernos locales ya que constantemente deben encontrar metodologías para dotar de todos los servicios a la población urbana para evitar problemas sociales y económicos (ALA Mantaro, 2010).

De acuerdo a la metodología, se determinó la superficie agrícola en los años 2006 y 2010 a partir de la información de los censos agrícolas realizados por CENAGRO en 1994 y 2012. Se asumió que la relación población-área agrícola es del tipo lineal, de esa manera, para cada subcuenca, se obtuvo la superficie agrícola considerando como valor conocido en la ecuación a la población para los años 2006 y 2010. La metodología se muestra en el Anexo N° 5. Los valores del índice EPI se muestran en la Figura 3.18. Los valores más positivos indican mayor presión sobre el resto de la vegetación natural en la cuenca, ya que las variaciones de sectores agrícolas y población urbana son de valores positivos por un aumento, mientras que los valores negativos nos indican que se están implementando acciones en beneficio al medio ambiente, ya que la variación entre los indicadores de índice se reducen, debido que las acciones fomentan el incremento de tierras de cobertura natural.

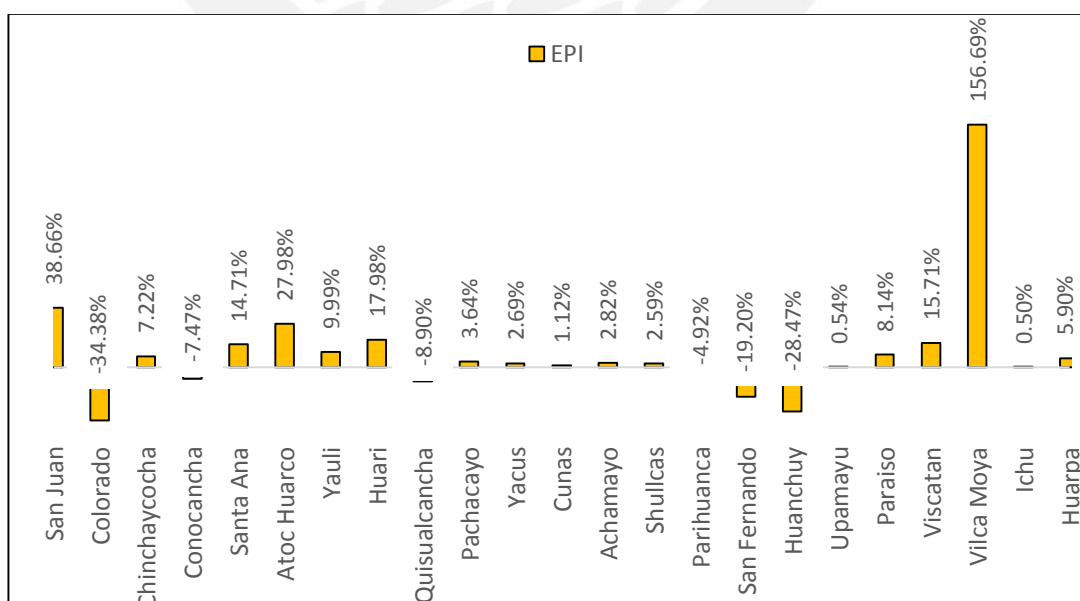


Figura 3.18 EPI de la cuenca en el periodo 2006 y 2010

b. Estado

El Ministerio del Ambiente es la institución encargada de inventariar la gran diversidad de flora y vegetación que el país posee, como tal, esta institución elaboró el Mapa Nacional de Cobertura Vegetal correspondiente al año 2015. Esta información será empleada para calificar a este parámetro, ya que en su elaboración se empleó imágenes satelitales del satélite Landsat 5 del año 2011, año que se asumirá con datos parecidos al último del periodo estudio. Este mapa ofrece información sobre la superficie, características generales y distribución geográfica de los diferentes tipos de cobertura vegetal existente en la cuenca.

En el mapa de la Figura 3.19 se muestra la distribución de la cobertura vegetal en la cuenca del río Mantaro. El tipo de cobertura predominante en la región es el pajonal andino (55.30%), el cual está conformado en su mayoría por herbazales. Esta unidad representa una importante fuente para la actividad ganadera. Sin embargo, en muchos sectores esta cobertura se encuentra degradándose debido al sobrepastoreo, la quema periódica, y principalmente, la ampliación de las superficies agrícolas.

En el Anexo N° 6 se muestran los mapas de cobertura de cada una de las subcuenca. En el análisis de área, todas las variaciones porcentuales superan el 40% que representa el límite para poder otorgar el puntaje de excelente, por lo tanto, todas las subcuencas son calificadas con el puntaje de 1.00, siguiendo los niveles de calificación de la Tabla 2.8.

c. Respuesta

Una de las variables a calificar en este parámetro corresponde a la existencia de áreas protegidas. A diferencia de otras cuencas, la cuenca del río Mantaro si presenta áreas legalmente protegidas por el Estado debido a que abarcan territorios con alto contenido de diversidad biológica, además que son importantes por el interés cultural, paisajístico y científico que representan.

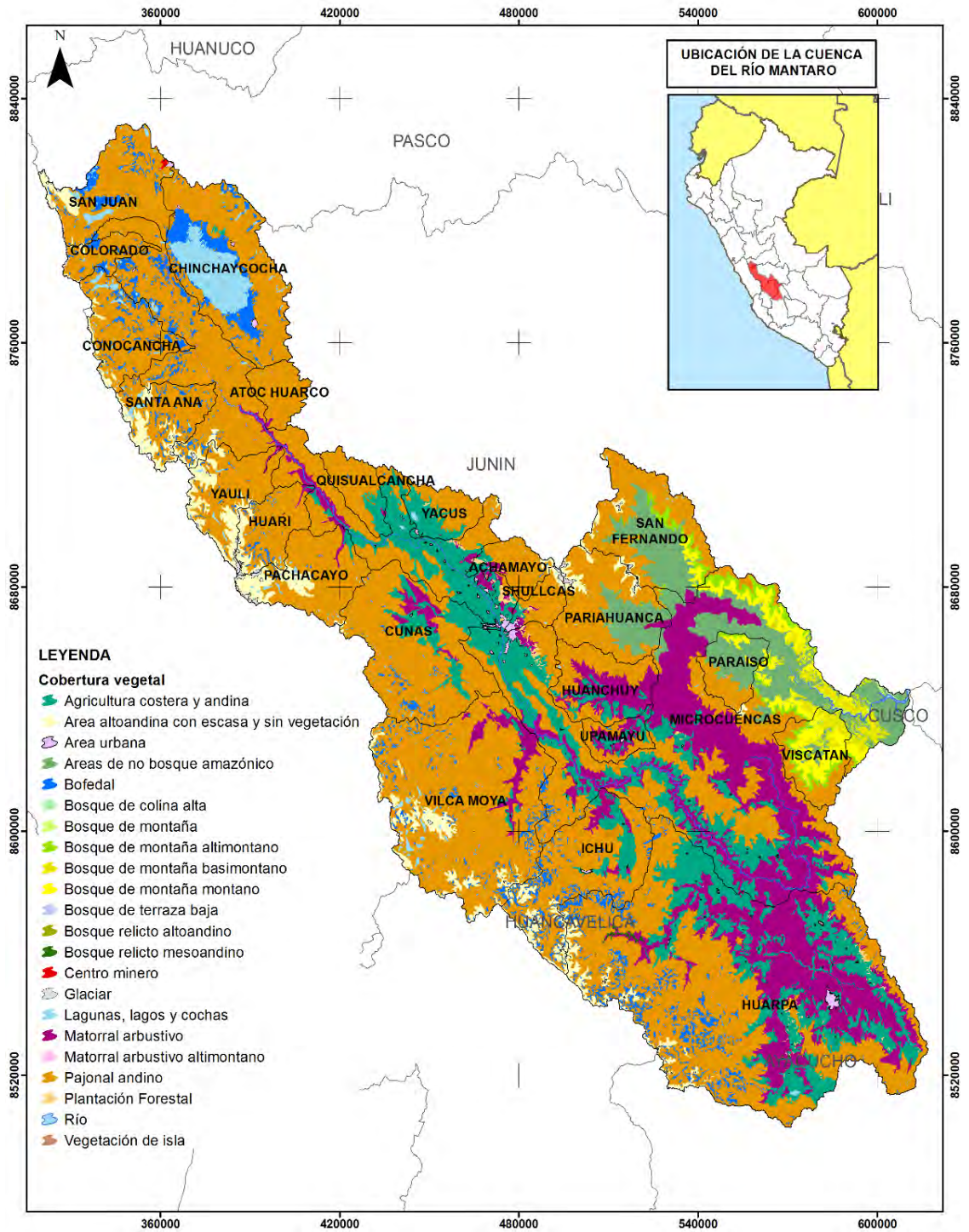


Figura 3.19 Mapa de cobertura vegetal 2011

Fuente: MINAM, 2015b

El Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP) es la entidad encargada de dirigir y establecer los criterios de conservación de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) y de la conservación de la biodiversidad del país. En la Figura 3.20 se presenta el mapa de ubicación de las áreas en protección actualizadas para el 2016 y en la Tabla 3.21, la descripción de cada una de ellas.

La implementación de áreas protegidas en la cuenca se inició en el año 1974; sin embargo, a pesar de haber pasado alrededor de 42 años hasta la actualidad, solo se generaron 3 proyectos más para proteger otras áreas de importancia ambiental y cultural, de estos ninguno se encuentra dentro del periodo de estudio.

La otra variable a calificar son las Buenas Prácticas de Manejo. En nuestro país el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) es el encargado de velar por la ejecución de estas prácticas. Esta institución aprobó el reglamento referido al Registro de Buenas Prácticas Ambientales en el 2014. Este tiene la finalidad de propiciar de difusión de las buenas prácticas realizadas por los administrados que cumplen sus obligaciones ambientales y se encuentren bajo la competencia del OEFA. Este es aplicado en las unidades fiscalizables (unidad minera, lote, central, planta, concesión, entre otros) de toda persona natural o jurídica, pública o privada (GESTIÓN, 2014).

Con la evaluación de ambas variables se identifica que durante el periodo de estudio no se hicieron mejoras en cuanto a las áreas protegidas y que la aplicación de las Buenas Prácticas de Manejo inicio su ejecución años después. De este análisis, y comparando con los valores de la Tabla 2.9, se otorgó el puntaje de 0.00 a toda la cuenca.

Tabla 3.21 Sistema de Áreas Naturales Protegidas de la cuenca del Mantaro

Código	Categoría	Creación		Ubicación	Extensión (ha)
		Base Legal	Fecha de Formulación		
Áreas Naturales Protegidas de Administración Nacional					
SN01	Santuario Nacional de Huayllay	D.S. N° 0750-1974-AG	07.08.1974	Pasco	6815.00
SH01	Santuario Histórico Chacamarca	D.S. N° 0750-1974-AG	07.08.1974	Junín	2500.00
RP01	Reserva Paisajista Nor Yauyos-Cochas	D.S. N° 033-2001-AG	01.05.2001	Lima y Junín	221 268.48
RN02	Reserva Nacional de Junín	D.S. N° 0750-1974-AG	07.08.1974	Junín y Pasco	53 000.00
SH02	Santuario Histórico de la Pampa de Ayacucho	D.S. N° 119-1980-AA	14.08.1980	Ayacucho	300.00
Áreas Naturales Protegidas de Administración Regional y Privada					
ACP76	Áreas de Conservación Privada Ilish Pichacoto	R.M. N° 365-2014-MINAM	31.10.2014	Junín	329.26
ACR14	Áreas de Conservación Regional Huaytapallana	D.S. N° 018-2011-MINAM	21.07.2011	Junín	22 406.52

Fuente: SERNANP, Actualizado al 06 abril de 2016

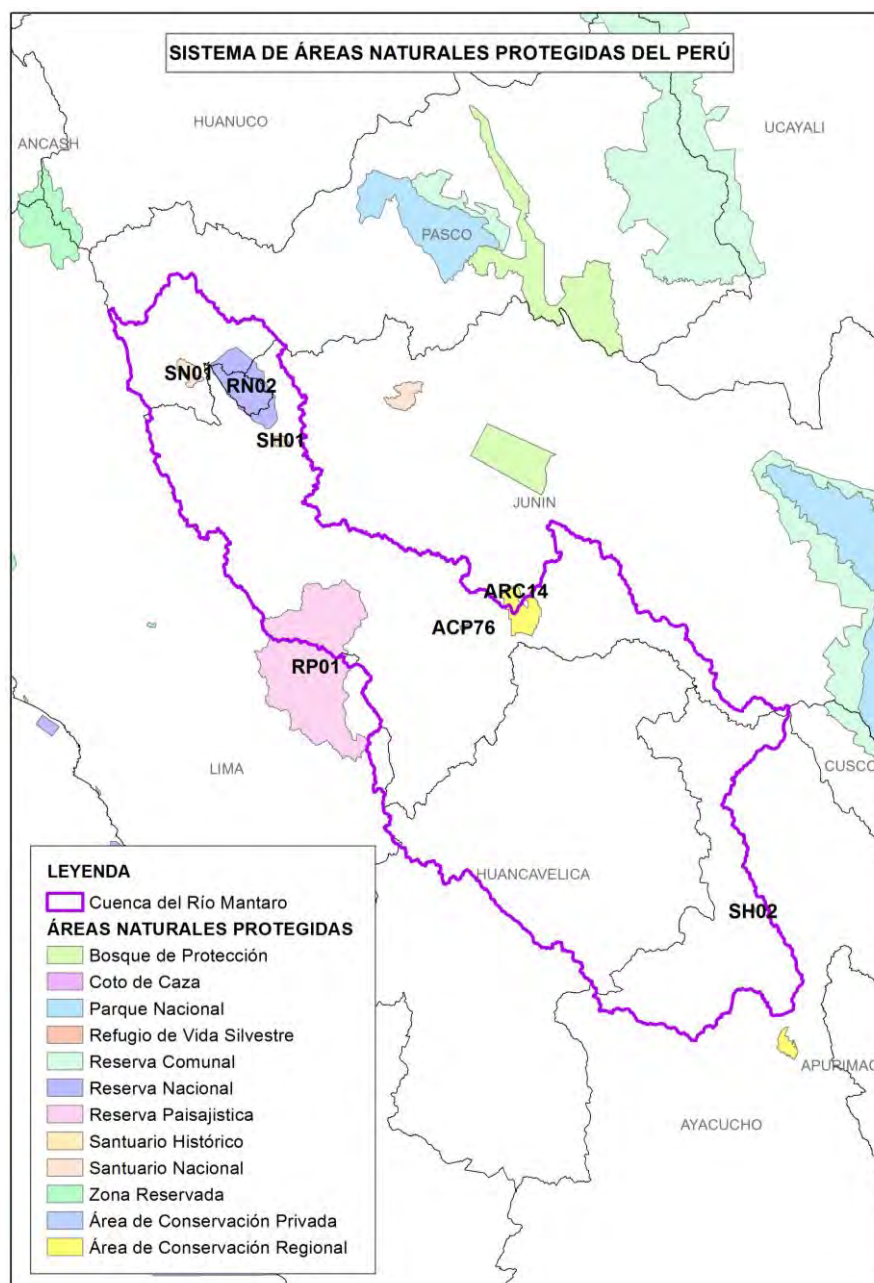


Figura 3.20 Mapa del Sistema de Áreas Naturales Protegidas en la Cuenca del Río Mantaro

