

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**DOCTORADO EN ECONOMÍA DE LOS RECURSOS  
NATURALES Y EL DESARROLLO SUSTENTABLE**



**“COSTO EFECTIVIDAD DEL MANEJO DE ECOSISTEMAS  
ALTOANDINOS EN LA REGULACIÓN HÍDRICA DE LA  
UNIDAD HIDROGRÁFICA DE RONTOCOCHA,  
ABANCAY, APURÍMAC”**

**Presentada por:**

**RONAL CERVANTES ZAVALA**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR  
*DOCTORIS PHILOSOPHIAE* EN ECONOMÍA DE LOS RECURSOS  
NATURALES Y EL DESARROLLO SUSTENTABLE**

**Lima - Perú**

**2022**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**DOCTORADO EN ECONOMÍA DE LOS RECURSOS  
NATURALES Y EL DESARROLLO SUSTENTABLE**

**“COSTO EFECTIVIDAD DEL MANEJO DE ECOSISTEMAS  
ALTOANDINOS EN LA REGULACION HIDRÍCA DE LA  
UNIDAD HIDROGRÁFICA DE RONTOCOCHA,  
ABANCAY, APURÍMAC”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR**

*Doctoris Philosophiae*

**Presentada por:**

**RONAL CERVANTES ZAVALA**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

Dr. Luis Jiménez Díaz  
**PRESIDENTE**

Dr. José Miguel Sánchez Uzcategui  
**ASESOR**

Ph.D. Julio Alegre Orihuela  
**MIEMBRO**

Dr. Eric Rendón Schneir  
**MIEMBRO**

Dr. Marco Augusto Sotomayor Berrio  
**MIEMBRO EXTERNO**

## **DEDICATORIA**

*A mi familia: mi hijo Yago y mi esposa Patricia. Ellos, con su sacrificio, comprensión y aliento han sido la energía para completar esta meta.*

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres (Juan y Justina) que hicieron hasta lo imposible para educarme, y mis hermanos (Elmer, Celia, Carlos y Eddy) quienes siempre me alentaron a seguir adelante.

Al Dr. José Miguel Sánchez Uzcátegui, mi asesor de tesis, por su apoyo constante, orientación y consejos durante el proceso de investigación. También agradecer a los miembros de mi comité asesor: Dr. Eric Rendón Schneir (gracias por sus visitas en campo), Dr. Luis Jiménez Días, Ph.D. Julio Alegre Orihuela, quienes siempre estuvieron dispuestos a contribuir con el desarrollo de la investigación. Así mismo, agradecer al Dr. Marco A. Sotomayor Berrio, jurado externo de la Tesis.

Al FONDECYT, convenio de Subvención N°200-2015 FONDECYT entre la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) y Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC), gracias por haberme otorgado la beca para mis estudios de Doctorado y haber hecho posible este importante logro.

A todo el personal de la EPG, en especial al staff de profesores y personal administrativo que trabaja en el “Doctorado en Economía de los Recursos Naturales y el Desarrollo Sustentable”. Han sido el pilar para adquirir nuevos conocimientos y el soporte para todos los procesos internos dentro de la universidad.

A mis colegas del maravilloso equipo del Programa de Adaptación al Cambio Climático (PACC – Perú), de Helvetas Swiss Intercooperation, que han inspirado el desarrollo de la investigación a raíz del trabajo de campo que desarrollamos en Apurímac y Cusco.

A mis amigos y colegas que han contribuido en diferentes aspectos del trabajo, como la definición conceptual, metodológica, trabajos de campo, etc. Gracias a Bruno Locatelli, y mis amigos de Abancay: José Cuadros, Adir Guizado, Junior Gil, Lisbeth Juárez, Naisha y otros. Finalmente, a la EPS Emusap Abancay, la SUNASS y el Gobierno Regional de Apurímac por compartir su información y datos.

# ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN .....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
2.1.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	6
2.1.1.	Estudios referidos a servicios ecosistémicos de regulación hídrica en ecosistemas ..	6
2.1.2.	Estudios de evaluaciones de costo-efectividad en la gestión de ecosistemas .....	11
2.1.3.	Estudios de valoración contingente y disposición a pagar en zonas andinas .....	12
2.2.	ASPECTOS HIDROLÓGICOS DE LA BIODIVERSIDAD FUNCIONAL Y LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS .....	16
2.2.1.	La Biodiversidad funcional y los servicios ecosistémicos .....	16
2.2.2.	El servicio ecosistémico de regulación hídrica de los ecosistemas Altoandinos .....	17
2.2.3.	Influencia de la cobertura vegetal en servicio ecosistémico de regulación hídrica..	18
2.2.4.	Los ecosistemas altoandinos y la regulación hídrica.....	21
2.2.5.	Balance hídrico en los ecosistemas andinos.....	24
2.2.6.	Amenazas a los ecosistemas de montaña .....	25
2.2.7.	Soluciones basadas en la naturaleza.....	26
2.3.	EVALUACIÓN ECONÓMICA DE INVERSIONES .....	27
2.3.1.	El análisis de costo - beneficio .....	28
2.3.2.	Análisis de costo efectividad.....	28
2.3.3.	Elementos metodológicos en la evaluación económica .....	31
2.4.	DECISIONES BASADAS EN EL ANÁLISIS DE COSTO-EFECTIVIDAD .....	34
2.4.1.	Razón/ relación de costo efectividad incremental (RCEI) .....	34
2.4.2.	Umbral de costo efectividad ( $\lambda$ ) .....	36
2.5.	VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS.....	37
2.5.1.	El concepto de valor económico .....	38
2.5.2.	El valor económico total .....	39
2.5.3.	El valor económico de los servicios ecosistémicos.....	41
2.5.4.	Medidas de bienestar y cambios en los precios.....	42
2.5.5.	Métodos de valoración económica .....	47
2.5.6.	Valoración Contingente para establecer el umbral de costo-efectividad .....	48
III.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	61
3.1.	ASPECTOS GENERALES DEL TERRITORIO .....	62
3.1.1.	Ámbito del estudio .....	62
3.1.2.	Características climáticas .....	63

3.1.3.	Características cobertura y suelo.....	63
3.2.	<b>OB. 1: CUANTIFICAR LA EFECTIVIDAD DE LOS ECOSISTEMAS ALTOANDINOS EN LA REGULACIÓN HÍDRICA</b> .....	64
3.2.1.	Obtención de datos para el modelo Hydrobal .....	65
3.2.2.	Aplicación del modelo eco-hidrológico Hydrobal .....	68
3.3.	<b>OB. 2: CUANTIFICAR LA EFECTIVIDAD DE ESTRATEGIAS ALTERNATIVAS DE REGULACIÓN</b> . .....	70
3.3.1.	Los cuerpos de agua de la unidad hidrográfica de Rontoccocha.....	71
3.3.2.	Balance hídrico de los cuerpos de agua y almacenamiento subterráneo.....	71
3.3.3.	Estimación del almacenamiento de agua superficial.....	74
3.4.	<b>OB. 3: ESTIMAR LA RAZÓN COSTO-EFECTIVIDAD INCREMENTAL (RCEI) DE LAS ALTERNATIVAS DE REGULACIÓN</b> .....	75
3.4.1.	Análisis de razón de costo efectividad incremental (RCEI).....	75
3.4.2.	Consideraciones metodológicas de la evaluación económica .....	77
3.5.	<b>OB. 4: ESTIMAR DEL UMBRAL DE COSTO- EFECTIVIDAD (<math>\Lambda</math>) COMO CRITERIO DE DECISIÓN</b> . .....	78
3.5.1.	Determinación del tamaño de muestra para encuestas .....	80
3.5.2.	Diseño de la encuesta .....	80
3.5.3.	Tratamiento de la información .....	83
3.5.4.	Selección de la medida costo-efectiva.....	85
IV.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	86
4.1.	<b>EFFECTIVIDAD DE LOS ECOSISTEMAS ALTOANDINOS EN LA REGULACIÓN HÍDRICA</b> .....	86
4.1.1.	Precipitación.....	86
4.1.2.	Precipitación neta .....	87
4.1.3.	Escorrentía superficial.....	88
4.1.4.	Evapotranspiración real.....	89
4.1.5.	Balance hídrico y estimación del servicio ecosistémico de regulación hídrica.....	89
	FUENTE: Elaboración propia.....	93
4.1.6.	Mecanismos para mejorar la regulación hídrica de los ecosistemas .....	96
4.2.	<b>EFFECTIVIDAD DE ESTRATEGIAS ALTERNATIVAS: PRESA DE CONCRETO Y REPRESAMIENTO RÚSTICO</b> .....	97
4.2.1.	Efectividad en el almacenamiento superficial.....	97
4.2.2.	Efectividad en el almacenamiento subterráneo .....	99
4.2.3.	Dinámica de los cuerpos de agua .....	99
4.2.4.	Contribución del agua subterránea.....	101
4.2.5.	Vínculos de los cuerpos de agua con la cuenca de recarga .....	103
4.3.	<b>EFFECTIVIDAD COMPARADA DE LAS DIVERSAS ALTERNATIVAS DE REGULACIÓN HÍDRICA</b> .....	104

4.3.1.	Interacción y complementariedad entre las estrategias de regulación hídrica.....	106
4.4.	RAZÓN DE COSTO-EFECTIVIDAD INCREMENTAL (RCEI) DE ESTRATEGIAS DE REGULACIÓN .....	107
4.4.1.	Beneficios de las estrategias en la regulación hídrica .....	107
4.4.2.	Costos de la implementación de alternativas de regulación hídrica.....	108
4.4.3.	Evaluación económica de rentabilidad social.....	111
4.5.	UMBRAL DEL COSTO-EFECTIVIDAD, EL VALOR DE LA REGULACIÓN HÍDRICA.....	116
4.5.1.	Evaluación de la disposición a pagar (DAP).....	116
4.5.2.	Características socioeconómicas de los encuestados .....	118
4.5.3.	Resultados econométricos de la DAP .....	119
4.5.4.	Disposición a pagar total y beneficio económico total.....	126
4.5.5.	Regla de decisión en el análisis de costo - efectividad.....	127
4.5.6.	Implicancias para el mecanismo de PSEH de la cuenca .....	130
V.	CONCLUSIONES .....	133
VI.	RECOMENDACIONES .....	136
	Recomendaciones generales.....	136
	Recomendaciones para la política pública .....	136
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	139
VIII.	ANEXOS.....	152

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Precipitación media mensual de la unidad hidrográfica de Rontoccocha (mm).	63
Cuadro 2: Principales características del suelo de las unidades de análisis (coberturas) ...	66
Cuadro 3: Área de los ecosistemas y coberturas de la U.H de Rontoccocha. ....	67
Cuadro 4: Variables climáticas, suelo y vegetación (ecosistemas y biodiversidad) ingresados en el modelo ecohidrológico Hydrobal. ....	68
Cuadro 5: Distribución estimada de la Evaporación. ....	74
Cuadro 6: Escenarios y estrategias de regulación hídrica para el RCEI. ....	76
Cuadro 7: Variables explicativas de la DAP por el servicio de regulación hídrica. ....	84
Cuadro 8: Resultado de las principales variables hidrológicas del modelo Hydrobal .....	87
Cuadro 9: Resultados del modelo Hydrobal para cada uno de los ecosistemas en estudio.	90
Cuadro 10: Regulación de los ecosistemas extrapolado a toda la unidad hidrográfica de Rontoccocha. ....	93
Cuadro 11: Aporte marginal del manejo y recuperación de ecosistemas en la regulación hídrica (regulación y/o efectividad ajustada). ....	94
Cuadro 12: Estrategias de intervención para recuperar servicios de regulación hídrica. ....	96
Cuadro 13: Efectividad en el almacenamiento superficial de microrepresas rústicas y laguna de Rontoccocha. ....	99
Cuadro 14: Resumen del aporte de agua residual subterránea en los cuerpos de agua estudiados. ....	102
Cuadro 15: Comparativo de la efectividad de las estrategias de regulación hídrica implementadas por el hombre para mejorar la disponibilidad de agua. ....	104
Cuadro 16: Efectividad de las estrategias de regulación hídrica en el período de evaluación de 10 años. ....	108
Cuadro 17: Presupuesto de inversión para el manejo de ecosistemas de la unidad hidrográfica de Rontoccocha. ....	109
Cuadro 18: Costo de oportunidad de la U.H de Rontoccocha por actividad productiva...	110
Cuadro 19: Costos de inversión para la construcción de microrepresas rústicas .....	110
Cuadro 20: Costos de inversión para la construcción de la presa de Rontoccocha.....	111
Cuadro 21: Razón de Costo-efectividad incremental, con relación al escenario de referencia o no intervención. ....	112
Cuadro 22: Razón de Costo-efectividad incremental, comparando entre las alternativas de regulación .....	114



Cuadro 23: Variables consideradas en la DAP.....	120
Cuadro 24: Resumen de características de variables por modelo logit. ....	121
Cuadro 25: Análisis de efectos marginales e influencia de las variables .....	122
Cuadro 26: Análisis sobre la influencia de la educación en la DAP. ....	122
Cuadro 27: DAP, considerando el monto ofrecido (bid).....	123
Cuadro 28: DAP con variables significativas (edad, educ e ingresos).....	124
Cuadro 29: DAP ajustado con estimador no paramétrico Turnbull. ....	125
Cuadro 30: Disposición a pagar (DAP) por el servicio ecosistémico de regulación hídrica de la unidad hidrográfica de Rontoccocha. ....	125
Cuadro 31: DAP de los usuarios de agua potable, abastecidos por la unidad hidrográfica de Rontoccocha. ....	127
Cuadro 32: Evaluación de las estrategias respecto al umbral ( $\lambda$ ). ....	128

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Influencia de la vegetación en el balance hídrico (Touhami 2014). .....	19
Figura 2: Plano de costo efectividad incremental (RCEI) para evaluar acciones de desarrollo. ....	36
Figura 3: Tipos de valor, dentro del enfoque de valor económico total (Brander <i>et al.</i> 2010). ....	40
Figura 4. Esquema del proceso de investigación.....	61
Figura 5: Diagrama de flujo de la estructura de Hydrobal. ....	65
Figura 6: Ámbito de estudio, unidad hidrográfica Rontoccocha. ....	67
Figura 7: Zonificación de la ciudad de Abancay para aplicación de encuestas de valoración contingente. ....	79
Figura 8: Panel fotográfico para la encuesta de valoración contingente en la unidad hidrográfica de Rontoccocha. ....	83
Figura 9: Dinámica de la precipitación durante el año hidrológico 2015-2016 en la Unidad Hidrográfica de Rontoccocha. ....	86
Figura 10: Comportamiento de las principales variables hidrológicas con el modelo Hydrobal. ....	88
Figura 11: Proceso de recarga hídrica (servicio ecosistémico de regulación) en los ecosistemas en un año hidrológico. ....	91
Figura 12: Nivel freático en ecosistemas de bofedal.....	92
Figura 13: Comparativo de los procesos de recarga hídrica acumulada en los tres ecosistemas estudiados. ....	92
Figura 14: Modelamiento de la capacidad de almacenamiento (efectividad) de la presa Rontoccocha, modelado para un período de 10 años. ....	98
Figura 15: Balance hídrico de la microrepresa Solimaniq Bajo.....	100
Figura 16: Balance hídrico de la microrepresa Jayllahuasi Alto.....	100
Figura 17: Balance hídrico de la laguna Rontoccocha. ....	101
Figura 18: Contribución del agua subterránea a los cuerpos de agua evaluados: microrepresa rústica y laguna de Rontoccocha. ....	102
Figura 19: RCEI comparando la medida referencia (no intervención). ....	113
Figura 20: RCEI comparado entre todas las alternativas de regulación: A frente a 0 (referencia), B frente a A y C frente a B1 y B2.....	115

Figura 21: Disponibilidad a pagar por la regulación hídrica de la población de Abancay. .....	117
Figura 22: Motivos de rechazo al mercado o a la DAP.....	117
Figura 23: Distribución porcentual de entrevistados según género.....	118
Figura 24: Nivel educativo de los encuestados. ....	119
Figura 25: Costo efectividad por unidad de volumen de cada alternativa de regulación hídrica, respecto al umbral de CE.....	129
Figura 26: Diseño conceptual de un proceso de PSE hídrico y el establecimiento de umbral de costo-efectividad en la evaluación económica de un proyecto.....	131

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Resultados del modelo Hydrobal reajustado, sobre la recarga hídrica en bofedales .....	152
Anexo 2: Resultados del modelo Hydrobal reajustado, sobre la recarga hídrica en pajonales .....	159
Anexo 3: Resultados del modelo Hydrobal reajustado, sobre la recarga hídrica en bosque de Polylepis .....	166
Anexo 4: Modelamiento de la efectividad en el almacenamiento de agua en la presa Rontoccocha .....	173
Anexo 5: Modelamiento del comportamiento de los cuerpos de agua superficial y aporte subterráneo residual .....	176
Anexo 6: Costos para la implementación del proyecto “Recuperación del servicio ecosistémico de regulación hídrica de la unidad hidrológica Rontoccocha - Abancay - Apurímac” .....	178
Anexo 7: Costos para la Construcción de Microrepresa Rústica Tipo “Solimaniq Bajo” .....	179
Anexo 8: Costos para la construcción de presa Rontoccocha .....	181
Anexo 9: Ficha de encuesta de valoración contingente.....	182
Anexo 10: Estimaciones de DAP mediante el modelo Logit, para acceder a beneficios del servicio de regulación hídrica de la unidad hidrográfica de Rontoccocha .....	186
Anexo 11: Cálculo de la disposición a Pagar .....	193

## RESUMEN

Uno de los servicios ecosistémicos más importantes que proveen los ecosistemas altoandinos o de montaña es la regulación hídrica; sin embargo, estos se encuentran degradados y su manejo enfrenta barreras de disponibilidad de recursos económicos. Por ello, es necesario optimizar los recursos escasos mediante medidas que generen mayor beneficio en términos de provisión de agua. En el presente estudio tiene como objetivo evaluar el costo-efectividad del manejo de ecosistemas altoandinos en la regulación hídrica de la unidad hidrográfica de Rontoccocha y luego comparar con otras alternativas de regulación: construcción de microrepresas rústicas, presa de concreto y pago del costo de oportunidad de las familias que habitan la cuenca de interés. Para ello, primero se determinó la efectividad de las cuatro medidas de regulación; luego, cada medida se evaluó con el estimador Razón de Costo-efectividad Incremental y; finalmente, para la elección de la opción rentable se estableció el Umbral de Costo-efectividad. Este último aspecto se determinó mediante la Disposición a Pagar de la población de Abancay que aporta al fondo de Pago por Servicios Ecosistémicos hídricos en la microcuenca Mariño. El umbral de costo-efectividad se estimó en S/ 0.20/ m<sup>3</sup> de agua, mientras que la Razón de costo-efectividad incremental de las estrategias evaluadas fueron: i) restauración de ecosistemas mediante un proyecto de inversión pública (S/ 0.35/ m<sup>3</sup>), ii) construcción de microrepresas rústicas (S/1.89/m<sup>3</sup>), iii) construcción de una presa de concreto (S/ 0.71/m<sup>3</sup>) y iv) pago del costo de oportunidad (S/ 0,04/m<sup>3</sup>). Por lo anterior, considerando el umbral, únicamente la cuarta alternativa es considerada rentable dado que representa lo que la población Abancay puede financiar. Los resultados ofrecen criterios relevantes para poder evaluar económicamente proyectos ambientales en un contexto de restricción presupuestal y esquemas de pago por servicios ecosistémicos hídricos.

**Palabras clave:** Regulación hídrica, ecosistemas, razón de costo-efectividad incremental, umbral de costo-efectividad, disposición a pagar.

## ABSTRACT

One of the most important ecosystem services provided by high Andean ecosystems is water regulation; however, these are degraded and their management faces barriers to the availability of economic resources. Therefore, it is necessary to optimize scarce resources through measures that generate greater benefits in terms of water provision. The objective of this study is to evaluate the cost-effectiveness of high Andean ecosystems management in water regulation of the Rontoccocha basin, and then to compare it with other regulation alternatives: construction of rustic micro-dams, concrete dam and payment of the opportunity cost of the families that inhabit the basin of interest. To do this, the effectiveness of the four regulatory measures was first determined; then, each measure was evaluated with the Incremental Cost-effectiveness Ratio estimator and; finally, for the choice of the profitable option, the Cost-effectiveness Threshold was established. This last aspect was determined by the Willingness to Pay of the population of Abancay that contributes to the Payment for Water Ecosystem Services fund in the Mariño basin. The cost-effectiveness threshold was estimated at S / 0.20 / m<sup>3</sup> of water, while the incremental cost-effectiveness ratio of the evaluated strategies were: i) restoration of ecosystems through a public investment project (S / 0.35 / m<sup>3</sup>), ii) construction of rustic micro-dams (S / 1.89 / m<sup>3</sup>), iii) construction of a concrete dam (S / 0.71 / m<sup>3</sup>) and iv) payment of the opportunity cost (S / 0.04 / m<sup>3</sup>). Therefore, considering the threshold, only the fourth alternative is considered profitable since it represents what the Abancay population can finance. The results offer relevant criteria to be able to economically evaluate environmental projects in a context of budgetary restriction and payment schemes for water ecosystem services.

**Keywords:** Water regulation, ecosystems, incremental cost-effectiveness ratio, cost-effectiveness threshold, willingness to pay.

## I. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de altoandinos como los bofedales, los pajonales de puna y bosques naturales, suministran diversos servicios ecosistémicos; entre los más importantes, el servicio de regulación hídrica. Mountain Partnership (2018) considera a estos ecosistemas como las torres de agua del mundo, debido a que provee, a más de la mitad de la humanidad, el agua para beber, irrigar y para la producción industrial, alimentaria y energética. Los servicios ecosistémicos que se generan en estas regiones y otras dependen, en gran medida, de las condiciones de la diversidad biológica y de las funciones que éstas puedan desempeñar (Conti *et al.* 2018, Constanza *et al.* 1997).

Sin embargo, en estas regiones la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos son vulnerables a dos aspectos centrales: las actividades humanas que se desarrollan sobre estos y los impactos del cambio climático (TEEB 2010, Mountain Partnership 2018). La presión humana sobre los ecosistemas de montaña se manifiesta mediante el incremento del sobrepastoreo, la ampliación de la frontera agrícola y los incendios de bosques y praderas que afectan su estabilidad y los debilitan. Sobre estos ecosistemas vulnerables, se suman los fenómenos del cambio climático, que impactan con mayor facilidad y aceleran los procesos de erosión, desertificación y pérdida de servicios ecosistémicos (Buytaert *et al.* 2006, Cervantes y Bustinza 2014).

Dada la relevancia de estos ecosistemas, su gestión y uso sostenible son importantes para garantizar la continua provisión de sus bienes y servicios ecosistémicos como el agua. Sin embargo, ante los crecientes problemas de disponibilidad del recurso hídrico, las prioridades de inversión normalmente se centran en la construcción de obras de infraestructura física. Por ello, la pertinencia de las inversiones en el manejo y recuperación de ecosistemas (infraestructura verde) deben demostrar dos aspectos centrales: primero, la eficiencia técnica en términos de regulación hídrica o su capacidad de producción de agua y; segundo, la eficiencia económica para maximizar los recursos disponibles.

Desde la eficiencia técnica, en términos de regulación hídrica, las soluciones casi siempre han sugerido la construcción de presas, reservorios u obras de trasvase que, por lo general, conllevan grandes montos de inversión. Por otro lado, han comenzado a emerger alternativas que provienen del enfoque basado en la infraestructura natural o verde (Tara y Watson 2016, Lacob *et al.* 2014, Ozment *et al.* 2015) como una opción alterna y/o complementaria al enfoque tradicional de infraestructura la física (León 2016). De esta manera, las inversiones en infraestructura natural, también podrían contribuir en la solución de los problemas de disponibilidad de agua, al mismo tiempo de que permitirían optimizar los recursos debido a su bajo costo (Oliver *et al.* 2012).

Desde el enfoque económico, lamentablemente no siempre se tiene la disponibilidad de recursos ilimitados que permita financiar todas las opciones tecnológicas que se demanda (Espinoza 2017), por lo que el tomador de decisión se ve obligado a priorizar entre un abanico de opciones según criterios técnicos y económicos. Esta consideración es particularmente importante en un escenario en el que se implementa los mecanismos de Pago por Servicios Ecosistémicos<sup>1</sup> hídricos (PSEH), donde la población local financia las acciones que aseguren la provisión de agua en la cuenca. Lo anterior, visibiliza la necesidad de priorizar medidas que sean más eficientes en términos técnicos y económicamente las que incurran en menor coste (Espinoza 2012).

En ese contexto, la evaluación económica garantiza la asignación óptima de los recursos disponibles y fundamenta la necesidad de usarlos de mejor forma para el logro de los objetivos propuestos (Espinoza 2017, Zarate 2010) y con ello se permite adoptar decisiones racionales ante diferentes alternativas (Sabalza 2006). Los dos métodos más comunes para la evaluación económica de un proyecto son el Análisis Costo-Beneficio (ACB) y el Análisis Costo-Efectividad (ACE). Por lo general, el ACB se utiliza cuando los beneficios sociales son fáciles de medir; sin embargo, cuando tal condición no se da o su aplicación resulta controversial, se utiliza el ACE (Azqueta 2007, MEF 2018).

El ACE permite la comparación entre políticas, programas y proyectos con el objetivo de elegir la más adecuada. En dicha evaluación económica, una alternativa será rentable en la medida que su ACE indique mayor impacto a menor costo frente a otros. Pero comúnmente este criterio se aplica cuando el agente económico dueño del proyecto es el conjunto de la

---

<sup>1</sup> En Perú, esta estrategia se denomina “Mecanismo de Retribución por Servicio Ecosistémico - MRSE (Villajos, 2016).



sociedad de todo un país (MEF 2019). Sin embargo, en un escenario de PSEH, el criterio anterior no se cumple debido a que el dueño del proyecto es la población que aporta al fondo PSEH; por lo tanto, antes de invertir, conviene saber si dicha población estaría dispuesta a pagar la opción elegida; es decir, conocer el umbral de costo-efectividad ( $\lambda$ ). En este enfoque, una estrategia será considerada como costo-efectiva, solo si su RCEI es menor que el umbral ( $\lambda$ ) (Espinoza 2017, Soares *et al.* 2018, Zarate 2010).

Así, el reto de la gestión de la oferta de los recursos hídricos tiene dos dimensiones. Por un lado, la búsqueda de alternativas eficientes que aseguren la provisión de agua, sobre todo en las cuencas donde la demanda es creciente y, por otro, la necesidad de optimizar los recursos disponibles para financiar dichas alternativas de afianzamiento hídrico. Por lo tanto, solucionar tal problema, pasa por usar los recursos escasos en acciones de alto impacto y bajo costo.

En la microcuenca Mariño, ámbito de la presente investigación, el problema antes descrito se replica como en la mayoría de cuencas de rápido crecimiento poblacional. En esta cuenca se encuentra la ciudad Abancay, capital del departamento de Apurímac, que tiene la tercera mayor tasa de crecimiento urbano en el Perú a nivel de las capitales de departamento (INEI 2017). Tal característica, ha hecho que en los últimos años los problemas relacionados con el suministro de agua se incrementen, pero también se traten de buscar soluciones con el financiamiento de los recursos públicos y con la creación de un fondo PSEH.

En esta cuenca, las alternativas para el afianzamiento hídrico pasan por mejorar la regulación hidrológica en la cabecera de la cuenca, en específico en la unidad hidrográfica de Rontoccocha. Las acciones que se implementan en este ámbito se pueden clasificar en tres: i) restauración de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos mediante proyectos de inversión pública de infraestructura natural (proyectos verdes); ii) construcción de microrepresas rústicas, basados en conocimiento tradicional y; iii) construcción de presa de concreto armado.

Sin embargo, la restricción presupuestal es una barrera que pone los límites de lo que es posible financiar y de aquello que no. Por ello, esta investigación procura encontrar la alternativa con mejor costo-efectividad. Para ello, se profundiza en el entendimiento del aporte de los ecosistemas en la regulación hídrica y luego se compara, en términos económicos e hídricos, con otras alternativas más convencionales de infraestructura física. Así, la investigación procura encontrar las alternativas más costo-efectivas, respondiendo a

las siguientes preguntas que se enfrentan los tomadores de decisión vinculados a la mejora de la provisión de agua:

- ¿Cuál es el aporte y la efectividad de la biodiversidad y los ecosistemas alto andinos en la regulación hídrica de la unidad hidrográfica Rontoccocha, cabecera de la cuenca del río Mariño?
- ¿Cuál es el aporte y la efectividad de las estrategias alternativas de presa de concreto y represamiento rústico en la regulación hídrica de la unidad hidrográfica Rontoccocha?
- ¿Cuál es la relación costo – efectividad en la regulación hídrica de la unidad hidrográfica de Rontoccocha del manejo de los ecosistemas altoandinos y de las estrategias alternativas?
- En un contexto de restricción presupuestaria impuesta por los mecanismos de Pago por Servicios Ecosistémicos Hídricos (PSEH) ¿cuál es el umbral de costo-efectividad que maximiza los beneficios de los recursos disponibles?

De esta manera, la investigación procura, en primer lugar, cuantificar los servicios de regulación hídrica (en términos biofísicos) en una cuenca específica y; en segundo lugar, contribuir con el uso más adecuado de los recursos económicos que se dispone desde el Estado y en específico con lo que se recauda en el marco de los mecanismos de PSE hídrico; es decir, medidas que aporten mayor valor a la sociedad a partir del análisis de costo-efectividad. Por ello, los objetivos planteados son los siguientes:

**Objetivo General:**

Estimar el costo y la efectividad del manejo de ecosistemas altoandinos y estrategias alternativas en la regulación hídrica de la unidad hidrográfica de Rontoccocha, con la finalidad de contribuir a la mejora de la provisión de agua en un contexto de restricción presupuestal.

**Objetivos específicos:**

1. Cuantificar la efectividad de los ecosistemas altoandinos de bofedal, pajonal de puna húmeda y bosque relicto altoandino (bosque de *Polylepis*), como aporte en la regulación hídrica de unidad hidrográfica de Rontoccocha.

2. Cuantificar la efectividad de las estrategias alternativas, en la regulación hídrica de la unidad hidrográfica de Rontoccocha, con la finalidad de conocer el aporte individual y conjunto en la provisión de agua.
3. Estimar la razón de costo-efectividad incremental (RCEI) de cada alternativa de regulación hídrica de la unidad hidrográfica de Rontoccocha, a fin de conocer la opción más rentable a implementar para mejorar la disponibilidad hídrica en la cuenca.
4. Estimar el umbral de costo-efectividad como criterio de decisión para maximizar el beneficio de recursos disponibles en un esquema de PSEH.

Con este análisis, además de la cuantificación biofísica y económica de costos y beneficios, se da un paso adicional al estimar lo que la población está dispuesta a pagar o financiar para acceder a mejoras de su bienestar en términos hídricos en un contexto de PSEH, Eso es lo que se determina con el umbral de costo-efectividad.

De esa manera se busca contribuir a la solución de los problemas de disponibilidad de agua que se genera a causa de la degradación de los servicios ecosistémicos: desde el enfoque biofísico, conociendo la efectividad de los ecosistemas y las diversas alternativas de regulación hídrica y; desde el enfoque económico, estableciendo la alternativa que maximiza el bienestar de la población local.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

Ante los problemas crecientes de disponibilidad de agua, la investigación aborda dos temas centrales: “eficiencia técnica” en términos de regulación hídrica y la “eficiencia económica” en términos de coste-efectividad. Por ello, en la revisión de literatura se profundiza en la comprensión de la provisión del servicio ecosistémicos de regulación hídrica y su evaluación económica, considerando que toda acción implica un costo para la sociedad; es decir, la asignación de valor por el acceso a beneficios adicionales.

### **2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **2.1.1. Estudios referidos a servicios ecosistémicos de regulación hídrica en ecosistemas andinos**

A pesar de que está reconocido la importancia de las montañas y los ecosistemas andinos en su papel de proveedores de servicios ecosistémicos hidrológicos (suministro de agua, regulación hidrológica, mitigación de la erosión), la brecha de conocimiento que profundice su comprensión y funcionamiento aún es escasa y de los estudios que existen, la mayor parte se han concentrado en los ecosistemas de páramo de Colombia y Ecuador fundamentalmente. De hecho, Quintero (2010) señala que las investigaciones hidrológicas se han enfocado en páramos, algunos en bosques andinos y ninguno ha abordado la situación en ecosistemas de jalca, puna y humedales altoandinos; con excepción de algunos estudios descriptivos. A continuación, un resumen de los principales estudios que busca comprender la relación entre cobertura vegetal (ecosistemas y biodiversidad) y servicios hidrológicos desarrollados en la región andina.

Fonkén (2014), describe los bofedales de la puna peruana y señala que son fuentes importantes de agua y forraje para el ganado domesticado, así como un centro de biodiversidad, pues no solo contiene una importante variedad de especies vegetales, sino que también alberga mamíferos, aves y anfibios silvestres. A pesar de su importancia, están sometidos a perturbaciones humanas.

En línea con lo anterior, Salvador *et al.* (2014) analizan las condiciones de las turberas y/o bofedales en la puna peruana, en términos de su vegetación, características físicas y químicas y estado de perturbación. Los resultados indican que el grosor de la turba en los bofedales puede variar desde unos pocos centímetros (0.3m), hasta más de los 2.5m a turba; la materia orgánica y el grado de humificación son buenos indicadores para identificar los bofedales. En general, estos ecosistemas están dominados por una mezcla de plantas arosetadas que forman colchones de vegetación. Así mismo, estos ecosistemas están sometidos a perturbaciones; sobre todo a causa del sobrepastoreo de alpaca (71%), la extracción de turba (46%) y las carreteras (58%). El estudio también muestra que las perturbaciones más severas se dan en los sitios mineros, donde las turberas son especialmente vulnerables porque no están bajo protección legal. Por tal motivo, el autor hace un llamado a conducir actividades de manera sostenible.

Flores-López (2016) modela la respuesta hidrológica de los ecosistemas de páramos del norte de Perú (Piura) a los cambios ambientales: uso del suelo y cambio climático. Usando la herramienta Sistema de Evaluación y Planificación del Agua (WEAP), se simuló los impactos del cambio de temperatura, precipitación y uso de la tierra, en los caudales de agua de la cuenca Quiroz-Chipillico. El modelamiento revela que, si bien los cambios de temperatura y precipitación afectan la producción de agua del páramo, los cambios en el uso de la tierra será el principal impulsor de la respuesta hidrológicas en el páramo y los cambios en la cuenca aguas abajo.

Buytaert *et al.* (2006) estudiaron el impacto humano sobre la hidrología de los páramos andinos. Dichos ecosistemas, en los años recientes, se han visto perturbados por el pastoreo intensivo de ganado, el desarrollo de cultivos, las plantaciones de pino y el cambio del régimen climático, alteran severamente el régimen hidrológico. A pesar de que los investigadores encuentran la relación de las perturbaciones humanas y su impacto en la disponibilidad de agua para el consumo local de agua, se evidencia la carencia de información y datos para su comprensión. En ese sentido, se requiere mayores esfuerzos científicos para entender la hidrología de estos ecosistemas andinos, y su importancia socioeconómica. Una de las estrategias sugeridas es intensificar el monitoreo de las cuencas a pequeña escala que permita una mejor evaluación de la vegetación sobre la descarga de agua en la cuenca. Una preocupación sobre estos ecosistemas es la creciente demanda para fines urbanos, agrícolas y de ocio, por lo que se debe cuantificar sus impactos antes de que se produzcan daños irreversibles.

Crespo *et al.* (2014) estudiaron los impactos del cambio del uso de la tierra sobre la hidrología de los páramos húmedos andinos en el sur de Ecuador a partir de la comparación de cuencas pares. En su análisis revelan que el pastoreo extensivo parece no perturbar la hidrología de las cuencas debido a que carga animal es baja; a pesar de ello, en una cuenca cuyo 79% de su cobertura está compuesto por vegetación natural, la producción de agua es mayor a la de las cuencas intervenidas en 8 a 24%. En tanto el impacto de los cultivos se refleja en la reducción de la capacidad de regulación de la cuenca, con lo cual se generan grandes incrementos en los caudales pico y una reducción de los caudales base en temporada de lluvia y seca respectivamente. Adicionalmente, se observó que el rendimiento hídrico disminuye probablemente por el aumento de la evapotranspiración. Finalmente, debido a la alta evapotranspiración de las plantaciones de pino, se reduce la producción de agua en las cuencas.

Por lo anterior, el estudio aporta pruebas de que el cambio de uso de la tierra, especialmente la forestación con plantaciones de pino y los cultivos, dan como resultado una fuerte disminución en la producción de agua y en la capacidad de regulación hídrica de las cuencas andinas.

Ochoa-Tocachi *et al.* (2016) evaluaron el impacto del uso del suelo sobre la hidrológica de las cuencas Andino tropicales. Consideran que los cambios en el uso y la cobertura vegetal son los principales impulsores de la alteración hidrológica; sin embargo, también menciona que cuantificar sus impactos está lleno de dificultades, fundamentalmente por la extrema diversidad en las condiciones meteorológicas y la complejidad de los Andes. Los resultados generados a partir del monitoreo participativo de 25 cuencas hidrográficas (páramos, jalca y puna), relaciona las respuestas hidrológicas con las principales intervenciones humanas (cultivos, forestación y pastoreo). El análisis de datos generados en un período temporal de uno a cinco años, ofrecen los siguientes resultados:

- Un espectro extraordinariamente amplio de los procesos hidrológicos de las cuencas andinas. En los Andes tropicales entre el norte de Perú y Ecuador, los caudales medios y caudales bases específicos extremadamente altos, mientras que en las cuencas de punas secas del sur de Perú y Bolivia, se caracterizan por ser más estacionales.
- Los impactos del uso de la tierra son igualmente diversos y sus magnitudes están en función de las propiedades de la cuenca, la vegetación original y exótica y el tipo de

manejo que se le da. El cultivo y forestación claramente afectan todo el régimen de descargas, particularmente los flujos base. Los impactos del pastoreo son más variables, pero tienen el mayor efecto en la regulación hidrológica de la cuenca. En general, las intervenciones antropogénicas dan como resultado una mayor variabilidad del flujo hidrológico y la significativa reducción de la capacidad de regulación de la cuenca, independientemente de las propiedades hidrológicas del bioma original.

- Un aspecto a resaltar es la influencia del pastoreo sobre el régimen hidrológico de las cuencas. En ecosistemas de páramo y puna con poca densidad de ganado, las diferencias entre la cuenca perturbada (presencia de ganado) y la cuenca de control no son muy perceptibles, en promedio existe una diferencia de 28% de flujos bajos. Sin embargo, dado que la mayoría de cuencas están sobrepastoreadas, durante los eventos de lluvia, los flujos de agua son considerablemente inestables, con rápidos crecimientos después de un evento de lluvia que luego caen rápidamente en pocos días. Las observaciones de campo sugieren que el agua de los eventos de lluvia no se infiltra fácilmente en el suelo y, por el contrario, se evapora de la superficie antes de llegar al río o cuerpo de agua. El rendimiento de agua en los ecosistemas de puna sobrepastoreadas es considerablemente bajo, con 173 mm/año en el ecosistema de Puna de Piura y 168 mm/año y 138 mm/año en los ecosistemas de puna de Huamantanga.
- Finalmente, es estudio evidencia la extraordinaria capacidad de regulación de las cuencas naturales, reduciendo y retrasando los flujos pico máximos cuando ocurre la lluvia y manteniendo grandes flujos de base en ausencia de precipitaciones. En contraste, las cuencas de pastoreo excesivo reaccionan rápidamente a los eventos de lluvia empujando el flujo a picos altos y cayendo en picado nuevamente a flujos base casi completamente secos. Del mismo modo, las plantaciones exóticas (como el pino) tienen efectos negativos en la retención de agua del suelo, el rendimiento hídrico y la respuesta hidrológica. Esta diferencia entre un bosque exótico y el pastizal natural andino se atribuye a la mayor evapotranspiración de los árboles y la intercepción en el dosel.

En línea con lo anterior y más recientemente, Bonnesoeur *et al.* (2019) realizan una revisión sistemática de los impactos de la forestación y reforestación sobre los servicios hidrológicos en los Andes. Después del metanálisis de de 155 estudios, los resultados indican:

- El rendimiento hídrico en las cuencas destinadas a uso forestal (con especies exóticas y en menor grado con nativas) es de 20 y 45% menor que el rendimiento en las cuencas de uso no forestal.
- En zonas altoandinas, las consecuencias de las plantaciones de árboles exóticos sobre los pastizales altoandinos (páramo y puna) generaron efectos perjudiciales en términos hídricos. De por sí, los pastizales poseen una excelente capacidad para la regulación hidrológica y la mitigación de la erosión. Por ejemplo, el rendimiento hídrico en las praderas naturales puede ser superior hasta un 40% frente a las plantaciones de árboles; dicha característica se vincula con la menor tasa de evaporación de los pastizales en comparación con las especies forestales por unidad de área.
- Sin embargo, las plantaciones de Pino y Eucalipto podrían ser más eficientes que los bosques nativos en lo que referente a la cantidad de agua consumida por tonelada de madera producida.
- La interceptación de la lluvia por las plantaciones y bosques (interceptadas por hojas y ramas) representa el ~25 % de la lluvia anual. En las regiones secas de los Andes, tal interceptación suele ser mayor y con ello probablemente empeore la escasez de agua en adelante.
- A pesar de que área de bosques nativos nublados de montaña es pequeño (menos del 10%), éstas tienen una función especial en la producción de agua. La inmersión frecuente de las nubes reduce la tasa de transpiración a la vez que sus hojas y las epífitas capturan las gotas pequeñas de agua de neblina. Este fenómeno puede aportar hasta el 15% de agua.
- En suelos degradados, la reforestación ha generado impactos positivos. Por ejemplo, contribuye a reducir la erosión hídrica y el riesgo de inundaciones moderadas; así mismo, aumenta la de infiltración del agua en el suelo.
- Muchos usuarios podrían considerar aceptable la reducción del suministro de agua total producto de las plantaciones forestales si esto genera otros beneficios; por ejemplo, una mayor disponibilidad de agua durante la temporada de sequía o una reducción en la turbidez del agua.



### **2.1.2. Estudios de evaluaciones de costo-efectividad en la gestión de ecosistemas**

El análisis de costo-efectividad (ACE) es uno de los métodos de evaluación económica frecuentemente usado en la planificación, gestión y toma de decisiones de políticas, programas y acciones. Uno de los campos donde es ampliamente utilizado es en la economía de la salud. Resulta que la aplicación de otros métodos, como el análisis costo-beneficio en la salud, es controversial debido a que se cuestiona la monetarización del beneficio y/o la vida; por lo tanto, se prefiere el ACE cuyos beneficios no se miden en dinero, sino en unidades de efecto y/o impacto. Así mismo, el ACE se recomienda cuando la transformación de los beneficios a unidades monetarias resulta compleja y difícil de particularizar, sobre todo cuando se está evaluando diversas alternativas, donde sus efectos se sobreponen.

En el Perú, las políticas de inversión pública establecidas por el MEF (2019), señala que la metodología de evaluación mediante el ACE, se aplica cuando valorización de beneficios sociales es compleja o controversial; y no cuando al utilizar la metodología de costo-beneficio, el proyecto no resulta rentable. Sobre esta base, la mayor parte de los proyectos de inversión pública se evalúan y se aprueban para su implementación. En el campo ambiental, las experiencias de aplicación del ACE se han realizado de la forma tradicional: comparar el costo y efecto de dos o más alternativas para elegir la mejor opción. Pero en dicho análisis no se ha avanzado en considerar la opinión de la sociedad; es decir, si estaría dispuesto a financiar el costo de la alternativa previamente evaluada.

A pesar de que en el campo ambiental no es común usar el ACE para evaluar las políticas ambientales o el manejo de ecosistemas, algunos casos permiten resaltar su relevancia. Boerema *et al.* (2018) utilizaron el análisis de costo-efectividad, comparando diversas estrategias para el manejo del estuario de Scheldt, ubicado entre Bélgica y los Países Bajos. Después de calcular el costo promedio de cada estrategia, el siguiente paso fue seleccionar un conjunto óptimo de medidas para alcanzar el objetivo de gestión. En este análisis, se utiliza dos métodos de evaluación de costo-efectividad: Costo Efectividad Medio o promedio (CEM) y la Razón de Costo efectividad Incremental (RCEI). A partir de la comparación, se concluye que ambos métodos son complementarios: el CEM brinda detalles de cada estrategia de inversión (escenarios) y el RCEI, ofrece una mejor visión del resultado total.

Raes *et al.* (2014) aplicaron el ACE en la provisión de servicios ecosistémicos y la generación de ingresos en comunidades rurales de alta biodiversidad al sur de Ecuador. El estudio compara la rentabilidad de tres mecanismos para financiar la conservación: a)

etiqueta de café orgánico; b) un esquema de pago de las empresas privadas para la conservación y; c) un fondo regional de agua. Después de un análisis de los impactos ambientales, socioeconómicos y los costos de cada programa, se analizan la que genera mayor adicionalidad en la provisión de servicios ecosistémicos, la que genera mayores ingresos y la opción más rentable.

Jiangyi *et al.* (2019) aplican el ACE para evaluar la rentabilidad de tres diferentes esquemas de pago por servicios ecosistémicos (PSE) en Wuhan, China: los PSE generales, los pagos colectivos por servicios ecosistémicos (PCSE) y la transición de los PSA a las compras de tierras o servidumbres (CTS). De las tres opciones, la estrategia de compra de tierras condujo a una mayor efectividad ecológica, a un menor costo y mejor costo-efectividad (rentabilidad). En esta misma línea, Curran *et al.* (2016) también utilizaron el ACE para evaluar dos opciones de conservación de ecosistemas: Pago por Servicios Ecosistémicos (PSE) y compra de tierras (CTS) en Kenia. En un horizonte de evaluación de 30 años, considerando el mercado de tierras, las fluctuaciones del valor de la propiedad, producción agrícola y el cambio climático; el CTS resultó ser la mejor opción para conservar los ecosistemas a menor costo hasta en 48%.

Así, se puede encontrar evidencias del uso de este método de evaluación económica en diferentes acciones de gestión ambiental. Boerema *et al.* (2018) señalan que algunas de las aplicaciones son, por ejemplo: para seleccionar diferentes opciones de manejo forestal, la gestión de la calidad del agua, encontrar soluciones para reducir la contaminación y eutrofización de cuerpos de agua, lograr la conservación de la biodiversidad, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, mejora del suministro de agua y prevención de inundaciones.

### **2.1.3. Estudios de valoración contingente y disposición a pagar en zonas andinas**

La Disposición a Pagar (DAP), representa la valoración del consumidor por obtener un bien o servicio. En bienes ambientales que no tienen precio de mercado, la DAP se estima mediante métodos de valoración; es decir, cuantificando en términos monetarios los cambios positivos y/o negativos del ambiente y sus repercusiones en el bienestar humano. En el campo ambiental, existen abundantes estudios de valoración económica cuyos esfuerzos se han realizado, entre otros, para fijar el monto referencial de recaudación por los mecanismos de pago por servicios ecosistémicos. Sin embargo, la valoración y/o DAP no se ha utilizado para establecer umbrales de costo efectividad. Es decir, si la sociedad está dispuesta a

financiar una estrategia y/o tecnología de gestión ambiental que los técnicos la proponen como la más recomendable. A continuación, algunos casos de valoración económica de servicios ecosistémicos relacionados al agua en la zona andina.

Alarcón *et al.* (2014) desarrollaron un estudio de valoración económica de ecosistemas de bofedales en la zona andina del norte de Perú (Huaráz), con el objetivo de diseñar e implementar un proyecto de conservación de bofedales a partir de la DAP de la población de Huaráz. Para tal fin se aplicaron encuestas de valoración contingente, con un vector de pagos compuesto por siete tarifas (bid) comprendidas entre S/. 0.25 a S/. 18,00; así mismo, se aplicó el modelo probabilístico Logit y la propuesta teoría de Bishop-Heberlein en cuanto al diseño de la función de utilidad indirecta de los encuestados.

Los resultados de este estudio, muestran datos interesantes como: las variables socioeconómicas incluidas en el modelo (ingreso, edad, años de educación, entre otros) no resultaron significativas; el porcentaje de rechazo de la población a la propuesta fue bastante alta, del orden del 68%; el mejor indicador de la DAP fue la mediana, estimada en US\$ 2.05 por familia al mes, lo cual implica que en un año se podría recaudar US\$ 312,266.00. A pesar de que el monto estimado resulta interesante, el estudio precisa que este solo representa el punto inicial de un proceso que, para tener éxito, debe complementarse con: i) acciones de sensibilización para la población involucrada sobre la importancia de la conservación; ii) identificar las implicancias del proyecto de conservación y; iii) monitoreo y seguimiento del proyecto.

Por otro lado, Carbajal y Lucich (2018), realizaron el estudio de valoración económica del servicio de abastecimiento de agua potable en el Cusco, con el objetivo de conocer la valoración que los usuarios le otorgan al servicio de abastecimiento de agua potable con relación a su disponibilidad a pagar por la conservación de sus fuentes de agua, lo cual se implementaría por medio de los Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos (MRSE). Para tal objetivo, se utilizó experimentos de elección. Los resultados indican que los usuarios domésticos de la ciudad del Cusco, estarían dispuestos a pagar un monto adicional de S/ 2.15 mensuales en sus recibos de agua potable por conservar la laguna de Piuray. Así mismo, S/ 1.43 adicionales por la búsqueda de otras fuentes de agua y S/ 1.01 por la realización de campañas de ahorro de agua. En un año, la recaudación de fondos para la conservación de los ecosistemas que proveen agua (laguna de Piuray) podría llegar a los S/ 2 000 000.00. Así mismo, estos cálculos permiten realizar ajustes en la implementación

del fondo MRSE, dado que actualmente los usuarios de agua de la ciudad del Cusco pagan S/ 0.92 en promedio, un monto relativamente bastante inferior a lo la DAP.

En línea con lo anterior, Lucich y Gonzáles (2015), realizaron la valoración económica de la calidad y confiabilidad de los servicios de agua potable en Tarapoto, mediante experimentos de elección. El objetivo fue encontrar la mejor opción para solucionar los problemas de la calidad y disponibilidad de agua para la población usuaria de la empresa EMAPA San Martín S.A. Para tal efecto, se plantearon dos alternativas: i) captación de agua de otras fuentes lejanas y; ii) conservar las fuentes actuales de agua mediante acciones de protección y recuperación de la cobertura vegetal. En el proceso, se aplicaron 333 encuestas de experimentos de elección y se usó el recibo de agua mensual como vehículo de pago. Los resultados muestran que la DAP de los usuarios es de S/ 7.00 mensuales por la mejora de la calidad del servicio de abastecimiento de agua potable y la conservación de la fuente de agua por medio de procesos de reforestación. Así mismo, los atributos que más valoraron los usuarios fueron: calidad del agua (turbidez) con 41%, la conservación de la fuente con 36% y la mejora de las horas de servicio con 15%.

La desagregación del valor del servicio de abastecimiento de agua en los atributos antes señalados, permite también estimar la DAP por las opciones que tiene la empresa para asegurar la provisión de agua: proteger y reforestar la fuente actual de abastecimiento o cambiar a una fuente nueva. Así, la mejor opción (la que mejora el bienestar de los usuarios) es la estrategia de protección y reforestación de la actual fuente de abastecimiento de agua, el cual se ha estimado en S/ 5.62 por mes de cada usuario. Con estos resultados, se ha contribuido al diseño del esquema de Pago por servicios ecosistémicos (PSE) en la cuenca del río Cumbaza, de donde se capta agua para la ciudad de Tarapoto.

Soncco (2007) llevó a cabo la valoración económica del servicio ambiental de protección del recurso hídrico en la cuenca del río Jequetepeque. El objetivo fue estimar el valor económico (beneficio) del servicio ambiental de provisión de agua, generado por los ecosistemas de la cuenca de dicho río y, a su vez, comparar los resultados de DAP obtenidos por métodos paramétricos (Logit) y no paramétricos (Turnbull y Kriström). El estudio se llevó adelante mediante encuestas de valoración contingente aplicando el formato tipo referéndum a 382 hogares. Los resultados del estudio arrojan datos relevantes como: el 44% de los encuestados dijeron que “no” a la DAP; el nivel de participación de las mujeres fue bastante escasa (11%). Así mismo, la DAP por el método paramétrico se calcularon en S/

11.83 y por los métodos no paramétricos de Turnbull y Kriström fueron S/ 10.41 y S/ 11.78 por familia al mes respectivamente. Con dicha DAP los beneficios totales agregados ascienden a S/ 4,340,388.00 al año. Estos cálculos (valor económico), representa el aumento en el bienestar (subjetivo) que les implica a las familias el tener acceso al servicio de provisión de agua que proviene del río Jequetepeque.

Soncco (2016), también desarrolló el estudio de valoración del servicio hídrico en el santuario Nacional del Ampay, ubicado en el valle donde se asienta la ciudad de Abancay, con la finalidad de generar insumos para la toma de decisiones de inversión, planificación y políticas que contribuyan a mejorar la gestión y conservación del Santuario. Para tal propósito, se estimó la DAP de los usuarios del servicio hídrico que proviene del santuario. Para ello se aplicaron 136 encuestas de valoración contingente a los usuarios de agua de consumo humano y 120 encuestas a familias que usan el agua con fines agrícolas; a quienes se les aplicó la pregunta dicotómica de DAP. El vector de pagos aplicados para los usuarios de agua de consumo humano fueron 1, 2, 5, 8, 10 y 15 Soles/mes y para fines agrícolas fueron 3, 5, 10, 20 y 30 Soles/año. Para estimar la DAP, se utilizó la aproximación paramétrica Logit.

Los resultados de Soncco (2016) indican que el 55% de los encuestados no están dispuestos a pagar para proteger el Santuario Nacional del Ampay. La participación de las mujeres en la encuesta fue de 52.7% y de los varones 47.3%; así mismo, el nivel educativo de los encuestados mayoritariamente fue con educación secundaria (37.3%) y universitaria (30%). Los resultados de la DAP promedio de los usuarios de agua de consumo humano se ha calculado en S/ 6.69 Soles mensuales. Dicho monto, considerando el número de habitantes del área estudiada (9735) se obtiene un beneficio económico total equivalente a S/ 781,525.80 al año.

Gandarillas *et al.* (2016) estudiaron el valor socioeconómico de los humedales de alta montaña en el Parque Nacional Sajama del Altiplano Boliviano. En el estudio se valúa cinco servicios principales servicios ecosistémicos: suministro de agua, el pastoreo de ganado, la recreación, la estética y el patrimonio cultural-natural, y la biodiversidad. Dado que la población de la zona de estudio se caracteriza por la pobreza, la DAP se obtuvo a partir del tiempo de trabajo que las personas dedican en proteger los humedales. Los resultados del trabajo, mostraron que el pastoreo de ganado genera mayor beneficio económico (US \$ 323/ hectárea/ año), luego la biodiversidad (US \$ 200/ hectárea/ año), la estética y el patrimonio

cultural-natural (US \$ 55/ hectárea/ año), la recreación (US \$ 17/ hectárea/ año) y, finalmente el suministro de agua (US \$ 323/ hectárea/ año). De esta manera, se resalta el valor total de los ecosistemas al bienestar de las comunidades locales.

## **2.2. ASPECTOS HIDROLÓGICOS DE LA BIODIVERSIDAD FUNCIONAL Y LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**

### **2.2.1. La Biodiversidad funcional y los servicios ecosistémicos**

El Convenio sobre la Diversidad Biológica de 1992, define "diversidad biológica" como la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos los ecosistemas terrestres, marinos y otros ecosistemas acuáticos, así como los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie (genética), entre las especies (comunidades) y de los ecosistemas.

Bajo esta definición clásica, históricamente los estudios sobre biodiversidad han tenido un enfoque taxonómico, donde el principal objetivo científico es conocer las áreas con el mayor número de especies, sus abundancias, cómo se distribuyen en el ambiente y conocer los efectos de las perturbaciones/restricciones humanas y naturales (bióticas y abióticas) sobre las comunidades de especies (Francisco & De la Cueva 2017). Posteriormente, este énfasis se ha desplazado hacia el análisis de los efectos de la biodiversidad en las funciones de los ecosistemas (Hillebrand & Matthiessen 2009).

Globalmente está reconocida la importancia de la diversidad biológica en el bienestar humano; sin embargo, para avanzar en el mejor entendimiento de su relevancia, en la última década se ha trabajado en comprender las relaciones entre biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas, lo cual difiere del enfoque taxonómico tradicional. Al analizar las funciones de los organismos en el ecosistema, se logra un mejor reflejo de su rol en el ecosistema (Francisco & Dela Cueva 2017). Por ello, esta relación causal entre la biodiversidad, el funcionamiento ecológico y los servicios esenciales para el bienestar humano, son explicados desde la biodiversidad funcional (Martin-López *et al.* 2007); esto es lo que se denomina como los servicios ecosistémicos. Implica entonces entender que los cambios en alguno de los componentes de la biodiversidad, tienen efectos en el funcionamiento de los ecosistemas y, por tanto, en el suministro de servicios hacia la sociedad (Fischer *et al.* 2010, Martin-López *et al.* 2007).

Bartkowski (2017) señala que a pesar de que el término de biodiversidad ha llegado a ser muy popular, a menudo se usa de forma muy vaga y no tiene una definición establecida. El desarrollo de diferentes definiciones para diferentes contextos, refleja el hecho de que el concepto ha evolucionado a lo largo del tiempo; por ejemplo, la definición del Convenio de Diversidad Biológica (CDB) de 1992 no menciona la diversidad funcional, debido a que es de origen más reciente pero considerado muy importante.

La afectación de las propiedades y el funcionamiento de los ecosistemas, tiene consecuencias directas o indirectas, en los beneficios que las sociedades humanas obtienen de ellos en forma de bienes o servicios MEA (2005). Por ejemplo, la seguridad ante deslizamientos, la salud, recursos y medios de vida que componen el bienestar humano, se ven fuertemente influenciados por la integridad de los ecosistemas, desde el nivel de organización genética hasta la escala de comunidad (Martín-López *et al.* 2007).

Este marco conceptual “biodiversidad funcional” establece el puente entre biodiversidad y servicios ecosistémicos. Un adecuado flujo de bienes y servicios del ecosistema, significará que las funciones de la biodiversidad de dicho ambiente se encuentran en buenas condiciones. Por ello, la presente investigación y su desarrollo en los próximos capítulos, se sustenta en esta definición: servicio ecosistémico de regulación hídrica o hidrológica.

### **2.2.2. El servicio ecosistémico de regulación hídrica de los ecosistemas Altoandinos**

Los ecosistemas andinos ofrecen diferentes tipos de servicios ecosistémicos; entre ellos, los servicios hidrológicos que permiten generar mejores condiciones de calidad y cantidad de agua para el bienestar de las familias que habitan una cuenca hidrográfica. La cantidad de agua, tiene a su vez dos aspectos importantes: el volumen de agua que “se produce” y que está en función del balance entre la precipitación y la evaporación, y la regulación hídrica, que está relacionada al almacenamiento (De Bievre & Acosta 2014).

La regulación hídrica, tiene que ver con la influencia del ecosistema en uno de los componentes del ciclo hidrológico, que este caso es la infiltración y el almacenamiento de agua en el acuífero (Touhami 2014). Este proceso se genera cuando el ecosistema logra infiltrar y almacenar agua en el suelo en los periodos lluviosos y, luego, la libera lentamente en los periodos secos o de estiaje (Célleri 2009). Este proceso es muy relevante sobre todo en cuencas cuya dependencia hídrica no está relacionado con los glaciares, sino del funcionamiento del ecosistema. Lo anterior significa que, a mayor capacidad de regulación,

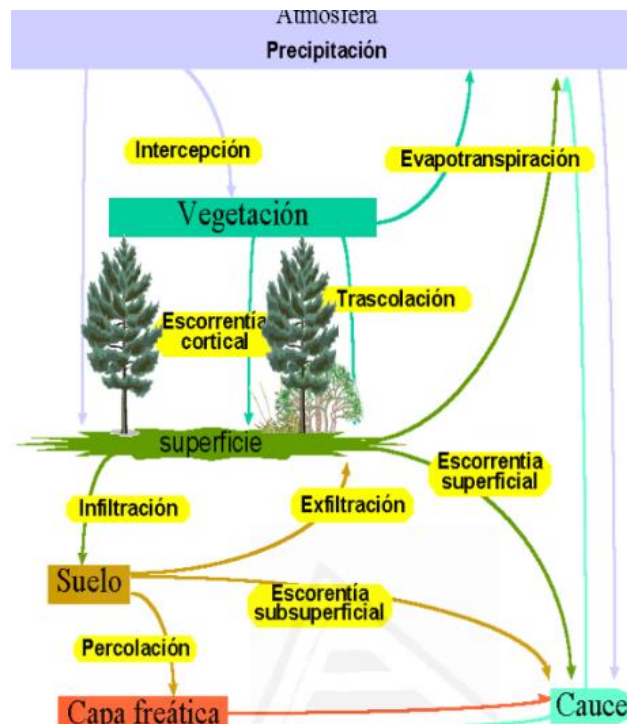
se mejoran al menos tres aspectos: primero, los caudales base serán mayores en tiempo de estiaje; segundo, mayor será el tiempo que el cauce se mantiene con agua antes de llegar a secarse y; tercero, pueden mitigar hasta cierto punto las inundaciones cuando se presenten período de lluvias intensas (Célleri 2009, Corredor *et al.* 2012).

Sin embargo, los servicios ecosistémicos de regulación hídrica se pueden ver afectados, principalmente por dos factores: la presión humana sobre los ecosistemas y los fenómenos del cambio climático. Por un lado, el sobrepastoreo, la agricultura y los incendios, afectan la estabilidad de los ecosistemas dejando los suelos expuestos y vulnerables a las condiciones del clima. A lo anterior, se suman los fenómenos climáticos intensos como los vientos y precipitaciones que afectan con mayor facilidad suelos vulnerables; por lo tanto, se acelera los procesos de erosión y consecuentemente pérdida de la capacidad de regulación hídrica (Cervantes y Bustinza 2014).

### **2.2.3. Influencia de la cobertura vegetal en servicio ecosistémico de regulación hídrica**

Incluir la vegetación en un modelo de balance, implica conocer las repercusiones que ésta tiene sobre los componentes del ciclo hidrológico. La cobertura vegetal (superficie, estructura, composición de especies, etc.) determinan la magnitud de la evapotranspiración, la escorrentía, infiltración y se traduce en las variaciones de la recarga de los acuíferos. En la mayoría de los modelos hidrológicos que estiman el comportamiento de las diversas variables, dan menos peso a la vegetación y otros ni lo consideran (Bellot y Chirino 2013, Touhami 2014). La participación de la vegetación en el balance hídrico, se puede simplificar en el gráfico de Touhami (2014) que se muestra a continuación.





**Figura 1: Influencia de la vegetación en el balance hídrico (Touhami 2014).**

Entender la influencia de la vegetación altoandina en la regulación hídrica, implica conocer el ambiente donde se desarrollan. El ambiente/entorno altoandino (o de alta montaña), puede ser definido como aquellas condiciones físicas y biológicas que ocurren por encima del límite de desarrollo de las especies de árboles. En los Andes tropicales estos límites están entre los 3500 – 4000msnm. Según Billings (1974), la combinación de las duras condiciones del ambiente y la adaptación de ciertas familias, géneros y especies, han dado origen a ciertas características de las plantas en tres niveles principales e inseparables: (1) el nivel morfológico, (2) el nivel fisiológico y, (3) el nivel ecológico. De estos, a continuación, se destacan las características que tienen mayor relevancia para la función de regulación hidrológica (Billings 1974, Körner *et al.* 1989, Körner 2003, Tranquillini 1964):

### 1. Nivel morfológico:

- Típicamente, plantas pequeñas, lo cual les ayuda a enfrentar bajas temperaturas. Además, la mayoría son plantas perennes que tardan varios años en establecerse.
- La superficie foliar es pequeña; esta es considerada como uno de los cambios más significativos asociado con la altitud: el tamaño reducido de la hoja. Así mismo, a mayor altura el grosor de las hojas se incrementa (Körner *et al.* 1989).

- Las formas más comunes de vegetación dominante son las plantas de tipo “rosetas gramíneas” “plantas tipo cojin” y “rosetas basales”. Por ejemplo, el “ichu” es considerada como una típica planta de roseta gramínea.

## **2. Características fisiológicas:**

- Adaptación a frías temperaturas y generalmente su crecimiento vegetativo no dependen de las semillas, sino de un desarrollo meristemático ubicado debajo de la superficie del suelo (Billings 1974, Körner 2003).
- Gran capacidad de metabolizar en bajas temperaturas lo cual ayuda al almacenamiento de carbohidratos y lípidos.
- Disminución de la respiración y fotosíntesis en ausencia de agua.
- En época del verano montañoso o ausencia de lluvia, las plantas entran rápidamente en latencia vegetativa, lo que les permite reducir la pérdida de agua por transpiración. Esto podría llevar a pensar que han perecido a causa de la sequía; sin embargo, solo se trata de una adaptación a las condiciones.

