

Universidad Católica de Santa María

Escuela de Postgrado

Doctorado en Ciencias Ambientales



“ANÁLISIS DE LA SOSTENIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHILI MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL INDICE DE SOSTENIBILIDAD DE CUENCAS (ISC)”

Tesis presentada por el Maestro

López Ramos Diego Rodrigo

Para optar el Grado Académico de

Doctor en Ciencias Ambientales

Asesor

Dr. Bocardo Delgado Edwin Fredy

Arequipa-Perú

2022

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
ESCUELA DE POSTGRADO
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR DE TESIS

Arequipa, 27 de Octubre del 2022

Dictamen: 003560-C-EPG-2022

Visto el borrador del expediente 003560, presentado por:

2019003331 - LOPEZ RAMOS DIEGO RODRIGO

Titulado:

**ANÁLISIS DE LA SOSTENIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHILI
MEDIANTE LA APLICACION DEL INDICE DE SOSTENIBILIDAD DE CUENCAS (ISC)**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**1051 - VILLANUEVA SALAS JOSE ANTONIO
DICTAMINADOR**



**1058 - DAVILA DEL CARPIO GONZALO HERMILIO
DICTAMINADOR**



**3103 - JIMENEZ PACHECO HUGO GUILLERMO
DICTAMINADOR**



**3191 - PONCE SOTO LUIS ALBERTO
DICTAMINADOR**



5428 - DAVILA FLORES BENJAMIN JOSE
DICTAMINADOR



DEDICATORIA

Dedico esta tesis doctoral a Dios y a la Virgen María quienes inspiran mi mente y espíritu para continuar este camino de conocimiento y formación para Ser Más y poder Servir Mejor.

A mi mamá Chio, pues gracias a ella estoy en este camino de la ecología y las ciencias ambientales. Ma, tú siempre te preocupaste en darme la mejor educación, en animarme a seguir adelante y agradezco siempre tus consejos y apoyo incondicional. Todo esto te lo debo y terminar con esta tesis mi etapa de posgrado, es un reconocimiento a tu esfuerzo.

A mi Yadi, amor gracias por tu apoyo y comprensión en todos estos años. Tu paciencia y palabras de aliento me ayudaron a continuar todo el camino de la maestría y ahora del doctorado, ha sido un largo camino y todo esfuerzo también tiene su recompensa. Nos espera toda una vida juntos para poder realizar todos esos planes que tenemos, es una promesa.

Dedicado a todas aquellas personas que me brindaron sus palabras de apoyo y aliento, me doy cuenta de que los amigos son la familia que elegimos y en ellos se encuentra el empuje que muchas veces necesitamos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a mi alma mater, la UCSM y todos los docentes que brindaron su conocimiento en estos tres años. Por su enseñanza, guía y apoyo en estos tres años de doctorado.

A todas las instituciones públicas y privadas, colegas servidores públicos por su apoyo en brindar la información necesaria para la presente investigación.

A mi asesor Dr. Edwin Bocardo; amigo, colega y mentor. Es un honor haberlo tenido como asesor de maestría y doctorado, su experiencia y conocimiento en las ciencias ambientales alimentaron mi deseo de seguir aprendiendo y llegar a aportar de la mejor manera a la sociedad para poder mejorar nuestra casa común.

La ignorancia genera confianza más frecuentemente que el conocimiento

(Charles Darwin)

RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCION.....	1
HIPÓTESIS	2
OBJETIVOS	2
Objetivo general	2
Objetivo específico	2
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	3
Estado del Arte	3
Diferentes Índices de vulnerabilidad de los recursos hídricos	7
Gestión del recurso hídrico.....	8
Recursos hídricos en el Perú.....	12
Sostenibilidad como modelo de desarrollo.....	21
Índice de Sostenibilidad de Cuencas (ISC)	23
Teoría disipativa	30
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	32
Campo de verificación.....	32
Técnicas, instrumentos y materiales de verificación	48
Cuadro Resumen para la obtención del indicador de ISC	86
CAPITULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	87
DISCUSIÓN.....	91
CONCLUSIONES.....	91
Conclusiones Generales.....	91
Conclusiones Específicas	92
RECOMENDACIONES	94
REFERENCIAS	95
ANEXOS	101

Tabla 1 <i>Criterios utilizados para (WSSRI)</i>	6
Tabla 2 <i>Distribución recursos hídricos, de área y población en el Perú</i>	14
Tabla 3 <i>Demanda de uso consuntivo total en el Perú</i>	15
Tabla 4 <i>Demanda de uso no consuntivo total en el Perú</i>	15
Tabla 5 <i>Cuadro de actividades para un Desarrollo Sostenible</i>	17
Tabla 6 <i>Indicadores y parámetros</i>	25
Tabla 7 <i>Volumen de agua almacenado a diciembre de 2020 (hm3), represas alimentadoras de la cuenca Chili</i>	28
Tabla 8 <i>Volúmenes de agua utilizada por la Autoridad Administrativa del Agua según tipo de Uso</i>	33
Tabla 9 <i>Superficie de las unidades hidrográficas del ámbito del Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca</i>	35
Tabla 10 <i>Superficie de la Subcuenca del Río-Chili</i>	36
Tabla 11 <i>Cantidad de habitantes por provincias</i>	38
Tabla 12 <i>Resultados resumidos de balances actuales del uso del agua</i>	44
Tabla 13 <i>Sinterización de la línea base en infraestructura hidráulica</i>	45
Tabla 14 <i>Eficiencia de riego</i>	45
Tabla 15 <i>Derechos de Agua</i>	46
Tabla 16 <i>Concentraciones de DBO5(mg/l)</i>	47
Tabla 17 <i>Línea de base en relación al eje temático de riesgos</i>	47
Tabla 18 <i>Parámetros de presión estado y respuesta</i>	51
Tabla 19 <i>Parámetros de presión, nivel y puntuación</i>	51
Tabla 20 <i>Parámetros de estado, nivel y puntuación</i>	52
Tabla 21 <i>Parámetros de respuesta, nivel y puntuación</i>	52
Tabla 22 <i>Parámetros de respuesta modificados para el indicador hidrología – cantidad</i>	53
Tabla 23 <i>Concentración de DBO5 en mg/l en el periodo de largo plazo</i>	66
Tabla 24 <i>Cuadro resumen de la concentración DBO5</i>	67
Tabla 25 <i>Puntuación para el parámetro de Estado</i>	68
Tabla 26 <i>Áreas de Agricultura (Aag) hectáreas</i>	70
Tabla 27 <i>Variación de la Población</i>	71
Tabla 28 <i>Hectáreas Perdidas de cobertura vegetal</i>	72
Tabla 29 <i>IDH (2015-2019)</i>	78

Tabla 30	Junta de Usuarios de la Cuenca Quilca-Chili	82
Tabla 31	Evolución de las Inversiones en la Gestión Integral de Recursos Hídricos (GIRH)....	84
Tabla 32	Resumen de resultados para la obtención del ISC.....	86
Tabla 33	Valores obtenidos de los parámetros de presión, estado y respuesta del indicador hidrología-cantidad.	87
Tabla 34	Valores obtenidos de los parámetros de presión, estado y respuesta del indicador hidrología-calidad.....	87
Tabla 35	Valores obtenidos de los parámetros de presión del indicador ambiente.....	88
Tabla 36	Valores obtenidos de los parámetros de estado y respuesta del indicador ambiente. ..	88
Tabla 37	Valores obtenidos de los parámetros de presión y estado del indicador vida.	89
Tabla 38	Valores obtenidos de los parámetros de respuesta del indicador vida.	89
Tabla 39	Valores obtenidos de los parámetros de presión, estado del indicador política.	90
Tabla 40	Valores obtenidos de los parámetros de respuesta del indicador política.	90
Tabla 40	ISC en la cuenca del río Chili.....	90



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Distribución de agua a nivel mundial</i>	8
Figura 2 <i>Distribución de la densidad de la población-2007</i>	13
Figura 3 <i>Actores e Instrumentos principales en Perú para la gestión de recursos hídricos</i>	19
Figura 4 <i>Ejes de la gestión de la Autoridad Nacional del Agua</i>	20
Figura 5 <i>Órganos desconcentrados del ANA</i>	21
Figura 6 <i>Esquema para la determinación del ISC</i>	24
Figura 7 <i>Ubicación geográfica de la cuenca</i>	32
Figura 8 <i>Mapa de las Unidades hidrográficas del ámbito del Consejo de recursos Hídrico de Cuenca su ubicación y propiedades</i>	34
Figura 9 <i>Mapa de las Unidades hidrográficas y sus puntos de monitoreos de Calidad de Agua en la Cuenca Quilca-Chili</i>	36
Figura 10 <i>Mapa de Áreas Protegidas</i>	37
Figura 11 <i>Ubicación de las estaciones hidrométricas y pluviométricas</i>	40
Figura 12 <i>Área de estudio e influencia de la subcuenca del río Chili</i>	48
Figura 13 <i>Disponibilidad per cápita de agua (m³/hab año)</i>	63
Figura 14 <i>Inversiones para mejorar la eficiencia del uso de agua en el periodo de estudio</i>	65
Figura 15 <i>Concentración de DBO₅ en mg/l en el periodo de estudio</i>	67
Figura 16 <i>Inversiones con relación a PTAR (2015-2019)</i>	69
Figura 17 <i>Hectáreas Perdidas de cobertura vegetal (2015-2019)</i>	73
Figura 18 <i>Grado de Cobertura Vegetal según ARVI (2013-2019)</i>	74
Figura 19 <i>Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca-Chili</i>	81
Figura 20 <i>Evolución de las Inversiones en la (GIRH)</i>	85

LISTA DE ABREVIATURAS

AAA Autoridad Administrativa del Agua

ALA Autoridad Local de Agua

ANA Autoridad Nacional de Agua

CEHC Concejo de Recursos Hídricos de Cuenca

CF Factor de caracterización

FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

GIRH Gestión Integrada de los Recursos Hídricos

IDH Índice de Desarrollo Humano

ISC Índice de Sostenibilidad de Cuencas

MIDAGRI Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego

MINAM Ministerio del Ambiente

OMS Organización Mundial de la Salud

PNUD Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

PBI Producto Bruto Interno

SIG Sistema de Información Geográfica

UNESCO Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

RESUMEN

La noción sobre el desarrollo sostenible fue incluida por primera en el último siglo anterior en el informe Brundtland, a partir de ello los científicos y especialistas han trabajado en un método de medición objetiva de la sostenibilidad de un medio, ecosistema o cuenca mediante índices. Una de las metodologías utilizadas para este fin es el Índice de Sostenibilidad de Cuencas (ISC), un instrumento muy utilizado a nivel mundial como referente para determinar la sostenibilidad de las cuencas hidrográficas, permitiendo caracterizar los diversos aspectos de esta.

El objetivo de la presente investigación fue determinar la sostenibilidad de la subcuenca hidrográfica del río Chili ubicada en la ciudad de Arequipa-Perú. Esta subcuenca está considerada como de vital importancia para el desarrollo social, económico y ambiental de la provincia de Arequipa por su extensivo uso en el sector agrícola, industrial, minero, comercial y de consumo humano. Se aplicó la metodología del Índice de Sostenibilidad de Cuencas para desarrollar un marco de evaluación de la sostenibilidad de la subcuenca y, a través de un proceso sistemático, se aplicaron los indicadores correspondientes. La evaluación se realizó en un periodo histórico con data de 5 años (2015-2020). Luego de la aplicación de los indicadores se obtuvo un valor del índice de sostenibilidad para la cuenca de 0.46, lo que equivale a un nivel de sostenibilidad bajo ($ISC < 0.5$). Este resultado se debe a que los indicadores correspondientes a calidad y cantidad de agua, presión antrópica en el sistema y el manejo de la cuenca por parte de las autoridades competentes, presentan valores bajos; lo que representa un manejo inadecuado de la subcuenca y pone en riesgo el recurso hídrico y su sostenibilidad. Así mismo la presente metodología, adaptada a la subcuenca del Chili, puede ser utilizada para evaluar la sostenibilidad de las cuencas y subcuencas ubicadas en la región que presenten condiciones parecidas a las del caso de estudio.

Palabras clave: Sostenibilidad, Índice, Recurso Hídrico, Subcuenca

ABSTRACT

The notion of sustainable development was included for the first time in the previous century in the Brundtland report, from which scientists and specialists have worked on a method of objective measurement of the sustainability of an environment, ecosystem or basin through indices. One of the methodologies used for this purpose is the Water Sustainability Index (WSI), an instrument widely used worldwide as a reference to determine the sustainability of hydrographic basins, allowing the various aspects of it to be characterized.

The objective of this research was to determine the sustainability of the hydrographic sub-basin of the Chili River located in the city of Arequipa-Peru. This sub-basin is considered to be of vital importance for the social, economic and environmental development of the province of Arequipa, due to its extensive use in the agricultural, industrial, mining, commercial and human consumption sectors. The methodology of the Basin Sustainability Index was applied to develop a sub-basin sustainability evaluation framework and, through a systematic process, the corresponding indicators were applied. The evaluation was carried out in a historical period with data of 5 years (2015-2020). After applying the indicators, a sustainability index value of 0.46 was obtained for the basin, which is equivalent to a low sustainability level ($ISC < 0.5$). This result is due to the fact that the indicators corresponding to the quality and quantity of water, anthropic pressure in the system and the management of the basin by the competent authorities, present low values, which represents poor management of the sub-basin and puts the water resource and its sustainability at risk. Likewise, this methodology, adapted to the Chili sub-basin, can be used to evaluate the sustainability of the basins and sub-basins located in the region that present conditions similar to those of the case study.

Keywords: Sustainability, Index, Water Resources, Sub-basin

INTRODUCCION

El incremento exponencial de la población, así como la contaminación ambiental, colocan en una posición de vulnerabilidad al recurso hídrico, puesto que se visualiza un incremento de la demanda de agua para el ámbito doméstico, actividades productivas, y de alimentos. Siendo la contaminación un factor que reduce la calidad del agua, afectando la disponibilidad de esta para consumo humano y de los seres vivos en general.

A lo anterior se adiciona los desbalances en los recursos ocasionados por el cambio climático, que a la fecha vienen reduciendo la disponibilidad de agua en espacio y tiempo (PNUD, 2008). De tal manera, los estados han venido implementando políticas de gestión de recursos hídricos para menguar los conflictos entre usuarios por el agua. Concerniente a ello, se hace necesaria la medición de indicadores sobre uso de recursos naturales, para luego establecer estrategias de intervención.

Estos indicadores deben ser recogidos en índices de sostenibilidad, que permitan medir y establecer relaciones de causa y efecto entre sus indicadores, para así, en el caso se implementen programas o políticas de gestión, se pueda conocer el impacto de estos. Además, el índice de sostenibilidad debe regirse por su uso universal, integrador, y de fácil aplicación. (Chaves y Alipaz, 2007)

A la fecha en el ámbito nacional, aún no se cuenta con un índice de sostenibilidad que cuente con las características descritas por Chaves y Alipaz y que además permita recoger datos cuantitativos y cualitativos. Es por ello que, resulta trascendente disponer de un índice que recoja dicha información, permitiendo evaluar la utilización de los recursos naturales, en búsqueda de implementar estrategias de desarrollo para mejorar la planificación hidrológica. Asimismo, este índice representaría una herramienta valiosa en políticas de sectores relacionadas de manera indirecta o directa con los recursos hídricos.

En este sentido, la medición de sostenibilidad de una cuenca hidrográfica se fundamenta en los preceptos descritos líneas arriba, que permitan recoger indicadores cuantitativos y cualitativos. El objetivo se centra en mejorar y optimizar la gestión integrada del recurso de la subcuenca y, de esta forma, permita a las autoridades de la región plantear estrategias administrativas, técnicas, y normativas, que busquen la eficiencia y eficacia en su desarrollo.

HIPÓTESIS

Es factible que aplicando la metodología del Índice de Sostenibilidad de Cuencas (ISC) se determine la sostenibilidad de la subcuenca del río Chili para desarrollar modelos de gestión del recurso hídrico.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar cuantitativa y cualitativamente la sostenibilidad de la subcuenca del río Chili mediante la aplicación de la metodología del Índice de Sostenibilidad de Cuencas (ISC) en el periodo 2015-2020.

Objetivo específico

- Identificar la disponibilidad hídrica per cápita, así como el estado de la calidad de agua de la subcuenca.
- Determinar el índice de presión ambiental mediante la identificación de área de vegetación y áreas naturales protegidas de la región.
- Determinar el nivel de calidad de vida de la población cercana a la subcuenca mediante el análisis de la variación en el PBI y del IDH.
- Analizar la capacidad legal, económica e institucional de las instituciones que regulan la gestión de la cuenca

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

Estado del Arte

- Entre los estudios revisados, Lekula et al. (2018), muestran en su investigación titulada “Hydrogeological conceptual model of large and complex sedimentary aquifer systems – Central Kalahari Basin (Botswana)”, un modelo conceptual el cual es para el investigador entre los sistemas de aguas subterráneas una representación cualitativa que se debe ajustar a principios hidrológicos que tienen base en los aspectos geológicos, geofísicos, hidro geoquímicos y además información auxiliar. Se debe mencionar que la configuración del modelo conceptual implica un análisis y además la integración de datos geológicos e hidrogeológicos que sean los más adecuados usando de herramienta la base de datos como sistema de información geográfica (SIG), sin embargo, no se tiene una metodología estándar; pero se tiene una metodología tridimensional geológica la cual no se utiliza con mucha frecuencia a consecuencia de diversos factores como el alto costo que tienen los paquetes de software, el hardware requerido tiene que ser sofisticado y casi siempre la inexistencia de la información de sondeos. A pesar de ello el avance de los paquetes de modelado en 3D, ha permitido que los modelos geológicos tridimensionales sean usados por las industrias petroleras y mineras. Además, la modelización geológica es usado para el análisis de la complejidad de la heterogeneidad del subsuelo hidrológico el cual es base del modelo conceptual que es fundamental para la elaboración de los modelos numéricos. Es importante mencionar que los modelos geológicos tridimensionales ayudan a una validación de la lógica de la conceptualización hidrológica. En el norte de África se construyó un modelo geológico en 3D para la definición geométrica del Sistema Acuífero de Kasserine en Túnez, este modelo fue utilizado en el desarrollo del modelo conceptual hidrogeológico para que se desarrolle en un futuro el modelo numérico del flujo de agua subterránea. Para que la Cuenca del Kalahari Central (CBK) obtenga un modelo conceptual hidrogeológico fue necesario la integración sistemática de diversos conjuntos de datos que tienen procedencia del modelo geológico 3D. Para que se comience con la configuración del modelo se definió las unidades hidro estratigráficas; para lo que es necesario conocimiento en geológica e hidrología. Finalmente la investigación ha mostrado que a través de un enfoque sistemático la utilización del RockWorks que es un código de modelización

geológica tridimensional es fundamental en el momento del desarrollo de modelos conceptuales hidrogeológicos de sistemas acuíferos; además tiene como punto fuerte la facilidad en el funcionamiento y un uso conjunto a comparación de otros programas informáticos de tipo de sistemas de integración geográfica, además que mejoro en la distribución espacial de unidades hidro estratigráficas su comprensión y la definición de las interacciones del sistema de flujo. Es por ello que en la investigación la metodología que presentaba es reconocida como la mejor alternativa para describir modelos conceptuales.

- Paolini Ruiz (2013), elaboro un trabajo de investigación, titulada: “Propuesta metodológica para la modelación y prospección de la sostenibilidad de cuencas hidrográficas en el país de Venezuela”. El cual tuvo como propósito la realización de un estudio sistemático con el propósito de modelación y prospección de la sostenibilidad en las cuencas de Venezuela, para el logro de dicho propósito en el estudio se diseñó modelos conceptuales con el fin de determinar cuál es la sostenibilidad de los sistemas socio-ecológicos, también se diseñó modelos simbólicos con el fin de cuantificar, y por último se realizó estimaciones para la sostenibilidad los cuales tienen una base en las evidencias que presentaban en su actualidad. La metodología que presento el estudio fue seguir ciertos lineamientos; en primera fase se realizó una conceptualización del propósito de la investigación para lograr definir el problema. Para ello se elaboró ciertos modelos en los cuales tienen relación con las variables y que presenten situaciones sobre la sostenibilidad de dicha cuenca hidrográfica. Seguido se determinaron indicadores y ISC de la cuenca hidrográfica. Por último, para el sistema socio-ecológico se realizó un pronóstico del índice de sostenibilidad. En la investigación se llegó a alcanzar el propósito mediante el diseño de los modelos conceptuales como simbólicos, además de las realizaciones de las estimaciones cuantitativas relacionadas con la sostenibilidad presentada en los sistemas socio-ecológicos estudiados. Además, para la determinación de la sostenibilidad en un sistema socio-ecológico se buscó de investigadores que ayudados de las disciplinas y las relaciones interdisciplinarias analizan y describen ciertos aspectos que comprueben sobre la sostenibilidad en el mencionado sistema, ya que las disciplinas comprenden conceptos, hipótesis y observaciones para cualificar y cuantificar la sostenibilidad.

- Hui y May (2017), en su estudio, titulado “Water Availability- A literature Review”, comenzó definiendo que el agua dulce es uno del recurso más crítico para la humanidad y el ecosistema, además el agua azul y agua verde son dos grandes categorías de los recursos hídricos. El agua azul es la precipitación que escurre y el agua verde son aquellas precipitaciones que se filtran en el suelo y que se vuelven a la atmosfera en forma de evaporación, además este a menudo se utiliza solo en la producción agrícola a comparación del agua azul que se puede utilizar para diferentes sectores como el riego y entre otros. El índice de disponibilidad de agua es una métrica fundamental que ayuda en el análisis con el fin de abordar la demanda regional de agua y el suministro de agua. Es importante mencionar que el estudio presento una revisión de los índices de agua existentes con la intención de ser una referencia útil para otros investigadores que tengan interés en armonizar diversas metodologías o elaborar el desarrollo de nuevos índices de escasez. Los indicadores más importantes que se consideraron en el estudio son los siguientes:

El indicador de Falkenmark, la cual halla la medida de la disponibilidad de agua per- cápita que tiene una base para analizar la seguridad hídrica a nivel mundial, este indicador no es difícil de calcular, disminuye las diferencias regionales ya que supone una demanda per- cápita equivalente, además de no reflejar estrés hídrico que es ocasionado por la creciente demanda del desarrollo económico. Además se presenta tres categorías en las que se puede clasificar los indicadores que se encuentren en relación existente del uso y los recursos; la categoría hidrocéntrica que no están fácil medir la disponibilidad de agua renovable a escalas espaciales y temporales ya que presenta demora en el tiempo en el retorno del flujo y a los extensos cambios geoespaciales, la categoría ecocéntrica necesita de la cuantificación de las necesidades de agua del ecosistema/ medio ambiente lo que varas veces produce incertidumbre. Cabe mencionar que el método basado en el factor de caracterización (CF) es el más recomendado por el WCULA (Water Use in Life Cycle Assessment) luego de la comparación realizada por otros múltiples métodos. El Indicador basado en las extracciones de aguas también es un indicador considerado importante en el estudio, desarrollado por Vörösmarty et al. (2005) el WSI a la vez es llamado índice de uso local relativo del agua, en él se encuentra las extracciones de aguas de los sectores domésticos (D), de los sectores industriales (I), y de los sectores agrícolas (A), y finalmente la cantidad de agua que se consume (Q), además este índice presenta la siguiente formula:

$$WSI = \frac{DIA}{Q} \quad (1)$$

Además, el método que se tiene consiste en la división de un área de estudio en cuadrículas regulares y el WSI es calculado para cada una de las cuadrículas. El índice toma en cuenta la relación presente en las extracciones y la disponibilidad de recursos. Cabe mencionar que se tiene el indicador basado en el consumo de agua, en el cual se encuentra el índice de disponibilidad de agua superficial que tiene una base en el caudal del arroyo (WAs), que presenta la siguiente formula:

$$WAs = \frac{CUw + CUu}{CUw + CUu + Qa} \quad (2)$$

En la anterior formula CUw y CUu hace referencia al uso consuntivo en el interior de la cuenca y aguas arriba de la misma, Qa es el percentil 20 del caudal diario medido. Finalmente se tiene el indicador compuesto en el cual está el índice de riesgo de la sostenibilidad del suministro de agua (WSSRI), para determinar el valor de este índice se debe hacer la sumatorio de cinco criterios que se encuentran la siguiente tabla:

Tabla 1
Criterios utilizados para WSSRI

Criterio	Umbral de Criterios
#1 Precipitación disponible	La Precipitación disponible (definida como precipitación menos PET) es superior al 25%
#2 Susceptibilidad a la sequía	El déficit de verano es superior a 10 pulg. El déficit de verano se determina con la variación entre la precipitación disponible y la extracción en junio, julio y agosto.
#3 Crecimiento de la extracción de agua	La extracción total de agua dulce aumenta en más de un 20% desde 2005 a 2050.
#4 Aumento de la necesidad de almacenamiento	El déficit de verano aumenta en más de una pulgada de 2005 a 2050.

#5 Uso de las aguas subterráneas	La extracción de agua subterránea como fracción de la extracción total es superior al 25%.
----------------------------------	--

Fuente. Obtenido de Hui y May (2017)

El valor del índice WSSRI pueden oscilar entre 0 y 5 debido a que se le da una puntuación de 1 en tanto el país cumple o supera el umbral descrito en la anterior tabla en el momento que esto no ocurra se debe asignar un valor de 0.

Diferentes Índices de vulnerabilidad de los recursos hídricos

Los diferentes índices de escasez de agua han dado la medición del estado de los recursos hídricos teniendo una base en las necesidades humanas fijas de agua y la disponibilidad de la misma, en especial en un ámbito nacional. Por consiguiente, se brindará una breve explicación de los diferentes índices (Ámbar Marrón , 2011).

- El índice de uso y reutilización local del agua (WTA)

Ha sido utilizado para determinar la disponibilidad de agua dulce. Lo primero que se realizó para determinar este índice es dividir en 8 celdas de 8km un área ya definida, cada celda debe contar con un índice de uso local relativo del agua además también debe contar con un índice de reutilización de agua.

- El Índice de Sostenibilidad de las Cuencas Hidrográficas (WSI)

Este índice es integrado por la hidrología, el medio ambiente, la vida y la política, además cada uno de ellos con sus respectivos parámetros de presión, estado y respuesta. Es específico de la cuenca o de la cuenca hidrográfica, es importante mencionar que es para un área máxima de 2500 km^2 .

- El Índice de estrés del suministro de agua (WaSSI)

Nació de una propuesta de un nuevo termino hidrológico para realizar una evaluación cuantitativa la magnitud de la oferta y la demanda de agua, posee muchas semejanzas parecidas a la metodología WTA, además es único en comparación a las demás herramientas de determinación la disponibilidad de agua, debido a que incluye a la demanda antropogénica de agua.

- Escasez de agua física y económica

Se realizó un análisis que contó la parte de recursos renovables de agua dulce que podían utilizarse para las necesidades humanas, con respecto al suministro principal del agua. Además, los indicadores de escasez de agua incorporan: la degradación ambiental aguda, la minimización de las aguas subterráneas y las asignaciones de agua que apoyan a algunos sectores sobre otros.

Gestión del recurso hídrico

- Recursos hídricos.

Según estimaciones se conoce que a nivel mundial se tiene 1400 millones de km² de agua, siendo el agua dulce de 35 millones de km², es decir, el 2.5% del total, dicha data evidencia que existe baja proporción de agua dulce que la población puede disponer para sus necesidades. Además, el agua dulce principalmente se ubica en glaciares, agua subterránea, y lagos y ríos, respectivamente (Figura 1). Por otro lado, menos de la mitad del agua (45 000 km³) que proviene de las precipitaciones pluviales (119 000 km³) se dirigen a embalses, lagos, cursos de agua, acuíferos, el otro 74 000 km³ se evapora. De los 45 000 km³ de agua que permanece en el suelo y subsuelo, solo 9000 a 14 000 km³ se pueden utilizar económicamente, ya que también se presentan estiajes en algunos lugares (FAO, 2002).