Fuente: SERNANP, 2016

3.3.3 Vida

Como ya se mencionó en la metodología, se analizan los años 2007 y 2010 en lugar del periodo de estudio real para determinar cada uno de los componentes del IDH, ya que en la información disponible se nota una clara tendencia de crecimiento. En cuanto a la población se consideró la correspondiente a los años del periodo 2006 y 2010. La información se obtuvo de la base de datos del INEI, en la cual se presenta la cantidad de población desde el 2000 hasta el 2015 en base a proyecciones calculadas a partir de los censos realizados en el 2005 y 2007. En el Anexo N° 7 se

muestran los registros del IDH empleados en el análisis y los valores resultantes de cada subcuenca.

a. Presión

El IDH-ingreso para las subcuencas en estudio fue calculado de manera ponderada considerando la información de los distritos que se encuentran dentro del territorio de la subcuenca. En la Figura 3.21 se muestra la evolución del IDH-Ingreso de las subcuencas.

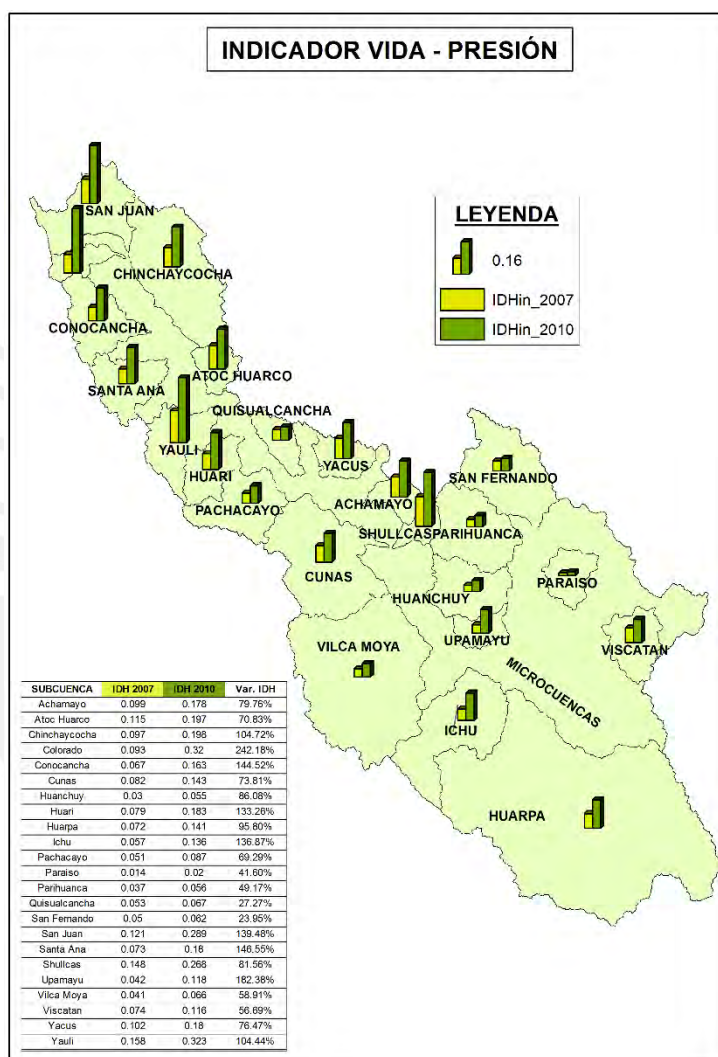


Figura 3.21 IDH-ingreso per cápita para las subcuencas del río Mantaro

b. Estado

Este parámetro mide el IDH correspondiente al último año del periodo de estudio, en este caso el año 2010 (Figura 3.22). Al igual que el parámetro anterior, el valor se calculó por medio de la ponderación entre el valor IDH de cada distrito y la población del mismo.

c. Respuesta

De acuerdo a los valores de IDH obtenidos para los años 2007 y 2010, se procedió a determinar la variación entre ambos años, las cuales se presenta en la Figura (3.22).

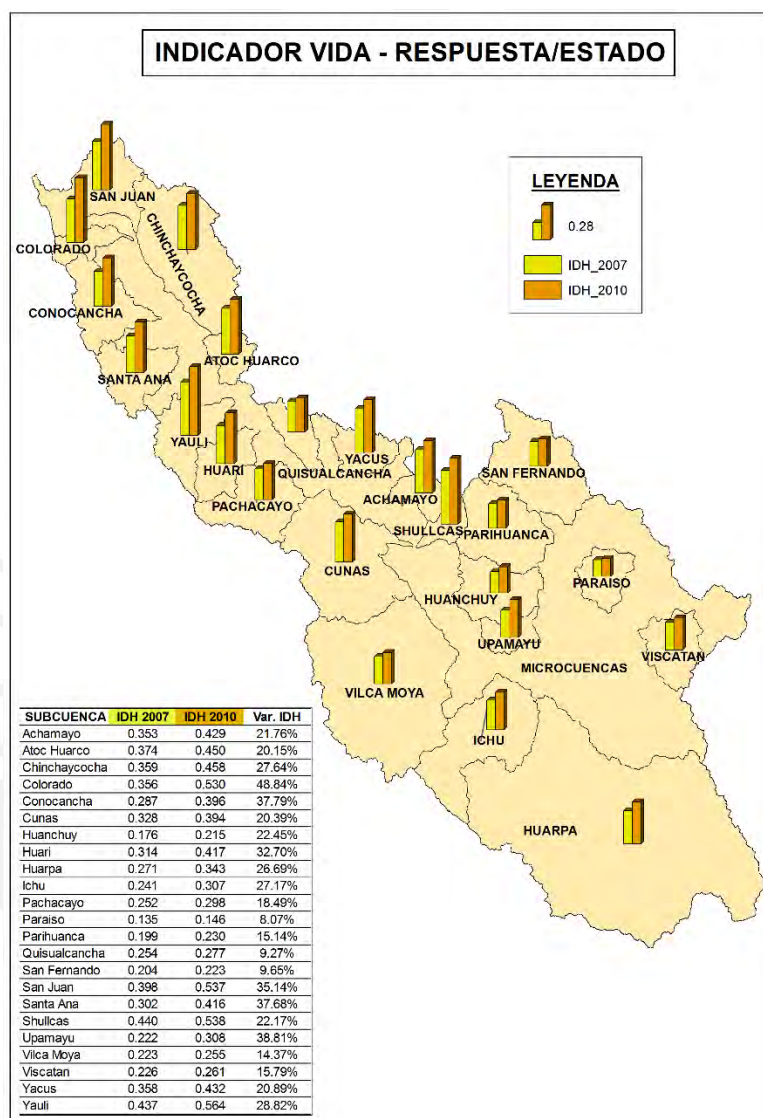


Figura 3.22 IDH para las subcuencas del río Mantaro 2007 y 2010

3.3.4 Políticas públicas

a. Presión

Desde la renovación del IDH en el 2010 a nivel global por la Oficina del Informe sobre Desarrollo Humano, el Índice de Educación a nivel internacional se calcula a través de la media geométrica entre los años promedio de educación de los adultos con 25 años y más (educación pasada) y los años esperados de educación de la población que ingresa al sistema escolar (educación actual) (PNUD Perú, 2013). La Tabla 3.22 presenta el equivalente de los componentes de IDH internacional e IDH nacional para el 2012, se emplearon otras variables debido a que el IDH en el Perú se hace

necesario la desagregación de datos a escala distrital. En el Anexo N° 6 se muestran los registros del IDH empleados en el análisis y los cálculos de los valores de cada subcuenca.

Tabla 3.22 Cuadro comparativo de los IDH-Internacional e IDH-Nacional en el componente de Educación

Componente	Indicador	
	IDH Internacional	IDH Nacional
Logro Educativo (led)	Años promedio de educación	Población de 18 años con educación secundaria completa o más
	Años esperados de escolaridad	Años de educación en la población a partir de 25 años

Fuente: PNUD-Perú (2013)

En la Figura 3.23 se muestra la evolución del IDH-Ed de las subcuencas.

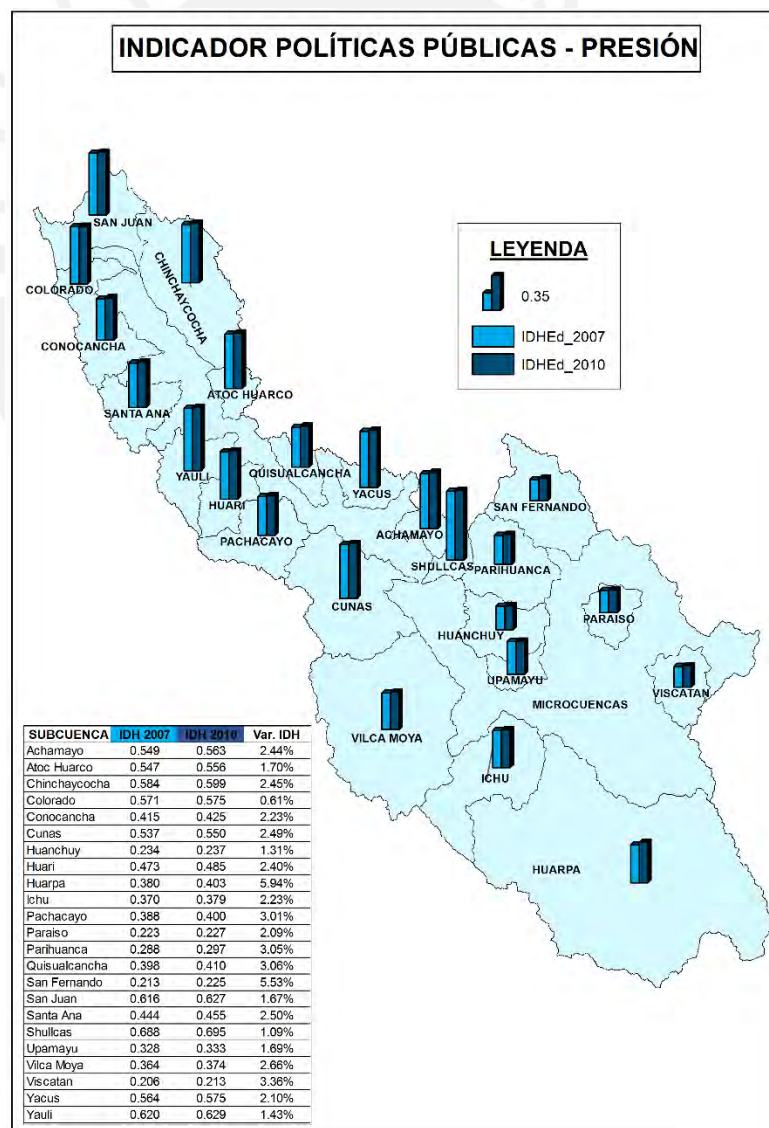


Figura 3.23 IDH-Educación de subcuencas del río Mantaro

b. Estado

Los planes e instrumentos de una GIRH en el Perú se fueron desarrollando a finales del rango de años de estudio (2008) con la creación de la ANA y la implementación de la Ley de Recursos Hídricos en el 2009. A pesar de ello, en la cuenca del Mantaro no se vieron resultados directos de la GIRH en la cuenca y sus actores sino hasta el 2012 en el que se creó el órgano desconcentrado de la AAA Mantaro. Por lo tanto, durante el periodo de estudio se calificaría al parámetro Estado con el nivel Pobre y un puntaje de 0.25, basándose en los niveles de la Tabla 2.8.

Sin embargo, si el concepto de la GIRH a través de la aplicación de la Ley de Recursos Hídricos 29338, se hubiera instaurado antes en el país, la capacidad de las instituciones y autoridades responsables de gestión para alcanzar un desarrollo eficiente y sostenible de los recursos hídricos hubiera tenido un valor mayor de evaluación en el rango de estudio. Actualmente, las instituciones ya tienen capacidades en materia de GIRH, se realizará una evaluación de este entorno para determinar una calificación de este parámetro Estado. En la evaluación cualitativa se tomará en cuenta el Marco Legal, Marco Institucional y Manejo de la Participación.

b.1 Marco legal

Desde el año 1969 Ley General de Aguas hasta la entrada en vigencia de la Ley de Recursos Hídricos en el año 2009, el marco legal se enfocaba principalmente en las organizaciones de usuarios orientadas al uso agrario. En el marco de la actual norma, dichas organizaciones comprenden a los distintos tipos de uso ya que la participación de todos los usuarios es uno de los principios fundamentales en los cuales se sustenta la implementación de la GIRH. El literal 3) del artículo 15° de la Ley de Recursos Hídricos, establece que es función de la ANA dictar normas y establecer procedimientos para asegurar la gestión integral y sostenible de los recursos hídricos. Como ente rector y máxima autoridad técnico normativo ha emitido un amplio marco legal aplicable a todo el ámbito nacional que permite la planificación del medioambiente y el agua.