## **3. Características ecológicas:**

- Las comunidades de plantas de montaña logran el éxito, debido a que encontraron una combinación correcta de características morfológicas, fisiológicas y reproductivas ante las condiciones que el ambiente impone.
- Reducción lineal de la evapotranspiración con la altitud e incremento de la precipitación, lo cual genera un balance positivo.
- La vegetación alpina se calienta sustancialmente bajo la radiación solar directa, lo que aumenta las fuerzas impulsoras para la evaporación, sin embargo, con la reducción de la actividad fisiológica, se reduce las pérdidas de agua.
- Ante la escasez de agua, los estomas suelen regular la respiración de las plantas.
- La mayor parte del agua que sale del ecosistema de montaña, se da por escorrentía o por infiltración profunda y en menor medida a través de la transpiración de la planta. Körner (2003) señala que las pérdidas por transpiración de las plantas en las montañas en diferentes partes del mundo solo representaron el 17% anual: Caucaso Central (2500 msnm), Montañas Rocayosas (3600msnm) y en las montañas al sur de Nueva Zelanda. Mientras que Tranquillini (1964) encontró que la transpiración representó un cuarto de la precipitación anual en regiones montañosas.

- La pérdida de vapor de agua en los ecosistemas de montaña, depende fuertemente del tipo de vegetación. Suelos desnudos y húmedos pueden evaporarse más que el suelo con vegetación. Adicionalmente, su tamaño pequeño se relaciona con una menor demanda de humedad, la forma de las hojas (menor área de la hoja) permite que reduzca la pérdida de agua por la actividad estomática.
- En línea con lo anterior, Mark *et al.* (1980) citados por (Körner 2003), señala que la vegetación alpina natural tiene una influencia positiva en el balance hídrico del suelo en comparación con las mezclas de pastos introducidas; Sin embargo, el uso tradicional de la tierra en pastizales alpinos bien mantenidos también puede reducir la evapotranspiración.
- El índice de área de la hoja (LAI por sus siglas en inglés) de taxones de altura, alcanzan 1/11 del área de hojas de especies de zonas bajas. El LAI, es un parámetro importante en la ecología de las plantas, debido a que indica la cantidad de follaje que existe; es decir, es una medida del área activa fotosintética y, al mismo tiempo, del área sometida a transpiración y, por lo tanto, repercute en el balance hídrico del ecosistema.
- Poseen un sistema de raíces cortas pero densas, lo cual permite proteger las laderas montañosas de la erosión de la superficie. Este es un punto importante para la estabilidad del ecosistema. En contraste, las raíces profundas son ecológicamente significativas en términos de flujos de agua. Durante las temporadas húmedas, las plantas extraen agua de las capas poco profundas y a medida que el suelo se seca se extrae de las capas más profundas para mantener los estomas abiertos. La profundidad de enraizamiento determina el volumen de agua que las plantas son capaces de extraer del suelo (Bellot y Chirino 2013, Zhang *et al.* 2001).

#### **2.2.4. Los ecosistemas altoandinos y la regulación hídrica**

En la presente investigación, se pone atención al estudio tres ecosistemas altoandinos que, por sus características, tienen relevancia para fines de regulación hidrológica de la cuenca de estudio: pajonal de puna húmeda, los bofedales (humedales) y el boque relicto altoandino (bosque de *Polylepis*).

##### **a) El pajonal de puna húmeda**

El atlas de los ecosistemas andinos de la CAN (2009) describe este ecosistema como la que colinda con los nevados de las altas cumbres de la cordillera, lo que implica que se distribuye entre los 2000 y 6000 msnm. En su vegetación predomina las gramíneas y pequeños arbustos que están muy bien adaptados a las bajas temperaturas y a la carencia de agua en temporada seca. Se reporta que estos ecosistemas albergan alrededor de 5000 especies de plantas diferentes de los cuales alrededor del 60% son endémicas adaptadas a las condiciones fisicoquímicas y climáticas específicas, como la baja presión atmosférica, la intensa radiación ultravioleta y los efectos del viento (Hofstede 1997).

Desde el punto de vista hidrológico, el efecto del uso del suelo sobre los procesos de escorrentía, indican que la tierra degradada y abandonada genera escorrentía superficial con mayor rapidez poco después de un evento de lluvia. En contraste, la escorrentía superficial en pastizales es rara ya que sus suelos se caracterizan por una alta capacidad de infiltración. Ello implica que la generación de escorrentía en ecosistemas andinos está controlada principalmente por la cobertura vegetal de la superficie. Sin embargo, al disminuir tal cobertura, el suelo se ve cada vez más afectado por la rápida escorrentía de laderas (Molina *et al.* 2007).

Millar *et al.* (2018) encontraron diferencias en las tasas de evapotranspiración de dos ecosistemas de montaña, lo cual estaría impulsado por las características de la cobertura vegetal que la componen. Una de ellas, dominada por especies leñosas y cobertura continua y; la otra, con cobertura relativamente escasa y dominada por especies tipo pasto. La evapotranspiración de la primera fue mayor a la que tenía menor cobertura, debido a que la vegetación puede alcanzar el nivel freático con mayor facilidad y pueden utilizar directamente el agua subterránea para la transpiración. Este aspecto, resulta relevante para la regulación hidrológica de las praderas altoandinas cuyas características fisiológicas difieren de las especies arbóreas. Dichas características, hacen que los pajonales de puna, sean más eficientes en la regulación hídrica.

#### **b) Bofedales de puna**

Bofedal es un término que proviene del quechua bofe (pulmón) que se utiliza para nombrar un tipo de ecosistema de los Andes peruanos: humedales de altura (Montoya 2015). Al igual que un pulmón, el bofedal tiene una característica esponjosa con abundante agua; por ello, una de sus principales características es la humedad edáfica constante a lo largo del año. Por lo general, se desarrollan en áreas planas por encima de

los 3800 msnm, alrededor de pequeños estanques y a lo largo de pequeños arroyos y manantiales. Bofedales pueden ser estacionales o permanentes, así como naturales o artificiales (hechas por el hombre). Otra de las características son la presencia de abundante suelo orgánico o turba y una vegetación verde durante todo el año que contrasta con el amarillo de la vegetación más seca que los rodea. Los bofedales también se llaman "oconales" significa "mojado") en la lengua quechua (Fonkén 2015). Según la clasificación de los tipos de humedales de la Convención de Ramsar de 1999, los bofedales se encuentran como turberas sin bosque.

Desde el punto de vista hidrológico, una de las características más importantes de estos ecosistemas es la presencia de suelo saturado de agua. El nivel freático cerca de la superficie del suelo, crea una interacción dinámica entre agua subterránea y la zona biológica donde se desarrollan las plantas (USGS 2016). Estas condiciones contribuyen a los servicios ecológicos claves proporcionados por los humedales, como la regulación y la eliminación de contaminantes del agua subterránea antes de que alcancen las aguas superficiales (Millar *et al.* 2018).

Las precipitaciones que caen en una época del año son las que proporcionan el agua que sostiene a estos humedales e influyen en la dinámica del nivel freático. El nivel freático, normalmente se encuentra dentro o por encima de la zona radicular de las plantas. Esta característica, hace que los humedales desempeñen un papel distintivo en la dinámica del flujo de agua subterránea, ya que potencialmente se pierden cantidades considerables de agua a través de evapotranspiración, lo que implica control sobre la disponibilidad de agua y nivel del nivel freático (Fahle & Dietrich 2014). Lo anterior significa que la evapotranspiración y el nivel freático son interdependientes.

### **c) El bosque relicto altoandino (bosque de *Polylepis*)**

Por lo general los bosques de niebla se desarrollan entre los 1000 y los 3500 metros de altitud. Sin embargo, los bosques de *Polylepis* pueden desarrollarse en altitudes entre 3.500 m y 4.400(-5.000) m. en una gran parte de los Andes centrales (Kessler 2006). Estos bosques, que en el pasado fueron extensos, se estima que ha perdido alrededor del 95% de su cobertura; por lo que en el presente solo persisten pequeños parches siempre expuestas a las amenazas de actividades humanas (Kessler 2006, Sierra 2018).

Los bosques de Polylepis, cumplen importantes funciones: ser hábitat para una gran diversidad de plantas y animales (como las aves) y; desde el punto de vista hidrológico, regular los flujos hídricos (Zutta *et al.* 2012).

Dado que estos se encuentran categorizados como parte de los bosques andinos de neblina, tienen un importante aporte en la captura y almacenamiento de agua. En general, los bosques andinos son excelentes en la regulación de caudales y protección de los suelos (Bonnesoeur *et al.* 2019). Por lo anterior, la restauración de estos ecosistemas andinos debería ser priorizado con el fin de optimizar sus beneficios; sin embargo, sobre los ecosistemas de pradera de puna y los páramos, esta práctica debe ser evitada en vista de que estos ecosistemas ya son excelentes reguladores de flujos hídricos (Sierra 2018, De Bièvre 2015).

Finalmente, la propia topografía es responsable de la buena capacidad de regulación hidrológica. Después de la elevación andina desde el Mioceno, la topografía andina fue modelada por la actividad glacial, dándole su típica topografía accidentada. El paisaje irregular es el hogar de abundantes concavidades y depresiones locales donde los bofedales páramos y lagos se han desarrollado. La presencia de lagunas contribuye a aumentar la capacidad de almacenamiento del agua del ecosistema. Aunque los conceptos para cuantificar la capacidad de regulación de los lagos son bien conocidos, no se conocen estudios en zonas de altura. Muchos lagos más pequeños y depresiones locales están desconectados de la red de drenaje. Recogen el flujo por tierra de las pendientes y permiten la infiltración y recarga de los depósitos de almacenamiento de aguas subterráneas (Buytaert *et al.* 2006).

### **2.2.5. Balance hídrico en los ecosistemas andinos**

Como se ha expuesto en los apartados anteriores, la circulación natural del agua en el suelo-vegetación-atmósfera es un proceso importante y es central para el balance hídrico. Hay muchas vías que el agua puede tomar en su ciclo: precipitar como lluvia y regresar a la atmósfera como evapotranspiración; puede ser interceptada por la vegetación y evaporada directamente a la atmósfera; puede infiltrarse en el suelo para ser evaporado de la superficie del suelo o ser transpirada por la vegetación; puede convertirse en escorrentía superficial y puede percolarse a través del suelo a las aguas subterráneas como recarga de acuíferos. La vegetación juega un papel importante en dicho ciclo (Zhang *et al.* 2001).

Como se ha mencionado antes, el balance hídrico en un punto dado del ecosistema de montaña o cambio en la humedad del suelo ( $\Delta R$ ), está dado por tres componentes principales:

- La contribución de agua y humedad: precipitación (P), más drenaje de las colinas arriba ( $D_i$ ).
- Menos las pérdidas por: transpiración de la planta ( $E_p$ ), evaporación de la humedad del suelo ( $E_s$ ), la humedad superficial interceptada por las plantas ( $H_i$ ), escorrentía superficial ( $D_r$ ) e filtración profunda ( $D_s$ ).

Como resultado, se tiene la ecuación general del balance hídrico:

$$\Delta R = (P + D_i) - (E_p + E_s + H_i + D_r + D_s)$$

Algunas características importantes para el balance de agua en los ecosistemas de montaña, son descritos por Körner (2003). Por ejemplo, por lo general la precipitación (P) se incrementa con el incremento de la altitud, mientras que la evapotranspiración (E) disminuye. Incluso si la lluvia decreciera ligeramente, la relación E/P seguiría disminuyendo en estos climas, debido a la marcada reducción de la E anual. Lo anterior, indica que hay un aumento de la humedad con la altitud. Por ejemplo, pruebas realizadas en los Alpes, demostraron que la evapotranspiración se redujo considerablemente de 700 mm en praderas bajas a 250mm en el límite superior de las praderas alpinas debido a la reducción de la transpiración de las plantas (Körner 2003).

### **2.2.6. Amenazas a los ecosistemas de montaña**

Herzog *et al.* (2011), menciona que los principales factores que afectan los ecosistemas andinos son el cambio en el uso del suelo o su uso inapropiado. Ello podría derivar en procesos de desertificación con sus diversas complejidades según los gradientes altitudinales, latitudinales y de humedad. Célleri (2010) y Tognelli *et al.* (2016) precisan que los servicios hidrológicos se pueden reducir al existir una conversión de los ecosistemas naturales a ecosistemas intervenidos por el hombre por ciertas prácticas o manejos inadecuados como:

- Conversión de los pajonales a sistemas de producción agrícola o plantaciones forestales
- Deforestación para conversión a pastos con fines de ganadería o agricultura
- Quemadas de pajonales y bosques

- Minería y sus efectos

El sobrepastoreo es una de las actividades que más impacta sobre los ecosistemas andinos y la provisión de servicios ecosistémicos. Por otro lado, también hace notar que el sobrepastoreo quita espacios para el desarrollo de otras especies.

Cuando se cambia el uso de suelo, por ejemplo, de vegetación nativa a pastos con fines de forraje o agricultura, también cambian los procesos biofísicos que controlan el régimen hidrológico y se degradan los servicios hidrológicos. Ello se aprecia cuando se elimina la vegetación del pajonal o bosque que incrementa la escorrentía y disminuye la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo. En consecuencia, en temporada de lluvia los caudales base serán mayores y de corta duración y en temporada seca los flujos de agua serán muy escasos. A pesar de ello, con los proyectos de restauración y recuperación de cuencas, es posible recuperar los servicios hidrológicos de dichos ecosistemas afectados (Célleri 2010).

### **2.2.7. Soluciones basadas en la naturaleza**

El concepto de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) es un enfoque emergente relativamente joven que abarca las acciones que se apoyan en los ecosistemas y su funcionamiento para responder a diversos desafíos de la sociedad como el cambio climático, la seguridad alimentaria, seguridad hídrica o el riesgo de desastres (Cohen-Shacham *et al.* 2016).

La idea principal del enfoque es utilizar las funciones de los ecosistemas para resolver los problemas que demanda la sociedad, en lugar de depender únicamente de las soluciones convencionales. En el campo hídrico los ecosistemas y sus funciones trabajan a manera de infraestructura verde para solucionar los problemas de disponibilidad de agua; aspecto que tradicionalmente se suelen resolver con obras de infraestructura gris. En muchos casos las soluciones basadas en la naturaleza pueden ser más costo-efectivas (UICN 2017). En línea con lo anterior, la conservación y restauración ecológica de cuencas hidrográficas pueden contribuir a resolver problemas de inundaciones, deslizamientos y conservación de flujos de agua. Así, se pueden encontrar prácticas como la reforestación y restauración de ecosistemas, que son cada vez más aplicados (Cohen-Shacham *et al.* 2016, UICN 2017).

Así mismo se reconoce que cada vez es más improbable que la infraestructura gris garantice la seguridad hídrica y resiliencia futura frente a los impactos del cambio climático (UICN



2017). A nivel global, cerca del 60% de la población mundial, viven en regiones con estrés hídrico casi permanente, donde la demanda de agua es creciente a tal punto que las extracciones de agua superficial y subterránea igualan o superan dicha demanda. Tal estrés se ve agravado por la contaminación de las aguas superficiales. Frente a ello, la aplicación de SbN, aprovechando los servicios de la infraestructura natural mediante los bosques, humedales y otros, ayudará a combatir el riesgo de la crisis hídrica, especialmente frente a futuras tensiones climáticas (Ozment et al. 2015).

Sin embargo, también es necesario reconocer que la naturaleza por sí sola no puede garantizar la seguridad del agua para las personas en todas las situaciones. Tanto la infraestructura construida (gris) como la natural son necesarias para una gestión eficiente y eficaz de los recursos hídricos (Cohen-Shacham *et al.* 2016, León 2016). Cuando ambas se combinan se generan soluciones más eficientes que pueden ayudar a reducir costos en las inversiones relacionadas al sector hídrico, aumentar la resiliencia frente al cambio climático y provee beneficios sociales, ambientales y económicos adicionales (UICN 2017).

### **2.3. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE INVERSIONES**

La evaluación económica, es el análisis cuantitativo de los costos y resultados de intervenir en proyectos y programas. Su finalidad es proveer un marco de análisis de la utilización de los recursos y estimar el monto necesario de éstos en la consecución del objetivo de un proyecto o programa (Ortegón *et al.* 2015). Es decir, los resultados de la evaluación económica, permiten conocer el costo de oportunidad (PAHO 1995). En otras palabras, aborda la pregunta de que si vale la pena que la sociedad o la instancia formal que lo representa (como el Estado) pague por el desarrollo del proyecto. Esto explicita la necesidad de justicia distributiva y fundamenta la evaluación económica para usar de mejor forma los recursos disponibles, en un escenario de crecientes restricciones económicas (Espinoza 2017, Zarate 2010).

Así, la evaluación económica promueve el uso más eficiente de los recursos en un ambiente de escasez y con ello se pueda adoptar decisiones racionales ante diferentes alternativas, con la finalidad de elaborar lineamientos o políticas de uso eficiente de los recursos, diseñar instrumentos de control, negociar recursos para realizar actividades eficientes, estudiar la

efectividad agregando el factor costo, asegurar inversiones óptimas en tecnología, entre otros (Sabalza 2006).

Los dos métodos más comunes para la evaluación económica de un proyecto son el Análisis Costo-Beneficio (ACB) y el Análisis Costo-Efectividad (ACE). Por lo general, el ACB se utiliza cuando los beneficios sociales son fáciles de medir; sin embargo, cuando tal condición no se da o su aplicación resulta controversial, se utiliza el ACE (Azqueta 2007, MEF 2019). En el método ACE dos o más medidas se valúan y jerarquizan considerando sus costes y efectividad para lograr un objetivo en particular (mejorar la regulación hídrica, por ejemplo). En tanto, en la evaluación con el método del Análisis Costo-Beneficio (ACB), ambos elementos (costos y beneficios) se comparan en términos monetarios y con ello se determina si un proyecto es eficiente económicamente (Sabalza 2006).

### **2.3.1. El análisis de costo - beneficio**

El propósito del ACB, es brindar información sobre lo que se gana o pierde con la implementación de una política, proyecto y/o iniciativa. Desde una mirada económica, es un indicador de eficiencia. Ello significa que los proyectos cuyos beneficios económicos exceden a sus costos, representan una mejora del bienestar de la sociedad (Rubio 2017); Sin embargo, uno de las mayores dificultades del ACB es obtener valores monetarios válidos y confiables de los efectos o beneficios relevantes directos, indirectos, intangibles e identificación de cambios en el futuro (PAHO 1995).

Estimar el CB de diferentes alternativas, implica seguir un conjunto de pasos que se encuentran relativamente estandarizados en la bibliografía. Rubio (2017) elabora una secuencia adaptada para estimar el costo – beneficio aplicadas al campo de la conservación de ecosistemas, los cuales se precisan a continuación:

- a) Definición del problema o el propósito del análisis CB
- b) Construcción de escenarios
- c) Estimación de los costos y beneficios
- d) Agregación de los costos y beneficios
- e) Análisis distributivo
- f) Análisis de sensibilidad
- g) Elaboración del reporte y recomendaciones

### **2.3.2. Análisis de costo efectividad**

Es la evaluación económica en la cual políticas, programas o proyectos son comparados en términos del costo por unidad de efecto (por ejemplo: el costo por regular o almacenar 1 m<sup>3</sup> de agua en la cuenca). Trata de identificar y cuantificar los costos y los resultados de diversas opciones para alcanzar un mismo objetivo; en ella, los costos se expresan en unidades monetarias, y los efectos o resultados, en unidades biofísicas (MEF 2019, Navarro 2001). Esta metodología se aplica cuando la valorización de los beneficios sociales es compleja o cuando tal estimación resulta controversial. No se utiliza cuando el análisis costo- beneficio no es rentable socialmente (MEF 2019).

El ACE tiene la ventaja de que es una técnica sencilla que se enfoca en los efectos de una acción, por lo que tales efectos no demandan de una medida monetaria. Ello es importante cuando muchos de los beneficios de las inversiones son difíciles de convertirlos a una unidad común de medida que permita compararlos con sus costes (Azqueta 2007). Sin embargo, la desventaja de dicha metodología es que sólo permite la jerarquización de medidas sobre una base común de efectividad (mejora de regulación hidrológica, reducción de accidentes, disminución de muertes, reducción de daños materiales); por lo tanto, en el cálculo de la efectividad no se puede incluir los diversos tipos de beneficios que se generan simultáneamente con una acción (Navarro 2001). Por ejemplo, con la restauración de la biodiversidad y los ecosistemas, se mejora la regulación hídrica, pero también contribuye a la conservación de la biodiversidad, mejora de la calidad del agua, almacenamiento de carbono, etc.

El ACE nace como una respuesta a las críticas y complicaciones del análisis de ACB; en particular, en lo relacionado a la monetarización de los beneficios y porque tal estimación, depende de la capacidad de pago de las personas (Espinoza 2017). Boerema *et al.* (2018) sistematiza las diversas aplicaciones del ACE para encontrar soluciones rentables en el campo ambiental: opciones de manejo forestal, mejora de la calidad del agua, la reducción de la contaminación y la eutrofización, la conservación de la biodiversidad, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, mejora del suministro de agua y prevención de inundaciones.

Las etapas del análisis de costo-efectividad, tienen ciertos elementos en común con el análisis de costo – beneficio, pero con las diferencias que se ha señalado en párrafos anteriores. Según Reynolds y Celeste (1986), las etapas del análisis de esta metodología son:

- a) Definir el problema operativo y de los objetivos u objetivo que se quiere alcanzar.

- b) Identificar las soluciones alternativas al problema
- c) Identificación y cálculo de los costos de cada alternativa
- d) Análisis de los costos, la efectividad y costo – efectividad de cada alternativa
- e) Análisis de sensibilidad.

### **Limitaciones del método**

Reynolds y Celeste (1986), Navarro (2001) y Azqueta (2007) señalan las limitaciones del método:

- El dar por supuesto que los beneficios de resolver el problema superan a los costes (de otra forma no tendría sentido no compararlos), impide considerar la opción cero como una alternativa relevante. Esto puede ser acertado cuando el decisor se enfrenta a una exigencia normativa, pero cuando éste no es el caso, proceder de esta forma puede ser muy arriesgado.
- Cuando las alternativas no son totalmente comparables. En un ACE ideal, todas las alternativas serían idénticas con respecto a todos los criterios, con la excepción de un insumo o criterio de producción que se podría cuantificar con precisión. A pesar de que en la vida real esta situación es poco frecuente, el analista debe estar consciente de esta limitación y asegurarse de que las alternativas sean lo más comparables que sean posibles. Ante ello, lo recomendable es describir y evaluar las diferencias de las alternativas a comparar.
- Otra importante limitación surge con los efectos de las alternativas. La mayoría de los ACE, se basan en el análisis de un solo costo y un solo efecto (por ejemplo, dólares por metro cúbico de agua). Sin embargo, muchos programas tienen efectos múltiples. Aplicando este criterio al presente proyecto, se puede hallar que la restauración del ecosistema, no solo favorece a mejorar la regulación hidrológica en una cuenca; también contribuye con la mejora de la calidad de agua, evitar erosión, deslizamientos, conservar la biodiversidad, etc. Al respecto, Reynolds y Celeste (1986), señalan que para los analistas es difícil lidiar con este problema, por lo que se recomienda también describir, por lo menos, los diversos efectos y realizar los análisis cualitativos en caso de que no se pueda hacer análisis cuantitativos.

- También existen limitaciones de las mediciones. Algunos costos y efectos no se pueden medir con precisión. Al cuantificar los costos, los analistas tienen muchas dificultades para determinar el valor de las contribuciones, calcular los costos futuros y predecir los efectos de la inflación en los costos. En cuanto a los efectos, es muy difícil medir lo que no se ha producido, como los cambios en el nivel de conocimientos, comportamiento. Por lo tanto, la precisión de las mediciones biofísicas son muy importantes, para que el análisis no se base en hipótesis de los costos o efectos.
- Sin embargo, una de las limitaciones más importantes que se debe tener en cuenta en el ACE, es que se trata de un solo método de varias herramientas analíticas que se disponen para una decisión. La información del ACE debe ser uno de los factores, pero no el único que se considere para adoptar una decisión definitiva. Por ello, la excesiva generalización de los resultados del ACE es muy peligrosa y no caer en la tentación de extrapolar los resultados más allá del ámbito de donde se aplican.

### **2.3.3. Elementos metodológicos en la evaluación económica**

En la evaluación económica existen cinco elementos básicos a tener en cuenta: la perspectiva y contexto; el tiempo horizonte; la tasa de descuento; el modelamiento matemático; y la incertidumbre asociada a las decisiones (Espinoza 2017).

#### **a) La perspectiva y contexto**

El contexto, significa identificar el lugar donde se pretende situar el proyecto y/o alternativa de solución. Pretende responder preguntas como: ¿Cuál es el problema? ¿A quiénes afecta? ¿Qué opciones de solución se dispone? ¿Qué busca el proyecto? entre otros (Rubio 2017).

En tanto, la perspectiva define al actor que utilizará la evaluación para la toma de decisiones (Espinoza 2017). Por ejemplo, podría estar asumido por el Estado (gobiernos locales, regionales o de instancia mayor), un tercero como la cooperación, o la sociedad que decide asumir tal responsabilidad como en los esquemas de PSEH. Las implicancias de la perspectiva repercuten en el análisis económico; por ejemplo, en la perspectiva del Estado, se consideran los costos que esta instancia incurre con el proyecto; en contraste,

desde la perspectiva social, se debe incluir los costos asumidos por las personas como el costo de oportunidad del tiempo, pagos por transporte, etc. (Claxton *et al.* 2010, Espinoza 2017).

#### **b) El tiempo horizonte**

Período para el cual se estiman los flujos de beneficios y costos del proyecto a efectos de evaluar su rentabilidad social y determinar si el proyecto es conveniente o no para la sociedad. El horizonte dependerá de las particularidades del proyecto o el tipo de producto o servicio que se pretende obtener. Así, por ejemplo, en el sistema de salud, si la idea es producir salud en el corto y largo plazo, entonces el tiempo horizonte debería ser el curso de vida de los pacientes; mientras que, en los proyectos productivos, la vida económica sería la más adecuada para definir el horizonte (Agudelo 2011, Espinoza 2017).

#### **c) La tasa de descuento**

Es un factor financiero que se usa para determinar el valor del dinero en el tiempo y, en particular, para calcular el valor actual de un capital futuro; permite "traducir" el valor en moneda hoy, del dinero pagado o recibido en algún momento futuro. En proyectos de inversión, la tasa de descuento es aquella que corresponde al coste de los recursos financieros utilizados para ejecutar la inversión. Cuando los recursos son propios para financiar el proyecto, se debe exigir, al menos, lo mismo que dejaríamos de obtener por no dedicar nuestros fondos a otra inversión alternativa. En otras palabras, la rentabilidad de nuestra inversión debe igualar, como mínimo, la más alta rentabilidad que obtendríamos en otra inversión en un plazo similar. A ello se le conoce como coste de oportunidad (Yirepa 2019).

Referido a los proyectos ambientales, Vásquez (2010) realiza una revisión sobre la tasa de descuento aplicado en los diversos proyectos de conservación de reservas marinas. En dichos estudios, los análisis se centran en los servicios pesqueros, recreacionales como el buceo, que son proporcionado por las áreas de conservación. También se avanza en los análisis de los beneficios anuales, pero no en obtener una medida agregada de estos beneficios proyectando los flujos futuros y descontándolos a una cierta tasa (Roncin *et al.* 2008, citado por Vásquez 2010). La inclusión de una tasa de descuento,

permitiría tener una mejor idea de los flujos futuros en el presente. De hecho, Lavandeira y Loureiro (2009), señalan que los análisis económicos con tal omisión, se convierten en aproximaciones triviales.

Sin embargo, la pregunta que surge es ¿Qué tasa de descuento se debería aplicar para la conservación? El análisis se complica con los procesos que ocurren en el largo tiempo como los impactos del cambio climático, o la recuperación progresiva de los ecosistemas. Por ello, Sumaila *et al.* (2011), señala que, si se piensa en beneficios inmediatos en lugar de los futuros, entonces probablemente se requiere una tasa de descuento relativamente alta. En cambio, si hay mayor interés de la sociedad en el beneficio de todas las generaciones, pensando el preservar los recursos naturales para el futuro, entonces convendría una tasa de descuento baja.

#### **d) El modelamiento matemático**

Es el conjunto de métodos que permite la estimación de beneficios, costos y su evaluación a partir de la implementación de una medida y/o proyecto. En un análisis costo-beneficio, tanto los costos como los beneficios se miden en términos monetarios; mientras que en el análisis costo-efectividad, los costos son expresados en dinero y los beneficios en unidades de bienestar, que puede ser, por ejemplo, mejor salud (como la esperanza de vida), volumen de agua, almacenamiento de carbono, etc. (Boyd y Wainger 2003, Espinoza 2017, Rubio 2017).

En un esquema de ACB, es importante conocer la temporalidad de ocurrencia de los beneficios y costos, para luego traer estos valores al presente y obtener un sólo indicador (Rubio 2017). Por lo tanto, el procedimiento para este fin es: a) elaborar un flujo de caja de ingresos y salidas: b) convertir los resultados a valor presente a una tasa de descuento (valor del dinero en el tiempo). Finalmente, se recomienda realizar un análisis de la distribución de los costos y beneficios en la sociedad, pues no es suficiente con obtener resultados en las cuales los beneficios superen a los costos. Por lo tanto, este análisis es una acción complementaria para identificar y conocer cómo se distribuyen los beneficios y los costos en los distintos grupos de interés o actores involucrados (Rubio 2017).

#### **e) La incertidumbre**

Las estimaciones en evaluación económica, están asociadas a múltiples fuentes de incertidumbre, propia de las proyecciones de los beneficios y los costos. Espinoza (2017)

señala que la incertidumbre está dada por dos tipos: la incertidumbre de primer orden, que está asociada a la falta de conocimiento de los fenómenos estudiados (personas, ecosistemas y sus procesos) y; la incertidumbre de segundo orden, que se da por la imprecisión de las estimaciones de los parámetros que alimentan los modelos de decisión como las probabilidades de ocurrencia de eventos, estimación de costos, utilidades, etc. Su caracterización se operacionaliza en los análisis de sensibilidad. Por ello, es necesario llevar a cabo una evaluación del efecto sobre la factibilidad de la iniciativa (en términos de VPN) ante cambios de las variables con mayor influencia (Belli *et al.* 1998).

En el análisis de sensibilidad, se busca demostrar la solidez de los resultados de la evaluación; es decir, busca identificar las variaciones en la rentabilidad social de un proyecto como resultado de cambios en las variables que influyen sobre los costos y los beneficios considerados en el proyecto. Este proceso usualmente empieza con la identificación de las variables de mayor incertidumbre, se identifican los límites de variación de las variables críticas y finalmente se profundiza en el análisis de las variables críticas (MEF 2019).

## **2.4. DECISIONES BASADAS EN EL ANÁLISIS DE COSTO-EFECTIVIDAD**

Frente a los problemas ambientales, la efectividad de las medidas, así como su costo en contexto de restricción presupuestal, plantea la necesidad de encontrar la estrategia más costo-efectiva para resolver el problema al menor costo posible. Por ello, al ACE es una herramienta que permite encontrar la solución más óptima y rentable (Boerema *et al.* 2018).

Los estimadores más habituales en el ACE, son la razón de costo efectividad promedio (CEM) y la razón de costo efectividad incremental (RCEI). En el enfoque CEM da como resultado una curva de costo de inversión sobre cada estrategia; mientras que el enfoque RCEI compara el resultado de cada estrategia de inversión con una de referencia (Bang & Zhao 2012, Boerema *et al.* 2018); con lo cual se indica el costo adicional de una unidad de beneficio con la nueva estrategia, comparado con el que se viene aplicando de forma habitual (Castillo *et al.* 2013, Villajos 2016, Espinoza 2017). Así, la RCEI proporciona mejores elementos de comparación para definir si una alternativa es costo efectivo frente a otra.

### **2.4.1. Razón/ relación de costo efectividad incremental (RCEI)**

Este es uno de los estimadores más utilizados en el ACE. Al estimador tradicional de CEM, se ha añadido el efecto incremental o Razón de Costo Efectividad Incremental (RCEI), el



cual indica cuánto más cuesta ganar una unidad de beneficio con la nueva estrategia, comparado con el que se viene aplicando de forma habitual (Castillo *et al.* 2013, Villajos 2016, Espinoza 2017). Para entender con mayor sencillez tal razón, es necesario tener dos elementos o alternativas de comparación: por un lado, la estrategia nueva (2) y por otro la estrategia estándar (1). Así, la RCEI, se expresa de la siguiente forma:

$$RCEI = \frac{\Delta C}{\Delta E} = \frac{(C2-C1)}{(E2-E1)} \quad (1)$$

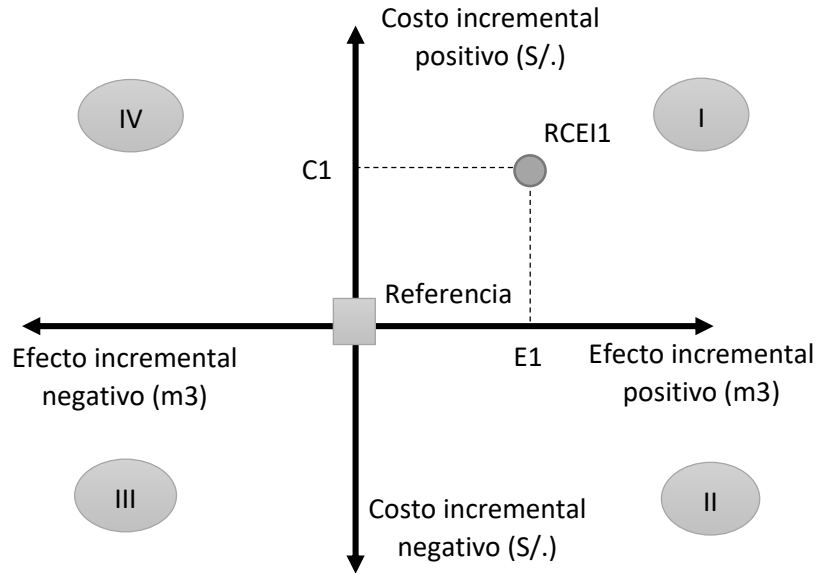
En la expresión, el numerador corresponde a la diferencia de los valores presentes de los costos esperados de la nueva estrategia ( $C2$ ) frente a la estándar ( $C1$ ), lo cual se denomina costo incremental. El denominador corresponde a la diferencia del valor presente de los beneficios esperados de la nueva estrategia ( $E2$ ) frente a la estándar ( $E1$ ), lo cual se ilustra como la distancia entre ambas estrategias proyectadas sobre el eje X. Así la RCEI se interpreta como el costo adicional que se debe pagar para obtener una unidad adicional del beneficio (Espinoza 2017, Culyer 2016).

La RCEI visto en un plano de costo efectividad, una estrategia “x” puede ser representado por un punto en el plano (Figura 2) donde se interceptan el valor del costo y beneficio, en relación a los de un estándar de referencia. Así mismo, una línea diagonal divide el plano en mitades rentables y no rentables (efectivas o no).

El plano, pone la estrategia de referencia en el centro y la estrategia nueva caerá en algún lugar del cuadrante del plano. El eje “X” expresa el efecto en el bienestar social y el eje ‘Y’. El plano permite ubicar nuevas tecnologías en cuatro cuadrantes que tienen implicancias relevantes para las decisiones. A partir de la comparación, se presentan cuatro posibles situaciones: 1) Que la nueva estrategia sea más efectiva y menos costosa; 2) Que la nueva estrategia sea más efectiva pero más costosa; 3) Que la nueva estrategia sea menos efectiva pero menos costosa y 4) Que la nueva estrategia sea menos efectiva y más costosa (Espinoza 2017, Soares *et al.* 2018, Zarate 2010).

La interpretación de los resultados dependerá de cuál de las cuatro situaciones se da en el plano CE (Figura 2). Cuando los resultados caen sobre los cuadrantes II y IV, la recomendación resulta bastante directa ya que en el primer caso la recomendación es aceptar la nueva propuesta (menos costosa y más efectiva) y en el segundo caso negarlo (más costosa y menos efectiva). Cuando el resultado cae sobre los cuadrantes I y III, la interpretación es

menos evidente debido a la existencia de un *trade-off* entre mayores costos y mayor efectividad o menores costos y menor efectividad respectivamente, y elección entre la intervención en estudio y su comparador dependerá de la máxima razón de costo efectividad que se está dispuesto a aceptar o pagar (Black 1990, Castillo et al. 2013).



**Figura 2: Plano de costo efectividad incremental (RCEI) para evaluar acciones de desarrollo.**

#### 2.4.2. Umbral de costo efectividad ( $\lambda$ )

El costo-efectividad de una acción particular se puede evaluar comparando su RCEI con un umbral de referencia. Cuando es menor a su umbral, la alternativa se considerará rentable (Black 1990). Pero también se puede establecer por el costo incremental por unidad de beneficio adicional y el costo de oportunidad del presupuesto disponible. Así, una estrategia puede considerarse rentable en comparación con otro, en la medida en que la relación de costo-efectividad incremental (RCEI) es más baja que el umbral de costo-efectividad ( $\lambda$ ), es decir la disposición a aceptar o pagar (Espinoza 2012). Por lo anterior, la ecuación de RCEI se puede reescribir de la siguiente manera:

$$RCEI = \frac{(C2-C1)}{(E2-E1)} < \lambda \quad (2)$$

En un escenario de pago por servicios ecosistémicos hídricos (PSEH), este umbral de costo efectividad ( $\lambda$ ) es una representación del costo de oportunidad del dinero que paga la población para acceder a mejores condiciones de agua (beneficio). Por lo tanto, si el dinero

que cuesta producir una unidad adicional de beneficio con una nueva intervención (RCEI) es menor de lo que la población está dispuesta a pagar ( $\lambda$ ), es coherente adoptar la nueva intervención. Eso significa que una nueva intervención sea costo-efectiva (Villajos 2016).

En el plano de costo-efectividad, la línea recta que pasa por el centro del plano, representa el umbral de costo-efectividad. Por lo tanto, todas aquellas estrategias ubicadas por debajo de esta línea, corresponderán a alternativas costo-efectivas, mientras que todas aquellas por arriba del umbral no son costo-efectivas (Black 1990, Castillo *et al.* 2013); así esta representación es coherente con la regla de decisión presentada en la ecuación anterior.

La mayoría de las investigaciones sobre umbrales de costo-efectividad sugieren que su definición se pueden realizar través de tres enfoques diferentes: la disposición a pagar (DAP) para una unidad de beneficio y que se sustenta en la teoría del bienestar (el valor de una tecnología ya establecida); y el método del costo de oportunidad, que vincula el umbral con el volumen de bienestar desplazado por la nueva tecnología (Soares *et al.* 2018).

Basado en lo anterior, en esta investigación se recurre al método de DAP para definir el umbral de costo-efectividad. Dicho método se sustenta en la teoría del valor económico o el bienestar que un bien o servicio ecosistémico le genera a la sociedad. Sus bases teóricas, a continuación, se desarrolla con mayor detalle.

## **2.5. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**

Como se ha mencionado en capítulos anteriores, los diversos bienes y servicios ecosistémicos que provienen de la biodiversidad y los ecosistemas, proporcionan bienestar a la sociedad y sustentan el desarrollo de la economía. En el caso de los ecosistemas altoandinos, como se ha desarrollado, uno de los más representativos son los servicios de regulación y provisión de agua. Las implicancias de la evaluación y/o valoración económica de los ecosistemas, permite visibilizar todos aquellos beneficios o costos asociados a los cambios en los ecosistemas y que afectan el bienestar de los individuos de la sociedad; de manera que estos valores económicos puedan ser integrados en la toma de decisiones (MINAM 2016).

No reconocer el valor económico los bienes y servicios del ecosistema, significaría que éstos tienen un valor cero, lo cual no solo es contradictorio con las preferencias sociales, sino que también conduce a una asignación ineficiente de recursos y no se estaría maximizando el

bienestar colectivo. Al igual que los bienes privados, el ambiente también enfrenta problemas de escasez relativa, debido a limitada capacidad de otorgar bienes y servicios (finitos); por lo tanto, la decisión de su mejor uso para la sociedad, inevitablemente exige un juicio de valor (Vásquez *et al.* 2007). Sin embargo, las fallas del mercado hacen de que éstas no tengan precios en el mercado, por lo que su valor no queda reflejado en las decisiones de producción y consumo (Labandeira *et al.* 2007).

Así, la valoración permite contar con un indicador de bienestar que orienta la toma de decisiones. Las implicancias en el bienestar de la sociedad, producto de los cambios en los bienes y servicios de los ecosistemas, se estiman por medio de medidas de bienestar, que más adelante se abordan.

### **2.5.1. El concepto de valor económico**

El concepto de valor económico en el campo ambiental, está relacionado con el grado de utilidad de ésta para satisfacer las necesidades o propiciar bienestar humano (Azqueta 2007). Así, el valor de dos alternativas cualquiera, entre las que es posible elegir, dependerá de las propiedades del ambiente.

El problema de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos, desde el punto de vista económico, ha sido la falta de reconocimiento de su importancia o valor económico al no estar totalmente capturados en los mercados (TEEB, 2010); es decir, la existencia de “fallas de mercado”. Al no asignarse tal valor, se presentan las condiciones para el mal uso y el despilfarro de tales recursos, pues no existe una clara definición de los derechos de propiedad. Osorio *et al.* (2004) y Azqueta (2007), resaltan algunos aspectos del valor de los ecosistemas:

- Los ecosistemas forman parte de la función de producción de innumerables bienes y servicios. Por ejemplo, madera para la fabricación de muebles, agua para la producción de alimentos o procesos industriales, suelo, energía, etc
- Por su capacidad de asimilación, los ecosistemas funcionan como un sumidero para muchos de los residuos y desperdicios que genera la actividad económica.
- Forman parte la función de producción de utilidad de las economías domésticas. Por ejemplo, la calidad de salud de una persona está influenciada por la calidad de aire y agua que proporcionan los bosques. Ello reemplaza la necesidad de comprar medicamentos para mejorar la salud si no hubiese un bosque.

El concepto moderno de valor económico, proviene de la idea utilitarista o del nivel de satisfacción que un bien le genera al individuo (Vásquez *et al.* 2007) y se basa en las preferencias individuales de las personas (MINAM 2015). Dicho valor está expresado en unidades monetarias. Desde esta perspectiva, los ecosistemas tendrán valor en la medida que proporcionen beneficios al ser humano. Así, se asume que el individuo es el más indicado para decidir sobre la maximización de su bienestar, lo cual se conoce como soberanía del consumidor.

Con la evolución de la teoría económica neoclásica, Marshall y Dupuit (1804-1866) contribuyeron, de manera independiente, a sentar las bases de la teoría moderna del bienestar, expresados a través de los excedentes del consumidor y del productor. Por su parte John Hicks (1904-1989) definió las medidas de bienestar como resultado de cambios en la utilidad o satisfacción de los individuos. El hecho de que el nivel de satisfacción de los individuos pueda ser expresado en términos monetarios, posibilita la comparación entre distintas alternativas (Vásquez *et al.* 2007).

### **2.5.2. El valor económico total**

Una vez que se conoce el conjunto de beneficios ambientales al cual la sociedad puede acceder, es posible organizarlos en categorías que permite al analista económico aproximarse a los distintos componentes del valor. El valor unitario de cada uno de ellos, permite obtener el valor total de estos bienes o servicios (Azqueta 2007). De esa manera el valor económico total permite estimar el valor total de los recursos que inciden en el bienestar humano. La Figura 03 muestra una clasificación comúnmente utilizada para describir los distintos tipos de valor de los bienes y servicios del ecosistema (Brander *et al.* 2010).

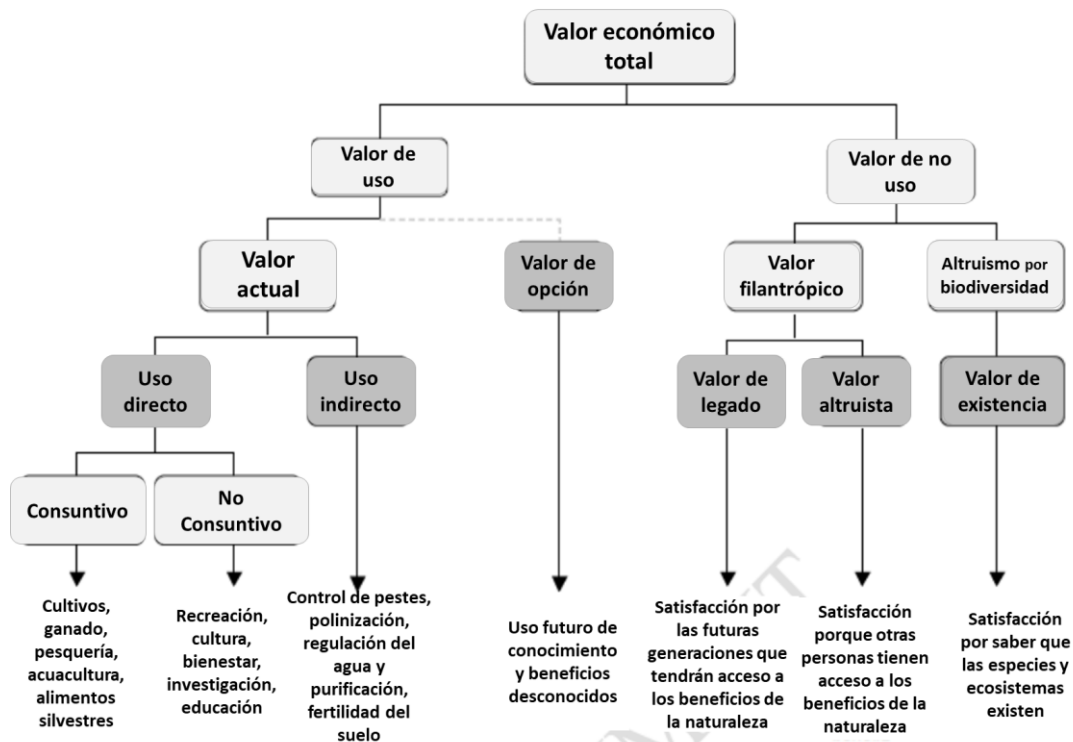


Figura 3: Tipos de valor, dentro del enfoque de valor económico total (Brander *et al.* 2010).

El ambiente puede tener distintos tipos de valor, dependiendo de las personas o grupo de la sociedad. En su clasificación, el consenso indica que el valor económico total que proporcionan los ecosistemas, están compuestos por grandes grupos: valor de uso directo (VU) y valor de no uso (VNU). A continuación, las características de estas (Azqueta 2007, MINAM 2016, Labandeira *et al.* 2007):

- Valor de uso (VU).** Es el más elemental de todos y de utilidad para las personas; por lo tanto, cualquier cambio en su calidad, existencia o accesibilidad, las personas que la usan se verán afectadas (Azqueta 2007, Labandeira *et al.* 2007). El valor de uso está constituido a su vez por los valores de uso directo (VUD) y el valor de uso indirecto (VUI), dependiendo de quién se beneficia. Si se contara con un mercado para el bien, se puede identificar a los demandantes como usuarios directos. Pero si no se cuenta con un mercado primario para el bien, se podría identificar a los usuarios indirectos a través de su comportamiento en un mercado secundario (Alpizar 2015). Algunos ejemplo de estos usos son: el uso de la madera, semillas, recreación, entre otros, como VUD y; la reguación del agua, control de la erosión, regulación del clima, entre otros, como VUI (MINAM 2015).

- **Valor de no uso (VNU).** Para algunas personas, los atributos del ecosistema pueden tener valor de no uso, o un valor ligado a la no utilización consuntiva y no consuntiva presente o futura del bien. También es el deseo de dejar los beneficios de dichos ecosistemas a las futuras generaciones (Azqueta 2007). Comprende el valor de existencia (VE) y el valor de legado (VL). El VL, consiste en dejar los beneficios de los ecosistemas a las generaciones futuras ya sea de manera directa o indirectamente; mientras que el VE, es el valor otorgado a los ecosistemas por el simple hecho de existir, incluso si las personas no realizan ningún uso actual o en el futuro, o no reciban ningún beneficio directo o indirecto de ellos (MINAM 2015, Cárcamo 2013).

### **2.5.3. El valor económico de los servicios ecosistémicos**

Una pregunta económica en el campo ambiental es ¿por qué se requiere un ejercicio de valoración? La valoración permite cuantificar, en términos monetarios, los beneficios que provienen del ambiente, las variaciones en el bienestar producto de un daño ambiental (MINAM 2016) y en el análisis social de costos y beneficios de alguna acción (*ex-ante*). Medir los beneficios o costos es valorar, pues tiene que ver con la mejora, o no de nuestro bienestar (Alpizar 2015). Este razonamiento se refleja cuando se busca encontrar la mejor alternativa para la sociedad; por lo tanto, se requiere un criterio que permita tomar tal decisión, el cual está relacionada con la asignación de valor (Vásquez *et al.* 2007). Como resultado se logra la asignación óptima de los recursos (Labandeira *et al.* 2007).

La herramienta que permite visualizar la importancia de los ecosistemas es la valoración económica. Con ello se traduce en unidades monetarias los cambios en el bienestar de las personas ante variaciones en la calidad o cantidad de los bienes y servicios ecosistémicos. Dado que los bienes y servicios del ecosistema permiten satisfacer una serie de necesidades humanas, entonces las personas deberían estar dispuestas a sacrificar algo de sus recursos (escasos) para poder obtener estos bienes y servicios (Salgado *et al.* 2015). Así, el propósito de la valoración es revelar el verdadero costo del uso y escasez de los recursos naturales (Osorio *et al.* 2004).

Desde el punto de vista hidrológico, la regulación del ecosistema sobre el ciclo hidrológico, tiene influencia directa con diversas actividades económicas. Por ejemplo, un aumento en el flujo de base, cambiará disponibilidad de agua para consumo humano, riego, generación de energía eléctrica, recreación, etc. (Gregersen *et al.* 1987). Dichos cambios marginales

(incluso pequeños) tienen valor en la medida que ellos afectan los beneficios asociados a las actividades humanas o cambian los costos de estas actividades (Osorio *et al.* 2004).

El punto de partida de la valoración económica se sustenta en las teorías del productor y consumidor y sus respectivos excedentes. Tales excedentes son fácilmente visualizables cuando los bienes tienen precios en el mercado; sin embargo, el problema es que la utilidad no es medible ni observable, por ello es que se requiere generar una variación monetaria que sea equivalente al cambio producido en la utilidad (Labandeira, León, & Vásquez, 2007). Es por ello que las variaciones en la calidad y cantidad de bienes y los servicios ecosistémicos, también ocasionan cambios en el bienestar de las personas o la sociedad. En la teoría económica, las medidas de bienestar Hicksianas y Marshallianas, que más adelante se desarrolla, son las que permiten estimar dichos cambios (MINAM 2015, Vásquez *et al.* 2007).

#### **2.5.4. Medidas de bienestar y cambios en los precios**

Considerando que las preferencias de cada individuo es el aspecto más indicado para juzgar sobre su propio bienestar, significa entonces que es este individuo quien puede elegir entre lo que más le conviene del ambiente; en consecuencia, elegirá aquella que le reporte el mayor grado de satisfacción. En este contexto el análisis económico asume que es posible medir el bienestar del individuo a partir de la observación de las elecciones que estos realizan entre varios conjuntos de bienes (Vásquez *et al.* 2007).

En general, el objetivo del consumidor es obtener el mayor nivel posible de satisfacción. Sin embargo, esto conlleva un costo monetario que debe ser asumido por los ingresos del individuo. Es decir, la cantidad del bien que el individuo desea está sujeto a una restricción presupuestal que le impide acceder a ciertos niveles de utilidad (Vásquez *et al.* 2007). Así mismo, el valor tendrá una pendiente negativa debido a la utilidad marginal decreciente (Alpizar 2015).

En el campo ambiental donde los bienes suelen ser públicos, los cambios de precio, su calidad o cantidad influyen el bienestar de las personas; por ello, desde la perspectiva económica, se requiere contar con indicadores de bienestar bajo una métrica adecuada: monetaria. Para medir estos cambios, se tienen tres medidas: variación compensada (VC), variación equivalente (VEq) y el excedente del consumidor (EC). Los dos primeros se



enmarcan dentro de las medidas de bienestar Hicksiana y, el último, dentro de la Marshalliana (MINAM 2015, Vásquez *et al.* 2007).

La solución de estos problemas, se utiliza la función de demanda, la cual depende entre varios factores cuya expresión es:  $q = q(p, p', m, g)$ , donde:

- $q$  = cantidad del bien
- $p$  = precio
- $p'$  = precio de otros bienes
- $m$  = ingreso/presupuesto
- $g$  = gustos

#### a) **Medidas de bienestar Hicksiana**

La función de demanda Hicksiana se sustenta en el nivel de utilidad de los individuos. Por lo tanto, relaciona cantidades demandadas de un bien con el precio de los mismos y el nivel de utilidad que genera este consumo. Dado que la utilidad es un término relacionado con la satisfacción del individuo por el consumo de un bien o el cambio en su disponibilidad, no es observable porque la utilidad no es medible (MINAM 2015). Sin embargo, a partir de la función de gasto (sobre la cual se basa la variación compensada y variación equivalente), que es una transformación monótonica de la función de utilidad, la variación compensada como la variación equivalente constituyen formas directas de obtener medidas de bienestar. Ella proporciona un indicador monetario de la utilidad del individuo, dependiendo de los derechos de propiedad y de la naturaleza del cambio en el bien (Vásquez *et al.* 2007). Es decir que estas medidas expresan el valor, en unidades de dinero, de lo que se gana o se pierde cuando cambia el nivel de bienestar de la persona.

Las medidas de bienestar Hicksiana, considera la variación compensada (VC) y la variación equivalente (VE) como otra forma de medir el excedente del consumidor, que tiene como argumento el nivel de utilidad de los individuos (Labandeira *et al.* 2007).

- **Variación compensada (VC)**

Se define como la máxima cantidad de dinero que un individuo está dispuesto a pagar (DAP) para acceder a un cambio favorable, o la mínima cantidad de dinero que está dispuesto a aceptar (DAA) como compensación por un cambio desfavorable. En el caso de la VC, el individuo tiene derecho al nivel de bienestar de la situación inicial,

ya sea ésta mejor o peor que la respectiva situación final (Vásquez *et al.* 2007). La formulación matemática de la VC es explicada por MINAM (2015).

Si se asume un nivel de cambio en los precios de  $p^0$  a  $p^1$ , el consumidor experimenta una pérdida de bienestar.

$$V(p_1^1, p_2^0, m - VC) = V(p_1^1, p_2^0, m) = U^0$$

Los superíndices 1 y 0 expresan la situación final e inicial, respetivamente. Considerando la dualidad en la teoría del consumidor, se tiene:

$$m - VC = V^{-1}(p_1^1, p_2^0, U^0) = e(p_1^1, p_2^0, U^0)$$

Con lo anterior es posible encontrar la expresión que explicita la variación compensada en términos de presupuesto o ingreso y el gasto, ambos argumentos observables:  $VC = m^0 - e(p_1^1, p_2^0, U^0)$

Considerando que el presupuesto  $m$  implica el gasto mínimo que se incurriría para para alcanzar la utilidad máxima a unos precios y un nivel de ingreso dados, se tiene:

$$m^0 - e(p_1^0, p_2^0, U^0)$$

Por lo tanto, la variación compensada se puede expresar en términos de una función de gasto:  $VC = e(p_1^0, p_2^0, U^0) - e(p_1^1, p_2^0, U^0) = -\Delta e$

Matemáticamente, la representación de este cambio en el gasto es:

$$-\Delta e = - \int_{p_1^0}^{p_1^1} \frac{\partial e(p_1, p_2, U^0)}{\partial p_1} dp_1$$

Por lo anterior, la VC se puede expresar de forma explícita mediante la siguiente expresión:

$$VC - \Delta e = - \int_{p_1^0}^{p_1^1} q_1(p_1, p_2, U^0) dp_1$$

Donde  $q_1 = q_1(p_1, p_2, U^0)$  representa la función de demanda hicksiana. A partir de este enunciado matemático es posible obtener la VC; como una conclusión sobre la base de la función de utilidad indirecta, la función de gasto y la función de demanda hicksiana. Así, la VC permite estimar el impacto en el bienestar del consumidor cuando ocurren cambios en los precios de los bienes y servicios que consume.

- **Variación equivalente (VEq)**

Se define como la máxima cantidad de dinero que un individuo está dispuesto a pagar por evitar un cambio desfavorable, o la mínima cantidad de dinero que está dispuesto a aceptar en compensación por renunciar a un cambio favorable. En este caso el individuo tiene derecho al nivel de bienestar de la situación final (Vásquez et ál., 2007). El MINAM (2015) resume el modelo matemático de ésta:

$$V(p_1^0, p_2^0, m + VEq) = V(p_1^1, p_2^0, m) = U^1$$

La ecuación, al igual que en la VC, nuevamente describe el cambio en el bienestar cuando cambia los precios. En el caso de la expresión anterior, cuando hay un incremento de precio de  $p^0$  hasta  $p^1$ . Entonces la VEq representará la mínima cantidad de dinero que el consumidor está dispuesto a aceptar para que, con los precios originales, alcance el nivel de utilidad final  $U^1$ . Invertiendo, en términos de la función de utilidad indirecta y de la función de gasto, laVEq se puede expresar:

$$m^0 + VEq = V^{-1}(p_1^0, p_2^0, U^1) = e(p_1^0, p_2^0, U^1)$$

Entonces, siguiendo el mismo camino que en la derivación de la VC, la VEq puede expresarse como:

$$VEq = (p_1^0, p_2^0, U^1) - m^0$$

El ingreso inicial puede expresarse como:

$$m^0 = e(p_1^0, p_2^0, U^0) = e(p_1^1, p_2^0, U^1)$$

Al reemplazar la representación anterior en la que se encontró para la VEq, se tiene:

$$VEq = e(p_1^0, p_2^0, U^1) - e(p_1^1, p_2^0, U^1) = -\Delta e$$

En consecuencia, en términos matemáticos la VEq puede explicitarse, escribiendo la siguiente expresión:

$$VEq = \Delta e = - \int_{p_1^0}^{p_1^1} \frac{\partial e(p_1, p_2, U^1)}{\partial p_1} dp_1$$

$$VEq = \Delta e = - \int_{p_1^0}^{p_1^1} q_1(p_1, p_2, U^1) dp_1$$

Esta medida configura el cambio en el gasto que se realiza para llegar al nivel de utilidad final con los precios originales.

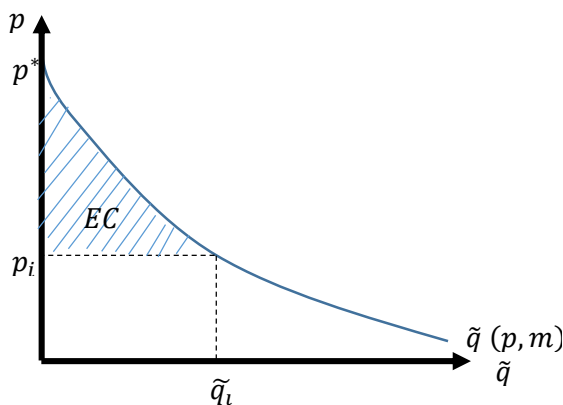
### b) Medida de bienestar Marshallianas

A diferencia de las funciones de demanda hicksianas, las funciones de demanda marshallianas u ordinarias tienen argumentos observables (precios y el nivel de ingreso) por lo que su estimación es relativamente más sencilla; algo que no ocurre con la demanda hicksianas donde el nivel de utilidad no se observa (MINAM 2015). La medida de bienestar marshalliana considera el excedente del consumidor y el excedente del productor.

El excedente del consumidor (EC) es la diferencia entre la utilidad total que el consumidor obtiene de un bien y su precio de mercado; o también, la diferencia entre la disposición a pagar por una determinada cantidad de un bien y lo que efectivamente se paga por éste (MINAM 2015, Vásquez *et al.* 2007). En consecuencia, es la ganancia monetaria obtenida por los consumidores al ser capaces de comprar un producto a un precio menor del que estaban dispuestos a pagar. En otras palabras, representa la valoración del bien o servicio por encima de su precio de compra. El EC, se define como:

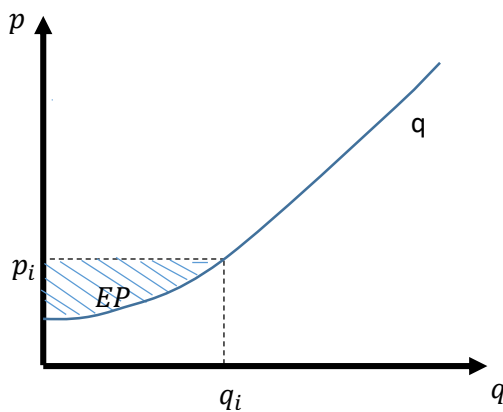
$$EC = \int_{p_1}^{p^*} \tilde{q}_i(p, m) dp_i$$

Donde  $p^*$  es el precio en el cual  $q_i$  es cero, pero se puede utilizar un precio distinto a  $p^*$  y  $m$  es el ingreso.



Mientras que el excedente del productor (EP), es el beneficio adicional que el agente oferente obtienen por la venta de sus productos, ya que son capaces de venderlos a un precio mayor del que estaban dispuestos a cobrar (Mendieta 2005). En otras palabras, la diferencia entre la cantidad que un productor recibe de la venta de un bien y la cantidad más baja que el productor está dispuesto a aceptar por el producto. Cuanto mayor sea la diferencia entre los dos precios, mayor es el beneficio para el productor. El EP se puede calcular mediante:

$$EP = p_1 q_1 - \int_0^{q_1} q_1(p, c, E) dq_1$$



Así, el EC y EP, se utilizan para estimar las variaciones en el bienestar de consumidores o productores resultantes de cambios en los precios.

### 2.5.5. Métodos de valoración económica

El valor del ambiente, conceptualizado teóricamente en los capítulos anteriores, debe ser demostrado mediante la observación de la realidad. De esta manera, los resultados de valoración se podrán utilizar en las decisiones de política ambiental y en las asignaciones de los recursos económicos que impliquen costes ambientales (Labandeira *et al.* 2007).

Existe una amplia variedad de métodos para valorar económicamente los bienes y servicios del ambiente que no tienen precio en el mercado. La elección del método dependerá del objetivo de la valoración, la información disponible, el bien o servicio ecosistémico, el tipo de valor económico, los recursos financieros, el tiempo, entre otros (MINAM 2016). Para la valoración de servicios ecosistémicos, como el caso de los servicios de regulación hidrológica, las aproximaciones metodológicas provienen de dos grandes grupos: a) los

métodos indirectos de no mercado y b) métodos directos de no mercado. El primero se apoya, como su nombre indica, en bienes relacionados con los bienes ambientales que poseen precios de mercado; en tanto el segundo, se basa en la obtención de las preferencias de los consumidores sobre la base de la construcción de mercados hipotéticos que se plasman en cuestionarios estructurados (Alarcón *et al.* 2014).

El proceso de valoración económica del ambiente, normalmente se ha desarrollado para medir los cambios en el bienestar de las personas y la sociedad, a consecuencia de un cambio positivo (mejora en la calidad ambiental) o negativo (empeoramiento de la calidad ambiental) de los bienes y servicios de los ecosistemas que son promovidos por las actividades humanas. Sin embargo, poco se ha utilizado para medir umbrales de costo efectividad; es decir, si la sociedad está dispuesta a asumir los costos de una mejora en la calidad ambiental, a causa de la implementación de una estrategia, programa y/o proyecto. En un contexto de recursos escasos, es evidente que la sociedad es la más idónea para juzgar sobre el mejor uso de su dinero.

#### **2.5.6. El método de Valoración Contingente para establecer el umbral de costo-efectividad**

Soares *et al.* (2018) señalan que una de las herramientas recomendadas para establecer umbrales de costo-efectividad es la disposición a pagar (DAP) para una unidad de beneficio adicional. Para ello, se recopila información directamente de la población mediante encuestas de valoración contingente, o indirectamente, del comportamiento del individuo en el mercado. El método está destinado a obtener el valor máximo que una persona estaría dispuesta a desembolsar para obtener una cantidad determinada de mejora de su bienestar en determinada unidad.