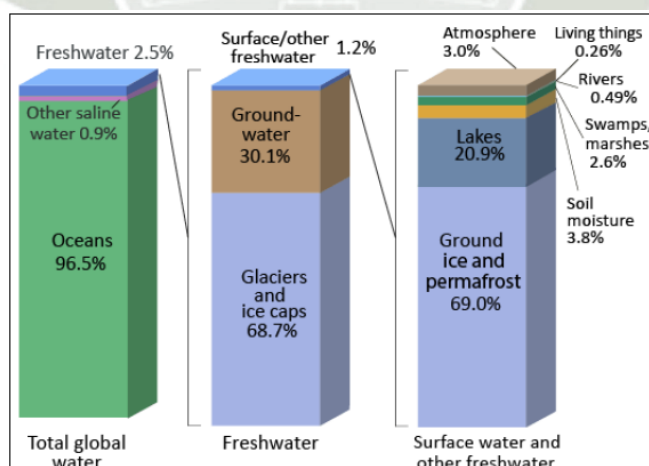


Figura 1: Distribución de agua a nivel mundial

Fuente. Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources (1993).

- **Escasez del agua**

En el periodo del 2006, El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo realizó un estudio sobre la escasez de agua por superficie y económica, estimando que son 1200 millones de personas que viven en superficies que presentan carencia de agua, y son 500 millones de habitantes que están propensas a esa realidad. Por otro lado, son 1600 millones de habitantes que no tienen recursos económicos para obtener agua, principalmente por la falta infraestructura que desplace agua (Publicado para el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2016). En la actualidad, las cifras sobre áreas con escasez de agua se van incrementando, aunque aún no se puede hablar sobre una escasez hídrica global, se ha identificado que los efectos del cambio climático, el crecimiento poblacional y el incremento de actividades agrícolas incide sobre la escasez hídrica. Entre otras causas del fenómeno, también se encuentran que las aguas subterráneas son utilizadas cada vez más para fines agrícolas y consumo doméstico, además, en la costa el agua dulce es contaminada por agua salada, debido a la salinización por la depresión de la napa freática. Cabe mencionar que, en ciertas comunidades la escasez hídrica no es un problema actual, ya que cuentan con suficientes recursos hídricos para desarrollar sus actividades; empero, las políticas hídricas deberían dirigirse a preservar ese suministro hídrico para no llegar a casos como Barcelona (2007), Sao Paulo (2014) y California (2014), ciudades donde teniendo los suficientes recursos hídricos, ahora enfrentan escasez hídrica por no gestionar adecuadamente sus recursos hídricos.

- **Contaminación del agua**

La contaminación del agua reduce la menor disponibilidad de agua para consumo humano, además, ocasiona efectos nocivos a la población que lo consuma. Dentro de las regiones geográficas que menor capacidad económica poseen para descontaminar sus aguas dulces se encuentran los países en desarrollo, como los ubicado en Asia Meridional (Asia, Indica, Sudoriental, por ejemplo), estando los ríos más contaminados en dichos países. Entre los contaminantes más comunes se tienen los microorganismos patógenos, desechos mineros, sustancias orgánicas industriales, residuo de plaguicidas, salinización, y sedimentos de erosión en pantanos, lagos y ríos. Respecto a los contaminantes que llegan a aguas subterráneas, estas son difíciles o imposibles de limpiar, por lo tanto, permanecen durante

un tiempo prolongado en ello inclusive en poca concentración (Organización de Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2003).

- **Crecimiento poblacional**

El análisis del crecimiento de la población es importante, ya que junto a ella se desprenden varias situaciones como se nombran a continuación. El crecimiento poblacional depende de la ubicación de las personas, en los países menos desarrollados el crecimiento es acelerado, mientras en los más desarrollados es constante; además, también dependerá de si viven en el ámbito rural o urbano, en el 2015 se pronosticó que al 2030, 5000 millones de personas se encontrarían en ciudades, ya que en tal año más de la mitad lo hacían. (UNFPA, 2015) Respecto a zonas urbanas que tienen un acelerado crecimiento poblacional, se sabe que cuentan con deficiente y reducida infraestructura de saneamiento que alcance a toda su población, implicando que enfrenten problemas de salud debido a la baja calidad del agua (UNESCO, 2006). En adición, el incremento de la población se vincula directamente a la demanda de alimentos, donde para el año 2050 se estima necesitar 100% más de alimentos en los países en desarrollo, mientras en 60% en los países desarrollados (Alexandratos y Bruinsma, 2012). Es así que, la agricultura manejando insosteniblemente el agua, reduce los recursos hídricos de ríos, acuíferos, degrada el ecosistema, y finalmente, es un peligro para la alimentación de millones de habitantes (FAO, 2011). Sin embargo, el agua y la energía tienen una interdependencia mutua, debido a que la energía necesita del agua para ser generada, siendo 15% del agua para este propósito, mientras la captación, tratamiento y suministro de agua necesita de energía en sus procesos. (WWAP, 2014) En adición, se conoce que la energía térmica e hidroeléctrica, son los principales suministros que requieren agua, además, estos tipos de energía son los más utilizados representando el 80% y 15% de la producción mundial de energía, respectivamente (WWAP, 2015a). Por último, entre los sucesos relacionados al incremento poblacional, se encuentra el crecimiento industrial, estimándose un incremento de 400% en la demanda de agua industrial entre el 2000 y 2050. Asimismo, la industria genera desechos los cuales contienen sólidos en suspensión que sedimentados cambian la composición constante de ríos, implicando consecuencias negativas para la población y demás seres vivos.

- **Crecimiento económico**

El recurso hídrico está directamente relacionado con el crecimiento económico, y que un constante y eficiente suministro de agua se requiere para la realización de bienes y servicios en distintos sectores económicos, como lo son la alimentación y energía (HSBC, 2012), es por ello, que el recurso hídrico es incorporado en la mejora continua de la producción económica, lo cual incentiva a los actores productivos llevar un manejo eficiente del uso del agua, llegando a cuidar sus ganancias (SIWI, 2005); además, organismos mundiales reconocen que el recurso hídrico impulsa la economía y ello reduce la pobreza (OMS/UNICEF, 2000).

Por lo mencionado, el movimiento económico logra una dinámica autosostenida para el recurso hídrico, puesto que las industrias buscan tener un suministro fiable de este recurso, impulsando sus sectores, y al mismo tiempo la educación y salud (WWAP, 2015). En conclusión, invertir en infraestructura hídrica tiene resultados económicos, sociales, y ambientales positivos.

- **Cambio climático**

La gestión de recursos hídricos y el cambio climático estas bastante vinculados, ya que al formular estrategias para optimizar la gestión de recursos hídricos también se enfrenta el cambio climático. Además, el cambio climático tiene como efectos relacionados a los recursos hídricos, puesto que afecta el recurso de agua en su disponibilidad en caudales fluviales y en niebla, disponibilidad de humedad, la cantidad de agua en ríos, lagos, y termokarst del ártico, entre otros, asimismo, el cambio climático genera fenómenos naturales como sequías, precipitaciones intensas, inundaciones, entre otros. (Bates et al., 2008)

En este sentido, el cambio climático afecta el ciclo del agua, para definir esta relación, se debe entender que el ciclo del agua es el transcurso por el cual el agua va trasladándose de un lugar a otro, así como de un estado físico a otro hasta volver al inicio del ciclo, que empieza por la evaporación, seguido de la condensación, precipitación, infiltración, escorrentía, circulación subterránea, fusión, y solidificación. (Oromapas, s.f.)

Una vez definido el ciclo del agua, se entiende que el incremento de temperatura del aire provoca mayor evaporación del agua; por lo tanto, suceden lluvias, tormentas,

inundaciones, entre otros fenómenos de manera más intensa; por ejemplo, el cambio climático influye en la evaporación del agua de la siguiente manera, como el aire cálido retiene mayor humedad que el frío, el incremento de temperatura incide en que se absorba más agua, dejando condiciones más secas que afectan la agricultura, por ejemplo. Una vez el aire cálido se enfría, este vuelve a la superficie terrestre como lluvia, granizo o nieve en mayor proporción que lo habitual, además, diferenciará los lugares con mucha precipitación como los secos. (Aqua Foundation, s.f.)

Recursos hídricos en el Perú.

- Marco normativo.

El correspondiente a la nación establece los derechos y las funciones de los organismos o instituciones que manejen la gestión hídrica como los proveedores del servicio del agua. Entre este grupo se ubican las diferentes Leyes, Decreto y resoluciones que se indican a continuación:

- Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos
- Ley N° 28611, Ley General del Ambiente
- Decreto Supremo N° 006-2015-MINAGRI que aprueba la Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos.
- Decreto Supremo N° 006-2010-AG, Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Nacional del Agua.
- Decreto Supremo N° 001-2010-AG, Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos.
- Resolución Jefatural N° 056-2018-ANA Clasificación de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales.
- Resolución Jefatural N° 042-2016-ANA, correspondiente a la Estrategia Nacional para el Mejoramiento de la Calidad de los Recursos Hídricos.
- Resolución Jefatural N° 030-2016-ANA, Clasificación de Cuerpos de Agua Marino Costeros.
- Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA, Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad del Agua Superficial.
- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, sobre el estado de la calidad de los recursos hídricos.

- **Disponibilidad de recursos de agua dulce.**

La disponibilidad de agua dulce depende de las fuentes naturales de donde se originan o discurren, en el Perú, se tienen tres vertientes hidrográficas mayores, siendo el Pacífico (62), Atlántico (84), y Lago Titicaca (13), que en total suman 159 unidades hidrográficas. (ANA, 2009)

En comparación a otros países, el Perú tiene una disponibilidad de 2,043,548.26 millones de m³ de agua anualmente, siendo uno de los 20 países con más recurso hídricos, con más de 70 000 m³/hab/año de agua (World Resource Institute, 2009) ; además, los ríos (1007) y lagunas (12,200) incrementan la disponibilidad del agua en 2458 millones de m³. Cabe mencionar que, los recursos hídricos la mayoría se ubican en la vertiente amazónica, empero, la población se concentra en la vertiente del Pacífico hacia el Atlántico.

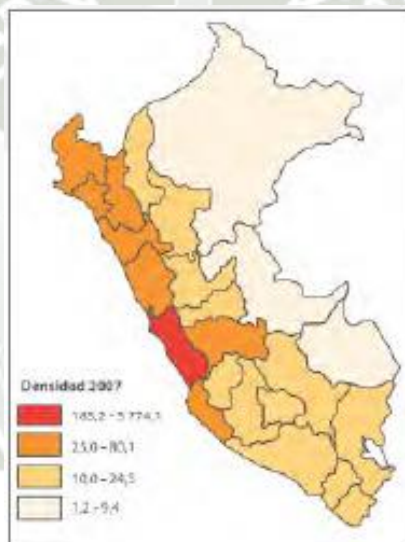


Figura 2: Distribución de la densidad de la población-2007

Fuente: INEI (2007).

En la Tabla 1 se observa que la vertiente del Pacífico concentra al 65% de la población, empero, solo dispone del 1.8% del agua; además, las zonas rurales como las ciudades poseen una disponibilidad menor a 1000 m³/hab/año. Por ejemplo, la ciudad de Lima que concentra la mayor población a nivel nacional cuenta con cuenca del Rímac, el cual tiene una disponibilidad de agua por debajo del límite mínimo de escasez, siendo solo 148.6 m³/hab/año (Kuroiwa, 2012). En contraste, la cuenca amazónica tiene 114 veces la disponibilidad de la cuenca del Pacífico, y el lago Titicaca solo cuenta con 0.5% de la disponibilidad a nivel nacional.

Tabla 2
Distribución recursos hídricos, de área y población en el Perú

Vertiente	Área (1000 km ²)	Disponibilidad hídrica (MMC/año)	Disponibilidad hídrica (%)	Población	Población (%)	Disponibilidad hídrica* (m ³ /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. INRENA (2009).

Cabe mencionar que, además de la desigual disponibilidad del agua por vertiente, también se presenta una desigual disponibilidad de agua por meses, siendo los meses de diciembre a marzo lo que mayor precipitación presentan, indicando que en otros meses puede presentarse aridez en algunos lugares. (MINAM, 2015)

Uno de los recursos hídricos que aporta a la disponibilidad del agua son los glaciares, que se pueden encontrar en ellos andes centrales, poseyendo el Perú el 70% de estos. Por la contaminación ambiental y el calentamiento global, los glaciares se están derritiendo, ocasionando alteraciones en el caudal e los ríos, implicando la desertificación de ciudades. El área que cubre los glaciares en territorio peruano se redujo en 51% (Autoridad Nacional de Agua [ANA], 2020) pasando de ser 2041.85 km² en 1970 a 1000.51 km² en 2020 (Autoridad Nacional del Agua, 2021).

- Usos de agua.

El Perú tiene regiones en las cuales una de las actividades económicas principales es la agricultura, dentro del cual algunas manejan practicas ineficientes de uso del agua, debido a sus inadecuados procesos de riesgo y sistemas de agua y alcantarillado, esta situación empeora la distribución del agua en el ámbito nacional. Las Tablas 2 y 3 muestran los principales usos del agua, siendo la agricultura la que predomina (80%), seguido por el agua potable y alcantarillado (18%), y la minería (2%).

Tabla 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. Autoridad Nacional del Agua ANA (2019).

Tabla 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. Autoridad Nacional del Agua ANA (2019).

Según los valores brindados por ANA, si bien el consumo del agua solo es 1% del total de agua disponible, el problema radica en la desigual distribución del mismo, debido a que la vertiente del Pacífico es el lugar en el cual se concentra mayormente la población, mas es donde solo se dispone del 1.8% del agua del país, siendo la actividad agrícola la de predominio, mientras en la cuenca del Rímac es la industria y consumo. (PNUD, 2009)

- **Problemas y conflictos.**

Como se mencionó anteriormente, que el agua se distribuya desigualmente por lugar y que también haya una desigualdad temporal, influye en la disponibilidad por vertiente, siendo la vertiente del Pacífico donde se generan más conflictos entre los usuarios, especialmente con el incremento de la actividad productiva. (ANA, 2009)

Además, otra dificultad que enfrentan los recursos hídricos es el asentamiento cada vez mayor de actividades mineras, forestales, de petróleo, de gas, entre otras, que se sitúan en cauces de agua y afectan la producción agrícola (Oxfam, 2014). La actividad agrícola usualmente lo practican habitantes de comunidades campesinas, donde también se realizan actividades de explotación y exploración de recursos como lo menciona Alforte et al. (2014), ocasionando que los habitantes de dichas comunidades vivan con un sentimiento de incertidumbre de que las actividades productivas afecten su modo de vida, como el agua y tierras.

a) Conflictos intersectoriales

- Los sectores que generan en conjunto el 72% de los conflictos relacionados al agua son el agrícola, minero y consumo doméstico (o los usuarios de agua potable).
- La calidad del agua es uno de los aspectos que genera más conflictos entre la minería y el consumo doméstico, ya que estos últimos temen que por la mala disposición de agua residual minera se reduzca la disponibilidad de agua o se afecte su calidad.
- El riego en el sector agrícola genera conflictos entre sus integrantes, ya que utiliza agua dulce en su actividad.

b) Conflictos regionales

- Conflictos entre departamentos, como el trasvase de agua entre Huancavelica e Ica.
- Conflicto entre cuencas

Los conflictos antes mencionados se ocasionan de acuerdo con lo descrito por Pereyra, (2008).

- **Monitoreos de calidad de agua.**

Proceso con mucha importancia en la gestión ambiental dado que permite la evaluación de los criterios del estado del ambiente y calidad, a través de vigilar de las variables fisicoquímicas como biológicas de las cuencas a fin de implementar acciones que conlleven a minimizar sus degradaciones. Por otro lado, permite el establecimiento de indicadores ambientales que conduzcan al control de estos (Egoavil, 2019).

- **Marco Institucional**

El agua es un recurso que debe encontrarse bien gestionado debido ya que no se puede sustituir y es limitado, cabe mencionar que es fundamental para la sociedad debido a que tiene un impacto el cual es directo en los pilares económicos, sociopolíticos y ambientales. La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) es un instrumento el cual cuenta base para alcanzar el desarrollo sostenible. En el siguiente cuadro se muestra que acciones se debe seguir para que se alcance el desarrollo sostenible, además estas son la base de la normativa peruana para que se logre una gestión optima.

Tabla 5

Cuadro de actividades para un Desarrollo Sostenible

Metas ODS14	Indicadores ODS14
14.1. De aquí a 2025, prevenir y reducir significativamente la contaminación marina de todo tipo, en particular la producida por actividades realizadas en tierra, incluidos los detritos marinos y la polución por nutrientes.	14.1.1. Índice de eutrofización costera y densidad de desechos plásticos flotantes.
14.2. De aquí a 2020, gestionar y proteger sosteniblemente los ecosistemas marinos y costeros para evitar efectos adversos importantes, incluso fortaleciendo su resiliencia, y adoptar medidas para restaurarlos a fin de restablecer la salud y la productividad de los océanos.	14.2.1. Proporción de zonas económicas exclusivas nacionales gestionadas mediante enfoques basados en los ecosistemas.
14.3. Minimizar y abordar los efectos de la acidificación de los océanos, incluso mediante una mayor cooperación científica a todos los niveles.	14.3.1. Acidez media del mar (pH) medida en un conjunto convenido de estaciones de muestreo representativas.
14.4. De aquí a 2020, reglamentar eficazmente la explotación pesquera y poner fin a la pesca excesiva, la pesca ilegal, no declarada y no reglamentada y las prácticas pesqueras destructivas, y aplicar planes de gestión con fundamento científico a fin de restablecer las poblaciones de peces en el plazo más breve posible, al menos alcanzando niveles que puedan producir el máximo rendimiento sostenible de acuerdo con sus características biológicas.	14.4.1. Proporción de poblaciones de peces que están dentro de niveles biológicamente sostenibles.
14.5. De aquí a 2020, conservar al menos el 10 % de las zonas costeras y marinas, de conformidad con las leyes nacionales y el derecho internacio-	14.5.1. Cobertura de las zonas protegidas en relación con las zonas marinas.

Fuente. Ministerio del Ambiente (2016).

Es necesario mencionar que para el apoyo en la administración y el desarrollo de los recursos hídricos de una manera sostenible y equilibrada es necesario la dirección de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), además identifican los diferentes grupos de interés que se encuentran compitiendo, que sectores son los que utilizan e incluso usan de manera indiscriminada el agua, y los requerimientos del medio ambiente. Además, la GIRH puede ser definida como un sistema que direcciona mejor la gestión y el desarrollo coordinado del agua, la tierra y recursos relacionados con el único propósito que el bienestar social y económico se incremente sin que la sostenibilidad de los ecosistemas vitales se comprometa. (Laura, 2019)

En el Perú la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos ha venido desarrollando instrumentos que consideran los recursos disponibles y el contexto geográfico espacial que son fundamentales para la gestión, entre estos instrumentos se tiene:

- La Política Nacional de Recursos Hídricos.
- Plan Nacional de Recursos Hídricos.
- Estrategia Nacional de Mejoramiento y demás los Planes de Gestión de Recursos Hídricos de Cuencas.

Durante muchos años la inexistencia de la planificación institucional ocasiono la contaminación y las inadecuadas prácticas de la utilización de agua en varias cuencas. Es por ello que debido a la necesidad de tener una herramienta que tenga la obligación de encargarse exclusivamente de la protección de los recursos hídricos, la Ley de Recursos Hídricos N.º 29338 que se encuentra actualmente fue publicada en el 2009. Es en este momento que se comienzan prácticas con relación al uso eficiente del agua con el fin de que se alcance una gestión sostenible y que las metodologías de la GIRH sean abordadas. Se representa la normativa principal en Perú referente a los recursos hídricos en la siguiente figura:

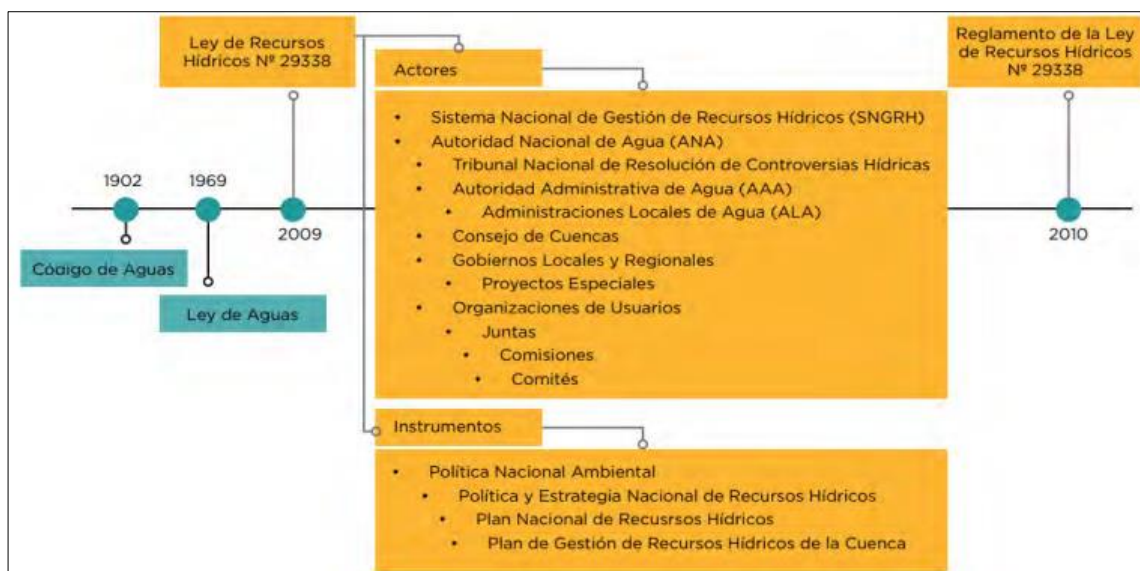


Figura 3: Actores e Instrumentos principales en Perú para la gestión de recursos hídricos

Fuente. Obtenido de Delgado (2018).

Algunas de las instituciones y herramientas legislativas que tuvieron como obligación la protección de los recursos hídricos en nuestro país son:

- **Autoridad Nacional del Agua (ANA)**

El único organismo encargado de la gestión de los recursos hídricos del país es la ANA. Se creó de acuerdo con el Decreto Legislativo N° 997 del 13 de marzo de 2008, que definió la Ley de Organizaciones y Funciones del Ministerio de Agricultura. Su objetivo es gestionar, mantener, resguardar y desarrollar los recursos hídricos de las distintas cuencas de manera sostenible, así como fomentar la cultura del agua. El Ministerio de Agricultura y Riego supervisa esta organización ya que esta entidad se encuentra dentro de este. En el contexto de la Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos y del Plan Nacional de Recursos Hídricos, la ANA coordina y articula el compromiso de las instituciones públicas y empresariales, los gobiernos regionales y locales y la sociedad civil en el Plan Nacional de Recursos Hídricos.

La GIRH requiere organizaciones públicas y empresariales, gobiernos regionales y locales, y la sociedad civil. El trabajo de la ANA se organiza en torno a cinco ejes, que se representan en la siguiente figura:

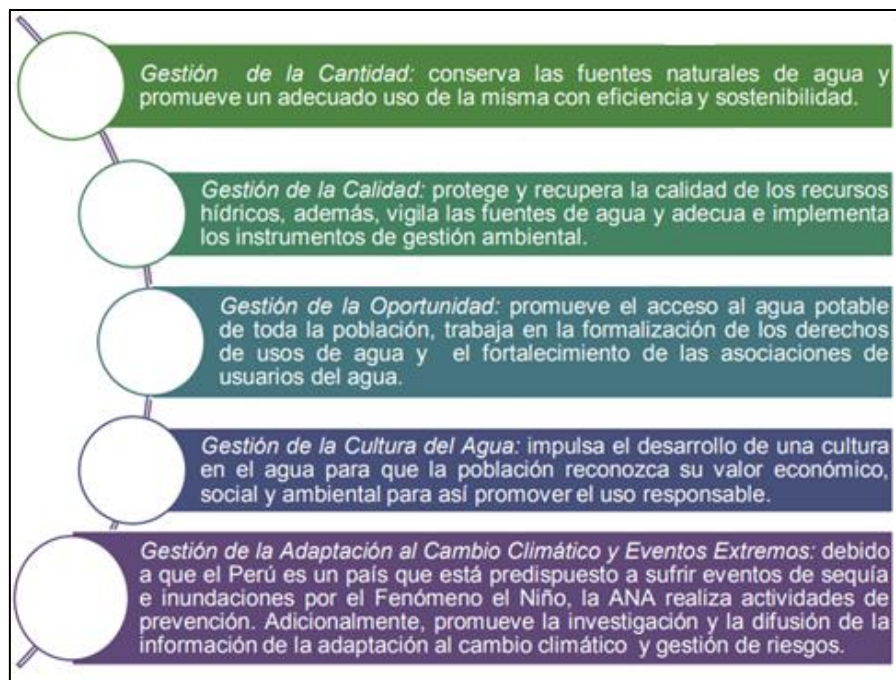


Figura 4: *Ejes de la gestión de la Autoridad Nacional del Agua*
Fuente. Obtenido de Delgado (2018).

En el Perú ANA posee un poder de jurisdicción territorial administrativa en relación del repartimiento de los recursos hídricos, además el país posee alrededor de 159 cuencas hidrográficas, es por ello que la ANA se organiza en órganos descentrados tales como a continuación se observa en la figura:

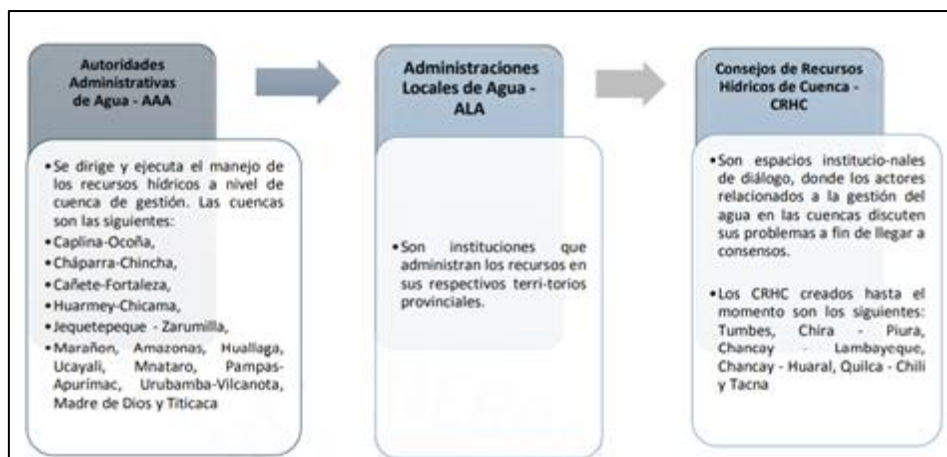


Figura 5: Órganos desconcentrados del ANA

Fuente. Obtenido de Delgado (2018).

Además, estos órganos desconcentrados se encuentran constituidos en 14 Autoridades Administrativas de Agua (AAA), 72 Administraciones Locales de Agua (ALA) y 6 Consejos de Recursos Hídricos de Cuenca (CEHC).

Sostenibilidad como modelo de desarrollo

- Definición de sostenibilidad.

El término sostenibilidad se refiere al mantenimiento de un sistema en el tiempo (García E. 1997). Es importante destacar que sostenibilidad y sustentabilidad son dos términos que pueden ser utilizados sin distinción (Gallopin, 2009).

Para algunos autores sostenibilidad es el no decrecimiento del consumo a través de los años, es decir se puede considerar sostenibilidad aquello que en un periodo de tiempo se ha mantenido en las condiciones deseadas (Arias, 2006). Además, Romo et al. (2013) describe que sostenibilidad es la satisfacción que demanda la generación actual sin poner en riesgo la capacidad de futuras generaciones con el fin de que las necesidades propias sean satisfechas.