Ejecutar Plan Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), coloca al país como el segundo en Sudamérica en poseer un plan de gran magnitud e importancia, después de Brasil. Este plan y los que se vinieron desarrollando posteriormente en las cuencas (PGRHC) colocan al Perú como un país a la vanguardia de la gestión integrada y sostenible de los recursos hídricos. A pesar, de ello aún hace falta instaurar Consejos de Recursos Hídricos de Cuenca como el del río Mantaro.

En el Anexo N° 8 se detalla la normatividad y los instrumentos de gestión con la que se realiza la planificación ambiental y el agua a nivel nacional.

En general, se otorga un puntaje de 0.75, el cual califica a este marco con un nivel de Bueno (Tabla 2.8), debido al continuo desarrollo de la normatividad e instrumentos en nuestro país y su implementación que gradualmente va llegando a cada uno de los usuarios de la cuenca.

b.2 Marco institucional

La cuenca del río Mantaro se encuentra gestionada por la AAA X Mantaro, esta dio inicio a sus actividades en diciembre del 2013 (ANA, 2013). En la Figura 3.24 se muestra la composición de instituciones que incluye este órgano desconcentrado de la ANA: ALA-Pasco, ALA-Mantaro (Huancayo), ALA-Huancavelica y ALA-Ayacucho. Por otro lado, actualmente, se viene reactivando el grupo impulsor para la creación del CRHC interregional Mantaro a través de la AAA X Mantaro y ALA Mantaro con el apoyo de los Gobiernos Regionales de las provincias de Pasco, Junín, Huancavelica y Ayacucho, este proceso implica la participación integral y multisectorial de los actores del grupo impulsor para contar con un plan de gestión de la cuenca del Mantaro que facilite la conexión con el gobierno nacional (ANA, 2016).

Adicionalmente, la cuenca, en el ámbito de sus ALA cuentan con el funcionamiento de Juntas de Usuarios (Tabla 3.23), las cuales tienen a su cargo la distribución del agua entre los usuarios, principalmente agricultores.

Tabla 3.23 Junta de usuarios de la AAA Mantaro

ALA	Nombre de la junta de usuarios	Número de resolución
Pasco	Pasco	005-2007
Mantaro	Junta de Usuarios del Distrito de Riego Mantaro	R.D. N° 043-2014-ANA-AAA X MANTARO
	Junta de Usuarios de la Cuenca del Cunas	R.D. N° 040-2014-ANA-AA X MANTARO
Ayacucho	Junta de Usuarios del Distrito de Riego Ayacucho	R.D. N° 224-2014-ANA-AA X MANTARO
Huancavelica	Junta de Usuarios de Huancavelica	R.D. N° 225-2014-ANA-AA X MANTARO
	Junta de Usuarios del Sector Hidráulico Menor Putaja - Upamayo - Mantaro, Clase B	R.D. N° 065-2015-ANA-DARH

Fuente: Dirección de Administración de los Recursos Hídricos – ANA

La ANA como parte de sus funciones, administra la red tecnológica e institucional de información que sirve como soporte para la toma de decisiones de los actores de la gestión de recursos hídricos. Esta única fuente de información oficial del estado es

Construcción y Saneamiento por el uso doméstico; Salud, por la calidad del agua; Energía y Minas, por la generación de energía eléctrica y el uso del agua en operaciones mineras; Medio Ambiente y sobre la información climática en SENAMHI.

En base a esta información se califica este marco con el puntaje de 0.75 catalogándola con un nivel de Bueno (Tabla 2.8). Esta caracterización se debe a que el estado peruano tiene en su legislación diferentes instituciones para una adecuada gestión del agua. La ANA es la principal institución con la autonomía para tratar los temas del agua y dirigir su gestión en conjunto con el resto de las instituciones gubernamentales.

b.3 Manejo de la participación

En la fase de elaboración del PNRH correspondiente al año 2012, se desarrollaron 14 Talleres Regionales en cada una de las AAA. El Taller Regional AAA Mantaro fue el octavo y se llevó a cabo en la ciudad de Huancayo el 15 de junio de 2012. La ANA puso a disposición un resumen del taller para que todos los usuarios pueda tener conocimiento acerca de las conclusiones que se llegaron, este se presenta en el Anexo N° 8.

El objetivo fue fortalecer el rol de cada uno de los actores en la GIRH. Los participantes se agruparon en los 4 grupos de actores de gestión definidos en el SNGRH, tal como se muestra en la Figura 3.25.

USUARIOS	OPERADORES	REGULADORES	NORMATIVOS
<ul style="list-style-type: none"> • Empresas hidroeléctricas • Mineras • Comunidades campesinas • Usuarios poblacionales 	<ul style="list-style-type: none"> • Empresas de saneamiento • Juntas de usuarios de riego • Comision de regantes 	<ul style="list-style-type: none"> • Fiscalizan y supervisan las labores de los operadores • EPS →SUNASS • JASS→Municipalidad • ComRegantes→ALA 	<ul style="list-style-type: none"> • Instituciones publicas vinculadas con la emision de normas y leyes

Figura 3.25 Actores de la GIRH

Entre las conclusiones y retos que dejo este taller se señala que existe la predisposición de los actores a establecer mayores procesos participativos, a través del diálogo y colaboración. También, los participantes indican que este tipo de eventos no tienen una adecuada frecuencia, pero reconocen que su realización es de vital importancia en la toma de decisiones para la formulación de leyes y mejoras en la gestión.

Los Normativos tienen el reto de presentar las normas consultadas con el resto de actores y de acuerdo a la realidad de la zona. A los usuarios, se les encomendó realizar un uso eficiente y racional del recurso agua y, en cuanto a los comités, comisiones y juntas, mayor formalización en los derechos de uso de agua y pago de tarifas. Los reguladores tienen el compromiso de promover espacios de capacitación para los usuarios en cuanto a la aplicación de las leyes. Por último, a los operadores se les comprometió con garantizar el acceso al agua en la cantidad, calidad y oportunidad adecuada.

Debido a que este tipo de taller donde se incluye la participación de todos los agentes de la cuenca solo se ha realizado una vez, se puede llegar a la conclusión, de que el nivel de desarrollo de este marco participativo aún no se ha consolidado. Por ello, el puntaje que se otorga es de 0.50, en relación a los niveles de la Tabla 2.8.

Con los puntajes de los 3 marcos del parámetro estado, se aplica la fórmula (3.5) para calificarlo. El resultado se presenta a continuación:

$$\frac{0.75 + 0.75 + 0.50}{3} = 0.66$$

Este puntaje calificaría a la actual capacidad institucional y legal en temas de gestión del agua con un nivel de Bueno.

c. Respuesta

En este indicador se califica el progreso de las inversiones en el manejo integrado de los recursos hídricos. La cantidad monetaria invertida en cada una de las subcuencas se obtuvo de un recuento de los Proyectos de Inversión Pública de la base de proyectos del SNIP. Para cuantificar los valores en la GIRH se consideró los estudios en situación de Viables en todos sus niveles (Perfil, Pre-Factibilidad y Factibilidad) en el sector agrario (infraestructura hidráulica) y servicios de saneamiento.

En la Figura 3.26, se muestra la evolución de las inversiones durante los años 2006 y 2010 en temas de agricultura. Este sector incluye la inversión en la construcción y/o mejoramiento de infraestructura hidráulica como canales de riego, reservorios y bocatomas; instalación de riego por aspersión y sistema de riego tecnificado; y, capacitación de las juntas de usuarios. La variación en los años 2006-2010 no muestra una tendencia notable incluso para algunos años no se tiene registros de alguna inversión realizada.

Por otro lado, en la Figura 3.27, se presentan las inversiones en las subcuencas en servicios de saneamiento. Estos servicios involucran la construcción, el mejoramiento y ampliación de los sistemas de agua potable y alcantarillado, asimismo, la creación de reservorios para agua potable y la instalación de sistemas de evacuación de aguas

pluviales en las calles. Se aprecia que los valores son mayores a lo invertido en el sector agrícola. En general, no se muestra alguna tendencia creciente en las inversiones.

En la Figura 3.28, se muestra la inversión total realizada por los gobiernos regionales y locales en ámbitos del sector agrícola y en la dotación de servicios de saneamiento a la población.