El método de valoración contingente o modelo hipotético, consiste en medir los cambios en el bienestar de las personas en unidades monetarias, cuando hay un incremento o disminución de la cantidad o calidad de un bien o servicio proveniente del ecosistema. Esto, suele expresarse en términos de la cantidad máxima que una persona estaría dispuesta a pagar por dicho bien o servicio. Así mismo, la valoración contingente permite hallar la máxima disposición a ser compensado o a aceptar (DAA) por la pérdida de un bien (Riera 1994, Travezan 2019). Procedimentalmente, en la valoración contingente se aplica un cuestionario estructurado con toda la información relevante que representa a un mercado hipotético, donde el entrevistador representa la oferta del bien o servicio y el entrevistado a

la demanda. Para obtener el valor del bien o servicio ambiental se pregunta a los entrevistados su máxima DAP por medio de una pregunta abierta directa; un juego de licitación; tarjetas de pago, o de elección discreta (“sí” o “no”); seguida de una evaluación estadística de los datos (Riera 1994).

Por lo anterior, la pregunta que surge es sobre lo que se debería plantear: ¿disposición a pagar o de disposición a ser compensado? La polémica surge debido a que los valores que se obtienen son distintos cuando la pregunta se formula en unos términos o en otros. Es decir, que los valores de DAA son mayores a los de DAP, cuando teóricamente las distancias entre uno y otro no deberían ser muy grandes. Esta sobreestimación en el valor del recurso se explicaría, en cierta forma, por la presencia de un efecto ingreso subyacente en la pregunta de DAP. (Riera 1994, Vásquez *et al.* 2007)

El método de la valoración contingente, permite estimar de forma directa el valor que un consumidor asigna a un recurso (ecosistémico) y además es compatible con la teoría económica de las medidas de bienestar Hicksianas. Significa que el consumidor busca obtener el mayor nivel de satisfacción o bienestar posible según sus preferencias individuales; así, el método busca medir el nivel de bienestar del individuo a partir de las elecciones que realiza sujeto a una restricción presupuestal (costo monetario que el individuo asume con sus ingresos). En este punto se utiliza las medidas de bienestar hicksianas: la variación compensada (VC), la variación equivalente (VEq) los cuales permiten medir lo que se gana o se pierde (en unidades monetarias) cuando cambia en el nivel de bienestar de la persona (Riera 1994, Vásquez *et al.* 2007). En la valoración contingente, tal estimación de valor se obtiene directamente de las respuestas de los encuestados. La aplicación de VC y/o VEq dependerá de los derechos de propiedad de la naturaleza del cambio en el bien (Vásquez *et al.* 2007).

#### **2.5.6.1. Consideraciones para el uso de la Valoración Contingente**

Debido al derrame de petróleo causado por la compañía Exxon Valdez en Alaska en 1989, se utilizó la metodología de VC para poder compensar a las personas afectadas por sus pérdidas de los espacios naturales y vida silvestre del área. Dado que el caso generó mucha discusión a favor y en contra, la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) convocó un panel de expertos quienes concluyeron que la valoración contingente es un método bien fundamentado en la teoría económica pero que deben

considerarse ciertas sugerencias teóricas y prácticas que Vásquez *et al.* (2007), resume de la siguiente manera:

- Realizar una buena descripción del bien que se evalúa, explicando los efectos esperados del programa o proyecto que se pretende implementar. Con ello se descartará la posibilidad de compra de “satisfacción moral” por problemas ambientales; así mismo, para evitar el efecto incrustación (*embedding*).
- Las encuestas deben ser personales y apoyarse con el uso de imágenes visuales para describir la situación con y sin proyecto; es decir, que permita al entrevistado hacerse la mejor idea posible respecto a la intervención.
- Utilizar preguntas de carácter dicotómico (sí/no). Así mismo, se sugiere el uso de encuestas en formato referéndum ya que sus estimaciones son más confiables y conservadoras.
- Validar las encuestas con grupos focales para asegurar la comprensión de los entrevistados respecto a la descripción del bien y las preguntas del cuestionario.
- Preferentemente aplicar la DAP sobre la DAA ya que la primera provee valores más conservadores.
- Mostrar claridad y credibilidad del vehículo de pago. Éste debe ser lo más realista posible con el fin de que el entrevistado considere un pago real y no hipotético.
- Es importante recordar sobre las restricciones presupuestarias que enfrenta el entrevistado y también sobre los sustitutos del bien. Se debe aclarar este punto antes de lanzar la pregunta de la DAP para que la respuesta considere tal restricción. También se debe incluir preguntas de seguimiento al finalizar la encuesta para identificar la comprensión del entrevistado sobre el tema y sus razones de su valoración.
- En el caso de que el entrevistado brinde una respuesta negativa sobre DAP, se debe indagar las razones del rechazo. Se recomienda excluir las respuestas de “protesta” en los cuales su valoración, no necesariamente es cero, sino una crítica al mercado hipotético, al vehículo de pago o que representan escepticismo frente a la materialización del proyecto.
- Así mismo, el estudio no solo debe aplicarse a las personas que están familiarizadas con el bien.



### 2.5.6.2. Función indirecta de utilidad

Según Loyola *et al.* (2004) en el formato de valoración contingente, el individuo se enfrenta a una elección de tipo dicotómica: “aceptar o no aceptar una propuesta de pago” ante la posibilidad de acceder a una mejora en la calidad de un servicio. Si lo desea la mejora, tendrá que pagar una cantidad  $p$ , y si no lo desea no tendrá que pagar. Mendieta (2005a) señala que este método consiste en revelar un solo precio al encuestado. Ante ello, el individuo responderá “sí”, si lo acepta, o “no” en caso contrario, por ello el método debe tratar de simular lo mejor posible un mercado donde interactúan los compradores. El método de valoración contingente, según Ardila (1993), se ha popularizado cuando se trata de estimar los cambios en el bienestar de las personas, especialmente cuando en estos cambios se relacionan con bienes y servicios no comerciales como los servicios ecosistémicos.

La estimación del valor de un servicio ambiental tiene su expresión práctica en determinados indicadores o medidas de bienestar; también se sostiene sobre toda la teoría de las funciones de utilidad económica. Si se asume que la utilidad de un bien o servicio ecosistémico tiene una relación directa con su consumo, entonces se puede formular la utilidad o función de bienestar, como  $U = v(X)$ , donde  $X$  es un vector que representa el consumo de un bien o servicio (Zegarra 2017, Valentín 2019).

Según las preferencias de las personas, sus consumos dependerán, a su vez, del ingreso ( $y$ ) y de los precios de los diferentes bienes ( $p$ ); en consecuencia, la función de utilidad de tales individuos se puede expresarse también en la forma indirecta como (Alarcón *et al.* 2014):

$$U_j = v_j(p, y) \quad (3)$$

En la expresión,  $v_j$  es la función de utilidad indirecta,  $j= 0,1$  en una situación inicial y otra modificada, respectivamente;  $p$  es el vector de precios del servicio ecosistémico,  $y$  es el ingreso o presupuesto familiar.

La verdadera valoración del encuestado “C” (DAP), diferente de la propuesta de pago “A” (vector de tarifas – *bid*), no es observable por el investigador. Lo que sí es observable, cuando los encuestados eligen una respuesta, es si C es mayor o menor que A. El individuo aceptará la propuesta de pago A, si se tiene que  $C \geq A$ . Significa que la propuesta de pago por el servicio ambiental es menor o igual a la máxima cantidad de dinero que el individuo estaría dispuesto a pagar (Labandeira *et al.* 2007, Sánchez 2013).

Por lo anterior, si  $\Pr(\text{si}) = \Pr(C > A)$  representa la probabilidad de que el individuo acepte la propuesta de pago, estadísticamente se puede modelar como una probabilidad, considerando de que  $C$  es una variable aleatoria con función de distribución y que  $A$  son los valores que toma esta variable. Siendo así  $\Pr(\text{si}) = 1 - G_c(A)$ , donde  $G_c(\cdot)$  es la función de distribución de  $C$ , que se entiende como la probabilidad de que  $C$  tome valores menores o iguales a  $A$ , esto es, la probabilidad de no aceptar la propuesta de pago,  $\Pr(\text{no})$ . Por lo anterior, se espera que a medida que  $A$  crezca aumente la  $\Pr(\text{no})^2$  (Sánchez 2013).

Como los servicios ecosistémicos no tienen precios en el mercado, entonces la función de utilidad indirecta se puede reescribir a partir de la ecuación (3) en forma más general:

$$U_i = V(Z_i, S) + \varepsilon_i = v(p, q, y, s, \varepsilon) \text{ donde } \varepsilon \sim (0, \sigma), \text{ donde } i = 0, 1 \quad (4)$$

- $p$  es el vector de precios para el bien o servicio ecosistémico; contiene un conjunto de tarifas  $A_i$ .
- $q_i$  es el servicio ecosistémico a la cual está sujeto el nivel de utilidad. Dicha variable incorpora características socioeconómicas de los individuos para modelar sus respuestas a la pregunta relacionada con el vector de precios o pagos (Vásquez *et al.* 2007).
- $\varepsilon_i$  = término de error o componente aleatorio que incorpora elementos desconocidos por el investigador.

Hanemann (1984) y Vásquez *et al.* (2007) formulan el problema como la comparación de dos funciones indirectas de utilidad. Se asume que el entrevistado posee una función de utilidad  $U(q, y, s)$ , que depende de la mejora de la calidad ambiental ( $q$ ) de  $q^0$  a  $q^1$ , por lo cual debe pagar una cantidad  $A_j$  o no tener la mejora y no pagar. Su respuesta estará influenciada por sus ingresos  $y$ , y el vector de características socioeconómicas  $s$ ; es decir:

- $U_1 = p, q^1, y, s, \varepsilon$  ; si se dispone de los servicios ecosistémicos.
- $U_0 = p, q^0, y, s, \varepsilon$  ; de otra manera, por tanto,  $U_1 \geq U_0$

---

<sup>2</sup> Sea  $G_c(\cdot)$ , lo que el investigador asume es cdf (función de distribución) de  $C$ , y  $g_c(\cdot)$ , la correspondiente fdp (función de densidad).

Si la persona encuestada está dispuesta a pagar (DAP)  $p$  soles mensuales para que se proteja y recupere la unidad hidrográfica de Rontoccocha, debe cumplirse:

$$\Pr\{si\} = \Pr\{v(p, q^1, y - A, s, \varepsilon) \geq v(p, q^0, y, s, \varepsilon)\} \quad (5)$$

La lógica de maximización de utilidad establece que el individuo responderá afirmativamente si sólo si  $v(p, q^1, y - A, s, \varepsilon) \geq v(p, q^0, y, s, \varepsilon)$  y negativamente de otro modo. El nivel de indiferencia se alcanza cuando  $A$  iguala a la verdadera valoración del individuo  $C$  que es la máxima DAP de modo que las utilidades se igualan.

$$v(p, q^1, y - C, s, \varepsilon) = v(p, q^0, y, s, \varepsilon) \quad (6)$$

Siendo  $C = y - v^{-1}(p, s, q^1, v(p, s, y, q^0), \eta)$ , donde  $C = C(p, q^0, q^1, y, s, \varepsilon)$ , se interpreta en términos de la variación compensada. Representa su máxima disposición a pagar para el cambio de  $q^0$  a  $q^1$ . Además, es una variable aleatoria por la variabilidad de los parámetros y preferencias de los individuos, expresado en el término de error  $\varepsilon$ . Entonces el modelo estadístico que explica la respuesta de los individuos (la probabilidad de responder afirmativamente a la oferta de pagos) es consistente con la teoría económica de maximización de la utilidad. Lo anterior es correcto siempre que la máxima DAP, es equivalente a alguna medida de bienestar económico (en este caso la variación compensada por una mejora en el servicio ecosistémico) no supere a la oferta de pago  $A$ . Significa que el encuestado al aceptar la propuesta de pago (respuesta afirmativa) obtendrá un nivel de utilidad mayor de que si no lo hubiese aceptado (Sánchez 2013).

Así, la probabilidad de aceptar la propuesta de pago ( $C > A$ ), no sólo será función de la propia oferta de pago  $A$ , sino también de las variables que están detrás de decisiones de los individuos.

$$\Pr\{responder \ "si"\} = \Pr\{C(p, q^0, q^1, y, s, \varepsilon) \geq A\} = 1 - G_c(y, \varepsilon, q, p, A) \quad (7)$$

Un aspecto importante es que la función de demanda por un cambio en la calidad del servicio tiene pendiente negativa (Loyola *et al.* 2004). Luego, es posible realizar supuestos sobre la distribución de probabilidad; para lo cual se usa con frecuencia un modelo Probit, donde los errores tienen una distribución normal; o modelo Logit donde los errores tienen distribución logística. En tal proceso, primero se estiman los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ 's utilizando el método de Máxima Verosimilitud (Mendieta 2005a).

Hanemann (1984), propone una diferencia de utilidad indirecta de tipo lineal; en el cual se espera (como hipótesis) una relación inversa entre  $A$  (tarifa asociada a DAP) y el cambio de utilidad  $\Delta v$ , operativamente representado por la probabilidad de una respuesta dicotómica de pago de la tarifa  $A_j$  (Alarcón *et al.* 2014).

$$(\Delta v)_i = \alpha - \beta A_i + \epsilon_i \quad (8)$$

Bishop y Heberlein (1979) alternativamente sugieren el uso de una función no lineal. Tal forma funcional no necesariamente requiere el supuesto de simetría de la distribución de los errores.

$$(\Delta v)_i = \alpha - \beta \ln(A_i) + \epsilon_i \quad (9)$$

Formas funcionales como Hanemann y Bishop-Heberlein se han propuesto para sustentar la valoración económica y a la vez han sido las más utilizadas y, de hecho, han generado mejores resultados que otros modelos (Vásquez *et al.* 2007).

### 2.5.6.3. Estimación de la disposición a pagar

Los estudios de valoración contingente, se han utilizado estimadores paramétricas como no paramétricas: como el modelo Logit y Turnbull respectivamente. Las estimaciones de ambos dan resultados cercanos, aunque en otras ocasiones se han encontrado resultados contradictorios cuando no se utiliza los intervalos de confianza por ejemplo (Soncco 2007).

En el método paramétrico, como se mencionó antes, procura conocer la probabilidad de aceptar el precio ofrecido o rechazarlo, lo cual será una función del mismo precio y variables socioeconómicas que influyen en la función de utilidad indirecta ( $\Delta v$ ). Con fines prácticos se considera la aproximación de Hanemann (1984) que muestra la DAP como la interpretación teórica del bienestar, se puede desarrollar a partir del modelo de utilidad aleatoria de McFadden (1973), citado por Cruz (2005).

La forma funcional de la aproximación paramétrica es lineal y para la estimación de parámetros su distribución es logística. El modelo *Logit* surge de suponer que la función es logística, lo que da lugar a (Mendieta 2005b):

$$Prob(SI) = Prob(\alpha - \beta p > \eta) = Prob(DAP \geq p) = [1 + \exp(-\alpha + \beta p)]^{-1} \quad (10)$$

donde  $\alpha$  y  $\beta$  son los parámetros desconocidos a estimar a partir de los datos. Si el investigador, a partir de las respuestas a la DAP, desea encontrar la variación compensada (VC), puede definir en un modelo lineal  $V_i$ , es decir:

$$v(1, y - VC; s) - v(0, y; s) = \epsilon_0 - \epsilon_1 \quad (11)$$

Si los errores se distribuyen con un modelo Logit la variación compensada es:

$$VC = DAP = \alpha/\beta \quad (12)$$

Lo cual implica que representa a la primera medida de bienestar de VC: la media de la distribución.  $\alpha$  representa el cambio de utilidad por la mejora del servicio ecosistémico en evaluación y  $\beta > 0$  representa la utilidad marginal del ingreso (constante), la cual aumenta con el ingreso, lo que implica que cuanto más alto sea el precio ofrecido ( $P$ ) al encuestado menor será  $\Delta v$ , en consecuencia, la probabilidad de una respuesta positiva (SI) se reduce (Mendieta 2005b).

En el modelo *Probit* y *Logit*, las medidas de bienestar, prácticamente son iguales; sin embargo, se prefiere el modelo *Logit* porque admite mayor varianza en la distribución del término de error. En el modelo de utilidad lineal la  $V_i$ , la media y la mediana de la VC son iguales (Mendieta 2005b).

Entonces el valor de la DAP que se espera es:

$$E(DAP) = - \int_{-\infty}^0 1 - Gc(p) dp = \log(1 + e\alpha)/\beta \quad (13)$$

Donde  $Gc(p)$  da la probabilidad de VC sea menor o igual que  $p$ , es decir, probabilidad de conseguir una respuesta negativa, y  $1 - Gc(p)$  da la probabilidad que VC sea mayor que  $p$ . Si se generaliza el procedimiento y se incluye el vector  $S$ , la medida de bienestar está dada por (Cruz 2005, Mendieta 2005b):

$$DAP = \frac{\alpha' s}{\beta} = \alpha_0 + \sum_{i=1}^k \alpha_i s_i / \beta \quad (14)$$

Donde:

$s_i$  = Conjunto de característica socioeconómicas que no incluye el ingreso.

$\alpha'$  = Es la transpuesta de vector de parámetros.

$\beta$  = coeficiente del precio  $P$  (utilidad marginal del ingreso).

- **Modelo Probit**

Probit es un modelo que utiliza resultados binarios; es decir que la variable dependiente  $Prob(\text{Decir SI})$  sólo puede tomar dos valores (0 ó 1). En este caso, se supone que el término del error,  $\varepsilon$ , sigue una distribución normal, con  $N(0, \sigma^2)$ . El valor esperado de los errores  $E(\varepsilon) = 0$  y la varianza de los errores es igual a 1,  $var(\varepsilon/\sigma^2) = (1/\sigma^2)var(\varepsilon) = 1$ . Se quiere encontrar la probabilidad de que  $\mu > \varepsilon$ . Para encontrar esta probabilidad es necesaria plantear  $Prob(\mu/\sigma > \varepsilon/\sigma)$ , puesto que  $\varepsilon/\sigma \sim N(0, 1)$ <sup>3</sup> (Mendieta 2005b).

$$Prob(\mu > \varepsilon) = Prob\left(\frac{\mu}{\sigma} > \frac{\varepsilon}{\sigma}\right) = Prob\left(\frac{\mu}{\sigma} > e\right) \text{ donde } e \sim N(0, 1).$$

En un modelo Probit puede darse:

$$Prob(1) \Rightarrow Prob\left(\frac{\mu}{\sigma} > e\right) = Prob(1) = \int_{-\infty}^{\mu/\sigma} n(e)de$$

$$Prob(0) \Rightarrow Prob\left(\frac{\mu}{\sigma} \leq e\right) = Prob(0) = \int_{\mu/\sigma}^{-\infty} n(e)de$$

Entonces, la función de verosimilitud puede ser representada como:

$$L = Prob(SI) - Prob(NO) = \int_{-\infty}^{\mu/\sigma} n(e)de - \int_{\mu/\sigma}^{-\infty} n(e)de$$

Volviendo al modelo de referéndum lo convertimos es un modelo Probit, suponiendo que  $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ . Hacemos la normalización de:

$$\frac{e}{\sigma} = e \sim N(0,1)$$

Resultando:

$$Prob(\alpha - \beta p > \varepsilon) = Prob\left[\frac{\alpha - \beta p}{\sigma} > \frac{\varepsilon}{\sigma}\right] = Prob\left[\frac{\alpha - \beta p}{\sigma} > e\right] = \int_{-\infty}^{\frac{\alpha - \beta p}{\sigma}} n(e)de$$

Entonces la función de Verosimilitud es:

---

<sup>3</sup> Media igual a cero y varianza igual a 1.

$$L = \prod_{si}^{(\alpha, \beta p)/\sigma} \int_{-\infty}^{\infty} n(e) de \cdot \prod_{no}^{(\alpha, \beta p)/\sigma} \int_{-\infty}^{\infty} n(e) de.$$

Para cada individuo  $p_i$  es diferente y donde:

$$n(e) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-e^2/2}$$

Al aplicar el modelo  $\alpha/\sigma$  y  $\beta/\sigma$  y lo que se busca es la máxima disponibilidad a pagar, o aquel valor que permite a la persona entrevistada le sea indiferente entre pagar y recibir el servicio o no pagar y no recibirlo.

$$U_1(y - dap) = U_0(y)$$

$$\alpha_1 + \beta(y - dap) + \varepsilon_1 = \alpha_0 + \beta(y) + \varepsilon_0$$

Considerando que al entrevistado le es indiferente entre pagar o no pagar: acceder o no al cambio ambiental, la disponibilidad a pagar (DAP) puede ser escrita como:

$$dap = \frac{\alpha_1 - \alpha_0}{\beta} + \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_1}{\beta}$$

Normalizando la expresión sacando el valor de la DAP, se obtiene:

$$E(dap) = \frac{\alpha_1 - \alpha_0}{\beta} = \frac{\alpha/\sigma}{\beta/\sigma}$$

Entonces el presente modelo es considerado como un modelo incentivo compatible, siempre y cuando la pregunta acerca de la disposición a pagar esté bien formulada y no sea ambigua (Mendieta 2005b).

- **Modelo Logit**

Cruz (2005) desarrolla con detalle el uso del modelo Logit para la estimación de la DAP. Señala que ésta utiliza una función logística acumulada donde la probabilidad ( $P_i$ ) de aceptar pagar la tarifa indicada ( $A_j$ ) por tener asegurado la provisión del servicio ambiental de los ecosistemas:

$$P_i = E\left(Y = \frac{1}{X_i}\right) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k)}} \quad (15)$$

En la expresión,  $Y = 1$  si la respuesta es afirmativa (sí) y  $Y = 0$  de otra forma (no) respecto a la disposición a pagar y  $X_i =$  variables socioeconómicas del encuestado. Simplificando, se tiene:

$$P_i = \frac{1}{1 + e^{-G_i}} \quad (16)$$

Donde:

$$G_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_i X_i$$

La ecuación (15) y/o (16), es conocida como la función de distribución logística. Se puede ver como  $G_i$  se encuentra entre  $-\infty$  a  $+\infty$ ,  $P_i$  se encuentra entre 0 y 1. Además, se puede observar que  $P_i$  tiene una relación no lineal con  $G_i$  (Cruz 2005).

$P_i$  es la probabilidad de aceptar el precio, por lo tanto,  $(1 - P_i)$  es la probabilidad de rechazar el precio. Esto es:

$$1 - P_i = \frac{1}{1 + e^{-G_i}} \quad (17)$$

Si los datos son agrupados, por ejemplo, en vez de observar 0, 1 para cada observación se observan el porcentaje del valor de agregación para cada precio:

$$\frac{P_i}{1 - P_i} = \frac{1 + e^{G_i}}{1 + e^{-G_i}} = e^{G_i} \quad (18)$$

La probabilidad de que el individuo responda “sí” o “no” a la pregunta de la DAP, se encuentra en el lado izquierdo de la expresión anterior. Luego, logaritmo natural de la expresión y obtener:

$$L_i = \ln\left(\frac{P_i}{1 - P_i}\right) = G_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_i X_i \quad (19)$$

La ecuación (16) es la ecuación Logit operativa o la que se estima, y es una expresión funcional semilogarítmica cuyos parámetros estimados representan semielasticidades. De esta expresión en  $L_i$ , el logaritmo de la razón es lineal en  $X$  y lineal en los parámetros.  $L$  es llamado el modelo Logit para datos agrupados. En vista que datos recogidos no están agrupados, (19) se obtiene por medio de máxima verosimilitud. De esa manera, con los resultados de la encuesta de valoración contingente, se desarrolla un modelo para estimar la probabilidad de la disposición a pagar un monto económico que asegure los beneficios del medio ambiente y/o los



ecosistemas. Basados en las estimaciones, se procede a calcular el promedio de la disponibilidad a pagar (DAP) de la familia de forma mensual (Alarcón *et al.* 2014, Martínez & Dimas 2007).

- **Modelo Turnbull**

A diferencia de los modelos paramétricos, los No paramétricos no necesitan hacer supuestos sobre algo que no es observable como la necesidad de asumir alguna forma para la función de distribución de la DAP (como lo hacen los modelos Logit y Probit) (del Saz Salazar *et al.* 2000). Los modelos no paramétricos ofrecen una alternativa para evadir estos problemas potenciales y poder estimar la media y mediana de la DAP; por ejemplo, el modelo Turnbull.

Los estimadores no paramétricos tiene dos ventajas dentro de las estimaciones de valoración contingente: no es necesario suponer una forma funcional para la distribución de la DAP y es relativamente claro y sencillo de calcular. Sin embargo, se necesita que la muestra de entrevistas sea bastante grande y representativa (del Saz Salazar *et al.* 2000).

Soncco (2007) resume el procedimiento de análisis con el modelo Turnbull, analizando las respuestas negativas a los montos ofrecidos. Por ejemplo, a las personas encuestadas se les pregunta ¿estaría dispuesto a pagar una cantidad  $c_j$ ? El monto  $c_j$  está indexado  $j = (0, 1, \dots, M + 1)$  y  $c_j > c_k$  para  $j > k$ , y  $c_0 = 0$ . Sea  $p_j$  la probabilidad de que el monto de la DAP de la persona encuestada se encuentre en el intervalo de monto de  $c_{j-1}$  a  $c_j$ . Ello se puede escribir:

$$P_j = P(c_{j-1} < DAP \leq c_j) \quad \text{Para } j = 1, 2, 3, \dots, M+1$$

Alternativamente, la función de distribución acumulada (FDA) se puede escribir:

$$F_j = P(DAP \leq c_j) \quad \text{Para } j = 1, 2, 3, \dots, M+1, \quad \text{donde } F_{m+1} = 1$$

Las probabilidades pueden ser estimadas de una forma sencilla. Sea  $N_j$  el número de respuestas “negativas” registradas en cada grupo de monto  $j$  (Soncco 2007).

$$\text{Si } \frac{N_j}{N_j + Y_j} > \frac{N_{j-1}}{N_{j-1} + Y_{j-1}} \quad \text{para todo } j \text{ entre } 1 \text{ y } M, \text{ entonces:}$$

$$P_j \frac{N_j}{N_j + Y_j} - \frac{N_{j-1}}{N_{j-1} + Y_{j-1}}$$

La probabilidad  $N_j/(Y_j+N_j)$  configura la cantidad de individuos encuestados que respondieron “no” al monto ofrecido  $c_j$  en la pregunta sobre su disposición a pagar. Como tal, es un estimador natural de  $F_j$ .

Ya que, el estimador de  $p_j$  puede ser escrito como:

$$P_j = F_j - F_{j-1}, \quad \text{Donde} \quad F_j \frac{N_j}{N_j + Y_j}$$

Según Carson *et al.* (1994) citado por Socco (2007) la DAP esperada se puede escribir como:

$$E(DAP) = \int_0^{\infty} DAP dF(DAP) = \sum_{j=1}^{M+1} \int_{C_{j-1}}^{C_j} DAP dF(DAP)$$

Reemplazando la DAP por el límite inferior de cada intervalo, se obtienen una estimación del límite del valor esperado de la disponibilidad a pagar, dad por:

$$\begin{aligned} E(LB_{DAP}) &= 0 * P(0 \leq DAP < C_1) + C_1 * P(C_1 \leq DAP < C_2) \\ &= + \dots + m_m * P(m_m \leq DAP < C_{m+1}) = \sum_{j=1}^{M+1} C_{j-1} * P_j \end{aligned}$$

Donde  $P_{M+1} = 1 - F_M$  El límite inferior estimado de la disponibilidad es sintóticamente distribuido normal, porque este es una combinación lineal de  $P_i$ , los que son asintóticamente normales.

La ventaja de la aplicación del modelo Turnbull, es la simplicidad en la estimación de la DAP. Solo se requiere de un cuadro que contenga el set de precios a pagar, las respuestas afirmativas o negativas a la oferta ofrecida (si - no) y el número de respuestas (Soncco 2007).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

El esquema general de la investigación (Figura 4) muestra el proceso metodológico general y los diversos análisis que se hicieron. Así mismo, muestra el esfuerzo por comprender el comportamiento biofísico (efectividad) de los ecosistemas y las diversas estrategias en la regulación hídrica y, el análisis económico, para elegir la alternativa rentable y por lo que está dispuesto a pagar la población que se beneficia del agua (población inserta en el PSEH).

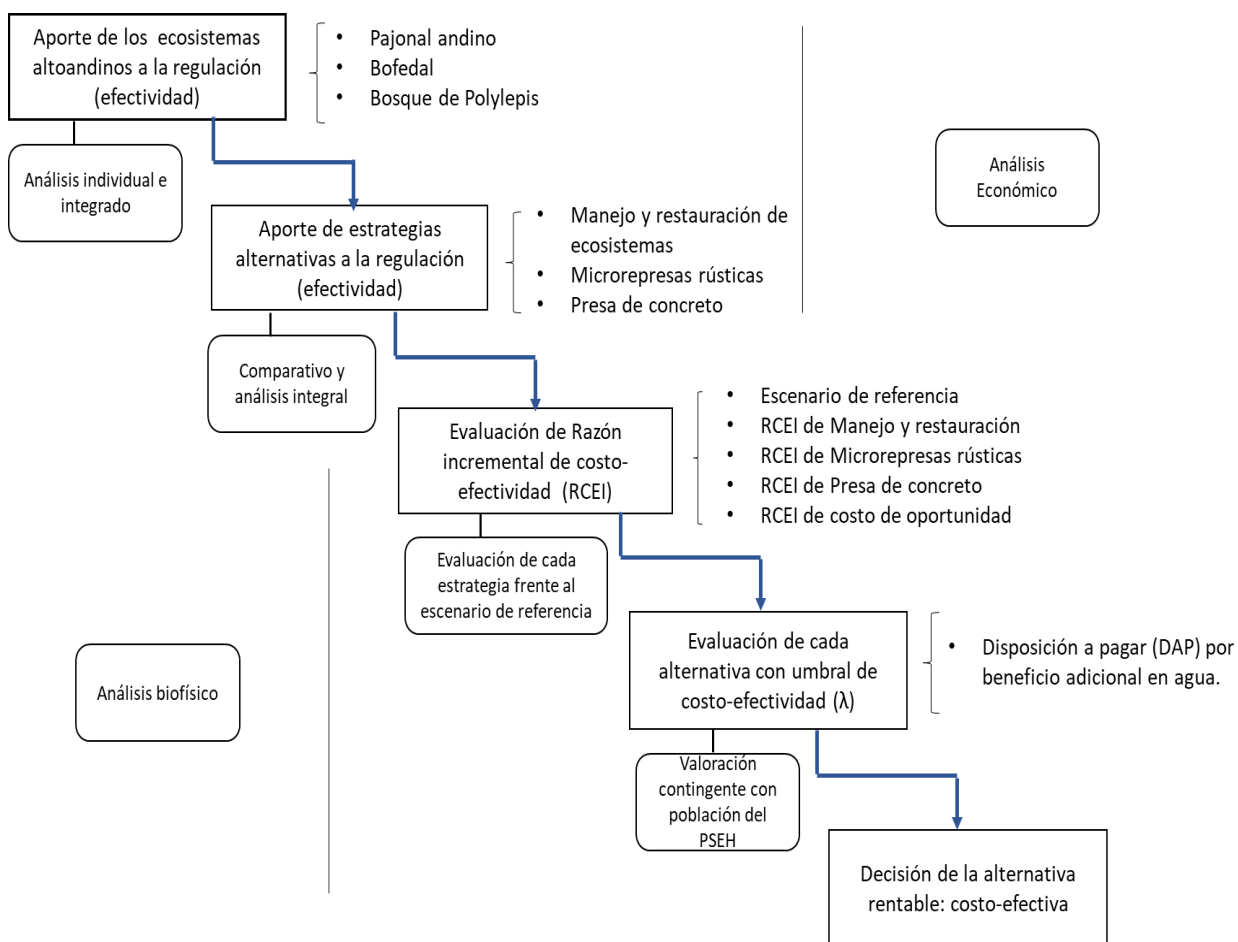


Figura 4. Esquema del proceso de investigación

La investigación sobre el análisis de costo-efectividad, se realizó en la unidad hidrográfica de Rontoccocha, donde se implementa el mecanismo de Pago por Servicios Ecosistémicos hídricos (PSEH) de la cuenca del río Mariño. En dicha zona, se implementan acciones como: a) restauración y manejo de ecosistemas mediante un proyecto de inversión pública (infraestructura natural o verde); b) microrepresas rústicas y; c) se construye una presa de concreto armado.

En este proceso, se siguieron cuatro pasos: (1) cuantificar la efectividad de los ecosistemas en la provisión del servicio ecosistémico de regulación hídrica; (2) Comparar, en términos de regulación hídrica, el aporte de la construcción de presa de concreto y microrepresas rústicas con el manejo de los ecosistemas bajo un escenario de proyectos verdes y pago de costo de oportunidad; (3) calcular la razón de costo-efectividad medio (CEM) y costo-efectividad incremental (RCEI) para cada medida evaluada; (4) evaluar y seleccionar la medida más rentable sobre la base del umbral de costo-efectiva ( $\lambda$ ). A continuación, se profundiza los detalles metodológicos de este proceso.

### **3.1. ASPECTOS GENERALES DEL TERRITORIO**

#### **3.1.1. Ámbito del estudio**

El estudio se realizó en la unidad hidrográfica “Rontoccocha”, ubicado en la cabecera de la cuenca del río Mariño; en esta cuenca se asienta la ciudad Abancay. Abancay es la capital del departamento de Apurímac que cuenta con una población de 72 277 habitantes urbanos, (INEI 2017). La zona de estudio (Rontoccocha) se encuentra entre los 4000 a 4800 msnm entre las coordenadas: 13° 40’ 51’’ latitud sur y 72° 47’ 02’’ longitud oeste.

La unidad hidrográfica de Rontoccocha, tiene un área de 874.56 ha y representa la segunda fuente más importante de agua de consumo humano para la ciudad de Abancay. Los servicios de saneamiento en la ciudad, son administrados por la empresa prestadora de servicios (EPS) Emusap Abancay. Debido al rápido crecimiento de la ciudad de Abancay, tercera capital de departamento con mayor crecimiento urbano a nivel nacional con una tasa anual de 3.5% (INEI 2017); el 2014, la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (Sunass), estableció que el 7.5% de la tarifa agua y alcantarillado sea destinado a un fondo llamado “Mecanismo de Retribución por Servicios Ecosistémicos (MRSE)”, el cual en la literatura internacional se denomina “pago por servicios ecosistémicos”. Así desde el 2018 se inicia

con el cobro por MRSE, cuyo fondo está destinado a financiar acciones de conservación en la unidad hidrográfica de Rontoccocha.

### 3.1.2. Características climáticas

El estudio de la hidrología de la cuenca del río Mariño (GRA 2013), indica que los valores de precipitación para la unidad hidrográfica de Rontoccocha, están entre (625 < P < 1561 mm) y en promedio 1122.39 mm (Cuadro 1). En general, el comportamiento climático de la zona, es homogéneo, con un corto período de lluvias intensas que inicia en diciembre y culmina en marzo; de mayo a setiembre es la temporada seca y los meses de octubre, noviembre y abril son meses relativamente húmedos con lluvias ocasionales (GRA 2013).

La temperatura promedio fluctúa entre los 10 – 5 °C dependiendo de la época, con una máxima de 24°C en noviembre y -8°C como mínima en julio. El promedio anual de humedad relativa es de 87 %, registrándose la más baja en noviembre (81%) y la más alta en febrero y marzo (93%).

**Cuadro 1: Precipitación media mensual de la unidad hidrográfica de Rontoccocha (mm).**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Pp Max	437.2	389.7	474.1	159.3	86.9	62.8	70.8	94.7	108.3	184.9	208.0	287.8	1561.7
Pp Pro	220.3	214.6	182.0	68.1	22.4	13.9	16.7	23.3	37.8	80.8	97.7	145.0	1122.4
Pp Min	32.2	57.0	44.7	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	5.9	34.9	652.3

FUENTE: GRA (2013), sobre la base de información histórica 1965 – 2010.

### 3.1.3. Características cobertura y suelo

El territorio presenta cinco tipos de ecosistema y cobertura: pajonal de puna húmeda, bofedal (humedal), bosque relicto altoandino (bosque de Polylepis y/o queñual) y lagunas naturales (la más importante, Rontoccocha); también existe afloramiento rocoso (Figura 6). Topográficamente se caracterizan porque son relativamente llanos a poco inclinados, pero también tienen pendientes suaves, los cuales fueron formados por las dinámicas de las glaciaciones del pasado (GRA 2010).

Las características de los suelos, en general tienen una textura franca, con variaciones para praderas (franco – arcillo – arenoso), bofedales (Franco- arenoso y orgánico) y bosques

(franco – arenoso) (GRAb 2013, 2018). Otras características de los suelos de la zona es que tienen un pH neutro; así mismo, la velocidad de infiltración es moderada en suelos francos y franco – arcillosos y rápida en suelos franco – arenosos.

### **3.2. OB. 1: CUANTIFICAR LA EFECTIVIDAD DE LOS ECOSISTEMAS ALTOANDINOS EN LA REGULACIÓN HÍDRICA**

Para conocer la capacidad de regulación hídrica de los ecosistemas de la zona de estudio, se ha modelado su balance hídrico por medio de la herramienta eco-hidrológica Hydrobal desarrollado por Bellot y Chirino (2013). Este es modelo determinístico que tiene el objetivo de evaluar el papel de la cubierta vegetal sobre el agua en el suelo y la recarga de acuíferos (Touhami 2014). La ventaja de esta herramienta frente a otras, es que considera el tipo de vegetación como un factor importante en la regulación hídrica; al respecto, Zhan *et al.* (2001) señala que la mayoría de los modelos de balance, no suelen considerar el rol de vegetación en dicho proceso; sin embargo, señala que los cambios de vegetación en las cuencas hidrográficas han demostrado ser importantes dado que están relacionados con la evapotranspiración. Por ejemplo, los bosques aumentan la evapotranspiración de las cuencas en comparación con las praderas.

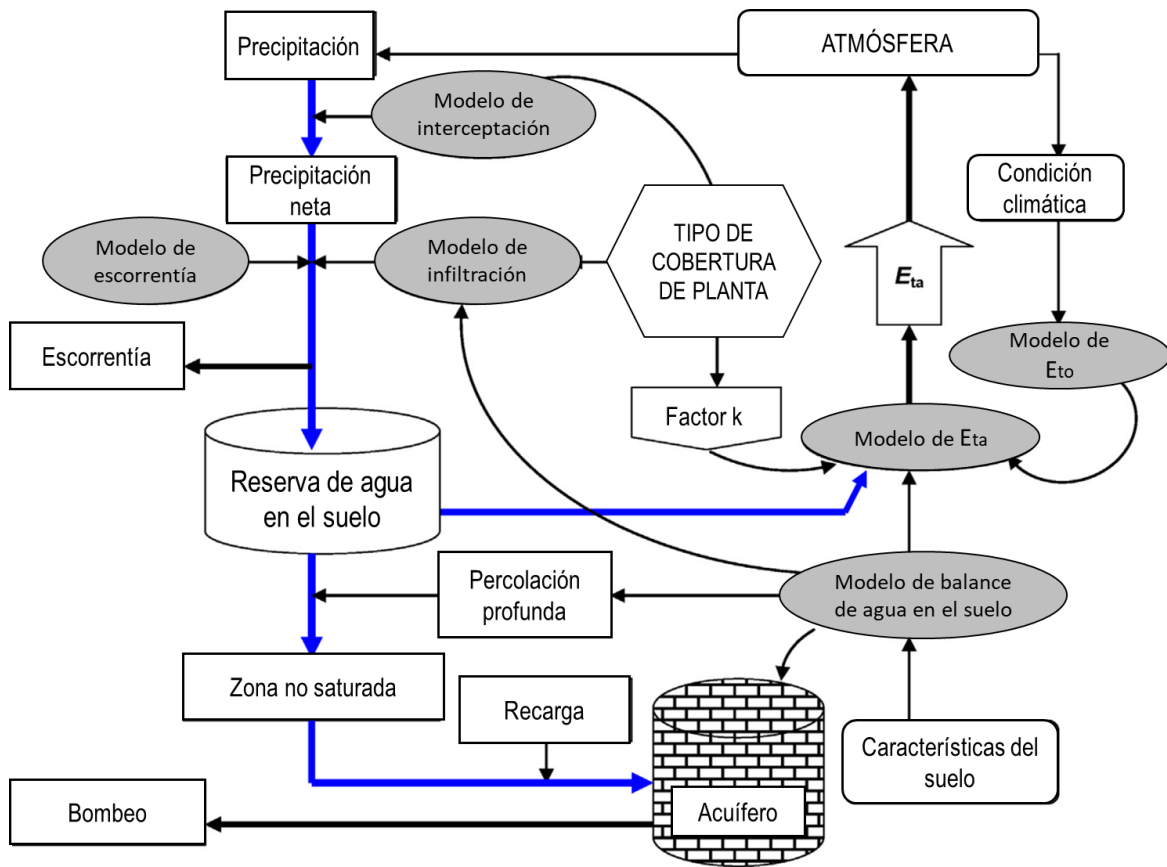
Hydrobal es un modelo que integra las condiciones meteorológicas, las características de la vegetación y los procesos del suelo a escala de parcela en ecosistemas dominados por diferentes tipos de vegetación. El modelo utiliza un conjunto de parámetros de parcelas (suelo y cobertura vegetal) y datos meteorológicos diarios estándar (evapotranspiración de referencia y precipitación). Con ello, las salidas permiten estimar componentes eco-hidrológicos de: evapotranspiración real, interceptación, escorrentía superficial, el contenido de agua del suelo y la recarga de acuíferos (drenaje profundo). Así, el modelo trabaja en función de la siguiente ecuación:

$$ASWC = P - Int - Eta - Rof - Pc$$

Donde:

- $\Delta SWC$  = contenido de agua en el suelo
- P = Precipitación
- Int = Interceptación
- Eta = Evapotranspiración real

- Rof = Escorrentía superficial
- Pc = Percolación profunda



**Figura 5: Diagrama de flujo de la estructura de Hydrobal.**

En la figura 5, la línea azul muestra los procesos principales del modelo en el ecosistema: el ingreso de agua por precipitación que es interceptado por la vegetación y queda como lluvia neta que alcanza el suelo. A partir del suelo, parte del agua se pierde por evapotranspiración ( $E_{ta}$ ), otra por escorrentía y otra se infiltra hacia la zona saturada. Finalmente, el agua llega al acuífero como recarga (Bellot y Chirino 2013).

### 3.2.1. Obtención de datos para el modelo Hydrobal

Para el modelo, se han obtenido datos climáticos, datos de las características de la vegetación y el suelo. Los datos climáticos como precipitación y evapotranspiración potencial se obtuvieron del estudio hidrológico de la cuenca Mariño elaborado por el Gobierno Regional de Apurímac que procesa datos históricos desde 1965 – 2010 (GRA 2013a) y del servidor Nasa Giovanni (Giovanni 2018) que contiene parámetros geofísicos de varios satélites de observación de la tierra. Así mismo, esta información se complementa con datos registrados

en la zona de investigación mediante un pluviómetro automatizado o conectado a un *datalogger* (HOBO) que registró el período hidrológico durante el 2015 – 2016.

Los datos de suelo, como textura, humedad, densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchitez permanente y porosidad se obtuvieron de trabajos de campo y análisis de laboratorio, los cuales fueron contrastados con los resultados del estudio agrológico de la cuenca Mariño (GRA 2013b) y estudio de calidad de suelos (GRA 2018).

**Cuadro 2: Principales características del suelo de las unidades de análisis (coberturas)**

	Porosidad (%)	Hum. (%)	Pmp (%)	Cc (%)	Prof. (cm)	Textura
Pajonal	40.3	10	12.1	26.5	40	Franco arenoso arcilloso
Bofedal	86.23	18.5	15.5	29.2	50	Franco arenoso orgánico
Bosque relicto de Polylepis	62	8	8	17.6	20	Franco arenoso, con abundante lecho rocoso.

FUENTE: Elaborado con base en información de campo, estudio agrológico de la cuenca Mariño (GRA 2013b) y estudio de calidad de suelos (GRA 2018).

Humedad inicial (Hum. i), Humedad máxima (Hum. ii), Punto de marchitez permanente (Pmp), Capacidad de campo (Cc), Profundidad (Prof).






Los datos de cobertura, principales especies, profundidad de raíz, se identificaron mediante trabajos de campo y material cartográfico a escala de análisis 1/100,000 del proyecto: “Validación y Publicación de la Zonificación Económica y Ecológica (ZEE) de la región Apurímac”, el cual contiene datos acerca de las principales características geográficas relativas a la hidrografía y cuerpos de agua, los cuales sirven como soporte para levantar la información temática del mapa de cobertura. Para la actualización de la cobertura y uso de la tierra se ha utilizado imágenes satelitales Sentinel-2 descargadas del servidor *Copernicus* (Agencia Espacial Europea 2018).

En este trabajo se ha identificado cinco (05) principales coberturas: Pajonal de puna húmeda, bofedal, bosque relicto altoandino de Polylepis, afloramiento rocoso y laguna (Figura 6 y Cuadro 3). Sin embargo, es necesario aclarar que el análisis de la presente investigación se centra en los tres primeros ecosistemas (Pajonal andino, bofedal, bosque de Polilepys) y en el siguiente capítulo se compara el desempeño de los ecosistemas con los cuerpos de agua (laguna).

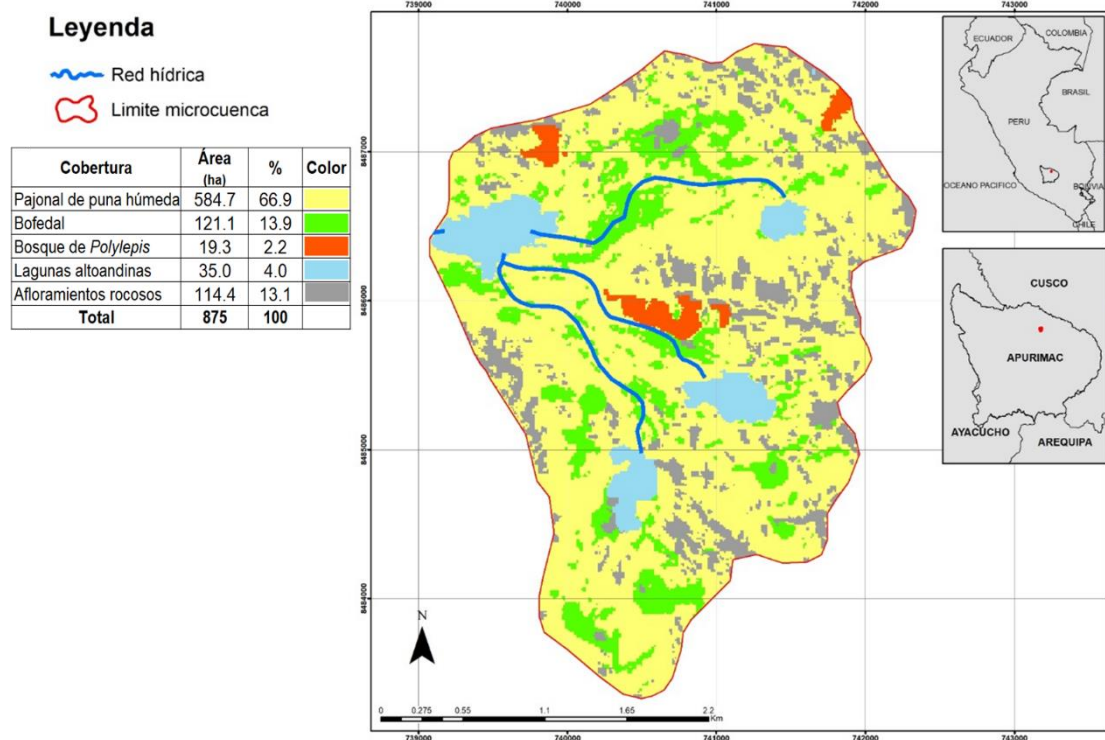


En los ecosistemas de bofedal y pajonal, las principales especies que se han identificado y que dominan la cobertura son: *Calamagrostis sp*, *Carex sp*, *festuca sp*, *Hordeum muticum*, *Hypochoeris taraxicoides*, *Muhlenbergia peruviana*, *stipa ichu*, *Eleocharis albibracteata*, *Agrostis Tolucensis*, *Aciachne pulvinata*, *Distichia sp*. Estas especies configuran praderas densas cuya cobertura oscila entre el 80 – 95%. Así mismo, el ecosistema de bosque de *Polylepis* (relicto), está casi exclusivamente dominado por la especie de *Polylepis sp* cuya cobertura llega al 70% y 30% de suelo desnudo.

**Cuadro 3: Área de los ecosistemas y coberturas de la unidad hidrográfica de Rontoccocha.**

Ecosistema/cobertura	Área (Has)	%	Color
Pajonal de puna húmeda	584.71	66.86	
Bofedal	121.14	13.85	
Bosque de <i>Polylepis</i>	19.30	2.21	
Laguna	35.01	4.00	
Afloramientos rocosos	114.40	13.08	
<b>Total</b>	<b>874.56</b>	<b>100.00</b>	

FUENTE: Elaborado con base en el estudio de ZEE Apurímac.



**Figura 6: Ámbito de estudio, unidad hidrográfica Rontoccocha.**

Una vez recopiladas todas las variables que caracterizan los ecosistemas en estudio (unidades experimentales), el segundo paso en este trabajo es la introducción de datos en el modelo eco-hidrológico Hydrobal.

### 3.2.2. Aplicación del modelo eco-hidrológico Hydrobal

Como se mencionó, Hydrobal fue desarrollado para explorar el efecto de la vegetación en los procesos de infiltración (Bellot & Chirino 2013, Touhami 2014). El modelo estima la humedad diaria del suelo y predice el drenaje profundo desde la zona insaturada del suelo hacia el acuífero según la ecuación de balance que antes se mencionó. Las variables de entrada se agrupan en tres. a) climáticos: precipitación diaria y evapotranspiración potencial; b) características del suelo: capacidad de campo, punto de marchitez, humedad inicial, porosidad; y c) características de la vegetación: tipo de cobertura (ecosistemas), grupo de especies, porcentaje de cobertura de cada grupo de especies por capas. Las principales variables de salida incluyen: evapotranspiración real, escorrentía, humedad diaria del suelo y drenaje profundo o recarga.

El modelo Hydrobal, fué ajustado con el factor  $k$ , el cual es un parámetro empírico que representa la capacidad de transpiración de la vegetación a partir de sus características ecofisiológicas. Cuando el factor  $k$  se aproxima a cero ( $< 0.035$ ), indica ecosistemas semi áridos y cuando se aproxima a 0.1, indica ecosistemas húmedos (Specht & Specht 1993). El detalle de las variables insertadas en el modelo Hydrobal, se muestra en el Cuadro 4.

**Cuadro 4: Variables climáticas, suelo y vegetación (ecosistemas y biodiversidad) ingresados en el modelo ecohidrológico Hydrobal.**

Variables	Características	Fuente
Precipitación	Diaria (2015)	Evaluación de campo Estudio hidrológico de la cuenca Mariño (GRA 2013a).
Evapotranspiración potencial	Diario en base a promedio mensual	Estudio hidrológico de la cuenca Mariño (GRA 2013a).
Porosidad	Pajonal = 40.3 Bofedal = 86.23 Bosque = 62	Estudio agrológico de la cuenca Mariño (GRA 2013b) y Estudio de calidad de suelos (GRA 2018).
Humedad	Pajonal = 10 Bofedal = 18.5 Bosque = 8	Estudio agrológico de la cuenca Mariño (GRA 2013b) y Estudio de calidad de suelos (GRA 2018).
Punto de marchitez	Pajonal = 12.1 Bofedal = 15.5 Bosque = 8	Estudio agrológico de la cuenca Mariño (GRA 2013b) y Estudio de calidad de suelos (GRA 2018).

Capacidad de campo	Pajonal = 26.5 Bofedal = 29.2 Bosque = 17.6	Estudio agrológico de la cuenca Mariño (GRA 2013b) y Estudio de calidad de suelos (GRA 2018).
Biodiversidad/ ecosistemas	Pajonal = 64.79% Bofedal = 15.20% Bosque = 2.43% Suelo desnudo/ roca = 13.75	Evaluación de campo Estudio de Zonificación Ecológica y Económica (ZEE) de la región Apurímac (GRA 2010) e imágenes satelitales Sentinel-2 de la Agencia Espacial Europea (2018).
% de cobertura según especies	Pajonal = 95% Bofedal = 95% Bosque = 70%	Evaluación de campo.
Interceptación	Pajonal = 0.99 Bofedal = 0.99 Bosque = 0.87 Suelo desnudo = 1	(Valencia & Tobón 2017)
Factor k de evapotranspiración	Pajonal = 0.06 Bofedal = 0.08 Bosque polylepis = 0.06	(Specht & Specht 1993)

FUENTE: Elaborado con base en literatura revisada.

El modelamiento en los ecosistemas con Hydrobal se realizó de manera ordinaria aplicando los parámetros del cuadro anterior (4). Sin embargo, se realizaron algunos ajustes:

- Para el pajonal de puna y boque de Polylepis, dado que Hydrobal no incorpora la pendiente en el modelamiento, suele subestimar el resultado de escorrentía superficial; por ello, se corrigió dicho resultado, calculándolo mediante el método de Número de Curva, desarrollado por el Soil Conservation Service del departamento de Agricultura de los Estados Unidos, y ampliamente extendido y utilizado por su simplicidad y fácil entendimiento (Mishra & Singh 2003). Para conocer dicho parámetro, se calcula lo que se denomina coeficiente de escorrentía o la proporción de lluvia que se transformará en escorrentía superficial (lluvia neta). Dicho coeficiente dependerá de factores meteorológicos, geográficos, hidrogeológicos y biológicos, que para el estudio se han considerado los siguientes valores de Número de Curva, considerando la cobertura del suelo, pendiente y condición hidrológica del suelo:
  - Pajonal: 58
  - Bosque de Polylepis: 36

Con la información anterior, se ha calculado el umbral de escorrentía, mediante la siguiente expresión:

$$P_0 = \frac{508}{N} - 5.08$$

- Donde  $N$  es el Número de Curva

Luego se calcula la lluvia neta caída dada día, considerando la lluvia acumulada y el umbral de escorrentía.

$$P_n = \frac{(P - P_0)^2}{(P + 4P_0)}$$

Finalmente se obtiene el coeficiente de escorrentía a partir de la lluvia diaria, mediante la expresión:

$$C = \frac{P_n}{P}$$

- Para el caso de bofedal se ha reajustado los niveles de infiltración profunda, debido a que se trata de un ecosistema de tipo humedal o pantanoso. Para ese caso, se hicieron mediciones de profundidad del nivel freático en época seca. El promedio de dichas profundidades arroja 18.45cm o 185.5 mm, lo cual representa el nivel máximo de regulación o almacenamiento de agua; es decir, corresponde a la altura máxima de regulación del ecosistema, lo excedente, saldrá del sistema a manera de escorrentía pues el suelo del bofedal estará saturado.

### **3.3. OB. 2: CUANTIFICAR LA EFECTIVIDAD DE ESTRATEGIAS ALTERNATIVAS EN LA REGULACIÓN HÍDRICA**

Esta etapa consiste en medir la efectividad en la regulación hídrica de la presa de concreto (Rontoccocha) y los sistemas de represamiento rústico de la zona de estudio; es decir, una medición del balance hídrico en dichos sistemas, que permita conocer el agua que se logra regular tanto a nivel superficial como subterráneo. Luego, los resultados se comparan con la capacidad de regulación hídrica que ejercen los ecosistemas altoandinos, descritos en el objetivo 1.

La metodología aplicada para este fin, básicamente consiste en dos: para el cálculo del agua almacenada en la parte superficial de los cuerpos de agua, mediante mediciones de batimetría y; para el agua subterránea, mediante ecuaciones de balance hídrico que más adelante se detalla.

### **3.3.1. Los cuerpos de agua de la unidad hidrográfica de Rontoccocha**

La unidad hidrográfica de Rontoccocha, se encuentra en la cabecera de cuenca del río Mariño y es la segunda fuente de agua más importante para la ciudad de Abancay. En este territorio se encuentra la presa de Rontoccocha y microrepresas rústicas de Jayllahuasi Alto y Solimaniq Bajo, éstos últimos construidos por las propias comunidades campesinas de la zona.

- La presa de Rontoccocha, es una infraestructura de concreto que ha sido construido sobre la antigua laguna natural del mismo nombre. Posee un dique de 2.70m de altura y un área de 15 ha. Actualmente está en proceso de implementación un nuevo proyecto de ampliación de la presa de Rontoccocha, cuyo nuevo dique llegará hasta los 14m de altura en el cual se espera almacenar un total de 2.3 millones de m<sup>3</sup> de agua.
- Las microrepresas rústicas (qochas), son construcciones basadas en conocimientos tradicionales, cuyos diques se han instalado en hondonadas naturales para retener el flujo de agua y así formar pequeñas lagunas artificiales. Los diques, están hechos a base de piedra y terrones de tierra (champas). El objetivo de éstas es almacenar agua, pero también ayudar a la infiltración y la recarga del acuífero (Valer *et al.* 2015). En la zona de Rontoccocha, las microrepresas rústicas se encuentran en la quebrada (microcuenca) aledaña a la laguna de Rontoccocha. En total existen seis microrepresas; sin embargo, para el presente estudio solo se ha elegido a dos que no tienen influencia o aporte continuo de agua superficial: Jayllahuasi Alto y Solimaniq bajo.

### **3.3.2. Balance hídrico de los cuerpos de agua y estimación del almacenamiento subterráneo**

El balance hídrico busca comprender la dinámica de los cuerpos de agua en la unidad hidrográfica de Rontoccocha y las microrepresas rústicas. Esto significa que ello depende de su profundidad, la longitud, el ancho, el área en superficie, el material que subyace la cuenca y el reservorio, la cobertura del suelo circundante, factores climáticos y las corrientes superficiales de entrada y salida de caudal (Cañón & Rodríguez 2001, Hayashi & Van der Kamp 2007). Evaluar el almacenamiento y/o regulación de un cuerpo de agua pequeño (como el de una laguna), depende la relación existente entre volumen, área y la altura del espejo de agua (Hayashi & Van der Kamp 2000, Rodríguez-Rodríguez

*et al.* 2002, Westbrook & Van der Kamp 2010); parámetros que han sido evaluados en campo para este objetivo.

$$Q_{in} - Q_{out} = A \frac{dh}{dt}$$

$Q_{in}$ , representa la suma de todos los ingresos de agua que recibe la laguna,  $Q_{out}$  es la suma de todas las salidas del cuerpo de agua;  $A$  representa el área de la superficie del cuerpo de agua y  $dh/dt$  es la tasa de cambio del nivel del agua ( $h$ ). Se debe resaltar  $A$  representa el área cubierta por el agua lo cual es normalmente dependiente de  $h$  (el alto del área cubierta por el agua).

Así mismo, para conocer el balance general de los cuerpos de agua evaluados, se usó la ecuación volumétrica de balance de agua, aplicado para lagunas de montaña de Lynn *et al.* (2006).

$$\Delta S = \Sigma Q_{in} + P - E - Q_{out} + Q_{Gwin} - Q_{Gwout}$$

Donde:

- $\Delta S$  = Cambio en el almacenamiento de agua
- $\Sigma Q_{in}$  = Suma de los ingresos de fuentes de agua superficial
- $P$  = Precipitación
- $E$  = Evaporación
- $Q_{out}$  = Salida de agua por fuentes superficiales
- $Q_{Gwin}$  = Ingresos de agua subterránea
- $Q_{Gwout}$  = Salidas de agua subterránea

Dado que la entrada y salida de agua subterránea no se midieron directamente, la ecuación de balance de agua se simplificó de la siguiente manera (Lynn *et al.* 2006):

$$\Delta S = \Sigma Q_{in} + P - E - Q_{out} + Q_{Res}$$

En la ecuación anterior,  $Q_{Res}$  o agua residual subterránea, es la cantidad neta de entrada y salida de agua en una laguna. En el presente estudio, el balance hídrico y recarga de acuíferos

de la presa de concreto y microrepresa rústica, se ha modelado para el período hidrológico de mayo del 2018 a abril del 2019. Para lo cual se han tomado los siguientes parámetros:

**a) Medición de ingreso de agua superficial**

Se hicieron mediciones de ingresos de agua superficial en la laguna Rontoccocha y las microrepresas rústicas, medidos de forma manual con una frecuencia de 15 días. La Laguna Rontoccocha, tiene un total de siete ingresos, los cuales se han sumado para tener un valor único; mientras que las microrepresas rústicas solo tienen una vía de ingreso que solo aparece en época de lluvia. Para los meses más lluviosos, cuando el caudal se incrementa y dificulta su medición, los estimados se han comparado con las mediciones del estudio hidrológico de la cuenca Mariño (GRA 2013a).

Mientras tanto, las descargas en la laguna Rontoccocha, se han obtenido de los registros de la EPS Emusap Abancay, quien registra semanalmente (a partir del 2008) el agua que usa para abastecer de agua a la población de Abancay; como del estudio hidrológico de la cuenca Mariño (GRA 2013a). Para validar dichos datos, se hicieron mediciones directas en el punto de reboce de la presa. Para las microrepresas rústicas, los datos de descarga se midieron cada 15 días.

Adicionalmente, tanto en la laguna Rontoccocha como las microrepresas rústicas, se hicieron mediciones del nivel de agua para ver los cambios de volumen durante el período evaluado.

**b) Datos meteorológicos**

Los datos de precipitación, como se mencionó para el objetivo 1, se obtuvo de los registros en la zona de investigación, mediante un pluviómetro automatizado conectado a un *datalogger* (HOBO) del período hidrológico del 2015-2016. Así mismo, dichos datos contrastaron con los resultados del estudio hidrológico de la cuenca Mariño elaborado por el Gobierno Regional de Apurímac que procesa datos históricos desde 1965 – 2010 (GRA 2013a).

**La evaporación media anual (EMA)**, debido a que en la zona de estudio no se tiene estaciones que registren directamente la evaporación, los datos se obtuvieron del estudio de Línea de Base de Meteorología e Hidrología del Proyecto Minero Las Bambas

(Golder Associates 2010); proyecto que se encuentra a 70 km de la unidad hidrográfica de Rontoccocha. El área de las Bambas, comparte características similares con la zona de estudio como los ecosistemas de pajonal de puna y la altitud que se encuentra entre los 4475 y 3900 msnm. Para el cálculo del EMA, el estudio utiliza el Atlas de Evaporación del Perú (SENAMHI 1994), nueve (09)<sup>4</sup> estaciones del SENAMHI<sup>5</sup> ubicadas en las regiones de Cusco y Apurímac y cuatro (04) estaciones locales<sup>6</sup>; todas ubicadas entre los 3000 – 4100 msnm. Como resultado, la evaporación media anual es de 714 mm (Cuadro 5).

**Cuadro 5: Distribución estimada de la Evaporación.**

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
45	37	42	48	59	65	72	77	72	74	67	55	714

FUENTE: Golder Associates (2010)

De lo anterior, se aprecia que los mayores valores de evaporación se registraron entre los meses de julio a noviembre, cuando la cobertura nubosa es escasa y las temperaturas del aire son altas durante el día. Durante los meses de enero a abril, los niveles de evaporación son menores debido a la mayor saturación de humedad de la atmósfera e incremento de precipitaciones durante ese periodo.

### 3.3.3. Estimación del almacenamiento de agua superficial

Para conocer cuanta agua se almacena de manera superficial por efecto de la construcción de la presa y/o diques de la laguna Rontoccocha y de las microrepresas rústicas respectivamente; se hizo mediciones de batimetría, un procedimiento sencillo de Masser & Jensen (1991) que permite conocer la profundidad media y luego se multiplica con el área cuerpo de agua.

$$\text{Vol} = \text{área} \times \text{prof. media}$$

El área de los cuerpos de agua se obtuvo mediante SIG, mientras que para la profundidad se hicieron con mediciones de 20 puntos para las microrepresas rústicas y 188 puntos en la presa de Rontoccocha.

<sup>4</sup> Estaciones: Chalhuanca 2, Antabamba, Acomayo, Paruro, Sicuani, K' Ayra, Anta, Urcos, Combapata

<sup>5</sup> Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

<sup>6</sup> Estaciones: pamputa, Progreso, Huanacopampa y Fuerabamba.



### **c) Comparación de la capacidad de regulación hídrica entre las diferentes opciones**

Esta comparación se realizó entre la capacidad de regulación que tienen los ecosistemas de pradera de puna y bofedales (calculado en el objetivo 1) frente a la presa de Rontoccocha y los sistemas de represamiento rústico que se calcularon en el presente objetivo (N° 2).

## **3.4. OB. 3: ESTIMAR LA RAZÓN COSTO-EFECTIVIDAD INCREMENTAL (RCEI) DE CADA ALTERNATIVA DE REGULACIÓN HÍDRICA**

### **3.4.1. Análisis de razón de costo efectividad incremental (RCEI)**

En el presente objetivo, se analiza la razón de costo-efectividad incremental (RCEI) del manejo de los ecosistemas y las tres estrategias de regulación hidrológica alternativa: represamiento rústico y construcción de presa de concreto. Los beneficios están expresados en volumen de agua regulada y los costos, en términos monetarios o los recursos necesarios en los que se incurre para implementar cada alternativa.