- Ecosistemas naturales y funcionamiento.

Se empezó a definir por Valerio (2018) como un conjunto en el cual se encuentran dos componentes los bióticos que están compuestos por organismos vivos y los abióticos los cuales tienen origen orgánico los cuales están relacionadas entre sí.

Es un entorno en donde interactúan especies con su ambiente abiótico, en el cual suceden procesos como la depredación, competencia, parasitismo, simbiosis, formando así un ciclo de energía, por ello, un ecosistema lo conforman especies y el medio donde se sitúan (Biodiversidad mexicana, 2020).

- **Cambio climático y variabilidad climática**

De Lorenzo y Liaño (2016) nos dicen que la variación global de la tierra también es conocido como cambio climático, y que se genera en distintas escalas de tiempo y en un parámetro meteorológico cualquiera; y esto se da debido al modo de producción y consumo energético de los habitantes del mundo. El dióxido de carbono es el fundamental causante de este fenómeno, ya que su concentración atmosférica se ha multiplicado dos veces con creces desde la era preindustrial hasta nuestros tiempos. El cambio climático es una modificación en el clima debido a alteraciones en la atmosfera y variabilidad climática, este último se origina por causa naturales a las actividades realizadas por los seres humanos, y pueden suceder en una escala de años o épocas. (Minambiente, s.f.)

- **Sostenibilidad ambiental.**

Considerado como la permanencia de la diversidad de sistemas biológicos en el tiempo, para que la población y demás seres vivos se mantengan en un ambiente de bienestar (Fernández y Gutiérrez, 2013). Además, se puede definir la sostenibilidad ambiental como un seguro el cual nos garantiza que las generaciones futuras puedan llegar a tener los recursos suficientes con el objetivo de obtener la misma o una mejor calidad de vida que la generación actual. (Soria Lara y Valenzuela Montes, 2017)

- **Sostenibilidad desde la degradación entrópica.**

Dijo Baiget (2012) que la vida puede ser definida como un proceso neguentrópico lo que quiere decir que los organismos vivos tienden a generar su organización a partir de la degradación que conforman su entorno del resto de sistemas.

Consiste en el proceso neguentrópico, en el cual la degradación de sistemas forma un tipo de organización de organismos vivos, los cuales a la vez son dependiente de su orden, pero para mantenerse pueden alterar otros sistemas (Bastianoni et al., 2007).

- **Calidad de vida.**

Es la concepción de la población de tener al alcance y no se les restringe un estado de bienestar en sus vidas, para alcanzar la realización personal y felicidad, por otro lado, este tiene un aspecto subjetivo ya que dependerá de la persona y su ambiente social, cultural y expectativas alcanzar dicho estado. (Fernández et al., 2013)

Sin embargo, cabe mencionar que no solo el proceso de evolución ha ocasionado que exista degradación en los ecosistemas del mundo; esta degradación se ha extendido a las condiciones de vida de la mayoría de la población (Baiget, 2012).

Índice de Sostenibilidad de Cuencas (ISC)

Mayer, 2007 menciona que un índice es una agrupación cuantitativa de numerosas referencias que pueden brindar una perspectiva simplificada, coherente y multidimensional de un sistema. Es así como el ISC, desarrollado por Chaves y Alípaz es un índice que permite estimar la sostenibilidad de una cuenca o subcuenca teniendo como base las relaciones de causa y efecto. La evaluación de sostenibilidad hídrica es utilizada como una herramienta de diagnóstico con la cual se obtiene información necesaria para poder promover la gestión integral de los recursos hídricos (Belalcázar y Ortega ,2018). El uso de indicadores ha tomado mayor relevancia para la adopción de decisiones por parte de los responsables de políticas, quienes deben basar sus decisiones en información sobre el estado de la cuenca y las mejoras que requiere. Algunos autores recomiendan que la superficie de estudio de la cuenca sea de 2500 km^2 como límite máximo para una obtención más precisa del índice de sostenibilidad (Senent Aparicio y otros, 2016).

- **Metodología del Índice de Sostenibilidad de cuencas**

Según Pérez et al. (2016) está representada por cuatro factores que son: E (medio ambiente), H (hidrología), P (políticas públicas), y L (vida) que a su vez están integrados a los parámetros Presión, Estado y Respuesta. Aunque para su aplicación se requiere previamente tener conocimiento del sistema socio – ecológico y de los sistemas socio – culturales que lo conforman, para poder incluir otros factores que conlleven a la determinación del mismo, en atención a esta reflexión se presenta a continuación la Figura 6 donde se muestra el esquema a seguirse.

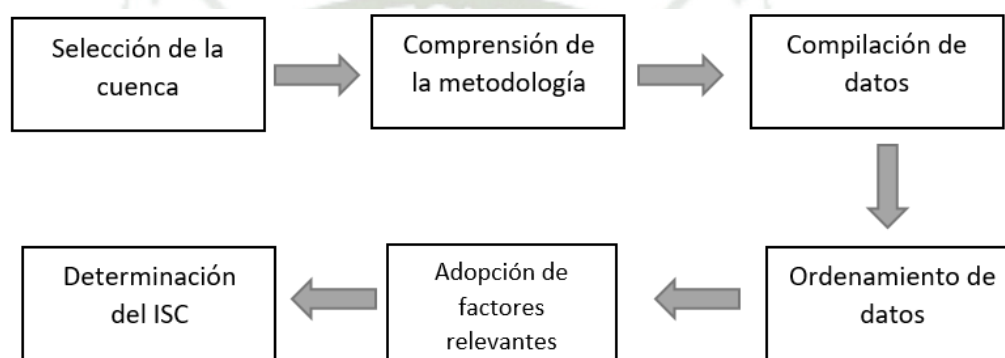


Figura 6: Esquema para la determinación del ISC

Fuente: Elaboración propia (2021).

Para Chaves y Alipaz (2007) estos tres parámetros incorporados a los factores permiten la determinación de las causas y los efectos; como también considerar las respuestas de las políticas implementadas para la sostenibilidad de la cuenca. Refieren los autores que los valores a considerarse en la evaluación son 0 y 1. En la Tabla 4 se muestra una explicación de las variables para la verificación del índice ISC.

Tabla 6
Indicadores y parámetros

Indicadores		Parámetros		
		Presión	Estado	Respuesta
Hidrología (H)	Cantidad	Variabilidad de agua per cápita en el tiempo	Reserva per cápita de agua en la cuenca.	Variación de la eficiencia por uso del agua en el tiempo
	Calidad	Diferenciación del DBO ₅ en el tiempo	Calculo promedio del DBO ₅ de la cuenca	Estudio de la disposición de aguas servidas en el tiempo de estudio
	Medio ambiente (E)	E.P.I. de la cuenca (rural y urbano) en el fase de estudiado con respecto al periodo anterior	Conocimiento del % de superficie de la cuenca con flora natural.	Conocimiento de las áreas protegidas en la cuenca en el tiempo de estudio
	Vida (L)	Variación del coeficiente Índice Desarrollo Humano (IDH) – Ingreso de la cuenca en el tiempo de estudio	IDH de la cuenca (ponderado/población)	Evolución del IDH de la cuenca en el tiempo de estudio
	Políticas (P)	Desviación del coeficiente IDH-Educación de la cuenca en el periodo estudiado con respecto a anteriores.	Capacidad legal e institucional de la cuenca en Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) en el tiempo de estudio	Identificación de los gastos en GIRH en la cuenca en el lapso del estudio.

Fuente. Delgado (2018).

Luego de analizado cada uno de los indicadores con los parámetros según lo reseñado en la Tabla 4 y las ponderaciones, indican Chaves y Alipaz (2007) que se procede a la determinación de forma lineal el ISC aplicándose la siguiente expresión matemática:

$$ISC = \frac{H + E + L + P}{4} \quad (3)$$

- **Indicador de Hidrología (H).**

De acuerdo a diferentes autores para su valoración deben considerarse dos variables, una referida a las particularidades químicas y físicas del agua de la cuenca, el otro a la disponibilidad del recurso per cápita por año. Por tanto, se valoran los subindicadores cantidad y calidad del agua, cuyos valores obtenidos deben ser promediados para la obtención global del indicador.

Con el subindicador cantidad se valora la disponibilidad de agua por persona (WA), considerando el índice establecido por Falkenmark y Widstrand (1992) citado por

UNESCO (2014) que es 1700 m³/persona/año. Es importante señalar que para Chaves y Alipaz (2007) fue un valor referencial, y plantearon un valor cuádruplo del mismo, 6800 m³/persona/año. Para la valoración del parámetro. Estado se considera el valor de WA al momento del estudio, la Presión corresponde la variación porcentual de WA (estudiada) en relación al año de referencia. El Subindicador calidad del agua se determina mediante la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), que pondera la cuantía de oxígeno consumido por los microorganismos en el agua. La calidad de agua optima reflejada bajo valores, indica existencia de reducidos desechos orgánicos y mayor cantidad de oxígeno disuelto. El parámetro de Presión representa la variación porcentual del DBO₅ del valor obtenido anterior al período en estudio, el parámetro Respuesta, es cualitativo.

- **Indicador de Medio Ambiente (ME).**

Comprende la presión ambiental, el área de follaje y las regiones resguardadas que existen en la cuenca. La valoración de la Presión se realiza aplicándose el Índice de Presión Ambiental (IPA), que se encarga de evaluar el efecto sobre el medio ambiente de las actividades agrícolas realizadas por el ser humano, su cálculo se realiza con la siguiente ecuación:

$$IPA = \frac{\% \text{ variacion areas agricolas y urbanas en el lapso estudio } (\% \Delta A_{ag} - \% \Delta A_{urb})}{2} \quad (4)$$

En cuanto a los parámetros Estado y Respuesta Chaves y Alipaz (2007) señalan que proveen información para detectar en qué medida este indicador se ha afectado en los años y evalúa las mejoras realizadas para la conservación de la cuenca.

- **Indicador de Vida (L).**

Mediante este indicador se evalúa el Índice de Desarrollo Humano IDH y el nivel de vida en la cuenca. Donde el IDH es un indicador el cual nos da la medida sobre tres aspectos fundamentales para el desarrollo: la salud, la educación y el bienestar material. Este parámetro presión está conectado a la calidad de vida de los individuos ubicados en un territorio, se califica de acuerdo al poder adquisitivo y se

cuantifica por el PBI por persona, midiéndose por la diferencia entre el inicio y final del PBI por persona. La ponderación del mismo se obtiene de la siguiente manera:

$$PBI \text{ per cápita} = \frac{\sum PBI \text{ de las diferentes comunidades en la cuenca} (PBI_i) \times Poblaciocomunidad (P_i)}{Población \text{ total de la cuenca} (P_t)} \quad (5)$$

El parámetro de Estado utiliza igual el IDH y el de Respuesta valora su variación en el curso del proceso de estudio.

- **Indicador de Políticas (P).**

Corresponde las acciones e inversiones habilitadas por las autoridades regionales o estatales en busca de mejorar la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) en la cuenca. El parámetro Presión evalúa el nivel de educación poblacional mediante el IDH relacionado a la Educación y refleja la potencialidad de las personas, se determina mediante la siguiente ecuación:

$$IDH_{Ed} = \frac{\sum IDH \text{ de cada comunidad asentada en la cuenca} (IDH_{Edi}) \times Población \text{ comunidad} (P_i)}{Población \text{ total de la cuenca} (P_t)} \quad (6)$$

Según Delgado (ob. cit.) el parámetro de Estado manifiesta el potencial legal e institucional de los organismos en la GIRH, su valoración es cualitativa, arrojada de la sumatoria del análisis si existe marco institucional y legal, y el manejo participativo. El de Respuesta estima la inversión realizada en la GIRH a la cuenca.

- **Parámetros de presión:** Según Belalcázar y Ortega (2018), mencionan que para poder obtener el valor de este parámetro se realizó el determinó de la disponibilidad de agua Superficial, así se pudo calcular la diferenciación de la disponibilidad de agua por cada persona en un periodo determinado.
 - Variación de la disponibilidad de agua per cápita en la cuenca durante el periodo de estudio en comparación con la media a largo plazo (m3/año/persona), corresponde a la variación del agua disponible por persona

en la cuenca en estudio, teniendo como fuente de agua de la cuenca Chili, los embalses de Chalhuanca, El Frayle, Aguada Blanca, Pillones, y demás fuentes naturales. El siguiente cuadro muestra el volumen almacenado de los 4 embalses en mención hasta abril de 2020 (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2020.).

Tabla 7

Volumen de agua almacenado a diciembre de 2020 (hm³), represas alimentadoras de la cuenca Chili

Represa	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Pillones	31.33	74.21	79.81	76.97	76.63	70.72	58.34	46.95	34.87	33.58	33.06	22.64
El Frayle	65.67	121.74	126.54	127.23	128.67	129.49	130.22	127.19	122.31	109.54	83.94	76.22
Chalhuanca	13.80	28.50	27.65	25.56	10.23	4.50	5.74	6.46	6.81	7.44	7.25	11.50
Aguada Blanca	22.69	17.51	31.92	16.82	24.89	25.74	25.23	26.91	28.46	23.16	22.83	27.68
Total	133.49	241.96	265.92	246.58	240.42	230.45	219.53	207.51	192.45	173.72	147.08	138.04

Fuente: Adaptación propia en base a Movimiento Hídrico Sistema Chili, Autodema (2021).

- Variación DBO5 en la cuenca durante el plazo de estudio, o de otro parámetro importante, en relación con la media a largo plazo (o histórico), indicador que hace posible reconocer la calidad del agua, estimando la cantidad de oxígeno para que una muestra microbiana heterogénea de materia organica en 5 días (DOF, 2001), considerando agua contaminada si el DBO5 es mayor a 30 mg/L. (Conagua, 2011) La cuenca Quilca-Chili presentan ciertas condiciones negativas de calidad del agua como: demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), concentraciones superiores a los legales en coliformes (ECA1 A2) de forma termotolerantes como totales, se encuentran, además, metales pesados por encima de los ECA para agua, y nitratos. Teniendo las unidades hidrológicas altas y medias de Quilca-Vitór-Chili elevados valores de DBO5 (mg/l) (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2020).
- Índice de presión Ambiental EPI de la cuenca (rural y urbana) durante el periodo estudiado.
- Variación de IDHPIB-Índice de ingreso per cápita (IPIB) en el plazo de tiempo estudiado, en comparación al periodo anterior, visto que el Índice de

Desarrollo Humano IDH comprende tres aspectos básicos, entre ellos el PIB per cápita en relación del poder adquisitivo (PPA) y en dólares estadounidenses, el cual se encarga de medir un nivel de vida adecuado. (Ministerio de Economía y Finanzas [MEF], s.f.)

- Variación en la cuenca del IDH-educación IE, en el periodo estudiado, en comparación al periodo previo, referido a que el IDH tiene como uno de sus tres aspectos los conocimientos de la población, para ello la tasa de alfabetización adulta y tasas brutas de matrícula (combinación de primaria, secundaria y terciaria). (Ministerio de Economía y Finanzas [MEF], s.f.)
- **Parámetros de estado:** Belalcázar y Ortega (2018) determinan que la disponibilidad de agua (W_a) es el cociente que resulta de dividir el promedio histórico de agua disponible y la población perteneciente de la subcuenca el cual debe considerar el cálculo de la proyección de la población para la determinada área de la subcuenca del periodo correspondiente.
 - Disponibilidad de agua per cápita (m^3 /persona año) tanto en superficie como en fuentes de agua subterráneas en el periodo histórico.
 - Promedio DBO5 (mg/l) de la cuenca a largo plazo (u otro parámetro crítico).
 - Porcentaje de área (A_v) de la cuenca bajo vegetación natural.
 - IDH ponderado de cuenca en el periodo anterior (ponderado por población).
 - Capacidad legal e institucional en GIRH en la cuenca (legal y organizacional).
- **Parámetros de respuesta:** Considerado como un parámetro cualitativo, mediante el cual se pudo analizar las mejoras del eficiente uso del agua durante un periodo determinado, en pocas palabras se revisaron las posibles inversiones que se hicieron en la subcuenca, el cual tiene como objetivo obtener un óptimo servicio de acueducto y alcantarillado. (Belalcázar y Ortega ,2018)
 - Variaciones en la eficiencia del uso del agua en la cuenca a lo largo de un período de cinco años en comparación con el período histórico.

- Cambios en el tratamiento y eliminación de aguas residuales de la cuenca a lo largo del periodo.
 - Evolución a lo largo del periodo de las zonas de preservación de la cuenca (zonas protegidas y BMP).
 - La evolución del IDH a lo largo del tiempo en la cuenca (ponderado).
 - El desarrollo de los egresos de la GIRH en la cuenca a lo largo del tiempo (tanto legales como organizativos).
- **Parámetros de respuesta modificado:** Es considerado un parámetro cualitativo, el cual evalúa de forma cualitativa la mejora del óptimo tratamiento de aguas cloacales (son desechos líquidos procedentes de uso doméstico y comercial se le llama aguas cloacales ya que son transportadas mediante cloacas) en la subcuenca en un periodo determinado. (Belalcázar y Ortega ,2018)
- Cambio de la disponibilidad de agua no convencional per cápita durante en el periodo estudiado.

Teoría disipativa

- **Sistemas disipativos**

Son estructuras que persisten lejos del equilibrio y se desarrollan, por el principio entrópico de la termodinámica, ya que al existir incremento de materia y energía en el sistema generan un nuevo estado más complejo, dado a la inestabilidad de la materia, las alteraciones y el desorden, transformándose en otras estructuras de forma auto organizada que permanecen por la propiedad de homeostasis.

Fue Prigogine (1965) quien identificó que la entropía generaba un estado caótico, del cual podían surgir nuevas estructuras ordenadas, que exigen energía para mantenerse y sus relaciones no son lineales. Y donde se reorganizan existen fluctuaciones que les permite expandirse por todo el sistema generando otros estados cualitativamente diferentes a los ubicados en el equilibrio. Este fundamento conlleva a expresar que son sistemas disipativos la flama de una vela, los seres vivos, la biósfera y el urbanismo.

- **Cambio entrópico entre subsistemas.**

Un sistema confluye elementos organizados de forma equitativa, y al intercambiar masa como energía con su entorno son sistemas abiertos, los cuales recompensan su degradación sistémica entrópica mediante las contribuciones de los subsistemas con los que interactúan. Dado a la neguentropía, denominada también entropía negativa o sintropía, y representa el proceso natural del sistema en modificar su estructura, conduciendo a adaptarse con los subsistemas dentro del mismo.

- **Subsistema socioeconómico.**

Representa el subsistema organizador y que estructura el territorio de una nación, está referido a estudios sobre desarrollo evolutivo y ejercicio económico con base en las actividades de los sectores productivos y demografía; como también, indagación de estrategias para reducir las desigualdades sociales, disminuir la pobreza o la exclusión social y aumentar la calidad de vida. (Pino-Loza, 2013)

- **Subsistema de recursos y medio ambiente.**

Engloba los elementos que obtienen energía del ambiente y son vitales para la realización de las actividades tanto sociales como económicas de la región. Esta referido al análisis de la correlación sociedad–naturaleza para mitigar los impactos negativos y perseverar los recursos requeridos para el progreso territorial y las cuencas. (Dourojeanni, Jouravlev y Chávez, 2002)

- **Sistemas externos.**

Representa todos aquellos elementos que se encuentran en el perímetro externo o exógeno a un sistema. Tales como las políticas de Estado, el clima, los tratados, la competencia, el mercado, el ambiente, entre otros (Castellano, 2006). A este respecto refiero que para el logro de la sostenibilidad de un sistema es vital evaluar las oportunidades como amenazas existentes exteriormente.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

Campo de verificación

1.1. Ubicación espacial: lugar de ejecución del trabajo

El lugar de ejecución del trabajo fue la subcuenca del río Chili ubicado en el departamento de Arequipa, en Perú. La subcuenca tiene como origen la unión del río Blanco y Sumbay a 3750 msnm, y tiene como punto final Palca (Yura) a una altura de 1475 msnm, su extensión es de 90 km, siendo el área determinada para la investigación de 848,75 km². En términos geográficos se encuentra en UTM WGS84: Norte 8 155 476 m y 8 203 902 m, Este 219 396 m y 253 201 m.

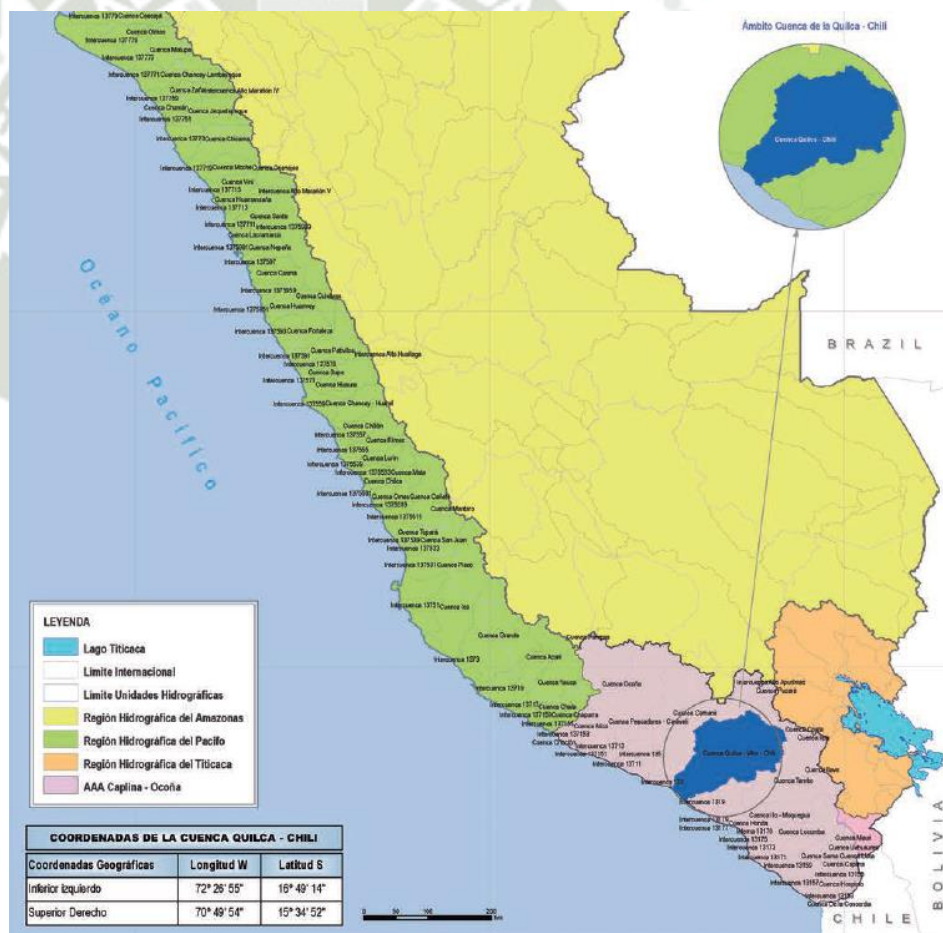


Figura 7: Ubicación geográfica de la cuenca
Fuente. Autoridad Nacional del Agua (2019).

Esta cuenca se encuentra en la vertiente occidental de la cordillera de los Andes, y limita con las cuencas de los ríos Cabanillas y Tambo al sur y al este, y con la cuenca del río Colca al norte y al oeste.

La subcuenca del río Chili pertenece a la cuenca del Quilca Chili, esta cuenca presenta los diversos tipos de fuentes en relación al volumen de agua utilizado para cada tipo de uso como se representa en la siguiente tabla:

Tabla 8

Volúmenes de agua utilizada por la Autoridad Administrativa del Agua según tipo de Uso

Tipo de Fuente	Volumen de agua utilizado (hm ³)										
	Poblacional	Agrario	Acuicola	Energético	Industrial	Medicinal	Minero	Recreativo	Turístico	Transporte	Otros
Superficial	69,839	662,707	0,478	-	1,452	-	36,592	0,877	0,043	-	0,831
Subterráneo	1,795	1,202	-	-	3,763	-	9,525	0.194	-	-	0.050
Marítimo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	71,634	663,909	0,478	0,000	5,215	0,000	46,117	1.071	0,043	0,000	0,881

Fuente. Compendio Nacional de Estadísticas de Recursos Hídricos (2018).

Se muestra en el Compendio Nacional de Estadísticas de Recursos Hídricos elaborado en el año 2018 que la cuenca en estudio se encuentra entre las tres cuencas que presentan una mayor cantidad en volumen del consumo del agua en relación con las demás, con lo mencionado se confirma que la cuenca es fundamental para el Perú con respecto a el ámbito económico, lo que lleva a tener en cuenta que es importante obtener el grado de sostenibilidad del recurso hídrico.

Debido a la ubicación en la que se encuentra con relación a la cordillera de los Andes, la cuenca Quilca-Chili es perteneciente a la vertiente del Océano Pacífico, además casi toda la provincia Arequipa es abarcada por esta cuenca, presenta una Latitud Sur de 15° 37'50" y 16° 47'10" y Latitud Oeste de 70° 49'15" y 72° 26'35" en relación al suroeste del Perú. Cabe mencionar que 13817 km² es la extensión total de la cuenca Quilca-Chili y se encuentra repartida en 11 unidades hidrográficas que tienen nivel 4, de las cuales 6 son tributarias y el cauce principal se encuentran conformadas por 5, finalmente 4 unidades hidrográficas de

nivel 5 (intercuencas) se encuentran en su repartición. Además, se encuentra conformada por 41 distritos, y en el ámbito administrativo de la AAA I Caplina- Ocoña se encuentra ubicada.

La cuenca Quilca-Chili tiene tres zonas térmicas que se diferencian por sus distintas alturas (4400-2500, 2499-1650 y 1649-0 msnm), debido a estas diferentes alturas las temperaturas y precipitaciones se muestran determinadas y no son iguales, es por ello que en las cumbres son bajas la temperatura a comparación de las precipitaciones que son altas. La diversidad biológica, ecológica y cultural presente en la cuenca de estudio es un rasgo diferenciador, ya que este rasgo permite distinguir un conjunto de zonas de vida que se encuentran divididas en espacios geográficos relacionados íntimamente las cuales son: la llanura costera y el sistema de la cordillera occidental de los andes que también se pueden ver en la siguiente figura:

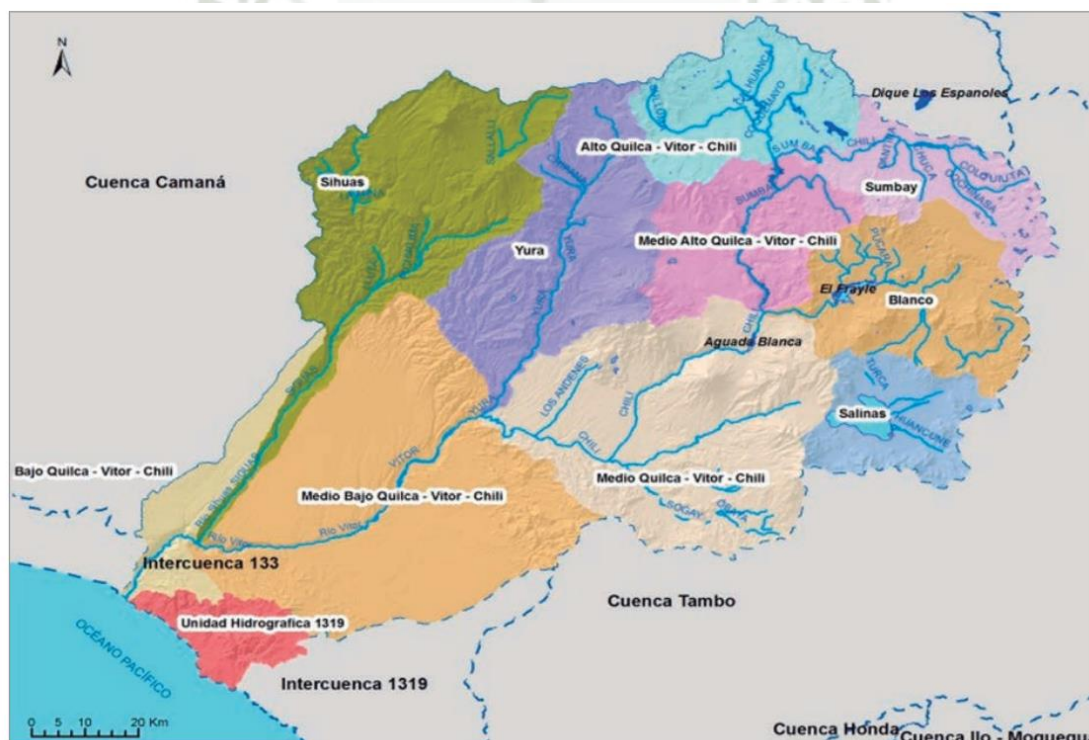


Figura 8: Mapa de las Unidades hidrográficas del ámbito del Consejo de recursos Hídrico de Cuenca su ubicación y propiedades

Fuente. Obtenido del Proyecto de Modernización de la Gestión de los Recursos Hídricos (2015)

Además, en el siguiente cuadro se muestra de una manera más detallada las unidades hidrográficas presentes en la Cuenca, su superficie total en (km^2) de cada una de ellas y su porcentaje que representa de la superficie total de la cuenca de Quilca- Chili.