INVERSIONES EN S/. EN EL SECTOR AGRÍCOLA 2006-2010

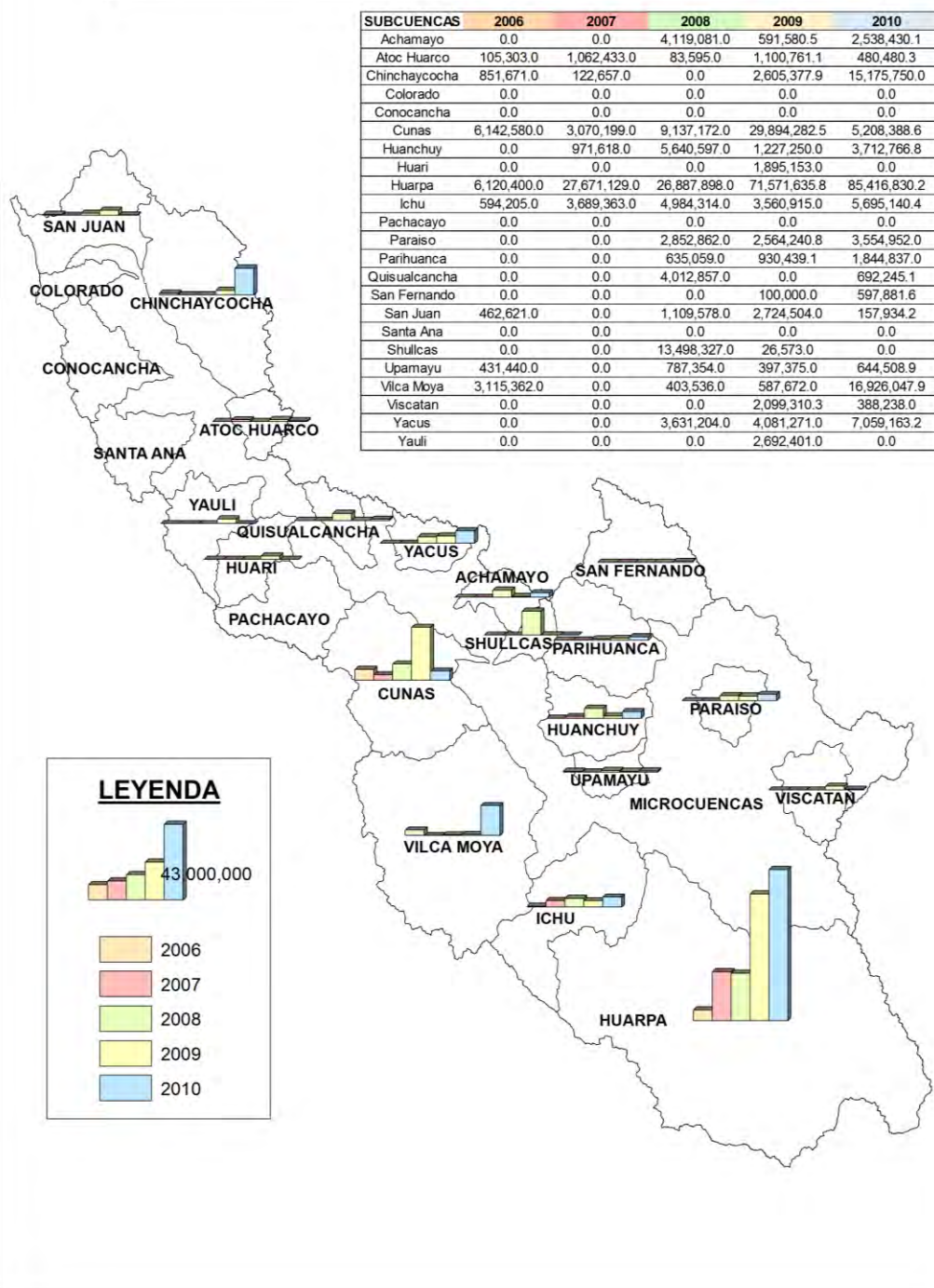


Figura 3.26 Inversiones en el sector agrícola 2006-2010

Fuente: SNIP

INVERSIONES EN S/. EN SERVICIOS DE SANEAMIENTO 2006-2010

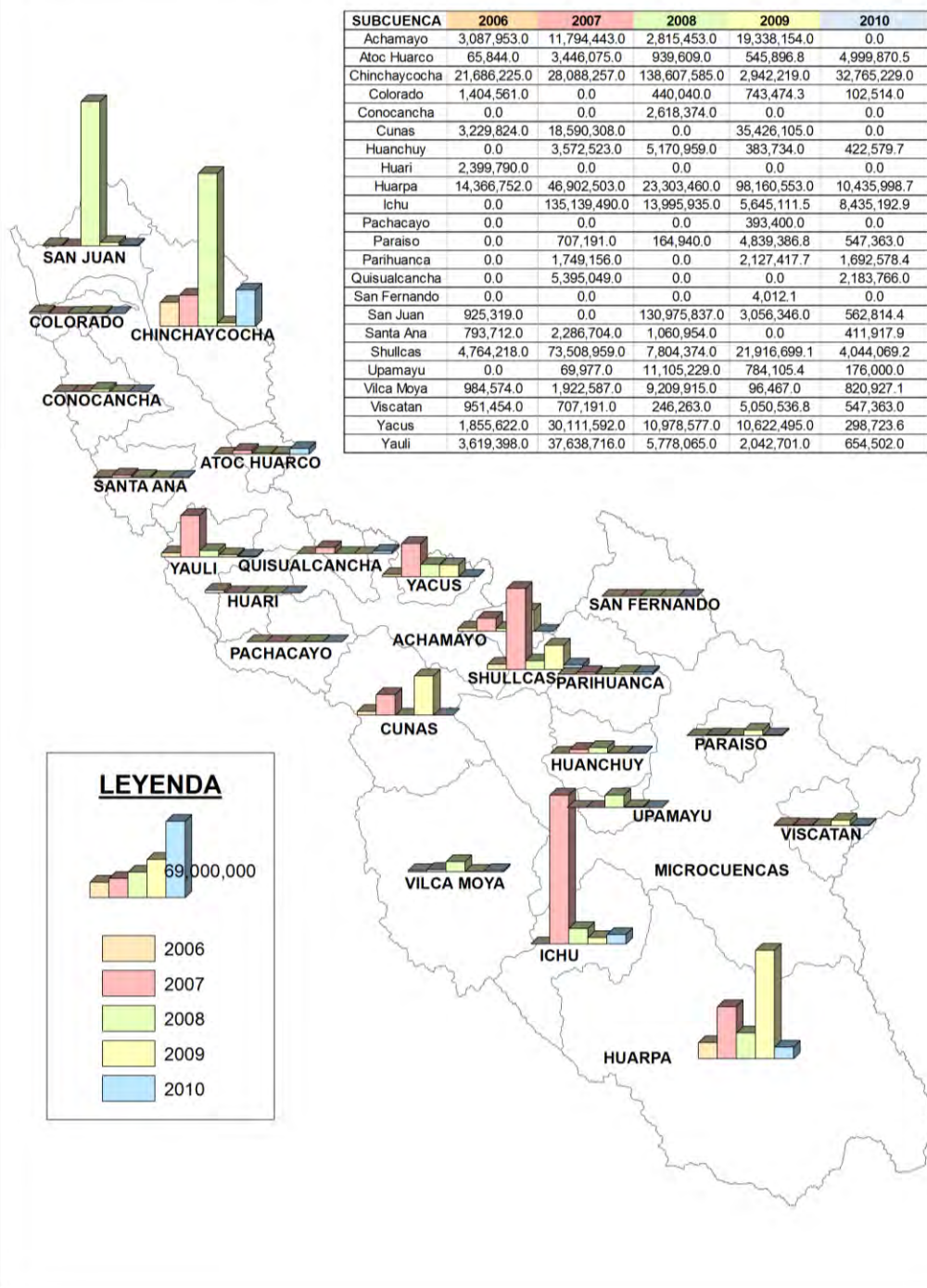


Figura 3.27 Inversiones en servicios de saneamiento 2006-2010

Fuente: SNIP

INVERSIONES EN S/. EN GIRH 2006-2010

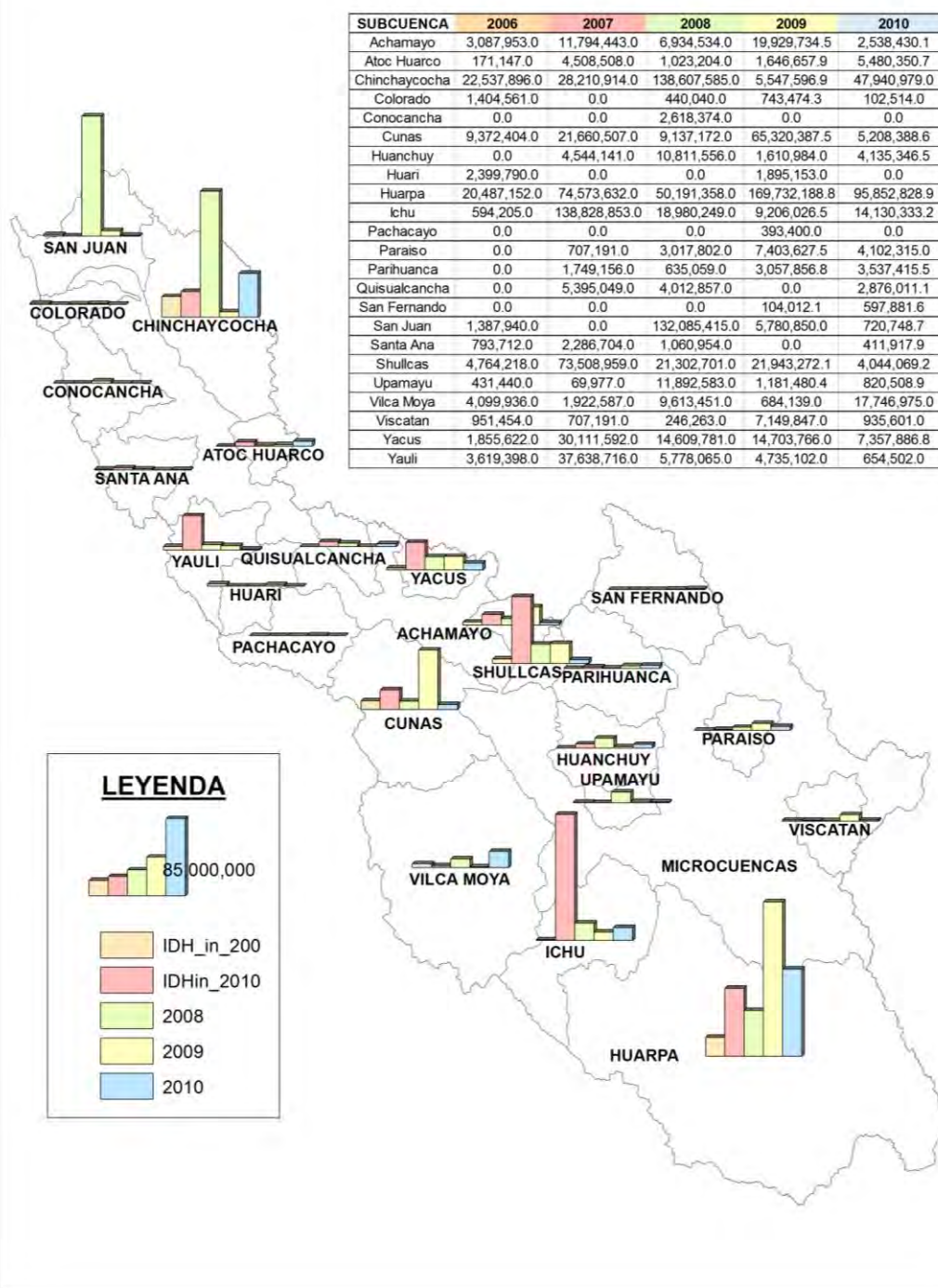


Figura 3.28 Inversiones en GIRH (agricultura y saneamiento) 2006-2010

En la Tabla 3.24, se presentan las variaciones porcentuales entre los años iniciales y finales del periodo en el que se recopiló la información de la cantidad de inversiones, y los puntajes obtenidos al evaluar las variaciones porcentuales de acuerdo a los rangos de la Tabla 2.9:

Tabla 3.24 Evolución en la inversión en GIRH (%)

Subcuenca	Δ		Subcuenca	Δ	
	Inversiones en GIRH	Puntaje		Inversiones en GIRH	Puntaje
San Juan	-48.07%	0.0	Achamayo	-17.80%	0.25
Colorado	-92.70%	0.0	Shullcas	-15.12%	0.25
Chinchaycocha	112.71%	1.0	Parihuanca	102.24%	1.0
Conocancha	S/D	0.0	San Fernando	S/D	0.0
Santa Ana	-48.10%	0.25	Huanchuy	-9.00%	0.25
Atoc Huarco	3102.13%	1.0	Upamayu	90.18%	1.0
Yauli	-81.92%	0.0	Paraiso	480.09%	1.0
Huari	-100.00%	0.0	Viscatan	-1.67%	0.5
Quisualcancha	-46.69%	0.0	Vilca Moya	332.86%	1.0
Pachacayo	S/D	0.0	Ichu	2278.02%	1.0
Yacus	296.52%	1.0	Huarpa	367.87%	1.0
Cunas	-44.43%	0.0			

S/D: Subcuencas sin datos

Al igual que el parámetro de Estado, aún en este rango de años no se podría visualizar concretamente el efecto de la aplicación de la GIRH por la instauración de la LRH.

Actualmente, con la aplicación de la ley se introduce otro mecanismo que permite obtener ingresos para el desarrollo de una mejor gestión de los recursos hídricos, denominado Retribución Económica. La ANA a través de la Dirección de Administración de Recursos Hídricos (DARH) determina anualmente el valor de las retribuciones por el derecho de uso de agua y por vertimiento de aguas residuales tratadas en fuentes naturales. Lo recaudado en cada cuenca se destina para la formulación de los planes de gestión de la cuenca, desarrollar la gestión y administración de los recursos hídricos en las fuentes productoras de agua y para la GIRH en las cuencas menos favorecidas, además, permite ordenar los derechos de usos, formalizar los vertimientos, promover el usos eficiente del agua y crear una cultura del agua.

En la Figura 3.28 se muestran lo recaudado en la AAA Mantaro durante los años 2014, 2015 y 2016:

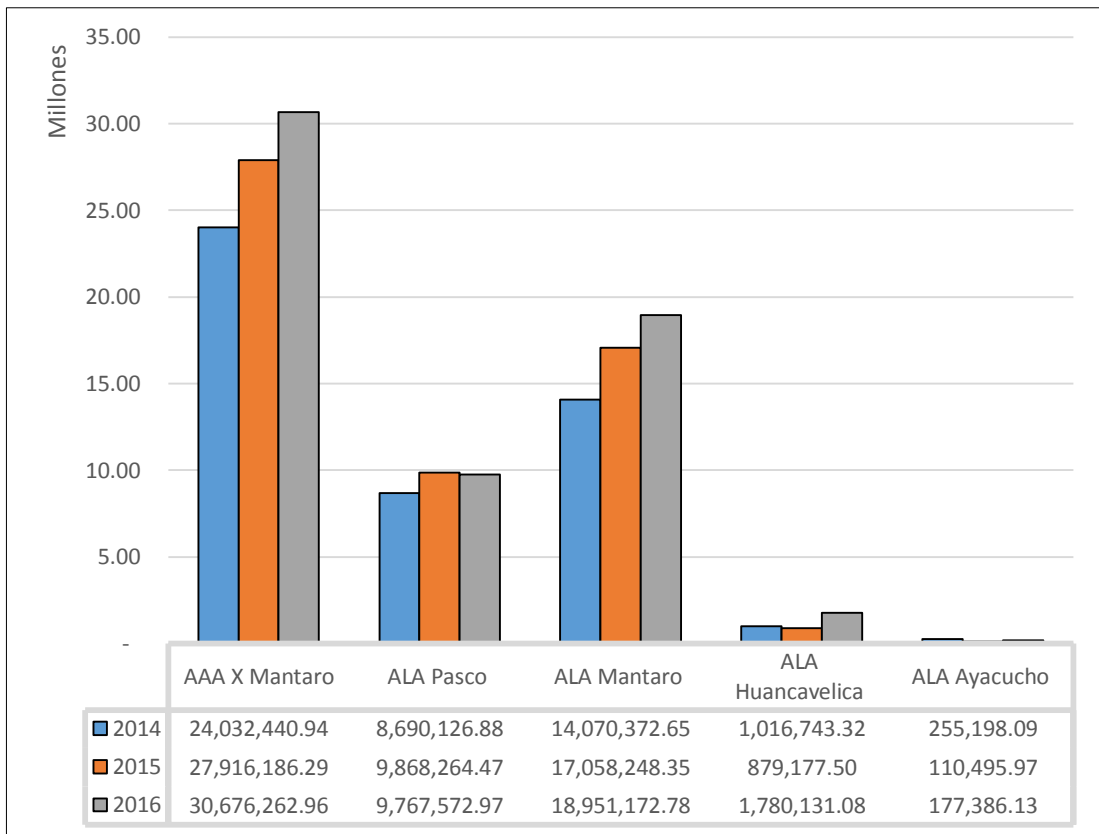


Figura 3.29 Retribuciones económicas en AAA Mantaro

Fuente: DARH-ANA

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Cálculo del Índice de Sostenibilidad en las subcuencas

Con la información presentada en el capítulo anterior, se determinó los puntajes de cada uno de los indicadores para el periodo de estudio entre los años 2006 y 2010, de esta forma, se obtiene el nivel de sostenibilidad de cada indicador WSI para las subcuencas estudiadas.

En la Tabla 4.1, se presentan los resultados de cada uno de los parámetros del indicador hidrología en el aspecto de cantidad de agua. Este análisis se realizó para todas las subcuencas del río Mantaro. Adicionalmente, se presenta el puntaje total de este indicador determinado como el promedio de los 3 parámetros.