En ese sentido, el análisis costo-efectividad permite medir y comparar los beneficios de diversas alternativas. Desde el enfoque económico, este criterio es importante debido a que la sociedad se enfrenta a un problema de disponibilidad de recursos; sobre todo en un escenario de pago por servicios ecosistémicos hídricos (PSEH). Lo anterior, obliga a que se tenga que priorizar entre una alternativa u otra. Si el objetivo de las diversas intervenciones es tener mayor disponibilidad de agua, entonces conviene centrarse en el análisis de esta y el valor que genera. Para ello, el ACE es considerado la herramienta más apropiada.

Como señala Bang & Zhao (2012) y Boerema *et al.* (2018), la RCEI compara el resultado de la estrategia alternativa con una de referencia (punto 0). En ese sentido, se ha construido el escenario de referencia y las estrategias alternativas a ella (Cuadro 6):

- **Escenario de referencia o de no intervención (0)**, está representado por la situación real de la unidad hidrográfica de Rontoccocha: un ambiente perturbado por la ganadería y agricultura extensiva, que afecta la capacidad de regulación hidrológica de la cuenca y, en consecuencia, la oferta de agua para la ciudad de Abancay y la

cuenca. Esta situación amerita la intervención humana, los cuales están representados por los otros escenarios.

- **Escenario de manejo de ecosistemas (1)**, que a su vez se divide en proyecto de inversión pública verde, establecido bajo los parámetros del Estado peruano (1.1) y el pago de costo de oportunidad (CO) de las actividades económicas de la zona de interés (1.2).
- **Escenario con microrepresas rústicas (2)**, básicamente contempla acciones para establecer un dique artificial (presa) con recursos y materiales de la zona y el conocimiento local. Sin embargo, requiere la orientación técnica de un profesional.
- **Escenario de presa de concreto (3)**, el cual consiste en la construcción de un dique de concreto armado de 14m de altura.

**Cuadro 6: Escenarios y estrategias de regulación hídrica para el RCEI.**

N°	Estrategia		Acciones de gestión
0	Referencia/ No intervención		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ninguna. Sometido a incendio de praderas, ganadería y agricultura extensiva.</li> </ul>
1	Recuperación de ecosistemas	Proyecto tipo verde	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recuperar ecosistemas: forestación, revegetación, instalación de cercos.</li> <li>• Desarrollo de capacidades de comunidades.</li> <li>• Instrumentos de gestión para comunidades.</li> </ul>
		Pago de Costo de oportunidad (CO)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compensar a las familias que aprovechan económicamente la zona, con la condición de que abandonen dicha actividad y permitir la regeneración natural de la vegetación y el ecosistema.</li> </ul>
2	Microrepresas rústicas		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formulación del proyecto.</li> <li>• Mano de obra local y mano de obra calificada.</li> <li>• Herramientas, movilidad, alimentación.</li> <li>• Materiales de la zona.</li> </ul>
3	Presa de concreto		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formulación del proyecto y expediente.</li> <li>• Tres ejes de construcción.</li> <li>• Dique de concreto, vertedero, sistema de drenaje, caminos de acceso, movimiento de tierras, mitigación ambiental, Gestión de riesgos, entre otros.</li> </ul>

FUENTE: Elaboración propia.

Para obtener la RCEI, se aplicó la ecuación que se muestra a continuación, donde el numerador corresponde a la diferencia de los valores presentes de los costos esperados de las estrategias de regulación (*CI*) frente a la de referencia (*CO*), lo cual se denomina costo incremental. El denominador corresponde a la diferencia del valor presente de los beneficios esperados de las estrategias de regulación (*EI*) frente a la de referencia (*EO*)

$$RCEI = \frac{\Delta C}{\Delta E} = \frac{(C1-C0)}{(E1-E0)}$$

Luego, los resultados se han puesto en un plano de costo-efectividad: para el costo (eje y) y el efecto (eje x) en términos de regulación de agua. Con ello, se ilustra en el eje “x” la distancia de costo-efectividad. Así la RCEI se interpreta como el costo adicional que se debe pagar para obtener una unidad adicional del beneficio (Espinoza 2017, Culyer 2016).

### 3.4.2. Consideraciones metodológicas de la evaluación económica

Se consideró los cinco elementos básicos necesarios para la evaluación económica: la perspectiva de análisis, el tiempo horizonte, la tasa de descuento, el modelamiento matemático y la incertidumbre asociada a las decisiones (Espinoza 2017).

- **La perspectiva de análisis:** Define al actor que utilizará la evaluación para la toma de decisiones. En este caso, la Empresa Municipal de Agua Potable (Emusap Abancay), quien administra los recursos del Pago por Servicios Ecosistémico Hídrico, tiene la necesidad (en representación de la población de Abancay) de invertir con responsabilidad los recursos recaudados por dicho mecanismo.
- **El tiempo horizonte:** Tiempo sobre el cual se estima los costos incurridos en la implementación de cada una de las alternativas de regulación hídrica. En este caso, se ha tomado un horizonte de tipo normativo establecido por el Ministerio de Economía y Finanzas: 10 años para cada estrategia.
- **La tasa de descuento:** Dado que está establecido por el sistema nacional de inversión pública del Perú, se usa la tasa normada para cada tipología de intervención y alternativa: 9%.
- **Modelamiento matemático:** que integra el modelamiento de regulación de hidrológica de los objetivos 1 y 2 y los costos asociados para su implementación.

Con ello, se hace una estimación del valor presente de los costos sobre un horizonte temporal dado (10 años).

- **Incertidumbre o análisis de sensibilidad:** Dada la incertidumbre propia de las proyecciones de los beneficios y los costos, es necesario llevar a cabo una evaluación del efecto sobre la factibilidad de la iniciativa (en términos de VPN) ante cambios de las variables con mayor influencia.

Sobre la base de lo anterior, para la evaluación se ha considerado dos elementos:

- Indicador cuantitativo de efectividad: volumen de agua regulada por cada estrategia que se implementa en la U.H. de Rontoccocha.
- Horizonte temporal de beneficios evaluados: 10 años.
- Tasa social de descuento: 9% según lo establecido para proyectos de inversión en el Perú

### **3.5. OB. 4: ESTIMAR DEL UMBRAL DE COSTO- EFECTIVIDAD ( $\lambda$ ) COMO CRITERIO DE DECISIÓN**

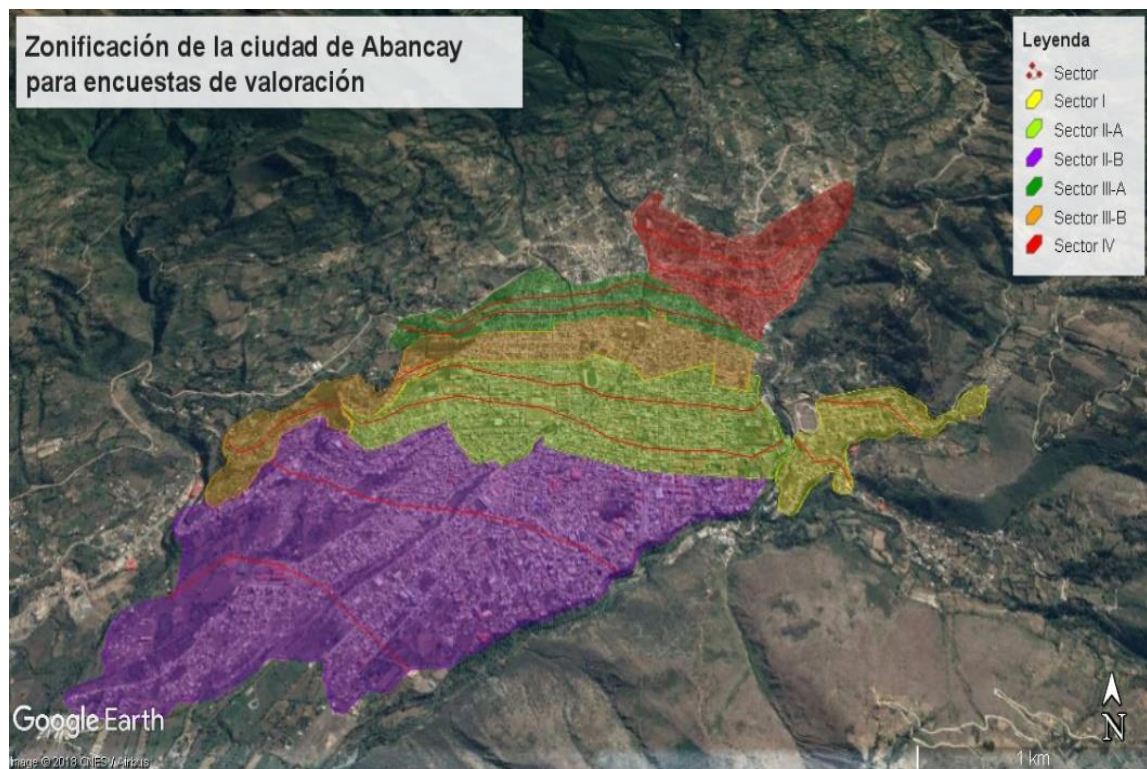
Como se consideró, el umbral de costo efectividad ( $\lambda$ ), es una representación del costo de oportunidad del recurso disponible de la sociedad. En nuestro caso, dicho umbral está dado por los recursos económicos que los usuarios de agua potable de la ciudad de Abancay y en específico quienes son abastecidos con la fuente Rontoccocha, están dispuestos a pagar (DAP) para financiar acciones que contribuyan con la mejora de la provisión de agua. Tales medidas se concretizan mediante el mecanismo de PSEH que la empresa de agua potable implementa. Una estrategia será costo efectivo, si es que se encuentra por debajo del umbral ( $\lambda$ ). Por ello, la expresión se puede reescribir de la siguiente manera:

$$RCEI = \frac{(C2-C1)}{(E2-E1)} < \lambda$$

La metodología recomendada por la literatura para definir el umbral, es mediante la disposición a pagar y/o renunciar a un bien para obtener más de otro. Entonces si un individuo aspira una mejor calidad ambiental o desea disfrutar de algún servicio ecosistémico, en principio, debería estar dispuesto a sacrificar algo de sus recursos con el fin de satisfacer dicha aspiración. En este proceso de decisión, el individuo se enfrenta a su restricción presupuestaria y sobre ello maximiza su utilidad (Vásquez et ál. 2007).

Así, para este proceso se ha aplicado preguntas de valoración contingente, para conocer la DAP de la población, por la conservación y restauración de los ecosistemas de la unidad hidrográfica Rontoccocha para la provisión de agua. Se aplicaron un total de 390 encuestas en la población de Abancay, específicamente a los usuarios del agua potable de la empresa prestadora Emusap Abancay. Para una distribución uniforme de las encuestas, la ciudad se dividió en seis (06) zonas y sobre esa base cada zona se subdividió en tres partes a su vez: alta media y baja. Luego, las encuestas se concentraron en las zonas que mayormente son atendidos con la fuente de Rontoccocha: sectores II-A, III-A y II-B (Figura 7).

Es necesario mencionar que no se conoce con precisión el número usuarios que son abastecidos con la fuente de Rontoccocha, debido a que el agua que proviene de esta se une con las de otras fuentes (Marcamarca, Chinchichaca y Amaruyoq) en reservorios ubicados en la ciudad. Por lo tanto, el número aproximado de usuarios abastecidos con la fuente de Rontoccocha se ha obtenido sobre la proporción de volumen de agua captada. Dado que Rontoccocha representa el 28% de toda el agua captada, también se espera dicha proporción de usuarios: 4592 de 16400 (SUNASS 2019).



**Figura 7: Zonificación de la ciudad de Abancay para aplicación de encuestas de valoración contingente.**

### 3.5.1. Determinación del tamaño de muestra para encuestas

Para determinar el tamaño de muestra se consideró a la población usuaria de la empresa de agua potable y en específico, a la población que usa el agua que proviene de Rontoccocha. Para la estimación del tamaño poblacional (N) se utilizó el número de conexiones domiciliarias que utilizan el agua de Rontoccocha: 4592 conexiones o familias. La estimación del tamaño de muestra se realizó a través de la siguiente fórmula, utilizada para poblaciones finitas.

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q}$$

Donde:

- n = tamaño de muestra buscado
- N = tamaño de la población
- e = límite de error muestral (5%)
- p = proporción<sup>7</sup> de la población que estaría dispuesto a cooperar con el proyecto de conservación (53%)
- q = proporción de la población que no estaría dispuesto a cooperar con el programa de conservación, es decir 1-p (47%).
- Z = nivel de confianza (1.96).

Al reemplazar los valores de la formula anterior se obtiene un tamaño de muestra de 353 encuestas de valoración contingente. Sin embargo, debido a la posibilidad de que algunas encuestas sean inconsistentes o incompletas que generen su nulidad, se realizó un total de 390 encuestas.

### 3.5.2. Diseño de la encuesta

En las encuestas de valoración contingente, las personas declaran sus preferencias con relación al servicio ecosistémico de regulación hídrica; es decir, su disposición a pagar (DAP) para restaurar y conservar la unidad hidrográfica de Rontoccocha por medio del PSEH. Así, se esperaría que se mejore los caudales de agua, sobre todo en época seca, para el consumo humano. El propósito es obtener de la persona entrevistada una respuesta

---

<sup>7</sup> La proporción *p* fue estimada a partir de una encuesta piloto que se realizó en el ámbito de ciudad de Abancay con 30 encuestas piloto en 2019.

informada y honesta, que permita conocer cómo valora el bienestar que le proporciona un bien determinado y las posibles modificaciones en su manejo. Para ello, la encuesta cumplió con los siguientes pasos y requisitos:

**a) Formato de encuesta**

El formato aplicado es de tipo referéndum en el cual el entrevistado tiene que responder "sí" o "no" (dicotómico) a la pregunta ¿Estaría dispuesto a pagar S/. xxx adicionales para materializar la restauración y conservación de la zona de Rontoccocha .....?. Ésta pregunta enfrenta al entrevistado con el tipo de decisiones que toma cotidianamente y evita el sesgo estratégico.

Para reducir dichos sesgos, se aplicaron 30 encuestas piloto, con un *set* de precios de 1, 3, 5, 10 y 15 Soles, dichos valores de referencia se tomaron del estudio de Soncco (2016). Las respuestas de DAP en este piloto no superaron los 10 Soles, lo cual permitió reajustar el *set* de precios, así como el formato preliminar de encuestas. Sobre esa base, los montos de los nuevos precios establecidos (valor monetario) para la valoración del servicio ecosistémico de regulación hídrica fueron: 1, 2, 3, 5 y 8 Soles/mes. Con estos reajustes, las encuestas se aplicaron únicamente a personas mayores de 18 años, preferentemente los jefes de familia; es decir, personas que tengan la capacidad de tomar decisiones sobre la pregunta de la DAP.

**b) Criterios de la encuesta**

Las encuestas se aplicaron manteniendo una posición neutral respecto a las características de la intervención. Procurando no exacerbar los beneficios ni los costos, pero tratando de aclarar los pros y contras.

También, se enfatizó sobre la confidencialidad de la encuesta. Es decir que las respuestas del entrevistado eran únicamente para efectos del proyecto sobre el cual fueron consultados. Así mismo, se procuró mantener un tono de formal en todo momento, con el fin de capturar de forma certera la respuesta del entrevistado.

Finalmente, se completó la información escrita con imágenes para que el entrevistado se genere mejor idea de la intervención propuesta (Figura 8).

### c) **Contenido de las encuestas**

**Sección introductoria**, en el cual se presenta el encuestador y presenta el objetivo de la encuesta, manifestando la confidencialidad de las respuestas.

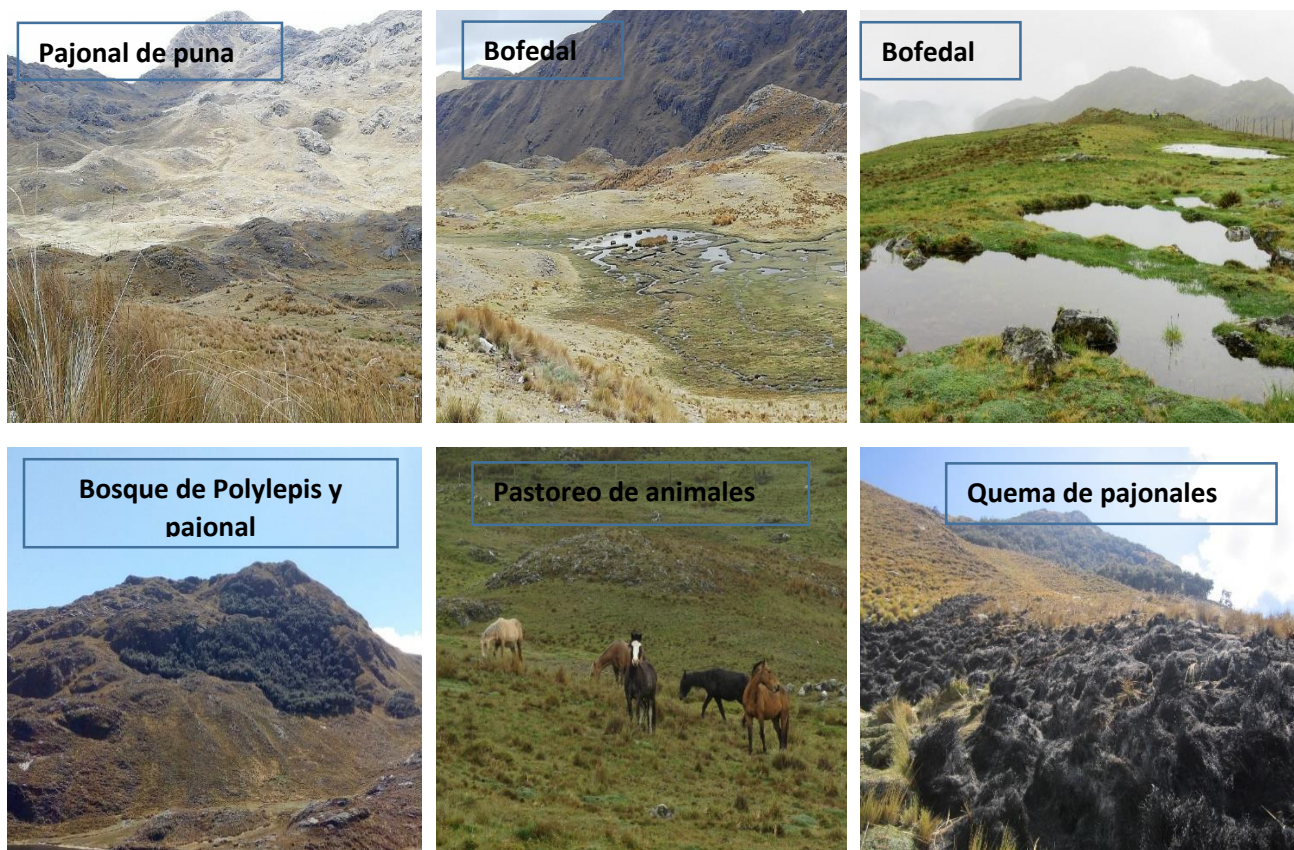
**Presentación del problema**, mediante la cual se explica la intervención propuesta para conservar y restaurar la unidad hidrográfica de Rontoccocha: contexto de la intervención, escenario inicial y final, servicio ecosistémico materia de intervención, instituciones involucradas y mecanismo de pago.

**Pregunta de valoración**. Es la pregunta que se le hace si está dispuesto a pagar para la conservación de la zona de interés, por medio del mecanismo de PSEH. En este punto, se aplicó el formato de referéndum simple mostrándole uno de los precios del set. Para los casos de respuesta afirmativa, se aplicó preguntas de control para validar la seguridad de la respuesta del encuestado. Si no estaba muy seguro, se consideró como respuesta negativa.

**Características sociodemográficas**, que constituyen variables que afectan la respuesta de la disposición a pagar.

**Control del entrevistador**. Es la última que el encuestador llena mediante el análisis de su encuestado. La idea es poder obtener información como el grado de entendimiento del cuestionario, si hubo o no dificultades para responder, interés, etc. Con esta información se puede filtrar las encuestas poco serias.





**Figura 8: Panel fotográfico para la encuesta de valoración contingente en la unidad hidrográfica de Rontoccocha.**

### 3.5.3. Tratamiento de la información

Luego del levantamiento de las encuestas, se procedió al análisis estadístico y econométrico mediante el programa Stata – 14. El tratamiento de la información se llevó a cabo en las siguientes etapas:

- **Depuración de datos**, con el objetivo de mantener homogeneidad en los datos de las encuestas, se procedió a depurar los datos anómalos que no guardaban una relación lógica.
- **Análisis estadístico**, que se lleva a cabo con el propósito de obtener las estadísticas descriptivas más relevantes, las respuestas a la pregunta de disposición a pagar y las características socioeconómicas de los entrevistados de la ciudad de Abancay, usuarios del agua potable.

- **Análisis econométrico.** Las funciones de utilidad indirecta sugeridas por Hanemann y Bishop-Heberlein, se operativizan (parámetros) mediante modelos probabilísticos. Para este propósito se establecieron tres modelos *Logit* (M1, M2 y M3) debido a que es uno de los más usados y que entrega mejores resultados en el análisis de elección binaria. Sobre estas se evaluaron las variables para conocer los determinantes de la DAP.

En la investigación complementariamente con el no paramétrico de Turnbull. En las regresiones, la probabilidad de responder SI a la pregunta de disponibilidad a pagar (1=si, 0=no) siempre es la variable dependiente; mientras que el vector de variables explicativas de la DAP se muestra en el Cuadro 7, así como las hipótesis que se prueban.

**Cuadro 7: Variables explicativas de la DAP por el servicio de regulación hídrica.**

Variable	Código	Valores	Hipótesis
Disposición a pagar	DAP	1 = si 0 = no	
Monto a pagar por mes para determinar la DAP	bid	Set de precios entre S/. 1.00 y S/.8.00.	$\beta_{bid} < 0$
Genero del entrevistado	genero	1 = femenino 0 = masculino	$\beta_{genero} > 0$
Edad del entrevistado	edad		$\beta_{edad} < 0$
Nivel de educación	educ	0 = sin educ, 1 = primaria, 2 = secundaria, 3 = tec. Superior, 4 = universitario	$\beta_{educ} > 0$
Tamaño de hogar	hhsiz		$\beta_{hhsiz} < 0$
Años de permanencia en ciudad	perm		$\beta_{perm} > 0$
N° de hijos mayores a 18 años	hij18		$\beta_{hij18} < 0$
Ingresos	ingresos	Rango: 300 a > 4000	$\beta_{ingreso} > 0$

FUENTE: Elaborado con base en literatura revisada.

Vásquez *et al* (2006) y Haab y McCornnell (2002) señalan que los modelos básicos, estimados con *Logit* y *Probit* para el análisis de DAP son los más usados. De hecho, Haab y McCornnell (2002) señalan que el marco de análisis estándar se realiza mediante los modelos *Probit* o *Logit*, sobre todo cuando se trata de ejercicios dicotómicos simple. Así mismo, se propone tres criterios para una medida válida de DAP:

1. La disposición a pagar tiene un límite inferior no negativo y un límite superior no mayor que el ingreso.
2. La estimación y el cálculo se realizan sin truncamiento arbitrario.

3. Existe coherencia entre la aleatoriedad para la estimación y el cálculo.

Considerando los criterios anteriores, se puede mencionar que la investigación cumple con sus especificaciones debido a: i) los montos ofrecidos no superan los ingresos de los encuestados y están reajustados con una prueba piloto; ii) el truncamiento no excluye a la población y están establecidos sobre un rango previamente indagado y; iii) la aleatoriedad en el proceso del ejercicio se ha aplicado a la población encuestada como en el mismo proceso de análisis

El análisis complementario con Turnbull, se realiza debido a que es la única que satisface los tres criterios antes señalados (Haab y McCornell 2002).

- **Medidas de bienestar.** Esta representa todo el esfuerzo de la DAP, pues es una representación cuantitativa individual del valor de los servicios ecosistémicos evaluados. En general, las medidas de bienestar más usadas son la media y la mediana de la DAP, los cuales pueden obtenerse a partir de las estimaciones de los modelos probabilísticos como Logit y Turnbull.

#### **3.5.4. Selección de la medida costo-efectiva**

En este punto, los resultados de la DAP permiten establecer el umbral de costo efectividad ( $\lambda$ ) mediante un pago mensual. Sin embargo para que los resultados de la DAP (Soles por mes), sean coparables con la RCEI de las medidas de regulación hídrica (Soles por m<sup>3</sup>) deben transformarse en misma unidad. Dicho ajuste se ha realizado con el volumen de consumo promedio mensual de una familia doméstica promedio, el cual equivale a 17.5 m<sup>3</sup> por mes. Así, se elimina la complicación para la selección de la estrategia costo-efectiva.

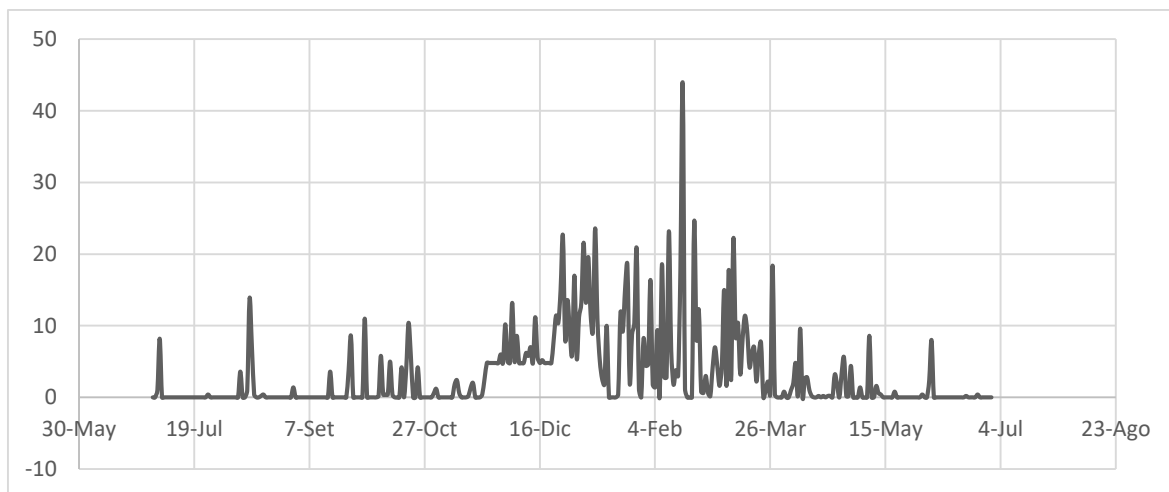
## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. EFECTIVIDAD DE LOS ECOSISTEMAS ALTOANDINOS EN LA REGULACIÓN HÍDRICA

El procesamiento de Hydrobal para cada ecosistema altoandino en estudio, otorgan salidas relacionados a la precipitación neta, esorrentía, humedad, evapotranspiración real, percolación y recarga del acuífero (Anexo 1, 2 y 3). La precipitación y evapotranspiración de referencia fueron ingresados al modelo; a continuación, se analiza los más relevantes.

#### 4.1.1. Precipitación

La precipitación es el principal parámetro para el modelamiento hidrológico del balance hídrico de los ecosistemas. La lluvia durante el año hidrológico 2015 – 2016 ha alcanzado los 1146 mm (Figura 9) con una mayor intensidad entre diciembre a marzo (temporada húmeda) y en menor medida entre mayo y octubre (período seco).



**Figura 9: Dinámica de la precipitación durante el año hidrológico 2015-2016 en la Unidad Hidrográfica de Rontoccocha.**

FUENTE: Pluviómetro automatizado/ *datalogger* (HOBO) de Helvetas Swiss Intercooperation.

Los datos registrados son consistentes con los calculados por la GRA (2013) para el período 1965 – 2010. En su estudio hidrológico, calculó que la precipitación media en la zona es de 1122.39 mm al año. A partir de esta variable, se desencadenan los procesos posteriores que se describen a continuación.

#### 4.1.2. Precipitación neta

La lluvia neta, o aquella que logra alcanzar el suelo, después de un proceso de interceptación por el dosel, es una función de la densidad y edad de la vegetación, el cual modifica las propiedades físicas de la precipitación haciendo que la lluvia pierda parte de su energía cinética. Si la vegetación es abundante, elimina en gran medida la escorrentía superficial (Wattenbach *et al.* 2005, citados por Bellot & Chirino 2013).

Los resultados de la precipitación neta en los ecosistemas estudiados, permiten visualizar que el bosque de Polylepis es el ecosistema con menor precipitación neta, mientras que el bofedal y pajonal, muestran comportamientos muy parecidos (Cuadro 8, Figura 10). Significa entonces, que el dosel del bosque tiene mayor capacidad de interceptación; por lo tanto, menor agua llegará al suelo (precipitación neta) para continuar con el ciclo hidrológico.

El proceso de interceptación por efecto de la cobertura vegetal, está determinado por las características estructurales del dosel, específicamente por el índice de área foliar (LAI por sus siglas en inglés). Significa que, a mayor área foliar, mayor será la interceptación (Körner *et al.* 1989, Bellot & Chirino 2013, Valencia-Leguizamón & Tobón 2017); por lo tanto, ello explica que el ecosistema de bosque tenga mayor capacidad de interceptar; por el contrario, la forma de graminoide de las plantas del pajonal y bofedal, así como su reducida área foliar, explican su baja capacidad de interceptación.

**Cuadro 8: Resultado de las principales variables hidrológicas del modelo Hydrobal**

Cobertura Vegetal	Precipitación (mm)	Prec. Neta (mm)	Escorrentía (mm)	ET° real (mm)
Pajonal	1146.40	1134.94	339.62	667.22
Bofedal	1146.40	1134.94	282.07	683.37
B. Polylepis	1146.40	1042.08	229.12	668.11

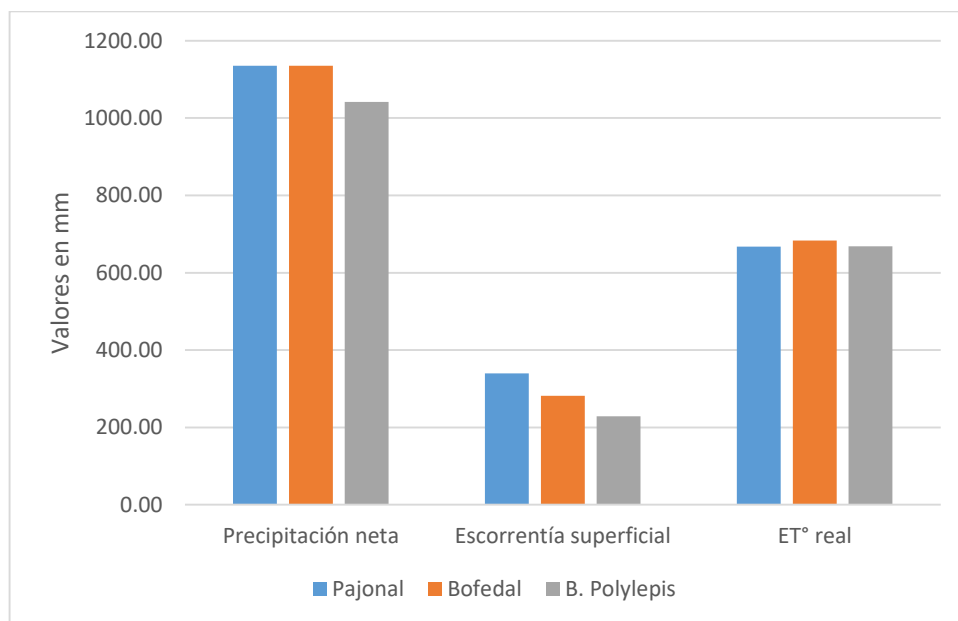
FUENTE: Elaboración propia.

### 4.1.3. Escorrentía superficial

La escorrentía superficial se calcula mediante una regresión lineal en función de la precipitación diaria; así, su análisis en cada uno de los ecosistemas estudiados, permite apreciar que en el bofedal se genera más escorrentía, seguido del pajonal y en menor medida en el bosque de *Polylepis* (Figura 10). Estas características están relacionadas con tres procesos centrales: la pendiente del terreno, la humedad y/o acumulación de agua en el suelo y las características del suelo.

En el ecosistema de bosque, la escorrentía está fundamentalmente controlada por la característica de su suelo, el cual está compuesto por un suelo franco arenoso sobre un lecho rocoso. Ello significa que dicha característica del suelo, facilita la infiltración y buen drenaje, a pesar de que este ecosistema se desarrolla sobre pendientes bastante empinadas.

En el ecosistema de bofedal, el factor que fuertemente influye en la escorrentía superficial, es el agua acumulada en el suelo. Como se sabe, el nivel freático en el ecosistema de bofedal es bastante superficial; entonces, una vez que empieza el período de lluvia, se va llenando como un recipiente de agua; una vez que el recipiente se haya llenado, la lluvia que caiga se convertirá en escorrentía. En tanto, en el ecosistema de pajonal, la escorrentía está determinado por la combinación de los diversos factores antes descritos como la humedad del suelo, pendiente del terreno y características del suelo.



**Figura 10: Comportamiento de las principales variables hidrológicas con el modelo Hydrobal.**

#### **4.1.4. Evapotranspiración real**

El modelo Hydrobal, estima la evapotranspiración real para cada tipo de vegetación, utilizando los coeficientes de evaporación o factor  $k$  de Specht & Specht (1993), con lo cual estima el promedio de consumo de agua para cada tipo de vegetación, en función de las características de la cobertura vegetal y el contenido de humedad en el suelo (Bellot & Chirino 2013).

Durante el año hidrológico evaluado, la evaporación tiene un comportamiento homogéneo dentro de los tres ecosistemas en estudio (Cuadro 8 y Figura 10). Así mismo, se aprecia que en época de lluvia (diciembre – marzo) los ecosistemas tienen mayor actividad y pierden más agua; mientras que en época seca (abril – noviembre) las pérdidas por evapotranspiración se reducen, entrando en un período de latencia vegetativa con la finalidad de que las plantas no pierdan más agua, proceso que cobra relevancia para fines hidrológicos.

A pesar de lo anterior, la evaporación real, es la principal vía de pérdida de agua de los ecosistemas por encima del 58% (Cuadro 9). También se observa que el bofedal tiene una mayor evapotranspiración real (683.37 mm), seguido del bosque de *Polylepis* (668.11 mm) y finalmente el pajonal (667.22). Dicha característica, se presenta porque el ecosistema de bofedal está permanente sobre un lecho húmedo que lo mantiene verde durante la mayor parte del año; por lo tanto, su capacidad de respiración y transpiración casi nunca se detienen, haciendo que permanentemente pierda agua. Esta característica se conoce como la interceptación del agua subterránea por la vegetación riparia; proceso mediante el cual los árboles y pastos circundantes a los humedales contribuyen a la extracción de la capa freática (Hayashi & Van der Kamp 2007, USGS 2016).

Estos resultados de evapotranspiración también son coherentes con los resultados de ecosistemas similares de montaña (páramos), los cuales oscilan entre 500 a 700 mm/ año (Jaimes *et al.* 2012) o de 600 a 800 mm/ año (Carrillo-Rojas *et al.* 2019, Valencia-Leguizamón & Tobón 2017), con variaciones según la altitud y la cantidad de precipitación.

#### **4.1.5. Balance hídrico y estimación del servicio ecosistémico de regulación hídrica**

El modelamiento de balance hídrico realizado para los ecosistemas de pajonal, bofedal y bosque de *Polylepis* del año hidrológico 2015-2016, se estiman a partir del módulo de percolación y recarga de Hydrobal. Los resultados proporcionan información relevante sobre la influencia de los ecosistemas en la regulación hídrica, a partir del comportamiento de las



principales variables hidrológicas de interés (Cuadro 9). De tales resultados, se evidencia que la evapotranspiración y la escorrentía son los procesos más determinantes de salida de agua del ecosistema. La evapotranspiración es del orden de 58.20% en pajonal; 59.61% en bofedal y 58.28% en bosque de Polylepis. En tanto la escorrentía está en el orden de 29.62% en pajonal, 24.60% en bofedal y 19.99% en bosque de Polylepis.

Por otro lado, la interceptación de la vegetación, no representa un factor importante en la reducción de la precipitación dado que la precipitación neta es del 99% en pajonal y bofedal y 90.0% en bosque de Polylepis, modelado a partir de los resultados de (Valencia & Tobón 2017).

Finalmente, el aporte a la recarga del acuífero y por tanto el servicio de regulación hídrica de los ecosistemas, producto del proceso de infiltración son los siguientes: pajonal aporta 176.61mm/ al año o el 15.41% respecto a toda la lluvia que cae sobre dicha cobertura; el bofedal aporta con 186.98 mm (16.31%) y el bosque de Polylepis con 161.66mm (14.10%). Ochoa-Tocachi *et al.* (2016), en estudios similares desarrollados en la púna húmeda de la zona central del Perú (Huamantanga) encuentra valores similares de rendimiento/ regulación hídrica (173mm/ año) lo cual es considerado bajo y que se debería al sobrepastoreo.

**Cuadro 9: Resultados del modelo Hydrobal para cada uno de los ecosistemas en estudio.**

Ecosistema	Pp	Int.	Pp neta	Esc.	Eta real	Recarga
Pajonal	1146.40	11.46	1134.94	339.62	667.22	176.61
Bofedal	1146.40	11.46	1134.94	282.07	683.37	186.98
Bosque de Polylepis	1146.40	104.32	1042.08	229.12	668.11	161.66
<b>%</b>						
Pajonal	100	1	99	29.62	58.20	15.41
Bofedal	100	1	99	24.60	59.61	16.31
Bosque de Polylepis	100	9.1	90.9	19.99	58.28	14.10

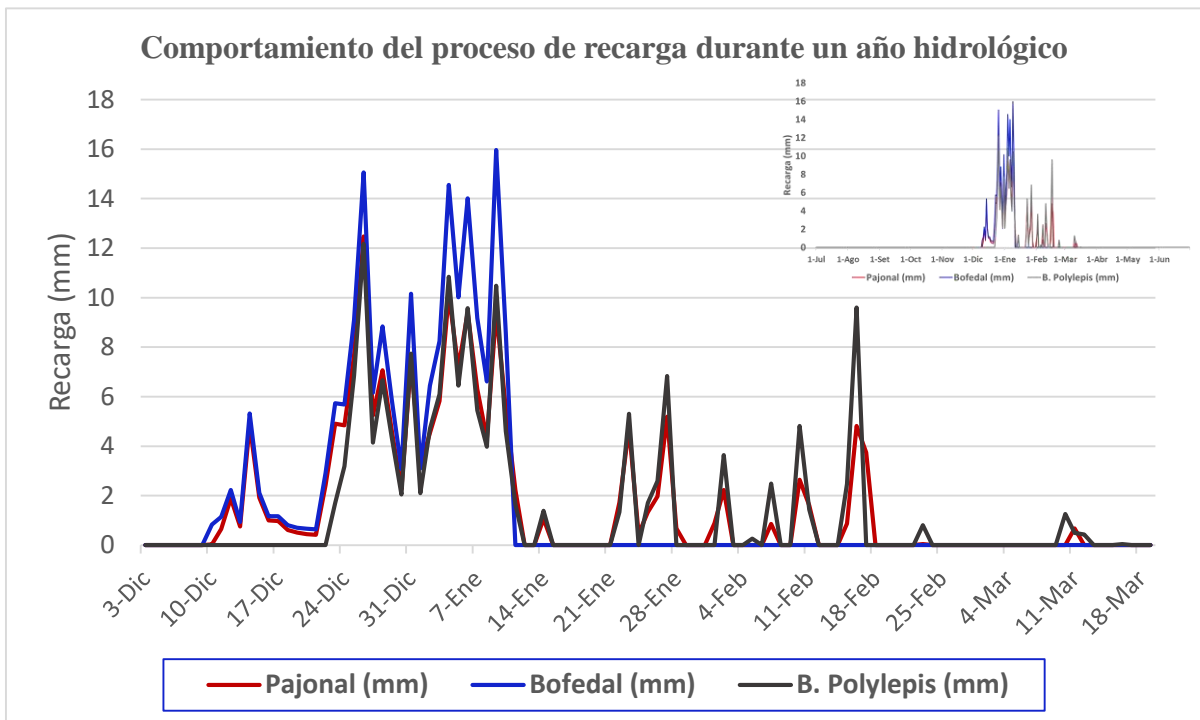
FUENTE: Elaboración propia.

En la parte superior en Lm y en la parte baja en % sobre el total de Precipitación. Precipitación (Pp), interceptación (Int), precipitación neta (Pp neta), escorrentía superficial (Esc), evapotranspiración actual (Eta).

La generación del servicio ecosistémico de regulación hídrica, mediante el proceso de recarga durante el año hidrológico de referencia (2015 – 2016) en los ecosistemas



estudiados, inicia en diciembre con las primeras lluvias de la temporada y termina en abril, con el final de la temporada de lluvia (Figura 11). En estos ecosistemas, se observa un proceso dinámico de la recarga que va de la mano del comportamiento de la precipitación y las características biofísicas de los ecosistemas (suelo y vegetación). En tanto, en el ecosistema de bofedal, el proceso de recarga también inicia en diciembre, al igual que el resto de ecosistemas, pero concluye la segunda semana de enero (antes de que culmine la temporada de lluvia), tiempo en el que el ecosistema se satura y pierde la capacidad de infiltración. Significa entonces que las lluvias posteriores solo generarán escorrentía. Este proceso está explicado por Hayashi & Van der Kamp (2007) y Hasan & Khan (2019); quienes señalan que en los ecosistemas donde la capa o nivel freático se encuentran en la superficie del suelo o muy cerca de ella, como es el caso del bofedal, dicha saturación limita la infiltración de la lluvia; por lo tanto, el agua que cae discurre hacia los cuerpos de agua superficial cercanos.

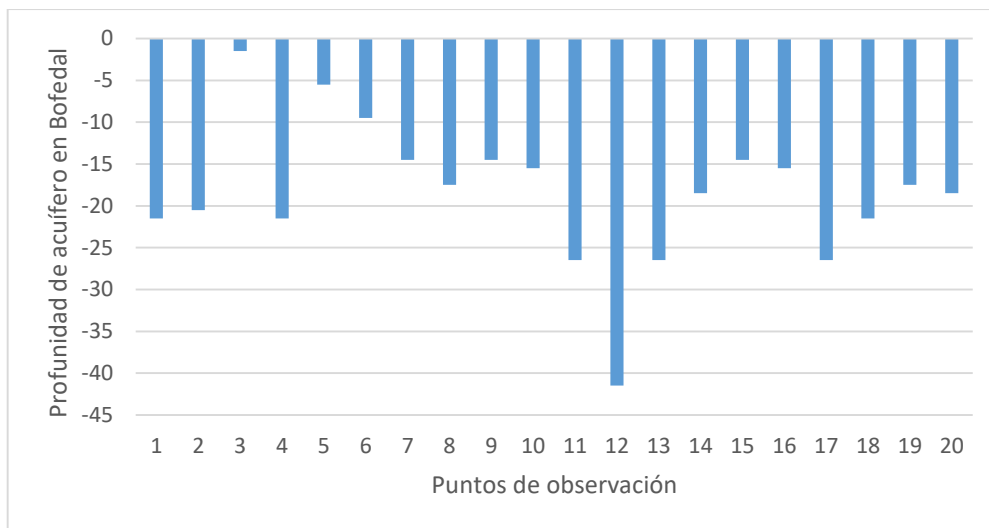


**Figura 11: Proceso de recarga hídrica (servicio ecosistémico de regulación) en los ecosistemas en un año hidrológico: pajonal (rojo), bofedal (azul) y bosque de Polylepis (negro).**

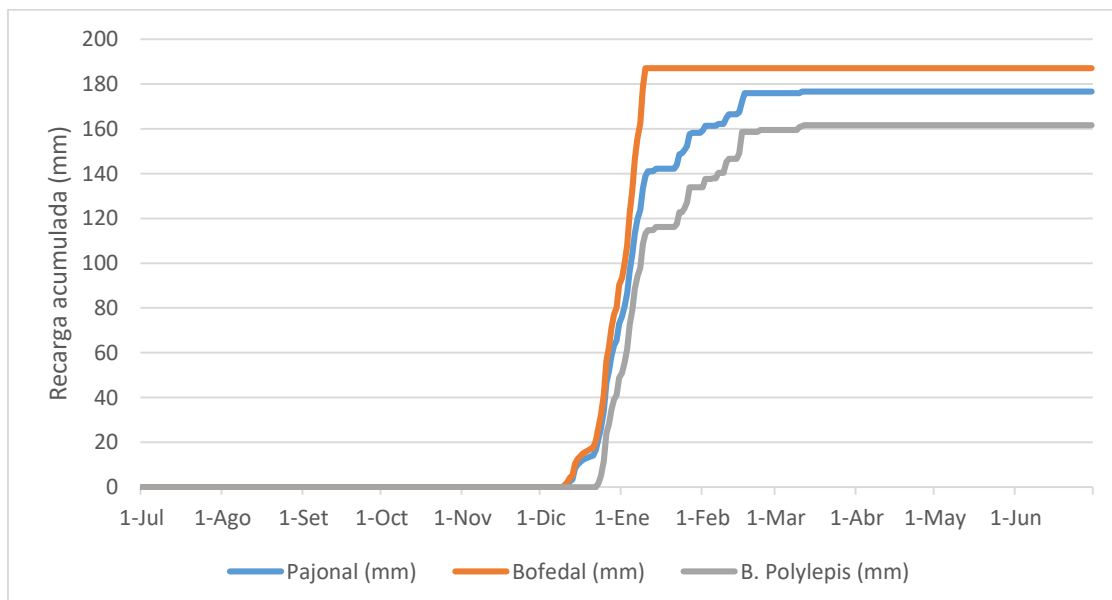
Gráfico principal muestra los resultados del período de diciembre a marzo y gráfico secundario el proceso durante todo un año.

A pesar de que el proceso de recarga en el ecosistema de bofedal concluye antes que termine el período de lluvias, se observa que el global del año hidrológico, tiene un mejor desempeño

que los ecosistemas de pajonal y bosque de *Polylepis* (Figura 15). Este hecho se debe a que el aporte del bofedal al nivel freático, se facilita por la reducción de la escorrentía superficial por efecto de la pendiente, al menos en los primeros meses de lluvia. Sin embargo, una vez que el suelo se satura, aproximadamente a mediados de enero, la lluvia que cae se convertirá en escorrentía superficial que aporta a los cuerpos de agua superficial (ríos y lagunas). Significa entonces que la regulación del bofedal durante un año hidrológico, dependerá de la profundidad a la que se encuentre el nivel freático. En el caso del estudio, esto se ha calculado mediante mediciones en pozos de observación durante época seca.



**Figura 12: Nivel freático en ecosistemas de bofedal**



**Figura 13: Comparativo de los procesos de recarga hídrica acumulada en los tres ecosistemas estudiados.**

Basado en la Figura 13, la efectividad de los ecosistemas evaluados por unidad de metro cuadrado (m<sup>2</sup>) en un año hidrológico es de 186.98 mm (Lm<sup>2</sup>) en bofedal, 176.61mm (Lm<sup>2</sup>) en pajonal y 161.66 mm (Lm<sup>2</sup>) en bosque de Polylepis.

Lo anterior, extrapolado a toda la cuenca, otorga información adicional sobre la relevancia del ecosistema en la regulación hídrica de la zona, que en total se logra regular 1,290,374.79 m<sup>3</sup> (Cuadro 10). Del total, en el ecosistema de pajonal se regula el 80.03% del agua que queda como aporte para la recarga de los acuíferos, el bofedal el 17.55% y el bosque de Polylepis el 2.42%.

**Cuadro 10: Regulación de los ecosistemas extrapolado a toda la unidad hidrográfica de Rontoccocha.**

Ecosistemas	Ha	m <sup>2</sup>	Regulación (mm)	Cap. Total (L)	m <sup>3</sup>	%
Pajonal	593.76	5,847,100.00	176.61	1,032,673,600.92	1,032,673.60	80.03
Bofedal	139.33	1,211,400.00	186.98	226,501,515.00	226,501.52	17.55
Bosque de Polylepis	22.29	193,000.00	161.66	31,199,670.85	31,199.67	2.42
				<b>Total</b>	1,290,374.79	100

FUENTE: Elaboración propia.

Si se parte de la definición de ecosistema: un sistema formado por factores bióticos (como la vegetación) y su entorno físico o abiótico (suelo, roca, elementos de la atmósfera y otros), entonces lo descrito en el Cuadro 10, representa el servicio ecosistémico de regulación hídrica que se genera en la unidad hidrográfica de Rontoccocha, como producto del funcionamiento conjunto entre los elementos de dicho sistema. Desde una perspectiva de gestión de cuencas, tal regulación es lo que se debería, por lo menos, mantener para garantizar la continua provisión de agua.

Entonces, lo modelado hasta ahora representa la capacidad de regulación “total” de los ecosistemas en estudio. En este punto, es necesario considerar que un ecosistema, a pesar de que esté perturbado, aún sigue ejerciendo sus funciones y sigue brindando sus servicios ecosistémicos, aunque en menor calidad y cantidad. Entonces ¿Cuál es el aporte marginal de la conservación y/o recuperación de los ecosistemas, también llamado infraestructura natural (IN) o verde?

En el presente estudio, no se ha realizado una caracterización del nivel de perturbación de la cuenca y tampoco el impacto actividad ganadera sobre la regulación hídrica. Sin embargo, Crespo *et al.* (2014), señalan que una cuenca con una buena cobertura vegetal natural, su producción de agua es entre 8 a 24% mayor a la de una cuenca intervenida con pastoreo extensivo y quemas puntuales. En la misma línea Ochoa-Tocachi *et al.* (2016), también señala que tal diferencia puede llegar al 28%. Considerando el criterio anterior, y dada la incertidumbre del impacto de la ganadería sobre la regulación del hídrica de la zona de estudio; se espera que, por lo menos, la disponibilidad de agua en la unidad hidrográfica de Rontoccocha se mantenga como lo estimado en el Cuadro 10, mediante las medidas de manejo y conservación que correspondan.

En una cuenca andina y en un escenario de ecosistemas perturbados por la actividad ganadera, la capacidad reguladora de estos se vería afectado hasta en 24% (Crespo *et al.* 2014). Por lo tanto, la pérdida de dicha proporción de agua es la que se debería mantener y/o recuperar cuando el sistema está afectado. Entonces, el aporte marginal de las medidas de recuperación y restauración también estarían representados por dicha proporción de agua regulada. Este aspecto es lo que se estima en el Cuadro 11 con la finalidad de conocer la efectividad de dichas medidas implementadas por el hombre.

**Cuadro 11: Aporte marginal del manejo y recuperación de ecosistemas en la regulación hídrica (regulación y/o efectividad ajustada).**

Ecosistemas	Regulación total (mm)	Regulación/ efectividad ajustada en 24% (mm)	Regulación/ efectividad ajustada (m3)	Regulación natural de cuenca (m3)	Efectividad/ regulación total de la cuenca (m3)
Pajonal	176.61	42.39	247,841.66	784,831.94	
Bofedal	186.98	44.87	54,360.36	172,141.15	
B. Polylepis	161.66	38.80	7,487.92	23,711.75	
<b>Total</b>			<b>309,689.95</b>	980,684.84	<b>1,290,374.7</b>

FUENTE: Elaboración propia.

En el Cuadro 11, de la regulación total que se produce en los ecosistemas de la unidad hidrográfica de Rontoccocha (1,290,374.7 m3), hasta 980,684.84 m3 se debe a la capacidad natural de la cuenca, bajo un escenario de que ésta esté intervenida con sobrepastoreo. En tanto, hasta 322,848.61 m3 sería el aporte marginal de las acciones de conservación, recuperación y restauración de los ecosistemas. Una mirada más detallada del aporte de las

diferentes coberturas, permite ver que aporte marginal de las inversiones en infraestructura natural (IN) en ecosistema de pajonal llega hasta 42.39 mm (Lm<sup>2</sup>); en bofedal hasta 44.87 mm (Lm<sup>2</sup>) y en bosque de *Polylepis* el 38.80 mm (Lm<sup>2</sup>).

A manera de resumen, se puede concluir que el ecosistema de bofedal y el de pajonal son más eficientes que el bosque de *Polylepis*, en el almacenamiento y generación del servicio ecosistémico de regulación hídrica por unidad de área. Aunque las diferencias no son muy grandes, este ligero mejor desempeño, se debe a las características del ecosistema; es decir, las condiciones físicas del entorno, pero también a las características morfológicas, fisiológicas y ecológicas de las plantas. Körner (2003) señala por ejemplo, que las especies en zonas de montaña tienen características paraticulares como: ser de tamaño pequeño, con superficie foliar pequeña (LAI), raíces poco profundas pero bien desarrolladas.

Estas características, les permite adaptarse a las temperaturas frías como a la escasez de agua. En ausencia de agua, entran en latencia vegetativa, pueden reducir su respiración y su capacidad fotosintética, lo que les permite reducir la pérdida de agua en comparación con plantas que se desarrollan en bajas altitudes (Körner 2003, Tranquillini 1964). Así, las mayores pérdidas de agua por evapotranspiración en ecosistemas de montaña, se dan en época de lluvia y se reducen en época seca (Körner 2003). Este comportamiento estacional de la evapotranspiración, también parece repetirse en la región andino amazónica del Perú (Lavado *et al.* 2015). Sin embargo, contrariamente a este comportamiento de las especies de montaña, O'Grady (1999) encontró que las tasas de transpiración de especies arbóreas en Australia, fueron más altas en estación seca que en temporada húmeda. Lo anterior confirma la capacidad de adaptación de las especies altoandinas a los períodos secos, mediante la reducción de su tasa de evapotranspiración que, para fines hidrológicos, es relevante.

Así mismo también, a diferencia de las especies arbóreas, las raíces poco profundas de las plantas altoandinas, evita que ésta logre llegar a los niveles más profundos de agua, para consumirlos y expulsarlo al ambiente mediante la respiración. Este hecho, explica el por qué los árboles están casi permanentemente verdes; mientras que las especies altoandinas cambian de color como resultado del proceso de la latencia vegetativa (Körner 2003, Tranquillini 1964).

A pesar de que en este capítulo se muestran los resultados del aporte de los ecosistemas a la regulación hídrica de forma separada, ésta se realiza para fines comparativos y mejor entendimiento de cada una de ellas. Sin embargo, en la realidad estos funcionan de manera

interdependiente y sistémica. Cada uno aporta al otro y cada ecosistema está conectado funcionalmente entre sí. Por ejemplo, el bofedal está influenciado por los flujos superficiales y subterráneos que recibe de los ecosistemas de pajonal y bosque relicto.

#### 4.1.6. Mecanismos para mejorar la regulación hídrica de los ecosistemas

La recuperación del servicio ecosistémico de regulación hídrica se ha establecido como prioridad en el Estado peruano sobre todo cuando la oferta de agua disminuye y la demanda se incrementa, como en el caso de las cuencas de rápido crecimiento poblacional. Para ello, se ha establecido un conjunto de lineamientos de inversión en infraestructura natural (MINAM 2019) con la finalidad de implementar acciones que permitan cerrar brechas relacionadas a la degradación de ecosistemas naturales. Tales acciones, según Brancalion *et al.* (2019) se pueden clasificar en dos: estrategias de recuperación intensivas y estrategias menos intensivas.

Así mismo, como parte de los lineamientos del Estado peruano, también se ha propuesto un conjunto de acciones referenciales, para recuperar y conservar ecosistemas degradados con fines de regulación hídrica. A continuación, se organiza dichas estrategias de intervención (Cuadro 12).

**Cuadro 12: Estrategias de intervención para recuperar servicios de regulación hídrica.**

Estrategias de intervención	Acciones referenciales	Mecanismo de implementación
Estrategias de recuperación intensivas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infraestructura para estabilizar suelos: terrazas de formación, enriquecimiento de suelos, terrazas de formación lenta, etc.</li> <li>• Control de cárcavas.</li> <li>• Zanjias de infiltración, instalación de qochas o microrepresas.</li> <li>• Recuperación de cobertura mediante hierbas, arbustos y árboles.</li> <li>• Zanjias de infiltración</li> <li>• Cercos perimétricos.</li> <li>• Instrumentos de monitoreo</li> <li>• Desarrollo de capacidades de actores locales.</li> <li>• Estudios definitivos</li> </ul>	Proyectos de inversión de infraestructura natural y/o verde.

Estrategias de recuperación no intensivas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regeneración natural de la vegetación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pago del costo de oportunidad de actividades económicas.</li> <li>• Acuerdos entre las partes interesadas.</li> </ul>
---	---	--

FUENTE: elaboración propia, basado en Brancalion *et al.* (2019) y MINAM (2019).

Como se observa en el Cuadro 12, las estrategias de intervención intensiva, normalmente se suelen implementar mediante proyectos de inversión; sin embargo, las que no requieren tal intensidad, como la regeneración natural del ecosistema, solo requerirían de acuerdos entre las partes interesadas y/o el pago del costo de oportunidad de las actividades económicas que se desarrollan en una zona de interés.

Un aspecto a tener en cuenta es que aún no se tiene claridad sobre la rapidez con la que una u otra estrategia de intervención puede recuperar los servicios ecosistémicos (Curan *et al.* 2016, Brancalion *et al.* 2019); sin embargo, considerando que ambas estrategias tienen el mismo objetivo (recuperar el ecosistema y con ello el servicio de regulación hídrica), para el presente estudio se considerará como igual de efectivas.

## 4.2. EFECTIVIDAD DE ESTRATEGIAS ALTERNATIVAS DE REGULACIÓN

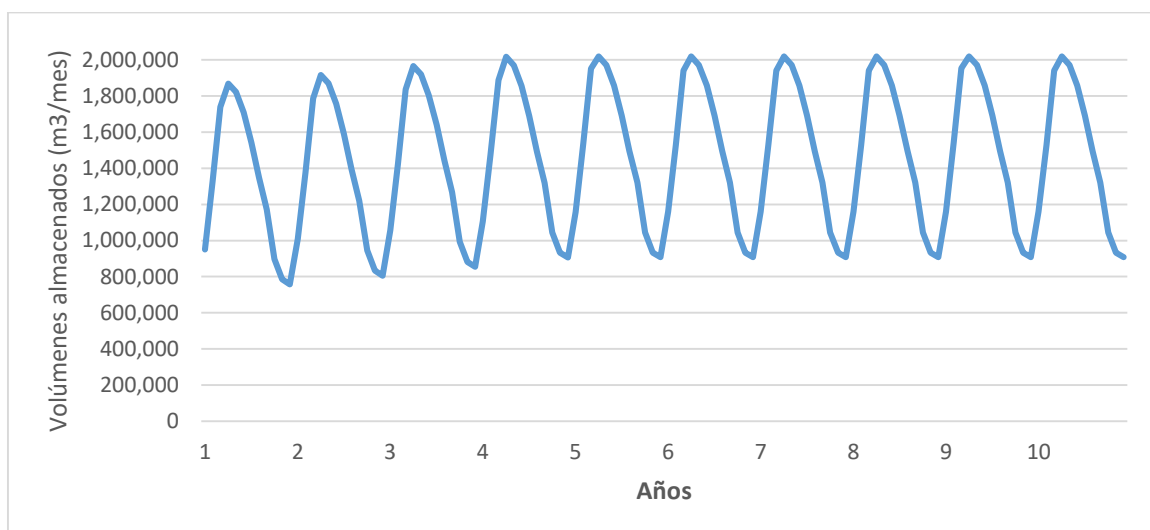
En el presente capítulo, se estima la capacidad de regulación de las estrategias que comúnmente se plantean cuando existe escasez hídrica: el represamiento a base de concreto y la construcción microrepresas rústicas (Qochas en quechua). Esta estimación se realiza con el propósito de comparar la efectividad que tienen estos sistemas con la regulación de los ecosistemas descritos en el capítulo anterior. Como se sabe, cuando se propone la necesidad de implementar medidas de afianzamiento hídrico, lo primero que se piensa es la construcción de presas, reservorios y, en los últimos años, la construcción de micro represas rústicas con la finalidad de incrementar la oferta de agua. A continuación, se desarrolla la efectividad de estas medidas tradicionales de regulación.

### 4.2.1. Efectividad en el almacenamiento superficial

Calcular el almacenamiento (regulación) en el nivel superficial de los cuerpos de agua, es relativamente sencillo, una vez conocido la profundidad media, se multiplica con el área respectiva y se obtiene el volumen almacenado. Así, se puede ver que las micro represas

rústicas, de Solimaniq Bajo y Jayllahuasi Alto pueden almacenar como máximo 1,965.9 m<sup>3</sup> y 1,963.4 m<sup>3</sup> respectivamente durante los meses de lluvia; mientras que la laguna Rontoccocha, en condiciones naturales (sin considerar la construcción de la presa) logra almacenar 776,614.73 m<sup>3</sup> como máximo (Cuadro 13).

Para el caso de la laguna de Rontoccocha, en un primer momento se estimó la capacidad de regulación en condiciones naturales durante el año hidrológico 2018 - 2019; sin embargo, esta laguna ha sido represado, por lo que luego se ha procedido a recalcular su efectividad en el almacenamiento superficial. La presa de Rontoccocha<sup>8</sup> tiene una altura de 14m cuya dinámica de efectividad se ha modelado para un período de 10 años, considerando los datos del estudio hidrológico del Proyecto Mariño (GRA 2013). Según el modelamiento realizado, el volumen final que se logra almacenar en la presa es de 2,018,000.00 m<sup>3</sup>, e incluso se generarían pequeños excedentes en época de lluvia (Figura 14).



**Figura 14: Modelamiento de la capacidad de almacenamiento (efectividad) de la presa Rontoccocha, modelado para un período de 10 años.**

En este modelamiento se han considerado como datos de ingreso: la precipitación sobre la presa y los ingresos por los riachuelos; mientras que las salidas: la evaporación, la demanda para riego, para consumo de agua potable (Anexo 4). En dicho análisis se pudo apreciar que los principales ingresos al sistema provienen por los afluentes superficiales, mientras que la mayor demanda está dada por el uso agrario y el consumo de agua potable de la ciudad de

<sup>8</sup> Inaugurado en noviembre del 2019.



Abancay. Con todo lo anterior, se resume la efectividad de almacenamiento superficial de los cuerpos de agua evaluados (Cuadro 13)

**Cuadro 13: Efectividad en el almacenamiento superficial de microrepresas rústicas y laguna de Rontoccocha.**

Cuerpo de agua	Área (m <sup>2</sup> )	Nº Puntos de batimetría	Prof. Media (m)	Efectividad de almacenado (m <sup>3</sup> )
Solimaniq Bajo	1813	20	1.084375	1,965.972
Jayllahuasi Alto	1982	20	0.990625	1,963.419
Rontoccocha (Cond. Naturales)	150000	188	5.177432	776,614.738
Presa Rontoccocha				2,018,000.00

FUENTE: Elaboración propia.

#### 4.2.2. Efectividad en el almacenamiento subterráneo

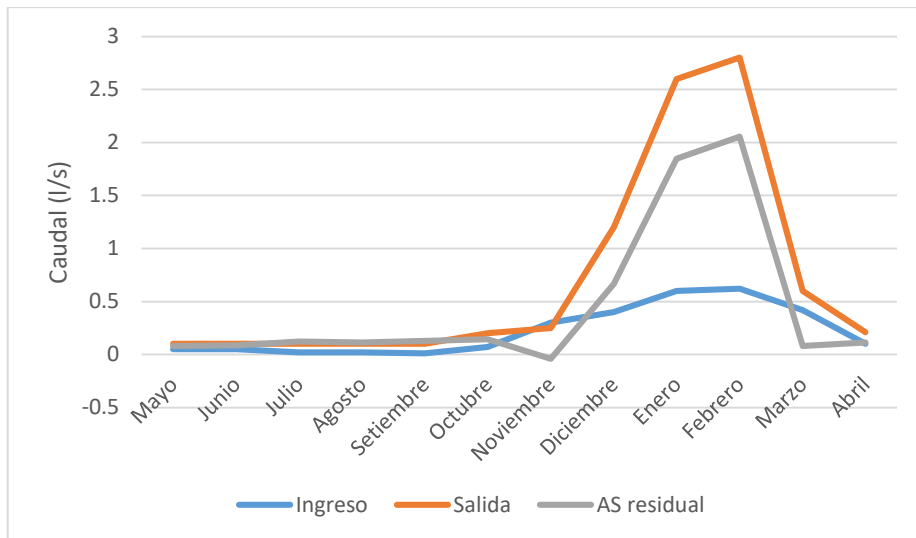
Las lagunas y estanques están casi siempre conectados al agua subterránea, sin embargo, medir su dinámica a nivel subterráneo ha sido complicado y sobre todo en regiones montañosas (Hayashi & Van der Kamp 2007, Lynn Hood *et al.* 2006, USGS 2016). Por tal complejidad, en vista de que la entrada y salida de agua subterránea no se ha medido, se ha estimado el agua residual subterránea ( $Q_{Res}$ ) con la ecuación de Lynn *et al.* (2006), el cual queda como la cantidad neta de entrada y salida de agua subterránea a los cuerpos de agua: Rontoccocha y microrepresas rústicas.