Tabla 9

Superficie de las unidades hidrográficas del ámbito del Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca

Unidades hidrográficas	Superf. total (Km^2)	% superf.
Alto Quilca-Vítor-Chili	949,62	6,9
Bajo Quilca-Vítor-Chili	469,75	3,4
Blanco	1 161,98	8,4
Medio-Alto Quilca-Vítor-Chili	934,66	6,8
Medio-Bajo Quilca-Vítor-Chili	2 932,59	21,2
Medio Quilca-Vítor-Chili	2 334,60	16,9
Salinas	655,73	4,7
Siguas	1 762,38	12,8
Sumbay	721,43	5,2
Unidad Hidrográfica 1319	360,38	2,6
Yura	1 534,26	11,1
Cuenca total	13 817,39	100,0%

Fuente. Obtenido del Proyecto de Modernización de la Gestión de los Recursos Hídricos (2015).

Es importante mencionar que para la subcuenca del Río-Chili se tomó en cuenta para la obtención de la superficie total de dicha subcuenca el recorrido que realiza el río Chili, en el siguiente cuadro se muestra el paso que realiza el Río Chili en las unidades hidrográficas, es por ello que solo se toma la una unidad Hidrográfica Medio Quilca -Vitor-Chili ya que es por esta unidad el recorrido que realiza el río Chili.

Tabla 10
Superficie de la Subcuenca del Río-Chili

Unidad Hidrográfica	Recurso Hídrico	Descripción	Superficie (km ²)
Medio Quilca-Vitor -Chili	Río Chili	En la campiña que rodea a Arequipa, hay una zona bajo regulación, y en la parte oriental de la cuenca, no hay regulación.	2334,6
Subcuenca del Río- Chili		TOTAL	2334,6

Fuente. Elaboración Propia (2021)

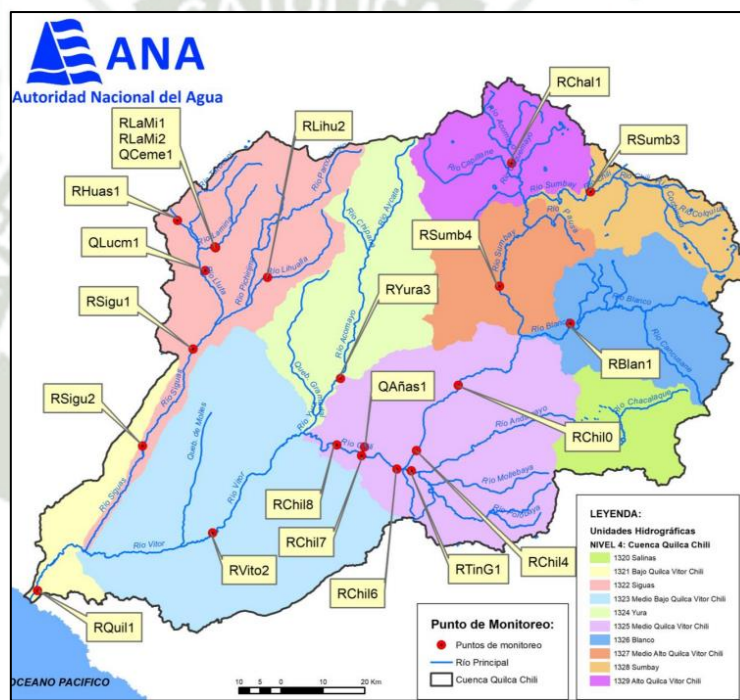


Figura 9: Mapa de las Unidades hidrográficas y sus puntos de monitoreos de Calidad de Agua en la Cuenca Quilca-Chili
Fuente. Autoridad Nacional del Agua (2021).

En la figura anterior se muestra las unidades hidrográficas con los ríos que pasa por cada una de ellas, además se puede observar que solo en la unidad Hidrográfica Medio Quilca Vitor Chili es el recorrido del río Chili.

Con relación a las áreas protegidas, se diferencian las nacionales que se tienen a Salinas, Aguada Blanca, y Punta Hornillos de las regionales que son los bosques de queñua El Rayo y el Nevado del Pichu -Pichu, el Valle del Colca – Nevado Ampato, y por último se tiene en las regionales la propuesta Chapi- Churajón.

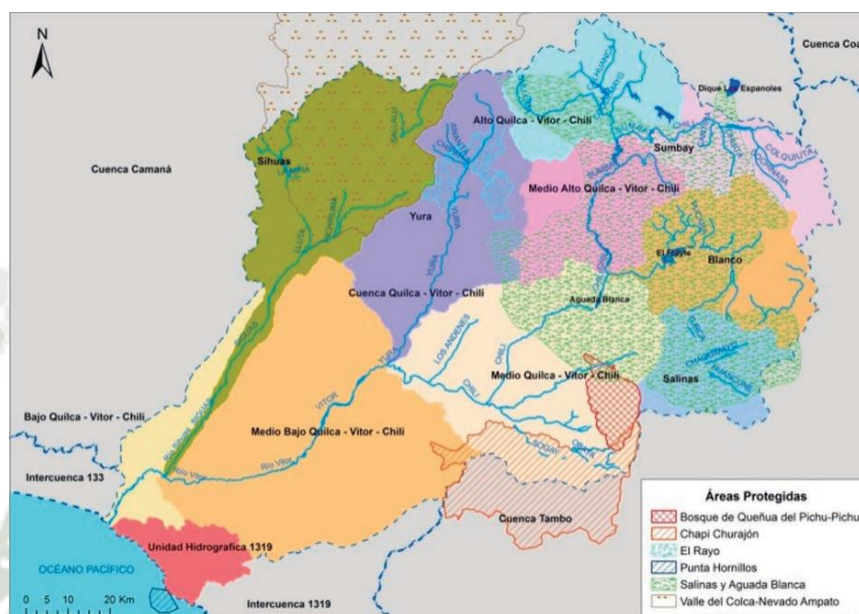


Figura 10: Mapa de Áreas Protegidas

Fuente. Obtenido del Proyecto de Modernización de la Gestión de los Recursos Hídricos (2015).

Alrededor de 925 295 habitantes son pertenecientes a la población de la cuenca, que en su mayoría se encuentra concentrada en Arequipa Metropolitana que en ella se tiene en Cerro Colorado 137 194 habitantes, en Paucarpata 121 273 habitantes, en Cayma 86 079 habitantes, en Alto Selva Alegre 78 626 habitantes, en José Luis Bustamante y Rivero 75 118 habitantes, en Socabaya 72 227 habitantes. Además, se tiene el siguiente cuadro de la población por provincia habitada en la cuenca del Quilca- Chili.

Tabla 11
Cantidad de habitantes por provincias

Provincia	Población (habitantes)	
	Año 2013	Año 2021
Arequipa	925 295	1 009 041
Camaná	342	264
Caylloma	46 048	65 845
Islay	648	573

Fuente. Obtenido del Proyecto de Modernización de la Gestión de los Recursos Hídricos (2015).

1.2.Actividades Económicas

En la cuenca se realizan diferentes actividades económicas ya que se le da diferentes usos al suelo, entre las primordiales actividades económicas se tiene la ganadería, la agricultura, la industria y la minería; aunque el comercio y los servicios están comenzando a tomar una gran importancia. Es importante mencionar que la principal actividad económica de la cuenca en estudio es la agricultura, además es el sector agrario el que más consume agua de la cuenca Quilca - Chili. Teniendo en cuenta su clima, las características presentes del suelo y sobre todo la disponibilidad y calidad del agua, es que se han venido instalando cultivos en los valles de Quilca, Alto Sigwas, Sigwas, Pampas de Majes, Santa Rita, Vitor, Yura, la Joya, La Campiña de Arequipa y la Cuenca Oriental. Los productores agrícolas que poseen parcelas son un 70.5 %, además estas parcelas representan una extensión de aproximadamente de 3 Ha, la cual es el 15.9 % de la superficie total. La alfalfa es el cultivo que predomina en la cuenca, luego le sigue la cebolla, el maíz chala y grano, la papa y entre otros diversos cultivos.

También se tiene a la minería como una de las primordiales actividades económicas de la cuenca de Quilca- Chili, la minería se encuentra orientada en gran medida a la explotación del cobre y la Sociedad Minera Cerro Verde es el mayor representante que tiene, además se han integrado

plantas nuevas de producción concentrado de cobre. Esta actividad representa un 10.2% del PBI departamental y en el nacional un 9.2% del PBI minero, con una tendencia a incrementarse.

Con respecto a la actividad industrial, las industrias que destacan son la cervecera, cementera, producción de cueros, textiles, lácteos y por último se tiene a las empresas metalmecánicas. Además, se debe mencionar las empresas de chocolates, variedad de dulce y licor de anís.

En la actividad energética de la cuenca en estudio se hallan ubicados 6 centrales de diferentes capacidades y diversos años de entrada en operación, las cuales son parte del sistema hidroeléctrico Charcani la cual es administrada por la empresa EGASA. Las 6 centrales en conjunto tienen una potencia instala total de 175.82 MW. Además, esta actividad se encuentra mostrando proyecciones de crecimiento, ocasionado por el déficit de energía eléctrica presentado en Perú.

1.3.Diagnóstico y Línea de Base de la Cuenca de Quilca – Chili

En el diagnóstico se muestra principalmente una mirada sobre la cuenca en estudio en estos últimos años y los cambios y problemas que esta presenta con una base descriptiva articulada. Además, la línea base es la que se desarrollará en los siguientes puntos también se verá los problemas hallados con respecto a los siguientes ejes temáticos: el uso y provecho de los recursos hídricos, calidad, cantidad y cultura del agua, riesgos asociados al manejo de recursos hídricos, institucionalidad y cambio climático.

- **Diagnóstico**

Aprovechamiento de los recursos hídricos, los siguientes aspectos pueden resumir este problema:

- Desigual conocimiento con respecto la disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca, la existencia de estaciones

las fuentes agua que está presente, i
en los que dan registros con un elev
certidumbre.

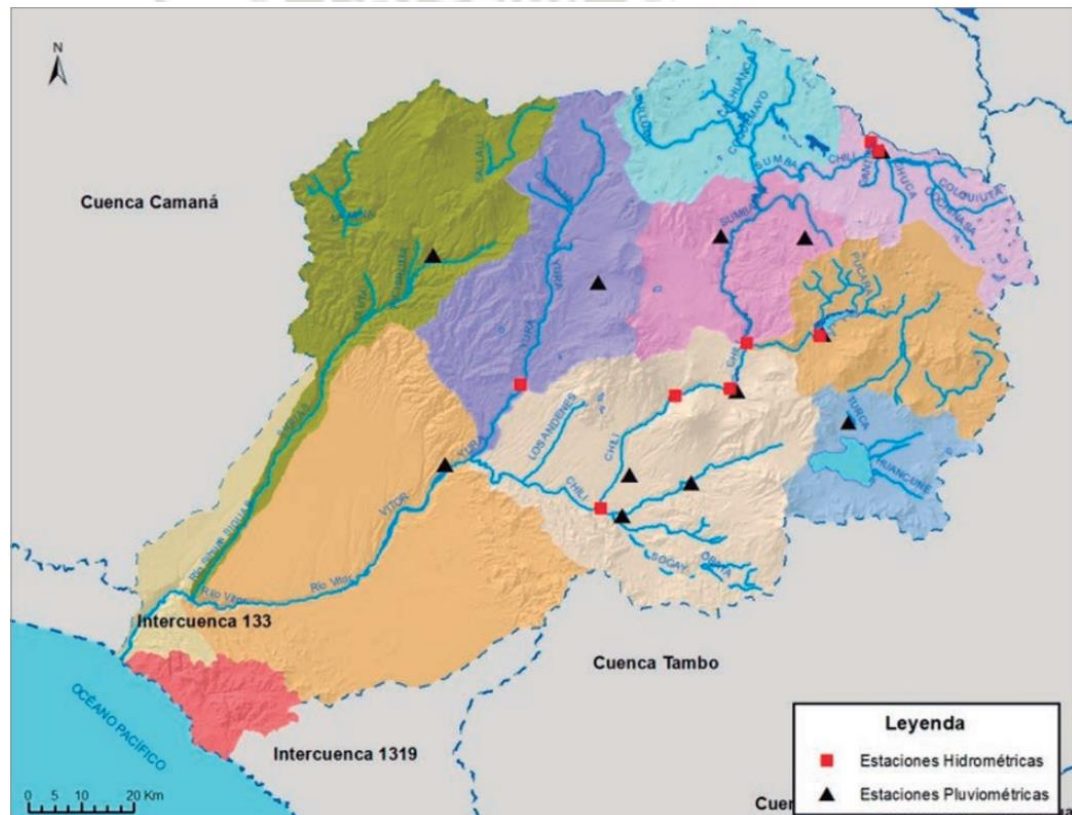


Figura 11: Ubicación de las estaciones hidrométricas y pluviométricas
Fuente. Proyecto de Modernización de la Gestión de los Recursos Hídricos (2015).

- Estado de la infraestructura hidráulica deficiente, la forma en la que se está aprovechando la disponibilidad hídrica en la cuenca de estudio ocurre de una manera no eficiente, debido a que se ve la presencia de pérdidas importantes en

el acopio, conducción y distribución del agua. Existen tramos de recorrido y secciones con irregularidades con riesgo a presentar un desborde y rotura estos tramos se presentan específicamente ubicadas en Valle de Vítor, además en la cuenca Quilca – Chili hay otras partes que los inventarios de la infraestructura no se encuentran completos ni actualizados. Incluso existe la falta de medidores automáticos de caudal.

- En las demandas poblaciones hay una atención insuficiente, existen problemas fundamentales que causan que la atención sea insuficiente para la demanda poblacional de la cuenca en estudio, estos problemas son:
 - La infraestructura no es la suficiente para que se pueda cubrir con el servicio de potabilización demandado y previsto.
 - La calidad del agua recogida para el abastecimiento es insuficiente debido al crecimiento demográfico, a los vertidos industriales y a la contaminación difusa, lo que hace que el agua no sea apta para el uso humano y que sea necesario un tratamiento más complejo del agua potable.
 - La cobertura de redes de abastecimiento y suministros no se encuentra completa. El desconocimiento de los municipios sobre el porcentaje de la demanda poblacional que es atendido, ya que únicamente se tiene conocimiento sobre la cobertura de agua potable que tiene SEDAPAR en la cual el 88.9% tiene de

alcance de la población de Arequipa Metropolitana.

- Los sistemas de medición en los abastecimientos son insuficientes.
- Desconocimiento por parte de los municipios sobre las condiciones presentes y de la infraestructura su estado operativo.
- La insuficiente cantidad de plantas de tratamiento de aguas residuales.
- En el uso existe la presencia de informalidad, para una demanda estimada de 80 MMC solo se encuentran licenciadas 68 MMC anuales lo cual genera la falta de seguridad jurídica para los usuarios. Además, existen diversos centros poblados que los derechos de uso poblacional se encuentran informales.
 - En las irrigaciones de las subcuencas no reguladas la presencia de demanda insatisfecha, se muestran en varios sectores una falta del recurso hídrico sobre todo en los meses de julio a noviembre en los balances hídricos estimados, pero sobre todo esto ocurre en la subcuenca del río Mollebaya, en Quequeña y el sector bajo de Yarabamba.
 - La formalización no completada de los derechos y la falta de eficiencia en el uso, tanto la infraestructura menor de riego y la técnica de aplicación del agua en parcela pueden mejorar con el propósito de lograr un uso con mayor eficiencia y un ahorro del agua y así permitir incrementar el suministro en épocas de escasez.
 - Fuentes de agua con presencia de la vulnerabilidad, en la cuenca de estudio el recurso hídrico presenta diversas

presiones que se encuentran en aumento como el aumento de la población en los diferentes distritos, pero sobre todo en los que se encuentra más poblados, la actividad económica que se encuentra en aumento y la mejor calidad de vida. Además de la misma forma los recursos acuíferos aumentan el impacto negativo con la presencia de la inequidad social, la marginalidad económica, la carencia y las limitaciones presentes en los programas de superación y pobreza y por último la inadecuada cultura del agua.

- **La línea de base**

Para la valoración de los futuros diferentes escenarios se ve requerida una cuantitativa valoración a través de indicadores de los diferentes problemas en la cuenca de estudio.

Aproximadamente el aporte promedio anual de la cuenca Quilca-Chili es de 1310 millones de metros cúbicos (MMC), los trasvases desde la cuenca Colca-Camaná-Majes se encuentra incluida. Además, las subcuencas Chili y Sigvas con este recurso la demanda no se encuentra insatisfecha, a comparación de las subcuencas de Yura, Andamayo, Mollebaya y Yarabamba que presentan problemas de carencia del agua, es por ello que se registran situaciones de déficit hídrico para sus agrarios.

Existen estudios hídricos realizados en la cuenca de estudio en cuanto a la relación de los inventarios de recursos hídricos y las estimaciones realizadas en los estudios de disponibilidad hídrica y de demandas previamente obtenidas. Los resultados de dichos estudios realizados se representan a continuación en el cuadro:

Tabla 12
Resultados resumidos de balances actuales del uso del agua

Ámbito	Demanda (MMC)	Abastecimiento (MMC)	Déficit (%)
Andamayo	73,39	65,98	8,7
Mollebaya	12,35	5,26	56,2
Yarabamba	35,33	24,40	19,8
Chili	512,72	512,72	0,8
Yura	70,85	65,75	6,3
Siguas	353,90	353,90	2,8

Fuente. Obtenido del Proyecto de Modernización de la Gestión de los Recursos Hídricos (2015).

La Central Hidroeléctrica de Charcani V viene utilizando en absoluto todo el caudal circulante del río Chili con el fin de producir energía, apartando un tramo del río sin agua, exceptuando los reboses que pueden existir en la represa de Aguada Blanca. De igual manera, las represas restantes que se encuentran presentes en la cuenca Quilca – Chili no se encuentra determinado un caudal ecológico mínimo, ni tampoco la cantidad numerosa de bocatomas; Yuramayo es la única excepción que deja el paso de un caudal mínimo de $0.15 \text{ m}^3/\text{s}$.

Para el abastecimiento un 84 % se encuentra la cobertura de los servicios de agua para el uso de la población y un 73 % para el saneamiento.

Un 11% de bocatomas rústicas, 93% de reservorios rústicos y 28% de canales principales revestidos se sintetiza la línea de base en relación a la infraestructura como se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 13
Sinterización de la línea base en infraestructura hidráulica

	Permanentes/ Revestidos	Totales	(%)
Bocatomas (n.º)	22	194	11
Reservorios (n.º)	199	214	93
Canales principales (km)	251	911	28

Fuente. Obtenido del Proyecto de Modernización de la Gestión de los Recursos Hídricos (2015).

En relación a las eficiencias de los sistemas de riego estos se pueden mejorar, mientras que se encuentre un margen para la minimización de las pérdidas en la conducción y distribución de ciertos sectores, de igual forma para un buen manejo del recurso hídrico en parcela que obtenga de resultado un ahorro de agua a través de la tecnificación de los sistemas de riego, por la adecuada programación y aplicación de los riegos que se puede ver en el siguiente cuadro.

Tabla 14
Eficiencia de riego

	Eficiencia de riego			
	Conducción (%)	Distribución (%)	Aplicación (%)	Global (%)
Chili No Regulado	73-97	88	60	45
Chili Regulado	88	85	58	43
La Joya Antigua	80	85	60	42
La Joya Nueva	85	83	60	42
Yura Viejo	84	85	52	37
Yuramayo	85	89	54	41
Valle de Vitor	85	80	55	37
Valle de Siguas	92	94	49	42
Pampa de Majes	93	90	84	74
Santa Rita de Siguas	92	94	49	42

Fuente. Obtenido del Proyecto de Modernización de la Gestión de los Recursos Hídricos (2015).

Mientras que en los derechos de uso de agua se tiene licenciada en relación al área actualmente 34 477 hectáreas frente a los 47 081 totales de hectáreas bajo riego estimadas en la cuenca lo cual representa un 73% del total, que se observa en la siguiente tabla.

Tabla 15
Derechos de Agua

Junta de Usuarios	Área bajo riego (Ha)	Área licenciada (Ha)	%
Chili Zona Regulada	6 903	(a)	N/D
Chili Zona No Regulada	5 638	5 062	89,8
Río Yura	2 112	758	35,9
La Joya Antigua	3 986	4 121	103,4
La Joya Nueva	5 896	5 059 (b)	85,8
Valle de Vítor	1 974	1 718	87,0
Santa Rita de Sigvas	1 957	1 953	99,8
Pampa de Majes	14 955	14 891	99,6
Ampato-Sigvas-Quilca	3 661	915	25,0
Total	47 081	34 477	73,2

Fuente. Obtenido del Proyecto de Modernización de la Gestión de los Recursos Hídricos (2015).

En relación a la calidad de las aguas superficiales, resalta la existencia de metales pesados en concentraciones que se encuentran fuera de la normativa, atribuible a la propia geología de la cuenca. En el siguiente cuadro se muestra los valores recogidos de DBO₅ en las unidades hidrográficas Alto Quila-Vítor-Chili y Medio Quilca-Vítor-Chili.

Tabla 16
Concentraciones de DBO₅(mg/l)

Unidad Hidrográfica	Tramo	DBO ₅ periodo seco (mg/l)	DBO ₅ periodo húmedo (mg/l)
Alto Quilca-Vítor-Chili	Chalhuanca	6,5	5,6
Medio Quilca-Vítor-Chili	UH 13257	7,0	2,9
	Yarabamba-II	2,6	0,1
	Yarabamba-I	4,0	0,5
	Yarabamba-III	63,2	1,4
	Yarabamba-IV	138,9	19,7
	Yarabamba-VI	181,5	7,8
	Yarabamba-V	74,9	35,7
	Yarabamba-VII	0,0	0,0
	UH 13255	3,9	1,6
	Estanquillo	54,8	45,5
	UH 13253	1,7	0,7

Fuente. Obtenido del Proyecto de Modernización de la Gestión de los Recursos Hídricos (2015).

Por último, se ha determinado una lista de regiones expuestas a la gestión del riesgo de inundaciones, corrimientos de tierra, desprendimientos, terremotos, sequía y actividad volcánica. En el siguiente cuadro se muestra los indicadores cualitativos que son resaltantes por su vulnerabilidad y además en referente a gestión de riesgos define la línea de base.

Tabla 17
Línea de base en relación al eje temático de riesgos

Riesgo	Indicador	Valor
Inundaciones y huaicos	Centros poblados	11
	Pobladores	
Deslizamientos y derrumbes	Canal madre, tubería matriz	300 000
	Bocatomas	2
	Área bajo riego	43
Actividad volcánica y sísmica	Represas	5 027
	Bocatomas de abast.	2
	poblacional	2
	Centrales hidroeléctricas	5
	Canales de riego	4
	Pobladores	688 961
Cambio climát. y sequía	Área bajo riego	3 130
Cambio climát. y sequía	Pobladores	37 190
	Área bajo riego	230

Fuente. Obtenido del Proyecto de Modernización de la Gestión de los Recursos Hídricos (2015).

1.4. Ubicación temporal

Se tomaron los datos correspondientes al periodo de 5 años entre el 2015 y el 2020.

1.5. Unidad de estudio/materia de estudio

En cuanto a la unidad de estudio se consideró el recurso hídrico, las condiciones ambientales, sociales y económicas que corresponde a la subcuenca del río Chili y su área de influencia como se detalla a continuación:

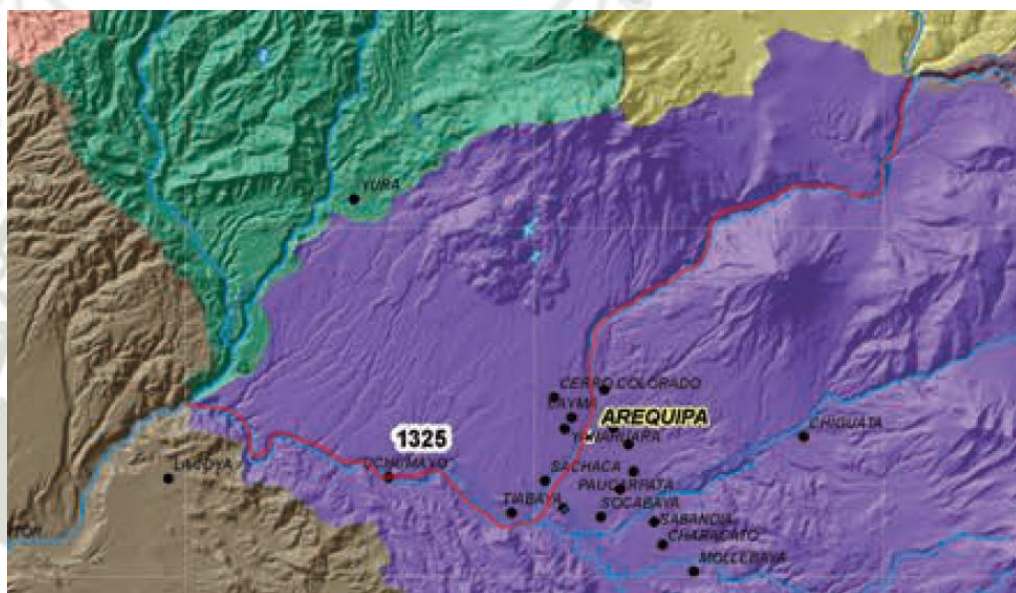


Figura 12: Área de estudio e influencia de la subcuenca del río Chili
Fuente: Elaboración propia (2021).

Técnicas, instrumentos y materiales de verificación

1.6. Materiales

1.6.1. Materiales

- GPS.
- Programa de Sistemas de Información Geográfica (GIS).
- Vehículo.
- Información bibliográfica y de campo.

1.6.2. Equipos

- Computadora i5 – 10ma generación.

1.7. Métodos:

El estudio se rigió bajo un diseño no experimental, con carácter descriptivo-observacional, explicativo-evaluativo e interactivo.

1. En primer lugar, se diseñó un modelo conceptual para poder evaluar la sostenibilidad de la subcuenca del río Chili a través de la metodología del Índice de Sostenibilidad de Cuenca (ISC). Esto se realizó mediante una caracterización de la subcuenca del río Chili para determinar y evaluar los indicadores a evaluar en la metodología.
2. En segundo lugar, se procedió a recolectar y recabar la información requerida por los indicadores los cuales permitieron la cuantificación de la sostenibilidad de la cuenca hidrográfica de la subcuenca del río Chili.
3. Por último, en base a los resultados de los indicadores se realizaron las estimaciones para determinar la sostenibilidad de la subcuenca del río Chili basados en los datos obtenidos.