Tabla 4.1 Resumen del indicador hidrología - cantidad

Subcuenca	Presión (P)		Estado (E)		Respuesta (R)		(P+E+R)/3
	Nivel	Puntaje	Nivel	Puntaje	Nivel	Puntaje	
San Juan	-21.6%	0.00	18 839.11	1.00	Pobres	0.25	0.42
Colorado	-37.7%	0.00	8208.95	1.00	Muy Pobres	0.00	0.33
Chinchaycocha	-5.2%	0.50	15 995.87	1.00	Medio	0.50	0.67
Conocancha	-37.8%	0.00	118 978.33	1.00	Muy Pobres	0.00	0.33
Santa Ana	-37.8%	0.00	161 188.01	1.00	Muy Pobres	0.00	0.33
Atoc Huarco	-36.6%	0.00	1602.68	0.00	Pobres	0.25	0.08
Yauli	11.7%	1.00	4825.60	0.50	Muy Pobres	0.00	0.50
Huari	-35.9%	0.00	32 559.21	1.00	Muy Pobres	0.00	0.33
Quisualcancha	-34.1%	0.00	49 825.86	1.00	Muy Pobres	0.00	0.33
Pachacayo	-35.5%	0.00	149 046.33	1.00	Muy Pobres	0.00	0.33
Yacus	-34.0%	0.00	2488.70	0.25	Medio	0.50	0.25
Cunas	-34.5%	0.00	7527.22	1.00	Medio	0.50	0.50
Achamayo	-34.7%	0.00	2832.14	0.25	Pobres	0.25	0.17
Shullcas	-34.6%	0.00	330.38	0.00	Pobres	0.25	0.08
Parihuanca	-32.3%	0.00	26 191.34	1.00	Medio	0.50	0.50
San Fernando	-31.1%	0.00	30 840.71	1.00	Pobres	0.25	0.42
Huanchuy	-31.8%	0.00	11 802.92	1.00	Medio	0.50	0.50
Upamayu	-31.0%	0.00	2906.60	0.25	Medio	0.50	0.25
Paraiso	-29.3%	0.00	12 682.46	1.00	Medio	0.50	0.50
Viscatan	-26.9%	0.00	6917.35	1.00	Pobres	0.25	0.42
Vilca Moya	-34.9%	0.00	49 535.94	1.00	Medio	0.50	0.50
Ichu	-34.7%	0.00	4408.72	0.50	Medio	0.50	0.33
Huarpa	-33.3%	0.00	5819.29	0.75	Bueno	0.75	0.50

Asimismo, en la Figura 4.1, se muestra la representación del indicador en los niveles de bajo e intermedio de sostenibilidad para todas las subcuencas de estudio.



Figura 4.1 Nivel de sostenibilidad del indicador hidrología – cantidad

Por otro lado, en la Tabla 4.2, se presenta al indicador hidrología en el aspecto de calidad de agua. En este caso, por la disponibilidad de registros de los monitoreos de calidad de agua realizados en la cuenca del río Mantaro, solo se pudo realizar el análisis en la subcuenca Chinchaycocha en sus parámetros de presión, estado y respuesta.

Tabla 4.2 Resumen del indicador hidrológico – Calidad para la subcuenca Chinchaycocha

Subcuenca	Presión (P)		Estado (E)		Respuesta (R)		(P+E+R)/3
	Nivel	Puntaje	Nivel	Puntaje	Nivel	Puntaje	
Chinchaycocha	7.25%	1.00	256	1.00	Muy pobre	0.00	0.67

Respecto al indicador medio ambiente, en la Tabla 4.3 se presenta el análisis realizado para todas las subcuencas. La disponibilidad de datos para este indicador permite obtener su valor promedio de sostenibilidad.

En la Figura 4.2, se presentan los nivel de los grados de sostenibilidad con lo que cada subcuenca se caracterizaría en el indicador medio ambiente.

Tabla 4.3 Resumen del indicador medio ambiente

Subcuenca	Presión (P)		Estado (E)		Respuesta (R)		(P+E+R)/3
	Nivel	Puntaje	Nivel	Puntaje	Nivel	Puntaje	
San Juan	38.66%	0.00	93.55%	1.00	0.00%	0.00	0.33
Colorado	-34.38%	1.00	96.73%	1.00	0.00%	0.00	0.67
Chinchaycocha	7.22%	0.50	75.20%	1.00	0.00%	0.00	0.50
Conocancha	-7.47%	1.00	94.80%	1.00	0.00%	0.00	0.67
Santa Ana	14.71%	0.25	96.16%	1.00	0.00%	0.00	0.42
Atoc Huarco	27.98%	0.00	99.63%	1.00	0.00%	0.00	0.33
Yauli	9.99%	0.50	96.45%	1.00	0.00%	0.00	0.50
Huari	17.98%	0.25	97.03%	1.00	0.00%	0.00	0.42
Quisualcancha	-8.90%	1.00	78.64%	1.00	0.00%	0.00	0.67
Pachacayo	3.64%	0.75	93.69%	1.00	0.00%	0.00	0.58
Yacus	2.69%	0.75	56.05%	1.00	0.00%	0.00	0.58
Cunas	1.12%	0.75	83.50%	1.00	0.00%	0.00	0.58
Achamayo	2.82%	0.75	86.54%	1.00	0.00%	0.00	0.58
Shullcas	2.59%	0.75	83.96%	1.00	0.00%	0.00	0.58
Parihuanca	-4.92%	1.00	98.40%	1.00	0.00%	0.00	0.67
San Fernando	-19.20%	1.00	99.28%	1.00	0.00%	0.00	0.67
Huanchuy	-28.47%	1.00	85.29%	1.00	0.00%	0.00	0.67
Upamayu	0.54%	0.75	76.96%	1.00	0.00%	0.00	0.58
Paraiso	8.14%	0.50	99.51%	1.00	0.00%	0.00	0.50
Viscatan	15.71%	0.25	99.96%	1.00	0.00%	0.00	0.42
Vilca Moya	156.69%	0.00	97.14%	1.00	0.00%	0.00	0.33
Ichu	0.50%	0.75	87.59%	1.00	0.00%	0.00	0.58
Huarpa	5.90%	0.50	77.60%	1.00	0.00%	0.00	0.50



Figura 4.2 Nivel de sostenibilidad del indicador medio ambiente

De la misma manera, debido a la disponibilidad de datos , en la Tabla 4.4 se resume los resultados del indicador vida para todas las subcuencas del río Mantaro, así como los valores determinados para cada uno de los parámetros del indicador.

Tabla 4.4 Resumen del indicador vida

Subcuenca	Presión (P)		Estado (E)		Respuesta (R)		(P+E+R)/3
	Nivel	Puntaje	Nivel	Puntaje	Nivel	Puntaje	
San Juan	139.48%	1.00	0.54	0.25	35.14%	1.00	0.75
Colorado	242.18%	1.00	0.53	0.25	48.84%	1.00	0.75
Chinchaycocha	104.72%	1.00	0.46	0.00	27.64%	1.00	0.67
Conocancha	144.52%	1.00	0.40	0.00	37.79%	1.00	0.67
Santa Ana	146.55%	1.00	0.42	0.00	37.68%	1.00	0.67
Yauli	104.44%	1.00	0.56	0.25	28.82%	1.00	0.75
Atoc Huarco	70.83%	1.00	0.45	0.00	20.15%	1.00	0.67
Huari	133.26%	1.00	0.42	0.00	32.70%	1.00	0.67
Quisualcancha	27.27%	1.00	0.28	0.00	9.27%	0.50	0.50
Pachacayo	69.29%	1.00	0.30	0.00	18.49%	0.75	0.58
Yacus	76.47%	1.00	0.43	0.00	20.89%	1.00	0.67
Cunas	73.81%	1.00	0.39	0.00	20.39%	1.00	0.67
Achamayo	79.76%	1.00	0.43	0.00	21.76%	1.00	0.67
Shullcas	81.56%	1.00	0.54	0.25	22.17%	1.00	0.75
Parihuanca	49.17%	1.00	0.23	0.00	15.14%	0.75	0.58
San Fernando	23.95%	1.00	0.22	0.00	9.65%	0.50	0.50
Huanchuy	86.08%	1.00	0.22	0.00	22.45%	1.00	0.67
Upamayu	182.38%	1.00	0.31	0.00	38.81%	1.00	0.67
Paraiso	41.60%	1.00	0.15	0.00	8.07%	0.50	0.50
Viscatan	56.69%	1.00	0.26	0.00	15.79%	0.75	0.58
Vilca Moya	58.91%	1.00	0.25	0.00	14.37%	0.75	0.58
Ichu	136.87%	1.00	0.31	0.00	27.17%	1.00	0.67
Huarpa	95.80%	1.00	0.34	0.00	26.69%	1.00	0.67

En la Figura 4.3, se presenta el nivel de sostenibilidad total del indicador vida, con los resultados promedios obtenidos, todas las subcuencas se encuentran en un nivel intermedio de sostenibilidad.



Figura 4.3 Nivel de sostenibilidad del indicador vida

En cuanto al indicador de políticas públicas, del mismo modo por el acceso a los datos para realizar análisis de todas las subcuencas en sus tres parámetros, se determina el nivel de sostenibilidad para el indicador, según se muestra en la Tabla 4.5

Tabla 4.5 Resumen del indicador políticas públicas

Subcuenca	Presión (P)		Estado (E)		Respuesta (R)		(P+E+R)/3
	Nivel	Puntaje	Nivel	Puntaje	Nivel	Puntaje	
San Juan	1.67%	0.75	Pobre	0.25	-48.07%	0.00	0.33
Colorado	0.61%	0.75	Pobre	0.25	-92.70%	0.00	0.33
Chinchaycocha	2.45%	0.75	Pobre	0.25	112.71%	1.00	0.67
Conocancha	2.23%	0.75	Pobre	0.25	-	0.00	0.33
Santa Ana	2.50%	0.75	Pobre	0.25	-48.10%	0.25	0.42
Atoc Huarco	1.70%	0.75	Pobre	0.25	3102.13%	0.00	0.33
Yauli	1.43%	0.75	Pobre	0.25	-81.92%	0.00	0.33
Huari	2.40%	0.75	Pobre	0.25	-100.00%	0.00	0.33
Quisualcancha	3.06%	0.75	Pobre	0.25	-46.69%	0.00	0.33
Pachacayo	3.01%	0.75	Pobre	0.25	-	0.00	0.33
Yacus	2.10%	0.75	Pobre	0.25	296.52%	1.00	0.67
Cunas	2.49%	0.75	Pobre	0.25	-44.43%	0.00	0.33
Achamayo	2.44%	0.75	Pobre	0.25	-17.80%	0.25	0.42
Shullcas	1.09%	0.75	Pobre	0.25	-15.12%	0.25	0.42

Subcuenca	Presión (P)		Estado (E)		Respuesta (R)		(P+E+R)/3
	Nivel	Puntaje	Nivel	Puntaje	Nivel	Puntaje	
Parihuanca	3.05%	0.75	Pobre	0.25	102.24%	1.00	0.67
San Fernando	5.53%	0.75	Pobre	0.25	-	0.00	0.33
Huanchuy	1.31%	0.75	Pobre	0.25	-9.00%	0.25	0.42
Upamayu	1.69%	0.75	Pobre	0.25	90.18%	1.00	0.67
Paraiso	2.09%	0.75	Pobre	0.25	480.09%	1.00	0.67
Viscatan	3.36%	0.75	Pobre	0.25	-1.67%	0.50	0.50
Vilca Moya	2.66%	0.75	Pobre	0.25	332.86%	1.00	0.67
Ichu	2.23%	0.75	Pobre	0.25	2278.02%	1.00	0.67
Huarpa	5.94%	0.75	obre	0.25	367.87%	1.00	0.67

Además, en la Figura 4.4 se muestran gráficamente los niveles de sostenibilidad que caracterizarían a las subcuencas. Los niveles alcanzados son un grado bajo e intermedio de sostenibilidad.

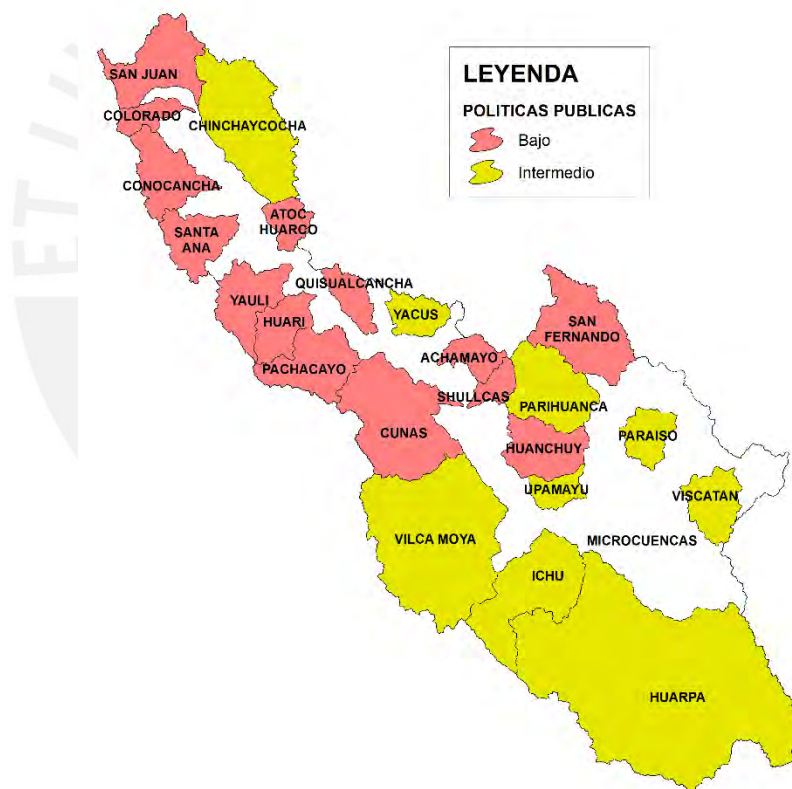


Figura 4.4 Nivel de sostenibilidad del indicador políticas públicas

Finalmente, como se indicó al inicio, debido a la disponibilidad de información puntual a nivel de subcuencas, no se logró determinar el nivel total de sostenibilidad en conjunto de los indicadores de hidrología, medio ambiente, vida y políticas públicas. Ello a excepción de la subcuenca Chinchaycocha que tomando en consideración la información disponible y algunas asunciones, se logró determinar el nivel de

sostenibilidad total de la cuenca dando como resultado un valor de 0.63. El resumen de los valores y puntajes otorgados en cada indicador se presentan en la Tabla 4.6.