#### 4.2.3. Dinámica de los cuerpos de agua

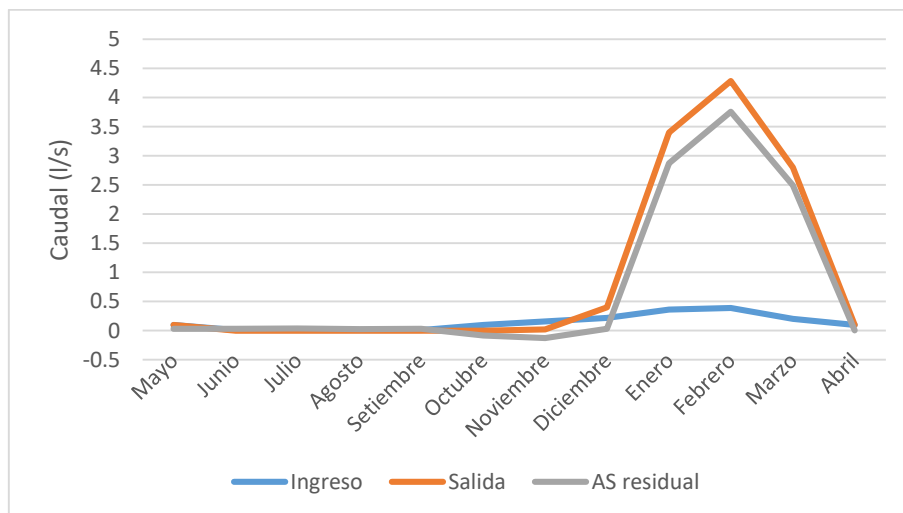
Los hidrogramas de entrada y salida de agua superficial en los cuerpos de agua, muestran el comportamiento (variación) durante el año hidrológico 2018-2019 (Figuras 15, 16 y 17); en dichos cuerpos se aprecia un patrón similar. Los ingresos de agua superficial son bastante menores, mientras que las salidas de agua superficial, dominan la dinámica de los cuerpos de agua; sobre todo en época de lluvia (noviembre – abril) donde el flujo de caudales se incrementa considerablemente.

En tanto el flujo de agua subterránea, representado como agua residual, es un caudal importante que representaría el aporte de la cuenca al cuerpo de agua que se almacena; luego, tanto el aporte de agua superficial como subterráneo salen del sistema como agua superficial,

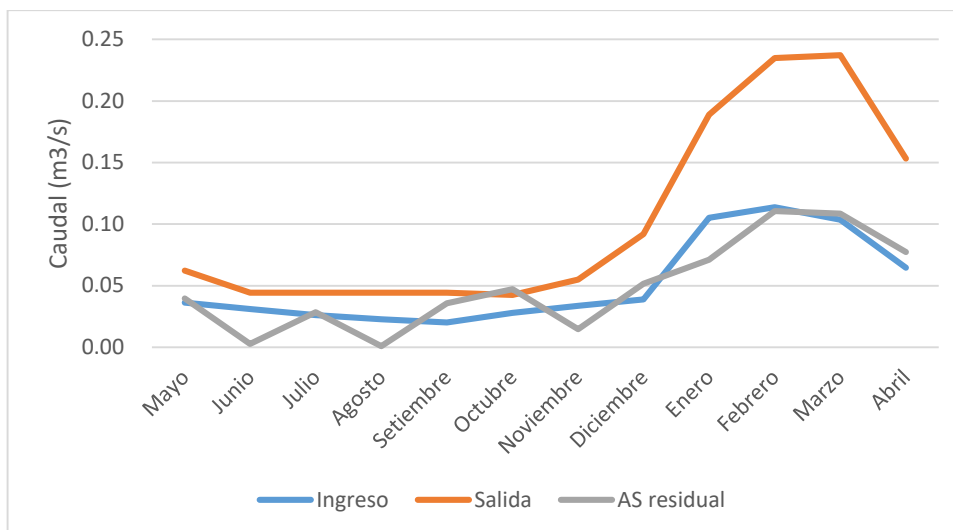
asumiendo que no hay pérdidas por infiltración y/o que estas son menores. Esto se puede apreciar en época de lluvia cuando se suman los valores de ingreso de agua superficial y agua subterránea residual, los cuales dan como resultado valores cercanos al caudal de salida.



**Figura 15: Balance hídrico de la microrepresa Solimaniq Bajo**



**Figura 16: Balance hídrico de la microrepresa Jayllahuasi Alto**



**Figura 17: Balance hídrico de la laguna Rontoccocha.**

#### 4.2.4. Contribución del agua subterránea

Un análisis más detallado de los resultados del modelamiento del año hidrológico 2018-2019 de los tres cuerpos de agua, permite conocer que el agua subterránea residual ha sido en la mayor parte del año positivo (Cuadro 14 y Figura 18), lo cual indica que la entrada de agua subterránea domina sobre la entrada de agua superficial. Sin embargo, en las micro represas rústicas, se observan valores negativos de agua subterránea residual durante los meses de octubre y noviembre; ello implicaría que, en dichos meses, los cuerpos de agua ya no reciben aportes de agua y, por el contrario, son las microrepresas las que contribuyen al agua subterránea.

A pesar de lo anterior, la contribución anual del agua subterránea al balance hídrico es positiva. Estos aportes en términos porcentuales respecto al total de ingresos de agua, representan: 84% en Jayllahuasi Alto, 67% en Solimaniq Bajo y 48.5% en la laguna Rontoccocha. Dichos aportes pueden considerarse como la estimación mínima de agua subterránea que ingresa al sistema (Lynn Hood *et al.* 2006, Hayashi & Van der Kamp 2007).

Estos resultados, demuestran que el aporte de las aguas subterráneas son significativos; por lo que una mirada a las cuencas de aporte y/o recarga hídrica son factores particularmente importantes que se deben considerar para asegurar una oferta hídrica. Así mismo, es posible la existencia de salidas de agua subterránea del sistema, pero no han sido cuantificables con los datos que se disponen.



#### **4.2.5. Vínculos de los cuerpos de agua con la cuenca de recarga**

Los resultados, también evidencian la importancia de la cuenca de recarga para hacer posible el almacenamiento en los cuerpos de agua, ya sea de carácter natural y/o artificial. Al respecto, hay consenso en afirmar que las lagunas o los pequeños estanques están influenciados, además de las características morfométricas del terreno, por los ingresos de agua, que a su vez están controlados por el tamaño de las áreas contribuyentes (cuenca de recarga), las condiciones climáticas, la cobertura vegetal, las propiedades del suelo (Rodríguez-Rodríguez *et al.* 2011, USGS 2016) y la geología (Hayashi & Van der Kamp 2007) pues se considera que las lagunas ubicadas en material relativamente permeables, como el caso de Rontoccocha, tienden a tener un alto flujo de entrada de agua subterránea.

Por lo anterior, resulta particularmente importante darse cuenta del vínculo íntimo que existe entre las lagunas y sus cuencas. Por lo tanto, alteraciones en la cuenca, como el cambio del uso del suelo (sobrepastoreo, incendios, agricultura y otros), tienen consecuencias en los procesos hidrológicos, que afecta el cuerpo de agua, así como los humedales (Hayashi & Van der Kamp 2007, Crespo *et al.* 2014, Ochoa-Tocachi *et al.* 2016).

Visto así, no se puede estudiar ni gestionar estos cuerpos de agua, desvinculado de su cuenca de aporte; dado que, para su existencia, dependen del equilibrio entre las entradas y salidas que experimentan, lo cual finalmente da como resultado un presupuesto de agua o volumen aprovechable. Aquí quizá yace su mayor importancia: ser almacenes de agua sobre los cuales la sociedad la gestiona y aprovecha (Rodríguez-Rodríguez *et al.* 2011, Lane 2020).

Entonces ¿cuál es el aporte de la presa de concreto y las microrepresas rústicas en la regulación hídrica? Estimar la regulación a nivel superficial, resulta relativamente sencillo; sin embargo, estimar su aporte en el nivel subterráneo, todavía es muy complicado por las complejas interacciones que se establecen con su entorno; sin embargo, está claro que al modelar los ingresos de agua superficial y agua subterránea en los cuerpos de agua estudiados, al menos es el volumen almacenado de manera superficial. Es posible que esta característica se deba a la existencia de lecho rocoso poco permeable que limita la infiltración a niveles más profundos, tal como señalan Buytaert *et al.* (2007) para zonas de páramo andino.

### 4.3. EFECTIVIDAD COMPARADA DE LAS DIVERSAS ALTERNATIVAS DE REGULACIÓN HÍDRICA

Una vez calculado la efectividad en el almacenamiento de las diversas estrategias de regulación, se hizo el comparativo entre ellas con la finalidad de conocer las mejoras de la intervención humana en términos de agua. Es necesario recordar que los ecosistemas y otros cuerpos de agua, poseen una capacidad natural de regulación que, por más que estén perturbadas, seguirán brindando dicho servicio al bienestar social. En ese sentido, el comparativo se realiza para evaluar el beneficio que se genera con la implementación de una práctica. El Cuadro 15, muestra tal efectividad de las diversas estrategias, considerando la capacidad natural del ecosistema (no intervención) y con la intervención del hombre.

**Cuadro 15: Comparativo de la efectividad de las estrategias de regulación hídrica implementadas por el hombre para mejorar la disponibilidad de agua.**

Estrategia/práctica		Regulación natural (m3)	Aporte marginal de intervención (m3)	Aporte total (m3)	Aporte de la estrategia a la regulación de la cuenca (%)
Referencia/ No intervención		980,684.84	0	980,684.84	38.71
Manejo y recuperación de ecosistemas	Estrategias intensivas	980,684.84	309,689.95	1,290,374.7	12.22*
	Estrategias no intensivas	980,684.84	309,689.95	1,290,374.7	12.22*
Construcción de microrepresas rústicas: Solimaniq Bajo.		0	1,965.97	1,965.97	0.08
Laguna/ construcción de presa de concreto		776,614.74	1,241,385.26	2,018,000.00	48.99
Total					100%

FUENTE: Elaboración propia.

\* los resultados de las estrategias recuperación intensivas y poco intensivas del ecosistema, no se pueden sumar a la contribución total de la cuenca, debido a que ambas tienen la misma finalidad y el mismo nivel de contribución.

El Cuadro 15, resume la capacidad reguladora de las tres estrategias evaluadas, e incluye el escenario de referencia o no intervención (hipotético), establecido para evaluar el aporte natural del ecosistema y el aporte marginal de su manejo y recuperación. La misma lógica se aplica para las otras medidas. El escenario de “no intervención” (referencia), implica que la cuenca se encuentra sometido a actividades de sobrepastoreo y agricultura sin ningún control; a pesar de ello, seguirá brindando el servicio ecosistémico de regulación hídrica, lo

cual equivaldría a 980,684.84 m<sup>3</sup> de agua por año hidrológico y al 38.7% de toda la cuenca. Luego, con la intervención del hombre, esta capacidad inicial se mejoraría.

En esa línea, el menajo y recuperación del ecosistema se puede lograr mediante estrategias intensivas o poco intensivas. Con la estrategia intensiva, que comúnmente se implementa mediante proyectos de infraestructura natural (verde), se regularía hasta 322,848.61 m<sup>3</sup> de agua, considerando los valores de Crespo *et al.* (2014). Sin embargo, estos mismos resultados se obtendrían si se recupera el ecosistema mediante estrategias poco intensivas como la regeneración natural. Nótese que los resultados de ambas estrategias, no pueden sumarse entre sí a la contribución total de la cuenca, debido a que ambas tienen la misma finalidad y resultado en dicho territorio. En total, el aporte del manejo del ecosistema representa el 12.2% de la regulación de la cuenca.

En tanto la presa de concreto, que se ha construido sobre una antigua laguna natural, permite regular un total de 2,018,000.00 m<sup>3</sup>; de esta, 776,614.738 m<sup>3</sup> corresponden al aporte natural de la laguna y 1,241,385.26m<sup>3</sup> el aporte marginal de la presa de concreto. El total contribuye al 48.9% de la regulación de la cuenca.

Finalmente, el aporte marginal de las micro represas rústicas, que se han establecido sobre hondonadas naturales del terreno, es de 1,965.972 m<sup>3</sup> (Solimaniq Bajo) lo cual representa al 0.08% de la regulación de toda la cuenca. Sin embargo, es necesario precisar que en este análisis solo se ha incluido el aporte de una microrepresa y de una tipología específica: tamaño pequeño y que no recibe contribuciones constantes de agua superficial. En una cuenca se podrían construir muchas más dependiendo de la topografía del terreno; aun así, posiblemente su aporte seguiría siendo menor en comparación a las otras medidas mencionadas.

Sin embargo, es conveniente precisar que el cálculo de la efectividad mediante el manejo de los ecosistemas, considerado la información de Crespo *et al.* (2014), es hipotética pero que da información útil para la gestión de la cuenca. En un escenario de ecosistemas degradados, las inversiones para su manejo y restauración generarán un aporte marginal de hasta 309,689.95 m<sup>3</sup> de agua regulada (Cuadro 15); sin embargo, cuando la cuenca está en buen estado de conservación, pero expuesto a potenciales riesgos, las inversiones en su manejo luchan para no perder dicho aporte marginal.

#### **4.3.1. Interacción y complementariedad entre las estrategias de regulación hídrica**

A pesar de que se ha descrito por separado la efectividad en la regulación hídrica de tres estrategias diferentes (infraestructura física e infraestructura natural), en la realidad estos están interconectados. De hecho, los resultados demuestran la interdependencia que se teje en la cuenca entre los ecosistemas, los cuerpos de agua natural (ríos y lagunas) y los cuerpos de agua artificiales que se han construido (presa y microrepresas rústicas). Por ejemplo, en la laguna Rontoccocha, el 48.5% de las entradas de agua ingresan a manera de agua subterránea; este aporte a su vez, representa la contribución de los ecosistemas de la cuenca que posibilitan la infiltración y la recarga de los acuíferos que progresivamente llegan hasta la laguna como agua subterránea; así mismo, esta contribución también se debe a las condiciones particulares de suelo y geología. En línea con lo anterior, las dinámicas de las microrepresas rústicas de Solimaniq Bajo y Jayllahuasi Alto dependen de los aportes de agua subterránea en una proporción de 67% y 84% respectivamente.

Otra interacción dinámica es la que se establece entre los propios ecosistemas; en específico, de los humedales de tipo bofedal con los ecosistemas de pajonales y bosque. Los bofedales normalmente al estar ubicados sobre terrenos bajos y depresiones naturales, reciben la afluencia de agua subterránea provenientes de la recarga que se da en los ecosistemas ubicados cuenca arriba, similar a las lagunas y arroyos (USGS 2016), e impiden el drenaje rápido del agua de la cuenca (Hasan & Khan 2019); por lo tanto, cualquier alteración en los ecosistemas de la cuenca, afecta su régimen hidrológico (Hayashi & Van der Kamp 2007). Así, se evidencia la interacción dinámica que existe entre agua superficial y subterránea en la cuenca.

Lo anterior refuerza la idea de la dependencia de los cuerpos de agua (naturales y modificados) de los ecosistemas para su estabilidad. Así mismo, estas interacciones también refuerzan la idea de complementariedad que debe existir entre infraestructura gris o física e infraestructura natural. Combinadas generan soluciones más eficientes que pueden ayudar a reducir costos en las inversiones relacionadas al sector hídrico, aumentar la resiliencia frente al cambio climático y provee beneficios sociales, ambientales y económicos adicionales (UICN 2017). Es necesario reconocer la importancia de la infraestructura gris para mejorar la competitividad de los países y elevar los estándares de vida de la población, entre otros (León 2016); sin embargo, el funcionamiento de tales infraestructuras en el largo plazo, depende de la infraestructura natural que se basa en la mejora de los ecosistemas, la



biodiversidad y los servicios que estos pueden brindar (Cohen-Shacham *et al.* 2016). Algunos ejemplos de esta interrelación se pueden manifestar en (León 2016):

- El incremento de los costos de tratamiento de agua potable cuando el agua llega cargado de sedimentos a causa de la deforestación.
- La colmatación de las presas y/o embalses por sedimentos que arrastra.
- Destrucción de infraestructura física por efecto de avenidas y deslizamientos, que son consecuencia de la degradación de la cobertura vegetal en las cuencas.

Por el contrario, cuando se conservan los ecosistemas, se incrementa la funcionalidad de la infraestructura física y se disminuye su vulnerabilidad.

#### **4.4.RAZÓN DE COSTO-EFECTIVIDAD INCREMENTAL (RCEI) DE ESTRATEGIAS DE REGULACIÓN**

Luego de analizar la dinámica y efectividad de los ecosistemas altoandinos y su manejo, la presa de concreto y las microrepresas rústicas en la regulación hídrica, ahora corresponde desarrollar la parte económica mediante la evaluación de la razón de costo – efectividad incremental (RCEI) para determinar la alternativa viable en términos técnicos y económicos.

##### **4.4.1. Beneficios de las estrategias en la regulación hídrica**

Los beneficios, en términos de efectividad, de las diversas prácticas orientadas a la regulación del agua, se han calculado en los capítulos anteriores y se resume en el Cuadro 15. Considerando un horizonte temporal de 10 años y el volumen de agua regulado (m<sup>3</sup>) como indicador de efectividad (Cuadro 16), la presa de Rontoccocha, el manejo de ecosistemas y la construcción de microrepresas rústicas; lograrían aportar un total de 12,413,852.60 m<sup>3</sup>, 3,096,899.50 m<sup>3</sup> y 19,659.72 m<sup>3</sup> de agua respectivamente, como aporte marginal.

**Cuadro 16: Efectividad de las estrategias de regulación hídrica en el período de evaluación de 10 años.**

Año	Beneficios/ efectividad (m3)			
	Recuperación y manejo de ecosistemas		Microrepresas rústicas	Presa de Rontoccocha
	Estrategias intensivas	Estrategias no intensivas		
1	309,689.95	309,689.95	1,965.97	1,241,385.26
2	309,689.95	309,689.95	1,965.97	1,241,385.26
3	309,689.95	309,689.95	1,965.97	1,241,385.26
4	309,689.95	309,689.95	1,965.97	1,241,385.26
5	309,689.95	309,689.95	1,965.97	1,241,385.26
6	309,689.95	309,689.95	1,965.97	1,241,385.26
7	309,689.95	309,689.95	1,965.97	1,241,385.26
8	309,689.95	309,689.95	1,965.97	1,241,385.26
9	309,689.95	309,689.95	1,965.97	1,241,385.26
10	309,689.95	309,689.95	1,965.97	1,241,385.26
Total	3,096,899.50	3,096,899.50	19,659.72	12,413,852.60

FUENTE: Elaboración propia.

#### 4.4.2. Costos de la implementación de alternativas de regulación hídrica

Una vez proyectado los beneficios de las diversas acciones de regulación hídrica, corresponde estimar los costos, en términos sociales, que implican la implementación de cada una de ellas.

##### a) Costos asociados a la recuperación, restauración y manejo de ecosistemas

Como se ha mencionado, la recuperación del ecosistema se puede alcanzar mediante estrategias intensivas o estrategias poco intensivas.

- **Costos de estrategias intensivas** (proyectos de infraestructura natural). Se ha considerado los costos que normalmente se proponen en proyectos de inversión verde<sup>9</sup>. Entre las acciones que se consideran son: forestación, revegetación, instalación de cercos, desarrollo de capacidades de los pobladores de la zona para la

<sup>9</sup> El ministerio del Ambiente del Perú, en el 2015 estableció los “lineamientos de inversión pública en materia de Diversidad Biológica y Servicios Ecosistémicos 2015 – 2021, los cuales comúnmente se denominaron PIPs verdes.

gestión de los ecosistemas e implementación de instrumentos de gestión para las comunidades de la zona (Cuadro 16 y Anexo 6). Dichos costos fueron tomados del proyecto “Recuperación del Servicio Ecosistémico de Regulación Hídrica de la Unidad Hidrológica Rontoccocha - Abancay - Apurímac” (Caballero *et al.* 2016).

**Cuadro 17: Presupuesto de inversión para el manejo de ecosistemas de la unidad hidrográfica de Rontoccocha.**

Partida	Unidad	Cantidad	P.U	Precio de mercado	Precio social
Expediente técnico	Estudio	1	20,000.00	28,372.49	25,818.96
Costos directos (instalación)					
Restauración y ampliación de bosques nativos	Global	1	82,500.00	157,521.00	133,420.29
Restauración y manejo de praderas naturales	Global	1	557,649.00	609,830.00	516,526.01
Adecuadas capacidades de manejo técnico de recursos naturales	Global	1	123,059.50	123,059.50	104,231.40
Disponibilidad de instrumentos y herramientas de gestión organizacional	Global	1	100,360.00	110,360.00	93,474.92
Supervisión (5%)	Global	1	44,178.43	47,287.48	43,031.60
Gastos Generales (10%)	Global	1	88,356.85	94,574.95	86,063.20
<b>Total</b>				<b>1,171,005.41</b>	<b>1,002,566.38</b>
<b>Costos actualizados*</b>					<b>1,081,991.31</b>

FUENTE: Caballero *et al.*(2016).

\*actualizados con una tasa de descuento del 9% y un horizonte de evaluación de 10 años.

- **Costos de estrategias no intensivas (pago de costo de oportunidad).** Como se mencionó, una manera de implementar la estrategia no intensiva para permitir la regeneración natural de la vegetación, es pagando el costo de oportunidad de las actividades de económicas de las familias de la zona de interés. Escalante (2019) en su estudio de “Costo de oportunidad de los contribuyentes de la cuenca de aporte Rontoccocha”, ha calculado dicho costo. En dicho estudio evalúa el costo de oportunidad de la principal actividad económica de nueve familias de la zona: ganadería ovina y bobina y los costos asociados a esta: pastoreo, prevención de enfermedades y suplementos alimenticios. Los resultados de Escalante (2019) indican que, en promedio, cada familia tiene un costo de oportunidad promedio de S/ 1845.80 anual, o S/. 16,612.20 al año por las nueve familias (Cuadro 18).

**Cuadro 18: Costo de oportunidad de la U.H de Rontoccocha por actividad productiva**

Actividad productiva	Costo de oportunidad anual
Ganadería bovina	S/. 1,616.09
Ganadería ovina	S/. 229.68
Total, por familia	S/. 1,845.80
Total, de la zona (9 familias)	<b>S/. 16,612.20</b>
<b>Costos actualizados*</b>	<b>123,223.61</b>

FUENTE: Escalante (2019).

\*actualizados con una tasa de descuento del 9% y un horizonte de evaluación de 10 años.

#### b) Costos asociados a la construcción de microrepresas rústicas

Las micro represas rústicas, por sus características, no demandan estudios especializados detallados, por lo que los costos están relacionadas a las actividades para la construcción del dique rústico con materiales de la zona, mano de obra de la población local, herramientas y otros. Dichos costos se tomaron del estudio de Sotomayor (2018) que sistematiza las prácticas de restauración y recuperación de los servicios ecosistémicos de regulación hídrica en la micro cuenca Mariño (Cuadro 19 y Anexo 7).

**Cuadro 19: Costos de inversión para la construcción de microrepresas rústicas**

Partida	Unidad	Cantidad	P.U	Precio de mercado	Precio social
Exp. Técnico	Estudio	1	2,000.00	2,000.00	1,820.00
Costos directos (instalación)					
Herramientas	Global	1	2,565.00	2,565.00	2,172.56
Mano de obra calificada	Día	4	200.00	800.00	677.60
mano de obra no calificada	Día	120	50.00	6,000.00	5,082.00
Movilidad	Global	1	3,200.00	3,200.00	2,710.40
Alimentación	Global	1	1,440.00	1,440.00	1,219.68
Supervisión	Global	1	2,000.00	2,000.00	1,820.00
Gastos Generales	Global	1	2,000.00	2,000.00	1,820.00
<b>Total</b>				<b>20,005.00</b>	<b>17,322.24</b>
<b>Costos actualizados*</b>					<b>37,178.47</b>

FUENTE: Sotomayor (2018)

\*actualizados con una tasa de descuento del 9% y un horizonte de evaluación de 10 años.

#### a) Costos asociados a la construcción de la presa de Rontoccocha

En el caso de la presa de Rontoccocha, los costos están estimados para cubrir obras físicas como la construcción del dique de concreto, vertedero, sistema de drenaje, caminos de acceso, movimiento de tierras, etc., en tres ejes de construcción (Anexo 8). Estos costos son los establecidos para su construcción en el marco del proyecto “Sistema de Almacenamiento Rontoccocha (U.E. Pro Desarrollo Apurímac 2019). La obra de represamiento considera un dique principal de 14 metros y dos ejes secundarios.

**Cuadro 20: Costos de inversión para la construcción de la presa de Rontoccocha**

Descripción	Precio social
Sistema de almacenamiento Rontoccocha	<b>5,840,711.53</b>
Obras preliminares	160,085.28
Obras de cierre - eje principal	4,836,238.65
Obras de cierre - eje secundario 1	120,048.18
Obras de cierre - eje secundario 2	549,600.97
Instrumentación	55,203.46
Plan de manejo ambiental	119,535.00
Sub total	<b>5,840,711.53</b>
Gastos generales	815,111.83
Utilidades	414,690.52
Sub total	7,070,513.88
Otros gastos	1,272,692.50
Exp. técnico	176,349.07
<b>Total</b>	<b>8,519,555.45</b>
<b>Costos actualizados*</b>	<b>8,833,126.30</b>

FUENTE: U.E. Prodesarrollo Apurímac 2019, Gob. Regional de Apurímac.

#### 4.4.3. Evaluación económica de rentabilidad social

La evaluación económica de costo efectividad de las diversas estrategias de regulación hídrica, se realizó considerando la razón de costo-efectividad medio (CEM) y costo-efectividad incremental (RCEI).

Para este cálculo, primero se obtuvo el valor actual de costos sociales (VACS) de las diversas medidas (a partir de los Cuadros 17, 18, 19 y 20), actualizados con una tasa social de descuento del 9% y un horizonte de evaluación de 10 años; luego se calculó el CEM y RCEI

(Cuadro 21). Para la RCEI, primero se ha comparado con la alternativa de referencia (no intervención) y luego entre ellas para conocer el costo extra de pasar de una alternativa a otra.

**Cuadro 21: Razón de Costo-efectividad incremental, con relación al escenario de referencia o no intervención.**

Estrategia		C (S/)	E (m3)	CEM	RCEI
No intervención		0.00	10,223,539.30	0.00	0.00
Recuperación de ecosistemas	Proy. Verde	1,081,991.31	3,228,486.10	0.35	0.35
	Pago de costo de oportunidad (CO)	123,223.61	3,228,486.10	0.04	0.04
Microrepresas rústicas		37,178.47	19,659.72	1.89	1.89
Presa de concreto		8,833,126.30	12,413,852.60	0.71	0.71

C: costo de la estrategia de regulación ó valor actual de costos sociales (VACS); E: efectividad de la estrategia en m3; CEM: Costo-efectividad medio; RCEI: razón de costo-efectividad incremental.

Desde el enfoque CEM, de disponer de recursos ilimitados, la opción elegida sería la construcción de la presa de concreto debido a que es la opción más efectiva; sin embargo también es la opción más cara (S/ 8,833,126.30). La opción más barata es la construcción de microrepresas (S/ 37,178.47), pero proporciona la efectividad más baja (19,659.72 m3). Así mismo, la opción de “pago del costo de oportunidad” tiene el valor más bajo en CEM (S/ 0.04 por cada m3 de agua regulada), mientras que la microrepresas posee el más alto (S/ 1.89 por cada m3).

El análisis CEM permite conocer el costo por unidad de beneficio, pero no proporciona información para una comparación más apropiada (Prieto *et al.* 2004). Muchas veces será necesario comparar diversas opciones para abordar un mismo problema y la RCEI es la herramienta que proporciona dicha información. Para ello existen dos opciones (Boerema *et al.* 2018, Prieto *et al.* 2004): a) comparar cada estrategia alternativa con una de referencia y b) comparar todas las alternativas entre sí.

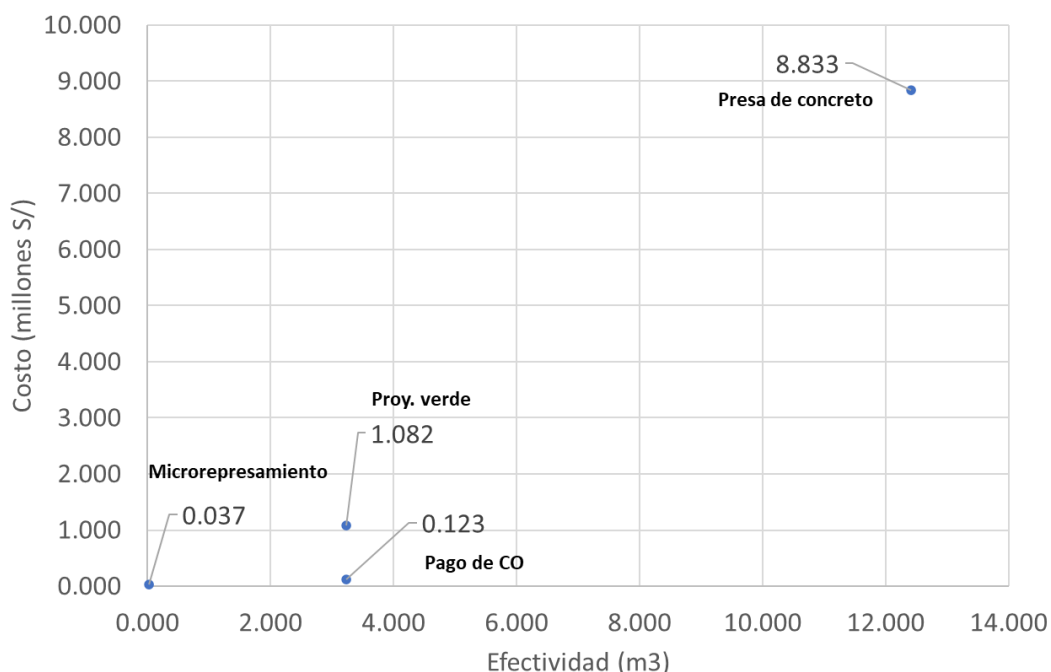
**a) RCEI comparado con estrategia de referencia (no intervención)**

La RCEI de las diversas alternativas, comparado con la estrategia de referencia (no intervención), nos indica que el costo extra por unidad de beneficio adicional es: S/ 0.04

mediante el pago del costo de oportunidad, S/ 0.35 por la implementación de un proyecto de infraestructura natural (verde), S/ 1.89 con la construcción de microrepresas rústicas y S/ 0.71 mediante la construcción de la presa de concreto.

La representación gráfica de los costos y la efectividad de cada una de las intervenciones comparadas se observa en la Figura 19. Cada punto representa la efectividad (eje horizontal) y su costo respectivo (eje vertical); así mismo, se aprecia que todas las alternativas caen en el cuadrante (I) del plano; es decir, se requiere algún tipo de inversión para mejorar la regulación hídrica (efectividad). También se observa que el aporte marginal de la microrepresa es muy pequeño, mientras que la presa se concreto es significativamente mayor. Nótese que la alternativa de “proyecto verde” y el “pago del costo de oportunidad” tienen la misma efectividad, pero el costo de la segunda es notoriamente bastante bajo.

Un elemento importante que se observa (Cuadro 21) es que los resultados de la RCEI se iguala al CEM cuando el elemento de comparación de las diversas medidas se hace frente a la “no intervención”, tal como lo menciona Castillo *et al.* (2013).



**Figura 19: RCEI comparando la medida referencia (no intervención).**

## b) RCEI comparado entre todas las alternativas

Para la comparación de las diversas alternativas, primero será necesario ordenarlas de menor a mayor de acuerdo a su costo. A no ser que exista estrategias dominadas, se espera que haya alta correlación entre los costos y resultados, es decir, que las alternativas más costosas sean también más efectivas (Castillo *et al.* 2013). Así, esta es la forma más apropiada de comparar las opciones (Prieto *et al.* 2004). Sobre la base del criterio anterior y considerando los datos del Cuadro 21; en el Cuadro 22 se muestra los costos y efectos incrementales reordenado y cuando se compara una estrategia con la alternativa inmediatamente precedente.

Nótese que las opciones B1 y B2 son mutuamente excluyentes debido a que se enmarcan dentro de la estrategia de “recuperación de ecosistemas”, solo que para dicho fin (en el presente caso) hay dos formas de alcanzarlo: mediante proyectos de inversión verde o pagando del costo de oportunidad (CO). Por lo tanto, sus efectividades conjuntas no se pueden sumar al aporte de la cuenca, solo por separado.

**Cuadro 22: Razón de Costo-efectividad incremental, comparando entre las alternativas de regulación**

Opción	Estrategia	$\Delta C$	$\Delta E$	RCEI
0	No intervención	0.00	0.00	0.00
A	Microrepresas rústicas	37,178.47	19,659.72	1.89
B1	Pago CO	86,045.14	3,077,239.78	0.03
B2	Proyecto verde	958,767.70	3,077,239.78	0.33
C	Presa de concreto	8,709,902.69 (1) 7,751,134.99 (2)	9,316,953.10	0.93 (1) 0.83 (2)

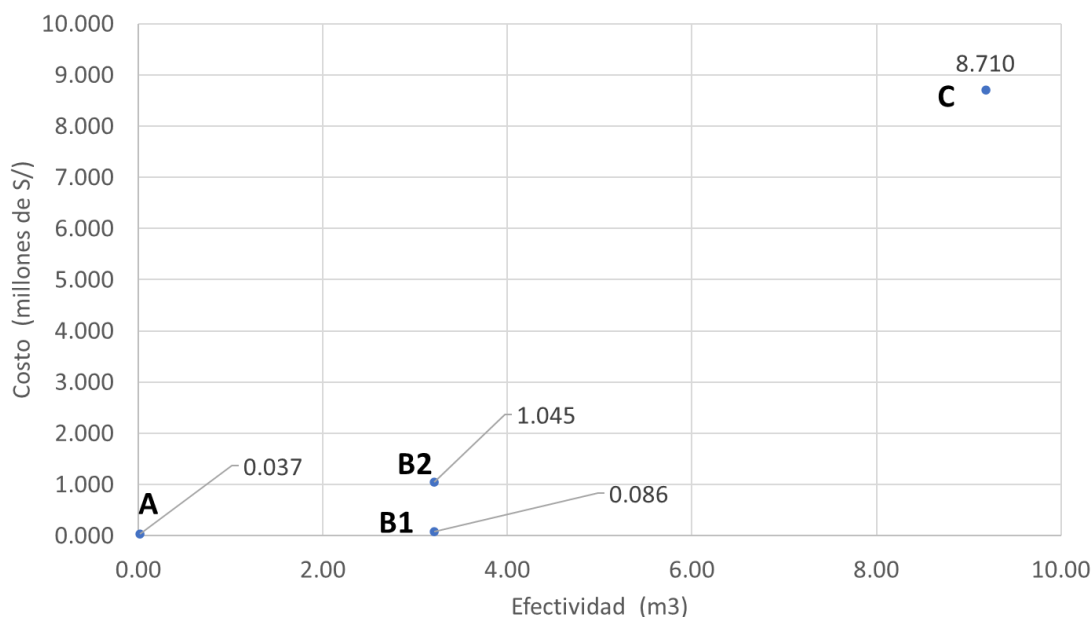
FUENTE: Elaboración propia.

$\Delta C$ : incremento del costo;  $\Delta E$ : incremento del efecto; RCEI: razón de costo-efectividad incremental

La comparación de las estrategias, según el Cuadro 22, permiten ver por ejemplo que la opción A supone un costo incremental frente a la opción 0 (no intervención) de S/ 37,178.47 y 19,659.72 m<sup>3</sup>; la opción B1 implica un coste incremental frente a la opción A de S/ 86,045.14 y 3,077,239.78 m<sup>3</sup> de agua; en tanto la opción C supone S/ 8,709,902.69 y



9,316,953.10 m<sup>3</sup> de agua que la opción B1 o pasar de B2 a C supone S/ 7,751,134.99 por 9,316,953.10 m<sup>3</sup> de agua (Figura 20).



**Figura 20: RCEI comparado entre todas las alternativas de regulación: A frente a 0 (referencia), B frente A y C frente a B1 y B2.**

De forma gráfica, también se puede visualizar que la efectividad de la opción A es bastante limitada al igual que su costo; mientras que la opción C es todo lo contrario. Así mismo, analizando las alternativas mutuamente excluyentes (B1 y B2), se evidencia que a pasar de la opción A hacia B1 o B2 la diferencia se manifiesta en los costos incrementales por la misma cantidad de beneficio. De esta manera, conocer los costos y efectividades incrementales permite calcular, en el mismo cuadro, la RCEI para cada intervención. Así, los valores del comparativo entre las diversas alternativas, indica el dinero adicional que es necesario para conseguir mayores resultados.

Considerando los resultados de CEM y RCEI, la opción de recuperar el ecosistema mediante el pago de costo de oportunidad sería la alternativa recomendada a implementar; sin embargo, esta opción no suele considerarse como proyecto de inversión, por lo que recuperar el ecosistema mediante un “proyecto tipo verde” sería la siguiente alternativa viable; de hecho, eso es lo que normalmente se considera en las inversiones y en la evaluación económica convencional.

En las evaluaciones económicas tradicionales de costo-efectividad, la elección de una alternativa será aquella que proporciona mayor beneficio a menor costo; pero este criterio se aplica cuando no se tiene claridad sobre las limitaciones de presupuesto y cuando el agente económico dueño del proyecto es el conjunto de la sociedad de todo un país (MEF 2019).

En un escenario de PSEH, este criterio no se cumple debido a que el dinero que se dispone, proviene de los aportes de las familias que están insertas en el mecanismo de PSEH; en consecuencia, dichas familias son los dueños del proyecto. Entonces, antes de concluir sobre la pertinencia o no de una estrategia, conviene consultar a los dueños del proyecto si están dispuestos a asumir dicho costo o si están dispuestos a pagar (DAP) por dicho beneficio. Allo se denomina umbral de costo efectividad ( $\Lambda$ ) o “línea de corte”, dentro de la nomenclatura de inversión pública peruana (MEF 2019). En ese contexto, en el siguiente capítulo se aborda los resultados de dicho umbral.

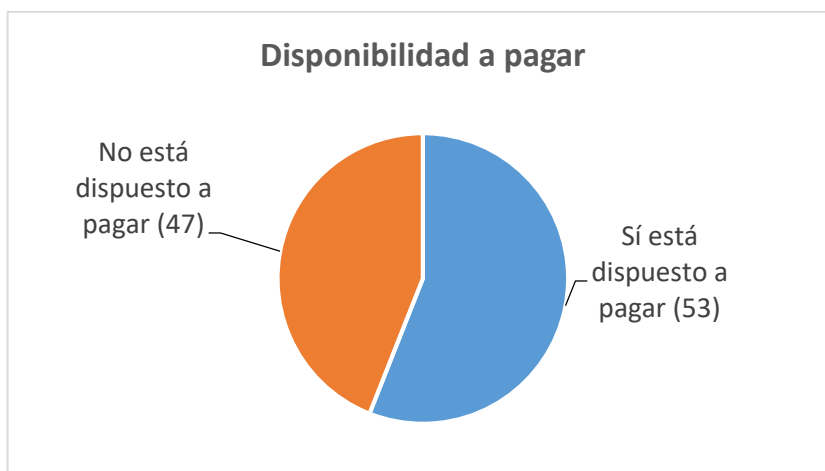
#### **4.5. UMBRAL DEL COSTO-EFECTIVIDAD, EL VALOR DE LA REGULACIÓN HÍDRICA**

El umbral, refleja el valor de consumo que una sociedad otorga a una medida de bienestar, que este caso se refleja en volumen de agua regulada. Para determinar dicho umbral, se hizo una estimación de la Disposición a Pagar (DAP) por la generación de agua adicional para el consumo humano con 390 encuestas de valoración contingente.

##### **4.5.1. Evaluación de la disposición a pagar (DAP)**

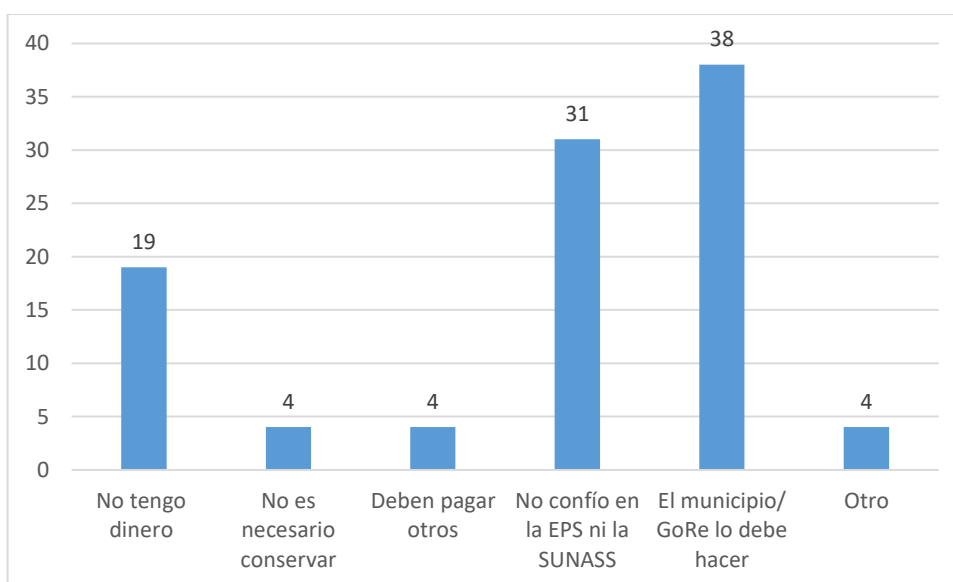
Por medio de encuestas de valoración contingente, se recogió información de las preferencias de la población de Abancay acerca de su disponibilidad a pagar (DAP) para que se lleven a cabo acciones de protección y conservación en la unidad hidrográfica de Rontoccocha. El 53% de los encuestados respondió que sí estaban dispuestos pagar y el 47% dijeron que no. Riera (1994) señala que en Estados Unidos es normal encontrar entre el 20 a 30% de encuestados que no desean pagar y en España podría llegar hasta 40%. El 47% de negativa en el presente estudio, pareciera un valor muy elevado respecto a lo que señala Riera (1994); sin embargo, Alarcón *et al.* (2014), en el estudio de valoración económica de ecosistemas de bofedales de Huaraz, han encontrado 68% de rechazo. Ello podría deberse a dos aspectos: que los encuestados no perciben con claridad la relación de ecosistemas y

bienestar y/o la conciencia sobre el valor económico de la naturaleza aún no está muy desarrollado en la población andina.



**Figura 21: Disponibilidad a pagar por la regulación hídrica de la población de Abancay.**

De los encuestados que manifestaron no estar dispuestos a pagar el monto ofrecido; es decir las razones de rechazo del mercado, el 38% manifiesta que la conservación lo debe realizar el municipio o el Gobierno Regional, el 31% manifiesta que no confía en la EPS ni la supervisión que pueda realizar la Sunass y el 19% manifiesta que no tiene dinero para hacerlo.



**Figura 22: Motivos de rechazo al mercado o a la DAP.**

En este punto, ha sido importante determinar las respuestas de protesta. Frente a la pregunta de los motivos por los que la persona entrevistada da una valoración de cero soles, permite identificar los que realmente son ceros genuinos (valor cero) y los que corresponden a protestas.

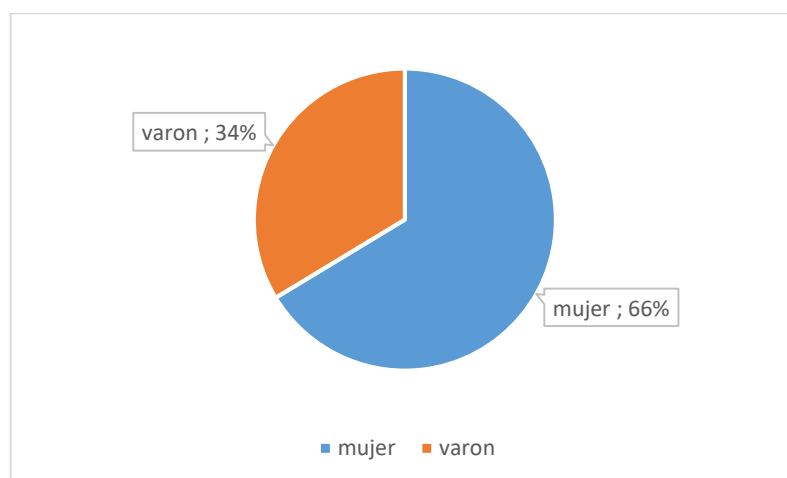
En el caso, de que el encuestado responde que no confía en la EPS o que algún sector del gobierno lo debe hacer, no significa que su valoración sea un cero genuino. La persona que responde así, puede tener un valor verdadero superior a cero, pero se niega a revelar tal valor (Cárdenas *et al.* 2018, Riera 1994). En cambio, las respuestas relacionadas a que no es necesario conservar, sí tendría el valor genuino de cero Soles a pagar, debido a que el entrevistado, simplemente no valora el servicio ecosistémico.

Por lo anterior, las respuestas de tipo protesta no han sido incluidos en el cómputo de cálculo de disposición a pagar, pero sí se han incluido las que se han identificado como cero genuino que representa el 4% de los entrevistados.

#### 4.5.2. Características socioeconómicas de los encuestados

##### a) Género

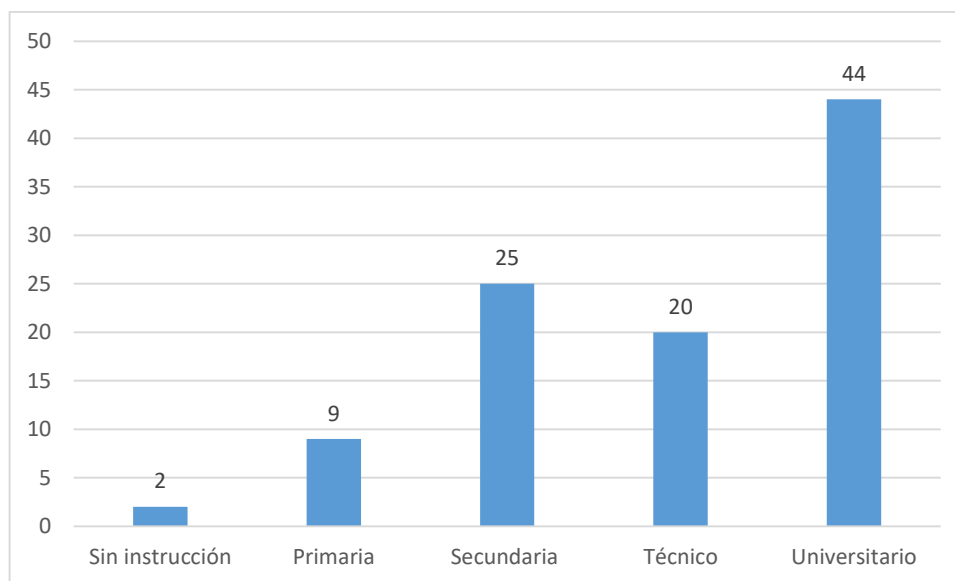
Es una variable binaria en el que se le asigna 1 si el encuestado es femenino y 0 si es masculino. Por lo anterior, el 34% de los encuestados fueron varones y el 66% mujeres. El aspecto femenino es un factor importante para la DAP, ya que son consideradas como el grupo con mayor disponibilidad a pagar (Soncco 2007). Sin embargo, en el modelo econométrico, la variable no mostró significancia. Es importante señalar que esta encuesta no se ha considerado a los menores de 18 años.



**Figura 23: Distribución porcentual de entrevistados según género.**

## b) Nivel educativo

Respecto al nivel educativo de los encuestado, los principales aspectos que se puede resaltar es que el 44% tiene una formación universitaria, el 25% han cursado la educación secundaria, el 20% con educación técnica y en menor proporción con educación primaria y sin instrucción.



**Figura 24: Nivel educativo de los encuestados.**

### 4.5.3. Resultados econométricos de la DAP

En esta investigación, el propósito de la aplicación de la valoración contingente es estimar la disponibilidad a pagar en el marco de la medida de bienestar de variación compensatoria. Ello permitirá a su vez, conocer si el valor asignando por la población de Abancay (usuarios de agua potable de la unidad hidrográfica de Rontoccocha) se encuentra dentro del umbral de costo-efectividad. Los cálculos se han realizado mediante un conjunto de iteraciones econométricas utilizando el modelo *Logit*. En las regresiones, la probabilidad de responder SI a la pregunta de disponibilidad a pagar (1=si, 0=no) siempre es la variable dependiente y el valor del precio (bid) a pagar siempre es una de las variables independientes.

El Cuadro 23 muestra las variables utilizadas en la estimación de los modelos, los coeficientes de cada variable y su respectivo estadístico: precio o monto a pagar por mes (*bid*), *genero*, *edad*, *educ* (educación), tamaño de hogar o número de miembros en la familia (*hsize*), años de permanencia en la ciudad (*perm*) y número de hijos menores

de 18 años (*hij18*) e *ingresos*. Las estadísticas descriptivas de las variables antes señaladas se muestran a continuación.

**Cuadro 23: Variables consideradas en la DAP**

Variabes	Obs	Promedio	Std. Dev.	Min	Max
Dap	309	0.5242718	0.5002206	0	1
Bid	309	3.446602	2.345463	1	8
genero	309	0.6634304	0.4733027	0	1
edad	309	41.16505	14.45398	18	85
educ	309	2.964401	1.096938	0	4
hhsiz	309	4.679612	2.225357	1	16
perm	309	30.49191	17.01577	1	85
hij18	309	1.184466	1.160057	0	8
Ingresos	309	1097.896	738.3426	300	3250

FUENTE: Elaboración propia.

#### a) Evaluación de variables

Se establecieron tres modelos *Logit* (M1, M2 y M3), sobre las cuales se evaluaron las variables para conocer los determinantes de la DAP (Cuadro 24). En los tres modelos, los parámetros de las variables *bid*, *edad*, *educ* e *ingresos* resultaron ser estadísticamente significativos a un nivel de significancia del 1 y 5% (Cuadro 24). Por lo anterior, la relación entre la variable dependiente (*DAP*) y las variables explicativas tuvieron los signos esperados; es decir, que los signos de los coeficientes estimados para las variables explicativas reflejen una relación lógica con la variable dependiente:

- La relación entre *DAP* y la variable *bid* resulta con signo negativo, según lo esperado. Ello significa que en la medida que aumenta el monto a pagar, la probabilidad de que el encuestado responda de forma afirmativa, es menor, *ceteris paribus*.
- La relación de la *DAP* con las variables *educ* e *ingreso*, resultaron ser directas y con signo positivo. Significa que la probabilidad de aceptar la propuesta aumenta conforme se cuenta con mayor educación e ingreso.
- Finalmente, la variable *edad* resultó con signo negativo, lo que implica que a medida que aumenta la edad de los encuestados se reduce la probabilidad de aceptar la propuesta.

Así mismo, los tres modelos se evaluaron con los indicadores significativos de bondad de ajuste: R<sup>2</sup> McFadden (equivalente al coeficiente de determinación) R<sup>2</sup> de cuenta (que presenta el % de pronóstico correcto del modelo), Criterio de Akaike y Schwarz (cuanto menor tendrá mejor bondad de ajuste) y Ji-cuadrada que expresa la significancia conjunta de las variables regresoras. A pesar de que los indicadores de ajuste de los modelos no muestran grandes diferencias; en M1 existen variables que no resultaron significativas; en M2 el % de pronóstico es el más bajo (63.43) y en M3 el porcentaje de aciertos del modelo es mayor que M1 e igual a M2; por lo tanto, la DAP se evaluará con M2 y M3.

**Cuadro 24: Resumen de características de variables por modelo logit.**

Variables		M1	M2	M3
bid	Coef.	-0.45967***	-0.360327***	-0.44210***
	P>z	0.000	0.000	0.000
genero	Coef.	0.30078	--	--
	P>z	0.306		
edad	Coef.	-0.02959*	--	-0.02005*
	P>z	0.032		0.047
educ	Coef.	0.30276*	--	0.328131*
	P>z	0.047		0.029
hhsiz	Coef.	0.05770	--	--
	P>z	0.433		
perm	Coef.	0.00893	--	--
	P>z	0.41		
hij18	Coef.	-0.22688	--	--
	P>z	0.107		
ingresos	Coef.	0.00074**		0.00075**
	P>z	0.001		0.001
_cons	Coef.	0.69435	1.317693***	0.63869
	P>z	0.376	0.000	0.333
R McFadden		0.2104	0.107	0.2003
R de cuenta		72.17%	63.43%	72.17%
Criterio de Akaike		355.65	385.89	351.99
Criterio de Schwarz		389.25	393.36	370.65
Ji-cuadrada (P-valor)		89.98 (0.000)	45.75 (0.000)	85.65 (0.000)
		* p<0.05;	** p<0.01;	*** p<0.001

FUENTE: Elaboración propia.

## b) Efectos marginales

En línea con lo anterior también se ha evaluado los efectos marginales de cada variable sobre la DAP. Ello permite predecir los efectos de las variables independientes sobre la probabilidad de responder positivamente a la pregunta de disponibilidad a pagar. Así, por ejemplo, sobre la base del Cuadro 25, se puede afirmar que, ante un incremento de una unidad del aporte monetario mensual, la probabilidad de que los usuarios acepten pagar dicho incremento se reduce en 8.5 % aproximadamente; así mismo, a medida que aumenta el nivel educativo del encuestado, la DAP aumenta en 5%. Un aspecto importante a observar es la variable *edad* e *ingreso* que muestran niveles de significancia al 5%; sin embargo, su efecto sobre la DAP es muy pequeño: -0.005449 y 0.0001368 respectivamente.

**Cuadro 25: Análisis de efectos marginales e influencia de las variables**

Variabes	dy/dx	Err. Std.	z	P>z
bid	-0.0846544	0.0089565	-9.45	0
genero	0.0553916	0.0537461	1.03	0.303
edad	-0.005449	0.0024665	-2.21	0.027
educ	0.0557569	0.0274885	2.03	0.043
hhsiz	0.0106263	0.0134985	0.79	0.431
perm	0.0016444	0.0019874	0.83	0.408
hij18	-0.0417825	0.0255386	-1.64	0.102
ingresos	0.0001368	0.0000399	3.42	0.001

FUENTE: Elaboración propia.

Si se analiza con más detalle la variable significativa de educación, podemos apreciar que cuanto más alto es el nivel educativo, la probabilidad de aceptar el monto ofrecido también es mayor (Cuadro 26).

**Cuadro 26: Análisis sobre la influencia de la educación en la DAP.**

dap	Educ				
	0	1	2	3	4
0	5	18	40	35	49
1		10	37	27	88

FUENTE: Elaboración propia



**c) Estimación de la disposición a pagar (DAP)**

A partir de los modelos M2 y M3 se estimó la DAP, que consideran los modelos lineal y extendido de Hanemann (Alarcón *et al.* 2014, Soncco 2007). Las medidas de bienestar corresponden al promedio del máximo monto que los individuos estarían dispuestos a desembolsar para la implementación de un programa favorable (o evitar una situación desfavorable).

Para el caso más sencillo (función indirecta de utilidad lineal) o M2 esta expresión corresponde a:

$$DAP = \frac{-\alpha}{\beta}$$

Donde  $\alpha$  corresponde a la constante, y  $\beta$  es el coeficiente del precio de un modelo econométrico dicotómico (Logit). Como resultado se tiene que la DAP se encuentra 2.98 y 4.34 Soles, con una mediana de 3.66 Soles (Cuadro 27).

**Cuadro 27: DAP, considerando el monto ofrecido (bid)**

dap	Coef.	Std. Err.	z	P>z	[95% Conf. Interval]	
bid	-0.360327	0.0586618	-6.14	0.000	-0.475302	-0.2453521
_cons	1.317693	0.2265872	5.82	0.000	0.8735904	1.761796
<b>DAP1</b>	<b>3.656937</b>	0.3475503	10.52	0.000	2.975751	4.338123

FUENTE: Elaboración propia.

Aplicando el procedimiento denominado *stepwise*, se corrió el modelo M3 que incorpora las variables estadísticamente significativas (incluye la constante), cuyos resultados se observa en el Cuadro 28. Para ello, se resuelve el cociente de los coeficientes de las variables independientes, incluyendo la constante, entre el coeficiente de la variable precio a pagar (*bid*). Con ello se obtiene una DAP promedio de S/ 3.64 y mediana de S/ 3.84.

$$DAP_i = - \frac{(0.63868 - 0.020046 Edad_i + 0.328131 Educ_i + 0.000752 Ingresos_i)}{-0.4421007}$$

i = 1,2,... 309.

**Cuadro 28: DAP con variables significativas (edad, educ e ingresos).**

dap	Coef.	Err. Std.	z	P>z
bid	-0.4421007	0.0672389	-6.58	0
edad	-0.0200463	0.0101108	-1.98	0.047
educ	0.3281311	0.150083	2.19	0.029
Ingresos	0.0007527	0.0002305	3.27	0.001
_cons	0.6386883	0.6596343	0.97	0.333
	<b>Mediana</b>			
<b>DAP2</b>	3.6712			

FUENTE: Elaboración propia.

Sobre la base de lo anterior, se procedió a estimar la variación compensatoria ( $V_c$ ) a partir de la utilidad indirecta el modelo estimado es:

$$U_i = 0.6387 - 0.44210(\text{bid}) - 0.02005(\text{Edad}) + 0.3281(\text{educ}) + 0.00075(\text{Ingresos})$$

Sustituyendo los valores promedio para las variables explicativas, tenemos la utilidad estimada promedio cuando no se realiza el pago:

$$V_0 = 0.6387 - 0.442(0) - 0.02005(41.16) + 0.328(2.96) + 0.00075(1097.9) = 1.609$$

Luego, suponiendo que se realiza un pago, la utilidad estimada promedio final es:

$$\begin{aligned} V_1 &= 0.6387 - 0.442(3.446) - 0.02005(41.16) + 0.328(2.96) + 0.00075(1097.9) \\ &= 0.0856 \end{aligned}$$

Así la DAP será igual a aquella que permita que el nivel de utilidad sea igual al nivel inicial o que mantenga constantes después de realizar el pago.

Por lo tanto:

$$V_0 = 1.609 = V_1 = 0.0856 - DAP(-0.4421)$$

Luego, para estimar la DAP por cada una de las opciones se utiliza el cálculo de la variación compensada ( $V_c$ ) cuyo resultado muestra una DAP3 de S/. 3.45:

$$DAP3 = V_c = -\frac{1}{-0.4421} [\ln(e^{1.609}) - \ln(e^{0.0856})] = \text{S/ } 3.45$$

- **Estimación no paramétrica Turnbull**

Finalmente, la DAP también se ha modelado mediante el estimador no paramétrico de máxima verosimilitud “Turnbull” sobre la distribución acumulada de datos (Cuadro 29). Esta proporciona valores extremos entre S/ 2.74 y 7.284, con una media de S/ 5.01.

**Cuadro 29: DAP ajustado con estimador no paramétrico Turnbull.**

Bid	Estimación Turnbull			
	Tj	Elb	V(Elb)	Eub
0		0		0.239
1	71	0.05	0.003	0.101
2	69	0.584	0.003	0.876
3p	65	0.743	0.002	1.983
5p	57			
8	47	1.362	0.075	4.085
24				
Total	309	<b>2.74</b>	0.083	<b>7.284</b>

FUENTE: Elaboración propia.

del Saz Salazar *et al.* (2000), en el estudio de valoración contingente en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido en España, comparan la DAP calculada de los modelos tradicionales de elección discreta (*Logit, Probit, Probit Bivariante y Tobit*) con el modelo Turnbull. Sus resultados muestran que la estimación de la DAP con el modelo no paramétrico Turnbull, proporciona más elevadas que las obtenidas con los modelos tradicionales, aspecto que se repite en este estudio.

El Cuadro 30 resume los resultados de la DAP con la aplicación de los diferentes modelos: paramétricas como no paramétricas.

**Cuadro 30: Disposición a pagar (DAP) por el servicio ecosistémico de regulación hídrica de la unidad hidrográfica de Rontoccocha.**

Modelo	DAP	Min.	Máx.
Logit M2 (DAP1)	3.66	2.98	4.34
Logit M3 (DAP2)	3.65	-0.67	8.58
Variación compensada (DAP3)	3.45	--	--
Turnbull (DAP4)	5.01	2.74	7.284

FUENTE: Elaboración propia.

Para elección de la la DAP apropiada, la comisión de expertos de la NOAA recomienda elegir la opción más conservadora (Riera 1994, Vásquez *et al.* 2007) que este caso sería DAP3, que representa la variación compensada (Vc) por acceder a un cambio favorable.

Sin embargo, se observa que no hay diferencia significativa entre los resultados de los modelos, a excepción de Turnbull que entrega valores más altos. Por lo tanto, la opción elegida (DAP3) es equivalente al umbral de costo efectividad ( $\lambda$ ).

Respecto a lo anterior, Vázquez *et al.* (2006) comparan tres modelos para la función indirecta de utilidad: Haneman (1984), Bishop y Heberlein (1979) y Box-Cox Generalizada (Hanemann y Kaninién (1998). El caso sometido a análisis logit y probit, encontró ciertas diferencias en el R<sup>2</sup>; sin embargo, no encontró diferencias grandes en las predicciones de cada modelo. A pesar de ello, considera que el modelo de Hanemann es preferible por dos razones: 1) el formato binario entrega estimaciones mayores en DAP que otros; 2) las estimaciones son sensibles al vector de cantidades ofrecidas. A pesar de que el rango de cantidades no incluyó toda la cola superior (por lo tanto, medidas de bienestar mayores) del set de precios, es preferible optar por resultados más conservadores.

#### **4.5.4. Disposición a pagar total y beneficio económico total**

De opción elegida, la agregación de la DAP media se obtuvo extrapolando los resultados obtenidos a toda la población (Riera 1994); en este caso, a los usuarios de agua potable de la unidad hidrográfica de Rontoccocha. Esto también equivale a encontrar los beneficios económicos agregados (valor). Sin embargo, en el contexto del estudio, estos valores se requieren para establecer el umbral de costo-efectividad ( $\lambda$ ); por lo tanto, para que sean comparables con los resultados de la Razón de costo-efectividad-RCI (capítulo 5.4), se ha calculado la DAP por m<sup>3</sup>, mensual y anual (Cuadro 31).

En ese sentido, el Cuadro 31 muestra que la DAP de una familia promedio es de S/ 3.45 por mes, lo que equivale a S/ 0.20 por metro cúbico de agua. Así mismo, de manera agregada, considerando a los usuarios del agua potable que son abastecidos por la fuente de Rontoccocha, se obtiene una DAP de S/ 15,842 por mes y S/190,108.80 por año. Estos montos representan el umbral de costo-efectividad.

**Cuadro 31: DAP de los usuarios de agua potable, abastecidos por la unidad hidrográfica de Rontoccocha.**

DAP /mes	Consumo (m3)	DAP/m3	N° usuarios	DAP total (mes)	DAP total (año)
S/ 3.45	17.50	S/ 0.20	4,592	15,842	190,108.80
\$ 1.03	17.50	\$ 0.06	4,592	4,729.76	56,757.12

FUENTE: Elaboración propia.

Dado que la utilidad (bienestar) está representada por la transformación monótona de la función de gasto (Vásquez *et al.* 2007), el monto hallado como DAP representa el bienestar o valor (en términos monetarios), por el servicio ecosistémico de regulación hídrica de la unidad hidrográfica de Rontoccocha. Ello es equivalente a la demanda para desarrollar acciones de conservación en la zona de interés y obtener beneficios a partir de la provisión de agua.

Así mismo, los resultados de la DAP (S/ 3.45), comprado con otras estimaciones en ámbitos similares muestran ciertas diferencias. Por ejemplo, Zegarra (2017), en un estudio de valoración económica del servicio ecosistémico hídrico de la laguna de Rontoccocha en el período 2015 – 2016, calcula que la DAP de la población de Abancay es de S/ 2.04 Soles/mes. Carbajal & Lucich (2018), mediante experimentos de elección para la conservación laguna de Piuray en Cusco, estimaron que los usuarios de agua potable estarían dispuestos a pagar un monto adicional de S/ 2.15 mensuales en sus recibos de agua. Finalmente, Lucich y Gonzáles (2015), calcularon S/ 5.62 por mes para la protección y reforestación de la fuente de abastecimiento de agua para la ciudad de Tarapoto.

#### **4.5.5. Regla de decisión en el análisis de costo - efectividad**

Como se ha mencionado en párrafos anteriores, los resultados de la DAP nos permite conocer el umbral de costo-efectividad para acceder a beneficios de regulación hídrica; es decir, el monto máximo que la población está dispuesta a asumir para acceder a un beneficio en términos de agua. Para el caso de las familias usuarios de agua potable de la unidad hidrográfica de Rontococcha, asentados en la ciudad de Abancay, es de S/ 3.45 por mes o S/ 0.20 por metro cúbico; así como sus valores extrapolados por mes y año (Cuadro 31). Por lo tanto, un proyecto y/o estrategia que demande recursos por encima de dicho monto (umbral), no sería considerado costo-efectiva.