1.8. Metodología experimental (esquema general de la investigación)

1.8.1. Estrategias de colecta de datos, muestras, etc.

a) Técnicas de recolección de la información

- **Fuentes de información primaria y secundaria:** Se realizó una recopilación de la información correspondiente a la subcuenca del río Chili y su zona de influencia, accediéndose a fuentes bibliográficas, mapas, entre otros recursos secundarios; además, se recopiló información directamente del lugar de estudio mediante documentos oficiales de instituciones vinculadas como el MINAGRI – ANA, así como, comunicación oral.
- **Sondeo o diagnóstico exploratorio:** Se definió la zonificación de la cuenca y zona de estudio, diseño de muestra, y unidades de estudio, a través de un diagnóstico inicial.

- **Entrevistas personales:** Se realizó el contacto directo con las autoridades de la administración directa del recurso hídrico siendo el MINAGRI, ANA, ALA y Junta de Usuarios del Chili Regulado.

b) Zonificación y caracterización de la subcuenca del Río Chili

La zonificación y la caracterización de la subcuenca del río Chili y su zona de influencia se realizó utilizando un Sistema de Información Geográfica (GIS). Se utilizó un mapa base de cartografía oficial el cual se obtuvo del Instituto Geofísico del Perú IGP. Así mismo se realizó trabajo de campo para determinar los puntos críticos de embalses o vertimientos hacia el río.

c) Determinación de la Sostenibilidad de la subcuenca del río Chili

La evaluación de la sostenibilidad de la subcuenca en estudio siguió la metodología y el esquema propuesto por el ISC.

- **Determinación del Índice de Sostenibilidad de Cuencas**

El ISC determina la sostenibilidad de una cuenca a través de 4 pilares, siendo medio ambiente (E), hidrología (H), políticas en recursos hídricos (P) y vida (L) los cuales son determinados como indicadores de cada uno de los recursos. Es así que, de manera separada se empieza a analizar los indicadores siguiendo el modelo presión-estado-respuesta (PER). Dicho modelo aceptado e implementado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) por integrar indicadores ambientales desarrollados por Rapport y Friend (1979). Los indicadores y parámetros del ISC se detallan a continuación:

Tabla 18
Parámetros de presión estado y respuesta

Indicador	Presión	Estado	Respuesta
(H) hidrología	Variación en la disponibilidad de agua per cápita en el periodo.	Disponibilidad per cápita de agua en la cuenca.	Evolución en la eficiencia del uso del agua en el periodo analizado.
	Variación en la DBO5 del periodo en relación con el promedio.	DBO5 de la cuenca (promedio a largo plazo).	Evolución en el tratamiento/disposición de aguas servidas en el periodo analizado.
(E) ambiente	Índice de presión Ambiental (EPI) rural y urbano, de la cuenca en el periodo.	% de la cuenca con vegetación natural.	Evolución en áreas protegidas en la cuenca (reservas).
(L) vida	Variación en el PBI per cápita en la cuenca en el periodo analizado.	IDH de la cuenca en el periodo anterior (ponderado).	Evolución del IDH en la cuenca el periodo analizado.
(P) Política	Variación del IDH-Educativo en periodo analizado.	Capacidad legal e institucional en Gestión Integral de Recurso Hídrico en la cuenca.	Evolución de los gastos en Gestión Integral de Recurso Hídrico en la cuenca en el periodo analizado.

Fuente: Delgado (2018).

Tabla 19
Parámetros de presión, nivel y puntuación

Indicador	Parámetros de presión	Nivel	Puntuación
(H) hidrología	$\Delta 1$ variación per cápita del agua disponible en la cuenca en el periodo estudiado, relativo al promedio a largo plazo (m ³ /año persona)	$\Delta 1 \leq -20\%$	0.00
		$-20\% < \Delta 1 \leq -10\%$	0.25
		$-10\% < \Delta 1 \leq 0\%$	0.50
		$0\% < \Delta 1 \leq +10\%$	0.75
		$\Delta 1 > +10\%$	1.00
	$\Delta 2$ variación DBO5 en la cuenca durante el periodo estudiado, o en otro parámetro crítico, relativo al promedio a largo plazo (o histórico)	$\Delta 2 \geq 20\%$	0.00
		$20\% > \Delta 2 \geq 10\%$	0.25
		$10\% > \Delta 2 \geq 0\%$	0.50
		$-10\% \leq \Delta 2 < 0\%$	0.75
		$\Delta 2 < -10\%$	1.00
(E) ambiente	Índice de presión Ambiental EPI de la cuenca (rural y urbana) en el periodo estudiado	$EPI \geq 20\%$	0.00
		$20\% > EPI \geq 10\%$	0.25
		$10\% > EPI \geq 5\%$	0.50
		$5\% > EPI \geq 0\%$	0.75
		$EPI < 0\%$	1.00
(L) vida	Variación de IDHPIB-Índice de renta per cápita (IPIB) en el periodo estudiado, relativo al periodo anterior	$\Delta \leq -20\%$	0.00
		$-20\% < \Delta \leq -10\%$	0.25
		$-10\% < \Delta \leq 0\%$	0.50
		$0\% < \Delta \leq +10\%$	0.75
		$\Delta > +10\%$	1.00
(P) política	Variación en la cuenca del IDH-Educación (IE) en el periodo estudiado, relativo al periodo previo	$\Delta \leq -20\%$	0.00
		$-20\% < \Delta \leq -10\%$	0.25
		$-10\% < \Delta \leq 0\%$	0.50
		$0\% < \Delta \leq +10\%$	0.75
		$\Delta > +10\%$	1.00

Fuente: Delgado (2018).

Tabla 20
Parámetros de estado, nivel y puntuación

Indicador	Parámetros de estado	Nivel	Puntuación
(H) hidrología	Wa - Disponibilidad de agua per cápita (m ³ /persona año) tanto en superficie como en fuentes de agua subterráneas en el periodo histórico	$Wa \leq 1.700$	0.00
		$1.700 < Wa \leq 3.400$	0.25
		$3.400 < Wa \leq 5.100$	0.50
		$5.100 < Wa \leq 6.800$	0.75
		$6.800 < Wa$	1.00
	Promedio DBO ₅ (mg/l) de la cuenca a largo plazo (u otro parámetro crítico)	$DBO_5 \geq 10$	0.00
		$10 > DBO_5 \geq 5$	0.25
		$5 > DBO_5 \geq 3$	0.50
		$3 > DBO_5 \geq 1$	0.75
		$DBO_5 < 1$	1.00
(E) ambiente	Porcentaje de área (Av) de la cuenca bajo vegetación natural	$Av \leq 5\%$	0.00
		$5\% < Av \leq 10\%$	0.25
		$10\% < Av \leq 25\%$	0.50
		$25\% < Av \leq 40\%$	0.75
		$Av > 40\%$	1.00
(L) vida	IDH ponderado de cuenca en el periodo anterior (ponderado por población)	$IDH \leq 0.5$	0.00
		$0.5 < IDH \leq 0.6$	0.25
		$0.6 < IDH \leq 0.75$	0.50
		$0.75 < IDH \leq 0.9$	0.75
		$IDH > 0.9$	1.00
(P) política	Capacidad legal e institucional en GIRH en la cuenca (legal y organizacional)	Muy pobre	0.00
		Pobre	0.25
		Regular	0.50
		Bueno	0.75
		Excelente	1.00

Fuente: Delgado (2018).

Tabla 21
Parámetros de respuesta, nivel y puntuación

Indicador	Parámetros de respuesta	Nivel	Puntuación
(H) hidrología	Evolución en la eficiencia de la utilización de agua en la cuenca durante el periodo analizado, un periodo de cinco años con respecto al periodo histórico	Muy pobre	0.00
		Pobre	0.25
		Regular	0.50
		Bueno	0.75
		Excelente	1.00
	Evolución en el tratamiento/eliminación de aguas residuales en la cuenca durante el periodo analizado	Muy pobre	0.00
		Pobre	0.25
		Regular	0.50
		Bueno	0.75
		Excelente	1.00
(E) ambiente	Evolución de áreas para la conservación de cuencas (áreas protegidas y BMP) durante el periodo	$\Delta \leq -10\%$	0.00
		$-10\% < \Delta \leq 0\%$	0.25
		$0\% < \Delta \leq +10\%$	0.50
		$+10\% < \Delta \leq +20\%$	0.75
		$\Delta > +20\%$	1.00
(L) vida	Variación del IDH en la cuenca durante el periodo (ponderado)	$\Delta \leq -10\%$	0.00
		$-10\% < \Delta \leq 0\%$	0.25
		$0\% < \Delta \leq +10\%$	0.50
		$+10\% < \Delta \leq +20\%$	0.75
		$\Delta > +20\%$	1.00
(P) política	Evolución de los gastos en GIRH (legal y organizacional) en la cuenca durante el periodo	$\Delta \leq -10\%$	0.00
		$-10\% < \Delta \leq 0\%$	0.25
		$0\% < \Delta \leq +10\%$	0.50
		$+10\% < \Delta \leq +20\%$	0.75
		$\Delta > +20\%$	1.00

Fuente: Delgado (2018).

Tabla 22

Parámetros de respuesta modificados para el indicador hidrología – cantidad

Indicador	Parámetros de respuesta	Nivel	Puntuación
(H) hidrología	Evolución de la disponibilidad per cápita de agua procedente de recursos no convencionales en el periodo estudiado	No se crean recursos no convencionales	0.00
		$0\% \leq \Delta < +5\%$	0.25
		$+5\% \leq \Delta < +10\%$	0.50
		$+10\% \leq \Delta < +20\%$	0.75
		$\Delta > +20\%$	1.00

Fuente: Delgado (2018).

1.8.2. Etapas generales del trabajo de investigación.

Las fases del correspondiente estudio se detallan a continuación

Primera etapa:

- Caracterización de la zona de acuerdo con los aspectos ambientales y socioeconómicos de la subcuenca del río Chili mediante levantamiento de información documental en gabinete y de campo (entrevistas, reuniones, revisión bibliográfica).

Segunda etapa:

- Determinación de indicadores en base a la metodología de ICS.

Tercera etapa

- Evaluación de la sostenibilidad en base a los resultados de los indicadores.

1.9. Diseño experimental (tratamientos, variables independientes y dependientes)

Variables independientes

- Ambiente

Variables dependientes

- Sostenibilidad de la subcuenca del río Chili

Operacionalización de las variables

VARIABLES	INDICADORES	SUBINDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE		
Ambiente	Factores ambientales	Vertimientos al río Chili – DOB5
	Factores sociales	IDH - PBI
	Factores económicos	PIB – Inversiones
	Factores políticos	Leyes – Decretos Supremos
VARIABLE DEPENDIENTE	INDICADORES	SUBINDICADORES
Sostenibilidad de la subcuenca del río Chili	Índice de Sostenibilidad	Sostenibilidad del sistema

1.10. Análisis estadísticos

Para el procesamiento primario de los datos se utilizó el software Microsoft Excel. Para el resultado de la investigación se utilizará estadística descriptiva.

1.11. Parte Procedimental

Se procederá con la descripción de los procedimientos de cada uno de los indicadores hidrología, medio ambiente, vida y política (H, E, L y P).

1.11.1. Hidrología

Las variables de la cantidad de agua y la calidad de la misma se encuentran incorporadas en este indicador.

La primera variable se encuentra en relación a la disponibilidad per cápita anual, la utilización de esta variable tiene de base en el Índice de Falkenmark, el mencionado índice se usa para clasificar en un área la condición del agua.

Por otro lado, la variable de la calidad puede ser también definida como variable de análisis de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) debido a que este parámetro puede hallar la cantidad de

oxígeno consumido por los microorganismos que se encuentran en los cuerpos de agua con desechos orgánicos. Si los valores de DBO₅ son bajos quiere decir que existen una menor cantidad de desechos orgánicos y una mayor cantidad de oxígeno disuelto en el cuerpo de agua.

- **Parámetro de presión**

Se realiza una puntuación de la variación que existe entre la disponibilidad de agua promedio en el periodo de estudio y la disponibilidad promedio en plazo que no es corto (periodo histórico), esta calificación se realiza con el indicador de cantidad. Para la Organización Mundial de Meteorología (OMM) un historial climatológico que no sea de corto plazo es poseer con un mínimo de 30 años de registros (OMM, 2010). Para la obtención de la puntuación se debe comparar con la tabla 18 el valor que se obtiene de la variación entre el periodo estudiado y el histórico. Además, se tiene que el puntaje resultante de la calidad de agua se obtiene luego del análisis de la variación de DBO₅ como un subindicador de calidad de agua en el periodo estudiado entre el registro promedio de un plazo que no es corto este periodo puede ser de 10 años a más, este parámetro es importante debido a que al verter aguas contaminadas a los cursos naturales se convierte peligrosa para el consumo humano, para la industria, para la agricultura, pesca y la vida natural.

- **Parámetro de estado**

La base de la cantidad del recurso hídrico es la disponibilidad per cápita del agua (W_a), es necesario tener valores de caudal promedio para cada año para calcular este parámetro, además de que se debe tener un rango histórico (flujo superficial y subterráneo) y la cantidad de habitantes que se encuentra en la

cuenca. La ecuación presenta las variables que han sido ya mencionadas.

$$W_a = \frac{Q}{P_{total}} \quad (7)$$

Con respecto a la obtención de la calidad de agua se realizará la evaluación al promediar los valores de DBO₅ para el periodo de estudio de la cuenca.

- **Parámetro de respuesta**

Para la puntuación de la cantidad de agua se realiza la evaluación de las mejoras también puede evaluarse los usos eficientes del agua de la cuenca en el periodo de estudio de la misma.

Por otro lado, para determinar la calidad se evalúa las mejoras en el tratamiento y disposición de aguas residuales a lo largo del periodo de estudio.

1.11.2. Medio Ambiente

- **Parámetro de presión**

Aquí se detalla la presión ocasionada en el medio ambiente ya que diferentes actividades humanas son las causantes, se tiene a la actividad agrícola y demás actividades involucradas en las áreas urbanas. Este parámetro se define por el Índice de Presión Ambiental (EPI), en el cual el porcentaje de la variación de las áreas de la cuenca destinada a la agricultura y las áreas urbanas durante el periodo de estudio se estima. La ecuación muestra el cálculo de EPI.

$$EPI = \frac{\% \Delta A_{ag} + \Delta P_{urb}}{2} \quad (8)$$

Donde,

EPI = Índice de Presión Ambiental

$\% \Delta Aag$ = % de variación de las áreas de agricultura durante el periodo de estudio

$\Delta Purb$ = % de variación de la población urbana durante el periodo de estudio

Si el valor de EPI resulta positivo refleja una existencia de presión alta en la vegetación natural en la cuenca, caso que el valor sea negativo representa que en la cuenca hay implementaciones en relación a acciones para conservar el medio ambiente estable.

- **Parámetro de estado**

Posee una relación alta con la biodiversidad (flora y fauna), por lo cual tener la información del % de área de cuenca que se encuentra ocupado por los bosques y/ o la vegetación natural es indispensable. Además, puede ser hallado a través de censos agropecuarios o en caso contrario usando imágenes satelitales para la aplicación del Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI).

- **Parámetro de Respuesta**

Las instituciones estatales que protegen las áreas de biodiversidad en la cuenca se considera las medidas que toman. El parámetro de respuesta no es evaluado cualitativamente, ya que la evaluación de las áreas protegidas (AP) y las buenas prácticas de manejo (BPM) en el periodo de estudio son evaluados cuantitativamente.

1.11.3. Vida

El IDH es evaluado en este parámetro, además en las tres dimensiones principales del desarrollo humano que son: calidad de vida – “Ingreso”, vida saludable y longeva – “Salud” y adquisición de conocimientos – “Educación” indica los logros obtenidos en las mencionadas dimensiones.

- **Parámetro de presión**

Este parámetro se encuentra en relación con la calidad de vida de los habitantes establecidos en una determinada región, para su calificación se utiliza el subindicador de vida digna que califica la disponibilidad de los recursos económicos con el poder adquisitivo y además es cuantificado por (PBI per cápita) Producto Bruto Interno per cápita.

Con este parámetro la variación entre el PBI per cápita por persona del comienzo y al final del periodo de estudio se califica. A consecuencia de que la cuenca incluye varias comunidades, el PBI del periodo de estudio a evaluar se halla con una ponderación, como se muestra en la siguiente ecuación.

$$PBI \text{ per cápita} = \frac{\sum PBI_i \times P_i}{P_{\text{total}}} \quad (9)$$

Se tiene que,

PBI_i = Producto Bruto Interno para las diversas comunidades en la cuenca

P_i = Población de la comunidad “i”

P_{total} = De la cuenca la población en su totalidad

Además, con la ecuación para la obtención del índice IDH relacionada a la educación se determina la variación del PBI para el periodo de estudio.

- **Parámetro de Estado**

En este parámetro se hace referencia al IDH del periodo de estudio su último año. Para determinar su valor es semejante al parámetro de presión con la ponderación entre IDH de cada comunidad y la población asentada. El valor se determina a través de la ecuación del parámetro de presión.

- **Parámetro de Respuesta**

Con respecto a este parámetro la evaluación se realiza a través del porcentaje de variación del IDH ponderado en el periodo de estudio, se evalúa al empezar y al finalizar el periodo de estudio los valores del IDH que son hallados con la formula del parámetro de presión.

1.11.4. Políticas Públicas

La Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) en la cuenca las medidas que se toman y la inversión designada se relacionan con el indicador de Políticas públicas.

- **Parámetro de Presión**

Mediante el parámetro de IDH con relación a la Educación en 5 años se evalúa el nivel de educación que presenta la población para obtener el valor de este parámetro. Para la GIRH el parámetro de políticas públicas es fundamental ya que este determina las potencialidades de los individuos con el propósito de que los diversos aspectos de su entorno mejoren mediante el conocimiento. Para la obtención del IDH Educación se presenta en la siguiente ecuación donde este índice se calcula a través del promedio para el año final e inicial del periodo de estudio.

$$IDHed = \frac{\sum IDHedi \times Pi}{P \text{ total}} \quad (10)$$

Se tiene que,

IDHed = IDH Educación ponderado para la cuenca al comenzar y finalizar el periodo de estudio.

IDHi = IDH Educación para cada comunidad “i” asentada en la cuenca, en el periodo de estudio.

Pi = Población de la comunidad “i”

Ptotal = De la cuenca la totalidad de la población

- **Parámetro de Estado**

Debido a que se evalúa la presencia de un marco legal e institucional la cual promulga un manejo integrado en el periodo de estudio, el carácter de la calificación es cualitativo.

Como parte de la obtención del índice de sostenibilidad en la cuenca de estudio, se tendrá que realizar una evaluación de un marco legal, institucional y manejo de la participación para la calificación de este parámetro, los aspectos a tomar en cuenta se detallan a continuación:

- **Marco Legal (L)**

Para el manejo integrado de la cuenca en este marco se evalúa a las normas obteniendo una calificación.

Para ello se califica que la aplicación para los usuarios sea de forma justa y que varíe cada periodo con el fin de adecuarse al contexto del área y los requerimientos de los distintos actores en la cuenca.

- **Marco Institucional (I)**

Los organismos institucionales que tienen la obligación de la gestión de la cuenca sean organismos gubernamentales o no lo sean en este marco se evalúa su capacidad que poseen.

- Manejo de la Participación (P)

Es importante también contar con la opinión de cada usuario de los diferentes sectores de la cuenca. Una manera de determinar el nivel del conocimiento sobre GIRH, es mediante reuniones de trabajo donde todos los actores se vean involucrados. La mencionada actividad evalúa con una calificación la participación activa de los usuarios en conjunto en la toma de decisiones respecto a la gestión del agua, además es importante mencionar que, mediante los talleres, consultas, foros, proyectos de investigación, etc. se lleva a cabo la participación.

Para determinar el parámetro de estado se debe promediar los tres valores de los ya mencionados ámbitos como muestra la ecuación.

$$PPEstado = \frac{L + I + P}{3} \quad (11)$$

- Parámetro de Respuesta

El parámetro de respuesta califica del GIRH su evolución con relación a la inversión monetaria para la cuenca Quilca- Chili. La variación muestra el proceso de implementación de la gestión integrada en el Perú por una parte de las autoridades y el conjunto completo de los stakeholders. La capacidad en la toma de decisiones para que la GIRH mejore y que los problemas sobre el recurso hídrico se solucionen se califican. Las posibilidades de alcanzar con los objetivos aumenten se da a medida que la inversión en GIRH se incremente.

1.11.5. Adecuación de la metodología para el caso de estudio y la utilización de datos

Para determinar el índice de sostenibilidad de la subcuenca del río Chili la cual no supera el límite máximo permitido por la metodología ISC, por lo cual para el cálculo del índice se ha aplicado la mencionada metodología a la única unidad hidrográfica que compone la subcuenca de estudio.

Además, para el cálculo de los parámetros de presión y estado se ha determinado la disponibilidad de agua (superficial + subterránea) per cápita para periodos de estudio (2015-2019) así también para el promedio histórico (2010-2019).

1.11.5.1. Indicador de Hidrología

Para lograr determinar la disponibilidad total de agua en la subcuenca del Río Chili, se necesitó información brindada por ANA (Autoridad Nacional del Agua), además para poder evaluar las características fisicoquímicas de los afluentes existentes dentro de la subcuenca mediante los subindicadores de cantidad y calidad de agua, con los cuales al momento de promediarse se determinó el indicador de Hidrología, a continuación se muestra los procedimientos que se ha realizado para la obtención de este indicador:

El primer paso que se siguió fue la recolección de información necesaria para identificar la oferta superficial y la calidad del agua en el área de estudio, es por ello que en este paso se vio necesario no solo consultar información de los planes sobre el desarrollo de la cuenca de Quilca -Chili, también se vio necesario la información brindada por ANA los registros técnicos que se brindó del año 2010-2021.

a) Hidrología- Cantidad de agua (presión, estado y respuesta).

Con los datos obtenidos por la información que brindo ANA, se pudieron realizar los cálculos necesarios para los parámetros de Presión, Estado y Respuesta con ello se logró calcular la disponibilidad de agua en la subcuenca.

En el siguiente cuadro se muestra la disponibilidad del agua en los años (2010-2019). Además, con los datos obtenidos por el anuario de Estadísticas Ambientales del Perú, se obtuvo el uso del agua por cada actividad económica de la subcuenca de Chili de los periodos del año 2010 hasta el año 2019, es importante mencionar que para el dato de la población se requirió datos por cada año obtenidos de la Gerencia Regional de Salud.

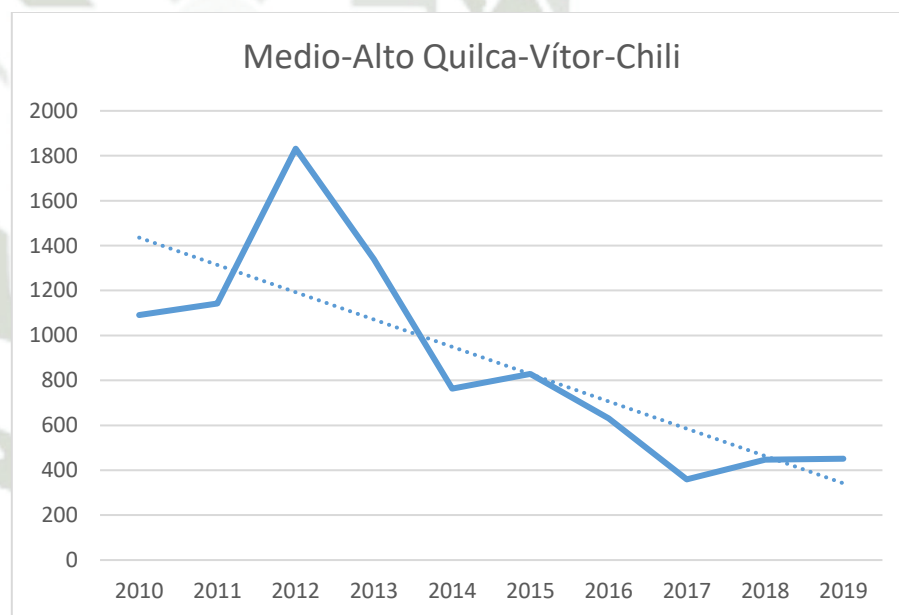


Figura 13: Disponibilidad per cápita de agua (m³/hab año)

Fuente: Elaboración propia con datos tomados del Anuario de Estadísticas Ambientales del Perú y la Gerencia Regional de Salud. (2018).

- **Parámetro de Presión:** Para el parámetro de presión se utilizó la siguiente formula:

$$\Delta 1 = \frac{\text{Disponibilidad per cápita de agua}(2015-2019) - \text{Disponibilidad per cápita de agua } (2010-2019)}{\text{Disponibilidad per cápita de agua prom } (2010-2019)}$$

$$\Delta 1 = \frac{543,59 - 888,69}{888,69} = -0,3883 \times 100 = -38,83\%$$

Finalmente, para hallar la cantidad de agua según el parámetro de presión se compara el resultado anterior con la tabla 18 con ello se obtuvo una puntuación de 0.

- **Parámetro de Estado:** Con respecto al parámetro es necesario hallar la disponibilidad de agua (W_a) ya que se tiene la disponibilidad per cápita del agua se utilizó la siguiente formula:

$$W_a = \frac{\text{Disponibilidad per cápita de agua}(2010 - 2019) + \text{Disponibilidad per cápita de agua } (2015 - 2019)}{2}$$

$$W_a = \frac{888,6923 + 546,59122}{2} = 716,1417$$

Luego este resultado se comparó con la tabla 19, con lo que se obtuvo una puntuación para el parámetro de estado de 0.

- **Parámetro de Respuesta:** Es necesario mencionar que es este parámetro es un parámetro cualitativo con el que se puede evaluar las mejoras en relación con la eficiencia del uso del agua durante el periodo estudiado(2015-2019), para ello se vio necesario revisar las posibles inversiones en cuanto a la infraestructura hidráulica la cual permita el manejo sostenible de los recursos hídricos ,además cabe mencionar que la agricultura es la actividad más importante en la cuenca de Quila-Chili, además ha surgido la necesidad de mejorar las técnicas de manejo de suelos, riego y drenaje con el objetivo de incrementar la producción agrícola.

Es por ello que para calificar este parámetro se tendrá en cuenta las inversiones en proyectos que mejoren la eficiencia del uso del agua en el anexo 1 se muestra un cuadro en el cual se describe las inversiones durante el periodo de estudio.

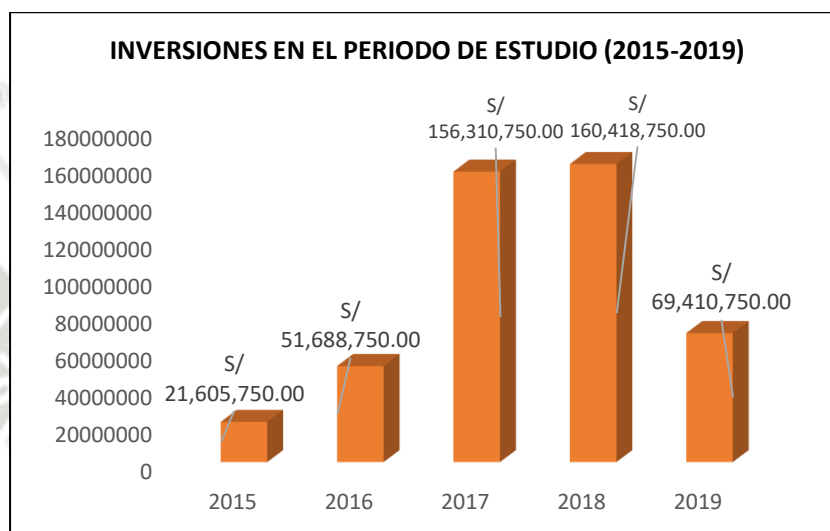


Figura 14: *Inversiones para mejorar la eficiencia del uso de agua en el periodo de estudio*

Fuente: Plan de Gestión de Recursos Hídricos en la Cuenca Quilca-Chili (2019).