En general, el parámetro que presenta una deficiencia es el de respuesta, tanto en el indicador de hidrología- calidad de agua como en el de medio ambiente. Con ello, se identifica que aún no existen buenas prácticas para la conservación de los recursos por parte de la sociedad ni autoridades. Las acciones en materia de tratamiento y calidad de agua se encuentran en un pobre desarrollo y no se cuentan con áreas protegidas a pesar de ser un ecosistema muy valioso para la cuenca del Mantaro ya que posee gran diversidad de flora y fauna, en especial la vida acuática en el lago. Asimismo, se encuentra una deficiencia en el IDH de la subcuenca, si bien existe un crecimiento en el rango de estudio, los valores se encuentran en el nivel más bajo. Con más apoyo de las instituciones gubernamentales de la subcuenca al otorgar mejores oportunidades de desarrollo a la población que la habita, se podrá mejorar la calidad de vida de las personas.

Tabla 4.6 Índice de sostenibilidad de cuencas en la subcuenca Chinchaycocha

Indicador	Presión		Estado		Respuesta		(P+E+R)/3
	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	
Hidrología Cantidad	-5.20%	0.50	15,995.87	1.00	Medio	0.50	H= 0.67
Hidrología Calidad	7.25%	1.00	256	1.00	Muy pobre	0.00	
Medio ambiente	7.22%	0.50	59.67%	1.00	0.00%	0.00	E= 0.50
Vida	104.72%	1.00	0.46	0.00	27.64%	1.00	L= 0.67
Políticas publicas	2.45%	0.75	Pobre	0.25	112.71%	1.00	P= 0.67
Promedio (H+E+L+P)/4	P=	0.75	E=	0.56	R=	0.56	WSI 0.63

Para el resto de subcuencas, se obtuvieron resultados para los indicadores de hidrología – cantidad de agua, medio ambiente, vida y políticas públicas. De esta forma, se logra cuantificar cuantitativa y cualitativamente estos indicadores el resto de subcuencas hidrográficas del río Mantaro. Los resultados del promedio total de subcuencas se presentan en la Tabla 4.7.

En los resultados se observa que existe un déficit de disponibilidad de agua en el rango de estudio para un gran número de subcuencas (Hidrología-cantidad en el parametro presión), además, se presenta un nivel bajo de IDH (Vida en el parámetro estado) . Si bien existe una evolución positiva en el IDH existen subcuencas que poseen un crecimiento más lento y que aún no sobrepasan los umbrales de desarrollo.

Tabla 4.7 Índice de sostenibilidad de las subcuencas en el río Mantaro

MANTARO	Presión	Estado	Respuesta	(P+E+R)/3	
Indicador	Puntaje				
Hidrología Cantidad	0.07	0.76	0.29	H=	-
Hidrología Calidad	-	-	-		
Medio ambiente	0.61	1.00	0.00	E=	0.54
Vida	1.00	0.04	0.89	L=	0.64
Políticas públicas	0.75	0.25	0.41	P=	0.47

4.2 Discusión de resultados Índice de Sostenibilidad WSI

La cuenca del río Mantaro se caracteriza principalmente por poseer áreas agrícolas y mineras. Para un mejor entendimiento del nivel de sostenibilidad, el cual está relacionado con el grado de gestión que se ejecuta en la subcuenca, se aplicó el índice WSI por primera vez en la zona de estudio. A su vez, se realizó una subdivisión geográfica en unidades menores denominadas subcuencas para la aplicación del índice. A pesar de ello, no se logró contar con toda la información tanto temporal como puntualmente de todas las subcuencas para el análisis de sostenibilidad.

4.2.1 Comparación de resultados con otras cuencas hidrográficas

En este trabajo, solo se logró obtener el valor total del índice WSI de la subcuenca Chinchaycocha. El valor obtenido es de 0.63 (Tabla 4.6) que califica a la subcuenca con un nivel de sostenibilidad intermedio durante el periodo de 2006-2010. Esta calificación en el rango de sostenibilidad es un valor que caracteriza a las subcuencas ya estudiadas en América, tal como lo muestra la Tabla 4.8.

En comparación con la cuenca que presenta un más alto nivel de sostenibilidad, la cuenca del Río Reventazón presenta una carencia en el indicador de vida (UNESCO, 2008). Si bien, este aspecto no se evidencia en la cuenca del Mantaro, ya que como se observa en la Figura 4.3 todas las subcuencas presentan un nivel intermedio para este indicador, existen asunciones que se tomaron por la falta de información temporal, con lo cual, existe la posibilidad que el análisis no este reflejando la realidad social de la cuenca. Frente a esta similitud, ambas cuencas deben mejorar la periodicidad de desarrollo de censos de población y vivienda para el cálculo de IDH, de esta forma, se podrá desarrollar proyecciones para aplicar este índice en periodos de cada 5 años.

Por otro lado, en cuanto a la comparación con la cuenca de menor puntaje de sostenibilidad, la cuenca del Lago Popó, se evidencia que esta presenta carencias principalmente en el indicador de medio ambiente y políticas públicas (Calizaya, Chaves, Bengtsson, Berndtsson, & Hjorth, 2008). Estos déficits también se ven

reflejados en el contexto de la aplicación del índice para las subcuencas del río Mantaro, tal como se observa en las Figuras 4.2 y 4.4, las cuales presentan algunas subcuencas con valores de sostenibilidad bajos. Estos menores valores también se ven reflejados en el análisis de todas las subcuencas que se presenta en la Tabla 4.8, donde se observa que los valores de menor valor corresponden a los indicadores ya mencionados. Por lo tanto, en ambas zonas de estudio se deberá tener un mayor control de las actividades antropogénicas sobre la cobertura natural de las cuencas, ya que el incremento de los centros urbanos se encuentra en expansión constante. De esta forma, se lograrían mejores niveles de sostenibilidad en el indicador de medio ambiente. En cuanto al indicador de políticas públicas, para los años de estudio definidos en ambos contextos, se evidencia la falta de avances para lograr una gestión integrada de la cuenca. No obstante se debe considerar que los estudios se desarrollaron en años anteriores y cabe la posibilidad de que este aspecto se haya superado mejorando la capacidad institucional en materia de los recursos hídricos, tal como sucedió en la cuenca hidrográfica del Mantaro, ya que como se explica en la sección 2.2.4 del presente trabajo, existen diferentes herramientas tanto legal, técnico como institucional que en la actualidad se viene desarrollando. La gestión desarrollada en el ámbito de los recursos hídricos que se viene ejecutando en el estado peruano puede servir como ejemplo para el resto de naciones.

Tabla 4.8 Comparación de resultados con cuencas hidrográficas similares

Cuenca	País	Periodo de estudio	WSI
Canal de Panamá	Panamá	2001-2005	0.71
Río Reventazón	Costa Rica	2000-2005	0.74
San Francisco Verdadeiro	Brasil	1996-2000	0.65
Tacuarembó	Uruguay	1996-2000	0.62
Lago Poopó	Bolivia	2000-2004	0.43
Lerma-Chapala	México	1995-2010	0.61
Elqui	Chile	2001-2005	0.60

4.2.2 Análisis de los resultados de las subcuencas del río Mantaro

Con los resultados obtenidos tanto para los 4 indicadores fundamentales del índice para la subcuenca Chinchaycocha, como parcialmente para el resto de subcuencas (Indicador hidrología cantidad de agua, medio ambiente, vida y políticas públicas), se podrá tomar mejores decisiones a nivel de la gestión integrada estudiando su evolución en los rangos de años, además, de identificar las falencias en la gestión para coordinar estrategias de mejoras.

a. Indicador hidrología

En el indicador de Hidrología – Cantidad de agua, se obtuvieron valores entre 0.08 y 0.67, los cuales corresponden a las subcuencas Shullcas y Chinchaycocha respectivamente. La calificación de las subcuencas en este indicador corresponde a un nivel entre bajo e intermedio. Estos resultados tienen una gran importancia en cuanto a los usos de agua, ya que califica la disponibilidad del agua en las subcuencas. En la Figura 4.5, 4.6 y 4.7 se muestran los tipos de usos de agua en las tres zonas de la subcuenca: norte, centro y sur.

Se observa que las subcuencas con mayores usos de agua en relación a su extensión son las subcuencas Achamayo y Shullcas (Figura 4.6). En esta predomina el uso agrario; sin embargo, ambas poseen un nivel bajo en el indicador de cantidad de agua. En general, en las subcuencas donde se obtuvieron valores bajos en la disponibilidad hídrica (Figura 4.1), existe una necesidad de poder implementar medidas para mejorar la gestión del agua y así evitar conflictos entre usuarios por los diversos usos.

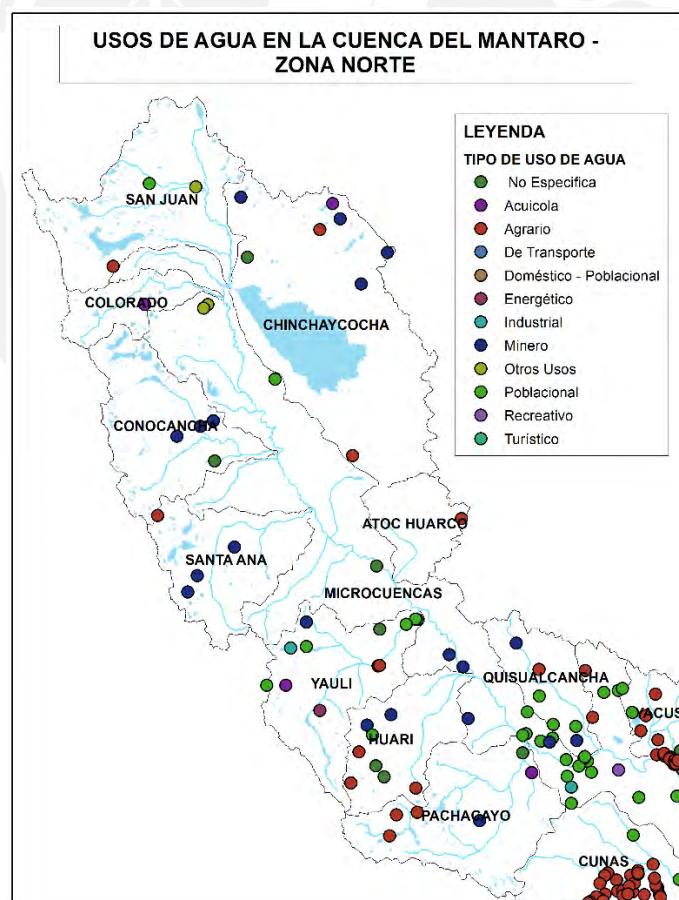


Figura 4.5 Usos de agua en la zona norte de la cuenca del Mantaro
Fuente: DARH – ANA