Para conocer si una medida es rentable, los valores del CEM y RCEI descritos en el Cuadro 21, ahora se pueden comparar con el umbral de costo-efectividad (DAP) por unidad de beneficio (m3). En el acápite 5.4.3. se eligió la opción de “proyecto de inversión de infraestructura natural o verde” como la alternativa recomendada, cuya CEM y RCEI fue S/ 0.35 por m3 de agua. Este valor comparado con el umbral (S/ 0.20 por m3 de agua), indica dicha estrategia “no es costo-efectiva” debido a que su RCEI se encuentra por encima de lo que la población está dispuesta a pagar o financiar. A manera de referencia, si se considera a las otras opciones de regulación, también se llega a la misma conclusión.

Sin embargo, la opción de pago del costo de oportunidad (CO) de las familias asentadas en la unidad hidrográfica de Rontoccocha, es la única alternativa costo-efectiva (S/ 0.04 por m3 de agua) debido a que se encuentra por debajo del umbral (S/ 0.20 por m3 de agua).

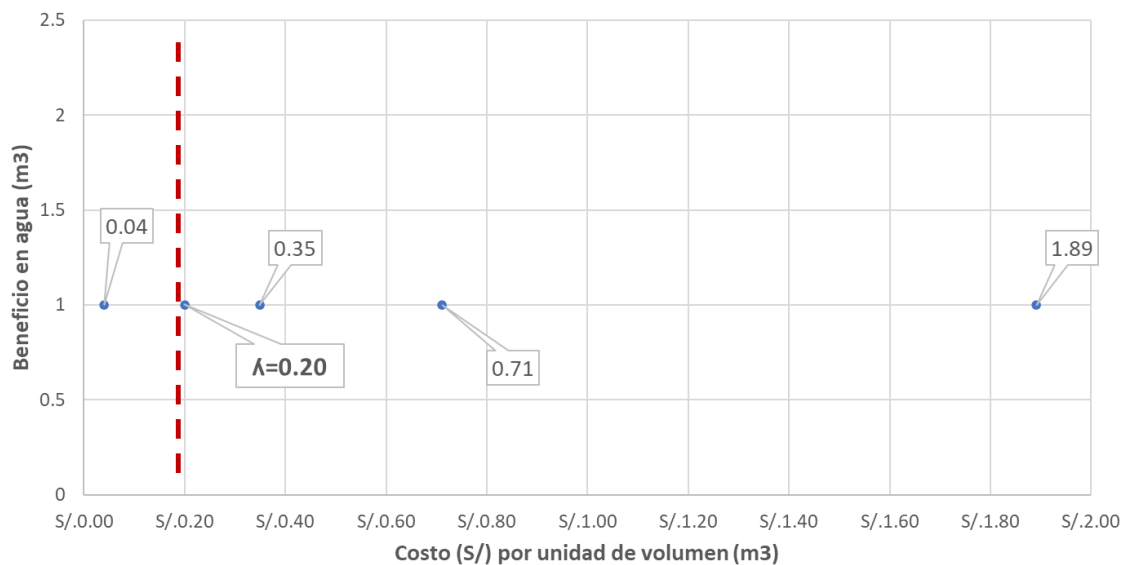
**Cuadro 32: Evaluación de las estrategias respecto al umbral ( $\lambda$ ).**

Estrategia		C (S/)	E (m3)	RCEI (S/m3)	$\lambda$
Recuperación de ecosistemas	Proy. Verde	1,081,991.31	3,228,486.10	0.35	0.20
	Pago CO	123,223.61	3,228,486.10	0.04*	0.20
Microrepresas rústicas		37,178.47	19,659.72	1.89	0.20
Presa de concreto		8,833,126.30	12,413,852.60	0.71	0.20

FUENTE: Elaboración propia.

\* El pago de costo de oportunidad es la única alternativa rentable debido a que RCEI está por debajo del  $\lambda$ .

Gráficamente, la RCEI por unidad de beneficio de agua, se puede observar en la Figura 25. En ella se visualiza el costo de cada estrategia para producir un metro cúbico de agua y el umbral máximo que la población de Abancay está dispuesta a pagar (S/ 0.20 por m3 de agua).



**Figura 25: Costo efectividad por unidad de volumen de cada alternativa de regulación hídrica, respecto al umbral de CE.**

Por lo anterior, en el contexto de la unidad hidrográfica de Rontoccocha, la recuperación de los ecosistemas también se podría lograr mediante mecanismos de restauración menos intensivos como el pago del costo de oportunidad de las familias asentadas en la zona. Este criterio, también se podría extrapolar a toda la cuenca del río Mariño.

En líneas generales, las medidas de restauración menos intensivas, como la regeneración natural, tienen costos significativamente menores a las medidas de restauración intensiva como la reforestación, silvicultura y otros. Tales diferencias pueden llegar hasta el 50% (Brancalion *et al.* 2019) y en otros casos hasta 610% (Curan *et al.* 2016); con lo que se evidencia la importancia de implementar medidas innovadoras que ahorren recursos. A pesar de estas diferencias, la rapidez con la que una u otra medida pueda recuperar los servicios ecosistémicos aún no está muy claro (Curan *et al.* 2016, Brancalion *et al.* 2019), por lo que se requiere mayor investigación al respecto.

Retomando el análisis sobre la rentabilidad de las estrategias de inversión, ya se ha mencionado que existen dos mecanismos de evaluación: normativa o según las reglas de juego de un Estado y la que se propone en el presente estudio (óptima o basado en umbrales). La evaluación económica normativa o tradicional se aplica cuando no se tiene claridad sobre la restricción presupuestal o cuando el dueño del proyecto es el conjunto de sociedad de un país. Pero este supuesto no se cumple en los ámbitos donde se implementa los esquemas de PSEH. En este contexto, dos elementos se deberían considerar para determinar la pertinencia

de un proyecto o medida: a) conocer la fuente de financiamiento y b) conocer el umbral de costo-efectividad. Si la fuente de financiamiento proviene del Estado, entonces la rentabilidad económica de una medida se podrá evaluar bajo los parámetros y normas de dicho Estado. Sin embargo, si la dueña del dinero y en consecuencia del proyecto es la población local que aporta progresivamente a un fondo; conviene entonces preguntar a dichos dueños sobre el uso más adecuado de su dinero y lo que estarían dispuestos a financiar; es decir, conocer el umbral de costo-efectividad. Este segundo escenario es el criterio que se debería aplicar en una cuenca donde se implementan los PSEH. Ello permitiría conocer el monto que se podría recaudar (a partir de la valoración que asignan a la provisión de agua) y lo que se podría financiar con ese dinero (costo de oportunidad).

A pesar de que, a priori, no se suele recomendar la evaluación de proyectos mediante el análisis de costo-efectividad, debido a que se considera simplista (Reynolds y Celeste 1986, Navarro 2001, Azqueta 2007); la incorporación los conceptos de RCEI y Umbral de costo-efectividad ( $\hat{\Lambda}$ ) fortalecen su pertinencia en el campo ambiental. Así, el umbral de costo-efectividad ( $\hat{\Lambda}$ ) permite determinar la alternativa rentable dado que representa el máximo monto de dinero que la sociedad está dispuesto a pagar (DAP). De esta manera, el ( $\hat{\Lambda}$ ) es la forma más idónea de evaluar diversas alternativas cuando los recursos son limitados. Así mismo, también permite al decisor escoger la alternativa que maximice los beneficios sin exceder el presupuesto establecido.

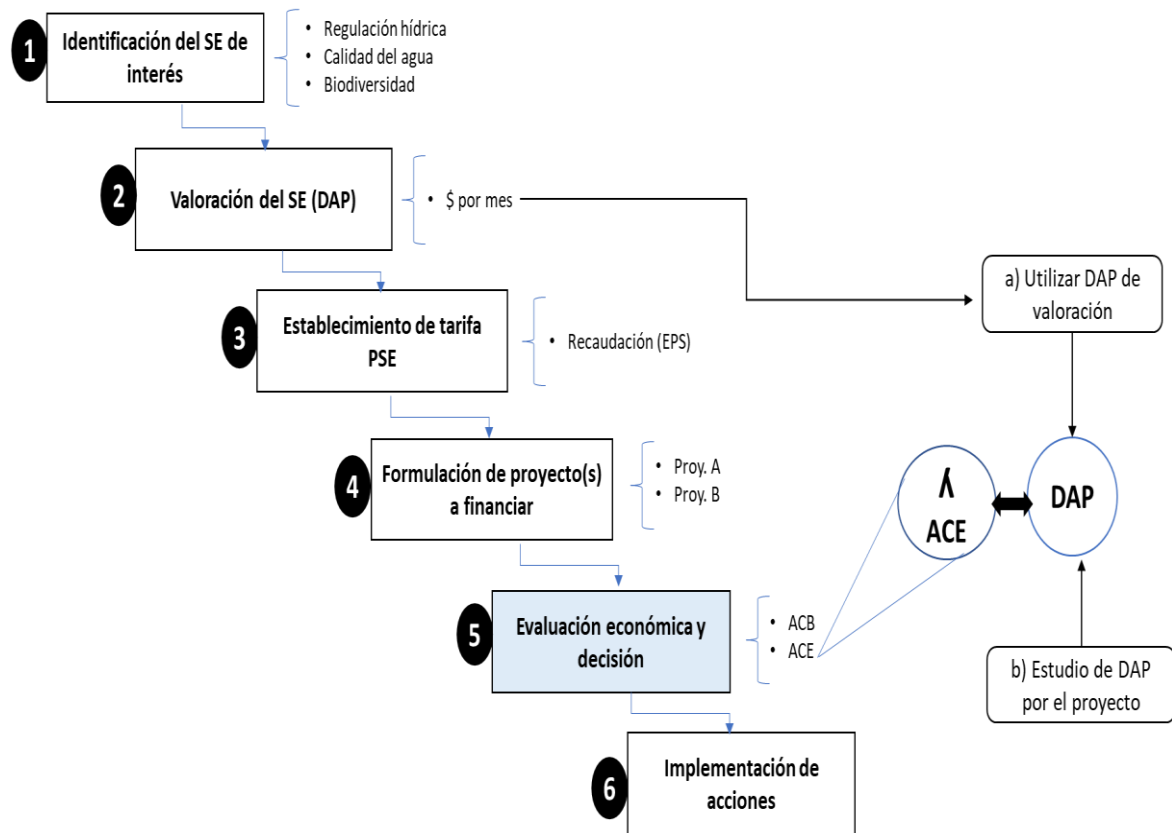
#### **4.5.6. Implicancias para el mecanismo de PSEH de la cuenca**

A pesar de que el análisis de costo-efectividad no suele usarse en la evaluación de políticas ambientales o manejo de ecosistemas, ésta proporciona criterios relevantes de decisión cuando se considera los umbrales de costo-efectividad y/o cuando se trata de optimizar el dinero de la sociedad. Por ello, su aplicación es pertinente en esquemas de PSEH donde se establece un marco de restricción presupuestal.

Si se piensa en un proceso ideal de planificación e implementación de un esquema de PSE hídrico, considerando un estudio de valoración económica; ésta podría estar constituido por seis etapas (Figura 26). Desde la identificación del servicio ecosistémico de interés (1); la valoración del SE y/o DAP para tener una tarifa de referencia del PSE (2); cobro de la tarifa mediante un prestador de servicios de agua (3); formulación de los proyectos a ser financiados con el dinero que se recauda (4); evaluación económica y elección de la



alternativa rentable mediante el ACB o ACE (5) y; finalmente, la implementación del proyecto y sus actividades (6).



**Figura 26: Diseño conceptual de un proceso de PSE hídrico y el establecimiento de umbral de costo-efectividad en la evaluación económica de un proyecto.**

Sin embargo, en el quinto paso (5) emerge un problema cuando los proyectos se evalúan mediante el ACE. En ese punto, la opción elegida (decisión) entre un conjunto de alternativas (proyectos) estará determinada por la que tiene mayor efecto a menor costo. Pero este es el criterio de evaluación económica tradicional, como se ha mencionado en párrafos anteriores, que no se debería aplicar en procesos de PSEH. Para saber si es la mejor opción rentable, la pregunta que surge es si la población, está dispuesto a pagar (financiar) el proyecto elegido a fin de acceder a los beneficios que le ofrece.

Para abordar el problema planteado en un contexto de PSEH, se debe conocer el umbral de costo-efectividad. Para ello existen dos formas: primero, si se ha seguido rigurosamente el proceso descrito en la Figura 26, se puede utilizar la valoración obtenida en el paso dos (2) como medida de umbral. Sin embargo, se sabe que muchos procesos de PSEH no necesariamente se han establecido sobre la base de una valoración económica previa, estas

se suelen establecer mediante una decisión coyuntural o de carácter político. Entonces, una segunda forma de establecer el umbral (por lo tanto, la pertinencia del proyecto en evaluación) es mediante un estudio que permita conocer la DAP de la población que aporta al fondo PSE.

Si la razón de costo efectividad incremental (RCEI) de la alternativa evaluada se encuentra por debajo del umbral de costo-efectividad, el proyecto deberá implementarse, en otro caso, se tendrá que buscar otra alternativa.

En el caso de la UH de Rontocoha, a pesar de que los resultados sugieren optar por la estrategia más costo-efectiva (pago de costo de oportunidad); en la realidad y ante las necesidades de agua, comúnmente se suelen priorizar las obras de represamiento que tienen una alta efectividad, pero también un alto costo. Pero estas no pasan por una evaluación económica sujeto a las restricciones de la población local; son financiados con los recursos del tesoro público que escapan a la condición previa.

Sin embargo, es necesario precisar que en una cuenca hidrográfica se tejen relaciones de interdependencia y complementariedad entre la infraestructura física y la infraestructura natural; entre los ecosistemas y los cuerpos de agua natural o artificial (presas) (Hayashi & Van der Kamp 2007, UICN 2017); por lo que las inversiones deben reconocer dicha relación sistémica para tener mejores resultados. Por ello, algunas de las preguntas pendientes que los gestores u otras investigaciones deberían responder son: ¿Cuánta agua se demanda en una cuenca? ¿Los recursos que se recaudan o la DAP de la población puede financiar dicha demanda? ¿qué acciones se pueden financiar con los recursos disponibles? Por lo anterior, queda claro que se requiere optimizar los recursos disponibles en soluciones de bajo costo y alto impacto.

## V. CONCLUSIONES

1. En esta investigación, se cuantificó la efectividad de los ecosistemas altoandinos de bofedal, pajonal de puna húmeda y bosque relicto altoandino de Polyepis en la regulación hídrica de unidad hidrográfica de Rontoccocha. A pesar de que el análisis de los ecosistemas se ha realizado de forma separada, en la realidad estos están interconectados y son interdependientes, por lo que su contribución hídrica debe considerarse de forma conjunta. Esta consideración es importante para los requerimientos de agua de las poblaciones ubicadas aguas debajo de la cuenca ya que, durante los meses secos, este tipo de regulación natural y/o SE representa la principal fuente de abastecimiento de agua.
2. Es necesario precisar que, de la regulación total estimada en el ecosistema, aproximadamente el 24% (309,689.95 m<sup>3</sup>) se da por efecto de acciones de conservación y/o recuperación de los ecosistemas, y el 76% de forma natural. Por lo tanto, dicho porcentaje es lo que se procura recuperar cuando la cuenca está degradada y/o evitar su pérdida. Dicho propósito se puede alcanzar implementando: a) estrategias intensivas como los proyectos de infraestructura natural (IN) o, b) estrategias no intensivas como el pago de costo de oportunidad (PCO) de las familias que aprovechan económicamente una zona de interés. Independientemente de la estrategia, la efectividad debería ser la misma.
3. La efectividad de las estrategias alternativas de regulación hídrica y el manejo de los ecosistemas altoandinos permitió conocer el aporte hídrico individual de cada medida y la interdependencia que se establecen entre éstas dentro de la cuenca de estudio; es decir, la complementariedad entre infraestructura natural y física. Dentro una cuenca hidrográfica, se tejen relaciones de interdependencia entre cobertura vegetal – cuerpos de agua – infraestructura física. Por ejemplo, la estabilidad de las microrepresas rústicas y de la presa de concreto, depende en gran medida de los flujos de agua subterránea que provienen de los ecosistemas: 84% en la microrepresa de Jayllahuasi Alto, 67% en Solimaniq Bajo y 48.5% en la presa de Rontoccoha. Por lo tanto, la óptima provisión del servicio ecosistémico de regulación hídrica y la sostenibilidad de los proyectos de infraestructura de almacenamiento de agua dependerán de la complementariedad de estos, sobre todo de la condición de la infraestructura natural.
4. Considerando lo anterior, se estimó la razón de costo-efectividad (RCEI) de cada alternativa de regulación hídrica de la unidad hidrográfica de Rontoccocha con la

finalidad de elegir la opción más rentable. De esa forma, mediante la RCEI se pudo analizar las implicancias económicas (costos) que acarrea cada medida de regulación frente a otra de referencia, por unidad de beneficio adicional en términos de agua. Así, se aprecia que la opción de pagar el costo de oportunidad de las actividades económicas de la zona de interés sería la opción recomendada (S/. 0.04/ m<sup>3</sup>); sin embargo, esta alternativa no está contemplada dentro de los mecanismos de inversión del Perú, por lo que la siguiente alternativa elegida sería el proyecto de infraestructura natural cuyo CE es de S/. 0.35/ m<sup>3</sup> de agua. Sin embargo, este tipo de recomendación podría ser incorrecta dado que no está considerando las restricciones presupuestales que enfrenta la sociedad, por lo que se recomienda evaluarlo con el umbral de costo-efectividad ( $\lambda$ ).

5. Por lo anterior, los cálculos de RCEI estimados inicialmente se evaluaron con el umbral de costo-efectividad ( $\lambda$ ), en un contexto de restricción presupuestal impuesta por el mecanismo de Pago por Servicios Ecosistémicos Hídricos. De esta manera, el ( $\lambda$ ) permitió establecer el límite de lo que la población está dispuesta a pagar o financiar para acceder al servicio de regulación hídrica. En el estudio, dicho umbral se estableció en S/. 0.20/ m<sup>3</sup> de agua. Este resultado comparado con la RCEI de proyectos de infraestructura natural (S/. 0.35), permite concluir que dicha alternativa no es costo-efectiva; de igual forma las otras estrategias de regulación (microrepresamiento rústico: S/. 0.71 por m<sup>3</sup> presa de concreto: S/. 1.89/ m<sup>3</sup>). A pesar de que el pago de costo de oportunidad de las actividades económicas de la zona no forma parte de las opciones tradicionales de inversión para recuperar ecosistemas, esta sería única alternativa viable (S/. 0.04 por m<sup>3</sup>) debido a que se encuentra por debajo del ( $\lambda$ ) o por debajo de la DAP de la población beneficiaría. Por lo anterior el umbral permite escoger alternativas de inversión que maximicen los beneficios de la sociedad. Así, también, un análisis de costo-efectividad que incorpore la RCEI y el ( $\lambda$ ) se convierte en una herramienta potente para la toma de decisiones y nos conduce a buscar opciones que generen mayores beneficios.
6. Considerando todo lo mencionado, en la presente investigación se determinó el costo y la efectividad de diversas estrategias de regulación hídrica de la unidad hidrográfica de Rontoccocha, con la finalidad de contribuir a la mejora de la provisión de agua en un contexto de restricción presupuestal. Esta consideración es importante dada el incremento de demanda de agua. Por ello, la investigación se desarrolla sobre la base de elementos biofísicos (ambiental) y económicos. Así, frente a un abanico de posibilidades de solución técnica, la restricción presupuestaria y la disposición a pagar (DAP) son las

que establecen el umbral ( $\lambda$ ) y la rentabilidad de una medida y/o proyecto. De esta manera, la elección de una medida CE, no solo dependerá de aquella que tenga mejor nivel de costo-efectividad promedio; sino también, de aquella que se encuentre por debajo del umbral, pues ésta maximiza los beneficios de la sociedad. Por ello, las soluciones requieren de la conjunción de la disciplina ambiental y económica. Por un lado, herramientas económicas como la DAP y/o umbral otorgan señales sobre la importancia (en términos monetarios) de una acción para el bienestar humano y; por otro, el conocimiento del ambiente permite cuantificar los servicios ecosistémicos que se producen. Sin embargo, una mirada meramente biofísica será insuficiente cuando se enfrenta a restricciones de presupuesto.

7. Finalmente, es necesario señalar las limitaciones del estudio. Primero, la investigación evalúa los ecosistemas altoandinos ubicados por encima de los 3800 msnm, por lo que las conclusiones no se podrían generalizar a todos los ecosistemas andinos, sobre todo a los que se encuentran por debajo de la altitud señalada. Segundo, la evaluación económica se centró en el servicio ecosistémico más relevante para la población: la regulación hídrica; por lo tanto, no considera otros SE. Es posible que, si se evalúa todo el espectro de bienes y servicios del territorio, las preferencias varíen, así como el ( $\lambda$ ). Tercero, los resultados obtenidos en este documento corresponden a una realidad concreta; por lo tanto, las evaluaciones de costo-beneficio y/o costo-efectividad deberán realizarse para cada caso. Por ejemplo, en el presente estudio la alternativa recomendada es pagar el costo de oportunidad de las familias que usan un territorio; sin embargo, en otros ámbitos este costo podría ser más alto dependiendo de la actividad económica que se desarrolla (por ejemplo, actividad inmobiliaria, hotelería, minería, etc.). Así mismo, la rentabilidad del proyecto también podría variar si se evalúa con otras herramientas, por ejemplo, mediante el análisis de costo-beneficio.

## **VI. RECOMENDACIONES**

### **Recomendaciones generales**

1. Es necesario continuar con los estudios de balance hídrico a nivel de parcela para: a) tener mayores elementos que permitan conocer el aporte de los ecosistemas en la regulación hídrica y, b) probar la correlación de estos métodos con otros que se realizan a nivel de cuenca (modelos distribuidos).
2. Dado que el estudio ha mostrado que el aporte de las microrepresas rústicas (efectividad) a la regulación es bastante limitada (1%), y la de más alto costo por unidad de volumen de agua, se debe profundizar en el desarrollo de estudios que permitan conocer mejor su aporte. En el presente estudio solo se analizó una sola tipología de microrepresa: que no tienen ingreso continuo flujo superficial y de un tamaño pequeño. En las zonas aledañas a la cuenca de Rontoccocha y en otros territorios se han implementado diversos tipos y tamaños de microrepresas; por lo tanto, es posible que su RCEI también sean mejores, por lo que los resultados de este estudio en dicho aspecto no son concluyentes.<sup>999</sup>
3. Finalmente, dada la escasa la información sobre la dinámica eco-hidroológica de los ecosistemas y cuerpos de agua en los Andes, se debe continuar con el desarrollo de las investigaciones y toma de datos climáticos, ecológicos, hidroológicos, edafológicos y otros. Ello permitirá cuantificar con mayor precisión el aporte del servicio ecosistémico de regulación hídrica, su dinámica y su funcionamiento. Ello también proporcionará mayores elementos para las políticas e inversión en el campo ambiental y de gestión de las cuencas hidrográficas.

### **Recomendaciones para la política pública**

1. La investigación muestra que el pajonal de puna húmeda es el ecosistema que más aporta a la regulación hídrica en comparación a los otros ecosistemas altoandinos ubicados por encima de los 3800 msnm (80.03% en la unidad hidrográfica de Rontoccocha).

2. Considerando que la mayor parte de la cobertura vegetal en la región andina está constituida por pajonal (por ejemplo, el 44.3% del departamento de Apurímac) y en menor medida por los bofedales y otros ecosistemas; se debe repensar las prioridades de inversión para fines de provisión de agua. Por ello, se le debe otorgar la debida importancia y promover acciones para su protección y/o restauración. Lamentablemente las praderas naturales de pajonal de puna han sido poco valoradas en su función de reguladores hídricos, en consecuencia, las inversiones han procurado transformarlos en bosque, cuando no es necesario (Bonnesoeur *et al.* 2019, Ochoa-Tocachi *et al.* 2016).
3. También se deben repensar las estrategias de intervención de los proyectos de infraestructura natural (verde) y evaluar la posibilidad de incorporar el PCO de las actividades económicas de una zona de interés. Dado que en el ámbito del estudio (Rontoccocha) la opción de PCO resultó la alternativa rentable, y considerando que la mayor parte de los Andes por encima de los 3800 msnm comparten características similares con Rontoccocha, compensar las pérdidas de las familias afectadas podría ser más económico y conducir a mayores impactos en la recuperación de servicios ecosistémicos. Sin embargo, esta generalización también dependerá de las condiciones de cada territorio y sus costos de oportunidad, como se mencionó anteriormente. La idea de que las políticas económicas pueden juzgarse en términos de la viabilidad de la compensación, se basa en el Criterio de Compensación Kaldor – Hicks. Dicho criterio se satisface cuando la suma del excedente del consumidor de los ganadores supere la suma del excedente del consumidor de los perdedores. Dicha compensación, en términos prácticos, no es efectiva y los ganadores mantienen su ganancia, así como los perdedores continúan siendo perdedores. En la práctica, entonces, la compensación no ocurre aun cuando se satisfaga el Criterio.
4. Así mismo, es importante considerar el umbral de costo-efectividad, mediante la DAP, en ámbitos donde se implementa los mecanismos de PSEH. El umbral representa la restricción presupuestal de la población local; por lo tanto, establece los parámetros de lo que es y no es posible financiar. Sobre esa base, se debería implementar las acciones que se encuentran bajo dicho umbral dado que es la que maximiza el beneficio.
5. Finalmente, es necesario resaltar la interdependencia y complementariedad de las obras de infraestructura de almacenamiento de agua (físico) con los ecosistemas: infraestructura natural e infraestructura gris. La sostenibilidad a largo plazo de dichas

estructuras, dependerá de la buena condición de la infraestructura natural. Por lo tanto, se debe elaborar proyectos integrales que consideren ambos elementos.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Espacial Europea. 2018. Copernicus open access hub (en línea). Consultado el 20 jun. 2019. Disponible en <https://scihub.copernicus.eu/>.
- Agudelo, MJ. 2011. El horizonte de evaluación de los proyectos. Medellín: Institución universitaria Esumer. 5p.
- Alarcón, J., Flores, E., & Barrantes, C. 2014. Valoración económica para la mejora de los ecosistemas de bofedades del entorno de la ciudad de Huaráz. Lima: Ministerio del Ambiente. 28 p.
- Alpizar, F. 2015. Introducción a la valoración y medidas de bienestar. In XVI Curso Internacional Bases Económicas para la Gestión y Valoración de los Servicios Ambientales. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 25 p.
- Azqueta, D. 2007. Introducción a la Economía Ambiental (Segunda edición. ed.). Madrid, España, McGRAW-HILL. 499 p.
- Bartkowski, B. 2017. Are diverse ecosystems more valuable? Economic value of biodiversity as result of uncertainty and spatial interactions in ecosystem service provision. *Ecosystem Services*: 50-57.
- Bellver, A; Hernández, F; & Molinos, M. 2016. A review of Payment for Ecosystem Services for the economic internalization of environmental externalities: a water perspective. *Geoforum* 70: 115 - 117.
- Belli, P; Anderson, J; Barnum, H; Dixon J. y Tan JP. 1998. Handbook on Economic Analysis of Investment Operations. Washington DC, USA. World Bank. 172 p.
- Bellot, J; & Chirino, E. 2013. Hydrobal: An eco-hydrological modelling approach for assessing water balances in different vegetation types in semi-arid areas. *Ecological Modelling* 266: 30 - 41.
- Black, W. 1990. The CE plane: a graphic representation of Cost-effectiveness. *Med Desis Making* 10 (3): 212-214.

- Boyd, J. y Wainger, L. 2003. Measuring Ecosystem Service Benefits: The Use of Landscape Analysis to Evaluate Environmental Trades and Compensation. Resources for the Future, Discussion Paper. Resources for the future. 125 p.
- Boerema, A., Van Passel, S., & Meire, P. 2018. Cost-Effectiveness analysis of ecosystem management with ecosystem services: from theory to practice. *Ecological Economics* 152: 2017-2018.
- Bonnesoeur, V; Locatelli, B; Ochoa-Tocachi, B; Vanacker, V; Mao, Z; Stokes, A; & Matches-Stiefel, S. 2019. Impacts of forests and forestation on hydrological services in the Andes: a systematic review. *Forest Ecology and Management* 433: 569-584.
- Brander, L; Gómez-Baggethun, E; Martín-López, B; & Verma, M. 2010. The economics of valuing ecosystem services and biodiversity. *The Ecological and Economic Foundations*. 188-257.
- Buytaert, W; Iñiguez, V; & De Bièvre, B. 2007. The effects of afforestation and cultivation on water yield in the Andean páramo. *Forest Ecology and Management* 251: 22-30.
- Buytaert, W; Célleri, R; De Bievre, B; Cisneros, F; Wyseure, G; Deckers, J; Hofstede R. 2006. Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth – Science* 79:53-72.
- Caballero, Y; Cruz, V; & Guerrero, R. 2016. Recuperación del Servicio Ecosistémico de Regulación Hídrica de la Unidad Hidrológica Rontoccocha, Abancay, Apurímac. Abancay. 135 p. Proyecto de inversión pública en contexto de cambio climático.
- CAN (Comunidad Andina de Naciones). 2009. Atlas Andes de los del Norte y Centro. Secretaría General de la Comunidad Andina. 100 p.
- Cañón, J. y Rodríguez, C. 2001. Modelos de lagos. Universidad Nacional de Colombia, facultad de ingeniería – recursos hidráulicos. en línea: <http://ingenieria.udea.edu.co/~jecanon/cursos/lagos/ensayolagos.html#Objetivos>.
- Carbajal, M. & Lucich, I. 2018. Valoración económica del servicio de abastecimiento de agua potable en Cusco. *Economía y Sociedad* 95: 55-63.

- Cárcamo, B. 2013. Valoración económica para la conservación del bosque de niebla mediante el pago por servicios ecosistémicos hídricos en la Región Loxicha, Oaxaca. Tesis Ph.D. Texcoco, Mexico. Universidad Autónoma de Chapingo. 198 p.
- Cárdenas, G., Vargas, E., & Díaz, D. 2018. Un no como respuesta: interpretación, tratamiento y análisis en estudios de valoración contingente. Cuadernos de Economía, 38(77), 551-579.
- Carrillo-Rojas, G; Silva, B; Rollenbeck, R; Célleri, R., & Bendix, J. 2019. The breathing of the Andean highlands: Net ecosystem exchange and evapotranspiration over the páramo of southern Ecuador. *Agricultural and Forest Meteorology* 265: 30-57.
- Castillo, M; Castillo, C; Loayza, S; & Aravena, M. 2013. Guía metodológica para la evaluación económica de intervenciones en salud en Chile. Santiago: Ministerio de Salud de Chile. 268 p.
- Cervantes, R. & Bustinza, V. 2014. Sistemas de afianzamiento hídrico en microcuencas altoandinas del sur del Perú: una tecnología ancestral para la seguridad hídrica en tiempos de cambio climático. Lima, Perú. Programa de Adaptación al Cambio Climático. 8 p
- Claxton, K; Walker, S; Palmer, S; & Sculpher, M. 2010. Appropriate perspectives for health care decisions. Centre for Health Economics, University of York. 86 p.
- Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., & Maginnis, S. 2016. Nature-based Solutions to address global societal challenges. Gland, Switzerland: UICN
- Constanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., . . . Van den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253–260.
- Conti, G., Enrico, L., Jaureguiberry, A., Cuchiatti, M., D, L., & Cabrol, D. 2018. El rol de la diversidad funcional en la provisión de múltiples servicios ecosistémicos: un análisis empírico en el Chaco seco de Córdoba, Argentina central. *Asociación Española de Ecología Terrestre*, 27(3), 60-74.
- Crespo, P; Célleri, R; Buytaert, W; Ochoa, B; Cárdenas, I; Iñiguez, V; Borja, P; De Bièvre, B. 2014. Impactos del cambio de uso de la tierra sobre los páramos húmedos

- Andinos. Avances en investigación para la conservación de los páramos andinos, CONDESAN. 288-304.
- Curran, M., Kiteme, B., Wünscher, T., Koellner, T., & Hellweg, S. 2016. Pay the farmer, or buy the land?—Cost-effectiveness of payments for ecosystem services versus land purchases or easements in Central Kenya. *Ecological Economics* 127: 59-67.
- Cruz, G. 2005. Economía aplicada a la valoración de impactos ambientales. Manizales: Universidad de Caldas. 206 p.
- Culyer, A. 2016. Cost-effectiveness thresholds in health care: a bookshelf guide to their meaning and use. *Health Economics Policy Law* 11 (4): 415-432.
- De Bièvre, B; Calle, T; Velasco, P; Borja, P; Núñez, J. 2015. Restoration of Overgrazed Páramo Grasslands for Hydrological Benefits. FAO. 4 p.
- De Bièvre, B. y Acosta, L. 2014. Ecosistemas altoandinos, cuencas y regulación hídrica. CONDESAN. 2 p.
- del Saz Salazar, S; Hurlé, J; & Pérez, L. 2000. Estimación de medidas de bienestar mediante valoración contingente: una aproximación no paramétrica. 24 p.
- Escalante, A. 2019. Informe de costo de oportunidad de los contribuyentes de la cuenca de aporte Rontoccocha. Lima, Perú, SUNASS. 15 p.
- Espinoza, M. 2012. Heterogeneity in cost-effectiveness analysis: methods to explore the value of subgroups and individualized care in a collectively funded health system. Tesis Ph.D. United Kingdom, York, University of York. 179 p.
- Espinoza, M. 2017. Evaluación económica para la toma de decisiones sobre cobertura en salud: ¿que debe saber un profesional de la salud? *Chil Cardiol* 36 (2): 144-153.
- Flores-López, F., Galaitsi, S., Escobar, M., & Purkey, D. 2016. Modeling of Andean Páramo Ecosystems' Hydrological Response to Environmental Change. *Water*, 8(94): 1-18.
- Fonkén, M. 2014. An introduction to the bofedales of the Peruvian High Andes. *Mires and Peat Journal*, 15(5):1-13.
- Francisco, V., de la Cueva, H. 2017. Nuevas perspectivas en la diversidad funcional de ambientes marinos. *Latin American Journal of Aquatic Research* 45(2): 261 – 275.

- Gandarillas, V., Jiang, Y., & Irvine, K. 2016. Assessing the services of high mountain wetlands in tropical Andes: A case study of Caripe wetlands at Bolivian Altiplano. *Ecosystem Services*, 19: 51-64.
- Gammie, G. y De Bievre, B. 2014. Evaluando Intervenciones verdes para abastecer de agua a Lima, Perú: Costo-efectividad, impacto potencial y áreas prioritarias de investigación. *Forest Trends*. Lima, Perú. 21 p.
- GRA (Gobierno Regional de Apurímac). 2010. Zonificación ecológica y económica de la región Apurímac – ZEE. Abancay, Apurímac. 260 p.
- \_\_\_\_\_. 2013a. Hidrología de la cuenca del río Mariño. In estudio definitivo del proyecto de gestión integral de la microcuenca Mariño – Apurímac. U.E. Pro Desarrollo Apurímac. Abancay, Perú. 328 p.
- \_\_\_\_\_. 2013b. Estudio Agrológico del Proyecto Gestión Integral de la Microcuenca Mariño. U.E. Pro Desarrollo Apurímac. Abancay, Perú. 29 p.
- \_\_\_\_\_. 2018. Proyecto de Recuperación de ecosistemas andinos de bofedales en 06 distritos de la provincia de Abancay y Grau, región Apurímac. Abancay, Perú. Gobierno Regional de Apurímac. 87 P.
- Golder Associates. 2010. Línea de Base de Meteorología e Hidrología, proyecto minero las Bambas: Estudio de impacto ambiental proyecto minero las Bambas. Apurímac, Perú. Xtrata Tintaya S.A. 233 p.
- Gregersen, M., Brooks, N., Dixon, A. and Hamilton S. 1987. Guidelines for economic appraisal of watershed management projects. Roma, Italia. FAO. 16 p.
- Hanemann, MW. 1984. Welfare Evaluations in Contingent Valuation Experiments with Discrete Responses. *American Journal of Agricultural & Applied Economics Association* 66 (3): 332-341.
- Hasan, H., & Khan, A. 2019. Groundwater and Surface Water Interaction. *In GIS and Geostatistical Techniques for Groundwater*. Senapathi, V; Viswanathan, PM; Chung, SY. (eds). Amsterdam, Netherlands. 197-207.

- Hayashi, M; & Van der Kamp, G. 2000. Simple equation to present the volume-area-depth relations of shallow wetlands in small topographic depressions. *Journal of Hydrology* 237: 74-85.
- \_\_\_\_\_. 2007. Water Level Changes in Ponds and Lakes: The Hydrological Processes. *Plant Disturbance Ecology: The Process and the Response*: 311-339.
- Hensher, D., Rose, J., & Greene, W. 2005. *Applied choice analysis*. Cambridge: Cambridge University Press. 740 p.
- Herzog, K; Martínez, R; Jørgensen, M; Tiess, H. (eds.). 2011. Climate change and biodiversity in the tropical Andes. Inter-American Institute for Global Change Research (IAI). Disponible en: [http://www.iai.int/index.php?option=com\\_content&view=article&id=24&Itemid=73](http://www.iai.int/index.php?option=com_content&view=article&id=24&Itemid=73).
- Hofstede, R. 1997. La Importancia Hídrica del Páramo y Aspectos de su Manejo. Conferencia Electrónica “Estrategias para la Conservación y Desarrollo Sostenible de Páramos y Punas en la Ecorregión Andina: Experiencias y Perspectivas”. 5 p.
- INEI. 2017. Perú perfil sociodemográfico informe censos nacionales 2017: XII de población, VII de vivienda y II de comunidades indígenas. Lima, Perú. INEI.
- Valentin, HJ. 2019. Valoración económica del servicio ecosistémico hídrico de la laguna Chichurraquina, distrito de Santa Ana de Tusi, provincia Daniel Carrión, región Pasco 2019. Tesis Lic. Cerro de Pasco, Perú, UNDAC. 150 p.
- Jaimés, JC; Riveros-Iregui, D; Avery, WA; Gaviria, S; Peña-Quemba, C; & Herran, G. 2012. Variability of Precipitation and Evapotranspiration across an Andean Paramo. *American Geophysical Union*. H51C-1354.
- Jiangyi, L., Shiquan, D., & El Housseine, A. 2019. Cost-effectiveness analysis of different types of payments for ecosystem services: A case in the urban wetland ecosystem. *Journal of Cleaner Production*, 13 p.
- Kessler, M. 2006. Bosques de *Polylepis*. In *Botánica económica de los Andes Centrales*. Moraes, M; Ollgaard B; Kvist, LP; Borchsenius, F; baslev, H (eds). Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. 110-120.

- Körner, C. 2003. Alpine Plant Life Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems. 2 ed. Basilea, Suiza, Springer. 351 p.
- Labandeira, X; León, C; & Vásquez, M. 2007. Economía ambiental. Madrid, España, Pearson Education. 373 p.
- Lacob, O., Rowan, J., Brown, I. y Ellis, C. 2014. Evaluating wider benefits of natural flood management strategies: an ecosystem-based adaptation perspective. *Hydrology Research* 45: 773-787.
- Lane, R. 2020. Lake physical feature (en línea). Enciclopedia Británica. Consultado el 10 feb. 2020. Disponible en <https://www.britannica.com/science/lake>.
- Lavado, W; Lhomme, J; Labat, D; Guyot, J; & Boulet, G. 2015. Estimación de la evapotranspiración de referencia (FAO-56 Penman-Monteith) con limitados datos en la cuenca Andina amazónica Peruana. *Revista peruana Geo-Atmosférica RPGA* 4: 31-43.
- León, F. 2016. Inversión en infraestructura natural: haciendo sostenibles las inversiones en infraestructura física. Lima: Cooperación Alemana al Desarrollo – Agencia de la GIZ en el Perú. 10 p.
- Loyola, R., bateman, I., & Lucich, I. 2004. Cuestionario definitivo de valoración contingente de la calidad de los servicios energéticos, manuales del encuestador - supervisor del módulo de valoración contingente y revisión del método y recomendaciones. Lima: Centro de Estudios Ambientales de la Universidad de Lima. 128 p.
- Lucich, I., & Gonzáles, K. 2015. Valoración económica de la calidad y confiabilidad de los servicios de agua potable en tarapoto a través de experimentos de elección. Lima: Conservation Strategy Fund. 102 p.
- Lynn Hood, J; W Roy, J; & Hasashi, M. 2006. Importance of ground water in the water balance of alpine headwater lake. *Geophysical Research Letters* 33: 1-5.
- Martinez, M; Dimas, L. 2007. Valoración Económica de los Servicios Hidrológicos: Subcuenca del Río Teculután- Guatemala. Costa Rica, WWF Centroamérica. Edición técnica. 58 p.

- Masser, M; & Jensen, J. 1991. Calculating area and volume of ponds and tanks. Southern Regional Acuaculture center 102: 1-7.
- MEF (Ministerio de Economía y Finanzas, Perú). 2019. Guía General para la Identificación, Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión: [invierte.pe](http://invierte.pe). Lima, Perú, Dirección General de Programación Multianual de Inversiones - DGPMI. 196 p.
- Mendieta, JC. 2005a. Apuntes de microeconomía II: Teoría del consumidor, teoría del productor, teoría de juegos y competencia imperfecta. Bogotá: Universidad de los Andes. 176 p.
- Mendieta, JC. 2005b. Manual de valoración económica de bienes no mercadeables: aplicaciones de las técnicas de valoración de bienes no mercadeables y el análisis de costo beneficio y medio ambiente. Bogotá, Colombia, Universidad de los Andes. 344 p.
- Millar, D; Cooper, D; & Ronayne, M. 2018. Groundwater dynamics in mountain peatlands with contrasting climate, vegetation and hydrogeological setting. *Journal of Hydrology* 661: 908-917.
- MINAM (Ministerio del Ambiente, Perú). 2015. Manual de valoración económica del patrimonio natural. Lima. MINAM. 78 p.
- \_\_\_\_\_. 2016. Guía de valoración económica del patrimonio natural. Lima, Perú. MINAM. 46 p.
- Mishra, S; & Singh, V. 2003. Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology. *Water Science and Technology Library*, 42. 516 p.
- Montoya, S. 2015. Cinco cosas que no sabías de los bofedales (en línea). *Gidahatari*. Consultado el 10 de nov. 2019. Disponible en <http://gidahatari.com/ih-es/5-cosas-que-no-sabias-de-los-bofedales>.
- Mountain Partnership. 2018. Las Montañas son las torres de agua del mundo. FAO.
- NASA Giovanni. 2019. Datos de Evapotranspiración, Satélite TRMM (en línea). Consultado el 10 feb. 2019. Disponible en <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>.



- Navarro J. 2001. Análisis Costo Efectividad: Serie economía y gestión en salud, guía del instructor. Escuela Nacional de Salud Pública del Ministerio de Salud. Lima, Perú, MINSA. 54 p.
- Ochoa-Tocachi, B; Buytaert, W; DeBiebre, B; Célleri, R; Crespo, P; Villacís, M; Llerena, CA; Acosta, L; Villazón, M; Gualpa, M; Gil-Ríos, J; Fuentes, P; Olaya, D; Viñas, P; Rojas, G; Arias, S. 2016. Impacts of land use on the hydrological response of tropical Andean catchments. *Hydrological Processes* 30 (22): 3991-4003.
- Oliver, J; Probst, K; Renner, I. y Riha, K. 2012. Adaptación basada en los ecosistemas (AbE): Un nuevo enfoque para promover soluciones naturales para la adaptación al cambio climático en diferentes sectores. GIZ. 2 p.
- Ortegón, E; Pacheco, J; & Prieto, A. 2015. Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas. Santiago de Chile, CEPAL. 92 p.
- Ozment, S., DiFrancesco, K., & Gartner, T. 2015. Natural infrastructure in the Nexus: Nexus dialogue synthesis papers. Gland, Switzerland: UICN.
- PAHO (Organización Panamericana de la Salud) sf. Costo Beneficio y Costo efectividad. Washington, D.C. 44 p.
- Prieto, L., Sacristán, J., Antoñanzas, F., Rubio-Torrés, C., Pinto, J., & Rovira. 2004. Análisis coste-efectividad en la evaluación económica de intervenciones sanitarias. *Med Clin*, 122(13), 505-510.
- Quintero, M. 2010. Una visión integral del estado del arte sobre los servicios ambientales hidrológicos en los Andes. In *Servicios Ambientales Hidrológicos en la región Andina: Estado del conocimiento, la acción y la política para asegurar su provisión mediante esquemas de pago por servicios ambientales*, CONDESAN, Lima: 193-219 p.
- Raes, L., Aguirre, N., D'Haese, M., & Van Huylenbroeck, G. 2014. Analysis of the cost-effectiveness for ecosystem service provision and rural income generation: a comparison of three different programs in Southern Ecuador. *Environ Dev Sustain* 16: 471-498.

- Reynolds y Celeste. 1986. Análisis de Costo – Efectividad: Métodos de investigaciones operativas. Maryland, USA. PRICOR. 120 p.
- Riera, P. 1994. Manual de Valoración Contingente. Madrid: Instituto de Estudios Fiscales. 112 p.
- Rodriguez-Rodriguez, M.; Green, A; López, R; & Martos-Rosillo, S. 2011. Changes in water level, land use, and hydrological budget in a semi-permanent playa lake, Southwest Spain. *Environ Monit Assess.* Madrid, España: 797–810.
- Rubio, J. 2017. Guía para la elaboración del Análisis Costo-Beneficio en áreas protegidas. Conservación Estratégica. Lima, Perú, Conservation Strategy Found. 34 p.
- Salgado, H; González, C; Sueriro, J; & de la Puente, S. 2015. Estimación del valor económico Total (VET) de los bienes y servicios ecosistémicos del gran ecosistema marino de la corriente de Humboldt (GEMCH). Talca, Chile. GEF-PNUD. 119 p.
- Sabalza M. 2006. Evaluación económica de proyectos de cooperación, Hegoa – Portal del Desarrollo Económico Local. Bilbao, España. 46 p.
- Salvador, F., Moneris, J., & Rochefort, L. 2014. Peatlands of the Peruvian Puna ecoregion types, characteristics and disturbance. *Mires and Peat Journal*, 15(3):1-17
- Sánchez, J. 2013. Valoración Contingente y Experimentos de Elección aplicados en el Parque Nacional Sierra Nevada, Venezuela. *Revista Economía*, 38 (35): 57-100.
- Sierra, Y. 2018. Bosques de queñoas se resisten a desaparecer en los Andes tropicales de Bolivia (en línea). Mongabay Latam. Disponible en <https://es.mongabay.com/2018/08/bolivia-bosques-de-queñoas/>.
- Soares, A; Afonso, A; Godman, B; Morton, A; & Mariano, C. 2018. Cost-effectiveness thresholds: methods for setting and examples from around the world. *Expert Review of Pharmacoeconomics & Outcomes Research* 18 (3): 2-40.
- Soncco, C. 2007. Valoración económica del servicio ambiental de protección del recurso hídrico: estudio de caso de la cuenca del río Jequetepeque, cajamarca - La Libertad, Perú. SEPIA. 19 p.
- \_\_\_\_\_. 2016. Valoración del servicio hídrico en el Santuario Nacional del Ampay. Abancay: PRODERN. 90 p. Consultoría.

- Sotomayor, M. 2018. Estudio y sistematización sobre prácticas de restauración y recuperación de los servicios ecosistémicos de regulación hídrica en la microcuenca Mariño . Abancay, Perú. CESAL - FDA UNALM. 82 p. Consultoría.
- Specht, A; & Specht, R. 1993. Species richness and canopy productivity os Australian plant communities. *Biodiversity and Conservation* 2 (2): 152-167.
- Sukhdev, P; Wittmer, H; & y Miller, D. 2014. La Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad (TEEB): desafíos y respuestas. Oxford: Oxford University Press. 16 p.
- Sumaila, R; Cheung, W; Lam, V; Pauly, D; Herrick, S. 2011. Climate Change Impacts on the biophysic and economics of world fisheries. *Nature Climate Change*. 8 p.
- SUNASS (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento). 2019. Estudio tarifario de la empresa prestadora de servicios de sanemaiento Emusap Abancay SAC. Lima. 112 p.
- Tara, G. y Watson J. 2016. Intact ecosystems provide best defence against climate change. *Nature climate change* 6: 122-124.
- Travezan, D. 2019. Disponibilidad de pago por los agricultores para la conservación de los recursos hídricos en la microcuenca del Río Shullcas-Huancayo. Tesis M. Sc. Huancayo, Perú, UNC. 109 p.
- TEEB. 2010. The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB) Ecological and Economic Foundations. P. Kumar (Ed.) London and Washington, Earthscan. 70 p.
- Touhami, I. 2014. Estimación del balance hídrico y de la recarga en el acuífero Ventós - Castellar (SE España). Efectos del cambio climático. Tesis Ph.D . España, Alicante, Universidad de Alicante. 238 p.
- UICN. (14 de 07 de 2017). ¿Qué son las Soluciones Basadas en la Naturaleza? Obtenido de <https://www.iucn.org/node/28778>
- Tognelli, M; Lasso, C; Bota-Sierra, L; Jimenez, S; y Cox, N. (eds). 2016. Estado de conservación y distribución de la biodiversidad de agua dulce en los andes tropicales. Gland, Suiza, UICN. 214 p.

- Tranquillini BW. 1964. The physiology of plants at high altitudes. *Plant Physiol.* 15:345-362.
- U.E. Pro Desarrollo Apurímac. 2019. Costos de la construcción de la presa de Rontoccocha. Abancay, Perú. 10 p. Extracto presupuestal.
- USGS (United States Geological Survey). 2016. Natural Processes of ground-water and surface-water interaction (en línea). Consultado el 10 ene. 2020. Disponible en [https://pubs.usgs.gov/circ/circ1139/hdocs/natural\\_processes\\_of\\_ground.htm](https://pubs.usgs.gov/circ/circ1139/hdocs/natural_processes_of_ground.htm).
- Valencia-Leguizamón, J; & Tobón, C. 2017. Influencia de la vegetación en el funcionamiento hidrológico de cuencas de humedales de alta montaña tropical. *Ecosistemas* 26 (2): 10-17.
- Valer, V; Pérez, J; Bustinza, B; Valdera, J; Ling, A., & Alarcón, P. 2015. Siembra y cosecha de agua. Lima: FONCODES y PACC Perú. 41 p.
- Vásquez, L; Cerda, U., & Orrego, S. 2007. Valoración económica del ambiente: fundamentos económicos, econométricos y aplicaciones. Buenos Aires, Argentina. Thomson. 367 p.
- \_\_\_\_\_ Castilla, JC; Gelcich, S; Quiroga, A; Carrasco, P; Paz, X; Riquelme, J. 2010. Evaluación económica de los activos ambientales presentes en la red de reservas marinas decretadas en el país bajo la ley general de pesca y acuicultura, Informe Final (FIP N°2008-56). Chile, Universidad de Concepción. 364 p +23 Anexos.
- Villajos, A. 2017. Umbrales, valores y el coste-efectividad de las tecnologías sanitarias en España (en línea). El médico interactivo. Disponible en <https://elmedicointeractivo.com/umbrales-valores-y-coste-efectividad-tecnologias-sanitarias-espanha-20161103153433106989/>.
- Westbrook, C; & Van der Kamp, G. 2010. Simplified Volume-Area-Depth method for estimating water storage of prairie potholes. *Wetlands* 30: 541-551.
- Zarate, V. 2010. Evaluaciones económicas en salud: conceptos básicos y clasificación. *Med Chile* 138 (2) 93-97.
- Zhan, L; Dawes, W. y Walker, G. 2001. Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. *Water Resource Research*, 37 (3): 701–708.

- Zegarra, A. 2017. Valoración Económica del Servicio Ecosistémico Hídrico de la Laguna Rontoccocha, Provincia de Abancay, Región Apurímac en el período 2015 - 2016. Cusco: Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.
- Zegarra, E. 2014. Economía del agua: conceptos y aplicaciones para una mejor gestión. Lima, Perú, Grupo de Análisis para el Desarrollo (GRADE). 219 p.
- Zutta, B; Rundel, P; Saatchi, S; Casana, J; Gauthier, P; Soto, A; velazco; Buermann, W. 2012. Prediciendo la distribución de Polylepis: bosques Andinos vulnerables y cada vez más importantes. Revista peruana de biología 19(2): 205-212.

## VIII. ANEXOS

### ANEXO 1: Resultados del modelo Hydrobal reajustado, sobre la recarga hídrica en bofedales

Fecha	PP	ETo	PP neta	Escorrentía	Humedad	Percolación	ETa (real)	Recarga
Días	(mm)	(mm)	(mm)	mm	(%)	(mm)	(mm)	(mm)
1-Jul	0	2.67	0	0	18.043	0	1.3704	0
2-Jul	0	2.67	0	0	17.637	0	1.2198	0
3-Jul	1	2.67	0.99	0	17.569	0	1.1929	0
4-Jul	8.2	2.67	8.118	0.11104	19.633	0	1.8136	0
5-Jul	0	2.67	0	0	19.074	0	1.6799	0
6-Jul	0	2.67	0	0	18.561	0	1.5375	0
7-Jul	0	2.67	0	0	18.098	0	1.3893	0
8-Jul	0	2.67	0	0	17.685	0	1.2387	0
9-Jul	0	2.67	0	0	17.322	0	1.0896	0
10-Jul	0	2.67	0	0	17.007	0	0.9457	0
11-Jul	0	2.67	0	0	16.737	0	0.8101	0
12-Jul	0	2.67	0	0	16.508	0	0.6856	0
13-Jul	0	2.67	0	0	16.317	0	0.5737	0
14-Jul	0	2.67	0	0	16.158	0	0.4753	0
15-Jul	0	2.67	0	0	16.028	0	0.3902	0
16-Jul	0	2.67	0	0	15.922	0	0.3179	0
17-Jul	0	2.67	0	0	15.837	0	0.2573	0
18-Jul	0	2.67	0	0	15.767	0	0.2072	0
19-Jul	0	2.67	0	0	15.712	0	0.1660	0
20-Jul	0	2.67	0	0	15.668	0	0.1325	0
21-Jul	0	2.67	0	0	15.633	0	0.1055	0
22-Jul	0	2.67	0	0	15.605	0	0.0837	0
23-Jul	0	2.67	0	0	15.583	0	0.0664	0
24-Jul	0	2.67	0	0	15.565	0	0.0525	0
25-Jul	0.4	2.67	0.396	0	15.656	0	0.1235	0
26-Jul	0	2.67	0	0	15.623	0	0.0982	0
27-Jul	0	2.67	0	0	15.597	0	0.0779	0
28-Jul	0	2.67	0	0	15.577	0	0.0617	0
29-Jul	0	2.67	0	0	15.561	0	0.0488	0
30-Jul	0	2.67	0	0	15.548	0	0.0385	0
31-Jul	0	2.67	0	0	15.538	0	0.0304	0
1-Ago	0	3.09	0	0	15.528	0	0.0278	0
2-Ago	0	3.09	0	0	15.521	0	0.0209	0
3-Ago	0	3.09	0	0	15.516	0	0.0158	0
4-Ago	0	3.09	0	0	15.512	0	0.0119	0
5-Ago	0	3.09	0	0	15.509	0	0.0090	0
6-Ago	0	3.09	0	0	15.507	0	0.0068	0
7-Ago	0	3.09	0	0	15.505	0	0.0051	0
8-Ago	3.6	3.09	3.564	0.01536	16.433	0	0.7666	0
9-Ago	0	3.09	0	0	16.226	0	0.6196	0

10-Ago	0	3.09	0	0	16.061	0	0.4941	0
11-Ago	1	3.09	0.99	0	16.193	0	0.5951	0
12-Ago	13.8	3.09	13.662	0.28464	19.921	0	2.1927	0
13-Ago	7.2	3.09	7.128	0.08664	21.441	0	2.4812	0
14-Ago	0.4	3.09	0.396	0	20.783	0	2.3707	0
15-Ago	0	3.09	0	0	20.043	0	2.2204	0
16-Ago	0	3.09	0	0	19.359	0	2.0514	0
17-Ago	0.2	3.09	0.198	0	18.797	0	1.8854	0
18-Ago	0.4	3.09	0.396	0	18.351	0	1.7330	0
19-Ago	0	3.09	0	0	17.841	0	1.5312	0
20-Ago	0	3.09	0	0	17.398	0	1.3280	0
21-Ago	0	3.09	0	0	17.021	0	1.1305	0
22-Ago	0	3.09	0	0	16.706	0	0.9450	0
23-Ago	0	3.09	0	0	16.447	0	0.7766	0
24-Ago	0	3.09	0	0	16.238	0	0.6283	0
25-Ago	0	3.09	0	0	16.071	0	0.5014	0
26-Ago	0	3.09	0	0	15.939	0	0.3955	0
27-Ago	0	3.09	0	0	15.836	0	0.3089	0
28-Ago	0	3.09	0	0	15.756	0	0.2393	0
29-Ago	0	3.09	0	0	15.695	0	0.1842	0
30-Ago	0	3.09	0	0	15.648	0	0.1411	0
31-Ago	1.4	3.09	1.386	0	15.970	0	0.4206	0
1-Set	0	3.62	0	0	15.841	0	0.3857	0
2-Set	0	3.62	0	0	15.746	0	0.2844	0
3-Set	0	3.62	0	0	15.677	0	0.2076	0
4-Set	0	3.62	0	0	15.627	0	0.1505	0
5-Set	0	3.62	0	0	15.591	0	0.1084	0
6-Set	0	3.62	0	0	15.565	0	0.0779	0
7-Set	0	3.62	0	0	15.546	0	0.0557	0
8-Set	0	3.62	0	0	15.533	0	0.0398	0
9-Set	0	3.62	0	0	15.523	0	0.0284	0
10-Set	0	3.62	0	0	15.517	0	0.0202	0
11-Set	0	3.62	0	0	15.512	0	0.0144	0
12-Set	0	3.62	0	0	15.508	0	0.0102	0
13-Set	0	3.62	0	0	15.506	0	0.0073	0
14-Set	0	3.62	0	0	15.504	0	0.0052	0
15-Set	0	3.62	0	0	15.503	0	0.0037	0
16-Set	3.6	3.62	3.564	0.01536	16.387	0	0.8967	0
17-Set	0	3.62	0	0	16.156	0	0.6941	0
18-Set	0	3.62	0	0	15.980	0	0.5271	0
19-Set	0	3.62	0	0	15.849	0	0.3939	0
20-Set	0	3.62	0	0	15.752	0	0.2906	0
21-Set	0	3.62	0	0	15.681	0	0.2123	0
22-Set	0	3.62	0	0	15.630	0	0.1539	0
23-Set	0	3.62	0	0	15.593	0	0.1110	0
24-Set	3.8	3.62	3.762	0.01864	16.509	0	0.9959	0
25-Set	8.6	3.62	8.514	0.12136	18.584	0	2.1679	0
26-Set	0	3.62	0	0	17.953	0	1.8929	0
27-Set	0	3.62	0	0	17.416	0	1.6105	0
28-Set	0	3.62	0	0	16.971	0	1.3342	0
29-Set	0	3.62	0	0	16.612	0	1.0767	0
30-Set	0	3.62	0	0	16.329	0	0.8479	0
1-Oct	11	4.02	10.89	0.19	19.023	0	2.6203	0
2-Oct	0	4.02	0	0	18.258	0	2.2939	0
3-Oct	0	4.02	0	0	17.609	0	1.9462	0

4-Oct	0	4.02	0	0	17.077	0	1.5969	0
5-Oct	0	4.02	0	0	16.655	0	1.2667	0
6-Oct	0	4.02	0	0	16.330	0	0.9730	0
7-Oct	0.2	4.02	0.198	0	16.137	0	0.7781	0
8-Oct	5.8	4.02	5.742	0.05584	17.422	0	1.8309	0
9-Oct	0.4	4.02	0.396	0	17.033	0	1.5646	0
10-Oct	0.4	4.02	0.396	0	16.723	0	1.3240	0
11-Oct	0.4	4.02	0.396	0	16.483	0	1.1162	0
12-Oct	5	4.02	4.95	0.04	17.494	0	1.8763	0
13-Oct	0.4	4.02	0.396	0	17.091	0	1.6068	0
14-Oct	0	4.02	0	0	16.666	0	1.2758	0
15-Oct	0	4.02	0	0	16.339	0	0.9809	0
16-Oct	0	4.02	0	0	16.094	0	0.7328	0
17-Oct	4.2	4.02	4.158	0.02544	16.967	0	1.5156	0
18-Oct	0	4.02	0	0	16.569	0	1.1928	0
19-Oct	4	4.02	3.96	0.022	17.298	0	1.7502	0
20-Oct	10.4	4.02	10.296	0.17176	19.720	0	2.8585	0
21-Oct	5.8	4.02	5.742	0.05584	20.584	0	3.0936	0
22-Oct	0	4.02	0	0	19.640	0	2.8335	0
23-Oct	0	4.02	0	0	18.796	0	2.5316	0
24-Oct	4.2	4.02	4.158	0.02544	19.270	0	2.7105	0
25-Oct	0	4.02	0	0	18.472	0	2.3934	0
26-Oct	0	4.02	0	0	17.789	0	2.0502	0
27-Oct	0	4.02	0	0	17.223	0	1.6991	0
28-Oct	0	4.02	0	0	16.769	0	1.3612	0
29-Oct	0	4.02	0	0	16.417	0	1.0553	0
30-Oct	0	4.02	0	0	16.152	0	0.7941	0
31-Oct	0.6	4.02	0.594	0	16.103	0	0.7421	0
1-Nov	1.2	4.52	1.188	0	16.178	0	0.9635	0
2-Nov	0	4.52	0	0	15.952	0	0.6785	0
3-Nov	0	4.52	0	0	15.797	0	0.4643	0
4-Nov	0	4.52	0	0	15.693	0	0.3108	0
5-Nov	0	4.52	0	0	15.625	0	0.2048	0
6-Nov	0	4.52	0	0	15.580	0	0.1335	0
7-Nov	0	4.52	0	0	15.552	0	0.0864	0
8-Nov	0	4.52	0	0	15.533	0	0.0557	0
9-Nov	1.8	4.52	1.782	0	15.917	0	0.6315	0
10-Nov	2.4	4.52	2.376	0	16.329	0	1.1380	0
11-Nov	0.6	4.52	0.594	0	16.198	0	0.9876	0
12-Nov	0	4.52	0	0	15.966	0	0.6972	0
13-Nov	0	4.52	0	0	15.806	0	0.4779	0
14-Nov	0	4.52	0	0	15.700	0	0.3204	0
15-Nov	0.2	4.52	0.198	0	15.673	0	0.2791	0
16-Nov	1.4	4.52	1.386	0	15.922	0	0.6385	0
17-Nov	2	4.52	1.98	0	16.237	0	1.0335	0
18-Nov	0	4.52	0	0	15.993	0	0.7330	0
19-Nov	0	4.52	0	0	15.825	0	0.5043	0
20-Nov	0	4.52	0	0	15.712	0	0.3390	0
21-Nov	0.4	4.52	0.396	0	15.725	0	0.3580	0
22-Nov	2.6	4.52	2.574	0.00016	16.238	0	1.0341	0
23-Nov	4.8	4.52	4.752	0.03624	17.169	0	1.9234	0
24-Nov	4.8	4.52	4.752	0.03624	17.926	0	2.4432	0
25-Nov	4.8	4.52	4.752	0.03624	18.568	0	2.7885	0
26-Nov	4.8	4.52	4.752	0.03624	19.128	0	3.0359	0
27-Nov	4.8	4.52	4.752	0.03624	19.626	0	3.2225	0