En la figura se muestra que durante los años 2017 y 2018 las inversiones fueron altas en relación a mejorar la eficiencia del uso del agua, pero en el año 2019 estas inversiones disminuyeron.

Posterior al análisis de la figura se comparó con la tabla 20 en la cual se obtiene que en el parámetro de respuesta resultó 0.50 lo cual significa que el nivel que presento es regular con relación a la evolución en la eficiencia de la utilización del agua en la cuenca durante el periodo de estudio.

b) Hidrología – Calidad de Agua (presión, estado y respuesta).

Para este punto fue requerido los registros de DBO₅ de la zona de estudio estos registros fueron obtenidos de los informes técnicos brindados por ANA, además es importante mencionar que un DBO₅ bajo significa menos desechos orgánicos y un incremento en la cantidad de oxígeno disuelto en el cuerpo. Además, se ha evaluado la variación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅ en mg/l) en relación al periodo de estudio (2015-2019) como para el periodo de largo plazo, es importante mencionar que para una mejor ubicación de los datos de los reportes brindado por ANA se utilizó la figura 9 la cual identifica los puntos de monitoreos de la calidad de agua de la subcuenca de estudio. Se muestra las siguientes tablas las cuales muestran los datos de la demanda de DBO₅ en mg/l en el periodo de estudio y luego en el periodo histórico (2010-2019).

Tabla 23

Concentración de DBO₅ en mg/l en el periodo de largo plazo

Concentración DBO ₅ (2010-2019)											
Puntos de monitoreos	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Prom
RGhili0	0,9	5	5	5	2	8	2	1	1	13	4,29
RGhili4	3	2	5	6	13	20	4	1	1	11	6,6
RGhili6	70	23	64	9	78	96	5	1	1	15	36,2
RGhili7	70	30	7	5	20	79	3	10	11	31	26,6
RGhili8	12	2	8	8	14	73	6	6	4	14	14,7

Fuente: Elaboración propia con los reportes de ANA (2021).

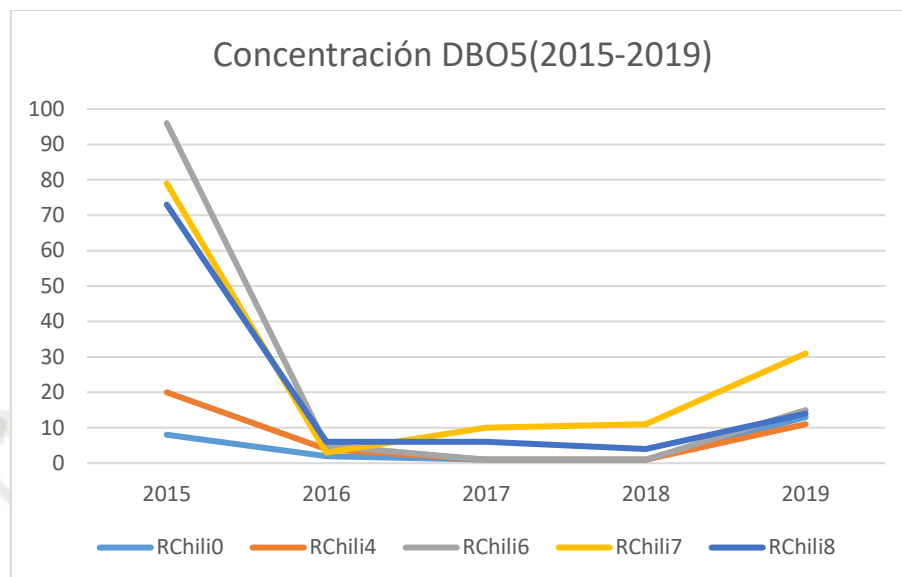


Figura 15: Concentración de DBO₅ en mg/l en el periodo de estudio
Fuente: Elaboración propia con los reportes de ANA (2021).

- **Parámetro de Presión:** Con respecto al parámetro de presión a continuación en la tabla se muestra la variación de las concentraciones de DBO₅ en mg/l en cada punto de monitoreo.

Tabla 24

Cuadro resumen de la concentración DBO₅

Cuadro resumen de la concentración DBO ₅		
Puntos de monitoreos	Variación de concentraciones	Puntuación presión
RChili0	16,550%	0,25
RChili4	12,121%	0,25
RChili6	-34,807%	1
RChili7	0,752%	0,75
RChili8	40,136%	0
Prom	6,951%	0,5

Fuente: Elaboración propia con los reportes de ANA (2021).

En el cuadro se obtiene la puntuación de la presión para ello se utilizó la tabla 18, además para este parámetro se obtuvo como

calificación el valor de 0,5 lo que significaría que en el rango de los años de estudio la mejora de la calidad se dio de una manera no tan significativa. Lo que llevara a que se tome mayores medidas de control y mitigación para que se obtenga una mayor mejora en la gestión de agua.

- **Parámetro de Estado:** Para este parámetro fue requerido el cálculo del DBO5 promedio histórico el cual debe considerar tener un mínimo de 10 años de información, es por ello que se tiene la siguiente tabla.

Tabla 25
Puntuación para el parámetro de Estado

Puntos de monitoreos	Concentración DBO5(2010-2019)	Puntuación de Estado
RChili0	4,29	0,5
RChili4	6,6	0,25
RChili6	36,2	0
RChili7	26,6	0
RChili8	14,7	0
Prom	17,678	0

Fuente: Elaboración propia con los reportes de ANA (2021).

Finalmente, para la obtención de la puntuación del parámetro de estado se usó la tabla 19 con ello se obtuvo como resultado el valor de 0.

- **Parámetro de Respuesta:** El parámetro de respuesta evalúa de una manera cualitativa en relación a la mejora de un óptimo tratamiento para las aguas residuales en la subcuenca del periodo de estudio. Para lograr determinar el resultado de este parámetro fue necesario información de la cuenca, cabe mencionar que en este indicador se evalúa la evolución de las inversiones para mejorar la calidad del agua mediante plantas

de tratamientos de aguas residuales (PTAR). Como se muestra en la siguiente tabla la evolución de las inversiones, además se consideró la descripción de dichas inversiones en el anexo 2, esta información fue recolectada gracias al Plan de Gestión de Recursos Hídricos en la Cuenca Quilca-Chili información brindada por (ANA, 2013)

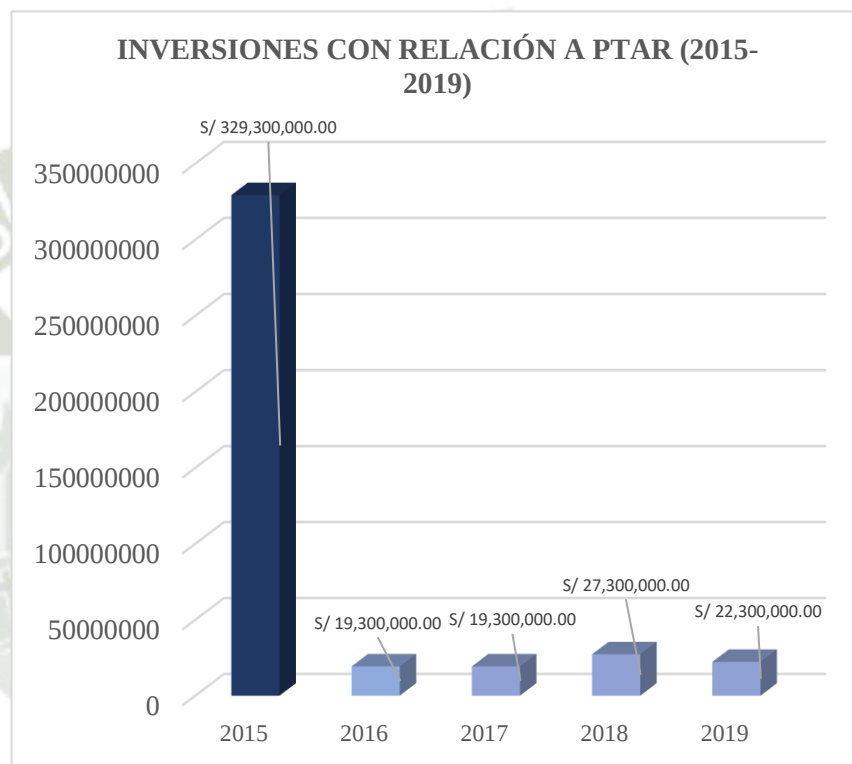


Figura 16: *Inversiones con relación a PTAR (2015-2019)*

Fuente: Plan de Gestión de Recursos Hídricos en la Cuenca Quilca-Chili (2019).

Finalmente se pudo evaluar que las inversiones para el tratamiento de aguas residuales en el transcurso de los años del periodo de estudio han disminuido notoriamente del año 2015 al año 2019, incluso se ha visto que existen inversiones de s/.0 en relación a mejorar el tratamiento de aguas residuales se constata que hubo un mayor esfuerzo inversor en los primeros años. Además, según la información recaudada se menciona que la mejora progresiva de los

sistemas de recogida de las aguas residuales podría incluso a emporar temporalmente la calidad de las aguas al recoger y concentrar los vertimientos, es importante mencionar que existen insuficientes plantas de tratamiento de aguas residuales. Es por ello que para la calificación de este parámetro se tomó en cuenta todo lo mencionado obteniendo una puntuación de 0.25 según la tabla 20.

1.11.5.2. Indicador de Medio Ambiente

Para este indicador se acopio información esencial para reconocer los usos del suelo de dos periodos, las buenas prácticas de manejo y áreas protegidas. Además, el indicador de medio ambiente comprende la presión ambiental, el área de follaje y las regiones resguardadas que existe en la subcuenca. Para los diferentes parámetros de presión, estado y respuesta se usó las diferentes fórmulas descritas.

- **Parámetro de Presión:** Siguiendo la metodología, se logró hallar las áreas pobladas en los años 2015 y 2019 a partir de los censos por la Gerencia Regional de Arequipa en los distritos por los cuales el río Chili realiza su recorrido. De igual forma para las áreas agropecuarios se utilizaron estos distritos del principio y fin del periodo de estudio. En la siguiente tabla se muestra la variación de las áreas de agricultura durante los años 2015 y 2019.

Tabla 26
Áreas de Agricultura (Aag) hectáreas

Áreas de Agricultura (Aag)			
Distrito	2015	2019	Variación (Aag) (%)
Cerro Colorado	17.891,00	20.419,00	12,38%
Sachaca	9.030,00	7.822,00	-15,44%
Tiabaya	10.309,00	10.903,00	5,45%
Arequipa	4.656,21	888,00	-424,35%

Jacobo D. Hunter	4.270,00	4.804,00	11,12%
Cayma	3.642,00	3.661,00	0,52%
JLB y Rivero	2.037,00	899,00	-126,59%
Quequeña	21.014,37	2.755,00	-662,77%
Socabaya	5.720,00	5.800,00	1,38%
Yanahuara	2.606,00	1.806,00	-44,30%
Sabandía	47.017,43	5.748,00	-717,98%
Yarabamba	2.709,00	2.699,00	-0,37%
Yura	71.436,71	11.338,00	-530,06%
TOTAL	202.338,72	79.542,00	-154,38%

Fuente: Elaboración propia (2021)

En la tabla 29 se observa la variación de la población de los años 2015 y 2019 este dato se utilizará posteriormente para obtener el valor del Índice de Presión Ambiental (EPI).

Tabla 27
Variación de la Población

Distrito	2015	2019	Variación de población (Purb) (%)
Cerro Colorado	148164	161256	8,12%
Sachaca	19581	21928	10,70%
Tiabaya	14768	16190	8,78%
Arequipa	54095	58928	8,20%
Jacobo D. Hunter	48326	51810	6,72%
Cayma	91802	99034	7,30%
JLB y Rivero	76711	80922	5,20%
Quequeña	1376	1490	7,65%
Socabaya	78135	81823	4,51%
Yanahuara	25483	27394	6,98%
Sabandía	4136	4388	5,74%
Yarabamba	1125	1268	11,28%
Yura	25367	27385	7,37%
TOTAL	589069	633816	7,06%

Fuente: Elaboración propia (2021).

Finalmente se obtiene el valor de EPI reemplazando los datos obtenidos en la formula.

$$EPI = \frac{\% \Delta Aag + \Delta Purb}{2}$$

$$EPI = \frac{-154,38\% + 7,06\%}{2} = -73,66$$

El valor de EPI el cual es negativo representa que en la cuenca existen implementaciones en relación a acciones para conservar el medio ambiente estable. Finalmente, este valor se compara con la tabla 18, con el cual se obtiene una puntuación de 1.00 en el parámetro de presión.

- **Parámetro de Estado:** Siguiendo la metodología, se logró hallar las áreas pobladas en los años 2015 y 2019 a partir de los censos por la Gerencia Regional de Arequipa en los distritos por los cuales el rio Chili realiza su recorrido. Sin embargo, para la superficie total de vegetación de Arequipa se cuenta con 128700(ha) según la encuesta Nacional Agraria (ENA), este dato se utilizó para hallar un porcentaje de variación de se utilizaron del principio y fin del periodo de estudio. A continuación, la tabla muestra el porcentaje de hectáreas de cobertura vegetal perdidas en Arequipa de las áreas de agricultura durante los años 2015 y 2019.

Tabla 28
Hectáreas Perdidas de cobertura vegetal

Año	Hectáreas Perdidas de cobertura vegetal	% de hectáreas perdidas de cobertura vegetal
2015	1842,81	0,1432%
2016	32	0,0025%
2017	1234,74	0,0959%
2018	204,11	0,0159%
2019	93,64	0,0073%

Fuente: Elaboración propia (2021)

Además, se tiene la siguiente figura de barras que muestra gráficamente en los años del 2015 al 2019 como es que se ha venido desarrollando la pérdida de cobertura vegetal en el departamento de Arequipa.

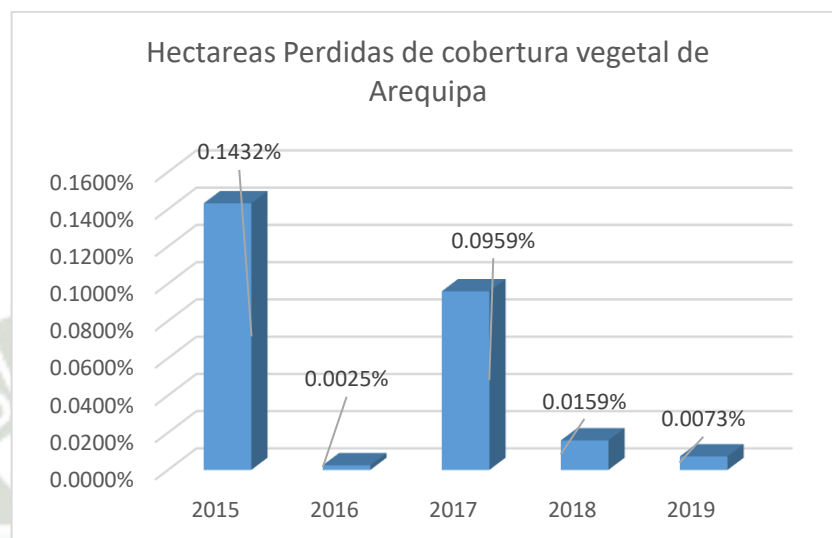


Figura 17: Hectáreas Perdidas de cobertura vegetal (2015-2019)

Fuente: Elaboración propia (2021)

Se tiene también como información importante que el valor de Índice de Vegetación Atmosférica Resistente (ARVI) fluctúa entre los valores de -1 a 1, en el periodo que se pudo extraer este índice fue entre los años 2015 al 2019 ya que la información para este indicador debe ser del periodo de estudio. En primera instancia el análisis no muestra cambios notorios se observa en la figura que las clases de menor cobertura vegetal (0-0.05), estas muestran una ligera disminución en el año 2018 en adelante. Además, es importante mencionar que para las clases intermedias las cuales son (0.05-0.15 y 0.15-0.2) estos pueden ser asociados a ecosistemas de matorrales o pajonales, es fundamental mencionar que en los últimos años del periodo de estudio se ha dado un incremento en los incendios forestales, a

continuación, en la figura se muestra la variación del grado de cobertura vegetal según el (ARVI) en los años 2013 al 2019.

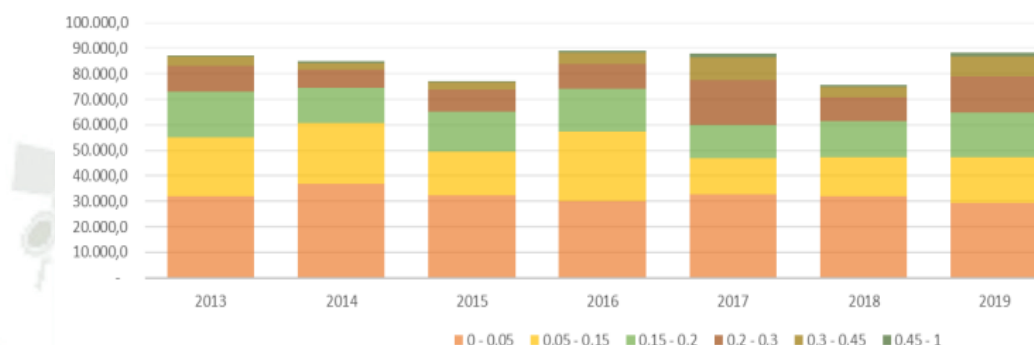


Figura 18: Grado de Cobertura Vegetal según ARVI (2013-2019)

Fuente: Elaboración propia (2021)

Por todo lo mencionado ya que las variaciones de pérdidas de cobertura de vegetación no representan un impacto importante y que las variaciones porcentuales van a superar el 40% el cual representa el límite para poder calificar como excelente, es por ello que en este parámetro se obtiene con ayuda de la tabla 19 un puntaje de 1,00.

- **Parámetro de Respuesta:** En este parámetro se realiza una valoración de las mejoras en las actividades de preservación en las áreas de la subcuenca, además aquí se toma en cuenta más de una variable las cuales son: buenas prácticas de manejo(BMP) y área protegida (AP), en el caso de las áreas protegidas fue necesario recurrir al anuario de estadísticas ambientales, en el cual nos dio la información sobre la superficie de áreas protegidas por el Estado en los años del 2015 al 2019, además estas áreas protegidas en el departamento de Arequipa son la Sub Cuenca del Cotahuasi

la cual se encuentra aprobada por la Ley N° 26834 , la cual decreta que las áreas naturales y protegidas son las zonas continentales y/o marinos del territorio nacional además es importante mencionar que la superficie de esta área protegida es de 490550 ha y su preservación dará la posibilidad de brindar la garantía con relación al mantenimiento de los actuales servicios ambientales para las ciudades de la provincia de Cotahuasi y también se tiene como área protegida de la ciudad Blanca a las lagunas de Mejía la cual cuenta con la aprobación de Ley N°21147 Ley Forestal y de Fauna Silvestre la cual menciona que es obligación del Ministerio de Agricultura normar, regular y controlar la conservación de los recursos forestales y de fauna silvestre, además esta zona se encuentra establecida por una superficie de 690,60 ha. Finalmente teniendo una información más precisa sobre las áreas protegidas también se tiene en la provincia de Arequipa, Caylloma y General Sánchez Cerro de los departamentos de Arequipa y Moquegua se tiene como una unidad de protección al área de Salinas y Aguada Blanca la cual muestra una superficie de (366,936 ha), es importante mencionar que en los años del periodo de estudio estas áreas protegidas no han sufrido ningún cambio es por ello que se tiene en la variación de áreas protegidas un valor de 0. En el anexo 3 se muestra las Áreas Naturales Protegidas del departamento de Arequipa a través de un visor Geo Anp proporcionado por la SERNANP (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado). En el caso de la otra variable que es las buenas prácticas de manejo se evaluó según el plan maestro de las actividades que se han venido desarrollando para que estas mejoras se cumplan, es importante mencionar que como este informe es el plan

maestro del año 2016 al 2019 y al no sufrir ningún cambio importante en las actividades del año 2015 al 2016 se tomó como referencia este año para poder evaluar la variación de esta variable en el periodo de estudio se muestra las actividades que se realizaron con ayuda de (Dirección de Desarrollo Estratégico de Servicio Nacional de Áreas Protegidas por el Estado-[SERNANP], 2020 Del anexo 06 se llega a obtener la variación de cumplimiento con relación a las buenas prácticas de manejo en el periodo de estudio aquí se obtiene un valor de -10,08%.

Luego de obtener los resultados de las dos variables se procede a utilizar la siguiente fórmula para hallar el nivel, aquí se reemplaza los datos que ya se obtuvo con anterioridad.

$$Nivel = \frac{AP\% + BPMs\%}{2} = \frac{0\% + (-10,08)\%}{2} = -5,04\%$$

El resultado que se obtiene luego de aplicar la formula se procede a comparar con la tabla 20 este resultado, se obtiene de calificación en este parámetro de respuesta con relación al indicador del medio ambiente es de 0.25.

1.11.5.1. Indicador de Vida

Para este índice es necesario tener en consideración los tres parámetros tanto de presión, respuesta y estado, además el Índice de desarrollo Humano IDH es evaluado en este parámetro en sus tres dimensiones principales que son: calidad de vida, vida saludable y longeva y adquisición de conocimientos se debe indicar los logros obtenidos en las mencionadas dimensiones.

- **Parámetro de Presión:** Este parámetro se encuentra relacionado con la calidad de vida de los habitantes en la subcuenca. Para la realización del cálculo de este parámetro

se hizo uso del valor de ingreso per-cápita estimado por el portal de transparencia Económica, con los datos del Ministerio de Economía y Finanzas del Perú el cual hizo un reporte que recoge información sobre la ejecución presupuestal de ingresos y gastos para departamentos y municipios a nivel Nacional. Para este parámetro se realizó el cálculo por medio de la variación del ingreso per-cápita para los municipios de los distritos que hacen parte de la subcuenca Chili para los años 2015 y 2019. En el anexo 7 se muestran los datos que se utilizaron para los cálculos del ingreso per-cápita del año 2015 y del año 2019 es importante mencionar que para el cálculo se utilizó la fórmula de PBI per cápita que ya ha sido mencionada.

Luego de obtener los ingresos per cápita de los años 2015 y 2019 se procede a obtener la variación de estos años con la siguiente formula.

$$\Delta IP = \frac{\text{Ingreso per Cápita distrital (2019)} - \text{Ingreso per cápita distrital (2015)}}{\text{Ingreso per cápita distrital (2015)}} \times 100$$

$$\Delta IP = \frac{4.894.392,42 - S/ 3.103.879,02}{S/ 3.103.879,02} \times 100 = 57,686\%$$

Finalmente, este resultado se compara con la tabla 18 en el cual se obtiene de puntuación 1,00 en este indicador de vida para el parámetro de presión.

- Parámetro de Estado: Con este parámetro es requerido tener el Índice de Desarrollo Humano por distrito, se tomará en cuenta solo los distritos que conformen la Subcuenca Chili y los años de inicio y fin de periodo de estudio.

Tabla 29
IDH (2015-2019)

Año	IDH(Distrital)	Ponderado IDH
IDH ponderado (2015)	0,394	0,532
IDH ponderado (2019)	0,671	

Fuente: Elaboración propia (2021).

Luego este resultado se comparó con la tabla 19, con lo que se obtuvo una puntuación para el parámetro de estado de 0,25.

- **Parámetro de Respuesta:** En este parámetro se calculó la variación del Índice de Desarrollo Humano ponderado de los valores del comienzo y final de periodo de estudio, en estos valores se aplicó la siguiente formula:

$$\Delta \text{ IDH} = \frac{\text{IDH ponderado}(2019) - \text{IDH ponderado}(2015)}{\text{IDH ponderado}(2015)} \times 100$$

$$\Delta \text{ IDH} = \frac{0,671 - 0,394}{0,394} \times 100 = 70,24\%$$

Luego el resultado se compara con la tabla 20 y se obtiene una puntuación de 1,00 con respecto al parámetro de respuesta.

1.11.5.2. **Indicador de Política**

Este indicador corresponde a las acciones de inversiones que son habilitadas por las autoridades regionales o estatales con el propósito de que la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) mejoren en la subcuenca, se tiene tres parámetros para que se pueda evaluar lo mencionado.

- **Parámetro de Presión:** Para la operación de este parámetro lo primero que se tuvo que calcular es el IDH de educación para ello fue necesario el dato del índice de alfabetización del país y el índice de matrícula bruta del Perú es importante mencionar que estos datos fueron obtenidos del (Instituto Nacional de Estadística e Informática-[INEI], 2017) , con estos datos se aplicó la siguiente formula tanto para el año del comienzo de estudio como para el año final del periodo de estudio:

$$IDHeduc = 2/3(\text{Índice de alfabetización} + 1/3 \text{ Índice matriculación bruta})$$

$$IDHeduc(2015) = 2/3(0.06) + 1/3 (0.991) = 0.3703$$

$$IDHeduc(2019) = 2/3(0.059) + 1/3 (0.9785) = 0.3652$$

Por último, se calculó la variación del IDH de educación con la siguiente formula

$$\Delta IDHeduc = \frac{IDHeduc(2019) - IDHeduc(2015)}{IDHeduc(2015)} \times 100$$

$$\Delta IDHeduc = \frac{0.3652 - 0.3703}{0.3703} \times 100 = -1.395\%$$

Para la calificación de este parámetro se comparó con la tabla 18 con el cual se obtuvo de resultado 0.5

- **Parámetro de Estado:** En este parámetro se va a evaluar la existencia de un marco legal e institucional y de participación sobre el manejo de los recursos del agua, para ello se utilizó un carácter cualitativo de calificación. Lo que se tomará en cuenta será la capacidad que poseen las instituciones sobre el manejo de los recursos hídricos se relaciona con una gestión eficaz, eficiente y sostenible.
 - Marco Legal; anteriormente la ley General de Aguas (1969-2009), el marco legal se enfocaba fundamentalmente en las

organizaciones de usuarios encaminadas al uso agrario. En la actualidad el marco de la actual norma dichas organizaciones comprenden a las diferentes clases de uso debido a que la participación de absolutamente los usuarios completos es uno de los principios fundamentales en los cuales se sustentan la implementación de la GIRH. Además, en la ley de los recursos hídricos ha establecido que ANA es la que tiene la función de dictaminar normas y también determinar procedimientos con la finalidad de que la gestión integral y sostenible de los recursos hídricos se encuentre segura. Este ente rector tiene la máxima autoridad técnico-normativa, asimismo ha expuesto un amplio marco legal aplicable a todo el Perú la cual da la posibilidad de la planificación del medio ambiente y el agua.

La aplicación del Plan Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) sitúa al Perú como el segundo de Sudamérica en contar con un plan de tal envergadura e importancia, luego de Brasil. Es importante mencionar que tanto este plan como los que se han venido desarrollando consecutivamente en las cuencas (PGRHC), han hecho que el país se encuentre en la vanguardia de la gestión integrada y sostenible de los recursos hídricos. Sin embargo, aunque se tiene el consejo de recurso Hídrico de la cuenca (CRCHC) Quilca- Chili el que fue fundado con el propósito de lograr la participación activa y permanente de sus integrantes con el propósito de realizar actividades para el aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos en sus diferentes ámbitos, este consejo fue creado mediante el Decreto Supremo N° 003-2012-AG del 21 de marzo 2012, este consejo ha mostrado diferentes deficiencias ya sea por desconocimiento en demanda o por la falta de inversión por parte del Gobierno Regional de Arequipa.

En el Anexo 4 se describe un cuadro en el cual toma en cuenta el marco legal, el alcance y la puntuación que se le asigno en relación al alcance.

El puntaje obtenido es de 0,75 el cual hace referencia que este marco legal se encuentra en un nivel bueno según la tabla 19, ya que la normatividad e instrumentos en el Perú se viene desarrollando gradualmente.