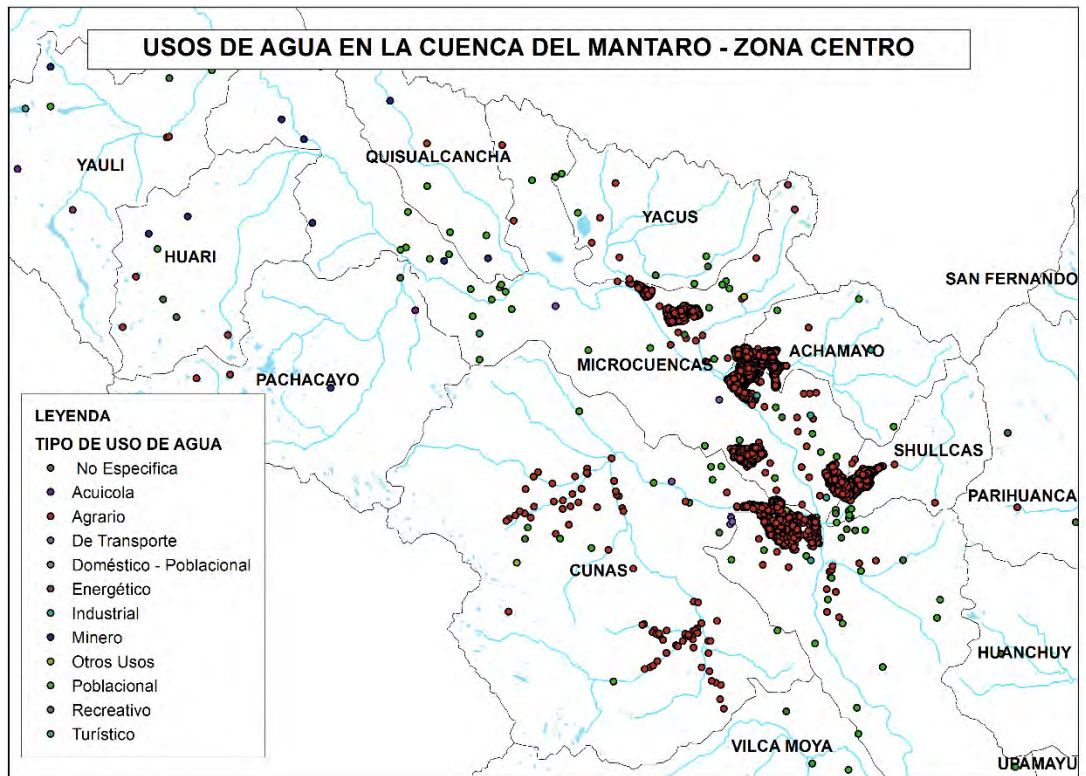


Figura 4.6 Usos de agua en la zona centro de la cuenca del Mantaro

Fuente: DARH - ANA

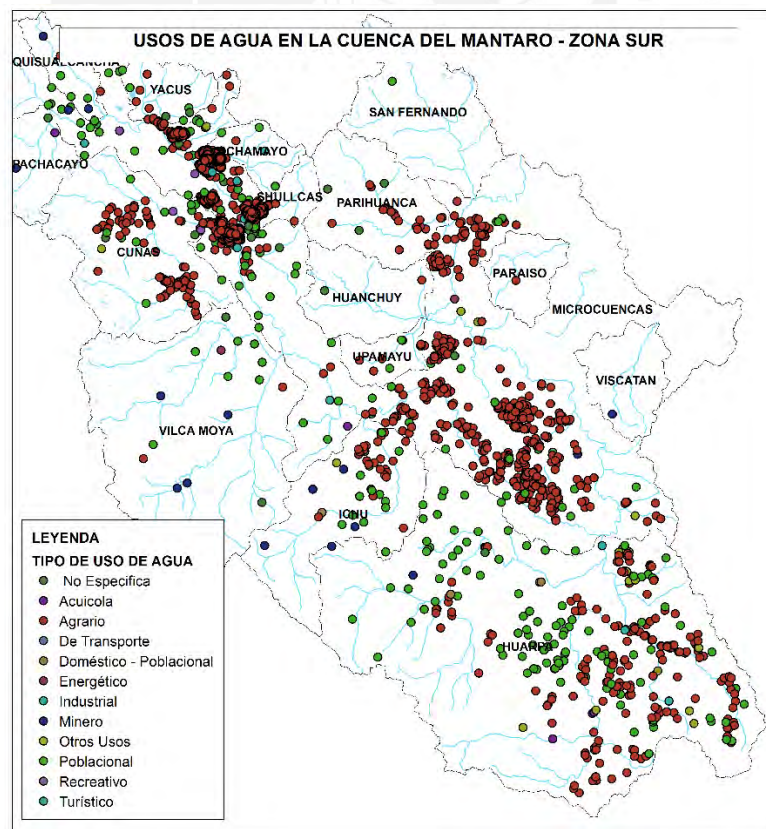


Figura 4.7 Usos de agua en zona sur de la cuenca del Mantaro

Fuente: DARH - ANA

En el indicador de Hidrología – Calidad, la conductividad eléctrica fue el parámetro seleccionado para ser calificado en el WSI, ya que este relaciona la cantidad de sales y metales disueltos existentes en el agua. Sin embargo, no se pudo calificar a todas las subcuencas debido a la falta de información para comparar un periodo histórico con el periodo corte que corresponde a los años de estudio 2006-2010, además, de que los puntos de monitoreo no cubrían a todas las subcuencas del Mantaro. Para el análisis en la subcuenca Chinchaycocha, si bien se consideró el promedio del parámetro solo en la desembocadura del mismo, se sugiere también tener un análisis en el comportamiento interno de la subcuenca. Ello debido a que en casos más específicos, es más importante poder tener un análisis a mayor detalle para identificar las problemáticas del agua. Asimismo, es importante indicar que en los resultados se observó que el comportamiento de la conductividad eléctrica a lo largo de la subcuenca presenta una gran variabilidad, sin embargo, solo se verificó que estas estén dentro de los rangos que definen o no un daño en la salud de las personas. Por otra parte, si se puede tener un conocimiento del nivel en que se encuentra el indicador de Respuesta, ya que se pudo recopilar información de las PTAR existentes en la cuenca. En general, hace falta inversiones en este tipo de proyectos, debido a que no se cubre el tratamiento de las aguas de toda la población de la cuenca.

b. Indicador de medio ambiente

Respecto al indicador de Medio Ambiente, existen valores entre bajos (Subcuencas San Juan, Atoc y Huari) e intermedios (Figura 4.2).

El parámetro Presión es el que diferencia a las subcuencas, debido a que representa el porcentaje de variación del índice EPI y este es propio de cada subcuenca por relacionar las áreas pobladas y las áreas agropecuarias que existe en la zona.

En el parámetro de Estado, se determinó que el porcentaje de vegetación natural en todas las subcuencas supera el 40%. Este resultado muestra que existen grandes áreas de cobertura natural y por ende, un gran número de fauna que debe ser preservado. Además, debido al constante crecimiento poblacional, las áreas urbanas se expendrán cubriendo zonas de áreas naturales, frente a estos cambios, las autoridades deberán planificar estrategias territoriales para así evitar desequilibrios en los ecosistemas. Se identificó que las subcuencas con menor áreas de vegetación natural son Yauli (66%), Cunas (81%), Achamayo (83%), Shullcas (78%), Paraiso (77%) y Viscatan (76%). Lo obtenido en la subcuenca Yauli, refleja que existe en ella una mayor área poblacional, además, de actividades agropecuarias y mineras. En cuanto a las subcuencas de la zona central, los resultados confirman que son los

lugares donde se tiene a la mayor cantidad de población y donde se trabajan mayores extensiones de superficie agrícolas de la subcuenca. En la zona sur, a diferencia de los otros resultados, debido a que estas poseen una menor extensión, las áreas de población y las agrícolas ocupan una mayor porción de su área total pero no refleja necesariamente que en estas exista el mayor número de población ni superficie agrícola.

En el parámetro de Respuesta, todas las subcuencas fueron calificadas con el puntaje de 0, debido a que en el periodo de estudio no existieron proyectos que impulsen la conservación de mayores áreas de naturales.

c. Indicador de vida

Los resultados en el indicador de vida muestran que existe un nivel intermedio en todas las subcuencas, este resultado indica que en toda su extensión la subcuenca del Mantaro tuvo mejoras en el IDH (Figura 4.3). Sin embargo, faltaría realizar monitoreos del IDH a través de censos de población y de vivienda para periodos sucesivos, de esta forma, se lograría corroborar si su mejoramiento es contante, ya que la información analizada fue generada considerando algunas asunciones por la falta de información y podrían afectar el nivel de confiabilidad de los resultados.

d. Indicador de políticas públicas

Finalmente, en el indicador de Políticas Públicas, se obtuvieron resultados entre bajos e intermedios (Figura 4.4).

En el parámetro de Presión, todas las subcuencas obtuvieron un puntaje de Bueno, debido a que las mejoras en el IDH también se reflejan el crecimiento en el IDH-Educación. Respecto al parámetro de Estado, se calificó a todas las subcuencas con el puntaje de Pobre, ya que en el periodo de estudio aún no se implementaba en su totalidad a la ANA y los conceptos de la GIRH. La ANA empezó sus funciones en el año 2008 y la ley de recursos hídricos se implementó recién en el año 2009. Estos eventos importantes en el ámbito de los recursos hídricos sucedieron en los años finales del periodo de estudio. El parámetro de Respuesta, muestra diferentes niveles en las subcuencas, en general, las de mayor extensión territorial (zona sur) presentan mejores evoluciones en la inversión monetaria en el manejo integrado del recurso hídricos que las subcuencas de menor extensión que en su mayoría se ubican en la zona norte y central. Este resultado, además, refleja la falta de inversión por parte de las entidades estatales en cuanto a los sistemas de abastecimiento de agua y alcantarillado, asimismo, la implementación de nuevas tecnologías de riego para tener un consumo más eficiente en las prácticas agrícolas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

5.1.1 Generales

- El WSI como indicador de sostenibilidad de cuenca es un índice integrador y de gran utilidad en la gestión de los recursos del agua y ambiental, ya que incorpora en su análisis factores sociales, económicos y medioambientales. Asimismo, ayuda a identificar los aspectos con falencia en la gestión para luego tomar las acciones necesarias para mejorarla.
- La cuenca del río Mantaro se caracteriza principalmente por su actividad agrícola en toda su extensión, esta abarca alrededor del 15% de su superficie total. En la zona norte, también predominan usos del sector minero y en la parte central, se concentra las ciudades con mayor número de población de la cuenca. La cuenca del Mantaro fue subdivida en subcuencas siguiendo la metodología de análisis del WSI, además, permite identificar los aspectos económicos, sociales y ambientales en los sectores norte, centro y sur de la cuenca.
- Debido a que no se logró contar con la información de calidad de agua para todas las subcuencas, el índice WSI se logró aplicar en sus cuatros indicadores hidrología, medio ambiente, vida y políticas públicas solo a la subcuenca Chinchaycocha. De este análisis se obtuvo, el valor de 0.63 y la califica como una subcuenca con un nivel de sostenibilidad intermedio. En el análisis de la cuenca total del Mantaro, se obtuvieron los valores de 0.54 para el indicador de medio ambiente, 0.64 para el indicador de vida y 0.47 para el de políticas públicas. La cuenca hidrográfica del Mantaro es calificada con un nivel de sostenibilidad intermedio en cuanto a los indicadores de medio ambiente y vida, mientras que para el indicador de políticas públicas como un nivel bajo, ya que en el periodo de análisis se iniciaba la aplicación de la gestión integrada a través de las entidades estatales. De esta forma, al comparar con los resultados de otras cuencas, se identifica que este rango de sostenibilidad intermedio caracteriza a la mayoría de cuencas de América del Sur y Central donde se realizaron estos estudios de sostenibilidad.
- El resultado del índice WSI obtenido está sujeto a varias suposiciones que se realizaron. Para algunos parámetros resultó difícil obtener información por lo que se tuvo que continuar el análisis con información general del sector que no siempre

es coincidente con las subcuencas analizadas. Entre la limitada información, se tuvo que lidiar con la resolución temporal de los datos con los que se contaban ya que estos no incluían al periodo de estudio definido entre los años 2006 y 2010, tal es el caso de la información meteorológica (1965-2005), calidad de agua (2003-2008, 2015 y 2016), censos agrícolas (1994 y 2012) y datos del IDH (2003, 2007, 2010, 2011 y 2012).

- De acuerdo a los supuestos asumidos, las variables de evaluación en los indicadores de medio ambiente (superficie agrícola), vida (población e IDH) y políticas públicas (población e IDH), se obtuvieron a partir de la información de cada uno de los distritos que componen a las subcuencas. Bajo estas suposiciones, los valores no son del todo representativo ya que existen distritos que pertenecen a más de una subcuenca y además la resolución temporal no corresponde al periodo de estudio. En este contexto, en primer lugar, resulta necesario realizar estas actualizaciones (censos de población, vivienda y agrarios) de manera periódica para conocer la variación de esas variables y poder realizar proyecciones más realistas acorde a la realidad social y económica. Por otro lado, la presentación de esta información debería ser de forma espacial ya que de esa forma se puede identificar los sectores que corresponden a cada subcuenca.
- En efecto, se puede concluir que esta herramienta, aplicándola periódicamente en intervalos de 5 años, puede dar una idea de la evolución de la sostenibilidad de la cuenca a lo largo de los años, ayudando a las partes interesadas y a los gestores del agua en la planificación, la toma de decisiones e implementación de estrategias para la región de la cuenca del Mantaro y en específico a sus subcuencas más representativas. Asimismo, también servirá como referencia para que otras subcuencas de la región o del país incorporen este indicador a su gestión.
- Esta tesis presenta la primera aplicación del índice WSI en el país. Las limitaciones de datos, sin embargo, conllevan a algunos parámetros exhiban un nivel de incertidumbre relativamente considerable debido a que no se logró obtener toda la información para el periodo de estudio.

5.1.2 Específicas

a. Hidrología

- Debido a la resolución temporal de datos meteorológicos se asumió como periodo de estudio a los registros entre los años 2001 y 2005, en comparación con el periodo histórico definido entre los 1965 y 2005. En el análisis, se obtiene que

existe una cierta disminución de los recursos hídricos debido a que este parámetro de presión únicamente depende de variables climáticas. Conocer que existe una tendencia de reducción, corrobora que existirá un cambio en la disponibilidad de agua, el cual debe ser considerado para la planificación futura de los recursos hídricos.

- Se identificó que el mayor número de usos de agua que se efectúa en la cuenca hidrográfica del Mantaro corresponden a las subcuencas Achamayo y Shullcas. Sin embargo, la disponibilidad de agua en estas zonas representada por el agua per cápita presentan valores relativamente bajos (2832 y 330 m³/hab.año, respectivamente). En estas zonas, que a su vez incluyen a la mayor cantidad de la población de la cuenca, existe la necesidad de poder implementar medidas que mejoren la gestión del agua a través de la participación de los diversos usuarios y la implementación conocimientos técnicos como la mejora de riego de las zonas de cultivos y mejores condiciones de abastecimiento y saneamiento para evitar los conflictos entre usuarios.
- La sostenibilidad de las cuencas hidrográficas se puede mejorar también mediante la ejecución de estudios hidrológicos e meteorológicos actualizados que incluyan eventos extremos como sequías, inundaciones y cambio climático. Estos a su vez deben ser compartidos con la población a través de charlas de capacitación. Asimismo, dado que la principal fuente de agua es la precipitación que varía en el espacio y el tiempo, se puede pensar en procedimientos para el almacenamiento en la cuenca.
- En cuanto a la calidad del agua, la conductividad eléctrica fue considerado como el parámetro para evaluar el recurso hídrico en la cuenca debido a la disponibilidad de la información. Sin embargo, las estaciones de monitoreo no cubrían todas las zonas de estudio por lo que se optó por evaluar solo a la subcuenca Chinchaycocha. En este contexto, se identifica que hace falta el fortalecimiento de las instituciones para realizar los monitoreo que controlen la calidad de los recursos del agua según la normativa vigente, además, que puedan cubrir una mayor cantidad de cuerpos de aguas para tener un adecuado control ambiental.
- La evaluación del parámetro respuesta en el indicador de calidad de hidrología indica que existe una falta en las medidas para el tratamiento de las aguas residuales en todas las subcuencas del río Mantaro.

b. Medio ambiente

- El indicador de medio ambiente presenta niveles altos en el parámetro de respuesta debido a que existen mayor cantidad de áreas de cobertura natural que áreas con poblaciones. El tipo de cobertura predominante en la región es el pajonal andino (55.30%), el cual está conformado en su mayoría por herbazales, los cuales representan unos de los principales alimentos para la ganadería. Sin embargo, en el parámetro de respuesta, hace falta la implementación de áreas protegidas que preserven los recursos naturales, flora y fauna de la región, ya que es importante tener un control de las actividades antrópicas que se desarrollan sobre las coberturas naturales. De tal manera que se tengan herramientas que controlen la degradación de la cobertura natural por medio de actividades como el sobrepastoreo y la quema periódica ya que el objetivo es el equilibrio ecológico entre actividades económicas y el ecosistema natural.

c. Vida

- El indicador de vida refleja los IDH en los aspectos de calidad de vida, ingreso y nivel de educación, en general, presentan un nivel intermedio en las subcuencas, lo que indica una mejora continua en la mejora de la calidad de vida.
- Es necesario mantener actualizado la base de datos que permiten determinar los IDH ya que la determinación del indicador de vida sirve para reflejar la situación social y económica de la zona de estudio. De esta forma, el estado debe realizar los esfuerzos para ejecutar censos de población y vivienda con la periodicidad de los cinco años de aplicación del índice.

d. Políticas públicas

- En el análisis por separado de cada indicador del WSI para todas las subcuencas, el parámetro que resultó ser más crítico fue el de políticas públicas, evidentemente, porque durante los primeros años del periodo de estudio (2006-2010) no se había impuesto la normativa peruana de aplicación de la GIRH, sino hasta mediados del periodo, alrededor del año 2009.
- Debido a que solo se tiene registro de una reunión entre usuarios y la AAA Mantaro para fines de la gestión del agua, las futuras evaluaciones de la capacidad institucional en el manejo de los recursos hídricos deberá principalmente evaluar a la institución estatal en el aspecto de involucrar al resto de usuarios de la cuenca en la toma de decisiones ya que todos cumplen un rol importante en la conservación del recurso agua. Si bien actualmente, se tiene un sistema de

gestión de recursos hídricos mucho más desarrollado se debe mejorar aún más en mantener la participación activa de los usuarios en la toma de decisiones y tener conocimiento de la ejecución de las herramientas técnicas, administrativas y normativa que se desarrollan en la cuenca.