28-Nov	4.8	4.52	4.752	0.03624	20.075	0	3.3686	0
29-Nov	6	4.52	5.94	0.06	20.843	0	3.5782	0
30-Nov	4.8	4.52	4.752	0.03624	21.194	0	3.6601	0
1-Dic	10.2	4.13	10.098	0.16584	23.287	0	3.6543	0
2-Dic	5	4.13	4.95	0.04	23.690	0	3.6998	0
3-Dic	4.8	4.13	4.752	0.03624	24.018	0	3.7333	0
4-Dic	13.2	4.13	13.068	0.26304	26.956	0	3.9897	0
5-Dic	5	4.13	4.95	0.04	27.256	0	4.0110	0
6-Dic	8.6	4.13	8.514	0.12136	28.694	0	4.0775	0
7-Dic	4.8	4.13	4.752	0.03624	28.906	0	4.0808	0
8-Dic	4.8	4.13	4.752	0.03624	29.117	0	4.0838	0
9-Dic	4.8	4.13	4.752	0.03624	29.326	0	4.0866	0
10-Dic	6.2	4.13	6.138	0.06424	29.711	0.827351	4.0914	0.827351
11-Dic	5.8	4.13	5.742	0.05584	29.861	1.14384	4.0931	1.97119
12-Dic	7	4.13	6.93	0.082	30.034	2.233	4.0950	4.20419
13-Dic	4.8	4.13	4.752	0.03624	29.930	0.934607	4.0939	5.1388
14-Dic	11.2	4.13	11.088	0.19624	30.422	5.31722	4.0988	10.456
15-Dic	5.6	4.13	5.544	0.05176	30.183	2.11202	4.0965	12.568
16-Dic	4.8	4.13	4.752	0.03624	30.001	1.16735	4.0946	13.7354
17-Dic	5.2	4.13	5.148	0.04384	29.948	1.16864	4.0941	14.904
18-Dic	4.8	4.13	4.752	0.03624	29.889	0.800183	4.0934	15.7042
19-Dic	4.8	4.13	4.752	0.03624	29.861	0.707532	4.0931	16.4117
20-Dic	4.8	4.13	4.752	0.03624	29.847	0.663319	4.0929	17.0751
21-Dic	4.8	4.13	4.752	0.03624	29.841	0.64222	4.0929	17.7173
22-Dic	8	4.13	7.92	0.106	30.110	2.91246	4.0958	20.6297
23-Dic	11.4	4.13	11.286	0.20256	30.525	5.73858	4.0998	26.3683
24-Dic	10.4	4.13	10.296	0.17176	30.639	5.6813	4.1008	32.0496
25-Dic	15	4.13	14.85	0.33	31.079	9.09484	4.1044	41.1444
26-Dic	22.6	4.13	22.374	0.68416	31.919	15.0599	4.1101	56.2044
27-Dic	8	4.13	7.92	0.106	31.102	6.16012	4.1046	62.3645
28-Dic	13.6	4.13	13.464	0.27736	31.183	8.83757	4.1052	71.2021
29-Dic	9.2	4.13	9.108	0.13744	30.852	5.86158	4.1026	77.0637
30-Dic	6	4.13	5.94	0.06	30.423	3.06925	4.0988	80.1329
31-Dic	17	4.13	16.83	0.412	31.142	10.1541	4.1049	90.287
1-Ene	5.4	3.71	5.346	0.04776	30.649	3.09481	3.6827	93.3819
2-Ene	11.2	3.71	11.088	0.19624	30.905	6.44092	3.6848	99.8228
3-Ene	13.2	3.71	13.068	0.26304	31.195	8.24817	3.6869	108.071
4-Ene	21.6	3.71	21.384	0.63096	32.031	14.5512	3.6920	122.622
5-Ene	13.2	3.71	13.068	0.26304	31.733	10.009	3.6903	132.631
6-Ene	19.6	3.71	19.404	0.53056	32.123	14.0095	3.6925	146.641
7-Ene	11.8	3.71	11.682	0.21544	31.660	9.16834	3.6899	155.809
8-Ene	9.2	3.71	9.108	0.13744	31.219	6.60623	3.6870	162.415
9-Ene	23.6	3.71	23.364	0.73936	32.207	15.9665	3.6929	178.382
10-Ene	10.8	3.71	10.692	8.77749	31.615	8.59365	3.6896	186.975
11-Ene	5.2	3.71	5.148	3.73532	30.858	0	3.6844	186.975
12-Ene	2.6	3.71	2.574	0.645761	30.274	0	3.6795	186.975
13-Ene	1.8	3.71	1.782	0	29.644	0	3.6731	186.975
14-Ene	10	3.71	9.9	4.18224	30.323	0	3.6799	186.975
15-Ene	0	3.71	0	0	29.101	0	3.6665	186.975
16-Ene	0	3.71	0	0	27.891	0	3.6293	186.975
17-Ene	0	3.71	0	0	26.706	0	3.5552	186.975
18-Ene	0	3.71	0	0	25.554	0	3.4580	186.975
19-Ene	0.4	3.71	0.396	0	24.556	0	3.3881	186.975
20-Ene	11.8	3.71	11.682	0.21544	27.182	0	3.5900	186.975
21-Ene	9.2	3.71	9.108	0.13744	28.950	0	3.6645	186.975

22-Ene	15.2	3.71	15.048	6.93405	30.428	0	3.6809	186.975
23-Ene	18.4	3.71	18.216	11.61136	31.400	0	3.6882	186.975
24-Ene	2	3.71	1.98	1.05591	30.481	0	3.6813	186.975
25-Ene	8.8	3.71	8.712	4.60758	30.622	0	3.6825	186.975
26-Ene	10.4	3.71	10.296	6.00513	30.824	0	3.6841	186.975
27-Ene	20.8	3.71	20.592	14.00944	31.788	0	3.6906	186.975
28-Ene	1.2	3.71	1.188	1.07909	30.597	0	3.6823	186.975
29-Ene	0	3.71	0	0	29.374	0	3.6700	186.975
30-Ene	8.2	3.71	8.118	2.4351	30.042	0	3.6773	186.975
31-Ene	4.4	3.71	4.356	0.689533	30.039	0	3.6772	186.975
1-Feb	4.6	3.54	4.554	0.830603	30.110	0	3.5089	186.975
2-Feb	16.4	3.54	16.236	9.63378	31.138	0	3.5172	186.975
3-Feb	1.8	3.54	1.782	0.500902	30.395	0	3.5114	186.975
4-Feb	1.4	3.54	1.386	0	29.689	0	3.5047	186.975
5-Feb	9.4	3.54	9.306	3.81047	30.350	0	3.5111	186.975
6-Feb	0	3.54	0	0	29.184	0	3.4989	186.975
7-Feb	18.6	3.54	18.414	9.81483	30.879	0	3.5153	186.975
8-Feb	2.8	3.54	2.772	0.824211	30.358	0	3.5111	186.975
9-Feb	2.8	3.54	2.772	0.0097235	30.109	0	3.5089	186.975
10-Feb	23.2	3.54	22.968	14.67354	31.700	0	3.5207	186.975
11-Feb	6.6	3.54	6.534	4.89519	31.074	0	3.5167	186.975
12-Feb	1.8	3.54	1.782	0.40007	30.364	0	3.5112	186.975
13-Feb	3.8	3.54	3.762	0.752936	30.197	0	3.5097	186.975
14-Feb	3	3.54	2.97	0.006	30.016	0	3.5080	186.975
15-Feb	17.8	3.54	17.622	10.52274	31.210	0	3.5176	186.975
16-Feb	43.8	3.54	43.362	31.81804	33.881	0	3.5300	186.975
17-Feb	1.2	3.54	1.188	4.35063	31.654	0	3.5204	186.975
18-Feb	0	3.54	0	0	30.483	0	3.5122	186.975
19-Feb	0	3.54	0	0	29.316	0	3.5005	186.975
20-Feb	0	3.54	0	0	28.159	0	3.4718	186.975
21-Feb	24.6	3.54	24.354	12.66686	30.883	0	3.5153	186.975
22-Feb	8.2	3.54	8.118	4.79369	30.819	0	3.5149	186.975
23-Feb	12.2	3.54	12.078	7.64002	31.126	0	3.5171	186.975
24-Feb	0.8	3.54	0.792	0	30.220	0	3.5099	186.975
25-Feb	0.6	3.54	0.594	0	29.252	0	3.4997	186.975
26-Feb	3	3.54	2.97	0.006	29.074	0	3.4975	186.975
27-Feb	0.6	3.54	0.594	0	28.115	0	3.4700	186.975
28-Feb	0.2	3.54	0.198	0	27.043	0	3.4129	186.975
1-Mar	4.2	3.23	4.158	0.02544	27.378	0	3.1279	186.975
2-Mar	7	3.23	6.93	0.082	28.601	0	3.1790	186.975
3-Mar	4.4	3.23	4.356	0.02896	28.981	0	3.1889	186.975
4-Mar	1.6	3.23	1.584	0	28.451	0	3.1743	186.975
5-Mar	4.4	3.23	4.356	0.02896	28.831	0	3.1856	186.975
6-Mar	15	3.23	14.85	6.59969	30.513	0	3.2041	186.975
7-Mar	1.6	3.23	1.584	0	29.975	0	3.1995	186.975
8-Mar	17.8	3.23	17.622	10.45824	31.293	0	3.2095	186.975
9-Mar	2.4	3.23	2.376	1.17933	30.623	0	3.2049	186.975
10-Mar	22.2	3.23	21.978	14.73504	31.967	0	3.2132	186.975
11-Mar	8.4	3.23	8.316	6.63503	31.457	0	3.2105	186.975
12-Mar	10.4	3.23	10.296	7.31012	31.382	0	3.2100	186.975
13-Mar	3.2	3.23	3.168	1.90417	30.735	0	3.2057	186.975
14-Mar	8.2	3.23	8.118	4.56257	30.851	0	3.2066	186.975
15-Mar	11.4	3.23	11.286	7.10014	31.177	0	3.2088	186.975
16-Mar	9.2	3.23	9.108	5.98901	31.147	0	3.2086	186.975
17-Mar	4.2	3.23	4.158	2.26958	30.708	0	3.2055	186.975

18-Mar	6.2	3.23	6.138	3.05088	30.669	0	3.2052	186.975
19-Mar	7	3.23	6.93	3.57694	30.718	0	3.2056	186.975
20-Mar	2.2	3.23	2.178	0.134644	30.331	0	3.2026	186.975
21-Mar	6	3.23	5.94	2.31535	30.472	0	3.2037	186.975
22-Mar	7.6	3.23	7.524	3.71002	30.674	0	3.2053	186.975
23-Mar	0	3.23	0	0	29.609	0	3.1960	186.975
24-Mar	1	3.23	0.99	0	28.877	0	3.1868	186.975
25-Mar	2.2	3.23	2.178	0	28.544	0	3.1773	186.975
26-Mar	0.4	3.23	0.396	0	27.629	0	3.1410	186.975
27-Mar	18.4	3.23	18.216	7.23589	30.222	0	3.2017	186.975
28-Mar	0.4	3.23	0.396	0	29.289	0	3.1925	186.975
29-Mar	0	3.23	0	0	28.234	0	3.1668	186.975
30-Mar	0	3.23	0	0	27.195	0	3.1172	186.975
31-Mar	0	3.23	0	0	26.182	0	3.0393	186.975
1-Abr	0.8	3.04	0.792	0	25.506	0	2.8202	186.975
2-Abr	0	3.04	0	0	24.584	0	2.7646	186.975
3-Abr	0	3.04	0	0	23.685	0	2.6964	186.975
4-Abr	1	3.04	0.99	0	23.133	0	2.6462	186.975
5-Abr	2	3.04	1.98	0	22.918	0	2.6246	186.975
6-Abr	4.8	3.04	4.752	0.03624	23.594	0	2.6886	186.975
7-Abr	0.2	3.04	0.198	0	22.790	0	2.6111	186.975
8-Abr	9.6	3.04	9.504	0.14856	24.978	0	2.7900	186.975
9-Abr	0	3.04	0	0	24.069	0	2.7274	186.975
10-Abr	2.6	3.04	2.574	0.00016	24.019	0	2.7236	186.975
11-Abr	2.8	3.04	2.772	0.00304	24.034	0	2.7247	186.975
12-Abr	1	3.04	0.99	0	23.471	0	2.6778	186.975
13-Abr	0.2	3.04	0.198	0	22.671	0	2.5983	186.975
14-Abr	0	3.04	0	0	21.839	0	2.4962	186.975
15-Abr	0	3.04	0	0	21.047	0	2.3760	186.975
16-Abr	0.2	3.04	0.198	0	20.363	0	2.2497	186.975
17-Abr	0	3.04	0	0	19.665	0	2.0938	186.975
18-Abr	0.2	3.04	0.198	0	19.085	0	1.9389	186.975
19-Abr	0	3.04	0	0	18.500	0	1.7541	186.975
20-Abr	0.2	3.04	0.198	0	18.038	0	1.5836	186.975
21-Abr	0.2	3.04	0.198	0	17.633	0	1.4129	186.975
22-Abr	0	3.04	0	0	17.227	0	1.2182	186.975
23-Abr	3.2	3.04	3.168	0.00904	17.787	0	1.4802	186.975
24-Abr	1.8	3.04	1.782	0	17.875	0	1.5174	186.975
25-Abr	0	3.04	0	0	17.435	0	1.3209	186.975
26-Abr	3.4	3.04	3.366	0.01216	18.027	0	1.5789	186.975
27-Abr	5.6	3.04	5.544	0.05176	19.200	0	1.9717	186.975
28-Abr	0.2	3.04	0.198	0	18.663	0	1.8088	186.975
29-Abr	0.2	3.04	0.198	0	18.183	0	1.6395	186.975
30-Abr	4.4	3.04	4.356	0.02896	18.988	0	1.9104	186.975
1-May	0	2.87	0	0	18.446	0	1.6275	186.975
2-May	0	2.87	0	0	17.961	0	1.4547	186.975
3-May	0	2.87	0	0	17.534	0	1.2800	186.975
4-May	1.4	2.87	1.386	0	17.565	0	1.2935	186.975
5-May	0	2.87	0	0	17.191	0	1.1216	186.975
6-May	0	2.87	0	0	16.872	0	0.9574	186.975
7-May	0	2.87	0	0	16.604	0	0.8052	186.975
8-May	8.6	2.87	8.514	0.12136	18.820	0	1.7447	186.975
9-May	0	2.87	0	0	18.294	0	1.5762	186.975
10-May	0	2.87	0	0	17.827	0	1.4023	186.975
11-May	1.6	2.87	1.584	0	17.880	0	1.4235	186.975

12-May	0.6	2.87	0.594	0	17.637	0	1.3242	186.975
13-May	0.4	2.87	0.396	0	17.367	0	1.2051	186.975
14-May	0	2.87	0	0	17.022	0	1.0366	186.975
15-May	0	2.87	0	0	16.729	0	0.8780	186.975
16-May	0	2.87	0	0	16.485	0	0.7331	186.975
17-May	0	2.87	0	0	16.283	0	0.6040	186.975
18-May	0	2.87	0	0	16.119	0	0.4918	186.975
19-May	0.8	2.87	0.792	0	16.201	0	0.5483	186.975
20-May	0	2.87	0	0	16.053	0	0.4442	186.975
21-May	0	2.87	0	0	15.934	0	0.3564	186.975
22-May	0	2.87	0	0	15.839	0	0.2837	186.975
23-May	0	2.87	0	0	15.764	0	0.2243	186.975
24-May	0	2.87	0	0	15.706	0	0.1764	186.975
25-May	0	2.87	0	0	15.660	0	0.1381	186.975
26-May	0	2.87	0	0	15.624	0	0.1078	186.975
27-May	0	2.87	0	0	15.596	0	0.0839	186.975
28-May	0	2.87	0	0	15.574	0	0.0651	186.975
29-May	0	2.87	0	0	15.557	0	0.0505	186.975
30-May	0	2.87	0	0	15.544	0	0.0391	186.975
31-May	0.4	2.87	0.396	0	15.637	0	0.1188	186.975
1-Jun	0	2.69	0	0	15.608	0	0.0867	186.975
2-Jun	0	2.69	0	0	15.585	0	0.0686	186.975
3-Jun	2.4	2.69	2.376	0	16.207	0	0.5104	186.975
4-Jun	8	2.69	7.92	0.106	18.320	0	1.4749	186.975
5-Jun	0	2.69	0	0	17.879	0	1.3227	186.975
6-Jun	0	2.69	0	0	17.489	0	1.1701	186.975
7-Jun	0	2.69	0	0	17.148	0	1.0210	186.975
8-Jun	0	2.69	0	0	16.855	0	0.8789	186.975
9-Jun	0	2.69	0	0	16.606	0	0.7470	186.975
10-Jun	0	2.69	0	0	16.397	0	0.6273	186.975
11-Jun	0	2.69	0	0	16.224	0	0.5212	186.975
12-Jun	0	2.69	0	0	16.081	0	0.4288	186.975
13-Jun	0	2.69	0	0	15.964	0	0.3499	186.975
14-Jun	0	2.69	0	0	15.870	0	0.2835	186.975
15-Jun	0	2.69	0	0	15.793	0	0.2283	186.975
16-Jun	0	2.69	0	0	15.732	0	0.1829	186.975
17-Jun	0	2.69	0	0	15.684	0	0.1460	186.975
18-Jun	0	2.69	0	0	15.645	0	0.1161	186.975
19-Jun	0.2	2.69	0.198	0	15.667	0	0.1329	186.975
20-Jun	0	2.69	0	0	15.632	0	0.1056	186.975
21-Jun	0	2.69	0	0	15.604	0	0.0836	186.975
22-Jun	0	2.69	0	0	15.582	0	0.0661	186.975
23-Jun	0	2.69	0	0	15.564	0	0.0522	186.975
24-Jun	0.4	2.69	0.396	0	15.655	0	0.1238	186.975
25-Jun	0	2.69	0	0	15.622	0	0.0982	186.975
26-Jun	0	2.69	0	0	15.596	0	0.0778	186.975
27-Jun	0	2.69	0	0	15.576	0	0.0615	186.975
28-Jun	0	2.69	0	0	15.560	0	0.0485	186.975
29-Jun	0	2.69	0	0	15.547	0	0.0382	186.975
30-Jun	0	2.69	0	0	15.537	0	0.0301	186.975

## ANEXO 2: Resultados del modelo Hydrobal reajustado, sobre la recarga hídrica en pajonales

Fecha	PP	ETo	PP neta	Escorrentía	Humedad	Percolación	ETa (real)	Recarga
Días	(mm)	(mm)	(mm)	mm	(%)	(mm)	(mm)	(mm)
1-Jul	0	2.67	0	0.000	12.1	0.000	0	0.000
2-Jul	0	2.67	0	0.000	12.1	0.000	0	0.000
3-Jul	1	2.67	0.99	0.000	12.3954	0.000	0.103666	0.000
4-Jul	8.2	2.67	8.118	0.000	14.798	0.000	0.799236	0.000
5-Jul	0	2.67	0	0.000	14.5519	0.000	0.738463	0.000
6-Jul	0	2.67	0	0.000	14.325	0.000	0.680557	0.000
7-Jul	0	2.67	0	0.000	14.1165	0.000	0.625656	0.000
8-Jul	0	2.67	0	0.000	13.9252	0.000	0.573848	0.000
9-Jul	0	2.67	0	0.000	13.7501	0.000	0.525177	0.000
10-Jul	0	2.67	0	0.000	13.5902	0.000	0.479644	0.000
11-Jul	0	2.67	0	0.000	13.4445	0.000	0.437214	0.000
12-Jul	0	2.67	0	0.000	13.3119	0.000	0.397823	0.000
13-Jul	0	2.67	0	0.000	13.1914	0.000	0.361376	0.000
14-Jul	0	2.67	0	0.000	13.0822	0.000	0.327763	0.000
15-Jul	0	2.67	0	0.000	12.9832	0.000	0.296852	0.000
16-Jul	0	2.67	0	0.000	12.8937	0.000	0.268506	0.000
17-Jul	0	2.67	0	0.000	12.8129	0.000	0.242574	0.000
18-Jul	0	2.67	0	0.000	12.7399	0.000	0.218906	0.000
19-Jul	0	2.67	0	0.000	12.6741	0.000	0.19735	0.000
20-Jul	0	2.67	0	0.000	12.6149	0.000	0.177753	0.000
21-Jul	0	2.67	0	0.000	12.5615	0.000	0.15997	0.000
22-Jul	0	2.67	0	0.000	12.5136	0.000	0.143857	0.000
23-Jul	0	2.67	0	0.000	12.4705	0.000	0.129279	0.000
24-Jul	0	2.67	0	0.000	12.4318	0.000	0.116107	0.000
25-Jul	0.4	2.67	0.396	0.000	12.5156	0.000	0.14454	0.000
26-Jul	0	2.67	0	0.000	12.4723	0.000	0.129897	0.000
27-Jul	0	2.67	0	0.000	12.4334	0.000	0.116664	0.000
28-Jul	0	2.67	0	0.000	12.3985	0.000	0.104721	0.000
29-Jul	0	2.67	0	0.000	12.3672	0.000	0.0939527	0.000
30-Jul	0	2.67	0	0.000	12.3391	0.000	0.0842535	0.000
31-Jul	0	2.67	0	0.000	12.3139	0.000	0.0755243	0.000
1-Ago	0	3.09	0	0.000	12.2878	0.000	0.0783201	0.000
2-Ago	0	3.09	0	0.000	12.2649	0.000	0.0688704	0.000
3-Ago	0	3.09	0	0.000	12.2447	0.000	0.0605362	0.000
4-Ago	0	3.09	0	0.000	12.227	0.000	0.0531917	0.000
5-Ago	0	3.09	0	0.000	12.2114	0.000	0.0467235	0.000
6-Ago	0	3.09	0	0.000	12.1977	0.000	0.0410306	0.000
7-Ago	0	3.09	0	0.000	12.1857	0.000	0.0360224	0.000
8-Ago	3.6	3.09	3.564	0.000	13.2231	0.000	0.436339	0.000
9-Ago	0	3.09	0	0.000	13.0933	0.000	0.389617	0.000
10-Ago	0	3.09	0	0.000	12.9775	0.000	0.347202	0.000
11-Ago	1	3.09	0.99	0.000	13.1686	0.000	0.416826	0.000
12-Ago	13.8	3.09	13.662	0.000	17.1283	0.000	1.49823	0.000
13-Ago	7.2	3.09	7.128	0.000	18.8705	0.000	1.81478	0.000
14-Ago	0.4	3.09	0.396	0.000	18.4224	0.000	1.74032	0.000
15-Ago	0	3.09	0	0.000	17.8747	0.000	1.64301	0.000
16-Ago	0	3.09	0	0.000	17.3598	0.000	1.54472	0.000
17-Ago	0.2	3.09	0.198	0.000	16.9394	0.000	1.4592	0.000
18-Ago	0.4	3.09	0.396	0.000	16.6086	0.000	1.38835	0.000
19-Ago	0	3.09	0	0.000	16.1782	0.000	1.29117	0.000

20-Ago	0	3.09	0	0.000	15.7796	0.000	1.19583	0.000
21-Ago	0	3.09	0	0.000	15.412	0.000	1.10302	0.000
22-Ago	0	3.09	0	0.000	15.0742	0.000	1.01339	0.000
23-Ago	0	3.09	0	0.000	14.765	0.000	0.927486	0.000
24-Ago	0	3.09	0	0.000	14.4831	0.000	0.845751	0.000
25-Ago	0	3.09	0	0.000	14.2269	0.000	0.768529	0.000
26-Ago	0	3.09	0	0.000	13.9949	0.000	0.696056	0.000
27-Ago	0	3.09	0	0.000	13.7854	0.000	0.628467	0.000
28-Ago	0	3.09	0	0.000	13.5968	0.000	0.565803	0.000
29-Ago	0	3.09	0	0.000	13.4275	0.000	0.508024	0.000
30-Ago	0	3.09	0	0.000	13.2758	0.000	0.455019	0.000
31-Ago	1.4	3.09	1.386	0.000	13.554	0.000	0.551339	0.000
1-Set	0	3.62	0	0.000	13.3608	0.000	0.579588	0.000
2-Set	0	3.62	0	0.000	13.1914	0.000	0.508277	0.000
3-Set	0	3.62	0	0.000	13.0433	0.000	0.444365	0.000
4-Set	0	3.62	0	0.000	12.9141	0.000	0.387414	0.000
5-Set	0	3.62	0	0.000	12.8018	0.000	0.33693	0.000
6-Set	0	3.62	0	0.000	12.7044	0.000	0.292384	0.000
7-Set	0	3.62	0	0.000	12.6199	0.000	0.253238	0.000
8-Set	0	3.62	0	0.000	12.547	0.000	0.218961	0.000
9-Set	0	3.62	0	0.000	12.4839	0.000	0.189042	0.000
10-Set	0	3.62	0	0.000	12.4296	0.000	0.163	0.000
11-Set	0	3.62	0	0.000	12.3828	0.000	0.140387	0.000
12-Set	0	3.62	0	0.000	12.3425	0.000	0.120792	0.000
13-Set	0	3.62	0	0.000	12.3079	0.000	0.103844	0.000
14-Set	0	3.62	0	0.000	12.2782	0.000	0.0892084	0.000
15-Set	0	3.62	0	0.000	12.2527	0.000	0.0765871	0.000
16-Set	3.6	3.62	3.564	0.000	13.2569	0.000	0.536059	0.000
17-Set	0	3.62	0	0.000	13.1005	0.000	0.469218	0.000
18-Set	0	3.62	0	0.000	12.9639	0.000	0.409523	0.000
19-Set	0	3.62	0	0.000	12.8451	0.000	0.3565	0.000
20-Set	0	3.62	0	0.000	12.7419	0.000	0.309629	0.000
21-Set	0	3.62	0	0.000	12.6524	0.000	0.268375	0.000
22-Set	0	3.62	0	0.000	12.575	0.000	0.232201	0.000
23-Set	0	3.62	0	0.000	12.5082	0.000	0.200589	0.000
24-Set	3.8	3.62	3.762	0.000	13.5385	0.000	0.652388	0.000
25-Set	8.6	3.62	8.514	0.000	15.8552	0.000	1.44256	0.000
26-Set	0	3.62	0	0.000	15.4175	0.000	1.31323	0.000
27-Set	0	3.62	0	0.000	15.0212	0.000	1.18881	0.000
28-Set	0	3.62	0	0.000	14.6644	0.000	1.07041	0.000
29-Set	0	3.62	0	0.000	14.3448	0.000	0.958877	0.000
30-Set	0	3.62	0	0.000	14.0598	0.000	0.854827	0.000
1-Oct	11	4.02	10.89	0.000	16.9769	0.000	1.94885	0.000
2-Oct	0	4.02	0	0.000	16.3832	0.000	1.78094	0.000
3-Oct	0	4.02	0	0.000	15.8447	0.000	1.61561	0.000
4-Oct	0	4.02	0	0.000	15.3596	0.000	1.4551	0.000
5-Oct	0	4.02	0	0.000	14.9259	0.000	1.30138	0.000
6-Oct	0	4.02	0	0.000	14.5405	0.000	1.15611	0.000
7-Oct	0.2	4.02	0.198	0.000	14.2584	0.000	1.04423	0.000
8-Oct	5.8	4.02	5.742	0.000	15.6376	0.000	1.5485	0.000
9-Oct	0.4	4.02	0.396	0.000	15.2923	0.000	1.43189	0.000
10-Oct	0.4	4.02	0.396	0.000	14.9835	0.000	1.3224	0.000
11-Oct	0.4	4.02	0.396	0.000	14.7087	0.000	1.22056	0.000
12-Oct	5	4.02	4.95	0.000	15.8105	0.000	1.60466	0.000
13-Oct	0.4	4.02	0.396	0.000	15.4475	0.000	1.48502	0.000

14-Oct	0	4.02	0	0.000	15.0042	0.000	1.32988	0.000
15-Oct	0	4.02	0	0.000	14.6099	0.000	1.1829	0.000
16-Oct	0	4.02	0	0.000	14.2614	0.000	1.04543	0.000
17-Oct	4.2	4.02	4.158	0.000	15.1752	0.000	1.39097	0.000
18-Oct	0	4.02	0	0.000	14.7617	0.000	1.24055	0.000
19-Oct	4	4.02	3.96	0.000	15.5661	0.000	1.52484	0.000
20-Oct	10.4	4.02	10.296	0.000	18.1905	0.000	2.25106	0.000
21-Oct	5.8	4.02	5.742	0.000	19.2598	0.000	2.47816	0.000
22-Oct	0	4.02	0	0.000	18.4873	0.000	2.31749	0.000
23-Oct	0	4.02	0	0.000	17.77	0.000	2.15213	0.000
24-Oct	4.2	4.02	4.158	0.000	18.3827	0.000	2.29439	0.000
25-Oct	0	4.02	0	0.000	17.6732	0.000	2.12852	0.000
26-Oct	0	4.02	0	0.000	17.0197	0.000	1.96043	0.000
27-Oct	0	4.02	0	0.000	16.4222	0.000	1.79242	0.000
28-Oct	0	4.02	0	0.000	15.88	0.000	1.62684	0.000
29-Oct	0	4.02	0	0.000	15.3913	0.000	1.46593	0.000
30-Oct	0	4.02	0	0.000	14.9541	0.000	1.31169	0.000
31-Oct	0.6	4.02	0.594	0.000	14.7411	0.000	1.23282	0.000
	106.4							0.000
1-Nov	1.2	4.52	1.188	0.000	14.677	0.000	1.38053	0.000
2-Nov	0	4.52	0	0.000	14.2762	0.000	1.20229	0.000
3-Nov	0	4.52	0	0.000	13.9299	0.000	1.03883	0.000
4-Nov	0	4.52	0	0.000	13.6329	0.000	0.891133	0.000
5-Nov	0	4.52	0	0.000	13.3797	0.000	0.759448	0.000
6-Nov	0	4.52	0	0.000	13.1653	0.000	0.643457	0.000
7-Nov	0	4.52	0	0.000	12.9845	0.000	0.542387	0.000
8-Nov	0	4.52	0	0.000	12.8327	0.000	0.455148	0.000
9-Nov	1.8	4.52	1.782	0.000	13.205	0.000	0.665262	0.000
10-Nov	2.4	4.52	2.376	0.000	13.6902	0.000	0.920217	0.000
11-Nov	0.6	4.52	0.594	0.000	13.5973	0.000	0.872937	0.000
12-Nov	0	4.52	0	0.000	13.3495	0.000	0.743342	0.000
13-Nov	0	4.52	0	0.000	13.1397	0.000	0.629361	0.000
14-Nov	0	4.52	0	0.000	12.963	0.000	0.530174	0.000
15-Nov	0.2	4.52	0.198	0.000	12.87	0.000	0.476807	0.000
16-Nov	1.4	4.52	1.386	0.000	13.125	0.000	0.621208	0.000
17-Nov	2	4.52	1.98	0.000	13.5092	0.000	0.827458	0.000
18-Nov	0	4.52	0	0.000	13.2748	0.000	0.703196	0.000
19-Nov	0	4.52	0	0.000	13.0767	0.000	0.594313	0.000
20-Nov	0	4.52	0	0.000	12.91	0.000	0.499871	0.000
21-Nov	0.4	4.52	0.396	0.000	12.881	0.000	0.483133	0.000
22-Nov	2.6	4.52	2.574	0.000	13.4699	0.000	0.806999	0.000
23-Nov	4.8	4.52	4.752	0.000	14.5937	0.000	1.34442	0.000
24-Nov	4.8	4.52	4.752	0.000	15.5839	0.000	1.74504	0.000
25-Nov	4.8	4.52	4.752	0.000	16.4706	0.000	2.05595	0.000
26-Nov	4.8	4.52	4.752	0.000	17.2743	0.000	2.30464	0.000
27-Nov	4.8	4.52	4.752	0.000	18.0101	0.000	2.50832	0.000
28-Nov	4.8	4.52	4.752	0.000	18.6892	0.000	2.67833	0.000
29-Nov	6	4.52	5.94	0.000	19.6826	0.000	2.89971	0.000
30-Nov	4.8	4.52	4.752	0.000	20.2502	0.000	3.01324	0.000
1-Dic	10.2	4.13	10.098	0.000	22.4507	0.000	3.33038	0.000
2-Dic	5	4.13	4.95	0.000	22.9392	0.000	3.44473	0.000
3-Dic	4.8	4.13	4.752	0.000	23.3352	0.000	3.5278	0.000
4-Dic	13.2	4.13	13.068	0.000	26.3113	0.000	3.87649	0.000
5-Dic	5	4.13	4.95	0.000	26.6507	0.000	3.89173	0.000
6-Dic	8.6	4.13	8.514	0.000	28.1322	0.000	3.94812	0.000

7-Dic	4.8	4.13	4.752	0.000	28.3854	0.000	3.95631	0.000
8-Dic	4.8	4.13	4.752	0.000	28.636	0.000	3.96405	0.000
9-Dic	4.8	4.13	4.752	0.000	28.8841	0.000	3.97136	0.000
10-Dic	6.2	4.13	6.138	0.000	29.5667	0.036	3.98986	0.036
11-Dic	5.8	4.13	5.742	0.172	29.8571	0.646	3.99706	0.682
12-Dic	7	4.13	6.93	0.236	30.0966	1.891	4.00271	2.573
13-Dic	4.8	4.13	4.752	0.175	30.0243	0.756	4.00103	3.329
14-Dic	11.2	4.13	11.088	0.486	30.5293	4.878	4.01231	8.207
15-Dic	5.6	4.13	5.544	0.263	30.2978	1.916	4.00727	10.123
16-Dic	4.8	4.13	4.752	0.241	30.1199	1.006	4.00324	11.129
17-Dic	5.2	4.13	5.148	0.279	30.0692	0.975	4.00207	12.104
18-Dic	4.8	4.13	4.752	0.273	30.0112	0.616	4.00072	12.721
19-Dic	4.8	4.13	4.752	0.289	29.9837	0.510	4.00007	13.230
20-Dic	4.8	4.13	4.752	0.305	29.9706	0.451	3.99976	13.681
21-Dic	4.8	4.13	4.752	0.321	29.9644	0.414	3.99962	14.095
22-Dic	8	4.13	7.92	0.581	30.232	2.425	4.0058	16.519
23-Dic	11.4	4.13	11.286	0.923	30.6449	4.907	4.01475	21.426
24-Dic	10.4	4.13	10.296	0.924	30.7575	4.846	4.01708	26.272
25-Dic	15	4.13	14.85	1.506	31.1954	7.674	4.02569	33.946
26-Dic	22.6	4.13	22.374	2.676	32.0312	12.466	4.04034	46.412
27-Dic	8	4.13	7.92	0.999	31.2152	5.236	4.02607	51.648
28-Dic	13.6	4.13	13.464	1.852	31.2966	7.063	4.02759	58.711
29-Dic	9.2	4.13	9.108	1.323	30.9667	4.616	4.02128	63.327
30-Dic	6	4.13	5.94	0.893	30.5397	2.255	4.01253	65.582
31-Dic	17	4.13	16.83	2.778	31.2577	7.459	4.02686	73.041
1-Ene	5.4	3.71	5.346	0.000	30.7633	3.175	3.60614	76.216
2-Ene	11.2	3.71	11.088	1.991	31.0172	4.528	3.61081	80.744
3-Ene	13.2	3.71	13.068	2.499	31.3054	5.825	3.61585	86.570
4-Ene	21.6	3.71	21.384	4.503	32.1386	10.121	3.62903	96.691
5-Ene	13.2	3.71	13.068	2.908	31.8397	7.169	3.62453	103.860
6-Ene	19.6	3.71	19.404	4.665	32.2286	9.411	3.63034	113.271
7-Ene	11.8	3.71	11.682	2.936	31.7654	6.297	3.62337	119.568
8-Ene	9.2	3.71	9.108	2.366	31.3263	4.305	3.61621	123.873
9-Ene	23.6	3.71	23.364	6.584	32.3124	9.451	3.63153	133.324
10-Ene	10.8	3.71	10.692	3.121	31.7215	5.537	3.62268	138.861
11-Ene	5.2	3.71	5.148	1.528	30.9671	2.229	3.60991	141.091
12-Ene	2.6	3.71	2.574	0.770	30.3868	0.000	3.59881	141.091
13-Ene	1.8	3.71	1.782	0.536	29.7855	0.000	3.586	141.091
14-Ene	10	3.71	9.9	3.073	30.451	1.070	3.6001	142.161
15-Ene	0	3.71	0	0.000	29.2598	0.000	3.5736	142.161
16-Ene	0	3.71	0	0.000	28.0795	0.000	3.54098	142.161
17-Ene	0	3.71	0	0.000	26.9125	0.000	3.50097	142.161
18-Ene	0	3.71	0	0.000	25.7618	0.000	3.45211	142.161
19-Ene	0.4	3.71	0.396	0.123	24.7718	0.000	3.36607	142.161
20-Ene	11.8	3.71	11.682	3.761	27.4208	0.000	3.51946	142.161
21-Ene	9.2	3.71	9.108	3.012	29.2201	0.000	3.57261	142.161
22-Ene	15.2	3.71	15.048	5.195	30.6165	1.722	3.60334	143.883
23-Ene	18.4	3.71	18.216	6.610	31.5466	4.721	3.61987	148.605
24-Ene	2	3.71	1.98	0.722	30.6107	0.462	3.60323	149.067
25-Ene	8.8	3.71	8.712	3.252	30.7428	1.331	3.60576	150.398
26-Ene	10.4	3.71	10.296	3.947	30.9402	1.976	3.60942	152.374
27-Ene	20.8	3.71	20.592	8.308	31.8988	5.193	3.62544	157.567
28-Ene	1.2	3.71	1.188	0.481	30.709	0.671	3.60512	158.238
29-Ene	0	3.71	0	0.000	29.5157	0.000	3.57979	158.238
30-Ene	8.2	3.71	8.118	3.349	30.1712	0.000	3.59438	158.238



31-Ene	4.4	3.71	4.356	1.816	30.1614	0.000	3.59417	158.238
1-Feb	4.6	3.54	4.554	0.000	30.2286	0.890	3.42973	159.128
2-Feb	16.4	3.54	16.236	7.101	31.2515	2.232	3.44837	161.360
3-Feb	1.8	3.54	1.782	0.782	30.5079	0.000	3.43517	161.360
4-Feb	1.4	3.54	1.386	0.610	29.8294	0.000	3.42145	161.360
5-Feb	9.4	3.54	9.306	4.185	30.4764	0.000	3.43457	161.360
6-Feb	0	3.54	0	0.000	29.3396	0.000	3.41044	161.360
7-Feb	18.6	3.54	18.414	8.616	31.0101	0.859	3.44428	162.219
8-Feb	2.8	3.54	2.772	1.305	30.4793	0.000	3.43462	162.219
9-Feb	2.8	3.54	2.772	1.312	30.2267	0.000	3.42969	162.219
10-Feb	23.2	3.54	22.968	11.398	31.8109	2.643	3.4572	164.862
11-Feb	6.6	3.54	6.534	3.285	31.1836	1.611	3.44724	166.473
12-Feb	1.8	3.54	1.782	0.899	30.4756	0.000	3.43455	166.473
13-Feb	3.8	3.54	3.762	1.912	30.3101	0.000	3.43134	166.473
14-Feb	3	3.54	2.97	1.518	30.1553	0.000	3.42825	166.473
15-Feb	17.8	3.54	17.622	9.319	31.3326	0.874	3.44971	167.347
16-Feb	43.8	3.54	43.362	24.818	33.9886	4.810	3.48414	172.157
17-Feb	1.2	3.54	1.188	0.681	31.7596	3.737	3.45642	175.894
18-Feb	0	3.54	0	0.000	30.6139	0.000	3.43716	175.894
19-Feb	0	3.54	0	0.000	29.476	0.000	3.41361	175.894
20-Feb	0	3.54	0	0.000	28.3477	0.000	3.38488	175.894
21-Feb	24.6	3.54	24.354	14.565	31.0301	0.000	3.44463	175.894
22-Feb	8.2	3.54	8.118	4.921	30.947	0.000	3.44318	175.894
23-Feb	12.2	3.54	12.078	7.469	31.2436	0.042	3.44824	175.936
24-Feb	0.8	3.54	0.792	0.490	30.3635	0.000	3.43239	175.936
25-Feb	0.6	3.54	0.594	0.368	29.424	0.000	3.41241	175.936
26-Feb	3	3.54	2.97	1.850	29.2757	0.000	3.40893	175.936
27-Feb	0.6	3.54	0.594	0.370	28.3454	0.000	3.38481	175.936
28-Feb	0.2	3.54	0.198	0.123	27.294	0.000	3.35212	175.936
1-Mar	4.2	3.23	4.158	2.610	27.6494	0.000	3.06641	175.936
2-Mar	7	3.23	6.93	4.399	28.8989	0.000	3.09962	175.936
3-Mar	4.4	3.23	4.356	2.784	29.3049	0.000	3.10888	175.936
4-Mar	1.6	3.23	1.584	1.015	28.8005	0.000	3.09727	175.936
5-Mar	4.4	3.23	4.356	2.811	29.2073	0.000	3.10671	175.936
6-Mar	15	3.23	14.85	9.805	30.7491	0.000	3.13676	175.936
7-Mar	1.6	3.23	1.584	1.048	30.2346	0.000	3.12765	175.936
8-Mar	17.8	3.23	17.622	11.979	31.471	0.000	3.14818	175.936
9-Mar	2.4	3.23	2.376	1.621	30.7647	0.000	3.13702	175.936
10-Mar	22.2	3.23	21.978	15.483	32.0864	0.000	3.15679	175.936
11-Mar	8.4	3.23	8.316	5.929	31.5678	0.677	3.1496	176.613
12-Mar	10.4	3.23	10.296	7.448	31.4891	0.000	3.14844	176.613
13-Mar	3.2	3.23	3.168	2.302	30.8418	0.000	3.13831	176.613
14-Mar	8.2	3.23	8.118	5.966	30.9578	0.000	3.14021	176.613
15-Mar	11.4	3.23	11.286	8.424	31.2823	0.000	3.14534	176.613
16-Mar	9.2	3.23	9.108	6.883	31.252	0.000	3.14487	176.613
17-Mar	4.2	3.23	4.158	3.160	30.8141	0.000	3.13785	176.613
18-Mar	6.2	3.23	6.138	4.703	30.7754	0.000	3.1372	176.613
19-Mar	7	3.23	6.93	5.359	30.8247	0.000	3.13803	176.613
20-Mar	2.2	3.23	2.178	1.689	30.4396	0.000	3.13138	176.613
21-Mar	6	3.23	5.94	4.642	30.58	0.000	3.13386	176.613
22-Mar	7.6	3.23	7.524	5.938	30.7824	0.000	3.13732	176.613
23-Mar	0	3.23	0	0.000	29.743	0.000	3.11812	176.613
24-Mar	1	3.23	0.99	0.782	29.0387	0.000	3.10288	176.613
25-Mar	2.2	3.23	2.178	1.726	28.7328	0.000	3.09563	176.613
26-Mar	0.4	3.23	0.396	0.314	27.8408	0.000	3.072	176.613

27-Mar	18.4	3.23	18.216	14.782	30.3803	0.000	3.13032	176.613
28-Mar	0.4	3.23	0.396	0.322	29.4748	0.000	3.11255	176.613
29-Mar	0	3.23	0	0.000	28.4453	0.000	3.08843	176.613
30-Mar	0	3.23	0	0.000	27.4254	0.000	3.05961	176.613
31-Mar	0	3.23	0	0.000	26.417	0.000	3.02528	176.613
	970.6							176.613
1-Abr	0.8	3.04	0.792	0.101	25.7411	0.000	2.81969	176.613
2-Abr	0	3.04	0	0.000	24.8267	0.000	2.74303	176.613
3-Abr	0	3.04	0	0.000	23.9472	0.000	2.63859	176.613
4-Abr	1	3.04	0.99	0.118	23.4226	0.000	2.5637	176.613
5-Abr	2	3.04	1.98	0.208	23.2377	0.000	2.53487	176.613
6-Abr	4.8	3.04	4.752	0.353	23.9308	0.000	2.6364	176.613
7-Abr	0.2	3.04	0.198	0.014	23.1562	0.000	2.52176	176.613
8-Abr	9.6	3.04	9.504	0.282	25.3436	0.000	2.79332	176.613
9-Abr	0	3.04	0	0.000	24.4434	0.000	2.70059	176.613
10-Abr	2.6	3.04	2.574	0.056	24.4027	0.000	2.69582	176.613
11-Abr	2.8	3.04	2.772	0.040	24.4262	0.000	2.69858	176.613
12-Abr	1	3.04	0.99	0.012	23.8797	0.000	2.6295	176.613
13-Abr	0.2	3.04	0.198	0.002	23.1077	0.000	2.51384	176.613
14-Abr	0	3.04	0	0.000	22.3172	0.000	2.37154	176.613
15-Abr	0	3.04	0	0.000	21.5787	0.000	2.21555	176.613
16-Abr	0.2	3.04	0.198	0.002	20.9537	0.000	2.07295	176.613
17-Abr	0	3.04	0	0.000	20.2906	0.000	1.98935	176.613
18-Abr	0.2	3.04	0.198	0.002	19.7195	0.000	1.9113	176.613
19-Abr	0	3.04	0	0.000	19.1123	0.000	1.82163	176.613
20-Abr	0.2	3.04	0.198	0.002	18.5984	0.000	1.73987	176.613
21-Abr	0.2	3.04	0.198	0.002	18.112	0.000	1.65717	176.613
22-Abr	0	3.04	0	0.000	17.5912	0.000	1.5624	176.613
23-Abr	3.2	3.04	3.168	0.016	18.0929	0.000	1.65381	176.613
24-Abr	1.8	3.04	1.782	0.005	18.1332	0.000	1.6609	176.613
25-Abr	0	3.04	0	0.000	17.6112	0.000	1.56616	176.613
26-Abr	3.4	3.04	3.366	0.002	18.1732	0.000	1.66787	176.613
27-Abr	5.6	3.04	5.544	0.004	19.3831	0.000	1.86251	176.613
28-Abr	0.2	3.04	0.198	0.000	18.8553	0.000	1.78144	176.613
29-Abr	0.2	3.04	0.198	0.000	18.3549	0.000	1.69915	176.613
30-Abr	4.4	3.04	4.356	0.020	19.1863	0.000	1.83294	176.613
1-May	0	2.87	0	0.000	18.6383	0.000	1.64375	176.613
2-May	0	2.87	0	0.000	18.1182	0.000	1.56041	176.613
3-May	0	2.87	0	0.000	17.6262	0.000	1.47607	176.613
4-May	1.4	2.87	1.386	0.009	17.5978	0.000	1.47104	176.613
5-May	0	2.87	0	0.000	17.1358	0.000	1.38625	176.613
6-May	0	2.87	0	0.000	16.7019	0.000	1.30165	176.613
7-May	0	2.87	0	0.000	16.2959	0.000	1.21783	176.613
8-May	8.6	2.87	8.514	0.195	18.5501	0.000	1.63002	176.613
9-May	0	2.87	0	0.000	18.0346	0.000	1.54648	176.613
10-May	0	2.87	0	0.000	17.5473	0.000	1.46202	176.613
11-May	1.6	2.87	1.584	0.043	17.5857	0.000	1.46887	176.613
12-May	0.6	2.87	0.594	0.017	17.3107	0.000	1.41897	176.613
13-May	0.4	2.87	0.396	0.012	16.9899	0.000	1.35837	176.613
14-May	0	2.87	0	0.000	16.5652	0.000	1.27396	176.613
15-May	0	2.87	0	0.000	16.1684	0.000	1.19052	176.613
16-May	0	2.87	0	0.000	15.7989	0.000	1.10861	176.613
17-May	0	2.87	0	0.000	15.456	0.000	1.02874	176.613
18-May	0	2.87	0	0.000	15.1388	0.000	0.951396	176.613
19-May	0.8	2.87	0.792	0.025	15.0898	0.000	0.939124	176.613

20-May	0	2.87	0	0.000	14.8014	0.000	0.865211	176.613
21-May	0	2.87	0	0.000	14.5365	0.000	0.794614	176.613
22-May	0	2.87	0	0.000	14.294	0.000	0.727589	176.613
23-May	0	2.87	0	0.000	14.0725	0.000	0.664321	176.613
24-May	0	2.87	0	0.000	13.8709	0.000	0.604924	176.613
25-May	0	2.87	0	0.000	13.6877	0.000	0.549448	176.613
26-May	0	2.87	0	0.000	13.5218	0.000	0.497882	176.613
27-May	0	2.87	0	0.000	13.3717	0.000	0.450167	176.613
28-May	0	2.87	0	0.000	13.2363	0.000	0.4062	176.613
29-May	0	2.87	0	0.000	13.1144	0.000	0.365841	176.613
30-May	0	2.87	0	0.000	13.0047	0.000	0.328926	176.613
31-May	0.4	2.87	0.396	0.013	13.0248	0.000	0.335735	176.613
1-Jun	0	2.69	0	0.000	12.9306	0.000	0.282564	176.613
2-Jun	0	2.69	0	0.000	12.8456	0.000	0.255199	176.613
3-Jun	2.4	2.69	2.376	0.096	13.4865	0.000	0.45323	176.613
4-Jun	8	2.69	7.92	0.547	15.7499	0.000	1.02371	176.613
5-Jun	0	2.69	0	0.000	15.4319	0.000	0.954058	176.613
6-Jun	0	2.69	0	0.000	15.1364	0.000	0.88653	176.613
7-Jun	0	2.69	0	0.000	14.8626	0.000	0.821429	176.613
8-Jun	0	2.69	0	0.000	14.6096	0.000	0.759013	176.613
9-Jun	0	2.69	0	0.000	14.3764	0.000	0.699489	176.613
10-Jun	0	2.69	0	0.000	14.1621	0.000	0.643008	176.613
11-Jun	0	2.69	0	0.000	13.9655	0.000	0.589676	176.613
12-Jun	0	2.69	0	0.000	13.7857	0.000	0.539547	176.613
13-Jun	0	2.69	0	0.000	13.6215	0.000	0.492632	176.613
14-Jun	0	2.69	0	0.000	13.4718	0.000	0.448903	176.613
15-Jun	0	2.69	0	0.000	13.3357	0.000	0.408298	176.613
16-Jun	0	2.69	0	0.000	13.2122	0.000	0.370727	176.613
17-Jun	0	2.69	0	0.000	13.1001	0.000	0.336078	176.613
18-Jun	0	2.69	0	0.000	12.9987	0.000	0.30422	176.613
19-Jun	0.2	2.69	0.198	0.014	12.9667	0.000	0.294062	176.613
20-Jun	0	2.69	0	0.000	12.8781	0.000	0.265713	176.613
21-Jun	0	2.69	0	0.000	12.7982	0.000	0.239809	176.613
22-Jun	0	2.69	0	0.000	12.7261	0.000	0.216193	176.613
23-Jun	0	2.69	0	0.000	12.6612	0.000	0.194707	176.613
24-Jun	0.4	2.69	0.396	0.028	12.7217	0.000	0.214718	176.613
25-Jun	0	2.69	0	0.000	12.6572	0.000	0.193367	176.613
26-Jun	0	2.69	0	0.000	12.5992	0.000	0.173982	176.613
27-Jun	0	2.69	0	0.000	12.5471	0.000	0.156411	176.613
28-Jun	0	2.69	0	0.000	12.5002	0.000	0.14051	176.613
29-Jun	0	2.69	0	0.000	12.4582	0.000	0.126141	176.613
30-Jun	0	2.69	0	0.000	12.4205	0.000	0.113172	176.613

### ANEXO 3: Resultados del modelo Hydrobal reajustado, sobre la recarga hídrica en bosque de Polylepis

Fecha	PP	ETo	PP neta	Escorrentía	Humedad	Percolación	ETa (real)	Recarga
Días	(mm)	(mm)	(mm)	mm	(%)	(mm)	(mm)	(mm)
1-Jul	0	2.67	0	0.000	8	0.000	0	0.000
2-Jul	0	2.67	0	0.000	8	0.000	0	0.000
3-Jul	1	2.67	0.909	0.000	8.27122	0.000	0.0953375	0.000
4-Jul	8.2	2.67	7.4538	0.000	10.471	0.000	0.743275	0.000
5-Jul	0	2.67	0	0.000	10.2427	0.000	0.685132	0.000
6-Jul	0	2.67	0	0.000	10.0327	0.000	0.629984	0.000
7-Jul	0	2.67	0	0.000	9.84004	0.000	0.577923	0.000
8-Jul	0	2.67	0	0.000	9.6637	0.000	0.528998	0.000
9-Jul	0	2.67	0	0.000	9.50263	0.000	0.483212	0.000
10-Jul	0	2.67	0	0.000	9.35579	0.000	0.440533	0.000
11-Jul	0	2.67	0	0.000	9.22216	0.000	0.400899	0.000
12-Jul	0	2.67	0	0.000	9.10075	0.000	0.364218	0.000
13-Jul	0	2.67	0	0.000	8.99062	0.000	0.33038	0.000
14-Jul	0	2.67	0	0.000	8.89087	0.000	0.299257	0.000
15-Jul	0	2.67	0	0.000	8.80064	0.000	0.270708	0.000
16-Jul	0	2.67	0	0.000	8.71911	0.000	0.244586	0.000
17-Jul	0	2.67	0	0.000	8.64553	0.000	0.220741	0.000
18-Jul	0	2.67	0	0.000	8.57919	0.000	0.199019	0.000
19-Jul	0	2.67	0	0.000	8.51943	0.000	0.179269	0.000
20-Jul	0	2.67	0	0.000	8.46565	0.000	0.161345	0.000
21-Jul	0	2.67	0	0.000	8.41728	0.000	0.145102	0.000
22-Jul	0	2.67	0	0.000	8.37381	0.000	0.130405	0.000
23-Jul	0	2.67	0	0.000	8.33477	0.000	0.117123	0.000
24-Jul	0	2.67	0	0.000	8.29973	0.000	0.105135	0.000
25-Jul	0.4	2.67	0.3636	0.000	8.37709	0.000	0.131516	0.000
26-Jul	0	2.67	0	0.000	8.33771	0.000	0.118126	0.000
27-Jul	0	2.67	0	0.000	8.30237	0.000	0.10604	0.000
28-Jul	0	2.67	0	0.000	8.27065	0.000	0.0951417	0.000
29-Jul	0	2.67	0	0.000	8.24221	0.000	0.0853239	0.000
30-Jul	0	2.67	0	0.000	8.21672	0.000	0.0764875	0.000
31-Jul	0	2.67	0	0.000	8.19387	0.000	0.0685406	0.000
1-Ago	0	3.09	0	0.000	8.17018	0.000	0.0710567	0.000
2-Ago	0	3.09	0	0.000	8.14936	0.000	0.0624639	0.000
3-Ago	0	3.09	0	0.000	8.13107	0.000	0.05489	0.000
4-Ago	0	3.09	0	0.000	8.11499	0.000	0.0482189	0.000
5-Ago	0	3.09	0	0.000	8.10088	0.000	0.0423462	0.000
6-Ago	0	3.09	0	0.000	8.08848	0.000	0.0371795	0.000
7-Ago	0	3.09	0	0.000	8.0776	0.000	0.032636	0.000
8-Ago	3.6	3.09	3.2724	0.000	9.02909	0.000	0.402592	0.000
9-Ago	0	3.09	0	0.000	8.90943	0.000	0.358965	0.000
10-Ago	0	3.09	0	0.000	8.80294	0.000	0.319468	0.000
11-Ago	1	3.09	0.909	0.000	8.97793	0.000	0.384037	0.000
12-Ago	13.8	3.09	12.5442	0.000	12.5954	0.000	1.40724	0.000
13-Ago	7.2	3.09	6.5448	0.000	14.1567	0.000	1.77432	0.000
14-Ago	0.4	3.09	0.3636	0.000	13.7328	0.000	1.63526	0.000
15-Ago	0	3.09	0	0.000	13.2205	0.000	1.53692	0.000
16-Ago	0	3.09	0	0.000	12.741	0.000	1.43845	0.000
17-Ago	0.2	3.09	0.1818	0.000	12.3505	0.000	1.35331	0.000
18-Ago	0.4	3.09	0.3636	0.000	12.044	0.000	1.28318	0.000
19-Ago	0	3.09	0	0.000	11.6479	0.000	1.18802	0.000

20-Ago	0	3.09	0	0.000	11.2828	0.000	1.09545	0.000
21-Ago	0	3.09	0	0.000	10.9474	0.000	1.00611	0.000
22-Ago	0	3.09	0	0.000	10.6406	0.000	0.920536	0.000
23-Ago	0	3.09	0	0.000	10.3609	0.000	0.839164	0.000
24-Ago	0	3.09	0	0.000	10.1067	0.000	0.762329	0.000
25-Ago	0	3.09	0	0.000	9.87666	0.000	0.690257	0.000
26-Ago	0	3.09	0	0.000	9.66897	0.000	0.623077	0.000
27-Ago	0	3.09	0	0.000	9.48203	0.000	0.560821	0.000
28-Ago	0	3.09	0	0.000	9.31421	0.000	0.503443	0.000
29-Ago	0	3.09	0	0.000	9.16394	0.000	0.450828	0.000
30-Ago	0	3.09	0	0.000	9.02967	0.000	0.402803	0.000
31-Ago	1.4	3.09	1.2726	0.000	9.28897	0.000	0.494688	0.000
1-Set	0	3.62	0	0.000	9.11605	0.000	0.518775	0.000
2-Set	0	3.62	0	0.000	8.9648	0.000	0.453749	0.000
3-Set	0	3.62	0	0.000	8.83288	0.000	0.395757	0.000
4-Set	0	3.62	0	0.000	8.71811	0.000	0.344311	0.000
5-Set	0	3.62	0	0.000	8.61848	0.000	0.298884	0.000
6-Set	0	3.62	0	0.000	8.53217	0.000	0.258941	0.000
7-Set	0	3.62	0	0.000	8.45752	0.000	0.223947	0.000
8-Set	0	3.62	0	0.000	8.39306	0.000	0.193389	0.000
9-Set	0	3.62	0	0.000	8.33746	0.000	0.166779	0.000
10-Set	0	3.62	0	0.000	8.28957	0.000	0.143666	0.000
11-Set	0	3.62	0	0.000	8.24836	0.000	0.123631	0.000
12-Set	0	3.62	0	0.000	8.21293	0.000	0.106298	0.000
13-Set	0	3.62	0	0.000	8.18249	0.000	0.0913259	0.000
14-Set	0	3.62	0	0.000	8.15635	0.000	0.078412	0.000
15-Set	0	3.62	0	0.000	8.13392	0.000	0.0672865	0.000
16-Set	3.6	3.62	3.2724	0.000	9.05532	0.000	0.492851	0.000
17-Set	0	3.62	0	0.000	8.91179	0.000	0.430591	0.000
18-Set	0	3.62	0	0.000	8.78673	0.000	0.375182	0.000
19-Set	0	3.62	0	0.000	8.67802	0.000	0.326119	0.000
20-Set	0	3.62	0	0.000	8.58373	0.000	0.28287	0.000
21-Set	0	3.62	0	0.000	8.5021	0.000	0.244896	0.000
22-Set	0	3.62	0	0.000	8.43154	0.000	0.211672	0.000
23-Set	0	3.62	0	0.000	8.37065	0.000	0.182692	0.000
24-Set	3.8	3.62	3.4542	0.000	9.31515	0.000	0.602061	0.000
25-Set	8.6	3.62	7.8174	0.000	11.4313	0.000	1.34765	0.000
26-Set	0	3.62	0	0.000	11.024	0.000	1.22179	0.000
27-Set	0	3.62	0	0.000	10.6568	0.000	1.10168	0.000
28-Set	0	3.62	0	0.000	10.3274	0.000	0.988222	0.000
29-Set	0	3.62	0	0.000	10.0333	0.000	0.882107	0.000
30-Set	0	3.62	0	0.000	9.77208	0.000	0.783778	0.000
1-Oct	11	4.02	9.999	0.000	12.4335	0.000	1.8248	0.000
2-Oct	0	4.02	0	0.000	11.8806	0.000	1.65858	0.000
3-Oct	0	4.02	0	0.000	11.3818	0.000	1.4966	0.000
4-Oct	0	4.02	0	0.000	10.9348	0.000	1.34093	0.000
5-Oct	0	4.02	0	0.000	10.537	0.000	1.19331	0.000
6-Oct	0	4.02	0	0.000	10.1853	0.000	1.05511	0.000
7-Oct	0.2	4.02	0.1818	0.000	9.92934	0.000	0.949708	0.000
8-Oct	5.8	4.02	5.2722	0.000	11.191	0.000	1.43143	0.000
9-Oct	0.4	4.02	0.3636	0.000	10.8727	0.000	1.31847	0.000
10-Oct	0.4	4.02	0.3636	0.000	10.5895	0.000	1.21329	0.000
11-Oct	0.4	4.02	0.3636	0.000	10.3386	0.000	1.11625	0.000
12-Oct	5	4.02	4.545	0.000	11.3455	0.000	1.48435	0.000
13-Oct	0.4	4.02	0.3636	0.000	11.0106	0.000	1.36809	0.000

14-Oct	0	4.02	0	0.000	10.6043	0.000	1.21892	0.000
15-Oct	0	4.02	0	0.000	10.2447	0.000	1.07896	0.000
16-Oct	0	4.02	0	0.000	9.92826	0.000	0.949254	0.000
17-Oct	4.2	4.02	3.8178	0.000	10.7659	0.000	1.27935	0.000
18-Oct	0	4.02	0	0.000	10.3874	0.000	1.13545	0.000
19-Oct	4	4.02	3.636	0.000	11.1229	0.000	1.40771	0.000
20-Oct	10.4	4.02	9.4536	0.000	13.5123	0.000	2.11351	0.000
21-Oct	5.8	4.02	5.2722	0.000	14.4111	0.000	2.52005	0.000
22-Oct	0	4.02	0	0.000	13.6911	0.000	2.15992	0.000
23-Oct	0	4.02	0	0.000	13.028	0.000	1.98937	0.000
24-Oct	4.2	4.02	3.8178	0.000	13.5819	0.000	2.13066	0.000
25-Oct	0	4.02	0	0.000	12.9277	0.000	1.96258	0.000
26-Oct	0	4.02	0	0.000	12.3295	0.000	1.79455	0.000
27-Oct	0	4.02	0	0.000	11.7865	0.000	1.62893	0.000
28-Oct	0	4.02	0	0.000	11.2972	0.000	1.46795	0.000
29-Oct	0	4.02	0	0.000	10.8594	0.000	1.31361	0.000
30-Oct	0	4.02	0	0.000	10.4702	0.000	1.1676	0.000
31-Oct	0.6	4.02	0.5454	0.000	10.2867	0.000	1.09572	0.000
1-Nov	1.2	4.52	1.0908	0.000	10.2399	0.000	1.23136	0.000
2-Nov	0	4.52	0	0.000	9.88475	0.000	1.06532	0.000
3-Nov	0	4.52	0	0.000	9.57978	0.000	0.914928	0.000
4-Nov	0	4.52	0	0.000	9.31959	0.000	0.780549	0.000
5-Nov	0	4.52	0	0.000	9.09894	0.000	0.661954	0.000
6-Nov	0	4.52	0	0.000	8.9128	0.000	0.558436	0.000
7-Nov	0	4.52	0	0.000	8.75648	0.000	0.468949	0.000
8-Nov	0	4.52	0	0.000	8.62573	0.000	0.392242	0.000
9-Nov	1.8	4.52	1.6362	0.000	8.9736	0.000	0.592606	0.000
10-Nov	2.4	4.52	2.1816	0.000	9.42264	0.000	0.834463	0.000
11-Nov	0.6	4.52	0.5454	0.000	9.34058	0.000	0.791602	0.000
12-Nov	0	4.52	0	0.000	9.11669	0.000	0.671657	0.000
13-Nov	0	4.52	0	0.000	8.92774	0.000	0.566865	0.000
14-Nov	0	4.52	0	0.000	8.769	0.000	0.476205	0.000
15-Nov	0.2	4.52	0.1818	0.000	8.68683	0.000	0.428303	0.000
16-Nov	1.4	4.52	1.2726	0.000	8.92297	0.000	0.56418	0.000
17-Nov	2	4.52	1.818	0.000	9.27641	0.000	0.757683	0.000
18-Nov	0	4.52	0	0.000	9.06244	0.000	0.641912	0.000
19-Nov	0	4.52	0	0.000	8.88209	0.000	0.541046	0.000
20-Nov	0	4.52	0	0.000	8.73076	0.000	0.453996	0.000
21-Nov	0.4	4.52	0.3636	0.000	8.70554	0.000	0.439267	0.000
22-Nov	2.6	4.52	2.3634	0.000	9.24611	0.000	0.741535	0.000
23-Nov	4.8	4.52	4.3632	0.000	10.273	0.000	1.24637	0.000
24-Nov	4.8	4.52	4.3632	0.000	11.1733	0.000	1.62589	0.000
25-Nov	4.8	4.52	4.3632	0.000	11.9749	0.000	1.92228	0.000
26-Nov	4.8	4.52	4.3632	0.000	12.697	0.000	2.16051	0.000
27-Nov	4.8	4.52	4.3632	0.000	13.3539	0.000	2.35637	0.000
28-Nov	4.8	4.52	4.3632	0.000	13.9233	0.000	2.61882	0.000
29-Nov	6	4.52	5.454	0.000	14.7073	0.000	3.04203	0.000
30-Nov	4.8	4.52	4.3632	0.000	15.0766	0.000	3.2189	0.000
1-Dic	10.2	4.13	9.2718	0.000	16.9583	0.000	3.46093	0.000
2-Dic	5	4.13	4.545	0.000	17.2928	0.000	3.50156	0.000
3-Dic	4.8	4.13	4.3632	0.000	17.5578	0.000	3.53193	0.000
4-Dic	13.2	4.13	11.9988	0.000	20.2149	0.000	3.76442	0.000
5-Dic	5	4.13	4.545	0.000	20.4565	0.000	3.78031	0.000
6-Dic	8.6	4.13	7.8174	0.000	21.7373	0.000	3.85353	0.000
7-Dic	4.8	4.13	4.3632	0.000	21.8925	0.000	3.86127	0.000