- Marco Institucional; como ya se mencionó en el anterior marco es el Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca la que gestiona las actividades relacionadas ala aprovechamiento del agua. En la siguiente figura se muestra el sector e institución a la que pertenece cada uno de los representantes de este consejo.

SECTOR	REPRESENTANTE	INSTITUCIÓN
Gobierno Regional de Arequipa	Ramiro Leónidas Pastor Baldárrago	Gobierno Regional de Arequipa
Autoridad Nacional del Agua	Ronal Hamilton Fernández Bravo	Autoridad Administrativa del Agua I Caplina-Ocoña
Gobiernos Locales	Wuilber Mendoza Aparicio	Municipalidad Distrital de Socabaya
Usuarios Agrarios	Teófilo Quenider Barreda Salas	Junta de Usuarios de La Joya Nueva
Usuarios No Agrarios	Juan José Díaz Escobedo	Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.
Colegios Profesionales	Giovanni Valentín Salas Medina	Colegio de Biólogos del Perú
Universidades	Carlos Augusto Vargas Rodríguez	Universidad Nacional San Agustín
Comunidades Campesinas	Ynés Hilda Choque Yanque	Comunidad Campesina de Huayllacucho
Proyecto Especial Majes-Siguas	Fernando Guevara Zevallos	Autoridad Autónoma de Majes

Figura 19: Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca-Chili

Fuente: Plan de Gestión de Recursos Hídricos en la Cuenca Quilca-Chili (2013).

Cabe mencionar que la Cuenca Quilca-Chili posee una infraestructura hidráulica la cual es compleja, a través de ella se intenta satisfacer los requerimientos hídricos de las diversas actividades económicas que se encuentran relacionadas con la gestión y aprovechamiento de los mismos. La operación de la infraestructura hidráulica de riego se encuentra en manos de la Junta de Usuarios, se creó con el objetivo de representar a los usuarios agrícolas para que participen en la gestión multisectorial y sostenible de los recursos hídricos, de acuerdo con la política y el plan nacional de recursos hídricos y las

directrices de la ANA. En la siguiente tabla se da a conocer quiénes son los pertenecientes a la ya mencionada Junta de Usuarios.

Tabla 30
Junta de Usuarios de la Cuenca Quilca-Chili

Junta de Usuarios
La Junta de Usuarios del Chili Zona Regulada, que opera en la Campiña de Arequipa
La Junta de Usuarios del Chili Zona No Regulada
La Junta de Usuarios de la Joya Antigua
La Junta de Usuarios de la Joya Nueva
La Junta de Usuarios del Río Yura
La Junta de Usuarios del Valle de Vitor
La Junta de Usuario de Santa Rita de Sigua
La Junta de Usuarios Ampato-Siguas -Quilca
La Junta de Usuarios de la Pampa de Majes

Fuente: Plan de Gestión de Recursos Hídricos en la Cuenca Quilca-Chili (2013).

Si bien en la ANA recae principalmente la gestión de los recursos no es la única encargada ya que se tiene también ministerios los cuales cuentan con un campo de acción sobre el recurso hídrico. Entre estos ministerios se encuentra el Ministerio de la Agricultura debido al riego, Vivienda, Construcción y Saneamiento debido al uso doméstico; Salud, por la calidad del agua; Energía y Minas, debido a la generación de energía eléctrica y al uso del agua en operaciones mineras; Medio Ambiente.

Con toda la información expuesta es que en el marco legal se tiene un puntaje de 0,75 con este puntaje según la tabla 19 se le cataloga con un nivel bueno. El estado de Perú posee en su legislación diversas instituciones para una buena gestión del recurso hídrico; para tratar temas relacionados con el agua es ANA la principal institución, pero además se cuenta con el

resto de las instituciones gubernamentales para dirigir la gestión de una manera más adecuada; es por ello que se tiene una buena caracterización.

- Manejo de la participación; hace referencia a los esfuerzos que realiza las diferentes entidades gubernamentales del Estado peruano, con el propósito de incluir la participación de la población en el medio ambiente. En octubre del año 2019 la ANA junto con el Ministerio de Agricultura y Riego lideraron las diferentes actividades con el fin de motivar a la conciencia del cuidado y preservación del río Chili la cual es la única fuente de agua en la cuenca, las diferentes actividades además conto con la presencia de los representantes del gobierno regional de Arequipa, La Municipalidad Provincial de Arequipa, Sedapar S.A., Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (Sunass), los municipios de los distritos de Cayma, Yanahuara y Tiabaya. (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego-[MIDAGRI], 2019).

Entre las diferentes actividades que se tuvo durante el periodo de estudio se analizar que estos eventos no tienen una adecuada frecuencia ya que después de casi dos años es que se realiza esta actividad con participación de las diferentes entidades que poseen a su cargo la gestión del agua; por lo cual es que se puede llegar a la conclusión de que aún no se ha llegado a tener consolidado el marco participativo por ello se otorga una calificación de 0,50, con respecto a los niveles de la tabla 19. Finalmente, para obtener el puntaje en el parámetro de estado se sumarán los diversos puntajes de los marcos incluido con el manejo de participación y se hará la división entre 3.

$$PPEstado = \frac{0,75 + 0,75 + 0,50}{3}$$

$$PPEstado = 0,667$$

Con la obtención de este puntaje se obtendrá una calificación con un nivel Bueno con respecto al parámetro de estado.

- **Parámetro de Respuesta:** En este parámetro se va a evaluar como ha venido progresando las inversiones en el manejo íntegro del recurso de agua en el transcurso del periodo de estudio. Es por ello que en la siguiente tabla se muestra como ha venido siendo las inversiones con respecto a la gestión del recurso hídrico, además para tener una mejor visualización se vio por conveniente un diagrama de barras que muestra la figura 20.

Tabla 31

Evolución de las Inversiones en la Gestión Integral de Recursos Hídricos (GIRH)

INVERSIONES (2015-2019)					
Descripción de la Inversión	2015	2016	2017	2018	2019
Gestión de la cantidad	S/ 2.161.000,00	S/ 5.169.000,00	S/ 15.631.000,00	S/ 16.042.000,00	S/ 6.941.000,00
Gestión de la calidad	S/ 31.860.000,00	S/ 860.000,00	S/ 855.000,00	S/ 1.655.000,00	S/ 1.155.000,00
Gestión de la oportunidad	S/ 3.142.000,00	S/ 3.137.000,00	S/ 3.037.000,00	S/ 3.032.000,00	S/ 3.032.000,00
Gestión de la cultura del agua	S/ 235.000,00	S/ 235.000,00	S/ 235.000,00	S/ 235.000,00	S/ 235.000,00
Adaptación al cambio climático y eventos extremos	S/ 573.000,00	S/ 578.000,00	S/ 578.000,00	S/ 603.000,00	S/ 603.000,00
Total	S/ 37.971.000,00	S/ 9.979.000,00	S/ 20.336.000,00	S/ 21.567.000,00	S/ 11.966.000,00

Fuente: Plan de Gestión de Recursos Hídricos en la Cuenca Quilca-Chili (2019).

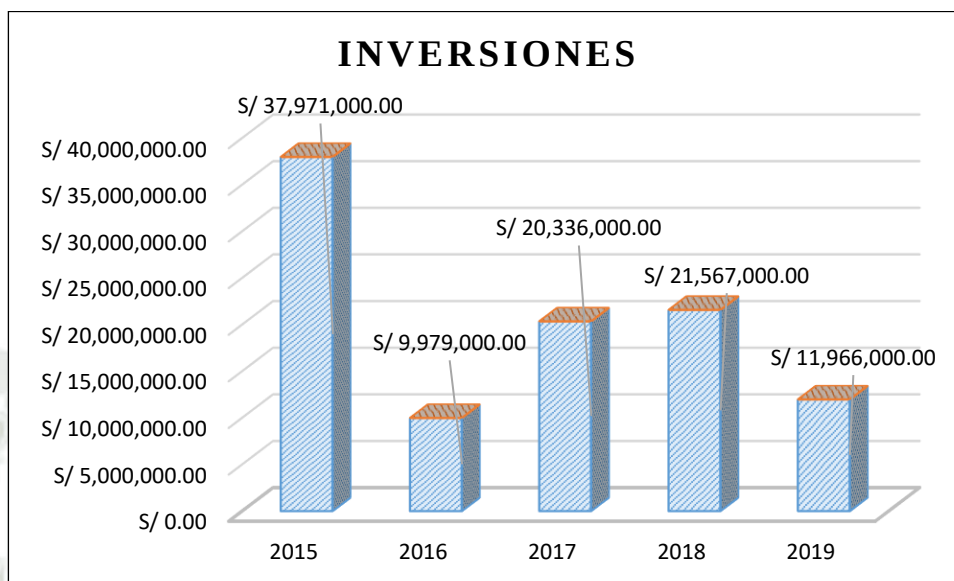


Figura 20: Evolución de las Inversiones en la (GIRH)

Fuente: Plan de Gestión de Recursos Hídricos en la Cuenca Quilca-Chili (2019).

En la anterior figura se presentó como es que ha sido el comportamiento de las inversiones durante los años del 2015 al 2019; finalmente para obtener el puntaje de este parámetro se tiene que realizar la variación del comienzo y final del periodo de estudio para ello se utilizó la siguiente formula:

$$\Delta \text{Iversiones(GIRH)} = \frac{\text{Inversión (2019)} - \text{Inversión(2015)}}{\text{Inversión(2015)}} \times 100$$

$$\Delta \text{Iversiones(GIRH)} = \frac{\text{S/ 11.966.000,00} - \text{S/ 37.971.000,00}}{\text{S/ 37.971.000,00}} \times 100$$

$$\Delta \text{Iversiones(GIRH)} = -68\%$$

Finalmente, el resultado se compara con la tabla 20, y se obtiene una puntuación de 0 con relación al parámetro de respuesta.

Cuadro Resumen para la obtención del indicador de ISC

Tabla 32

Resumen de resultados para la obtención del ISC

Hidrología -Cantidad		Resultado
Presión	0	0,16
Estado	0	
Respuesta	0,5	
Hidrología -Calidad		
Presión	0,5	0,25
Estado	0	
Respuesta	0,25	
Medio Ambiente		
Presión	1	0,75
Estado	1	
Respuesta	0,25	
Vida		
Presión	1	0,75
Estado	0,25	
Respuesta	1	
Política		
Presión	0,5	0,39
Estado	0,667	
Respuesta	0	
Resultado del ISC		0,46

Fuente: Elaboración Propia (2021).

CAPITULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Indicador de hidrología cantidad:

Las condiciones ambientales y el rápido crecimiento de la población en la provincia de Arequipa han generado presión sobre la cuenca del río Chili. La cuenca hidrográfica del Chili cuenca con una disponibilidad hídrica inferior a los 1000 m³/habitante/año, lo cual considerando el estrés hídrico se puede considerar como escasez de agua. En la tabla 33 se muestran los valores de los parámetros de presión, estado y respuesta calculados a partir de cantidad de recurso hídrico y su eficiencia en uso del periodo estudiado. Así mismo se ha considerado la poca inversión en infraestructura hidráulica durante el periodo histórico y el periodo de estudio.

Tabla 33

Valores obtenidos de los parámetros de presión, estado y respuesta del indicador hidrología-cantidad.

Cuenca	Disponibilidad per cápita de agua (m ³ /hab año) (2010-2019)	Disponibilidad per cápita de agua (m ³ /hab año) (2015-2019)	Δ (%)	Puntuación presión	Puntuación estado	Puntuación respuesta
Rio Chili	888.69	543.59	-38.83%	0	0	0.5

Fuente: Elaboración Propia (2021).

3.2. Indicador de hidrología calidad:

En cuando al indicador de calidad se ha analizado la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y su variación en cuanto al periodo de estudio y el promedio histórico. Los resultados indicados en la tabla 34 muestran como la concentración de DBO5 del periodo de estudio ha disminuido en comparación al periodo histórico, sin embargo, aún se encuentra con un valor alto de acuerdo con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) vigente (10 mg/L). Esto se debe a la gran cantidad de vertimientos que se realizan al río y las pocas plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) que se cuenta para depurar y tratar el agua de la cuenca.

Tabla 34

Valores obtenidos de los parámetros de presión, estado y respuesta del indicador hidrología-calidad.

Cuenca	Concentración DBO5 (mg/l) (2010-2019)	Concentración DBO5 (mg/l) (2015-2019)	Δ (%)	Puntuación presión	Puntuación estado	Puntuación respuesta
Rio Chili	17.68	16.68	6.95%	0.5	0	0.25

Fuente: Elaboración Propia (2021).

3.3. Indicador de ambiente:

Para el indicador de ambiente se obtuvo el valor de EPI de la cuenca del río Chili, dicho resultado se muestra en la tabla 35. A través de los resultados obtenidos observamos cómo las áreas destinadas a uso agrícola han ido disminuyendo en 154% durante el periodo de estudio, siendo esto, en cuatro años. El motivo de ello es el aumento de la densificación poblacional y el abandono de los terrenos agrícolas por la escasez hídrica y los bajos precios de los productos agrícolas en el mercado. En cuando a la población, se ha producido un incremento del 7% durante el periodo de estudio.

Tabla 35

Valores obtenidos de los parámetros de presión del indicador ambiente.

Cuenca	Superficie agrícola (km ²)			Población (habitantes)			EPI	Puntuación presión
	2015	2019	Δ (%)	2015	2019	Δ (%)		
Rio Chili	202338.72	79542.00	-154,38%	589069	633816	7,06%	-73.66%	1

Fuente: Elaboración Propia (2021).

En lo que corresponde a la superficie de vegetación natural en la cuenca (tabla 36), el parámetro de estado se podría considerar como aceptable, esto pues se cuenta con una cantidad importante de vegetación y que no ha sufrido una disminución importante en el periodo de estudio (0.26%). Así mismo a pesar de contar con áreas naturales protegidas (ANP) éstas no han sufrido modificaciones ni incremento en el periodo de estudio, de igual manera las buenas prácticas de manejo (BPM) han sido insuficientes, por ello el bajo puntaje.

Tabla 36

Valores obtenidos de los parámetros de estado y respuesta del indicador ambiente.

Cuenca	Superficie total de vegetación (Ha)	Δ (%)	Puntuación estado	Δ ANP (%)	Δ BPMs (%)	Δ (%)	Puntuación respuesta
Rio Chili	1287000	0.265%	1	0%	-10.08%	-5.04%	0.25

Fuente: Elaboración Propia (2021).

3.4. Indicador de vida:

En la tabla 37 se pueden observar los parámetros de presión y estado correspondiente al indicador vida. Los ingresos per cápita distrital de los distritos directamente afectados por la cuenca han tenido un incremento en el periodo de estudio. De igual manera el índice de desarrollo humano ha sufrido un incremento, sin embargo, debido a tener un valor aún insuficiente se le considera una puntuación baja.

Tabla 37

Valores obtenidos de los parámetros de presión y estado del indicador vida.

Cuenca	Ingresos per cápita distrital		Δ IP (%)	Puntuación presión	Índice de Desarrollo Humano IDH		Σ	Puntuación estado
	2015	2019			2015	2019		
Rio Chili	S/ 3,103,879	S/ 4,894,392	57.69%	1	0.394	0.671	0.532	0.25

Fuente: Elaboración Propia (2021).

Respecto al parámetro de respuesta (tabla 38), todos los distritos con influencia en el área de estudio presentan un índice de desarrollo humano similar por lo que el índice ponderado obtiene un valor alto, este resultado manifiesta la homogeneidad socioeconómica del área de estudio.

Tabla 38

Valores obtenidos de los parámetros de respuesta del indicador vida.

Cuenca	Índice de Desarrollo Humano Ponderado IDHp		Δ (%)	Puntuación respuesta
	2015	2019		
Rio Chili	0.394	0.671	70.24%	1

Fuente: Elaboración Propia (2021).

3.5. Indicador de política:

A diferencia de los resultados anteriores referentes al índice de desarrollo humano IDH, el índice de desarrollo humano asociado con la educación (IDH-educación) a lo largo del área de estudio, tiene una variación negativa, tal y como se observa en la tabla 39.

En cuanto al valor de estado se evidenció un marco legal importante y que define detalladamente las atribuciones, funciones y acciones legales que se desarrollan para el manejo del recurso agua. Así mismo se cuenta con marco institucional definido en cuanto a las competencias y funciones de las diferentes instituciones que gestionan los recursos hídricos. Asimismo, se ha determinado una participación intermedia de la población en los temas referidos a monitoreos participativos, mesas de trabajo y determinación de estrategias para el cuidado del recurso hídrico.

Tabla 39

Valores obtenidos de los parámetros de presión, estado del indicador política.

Cuenca	IDH-educación		Δ (%)	Puntuación presión	Marco legal	Marco institucional	Manejo de participación	Puntuación estado
	2015	2019						
Rio Chili	0.3703	0.3652	-1.395%	0.5	0.75	0.75	0.6	0.75

Fuente: Elaboración Propia (2021).

En contraposición, la inversión en gestión integrada de los recursos hídricos en la cuenca del Chili ha disminuido a lo largo del periodo estudiado (tabla 40). Se observa que el presupuesto destinado para el manejo integral de los recursos hídricos ha disminuido en un 68% en comparación del periodo de estudio.

Tabla 40

Valores obtenidos de los parámetros de respuesta del indicador política.

Cuenca	Población (habitantes)		Inversión		Δ (%)	Puntuación respuesta
	2015	2019	2015	2019		
Rio Chili	589069	633816	S/ 37,971,000	S/ 11,966,000	-68%	0

Fuente: Elaboración Propia (2021).U

Finalmente, en la tabla 41 se muestra el resumen de los parámetros obtenidos para cada uno de los indicadores de la cuenca estudiada. El ISC determinado para la cuenca del río Chili es de 0.46, lo que a efectos de la clasificación propuesta por Chaves y Alipaz supone un grado de sostenibilidad bajo.

Tabla 41

ISC en la cuenca del río Chili.

Cuenca	Presión	Estado	Respuesta	Hidrología cantidad	Presión	Estado	Respuesta	Hidrología calidad	Presión	Estado	Respuesta	Ambiente	Presión	Estado	Respuesta	Vida	Presión	Estado	Respuesta	Política	ISC
Rio Chili	0	0	0.5	0.16	0.5	0	0.25	0.25	1	1	0.25	0.75	1	0.25	1	0.75	0.5	0.75	0	0.39	0.46

Fuente: Elaboración Propia (2021).

DISCUSIÓN

El principal aporte del trabajo presentado es la adaptación de la metodología del ISC a las condiciones propias de la cuenca, teniendo condiciones semiáridas, alta presión antrópica y una diversificación en las autoridades encargadas de la gestión de la cuenca. Ante ello se han logrado cuantificar los indicadores cualitativos para lograr reflejar las acciones y esfuerzos realizados en la gestión de las áreas naturales presentes en la cuenca, la inversión realizada para la gestión de la cuenca y la participación local de los actores sociales.

Consultando con las referencias encontradas no existe antecedente de aplicación de la metodología aplicada en la presente investigación en Arequipa y en todo el sur del país. En ese sentido la metodología propuesta podrá ser usada para su aplicación en cuencas hidrográficas con similares condiciones ambientales, sociales, económicas y legales semejantes al caso objeto de estudio.

CONCLUSIONES

Conclusiones Generales

- El Índice de Sostenibilidad de Cuencas (ISC) es una herramienta de diagnóstico que provee información valiosa e integradora necesaria para promover la gestión integral de los recursos hídricos y ambientales. Aplicar la metodología del ISC, propuesta y aplicada por la UNESCO, en la subcuenca del Chili; permitió evaluar el estado de la sostenibilidad de la subcuenca, mediante relaciones causa efecto, para poder proponer y plantear estrategias o alternativas para su mejora.
- El ISC para la Subcuenca del Río Chili se determinó con el resultado final de los cuatro indicadores, cuyo valor obtenido es de 0.46. El valor hallado indica que la sostenibilidad de la subcuenca se encuentra en un nivel bajo, esto debido a diversos factores de calidad y cantidad de agua, presión antrópica en el sistema y el manejo de la cuenca por parte de las autoridades competentes.

Conclusiones Específicas

- El resultado que se obtiene de promediar el subindicador de cantidad y calidad de agua es el indicador de hidrología, el valor obtenido es de 0.205. Dicho valor se considera, de acuerdo a la escala, como muy bajo, esto tomando en consideración la disminución en la disponibilidad de agua y la calidad de la misma. El valor obtenido en este indicador fue obtenido mediante dos subindicadores, el primero es el de cantidad de agua con un valor de 0.16 siendo el más bajo de todos. Este valor está representado por el decrecimiento en la disponibilidad de agua en el periodo de estudio, el crecimiento poblacional lo cual ha ocasionado una disminución en la disponibilidad per cápita de agua y la poca inversión en infraestructura hidráulica en la subcuenca. El segundo subindicador es hidrología cuyo valor es de 0.25, valor que es considerado bajo. Esto está determinado por las altas concentraciones de DBO5 en la subcuenca, los vertimientos de aguas sin tratamiento, la presión de las actividades antrópicas en la rivera de los afluentes y la deficiencia en la cobertura de los servicios de agua potable y saneamiento básico.
- El resultado que se obtuvo del indicador de medio ambiente fue de 0.75, valor considerado alto. Dicho resultado corresponde a que las variaciones de pérdidas de cobertura de vegetación no representaron un impacto importante. Así mismo, la existencia de áreas naturales protegidas, que existen en el departamento de la subcuenca, proveen beneficios importantes de las buenas prácticas para la preservación del medio ambiente mediante las actividades que se llevaron a cabo durante los años del periodo de estudio a través de SERNANP.
- Con relación al índice de calidad de vida, se obtuvo un valor de 0,75, valor considerado alto. Este valor está representado por el adecuado desarrollo económico de los municipios de los distritos pertenecientes a la subcuenca del río Chili el cual influyen de manera positiva en el IDH pues está basado en la ejecución presupuestal de ingresos y gastos públicos. Esto permite que se presenten distintas opciones de participación en el mercado laboral esto puede ser debido a que se cuenta con los recursos necesarios productivos.

- Con respecto al indicador de políticas el valor obtenido es de 0,39, valor considerado bajo. Este indicador corresponde a las inversiones desarrolladas por las autoridades locales, regionales y nacionales con el propósito de que la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) mejoren en la subcuenca. Se evidenció que se cuenta con un marco legal robusto y que define funciones muy específicas para las diferentes instituciones que gestionan los recursos hídricos. Sin embargo, existe ineficiencia en la inversión en el manejo integral de los recursos hídricos por los bajos presupuestos destinados a su manejo siendo que las políticas implementadas no son efectivas a pesar de tener una buena normatividad.



RECOMENDACIONES

- Se necesita generar espacios de articulación y consenso entre la población y los organismos gubernamentales encargados de planificar y gestionar la cuenca hidrográfica. Esto con el objetivo de unificar las capacidades y esfuerzos que consigan implementar eficientemente las políticas de gestión en la subcuenca para lograr un equilibrio sostenible del recurso. Esto se puede dar mediante mesas de trabajo, monitoreos participativos, acciones conjuntas de recuperación ambiental del recurso, etc.
- Se recomienda que se evalúe la designación de mayores presupuestos para esta subcuenca y el desarrollo de instrumentos de planificación territorial, esto permitirá desarrollar proyectos que atiendan principalmente los problemas identificados en cuanto a calidad de agua, inversión en tratamiento de aguas residuales, reúso de agua para consumo y tecnologías para uso racional de agua especialmente en agricultura que presenta un uso intensivo del recurso hídrico.
- Es necesario realizar el seguimiento y control correspondiente del indicador de sostenibilidad de cuenca para monitorear los niveles de los indicadores de hidrología, medio ambiente, política y vida a fin de poder establecer estrategias para el manejo adecuado de la subcuenca y los recursos que se ven inmersos en su ecosistema.
- Se requiere de un sistema de información de data ambiental que cuente con información validada y en tiempo real de los principales indicadores ambientales de la ciudad y en especial de la subcuenca. Esto debido a las dificultades que se presentaron durante la ejecución de la presente investigación donde la data obtenida fue difícil de conseguir debido a su reserva y desactualización.

REFERENCIAS

- Romo Fernández, L. M., Guerrero Bote , V., & Moya Anegón, F. (18 de febrero de 2013). *Análisis de la producción en energías renovables, sostenibilidad y medio ambiente. Investigación Bibliotecnológica*, 27(60), 125-151.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0187-358X\(13\)72546-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0187-358X(13)72546-2)
- Alexandratos, N., & Bruinsma, J. (2012). World Agriculture Towards 2030-2050. *Working or Discussion Paper*. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.288998>
- Ámbar Marrón , M. (2011). Una revisión de los índices y metodologías de escasez de agua. *El Consorcio de Sostenibiliad*(106).
- Aquae Foundation. (s.f.). *Cómo afecta el cambio climático al ciclo del agua*. Recuperado el 24 de febrero de 2022, de sitio web de Aquae foundation:
https://www.fundacionaquae.org/cambio-climatico-agua/amp/?gclid=CjwKCAiA9tyQBhAIEiwA6tdCrB8obI5WYaKWGadfbbeQpkdZrej sATrq8DuN6xfS2N6xfj2ktq_6SBoCmAoQAvD_BwE
- Arias, F. (2006). Desarrollo sostenible y sus indicadores. *Revista Sociedad y Economía*,, 1(11), 200-229. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99616177008>
- Autodema. (enero de 2021). *Movimiento Hídrico Sistema Chili*. Obtenido de Sitio web de Autodema: <https://autodema.gob.pe/reportesom/frmRepChili.aspx>
- Autoridad Nacional de Agua [ANA]. (04 de Julio de 2020). *Perú perdió el 51% de sus glaciares debido al cambio climático*. Obtenido de Sitio web de la ANA:
<http://www.ana.gob.pe/noticia/peru-perdio-el-51-de-sus-glaciares-debido-al-cambio-climatico>
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2021). *Monitoreo de calidad de aguas superficiales Cuenca Quilca Chili*. Arequipa, Perú.
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (s.f.). *Calidad del agua*. Recuperado el 27 de febrero de 2022, de Consejos de Recursos Hídricos de Cuenca QUILCA-CHILI:
<https://www.ana.gob.pe/2019/consejo-de-cuenca/quilca-chili/Calidad>

Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (s.f.). *Cantidad disponible de agua*. Recuperado el 27 de febrero de 2020, de Sitio web de la ANA: <https://crhc.ana.gob.pe/quilca-chili/ambito-de-gestion/cantidad-disponible-de-agua#:~:text=En%20el%20presente%20a%C3%B1o%202020,volumen%20de%20412%2C650%20hm%203.>

Autoridad Nacional del Agua. (2021). *Reserva hídrica en los glaciares del Perú*. Huaraz: Artigraphics S.A.C.

Autoridad Nacional del Agua-[ANA]. (2013). *Plan de Gestión de Recursos Hídricos en la Cuenca Quilca-Chili*. Tecnomá.

Autoridad Nacional del Agua-[ANA]. (2018). *Estudio Hidrogeológico del Acuífero del Río Chili*. Lima.

Baiget, J. A. (2012). Propuesta Metodológica para el análisis de la sostenibilidad. *Universitat Politècnica de Catalunya*, 16-22.

Bastianoni, S., Facchini, A., Susani, L., & Tiezzi, E. (2007). Emergy as a Function of Exergy. *Energy*, 37(7), 1158-1162.

Belalcázar Benavides, P., & Ortega Bolaños, M. (2018). Evaluación de la sostenibilidad de la subcuenca hidrográfica La Fragua ubicada en el departamento de Nariño, a través de cuatro indicadores. *Universidad de Manizales*. Obtenido de <https://onx.la/367a7>

Biodiversidad mexicana. (13 de agosto de 2020). *¿Qué es un ecosistema?* Obtenido de Sitio web de Biodiversidad mexicana: <https://onx.la/7f7fa>

Bongiovanni, M. (2016). *Respuesta del rendimiento de los*. Roma: Estudio FAO: riego y drenaje.