5.2 Recomendaciones

- La disponibilidad de agua fue analizada sin tomar en cuenta las demandas de agua subterránea, para próximos y en especial en cuencas de la costa es de vital importancia considerar esta variable ya que en algunas zonas del país las fuentes de aguas fuentes de agua superficiales no cubren toda la demanda de agua que los usuarios necesitan en los usos consuntivos y no consuntivos.
- En cuanto a la calidad de agua, se deben realizar el análisis tanto en el ámbito urbano como rural y deben ser realizado en forma paralela y no de forma integrada como lo indica el índice WSI ya que existe una enorme inequidad entre ellos. La importancia de considerar en el índice puntajes para ambos sectores recae en que la pobreza y la falta de servicios públicos, como agua potable y sistemas de saneamiento, inciden de manera importante en el deterioro ambiental y, por ende, en el deterioro de los recursos hídricos de la cuenca provocando así la disminución de la disponibilidad de los mismos.
- En cuanto al parámetro de estado del indicador políticas públicas se deberían planificar con mayor frecuencia talleres como el efectuado para la elaboración del PNRH, ya que hasta el momento solo se tiene registro de ese tal taller. La importancia de estos es que permite que los usuarios puedan enterados de las nuevas implementaciones políticas para lograr el uso sostenible del agua. Asimismo, al hacer partícipe de este tipo de eventos a los usuarios de los diferentes usos permite que ellos tomen conciencia del importante rol que cumple en la GIRH, para así lograr un efecto multiplicador en los demás usuarios. Por otro lado, para calificar mejor a este nivel se deberían realizar encuestas a usuarios de diferentes tipos de uso para identificar el grado de conocimiento y compromiso con la aplicación de la GIRH y, así percibir si lo desarrollado normativamente ha sido captado y ejecutado en la población de la cuenca del Mantaro.

REFERENCIAS

- IRD Instituto de Investigación para el Desarrollo. (2007). *¿El fin de las cumbres nevadas? Glaciares y Cambio Climático en la Comunidad Andina*.
- Acuerdo Nacional. (2012). Política de Estado sobre los Recursos Hídricos.
- ALA Mantaro. (2010). Evaluación de recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Mantaro. Autoridad Nacional del Agua, Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos Área de Aguas Superficiales, Lima.
- ALA Mantaro. (2012). Plan Nacional de Recursos Hídricos - Resumen Taller Regional AAA Mantaro.
- Alexandratos, N., & Bruinsma, J. (2012). World agriculture towards 2030/2050: The 2012 revision. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Roma.
- Alforte, A., Angan, J., Dentith, J., Domondon, K., Munden, L., Murday, S., & Pradela, L. (30 de Octubre de 2014). Rights and Resources Initiative. Acceso em Mayo de 2015,
- ANA. Autoridad Nacional del Agua. (2012). El agua en cifras.
- ANA. Autoridad Nacional del Agua. (2013). Plan Nacional de Recursos Hídricos - Memoria Final.
- ANA. Autoridad Nacional del Agua. (2016). Evaluación de Recursos Hídricos de Doce Cuencas Hidrográficas del Perú - Resumen Ejecutivo Integrado. Lima.
- Aparicio, F., Guitron de los Reyes, A., & Preciado, M. (2011). INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD HIDRICA. México.
- Balvín, D. (2008). Las cuencas andinas frente a la contaminación minera. Em Derechos y conflictos de agua e el Perú.
- Banco Mundial. (1997). Informe sobre el desarrollo mundial . Washington, D.C.
- Bates, B., Zbigniew, K., Wu, S., & Palutikof, J. (2008). El cambio climático y el agua. IPCC, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Ginebra.
- BID. Banco Interamericano de Desarrollo. (2016). Agua en América Latina: abundancia en medio de la escasez mundial.
- Brown, A., & Matlock, M. (2011). A Review of Water Scarcity Indices and Methodologies. White Paper N°106. The Sustainability Consortium.
- Calizaya, A., Chaves, H., Bengtsson, L., Berndtsson, R., & Hjorth, P. (2008). Application of the Watershed Sustainability Index.
- Canadian Council. (1999). Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Dissolved oxygen (freshwater). Em W. Canadian Council of Ministers of the Environment, Canadian environmental quality guidelines, 1999.
- Chaves, H., & Alipaz, S. (2007). An Integrated Indicator for basin Hydrology, Environment, Life, and Policy: The Water Sustainability Index. Water Resources Management, 21(5), 883.
- Comisión Técnica Multisectorial. (2009). Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos. Autoridad Nacional del Agua.

- Cortés Mondaca, A. (2010). Determinación de un índice de sustentabilidad de cuencas (WSI) para la cuenca hidrográfica del río Elqui (Cuenca HELP - UNESCO).
- DIGESA. Dirección General de Salud Ambiental. Estaciones de monitoreo cuenca río Mantaro. Área de Protección de Recursos Hídricos. Programa Nacional de Vigilancia de la Calidad de Recursos Hídricos. Disponible en: http://digesa.sld.pe/depa/vigilancia_recursos_hidricos.asp
- Echarri, L. (1998). Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Teide. Disponible en: <http://www4.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/00General/IndiceGral.html>
- Electroperú (2005). Estudio Hidrológico de la Cuenca del Río Mantaro. Año 2005.
- ELECTROANDES. (2006). Estudio Hidrológico del Sistema Hídrico de ELECTROANDES 1965-2005.
- FAO. United Nations Food and Agriculture Organization. (2002). El agua para la producción sostenible de alimentos. Consultado: Mayo de 2018, Disponible en: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/51ab6f3b-7612-5ed5-9d7f-4c1acafabf68/>
- FAO. United Nations Food and Agriculture Organization. (2011). The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture: Managing systems at risk. Earthscan, Roma/ Londres.
- GESTIÓN. (2014). OEFA aprueba reglamento del registro de buenas prácticas ambientales. GESTIÓN. Disponible en: <http://gestion.pe/economia/oefa-aprueba-reglamento-registro-buenas-practicas-ambientales-2112412>
- Giráldez, L., Silva, Y., & Trasmonte, G. (2012). Antecedentes generales del sector agricultura y los impactos de eventos meteorológicos extremos. Em I. G. Perú, Manejo de riesgos de desastres ante eventos meteorológicos extremos en el valle del Mantaro. Volumen II de resultados del proyecto MAREMEX-Mantaro (pp. 125-130). Lima.
- GWP. Global Water Partnership. (2000). Integrated Water Resources Management, TAC Background Papers N° 4. Global Water Partnership, Technical Advisory Committee, Estocolmo, Suiza.
- GWP. Global Water Partnership. (2016). Critical Challenges. Disponible en: <http://www.gwp.org/en/ToolBox/CRITICAL-CHALLENGES1/>
- HSBC Water Programme. (2012). Exploring the links between water and economic growth. Londres.
- IGP. Instituto Geofísico del Perú. (2005). Diagnóstico de la Cuenca del Mantaro bajo la visión del cambio climático. Lima: CONAM - Consejo Nacional del Ambiente.
- IGP. Instituto Geofísico del Perú. (2012). Manejo de riesgo de desastres ante eventos meteorológicos extremos (sequías, heladas y lluvias intensas como medida de adaptación ante el cambio climático en el valle del Mantar. Lima.
- INEI. Instituto Nacional de Estadística e Informática. (1994). III Censo Nacional Agropecuario 1994. Sistema de consulta de resultados estadísticos.
- INEI. Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2012). IV Censo Nacional Agropecuario 2012. Sistema de consultas de resultados censales.

- Kohler, T., & Maselli, D. (2009). Mountains and Climate Change- From Understanding to Action. Geographica Bernensia with the support of the Swiss Agency for Development and Cooperation (SDC). Acceso em Abril de 2015,
- Kuroiwa, J. (2012). Recursos hídricos en el Perú. Una visión estratégica. Diagnóstico del agua en las Américas, 405-419.
- Mesa de Diálogo Ambiental de la Región Junín. (2006). El Mantaro Revive. Fonte: Proyecto "Fortalecimiento de la gestión ambiental para la lucha contra la contaminación en la zona alta y media de la cuenca del río Mantaro - Junín":
- MINAM. Ministerio del Ambiente. (2015a). Dirección General de Cambio Climático, Desertificación y Recursos Hídricos. Fonte: La situación del Agua en el Perú:
- MINAM. Ministerio del Ambiente. (2015b). Mapa nacional de cobertura vegetal : Memoria descriptiva. Ministerio del Ambiente, Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural, Lima.
- Naciones Unidas. (2002). Cumbre de Johannesburgo 2002. Disponible en: <http://www.un.org/spanish/conferences/wssd/unced.html>
- OMS/UNICEF. (2000). Informe sobre la Evaluación Mundial del Abastecimiento de Agua y el Saneamiento en 2000. EEUU.
- Oxfam. (2014). Geografías de conflicto. Oxfam América .
- Pereyra, C. (2008). Conflictos regionales e intersectoriales por el agua en el Perú. Em G. Armando (Ed.), Derechos y conflictos de agua en el Perú.
- PNUD. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2006). Informe sobre Desarrollo Humano 2006: Más allá de la escasez: Poder, pobreza y crisis mundial del agua.
- PNUD. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2007). Informe sobre Desarrollo Humano 2007-2008. La lucha contra el cambio climático: Solidaridad frente a un mundo dividido. Nueva York, EE.UU.
- PNUD. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2008). Habilidades de Resolución de Conflictos y Negociación para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos.
- PNUD. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2009). Informe sobre desarrollo humano Perú.
- PNUD Perú. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2013). Informe sobre Desarrollo Humano Perú 2013: Cambio climático y territorio. Lima.
- Rijsberman , F. (2006). Water scarcity: fact or fiction? Agricultural water management, 80(1), 5-22.
- Rogers, P., & Hall, A. (2003). Gobernabilidad Efectiva del Agua. Technical Committee Background Paper Series N° 7. Global Water Partnership, Comité Técnico (TEC).
- SENAMHI. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2012). Plan de Gestión Integrado de Recursos Hídricos de la subcuenca del río Shullcas. Lima.
- SIWI. Stockholm International Water Institute. (2005). Making water a part of a economic development. The economic Benefits of Improved water management and services. Estocolmo.
- Solanes, M., & Peña, H. (2003). Effective Water Governance in the Americas: A Key Issue. Santiago de Chile, Chile: CEPAL, Naciones Unidas.

- SUNASS. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. (2008). Diagnóstico Situacional de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en las EPS del Perú y Propuestas de Solución. Lima.
- SUNASS. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. (2013). Las EPS y su desarrollo 2013. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento.
- SUNASS. Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. (2015). Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de la entidades prestadoras de servicio de saneamiento.
- UNESCO. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2003). 1er Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo, Agua para todos, Agua para la Vida. Programa de evaluación de los recursos hídricos mundiales de las Naciones, París, Francia.
- UNESCO. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2004). Evaluation of the 2003-2004 Global Call for HELP Proposals .
- UNESCO. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2006). 2º Informe de Naciones sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo: El agua, una responsabilidad compartida. Programa de evaluación de los recursos hídricos mundiales de las Naciones Unidas, París, Francia.
- UNESCO. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2008). Evaluación preliminar de la aplicación y cálculo del Índice de Sostenibilidad de Cuenca en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá. Documentos Técnicos del PHI-LAC, N° 12.
- UNFPA. Fondo de Población de las Naciones Unidas (2015). Urbanización. Disponible en: <http://www.unfpa.org/es/urbanización>
- Universidad de Pamplona. (s.d.). Índices de calidad (ICAs) y de contaminación (ICOs) del agua de importancia mundial. Em Investigación en H2O calidad del agua.
- Weier, J., & Herring, D. (2000). Earth Observatory. Fonte: Measuring Vegetation (NDVI & EVI)
- World Resource Institute. (2009). World Resources 2000-2001 People and ecosystems: The fraying web of life.
- WWAP. World Water Assessment Programme (2014). The United Nations World Water Development Report 2014: Water and Energy. Paris: UNESCO.
- WWAP . World Water Assessment Programme. (2015a). The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World. París: UNESCO.
- WWAP. World Water Assessment Programme (2015b). Informe de las Naciones Unidas sobre los Recursos Hídricos en el Mundo 2015. AGUA PARA UN MUNDO SOSTENIBLE. Resumen Ejecutivo . París: UNESCO.