Castellano, H. (2006). *La planificación del desarrollo sostenible* (Vol. 1). Venezuela.

Chaves, H., & Alipaz, S. (2007). An Integrated Indicator Based on Basin Hydrology, Environment, Life, and Policy. *the Watershed Sustainability Index*, 883-895. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11269-006-9107-2>

- Comisión Técnica Multisectorial. ANA (2009). *Política y Estrategia de Recursos Hídricos del Perú*. Lima: Auditoria Nacional del Agua. Obtenido de <https://onx.la/d860c>
- Compendio Nacional de Estadísticas de Recursos Hídricos. (2018). Sistema Nacional de Recursos de Recursos Hídricos-SINIR. *eL Perú Primero*, 271.
- Conagua. (2011). *Estadísticas del Agua en México*. Ciudad de México: 2011.
- De Lorenzo, A., & Liaño, F. (2016). Altas temperaturas y nefrología: a propósito del cambio climático. *Rev. Sociedad Española de Nefrología*, 37(5), 492-500.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.nefro.2016.12.008>
- Delgado Villaverde, M. (2018). Aplicación de los Indicadores del Índice de Sostenibilidad (WSI) en las subcuencas del Río Mantaro. *Pontificia Universidad Católica del Perú*. Obtenido de <https://onx.la/c6645>
- Dirección de Desarrollo Estratégico de Servicio Nacional de Áreas Protegidas por el Estado- [SERNANP]. (2020). *Plan Maestro de la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca para el periodo 2016-2020*.
- DOF. (17 de abril de 2001). NMX-AA-028-SCFI-2001. Obtenido de <https://onx.la/c91d3>
- Falkenmark, M., & Widstrand, C. (1992). *Population and Water Resources: A Delicate Balance*. Washington DC, Estados Unidos. Obtenido de [file:///C:/Users/USER/Downloads/popref-276-92PO-10997%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USER/Downloads/popref-276-92PO-10997%20(1).pdf)
- Fernández Ballesteros, R., Caprara, M., Schettini, R., Bustillos, A., Mendoza-Núñez, V., & Orosa, T. (2013). Effects of university programs for older adults: changes in cultural and group stereotype, self-perception of aging, and emotional balance. *Educational Gerontology*, 39(2), 119-131.
- Fernández, L., & Gutiérrez, M. (2013). Bienestar social, económico y ambiental para las presentes y futuras generaciones. *Rev. Ciencia y Tecnología*. Obtenido de <https://onx.la/a61f1>
- Gomez, O. (2017). Indicadores del Subsistema Social. *Instituto de Geografía – UNAM*, 1(1), 13-19. Obtenido de <https://onx.la/0771f>

- Hui, X., & May, W. (2017). Water Availability Indices – A Literature Review. *Argonne National Laboratory*. Obtenido de <https://publications.anl.gov/anlpubs/2017/03/134309.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática-[INEI]. (2017). *Cobertura de alfabetización*. Obtenido de <https://onx.la/749b0>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática-[INEI]. (2021). *Perú :Anuario de Estadísticas Ambientales*. Lima. Obtenido de <https://onx.la/4b989>
- Laura Ortiz, J. (2019). Gestión de la Calidad del Agua del Río Chili a través de indicadores físicos químicos de calidad ambiental. *Universidad Nacional de San Agustín*. Obtenido de <https://onx.la/8c879>
- Lekula, M., Lubczynski, M., & Shemang, E. (2018). Hydrogeological conceptual model of large and complex sedimentary aquifer systems – Central Kalahari Basin (Botswana). *Physics and Chemistry*. <https://doi.org/doi:10.1016/j.pce.2018.05.006>
- Minambiente. (s.f.). *Conceptos básicos de cambio climático*. Recuperado el 24 de febrero de 2022, de Sitio web de Minambiente: <http://www.cambioclimatico.gov.co/otras-iniciativas>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego-[MIDAGRI]. (2019). Autoridad Nacional del agua lidera actividades por el mes del río Chili en Arequipa. *El Peruano*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/ana/noticias/136255-autoridad-nacional-del-agua-lidera-actividades-por-el-mes-del-rio-chili-en-arequipa>
- Ministerio de Economía y Finanzas [MEF]. (s.f.). *¿Qué es el Índice de Desarrollo Humano - IDH y qué mide?* Recuperado el 27 de febrero de 2022, de Política Económica y Social: <https://onx.la/dfad4>
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2016). Perú. Ministerio del Ambiente. Dirección General de Investigación e Información Ambiental. II. *Biblioteca Nacional del Perú, 1*. Obtenido de <https://onx.la/dfad4>
- Mordecki, G., & Ramírez, L. (2018). ¿Qué es lo primero: el crecimiento del PIB o la inversión? El caso de una economía pequeña y abierta. *Instituto de Economía*,

Facultad de Ciencias Económicas y de Administración, 85(37), 4-7. Obtenido de
<https://onx.la/dfad4>

Naciones Unidas. (2017). *Metodología de monitoreo paso a paso para el indicador 6.4.2.*
Naciones Unidas. Obtenido de <https://onx.la/82170>

Organización de Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO].
(2003). Problemas dl medio ambiente. *Dirección de Ciencia y Técina*. Obtenido de
https://es.unesco.org/sites/default/files/l1_web.pdf

Oromapas. (s.f.). *Ciclo hidrológico*. Recuperado el 24 de febrero de 2022, de Sitio web de
Oromapas: <https://www.oromapas.gob.mx/cultura-del-agua/ciclo-hidrologico/>

Oswal Madrigal , M., Brown Manrique, O., Castellanos, L., & Gallardo Ballat, Y. (2019).
Análisis del consumo de agua y energía en el riego por surcos. *RECyT*, 16-21.

Oxfam. (2014). *Fin de la desigualdad Extrema (IGUALES)*. Oxfam GB. Obtenido de
<https://onx.la/73f4e>

Paolini Ruiz, J. (2013). Propuesta metodológica para la modelación y prospección de la
sostenibilidad de las cuencas hidrográficas en Venezuela. *Universitat Politècnica de*
Calunya. Obtenido de
<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/145691/TJIPR1de1.pdf?sequence=1>

Pérez Sánchez, J., Senent Aparicio, j., & Bielsa Arter, A. (2016). Evaluación de la
sostenibilidad de cuencas mediterraneas semiáridas. *Tecnol.ciencia.agua*, 67-84.
Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-

Proyecto de Modernización de la Gestión de los Recursos Hídricos [PMGRH]. (2015). *Plan*
de Gestión de los Recursos Hídricos de la cuenca Quilca - Chili. Lima: Mirza
Edittores e Impresores S.A.C. Obtenido de
<https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/86>

Publicado para el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]. (2016).
Informe sobre Desarrollo Humano. *Mundi-Prensa*. Obtenido de
https://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr_2006_es_completo.pdf

- Senent Aparicio, J., Pérez Sánchez, J., & Bielsa Artero, A. (abril de 2016). Evaluación de la sostenibilidad de cuencas mediterráneas semiáridas. Caso de estudio: cuenca del Segura, España. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(2), 67-84. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000200067
- Soria Lara, J., & Valenzuela Montes, L. (2017). Dimensiones relevantes para la evaluación. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 5-24,. <https://doi.org/dx.doi.org/10.14350/rig.34416>
- Torres, N., Bonfiglio, G., & Bucher, G. (2017). Proyectos de riego para la pequeña agricultura. *Instituto del Perú*, 23-30. Obtenido de <https://onx.la/1ac5a>
- Valerio, L. B. (Enero de 2018). La política ambiental y el ecosistema en el Perú, Lima. *Universidad Peruana de las Américas*. Obtenido de <https://onx.la/0271f>
- Viloria, M. F. (2020). Análisis de indicadores ambientales. *Universidad de Antioquia*, 29-34. Obtenido de https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/15083/1/TamayoMaria_2020_AnalisisIndicadoresAmbientales.pdf
- Vörösmarty, C., Douglas, E., Green, P., & Revenga, C. (2005). Geospatial Indicators of Emerging Water. *Royal Swedish Academy*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/7703851_Geospatial_Indicators_of_Emerging_Water_Stress_An_Application_to_Africa
- World Resource Institute. (2009). *Annual Report*. Recuperado el 14 de febrero de 2022, de https://www.annualreports.com/HostedData/AnnualReportArchive/w/world-resources-institute_2009.pdf

ANEXOS

Anexo 1. Inversiones del Periodo de estudio

INVERSIONES DEL PERIODO DE ESTUDIO (2015-2019)					
Año Descripción de la inversión	2015	2016	2017	2018	2019
Estudios hidrológicos en los ríos Chili y Sigwas. Inventarios de manantiales y bofedales en todas las subcuencas	S/ 120.000,00	S/ 120.000,00	S/ 100.000,00	S/ 100.000,00	S/ 100.000,00
Elaboración de estudios hidrogeológicos en las subcuencas oriental y Yura, y pampas de La Joya, Salinas, Imata, y Cañahuas	S/ 500.000,00	S/ 500.000,00	S/ 0,00	S/ 0,00	S/ 0,00
Mejoramiento de los sistemas de medición. Implementación de estaciones hidrométricas e hidrometeorológicas	S/ 442.000,00	S/ 525.000,00	S/ 517.000,00	S/ 525.000,00	S/ 517.000,00
Mejoramiento de los sistemas de medición. Implementación de hidrometría de aguas de retorno.	S/ 600.000,00	S/ 600.000,00	S/ 600.000,00	S/ 600.000,00	S/ 600.000,00
Evaluaciones de recursos hídricos a escala de subcuenca, incluyendo actualización de balances hídricos y estudios de determinación de eficiencias	S/ 0,00	S/ 0,00	S/ 150.000,00	S/ 0,00	S/ 0,00
Afianzamiento hídrico del Chili. Reparación de compuerta de fondo y represamiento de laguna menor en Aguada Blanca.	S/5.500.000,00	S/5.500.000,00	S/ 5.500.000,00	S/ 0,00	S/ 0,00
Afianzamiento hídrico del Chili. Repotenciación de la represa de El Frayle.	S/ 0,00	S/30.000.000,00	S/135.000.000,00	S/135.000.000,00	S/ 0,00
Afianzamiento hídrico del Chili: Incremento de la regulación (Pillones, Capillune, Caquemayo, Asta de Venado o Sumbay) I fase	S/ 0,00	S/ 0,00	S/ 0,00	S/ 12.000.000,00	S/66.000.000,00

Programa integral de seguridad de presas e infraestructura mayor	S/ 0,00	S/ 0,00	S/ 0,00	S/ 10.000.000,00	S/ 0,00
Regulación del río Yura	S/12.000.000,00	S/12.000.000,00	S/ 12.000.000,00	S/ 0,00	S/ 0,00
Determinación e implementación de caudales ecológicos en tramos prioritarios	S/ 350.000,00	S/ 350.000,00	S/ 350.000,00	S/ 350.000,00	S/ 350.000,00
Drenaje integral en La Joya y Vítor.	S/ 1.750.000,00	S/ 1.750.000,00	S/ 1.750.000,00	S/ 1.750.000,00	S/ 1.750.000,00
Medidas de reforestación y conservación forestal	S/ 93.750,00	S/ 93.750,00	S/ 93.750,00	S/ 93.750,00	S/ 93.750,00
Mejoramiento de infraestructura de captación, conducción y distribución	S/ 200.000,00	S/ 200.000,00	S/ 200.000,00	S/ 0,00	S/ 0,00
Incremento de las eficiencias de aplicación de agua de riego: mejora del manejo, tecnificación de riego, etc.	S/ 50.000,00	S/ 50.000,00	S/ 50.000,00	S/ 0,00	S/ 0,00
Total de Inversión en (S/.)	S/21.605.750,00	S/51.688.750,00	S/ 156.310.750,00	S/ 160.418.750,00	S/ 69.410.750,00

Anexo 2. Inversiones con relación a PTAR

INVERSIONES DEL PERIODO DE ESTUDIO CON RELACIÓN A PTAR (2015-2019)					
Año	2015	2016	2017	2018	2019
Descripción de la inversión					
Ampliación, mejoramiento y concentración del sistema de emisores y tratamiento de aguas residuales para Arequipa Metropolitana	S/ 316.000.000,00	S/ 0,00	S/ 0,00	S/ 0,00	S/ 0,00
Construcción de infraestructura para tratamiento de aguas residuales en zonas rurales. Alcantarillado separativo parcial en Medio-Bajo-Quilca-Vitor-Chili	S/ 0,00	S/ 1.000.000,00	S/ 1.000.000,00	S/ 1.000.000,00	S/ 1.000.000,00
Construcción de infraestructura para tratamiento de aguas residuales en zonas rurales. PTAR tratamiento primario en Medio-Bajo-Quilca-Vitor-Chili.	S/ 0,00	S/ 0,00	S/ 0,00	S/ 5.000.000,00	S/ 5.000.000,00
Construcción de infraestructura para tratamiento de aguas residuales en zonas rurales. PTAR tratamiento secundario en Añashuayco.	S/ 0,00	S/ 0,00	S/ 0,00	S/ 1.000.000,00	S/ 0,00
Construcción de infraestructura para tratamiento de aguas residuales en zonas rurales. Alcantarillado separativo completo en UH Sumbay	S/ 0,00	S/ 0,00	S/ 0,00	S/ 3.000.000,00	S/ 3.000.000,00
Construcción de infraestructura para tratamiento de aguas residuales en zonas rurales. PTAR tratamiento primario en UH Sumbay	S/ 0,00	S/ 0,00	S/ 0,00	S/ 0,00	S/ 0,00
Construcción de infraestructura para tratamiento de aguas residuales en zonas rurales. Lagunas de oxidación en Chalhuanca	S/ 0,00	S/ 0,00	S/ 0,00	S/ 0,00	S/ 0,00

Construcción de infraestructura para tratamiento de aguas residuales en zonas rurales. Alcantarillado separativo parcial en la cuenca oriental.	S/ 1.000.000,00	S/ 1.000.000,00	S/ 1.000.000,00	S/ 1.000.000,00	S/ 1.000.000,00
Construcción de infraestructura para tratamiento de aguas residuales en zonas rurales. PTAR tratamiento primario en la cuenca oriental.	S/ 0,00	S/ 5.000.000,00	S/ 5.000.000,00	S/ 4.000.000,00	S/ 0,00
Actualización de inventario, revisión de red de monitoreo de calidad de aguas superficiales y diseño de red de monitoreo de aguas subterráneas	S/ 0,00	S/ 0,00	S/ 0,00	S/ 0,00	S/ 0,00
Operación y mantenimiento de la red de aguas superficiales	S/ 12.000.000,00	S/ 12.000.000,00	S/ 12.000.000,00	S/ 12.000.000,00	S/ 12.000.000,00
Operación y mantenimiento de la red de aguas subterráneas	S/ 300.000,00	S/ 300.000,00	S/ 300.000,00	S/ 300.000,00	S/ 300.000,00
Total	S/ 329.300.000,00	S/ 19.300.000,00	S/ 19.300.000,00	S/ 27.300.000,00	S/ 22.300.000,00

Anexo 3. Visor de las Áreas Naturales Protegidas a través de Geo Anp



Anexo 4. Descripción del Marco Legal

MARCO LEGAL		
Marco Legal	Alcance	Puntuación
Ley N° 26821 Ley Orgánica para el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales (1997)	Por primera vez se menciona la responsabilidad del Estado en el apoyo al uso sostenible de los recursos naturales.	0,5
La Política y Estrategia Nacional de Riego en el Perú (2003)	Aprobado por la RM N° 0498-2003-AG, cuyo objetivo general, así como los objetivos particulares, es ayudar a la empresa a aumentar su rentabilidad y competitividad. Los objetivos particulares son contribuir a incrementar la rentabilidad y competitividad de la agricultura de riego, apoyando una mejor gestión del agua en este sector, la competitividad de la agricultura de regadío, fomentando así una mejor gestión del agua en este sector económico de la actividad económica.	0,75
Ley N° 28823 Creación del fondo nacional del agua FONAGUA (2006)	Se creó con el objetivo de promover la gestión integrada a largo plazo de los recursos hídricos del país mediante el fortalecimiento de las instituciones encargadas de la gestión del agua, así como la promoción del uso eficiente del agua, la prestación de asistencia técnica a los usuarios y la financiación parcial de la ejecución de proyectos relacionados con el uso del agua a largo plazo. uso del agua de forma sostenible.	1
Plan Nacional de Saneamiento 2006-2015	Este documento fue autorizado por el DS N° 007-2006-VIVIENDA y sirve de marco para integrar y armonizar los actos de los múltiples agentes que, de una u otra manera, influyen en el crecimiento del sector del saneamiento. intervienen de alguna manera en el desarrollo del sector del saneamiento.	0,75
Autoridad Nacional del Agua (Marzo de 2008)	La ANA es la única autoridad del país encargada de los recursos hídricos. Fue creada por la Ley de Organizaciones y Funciones del Ministerio de Agricultura y el Decreto Legislativo N° 997 del 13 de marzo de 2008 para administrar, preservar, proteger y utilizar los recursos hídricos de las distintas cuencas de manera sostenible y fomentar la cultura del agua. El Ministerio de Agricultura y Riego supervisa esta organización (MINAGRI).	1
Ley de Recursos Hídricos N° 29338 (Marzo de 2009)	El objetivo de esta ley es controlar el consumo de agua y mantener la gestión integrada del recurso hídrico a través de los principios que son: valoración del agua y de la gestión integrada del agua, prioridad en el acceso al agua, participación de la población y cultura del agua, de seguridad jurídica, respeto de los usos del agua con las comunidades campesinas y nativas, sostenibilidad, descentralización de la gestión pública del agua de autoridad única, eficiencia, gestión integrada participativa por cuenca hidrográfica y tutela jurídica.	0,5

Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos (2009)	Este documento enfatiza la necesidad de colaboración entre los sectores público y privado en la gestión de los recursos hídricos del Perú en el entorno peruano. En el contexto del proceso de regionalización y descentralización, prescribe y describe la transición de una gestión sectorial e inconexa a una gestión integrada con intervenciones debidamente estructuradas y procedimientos de gestión coherentes y coordinados.	0,75
Plan Estratégico Institucional 2011-2015	Durante los años 2011 y 2015, este documento fue utilizado para guiar la gestión de la Autoridad. Su uso consolidó la organización, elevándola a la cima del Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos.	0,5
Ley 30157 Ley de las organizaciones de usuarios de agua (2014)	El objetivo de esta ley es mejorar la gestión de las infraestructuras hídricas regulando el funcionamiento de las agrupaciones de usuarios del agua.	0,75
Plan Nacional de Recursos Hídricos PNRH (2015)	El Plan Nacional de Recursos Hídricos fue autorizado por el gobierno peruano a través del DS-0.13-2015-MUNAGRI, lo que constituye un hito esencial en el desarrollo de la GIRH. El PNRH se elaboró de acuerdo con la Ley de Recursos Hídricos N° 29338, la Política Nacional y la Estrategia Nacional, y la Política 33 del Acuerdo Nacional. El esfuerzo para su elaboración se inició en 2012 con la realización de 14 Talleres Regionales en las Autoridades Administrativas del Agua (AAA), que requirieron la participación de los actores institucionales del SNGRH. La empresa española INFRAECO se encargó de crear una versión preliminar del documento técnico PNRH, que se entregó en agosto de 2013. El documento actual es una herramienta de gestión que guiará las acciones para la utilización sensata y a largo plazo de los recursos naturales. Este documento recoge la programación, los gastos, las fuentes de financiación, los criterios de recuperación de las inversiones, las entidades responsables y demás información pertinente para el cumplimiento de los objetivos y la aplicación de las medidas de interés nacional de la política y estrategia nacional de recursos hídricos. Se presenta la base legal de las entidades regionales y locales cuyas competencias inciden en la gestión de los recursos hídricos, dada la distribución de competencias en la gestión de los recursos hídricos entre los diferentes niveles del Estado (nacional, regional y local), y en aras de buscar la articulación entre los diferentes niveles de decisión.	1
Planes de Gestión de Recursos Hídricos de Cuencas (PGRHC)	La misión del PGRHC es lograr el uso sostenible de los recursos hídricos, así como el incremento de la disponibilidad de agua, para satisfacer las demandas de agua en cantidad, calidad y oportunidad en el corto, mediano y largo plazo, en concordancia con el desarrollo nacional, regional y local, articulando y compatibilizando su gestión con las políticas económicas, sociales, y ambiental de acuerdo con el desarrollo nacional, regional y local, articulando y compatibilizando su gestión con las políticas económicas, sociales y ambientales de acuerdo con el desarrollo nacional, regional y local. Es el resultado de un esfuerzo de colaboración entre el ANA y el Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca, que es liderado por los organismos descentralizados del ANA (AAA y/o ALA) (CRHC).	0,75
Total		0,75

Anexo 5. Ingreso per-cápita del año 2014

Distritos	Año -2014			
	PIA(Distrital)	Población distrital	Población total	Ingreso per-cápita (2014)
Cerro Colorado	S/ 79.936.288,00	143772	579931	S/ 19.817.185,15
Sachaca	S/ 16.291.506,00	19390	579931	S/ 544.706,70
Tiabaya	S/ 20.989.465,00	14823	579931	S/ 536.489,41
Arequipa	S/ 75.004.974,00	55264	579931	S/ 7.147.531,14
Jacobo D.Hunter	S/ 14.577.668,00	48247	579931	S/ 1.212.780,05
Cayma	S/ 34.197.722,00	89793	579931	S/ 5.294.967,94
JLB y Rivero	S/ 27.477.412,00	77019	579931	S/ 3.649.197,57
Quequeña	S/ 1.164.977,00	1361	579931	S/ 2.734,00
Socabaya	S/ 24.772.656,00	75797	579931	S/ 3.237.786,92
Yanahuara	S/ 11.950.647,00	25242	579931	S/ 520.162,28
Sabandía	S/ 3.309.800,00	4095	579931	S/ 23.371,11
Yarabamba	S/ 29.924.978,00	1121	579931	S/ 57.844,64
Yura	S/ 23.301.332,00	24007	579931	S/ 964.589,02
	Ingreso per-cápita total (2018)			S/ 3.308.411,23

Anexo 6. Buenas Prácticas de Manejo (BMP)

Buenas Prácticas de Manejo						
Objetivos	Actividades	Año		% Cumplimiento		% Variación
		2016	2019	% Cumplimiento (2016)	% Cumplimiento (2019)	
Conservar sosteniblemente la cobertura Vegetal en la RNSAB	Patrullajes	17	13	11,97%	10,08%	-15,82%
	Adquisición de equipos	3	2	2,11%	1,55%	-26,61%
	Adquisición de vehículos	7	7	4,93%	5,43%	10,08%
	Mantenimiento de Infraestructura	3	3	2,11%	2,33%	10,08%
	Mantenimiento de equipos	11	10	7,75%	7,75%	0,07%
	Capacitación	4	4	2,82%	3,10%	10,08%
	Elaboración de Línea Base Biológica	2	2	1,41%	1,55%	10,08%
	Monitoreo de recursos Naturales	2	2	1,41%	1,55%	10,08%
	Reporte de Efecto por actividades	2	2	1,41%	1,55%	10,08%
	Evaluación anual de los Sitios Ramsar	5	5	3,52%	3,88%	10,08%
	Revisión de concordancia de límites	2	0	1,41%	0,00%	-100,00%
	Inscripción en Registro ANP	2	0	1,41%	0,00%	-100,00%
	Diagnóstico de necesidades de demarcación	1	0	0,70%	0,00%	-100,00%
	Ubicación de Puntos	2	0	1,41%	0,00%	-100,00%
	Demarcación física del perímetro del ANP	2	1	1,41%	0,78%	-44,96%
Conservar los Humedales de Importancia para las aves en la RNSAB	Mantenimiento de hitos	1	1	0,70%	0,78%	10,08%
	Reforestación de parches de queñua	5	5	3,52%	3,88%	10,08%
	Restauración y mejora de ecosistemas de bofedal	4	4	2,82%	3,10%	10,08%
	Conservación de yaterales	4	4	2,82%	3,10%	10,08%

	Prevención de incendios en el matorral seco y pastizal natural	7	7	4,93%	5,43%	10,08%
	Reforestación con Tola	4	4	2,82%	3,10%	10,08%
	Restauración de la Laguna de Salinas	6	6	4,23%	4,65%	10,08%
	Investigación de Vicuñas	5	5	3,52%	3,88%	10,08%
	Investigación en Guanacos	4	4	2,82%	3,10%	10,08%
Conservar los mamíferos silvestres prioritarios de la RNSAB	Investigación en Puma Andino	3	3	2,11%	2,33%	10,08%
	Investigación de Gato Andino	4	4	2,82%	3,10%	10,08%
	Estudios sobre densidad poblacional de Tarucas y zorros en la RNSAB	0	1	0,00%	0,78%	0,00%
	Actualización del diagnóstico de Flora de la RNSAB	0	0	0,00%	0,00%	0,00%
	Estudios de Soportabilidad de Unidades de vegetación	6	6	4,23%	4,65%	10,08%
	Protocolo de Gestión de sitios Ramsar	4	4	2,82%	3,10%	10,08%
	Mesa Técnica intersectorial para la Gestión de sitios Ramsar	7	7	4,93%	5,43%	10,08%
	Plan Anual de Gestión de sitios Ramsar	13	13	9,15%	10,08%	10,08%
Total		142	129	100,00%	100,00%	-10,08%

Anexo 7. Ingreso per-cápita (2015-2019)

Distritos	Año -2015				Año-2019			
	PIA(Distrit al)	Población distrital	Población total	Ingreso per-cápita (2015)	PIA(Distrital)	Población distrital	Población total	Ingreso per-cápita (2019)
Cerro Colorado	S/ 70.306.383,0	148164	589069	S/ 17.683.624,38	S/ 107.556.467,0	161256	633816	S/ 27.364.606,83
Sachaca	S/ 14.618.074,0	19581	589069	S/ 485.913,38	S/ 17.900.966,00	21928	633816	S/ 619.315,99
Tiabaya	S/ 17.242.708,0	14768	589069	S/ 432.275,87	S/ 26.822.830,00	16190	633816	S/ 685.154,08
Arequipa	S/ 89.934.908,0	54095	589069	S/ 8.258.843,78	S/ 167.097.743,00	58928	633816	S/ 15.535.637,79
Jacobo D. Hunter	S/ 13.354.845,0	48326	589069	S/ 1.095.603,81	S/ 20.820.179,00	51810	633816	S/ 1.701.903,19
Cayma	S/ 30.677.514,0	91802	589069	S/ 4.780.861,22	S/ 43.903.892,00	99034	633816	S/ 6.860.000,44
JLB y Rivero	S/ 25.371.450,0	76711	589069	S/ 3.303.975,09	S/ 32.799.107,00	80922	633816	S/ 4.187.602,30
Quequeña	S/ 1.013.492,00	1376	589069	S/ 2.367,41	S/ 1.385.032,00	1490	633816	S/ 3.255,99

Socabaya	S/ 22.085.795, 0	78135	589069	S/ 2.929.493,14	S/ 33.939.580,00	81823	633816	S/ 4.381.458,11
Yanahuara	S/ 11.174.594, 0	25483	589069	S/ 483.410,57	S/ 13.920.824,00	27394	633816	S/ 601.668,39
Sabandía	S/ 2.836.034,0 0	4136	589069	S/ 19.912,50	S/ 4.032.392,00	4388	633816	S/ 27.916,83
Yarabamba	S/ 28.194.925, 0	1125	589069	S/ 53.846,48	S/ 47.520.223,00	1268	633816	S/ 95.068,04
Yura	S/ 19.048.887,	25367	589069	S/ 820.299,69	S/ 36.186.960,00	27385	633816	S/ 1.563.513,54
Ingreso per-cápita total (2015)				S/ 3.103.879,02	Ingreso per-cápita total (2019)			S/ 4.894.392,42