8-Dic	4.8	4.13	4.3632	0.000	22.0453	0.000	3.86868	0.000
9-Dic	4.8	4.13	4.3632	0.000	22.1957	0.000	3.87576	0.000
10-Dic	6.2	4.13	5.6358	0.000	22.7528	0.000	3.90036	0.000
11-Dic	5.8	4.13	5.2722	0.000	23.1856	0.000	3.9178	0.000
12-Dic	7	4.13	6.363	0.000	23.964	0.000	3.94585	0.000
13-Dic	4.8	4.13	4.3632	0.000	24.0897	0.000	3.95001	0.000
14-Dic	11.2	4.13	10.1808	0.000	26.0829	0.000	4.00469	0.000
15-Dic	5.6	4.13	5.0904	0.000	26.4251	0.000	4.01222	0.000
16-Dic	4.8	4.13	4.3632	0.000	26.5293	0.000	4.01443	0.000
17-Dic	5.2	4.13	4.7268	0.000	26.7506	0.000	4.01897	0.000
18-Dic	4.8	4.13	4.3632	0.000	26.8526	0.000	4.021	0.000
19-Dic	4.8	4.13	4.3632	0.000	26.9539	0.000	4.02299	0.000
20-Dic	4.8	4.13	4.3632	0.000	27.0546	0.000	4.02492	0.000
21-Dic	4.8	4.13	4.3632	0.000	27.1546	0.000	4.02681	0.000
22-Dic	8	4.13	7.272	0.000	28.1951	0.000	4.04452	0.000
23-Dic	11.4	4.13	10.3626	0.263	29.5718	1.704	4.06336	1.704
24-Dic	10.4	4.13	9.4536	0.281	30.1517	3.191	4.06999	4.895
25-Dic	15	4.13	13.635	0.497	30.7813	6.842	4.07644	11.738
26-Dic	22.6	4.13	20.5434	0.978	31.24	12.170	4.08427	23.907
27-Dic	8	4.13	7.272	0.377	30.7625	4.146	4.07626	28.053
28-Dic	13.6	4.13	12.3624	0.732	30.966	6.665	4.0782	34.718
29-Dic	9.2	4.13	8.3628	0.539	30.7246	4.335	4.07589	39.053
30-Dic	6	4.13	5.454	0.370	30.361	2.042	4.07222	41.095
31-Dic	17	4.13	15.453	1.206	31.0336	7.738	4.07882	48.834
1-Ene	5.4	3.71	4.9086	0.399	30.5998	2.104	3.65903	50.937
2-Ene	11.2	3.71	10.1808	0.900	30.8422	4.696	3.66121	55.633
3-Ene	13.2	3.71	11.9988	1.163	31.1117	6.101	3.66353	61.734
4-Ene	21.6	3.71	19.6344	2.188	31.24	10.847	3.66953	72.581
5-Ene	13.2	3.71	11.9988	1.446	31.24	6.439	3.66509	79.020
6-Ene	19.6	3.71	17.8164	2.396	31.24	9.574	3.66887	88.594
7-Ene	11.8	3.71	10.7262	1.535	31.1942	5.449	3.66421	94.043
8-Ene	9.2	3.71	8.3628	1.254	30.9717	3.977	3.66234	98.020
9-Ene	23.6	3.71	21.4524	3.598	31.24	10.475	3.67013	108.495
10-Ene	10.8	3.71	9.8172	1.729	31.1172	4.610	3.66357	113.105
11-Ene	5.2	3.71	4.7268	0.851	30.6241	1.651	3.65925	114.756
12-Ene	2.6	3.71	2.3634	0.431	30.1852	0.000	3.65507	114.756
13-Ene	1.8	3.71	1.6362	0.300	29.5146	0.000	3.64799	114.756
14-Ene	10	3.71	9.09	1.741	30.2315	1.383	3.65552	116.140
15-Ene	0	3.71	0	0.000	29.0175	0.000	3.64216	116.140
16-Ene	0	3.71	0	0.000	27.8089	0.000	3.62559	116.140
17-Ene	0	3.71	0	0.000	26.6072	0.000	3.60508	116.140
18-Ene	0	3.71	0	0.000	25.414	0.000	3.57975	116.140
19-Ene	0.4	3.71	0.3636	0.070	24.3512	0.000	3.55202	116.140
20-Ene	11.8	3.71	10.7262	2.158	26.6528	0.000	3.60594	116.140
21-Ene	9.2	3.71	8.3628	1.745	28.1842	0.000	3.63113	116.140
22-Ene	15.2	3.71	13.8168	3.054	29.9953	1.338	3.65315	117.478
23-Ene	18.4	3.71	16.7256	3.952	31.1034	5.311	3.66346	122.789
24-Ene	2	3.71	1.818	0.433	30.3662	0.000	3.65683	122.789
25-Ene	8.8	3.71	7.9992	1.963	30.5454	1.714	3.65852	124.503
26-Ene	10.4	3.71	9.4536	2.403	30.7546	2.591	3.66043	127.094
27-Ene	20.8	3.71	18.9072	5.142	31.24	6.829	3.66781	133.924
28-Ene	1.2	3.71	1.0908	0.298	30.3677	0.000	3.65685	133.924
29-Ene	0	3.71	0	0.000	29.1531	0.000	3.6438	133.924
30-Ene	8.2	3.71	7.4538	2.088	29.9197	0.000	3.65237	133.924
31-Ene	4.4	3.71	3.9996	1.135	29.9899	0.000	3.65309	133.924

1-Feb	4.6	3.54	4.1814	1.204	30.0949	0.000	3.48618	133.924
2-Feb	16.4	3.54	14.9076	4.506	31.055	3.640	3.49475	137.564
3-Feb	1.8	3.54	1.6362	0.497	30.3831	0.000	3.48891	137.564
4-Feb	1.4	3.54	1.2726	0.388	29.6467	0.000	3.48164	137.564
5-Feb	9.4	3.54	8.5446	2.678	30.3041	0.264	3.48818	137.827
6-Feb	0	3.54	0	0.000	29.1454	0.000	3.47611	137.827
7-Feb	18.6	3.54	16.9074	5.579	30.7685	2.483	3.49234	140.310
8-Feb	2.8	3.54	2.5452	0.846	30.3257	0.000	3.48838	140.310
9-Feb	2.8	3.54	2.5452	0.853	30.0113	0.000	3.48536	140.310
10-Feb	23.2	3.54	21.0888	7.508	31.24	4.814	3.49845	145.124
11-Feb	6.6	3.54	5.9994	2.172	30.8478	1.438	3.49302	146.562
12-Feb	1.8	3.54	1.6362	0.595	30.2307	0.000	3.48748	146.562
13-Feb	3.8	3.54	3.4542	1.268	30.1473	0.000	3.48669	146.562
14-Feb	3	3.54	2.727	1.009	29.8929	0.000	3.48418	146.562
15-Feb	17.8	3.54	16.1802	6.250	31.0649	2.472	3.49483	149.034
16-Feb	43.8	3.54	39.8142	17.004	31.24	9.593	3.51109	158.627
17-Feb	1.2	3.54	1.0908	0.467	30.4235	0.000	3.48928	158.627
18-Feb	0	3.54	0	0.000	29.2644	0.000	3.47747	158.627
19-Feb	0	3.54	0	0.000	28.11	0.000	3.46296	158.627
20-Feb	0	3.54	0	0.000	26.9617	0.000	3.44517	158.627
21-Feb	24.6	3.54	22.3614	10.095	30.1767	0.000	3.48697	158.627
22-Feb	8.2	3.54	7.4538	3.423	30.4642	0.000	3.48965	158.627
23-Feb	12.2	3.54	11.0898	5.222	30.9103	0.807	3.49355	159.435
24-Feb	0.8	3.54	0.7272	0.343	29.991	0.000	3.48516	159.435
25-Feb	0.6	3.54	0.5454	0.258	29.0146	0.000	3.47458	159.435
26-Feb	3	3.54	2.727	1.296	28.7644	0.000	3.47156	159.435
27-Feb	0.6	3.54	0.5454	0.259	27.7934	0.000	3.45842	159.435
28-Feb	0.2	3.54	0.1818	0.087	26.7071	0.000	3.4407	159.435
1-Mar	4.2	3.23	3.8178	1.832	26.9241	0.000	3.14129	159.435
2-Mar	7	3.23	6.363	3.096	27.9656	0.000	3.15652	159.435
3-Mar	4.4	3.23	3.9996	1.963	28.2358	0.000	3.16002	159.435
4-Mar	1.6	3.23	1.4544	0.716	27.6698	0.000	3.15248	159.435
5-Mar	4.4	3.23	3.9996	1.986	27.9413	0.000	3.15619	159.435
6-Mar	15	3.23	13.635	6.969	30.0216	0.000	3.17932	159.435
7-Mar	1.6	3.23	1.4544	0.746	29.4485	0.000	3.17379	159.435
8-Mar	17.8	3.23	16.1802	8.574	30.9546	0.000	3.18717	159.435
9-Mar	2.4	3.23	2.1816	1.161	30.4848	0.000	3.18338	159.435
10-Mar	22.2	3.23	20.1798	11.178	31.24	1.254	3.19311	160.689
11-Mar	8.4	3.23	7.6356	4.293	31.0896	0.490	3.1882	161.179
12-Mar	10.4	3.23	9.4536	5.411	31.1724	0.433	3.18882	161.612
13-Mar	3.2	3.23	2.9088	1.674	30.6519	0.000	3.18477	161.612
14-Mar	8.2	3.23	7.4538	4.350	30.7931	0.000	3.18591	161.612
15-Mar	11.4	3.23	10.3626	6.165	31.1079	0.000	3.18834	161.612
16-Mar	9.2	3.23	8.3628	5.051	31.0884	0.044	3.18819	161.656
17-Mar	4.2	3.23	3.8178	2.322	30.6901	0.000	3.18508	161.656
18-Mar	6.2	3.23	5.6358	3.462	30.6559	0.000	3.1848	161.656
19-Mar	7	3.23	6.363	3.953	30.7018	0.000	3.18517	161.656
20-Mar	2.2	3.23	1.9998	1.247	30.3078	0.000	3.18187	161.656
21-Mar	6	3.23	5.454	3.433	30.4577	0.000	3.18315	161.656
22-Mar	7.6	3.23	6.9084	4.401	30.6538	0.000	3.18478	161.656
23-Mar	0	3.23	0	0.000	29.5954	0.000	3.17526	161.656
24-Mar	1	3.23	0.909	0.580	28.8426	0.000	3.16729	161.656
25-Mar	2.2	3.23	1.9998	1.280	28.455	0.000	3.16274	161.656
26-Mar	0.4	3.23	0.3636	0.233	27.526	0.000	3.15044	161.656
27-Mar	18.4	3.23	16.7256	11.023	30.0818	0.000	3.17986	161.656



28-Mar	0.4	3.23	0.3636	0.240	29.1461	0.000	3.17064	161.656
29-Mar	0	3.23	0	0.000	28.0934	0.000	3.1582	161.656
30-Mar	0	3.23	0	0.000	27.0457	0.000	3.14322	161.656
31-Mar	0	3.23	0	0.000	26.0039	0.000	3.1252	161.656
	970.6							161.656
1-Abr	0.8	3.04	0.7272	0.255	25.271	0.000	2.92611	161.656
2-Abr	0	3.04	0	0.000	24.3029	0.000	2.90425	161.656
3-Abr	0	3.04	0	0.000	23.3434	0.000	2.8784	161.656
4-Abr	1	3.04	0.909	0.311	22.6937	0.000	2.85814	161.656
5-Abr	2	3.04	1.818	0.591	22.3509	0.000	2.84642	161.656
6-Abr	4.8	3.04	4.3632	1.249	22.8389	0.000	2.86288	161.656
7-Abr	0.2	3.04	0.1818	0.052	21.9555	0.000	2.83197	161.656
8-Abr	9.6	3.04	8.7264	1.884	23.8506	0.000	2.89263	161.656
9-Abr	0	3.04	0	0.000	22.8957	0.000	2.8647	161.656
10-Abr	2.6	3.04	2.3634	0.471	22.7303	0.000	2.85934	161.656
11-Abr	2.8	3.04	2.5452	0.464	22.6258	0.000	2.85587	161.656
12-Abr	1	3.04	0.909	0.160	21.9844	0.000	2.83306	161.656
13-Abr	0.2	3.04	0.1818	0.032	21.1125	0.000	2.79738	161.656
14-Abr	0	3.04	0	0.000	20.1949	0.000	2.75304	161.656
15-Abr	0	3.04	0	0.000	19.2944	0.000	2.7015	161.656
16-Abr	0.2	3.04	0.1818	0.032	18.4729	0.000	2.64625	161.656
17-Abr	0	3.04	0	0.000	17.6134	0.000	2.57849	161.656
18-Abr	0.2	3.04	0.1818	0.031	16.8383	0.000	2.50712	161.656
19-Abr	0	3.04	0	0.000	16.0592	0.000	2.33728	161.656
20-Abr	0.2	3.04	0.1818	0.031	15.4008	0.000	2.15693	161.656
21-Abr	0.2	3.04	0.1818	0.031	14.8049	0.000	1.96964	161.656
22-Abr	0	3.04	0	0.000	14.2168	0.000	1.76414	161.656
23-Abr	3.2	3.04	2.9088	0.444	14.5552	0.000	1.88473	161.656
24-Abr	1.8	3.04	1.6362	0.234	14.481	0.000	1.85881	161.656
25-Abr	0	3.04	0	0.000	13.9286	0.000	1.65693	161.656
26-Abr	3.4	3.04	3.0906	0.390	14.3506	0.000	1.81255	161.656
27-Abr	5.6	3.04	5.0904	0.513	15.3193	0.000	2.13263	161.656
28-Abr	0.2	3.04	0.1818	0.018	14.7315	0.000	1.94508	161.656
29-Abr	0.2	3.04	0.1818	0.018	14.2055	0.000	1.75999	161.656
30-Abr	4.4	3.04	3.9996	0.326	14.8657	0.000	1.98978	161.656
1-May	0	2.87	0	0.000	14.3044	0.000	1.68414	161.656
2-May	0	2.87	0	0.000	13.7967	0.000	1.52312	161.656
3-May	0	2.87	0	0.000	13.3171	0.000	1.43851	161.656
4-May	1.4	2.87	1.2726	0.097	13.265	0.000	1.42898	161.656
5-May	0	2.87	0	0.000	12.8169	0.000	1.34421	161.656
6-May	0	2.87	0	0.000	12.397	0.000	1.25993	161.656
7-May	0	2.87	0	0.000	12.0047	0.000	1.17671	161.656
8-May	8.6	2.87	7.8174	0.380	14.0393	0.000	1.59244	161.656
9-May	0	2.87	0	0.000	13.5461	0.000	1.47959	161.656
10-May	0	2.87	0	0.000	13.0811	0.000	1.39482	161.656
11-May	1.6	2.87	1.4544	0.064	13.0998	0.000	1.39833	161.656
12-May	0.6	2.87	0.5454	0.023	12.8325	0.000	1.34725	161.656
13-May	0.4	2.87	0.3636	0.015	12.525	0.000	1.28614	161.656
14-May	0	2.87	0	0.000	12.1242	0.000	1.20253	161.656
15-May	0	2.87	0	0.000	11.7507	0.000	1.12036	161.656
16-May	0	2.87	0	0.000	11.404	0.000	1.04017	161.656
17-May	0	2.87	0	0.000	11.0832	0.000	0.962428	161.656
18-May	0	2.87	0	0.000	10.7873	0.000	0.88756	161.656
19-May	0.8	2.87	0.7272	0.029	10.7381	0.000	0.874803	161.656
20-May	0	2.87	0	0.000	10.4702	0.000	0.803751	161.656

21-May	0	2.87	0	0.000	10.2248	0.000	0.736242	161.656
22-May	0	2.87	0	0.000	10.0007	0.000	0.672469	161.656
23-May	0	2.87	0	0.000	9.79647	0.000	0.612556	161.656
24-May	0	2.87	0	0.000	9.61095	0.000	0.55656	161.656
25-May	0	2.87	0	0.000	9.44279	0.000	0.50448	161.656
26-May	0	2.87	0	0.000	9.2907	0.000	0.456261	161.656
27-May	0	2.87	0	0.000	9.15344	0.000	0.411804	161.656
28-May	0	2.87	0	0.000	9.02978	0.000	0.370977	161.656
29-May	0	2.87	0	0.000	8.91857	0.000	0.333618	161.656
30-May	0	2.87	0	0.000	8.81872	0.000	0.299543	161.656
31-May	0.4	2.87	0.3636	0.014	8.83788	0.000	0.306121	161.656
1-Jun	0	2.69	0	0.000	8.75211	0.000	0.257316	161.656
2-Jun	0	2.69	0	0.000	8.67473	0.000	0.232148	161.656
3-Jun	2.4	2.69	2.1816	0.071	9.26309	0.000	0.416524	161.656
4-Jun	8	2.69	7.272	0.124	11.3336	0.000	0.954439	161.656
5-Jun	0	2.69	0	0.000	11.038	0.000	0.886898	161.656
6-Jun	0	2.69	0	0.000	10.764	0.000	0.821783	161.656
7-Jun	0	2.69	0	0.000	10.5109	0.000	0.759352	161.656
8-Jun	0	2.69	0	0.000	10.2777	0.000	0.699811	161.656
9-Jun	0	2.69	0	0.000	10.0632	0.000	0.643313	161.656
10-Jun	0	2.69	0	0.000	9.86657	0.000	0.589963	161.656
11-Jun	0	2.69	0	0.000	9.68663	0.000	0.539816	161.656
12-Jun	0	2.69	0	0.000	9.52233	0.000	0.492883	161.656
13-Jun	0	2.69	0	0.000	9.37262	0.000	0.449136	161.656
14-Jun	0	2.69	0	0.000	9.23645	0.000	0.408515	161.656
15-Jun	0	2.69	0	0.000	9.11281	0.000	0.370927	161.656
16-Jun	0	2.69	0	0.000	9.00072	0.000	0.336263	161.656
17-Jun	0	2.69	0	0.000	8.89926	0.000	0.30439	161.656
18-Jun	0	2.69	0	0.000	8.80753	0.000	0.275166	161.656
19-Jun	0.2	2.69	0.1818	0.003	8.77942	0.000	0.266131	161.656
20-Jun	0	2.69	0	0.000	8.69936	0.000	0.24019	161.656
21-Jun	0	2.69	0	0.000	8.62718	0.000	0.21654	161.656
22-Jun	0	2.69	0	0.000	8.56217	0.000	0.195023	161.656
23-Jun	0	2.69	0	0.000	8.50368	0.000	0.175484	161.656
24-Jun	0.4	2.69	0.3636	0.006	8.5601	0.000	0.194334	161.656
25-Jun	0	2.69	0	0.000	8.50181	0.000	0.174858	161.656
26-Jun	0	2.69	0	0.000	8.44941	0.000	0.157205	161.656
27-Jun	0	2.69	0	0.000	8.40234	0.000	0.141228	161.656
28-Jun	0	2.69	0	0.000	8.36007	0.000	0.126789	161.656
29-Jun	0	2.69	0	0.000	8.32215	0.000	0.113756	161.656
30-Jun	0	2.69	0	0.000	8.28815	0.000	0.102007	161.656

**ANEXO 4: Modelamiento de la efectividad en el almacenamiento de agua en la presa  
Rontoccocha**

	Vol Max		2,018,000.00	[m3]				
	Vol min		721,200.00	[m3]				
	<b>Meses</b>	<b>Vpp</b>	<b>Vingreso</b>	<b>Vragri</b>	<b>Vpotable</b>	<b>Vevap</b>	<b>Vv*</b>	<b>Vfinal</b>
		[m3/mes]	[m3/mes]	[m3/mes]	[m3/mes]	[m3/mes]	[m3/mes]	[m3/mes]
1	Enero	46,886.8	449,837.3	0.00	160,704.00	5,470.13	0	1,030,550.00
	Febrero	39,726.3	521,665.9	0.00	150,336.00	4,918.32	0	1,436,687.94
	Marzo	39,214.3	563,669.3	0.00	160,704.00	6,165.25	0	1,872,702.31
	Abril	10,292.9	351,475.2	0.00	155,520.00	7,754.26	53196.1	2,018,000.00
	Mayo	3,281.1	276,544.8	89,469.28	160,704.00	9,819.65	19833	2,018,000.00
	Junio	2,615.4	195,566.4	93,495.33	155,520.00	10,818.25	0	1,956,348.22
	Julio	2,254.1	147,981.6	100,626.38	160,704.00	11,834.11	0	1,833,419.45
	Agosto	6,408.9	112,760.6	103,400.96	160,704.00	12,337.18	0	1,676,146.87
	Setiembre	3,540.8	86,961.6	94,493.14	155,520.00	11,153.65	0	1,505,482.52
	Octubre	11,248.6	100,975.7	198,112.33	160,704.00	11,035.52	0	1,247,854.92
	Noviembre	10,466.8	126,748.8	61,266.34	155,520.00	9,404.11	0	1,158,880.10
	Diciembre	49,474.7	218,423.5	0.00	160,704.00	7,552.64	0	1,258,521.69
2	Enero	54,279.2	449,837.3	0.00	160,704.00	6,332.58	0	1,595,601.61
	Febrero	45,481.6	503,677.4	0.00	145,152.00	5,630.84	0	1,993,977.77
	Marzo	44,246.2	563,669.3	0.00	160,704.00	6,956.36	416233	2,018,000.00
	Abril	10,604.3	351,475.2	0.00	155,520.00	7,988.86	198571	2,018,000.00
	Mayo	3,281.1	276,544.8	89,469.28	160,704.00	9,819.65	19833	2,018,000.00
	Junio	2,615.4	195,566.4	93,495.33	155,520.00	10,818.25	0	1,956,348.22
	Julio	2,254.1	147,981.6	100,626.38	160,704.00	11,834.11	0	1,833,419.45
	Agosto	6,408.9	112,760.6	103,400.96	160,704.00	12,337.18	0	1,676,146.87
	Setiembre	3,540.8	86,961.6	94,493.14	155,520.00	11,153.65	0	1,505,482.52
	Octubre	11,248.6	100,975.7	198,112.33	160,704.00	11,035.52	0	1,247,854.92
	Noviembre	10,466.8	126,748.8	61,266.34	155,520.00	9,404.11	0	1,158,880.10
	Diciembre	49,474.7	218,423.5	0.00	160,704.00	7,552.64	0	1,258,521.69
3	Enero	54,279.2	449,837.3	0.00	160,704.00	6,332.58	0	1,595,601.61
	Febrero	45,481.6	503,677.4	0.00	145,152.00	5,630.84	0	1,993,977.77
	Marzo	44,246.2	563,669.3	0.00	160,704.00	6,956.36	416233	2,018,000.00
	Abril	10,604.3	351,475.2	0.00	155,520.00	7,988.86	198571	2,018,000.00
	Mayo	3,281.1	276,544.8	89,469.28	160,704.00	9,819.65	19833	2,018,000.00
	Junio	2,615.4	195,566.4	93,495.33	155,520.00	10,818.25	0	1,956,348.22
	Julio	2,254.1	147,981.6	100,626.38	160,704.00	11,834.11	0	1,833,419.45
	Agosto	6,408.9	112,760.6	103,400.96	160,704.00	12,337.18	0	1,676,146.87
	Setiembre	3,540.8	86,961.6	94,493.14	155,520.00	11,153.65	0	1,505,482.52
	Octubre	11,248.6	100,975.7	198,112.33	160,704.00	11,035.52	0	1,247,854.92
	Noviembre	10,466.8	126,748.8	61,266.34	155,520.00	9,404.11	0	1,158,880.10
	Diciembre	49,474.7	218,423.5	0.00	160,704.00	7,552.64	0	1,258,521.69
4	Enero	54,279.2	449,837.3	0.00	160,704.00	6,332.58	0	1,595,601.61
	Febrero	45,481.6	503,677.4	0.00	145,152.00	5,630.84	0	1,993,977.77
	Marzo	44,246.2	563,669.3	0.00	160,704.00	6,956.36	416233	2,018,000.00
	Abril	10,604.3	351,475.2	0.00	155,520.00	7,988.86	198571	2,018,000.00
	Mayo	3,281.1	276,544.8	89,469.28	160,704.00	9,819.65	19833	2,018,000.00
	Junio	2,615.4	195,566.4	93,495.33	155,520.00	10,818.25	0	1,956,348.22
	Julio	2,254.1	147,981.6	100,626.38	160,704.00	11,834.11	0	1,833,419.45
	Agosto	6,408.9	112,760.6	103,400.96	160,704.00	12,337.18	0	1,676,146.87

	Setiembre	3,540.8	86,961.6	94,493.14	155,520.00	11,153.65	0	1,505,482.52
	Octubre	11,248.6	100,975.7	198,112.33	160,704.00	11,035.52	0	1,247,854.92
	Noviembre	10,466.8	126,748.8	61,266.34	155,520.00	9,404.11	0	1,158,880.10
	Diciembre	49,474.7	218,423.5	0.00	160,704.00	7,552.64	0	1,258,521.69
5	Enero	54,279.2	449,837.3	0.00	160,704.00	6,332.58	0	1,595,601.61
	Febrero	45,481.6	521,665.9	0.00	150,336.00	5,630.84	0	2,006,782.25
	Marzo	44,361.2	563,669.3	0.00	160,704.00	6,974.43	429134	2,018,000.00
	Abril	10,604.3	351,475.2	0.00	155,520.00	7,988.86	198571	2,018,000.00
	Mayo	3,281.1	276,544.8	89,469.28	160,704.00	9,819.65	19833	2,018,000.00
	Junio	2,615.4	195,566.4	93,495.33	155,520.00	10,818.25	0	1,956,348.22
	Julio	2,254.1	147,981.6	100,626.38	160,704.00	11,834.11	0	1,833,419.45
	Agosto	6,408.9	112,760.6	103,400.96	160,704.00	12,337.18	0	1,676,146.87
	Setiembre	3,540.8	86,961.6	94,493.14	155,520.00	11,153.65	0	1,505,482.52
	Octubre	11,248.6	100,975.7	198,112.33	160,704.00	11,035.52	0	1,247,854.92
	Noviembre	10,466.8	126,748.8	61,266.34	155,520.00	9,404.11	0	1,158,880.10
	Diciembre	49,474.7	218,423.5	0.00	160,704.00	7,552.64	0	1,258,521.69
6	Enero	54,279.2	449,837.3	0.00	160,704.00	6,332.58	0	1,595,601.61
	Febrero	45,481.6	503,677.4	0.00	145,152.00	5,630.84	0	1,993,977.77
	Marzo	44,246.2	563,669.3	0.00	160,704.00	6,956.36	416233	2,018,000.00
	Abril	10,604.3	351,475.2	0.00	155,520.00	7,988.86	198571	2,018,000.00
	Mayo	3,281.1	276,544.8	89,469.28	160,704.00	9,819.65	19833	2,018,000.00
	Junio	2,615.4	195,566.4	93,495.33	155,520.00	10,818.25	0	1,956,348.22
	Julio	2,254.1	147,981.6	100,626.38	160,704.00	11,834.11	0	1,833,419.45
	Agosto	6,408.9	112,760.6	103,400.96	160,704.00	12,337.18	0	1,676,146.87
	Setiembre	3,540.8	86,961.6	94,493.14	155,520.00	11,153.65	0	1,505,482.52
	Octubre	11,248.6	100,975.7	198,112.33	160,704.00	11,035.52	0	1,247,854.92
	Noviembre	10,466.8	126,748.8	61,266.34	155,520.00	9,404.11	0	1,158,880.10
	Diciembre	49,474.7	218,423.5	0.00	160,704.00	7,552.64	0	1,258,521.69
7	Enero	54,279.2	449,837.3	0.00	160,704.00	6,332.58	0	1,595,601.61
	Febrero	45,481.6	503,677.4	0.00	145,152.00	5,630.84	0	1,993,977.77
	Marzo	44,246.2	563,669.3	0.00	160,704.00	6,956.36	416233	2,018,000.00
	Abril	10,604.3	351,475.2	0.00	155,520.00	7,988.86	198571	2,018,000.00
	Mayo	3,281.1	276,544.8	89,469.28	160,704.00	9,819.65	19833	2,018,000.00
	Junio	2,615.4	195,566.4	93,495.33	155,520.00	10,818.25	0	1,956,348.22
	Julio	2,254.1	147,981.6	100,626.38	160,704.00	11,834.11	0	1,833,419.45
	Agosto	6,408.9	112,760.6	103,400.96	160,704.00	12,337.18	0	1,676,146.87
	Setiembre	3,540.8	86,961.6	94,493.14	155,520.00	11,153.65	0	1,505,482.52
	Octubre	11,248.6	100,975.7	198,112.33	160,704.00	11,035.52	0	1,247,854.92
	Noviembre	10,466.8	126,748.8	61,266.34	155,520.00	9,404.11	0	1,158,880.10
	Diciembre	49,474.7	218,423.5	0.00	160,704.00	7,552.64	0	1,258,521.69
8	Enero	54,279.2	449,837.3	0.00	160,704.00	6,332.58	0	1,595,601.61
	Febrero	45,481.6	503,677.4	0.00	145,152.00	5,630.84	0	1,993,977.77
	Marzo	44,246.2	563,669.3	0.00	160,704.00	6,956.36	416233	2,018,000.00
	Abril	10,604.3	351,475.2	0.00	155,520.00	7,988.86	198571	2,018,000.00
	Mayo	3,281.1	276,544.8	89,469.28	160,704.00	9,819.65	19833	2,018,000.00
	Junio	2,615.4	195,566.4	93,495.33	155,520.00	10,818.25	0	1,956,348.22
	Julio	2,254.1	147,981.6	100,626.38	160,704.00	11,834.11	0	1,833,419.45
	Agosto	6,408.9	112,760.6	103,400.96	160,704.00	12,337.18	0	1,676,146.87
	Setiembre	3,540.8	86,961.6	94,493.14	155,520.00	11,153.65	0	1,505,482.52
	Octubre	11,248.6	100,975.7	198,112.33	160,704.00	11,035.52	0	1,247,854.92
	Noviembre	10,466.8	126,748.8	61,266.34	155,520.00	9,404.11	0	1,158,880.10
	Diciembre	49,474.7	218,423.5	0.00	160,704.00	7,552.64	0	1,258,521.69

9	Enero	54,279.2	449,837.3	0.00	160,704.00	6,332.58	0	1,595,601.61
	Febrero	45,481.6	521,665.9	0.00	150,336.00	5,630.84	0	2,006,782.25
	Marzo	44,361.2	563,669.3	0.00	160,704.00	6,974.43	429134	2,018,000.00
	Abril	10,604.3	351,475.2	0.00	155,520.00	7,988.86	198571	2,018,000.00
	Mayo	3,281.1	276,544.8	89,469.28	160,704.00	9,819.65	19833	2,018,000.00
	Junio	2,615.4	195,566.4	93,495.33	155,520.00	10,818.25	0	1,956,348.22
	Julio	2,254.1	147,981.6	100,626.38	160,704.00	11,834.11	0	1,833,419.45
	Agosto	6,408.9	112,760.6	103,400.96	160,704.00	12,337.18	0	1,676,146.87
	Setiembre	3,540.8	86,961.6	94,493.14	155,520.00	11,153.65	0	1,505,482.52
	Octubre	11,248.6	100,975.7	198,112.33	160,704.00	11,035.52	0	1,247,854.92
	Noviembre	10,466.8	126,748.8	61,266.34	155,520.00	9,404.11	0	1,158,880.10
	Diciembre	49,474.7	218,423.5	0.00	160,704.00	7,552.64	0	1,258,521.69
10	Enero	54,279.2	449,837.3	0.00	160,704.00	6,332.58	0	1,595,601.61
	Febrero	45,481.6	503,677.4	0.00	145,152.00	5,630.84	0	1,993,977.77
	Marzo	44,246.2	563,669.3	0.00	160,704.00	6,956.36	416233	2,018,000.00
	Abril	10,604.3	351,475.2	0.00	155,520.00	7,988.86	198571	2,018,000.00
	Mayo	3,281.1	276,544.8	89,469.28	160,704.00	9,819.65	19833	2,018,000.00
	Junio	2,615.4	195,566.4	93,495.33	155,520.00	10,818.25	0	1,956,348.22
	Julio	2,254.1	147,981.6	100,626.38	160,704.00	11,834.11	0	1,833,419.45
	Agosto	6,408.9	112,760.6	103,400.96	160,704.00	12,337.18	0	1,676,146.87
	Setiembre	3,540.8	86,961.6	94,493.14	155,520.00	11,153.65	0	1,505,482.52
	Octubre	11,248.6	100,975.7	198,112.33	160,704.00	11,035.52	0	1,247,854.92
	Noviembre	10,466.8	126,748.8	61,266.34	155,520.00	9,404.11	0	1,158,880.10
	Diciembre	49,474.7	218,423.5	0.00	160,704.00	7,552.64	0	1,258,521.69

## ANEXO 5: Modelamiento del comportamiento de los cuerpos de agua superficial y aporte subterráneo residual

### a) Solimaniq Bajo

	(l/seg)	(l/seg)	(l/seg)	(l/seg)	(l/seg)	(l/seg)
Mes	$I_s$	$O_s$	$Pcp$	$ET$	$DV/Dt$	QRes
Mayo	0.05	0.1	0.009341	0.039937	0.0000	0.0806
Junio	0.05	0.1	0.007694	0.045465	0.0000	0.0878
Julio	0.02	0.1	0.006498	0.048737	0.0000	0.1222
Agosto	0.02	0.1	0.018953	0.052121	0.0000	0.1131
Setiembre	0.01	0.1	0.011191	0.050361	-0.0001	0.1291
Octubre	0.07	0.2	0.035740	0.050090	0.0001	0.1444
Noviembre	0.3	0.25	0.036512	0.046864	0.0001	-0.0396
Diciembre	0.4	1.2	0.170713	0.037229	0.0002	0.6667
Enero	0.6	2.6	0.182762	0.030460	0.0000	1.8477
Febrero	0.62	2.8	0.151373	0.026772	0.0000	2.0554
Marzo	0.42	0.6	0.126580	0.028430	0.0000	0.0818
Abril	0.1	0.21	0.031196	0.033574	-0.0001	0.1122

### b) Jayllahuasi Alto

Mes	$I_s$	$O_s$	$Pcp$	$ET$	$DV/Dt$	$I_G-O_G$
Mayo	0.1	0.1	0.010212	0.043660	-0.0002	0.0333
Junio	0.01	0	0.008411	0.049703	-0.0002	0.0311
Julio	0.01	0	0.007104	0.053280	-0.0001	0.0361
Agosto	0.01	0	0.020720	0.056980	0.0000	0.0263
Setiembre	0.01	0	0.012235	0.055056	0.0000	0.0328
Octubre	0.1	0	0.039072	0.054760	0.0003	-0.0841
Noviembre	0.16	0.02	0.039915	0.051232	0.0002	-0.1285
Diciembre	0.22	0.4	0.186626	0.040700	0.0001	0.0341
Enero	0.36	3.4	0.199798	0.033300	0.0000	2.8735
Febrero	0.39	4.28	0.165483	0.029268	0.0000	3.7538
Marzo	0.2	2.8	0.138379	0.031080	-0.0001	2.4926
Abril	0.1	0.1	0.034104	0.036704	0.0000	0.0026

c) Rontoccocha

	(m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	(m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	(m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	(m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	(m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	(m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )
<i>mes</i>	<i>I<sub>s</sub></i>	<i>O<sub>s</sub></i>	<i>P<sub>cp</sub></i>	<i>ET</i>	<i>DV/Dt</i>	<i>I<sub>G</sub>-O<sub>G</sub></i>
Mayo	0.04	0.06214	0.0008	0.0033	0.0112	0.0396
Junio	0.03	0.04438	0.0006	0.0038	-0.0139	0.0026
Julio	0.03	0.04438	0.0005	0.0040	0.0067	0.0284
Agosto	0.02	0.04438	0.0016	0.0043	-0.0235	0.0009
Setiembre	0.02	0.04438	0.0009	0.0042	0.0081	0.0357
Octubre	0.03	0.04255	0.0030	0.0041	0.0314	0.0472
Noviembre	0.03	0.05505	0.0030	0.0039	-0.0075	0.0147
Diciembre	0.04	0.09195	0.0141	0.0031	0.0095	0.0517
Enero	0.11	0.18895	0.0151	0.0025	0.0000	0.0711
Febrero	0.11	0.2348	0.0125	0.0022	0.0000	0.1107
Marzo	0.10	0.2372	0.0105	0.0024	-0.0168	0.1086
Abril	0.06	0.15315	0.0026	0.0028	-0.0116	0.0773

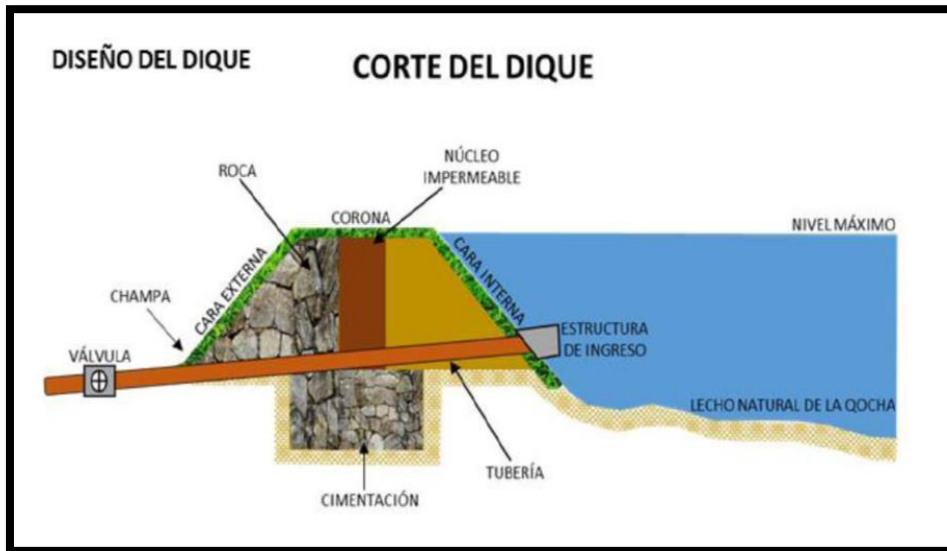
**ANEXO 6: Costos para la implementación del proyecto “Recuperación del servicio ecosistémico de regulación hídrica de la unidad hidrológica Rontoccocha - Abancay - Apurímac”**

Items	Actividad	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Presupuesto
01.00.00.00	EXPEDIENTE TÉCNICO (3%)	Estudio	1	28372.485	28372.49
02.00.00.00	COSTOS DIRECTOS				1000770.50
02.01.00.00	Reposición y ampliación de bosques nativos				157521.00
02.01.01.00	Establecimiento de un vivero forestal con especies nativas.	Campaña	1	75021.00	75021.00
02.01.02.00	Instalación de plántones en campo definitivo.	Campaña	2	33750.00	67500.00
02.01.03.00	Manejo de áreas existentes y reforestadas con especies nativas	Campaña	2	7500.00	15000.00
02.02.00.00	Restauración y manejo de praderas naturales				609830.00
02.02.01.00	Elaboración de plan de manejo de pastizales.	Talleres	6	2110.00	12660.00
02.02.02.00	Clausura de pastizales con mallas de alambre	Clausura	1	259550.00	259550.00
02.02.03.00	Resiembra de pastos naturales.	Resiembra	1	47820.00	47820.00
02.02.04.00	Vigilancia y control del área de cobertura vegetal	Mes	36	1800.00	64800.00
02.02.04.00	Construcción de zanjas de infiltración	Talleres	6	37500.00	225000.00
02.03.00.00	Adecuadas capacidades de manejo técnico de humedales y manantes				123059.50
02.03.01.00	Estudio de la degradación de humedales y manantes	Estudio	1	15000.00	15000.00
02.03.02.00	Programa de capacitación en conservación y recuperación de humedales y manantes	Taller	6	1070.00	6420.00
02.03.03.00	Protección de humedales y manantes con mallas de alambre galvanizado.	Humedal	7	4048.50	28339.50
02.03.04.00	Restauración de humedales mediante prácticas ancestrales	Humedal	7	2775.00	19425.00
02.03.05.00	Instalación de un sistema de monitoreo hidrológico	Sistema	1	33250.00	33250.00
02.03.06.00	Implementación de prácticas demostrativas de siembra y cosecha de agua.	Sistema	5	4125.00	20625.00
02.04.00.00	Disponibilidad instrumentos, herramientas y mecanismos de gestión ambiental				110360.00
02.04.01.00	Desarrollar estudios de determinación de la degradación de los servicios ecosistémicos de regulación hídrica.	Estudio	1	10000.00	10000.00
02.04.03.00	Apoyo a la creación de un área de conservación regional Rontoccocha	Evento	1	8800.00	8800.00
02.04.04.00	Programa comunicacional de sensibilización y difusión del RSE.	Mes	36	1900.00	68400.00
02.04.05.00	Programa de fortalecimiento y capacitación a los contribuyentes en servicios ecosistémicos de regulación hídrica.	Taller	6	3860.00	23160.00
03.00.00.00	SUPERVISIÓN (5%)			47287.48	47287.48
04.00.00.00	GASTOS GENERALES (10%)			94574.95	94574.95
<b>Total S/.</b>					<b>1171005.41</b>



## ANEXO 7: Costos para la Construcción de Microrepresa Rústica Tipo “Solimaniog Bajo”

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario S/.	Costo Total S/.
<b><u>Alimentación:</u></b>				<b>1440.00</b>
Refrigerio	Ración	120	5.00	600.00
Almuerzo	Ración	120	7.00	840.00
<b><u>Mano de Obra:</u></b>				<b>6800.00</b>
Mano de obra calificada	Dia	4	200.00	800.00
Mano de obra no calificada	Dia	120	50.00	6000.00
<b><u>Movilidad:</u></b>				<b>3200.00</b>
Alquiler combi	Dia	8	300.00	2400.00
Alquiler camioneta	Dia	4	200.00	800.00
<b><u>Material externo:</u></b>				<b>2565.00</b>
Cinta metrica de 50 (Wincha)	Unidad	1	65.00	65.00
Pico	Unidad	11	20.00	220.00
pala	Unidad	10	25.00	250.00
Carretilla Buggy	Unidad	5	145.00	725.00
Barreta	Unidad	8	45.00	360.00
Tubo PVC de 8"	Unidad	1	175.00	175.00
Cordel	Unidad	1	50.00	50.00
Comba de 20	Unidad	2	100.00	200.00
Alicate	Unidad	2	20.00	40.00
Martillo	Unidad	4	20.00	80.00
Explosivo	Global	1.00	400.00	400.00
Exp. Técnico	Estudio	1.00	2000.00	2000.00
Supervisión	Global	1.00	2000.00	2000.00
Gastos Generales	Global	1.00	2000.00	2000.00
<b>Total (S/.) =====</b>				<b>S/. 20,005.00</b>



### ANEXO 8: Costos para la construcción de presa Rontoccocha

Item	Descripción	Parcial (S/.) Precios sociales
01	<b>Sistema de almacenamiento Rontoccocha - represamiento Rontoccocha</b>	<b>5,840,711.53</b>
01.01	<b>Obras preliminares</b>	<b>160,085.28</b>
01.01.01	Trabajos preliminares	67,144.79
01.01.02	Camino de acceso	92,940.50
01.02	<b>Obras de cierre - eje principal</b>	<b>4,836,238.65</b>
01.02.01	Movimiento de tierras	184,779.44
01.02.02	Dique de concreto	4,473,190.60
01.02.03	Sistema de drenaje	32,073.67
01.02.04	Medidor rbc (drenaje y control de salida para riego)	14,019.11
01.02.05	Sistema de toma y caseta de control	132,175.82
01.03	<b>Obras de cierre - eje secundario 1</b>	<b>120,048.18</b>
01.03.01	Movimiento de tierras	3,405.12
01.03.02	Dique de concreto	116,643.05
01.04	<b>Obras de cierre - eje secundario 2</b>	<b>549,600.97</b>
01.04.01	Movimiento de tierras	14,831.28
01.04.02	Dique de concreto	480,469.64
01.04.03	Vertedero	8,888.61
01.04.04	Poza disipadora	15,991.51
01.04.05	Canal de entrega al cauce	29,419.92
01.05	<b>Instrumentación</b>	<b>55,203.46</b>
01.06	<b>Plan de manejo ambiental</b>	<b>119,535.00</b>
	<b>Sub total</b>	<b>5,840,711.53</b>
	Gastos generales	815,111.83
	Utilidades	414,690.52
	Sub total	7,070,513.88
	IGV.	1,272,692.50
	<b>Total</b>	<b>8,343,206.38</b>

## ANEXO 9: Ficha de encuesta de valoración contingente

N° _____	Fecha: _____
----------	--------------

Set 1 2 3 5 8

S/.

Nombre: \_\_\_\_\_

Barrio/Lugar: \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_

Encuestador: \_\_\_\_\_

Sector                      Sub Sector

                                  A        M    B

Hola mi nombre es ..... y vengo de parte de la Universidad Nacional Agraria la Molina. Estoy aplicando una encuesta para el estudio de Valoración Económica de la zona de Rontoccocha, que consiste en conocer la importancia de esta zona para la población de Abancay. Para ello quisiera pedirle permiso para entrevistarle (si es mayor de 18 años y acepta, continuar con la encuesta).

También quisiera aclararle algunos aspectos importantes:

- Queremos enfatizar que su participación en esta encuesta es totalmente voluntaria.
- Sus respuestas no serán difundidas, se procesarán de manera confidencial únicamente con la finalidad de brindar insumos en favor de la conservación de la zona de Rontoccocha.
- Si alguna pregunta no es clara, por favor no dude en preguntar.

### A. Sección I. La zona de Rontoccocha (el escenario)

#### El escenario actual de la cuenca de Rontoccocha:

Rontoccocha está ubicado en la cabecera del río Mariño, entre las comunidades de Atunpata y Micaela Bastidas, por encima de los 4000 msnm. Allí existen importantes ecosistemas de bofedales, praderas naturales y bosques andinos (mostrar set de figuras # 1). Su importancia se debe a que los ecosistemas de la zona producen el 25% del agua que la consume la población de Abancay, gracias a un proceso que se llama “servicio de regulación hídrica”, lo que significa que gracias a los ecosistemas se lo almacenar agua en el suelo en época de lluvia (a manera de reservorio) para liberarlo en época seca. Gracias a ello, los manantes y riachuelos no se secan. Existen otras fuentes que logran complementar el 100% de la demanda de agua; la más importante, Marcamarca con el 40% pero que en esta encuesta no nos referimos a ella.

Sin embargo, la zona de Rontoccocha, siempre ha sido afectado por las actividades de las comunidades propietarias con el sobre pastoreo, agricultura y quema de las praderas fundamentalmente, lo cual afecta el servicio de regulación hídrica. Al respecto, la EPS EMUSAP Abancay señala que el caudal de sus aguas habría disminuido un 30% en los últimos 20 años.

#### Propuesta de conservación:

Con la finalidad de asegurar el buen funcionamiento del ecosistema de Rontoccocha su biodiversidad y, evidentemente, asegurar la provisión de agua para la población de Abancay, se está planteando llevar diversas acciones de recuperación y conservación:

- Cercado de la cuenca para que los animales no ingresen
- Revegetación con especies nativas en las zonas afectadas

- Reforestación con especies nativas en zonas factibles

Sin embargo, implementar estas acciones, también implicaría que las familias que viven en la zona (propietarias) deben dejar de realizar sus actividades productivas (ganadería y agricultura) o al menos reducirlas lo cual afectaría su economía. Por ello, también será necesario ayudarlos con otros proyectos menos dañinos al ecosistema o ayudarlos a reubicar.

Entonces, para poder conservar la zona de Rontoccocha, se está trabajando una estrategia que se llama Mecanismo de Retribución por servicios Ecosistémicos (MRSE). Este mecanismo consiste en brindar un aporte económico (o pago) por medio de nuestros recibos de agua, para implementar las acciones antes mencionadas. Los MRSE, están avalados por normas del Ministerio de Vivienda, del ministerio del Ambiente y la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS).

Finalmente, es importante tener en cuenta lo siguiente:

- Si los ecosistemas de Rontoccocha no se recupera y conserva, se espera que muchos de los servicios que nos brinda, se pierda o bajen de calidad; principalmente el servicio de regulación hídrica (osea el caudal de agua en época seca) y la calidad del agua.
- El dinero se recaudaría mensualmente a través de la empresa de agua potable EMUSAP Abancay y estará supervisado por la SUNASS, ente responsable de dicha labor.

## B. Sección II. Pregunta de valoración:

Sobre la base de lo anterior, queremos saber su opinión sobre esta iniciativa de conservación y preguntarle si usted estaría dispuesto a pagar para que esto se implemente. No existe respuestas incorrectas sobre esto, solo queremos saber su opinión sobre esta iniciativa de MRSE.

- Algunas personas consideran que esto no es prioridad para ellos y, por lo tanto, no desean pagar.
- Otros mencionan que no tienen dinero
- Algunas personas si están dispuestos a pagar

Considerando la información anterior y considerando que usted mensualmente tiene un presupuesto restringido para cubrir todos sus gastos:

**B-1.** ¿Si se hiciera una votación popular en el que se sugiere que usted debe pagar mensualmente en los recibos de agua de EMUSAP Abancay S/.                   soles adicionales para materializar el proyecto de MRSE cómo votaría usted?

1.  Si, a favor
2.  No, en contra
3.  No sabe o no responde

**B-2.** En una escala de 1 a 10, donde 1 es inseguro y 10 es muy seguro, ¿Qué tan seguro está usted de su respuesta a la pregunta anterior? (encierre en un círculo).

Muy inseguro	Muy seguro
<b>1    2    3    4    5    6    7    8    9    10</b>	

**B-3.** Si su respuesta anterior fue negativa, por favor indique la principal razón que lo motiva a dar esa respuesta.

- a) No tengo dinero para aportar
- b) No es necesario conservar la zona: así como está, está bien.

- c) Deben pagar otros
- d) No confío en que el dinero sea bien utilizado por la EPS ni en la supervisión de SUNASS
- e) El municipio de Abancay debe poner los recursos para conservar la zona.
- f) Otra razón (especificar): \_\_\_\_\_

**C. Sección III. Datos socioeconómicos de la familia**

Ahora le haré preguntas de Ud y su familia, quizá alguna pueda ser incómoda, pero recuerde que esto será anónima e importante para el diseño del proyecto de conservación.

<p><b>C-1.</b> EL Encuestado es:  <input type="checkbox"/> varón  <input type="checkbox"/> Mujer</p>	<p><b>C-7.</b> ¿Cuántos hijos/niños menores de 18 años hay en su hogar?          _____</p>
<p><b>C-2.</b> ¿Cuántos años tiene?          _____ años</p>	<p><b>C-8.</b> Usted es un trabajador/a:  <input type="checkbox"/> Dependiente  <input type="checkbox"/> Independiente</p>
<p><b>C-3.</b> ¿Su estado civil es:  <input type="checkbox"/> soltero  <input type="checkbox"/> casado  <input type="checkbox"/> viudo  <input type="checkbox"/> conviviente  <input type="checkbox"/> Divorciado</p>	<p><b>C-9.</b> ¿Cuál es su principal ocupación actual?  <input type="checkbox"/> (1) agricultor  <input type="checkbox"/> (1) peón/ obrero  <input type="checkbox"/> (2) Comerciante  <input type="checkbox"/> (3) Servido público  <input type="checkbox"/> (4) estudiante universitario  <input type="checkbox"/> (5) Ama de casa          Otro: _____</p>
<p><b>C-4.</b> ¿Cuál es su grado de instrucción?  <input type="checkbox"/> Sin instrucción (0)  <input type="checkbox"/> Primaria completa (1)  <input type="checkbox"/> Secundaria completa (2)  <input type="checkbox"/> Técnico superior (3)  <input type="checkbox"/> Universitaria (4)  <input type="checkbox"/> Otro: _____</p>	<p><b>C-10.</b> Considerando todos los ingresos de las personas de su hogar ¿Qué rango de ingreso promedio mensual tiene en su hogar? (Mostrar rangos para selección)</p> <p><input type="checkbox"/> Hasta 300 nuevos soles  <input type="checkbox"/> Entre 301 y 500 Soles  <input type="checkbox"/> Entre 501 y 700 Soles  <input type="checkbox"/> Entre 701 y 1000 Soles  <input type="checkbox"/> Entre 1001 y 1500 Soles  <input type="checkbox"/> Entre 1501 y 2500 Soles  <input type="checkbox"/> Entre 2501 a 4000 Soles  <input type="checkbox"/> Entre 4000 a más Soles</p>
<p><b>C-5.</b> ¿Cuántas personas viven en su hogar? Incluyendo usted.          _____</p>	
<p><b>C-6.</b> ¿Cuántos años vive en Abancay?          _____ años</p>	

**Muchas gracias por su tiempo, información que nos proporcionó es muy valiosa para el estudio.**

**D. Sección de evaluación y preguntas de control**

**D-1. Actitud del Encuestado:**

- Buena
- Indiferente
- Poco dispuesto

**D-2. Grado de entendimiento:**

- Alto
- Medio
- bajo

**D-3. ¿El entrevistado señaló alguna dificultad en entender la importancia de la cuenca Rontococha?**

- Si    Descríbala: \_\_\_\_\_
- No

**D-4. ¿Tuvo el entrevistado alguna dificultad para entender la pregunta de valoración?**

- Si    Precisar: \_\_\_\_\_
- No

**D-5. Cuando hizo la pregunta de disposición a pagar, ¿notó que el encuestado estaba impaciente por terminar la entrevista?**

- Si    Precisar (muy, algo, un poco, no muy impaciente): \_\_\_\_\_
- No

**D-6. ¿Qué tan seria fue la actitud del encuestado al revelar su decisión acerca de su voto?**

- extremadamente serio
- Muy serio
- algo serio
- poco serio
- para nada serio
- no estoy seguro

**D-7. ¿Había alguien de 13 años o mayor cuando el encuestado respondió? ( ) si, ( ) no. En caso de ser afirmativo ¿cree que las otras personas afectaron la respuesta de votación del encuestado?**

- Si
- No
- no estoy seguro

**D-8. ¿Tiene algún otro comentario acerca de esta entrevista? \_\_\_\_\_**

**ANEXO 10: Estimaciones de DAP mediante el modelo Logit, para acceder a beneficios del servicio de regulación hídrica de la unidad hidrográfica de Rontoccocha**

**10.1. Estadísticas descriptivas de las variables analizadas**

```
. sum dap bid genero edad educ hhsiz e perm hij18 Ingresos
```

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
dap	309	.5242718	.5002206	0	1
bid	309	3.446602	2.345463	1	8
genero	309	.6634304	.4733027	0	1
edad	309	41.16505	14.45398	18	85
educ	309	2.964401	1.096938	0	4
hhsiz e	309	4.679612	2.225357	1	16
perm	309	30.49191	17.01577	1	85
hij18	309	1.184466	1.160057	0	8
Ingresos	309	1097.896	738.3426	300	3250

**10.2. Modelo M1, Logit extendido: DAP, bid, genero, edad, educ, hhsiz e, perm, hij18, ingreso**

```
. logit dap bid genero edad educ hhsiz e perm hij18 Ingresos
```

```
Iteration 0: log likelihood = -213.81826
Iteration 1: log likelihood = -168.91713
Iteration 2: log likelihood = -168.82743
Iteration 3: log likelihood = -168.8274
Iteration 4: log likelihood = -168.8274
```

```
Logistic regression              Number of obs   =          309
                                LR chi2(8)      =          89.98
                                Prob > chi2     =          0.0000
Log likelihood = -168.8274      Pseudo R2      =          0.2104
```

dap	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]
bid	-.4596741	.068806	-6.68	0.000	-.5945313 - .3248168
genero	.3007767	.2935278	1.02	0.306	-.2745271 .8760806
edad	-.0295883	.0137708	-2.15	0.032	-.0565787 -.002598
educ	.3027602	.1527368	1.98	0.047	.0034015 .6021189
hhsiz e	.0577008	.0735734	0.78	0.433	-.0865004 .2019021
perm	.0089288	.0108367	0.82	0.410	-.0123107 .0301684
hij18	-.2268794	.1408738	-1.61	0.107	-.5029869 .0492281
Ingresos	.0007427	.00023	3.23	0.001	.000292 .0011935
_cons	.6943542	.7845851	0.88	0.376	-.8434044 2.232113



**a) Bondad de ajuste del modelo: R<sup>2</sup> cuenta**

```
. estat class
```

Logistic model for dap

Classified	True		Total
	D	~D	
+	128	52	180
-	34	95	129
Total	162	147	309

Classified + if predicted Pr(D) >= .5

True D defined as dap != 0

Sensitivity	Pr( +  D)	79.01%
Specificity	Pr( -  ~D)	64.63%
Positive predictive value	Pr( D  +)	71.11%
Negative predictive value	Pr( ~D  -)	73.64%
False + rate for true ~D	Pr( +  ~D)	35.37%
False - rate for true D	Pr( -  D)	20.99%
False + rate for classified +	Pr( ~D  +)	28.89%
False - rate for classified -	Pr( D  -)	26.36%
Correctly classified		72.17%

**b) Bondad de ajuste: Criterio de Akaike**

```
. estat ic
```

Akaike's information criterion and Bayesian information criterion

Model	Obs	ll(null)	ll(model)	df	AIC	BIC
.	309	-213.8183	-168.8274	9	355.6548	389.2549

Note: N=Obs used in calculating BIC; see [\[R\] BIC note](#).

### 10.3. Modelo M2, Logit reducido: DAP, bid

```
. logit dap bid
```

```
Iteration 0: log likelihood = -213.81826
Iteration 1: log likelihood = -190.95936
Iteration 2: log likelihood = -190.94424
Iteration 3: log likelihood = -190.94424
```

```
Logistic regression                               Number of obs   =           309
                                                    LR chi2(1)      =           45.75
                                                    Prob > chi2     =           0.0000
Log likelihood = -190.94424                       Pseudo R2      =           0.1070
```

dap	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
bid	-.360327	.0586618	-6.14	0.000	-.475302	-.2453521
_cons	1.317693	.2265872	5.82	0.000	.8735904	1.761796

#### a) Bondad de ajuste del modelo: R<sup>2</sup> cuenta

```
. estat class
```

```
Logistic model for dap
```

Classified	True		Total
	D	~D	
+	127	78	205
-	35	69	104
Total	162	147	309

```
Classified + if predicted Pr(D) >= .5
True D defined as dap != 0
```

Sensitivity	Pr( +   D)	78.40%
Specificity	Pr( -   ~D)	46.94%
Positive predictive value	Pr( D   +)	61.95%
Negative predictive value	Pr( ~D   -)	66.35%
False + rate for true ~D	Pr( +   ~D)	53.06%
False - rate for true D	Pr( -   D)	21.60%
False + rate for classified +	Pr( ~D   +)	38.05%
False - rate for classified -	Pr( D   -)	33.65%
Correctly classified		63.43%



**a) Bondad de ajuste del modelo: R<sup>2</sup> cuenta**

```
. estat class
```

```
Logistic model for dap
```

Classified	True		Total
	D	~D	
+	126	50	176
-	36	97	133
Total	162	147	309

```
Classified + if predicted Pr(D) >= .5
```

```
True D defined as dap != 0
```

Sensitivity	Pr( +  D)	77.78%
Specificity	Pr( - ~D)	65.99%
Positive predictive value	Pr( D  +)	71.59%
Negative predictive value	Pr(~D  -)	72.93%
False + rate for true ~D	Pr( + ~D)	34.01%
False - rate for true D	Pr( -  D)	22.22%
False + rate for classified +	Pr(~D  +)	28.41%
False - rate for classified -	Pr( D  -)	27.07%
Correctly classified		72.17%

**b) Bondad de ajuste: Criterio de Akaike**

```
. estat ic
```

```
Akaike's information criterion and Bayesian information criterion
```

Model	Obs	ll(null)	ll(model)	df	AIC	BIC
.	309	-213.8183	-170.9928	5	351.9857	370.6524

Note: N=Obs used in calculating BIC; see [\[R\] BIC note](#).

### 10.5. Análisis de significancia de variables por modelos

```
. estimates table logit1 logit2 logit3, star stat (N r2)
```

Variable	logit1	logit2	logit3
bid	-.45967409***	-.36032703***	-.44210072***
genero	.30077674		
edad	-.02958831*		-.02004632*
educ	.30276024*		.32813112*
hhsiz	.05770085		
perm	.00892885		
hij18	-.2268794		
Ingresos	.00074274**		.00075273**
_cons	.69435421	1.3176932***	.6386883
N	309	309	309
r2			

legend: \* p<0.05; \*\* p<0.01; \*\*\* p<0.001

### 10.6. Efectos marginales de las variables

```
. margins, dydx(*)
```

```
Average marginal effects      Number of obs      =      309
Model VCE      : OIM
```

```
Expression      : Pr(dap), predict()
dy/dx w.r.t.    : bid genero edad educ hhsiz perm hij18 Ingresos
```

	Delta-method					[95% Conf. Interval]	
	dy/dx	Std. Err.	z	P> z			
bid	-.0846544	.0089565	-9.45	0.000	-.1022089	-.0670999	
genero	.0553916	.0537461	1.03	0.303	-.0499488	.160732	
edad	-.005449	.0024665	-2.21	0.027	-.0102834	-.0006147	
educ	.0557569	.0274885	2.03	0.043	.0018805	.1096333	
hhsiz	.0106263	.0134985	0.79	0.431	-.0158303	.0370828	
perm	.0016444	.0019874	0.83	0.408	-.0022509	.0055396	
hij18	-.0417825	.0255386	-1.64	0.102	-.0918373	.0082723	
Ingresos	.0001368	.0000399	3.42	0.001	.0000585	.0002151	



## ANEXO 11: Cálculo de la disposición a Pagar

### a) DAP Modelo M2, Logit reducido

```
. nlcom -_b[_cons] /_b[bid]

      _nl_1:  -_b[_cons] /_b[bid]
```

dap	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]
_nl_1	3.656937	.3475503	10.52	0.000	2.975751 4.338123

### b) DAP Modelo M3, Logit reducido con variables significativas

```
. logit dap bid edad educ Ingresos
```

```
Iteration 0:  log likelihood = -213.81826
Iteration 1:  log likelihood = -171.09184
Iteration 2:  log likelihood = -170.99289
Iteration 3:  log likelihood = -170.99284
Iteration 4:  log likelihood = -170.99284
```

```
Logistic regression              Number of obs   =          309
                                LR chi2(4)         =          85.65
                                Prob > chi2          =          0.0000
Log likelihood = -170.99284      Pseudo R2       =          0.2003
```

dap	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]
bid	-.4421007	.0672389	-6.58	0.000	-.5738866  -.3103148
edad	-.0200463	.0101108	-1.98	0.047	-.0398631  -.0002296
educ	.3281311	.150083	2.19	0.029	.0339739   .6222884
Ingresos	.0007527	.0002305	3.27	0.001	.0003009   .0012046
_cons	.6386883	.6596343	0.97	0.333	-.6541712  1.931548

```
. summarize DAP2
```

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
DAP2	309	3.647616	1.97452	-1.535983	9.13085

. summarize DAP2, detail

DAP2

Percentiles		Smallest		
1%	-.6799661	-1.535983		
5%	.3398094	-1.21858		
10%	.9459884	-.8159961	Obs	309
25%	2.227612	-.6799661	Sum of Wgt.	309
50%	3.84891		Mean	3.647616
		Largest	Std. Dev.	1.97452
75%	4.909422	8.58673		
90%	5.91433	8.722759	Variance	3.898727
95%	7.028341	8.904133	Skewness	.0757084
99%	8.58673	9.13085	Kurtosis	3.029933

**c) DAP, con modelo Turnbull**

Bid	Turnbull Estimates									
	Nj	Tj	Fj	Nj*	Tj*	Fj*	fj*	Elb	V(Elb)	Eub
0			0.000			0.000		0.000		0.239
1	17.000	71.000	0.239	17.000	71.000	0.239	0.239	0.050	0.003	0.101
2	20.000	69.000	0.290	20.000	69.000	0.290	0.050	0.584	0.003	0.876
3p	41.000	65.000	0.631	71.000	122.000	0.582	0.292	0.743	0.002	1.983
5p	30.000	57.000	0.526							
8	39.000	47.000	0.830	39.000	47.000	0.830	0.248	1.362	0.075	4.085
24			1.000			1.000	0.170			
Total	147.000	309.000		147.000	309.000			2.740	0.083	7.284

Note: (p) pooled category. Last bid value was arbitrarily chosen. Pval(Elb) = 0.00011.

Bid	Turnbull Estimates			
	Tj	Elb	V(Elb)	Eub
0		0.000		0.239
1	71.000	0.050	0.003	0.101
2	69.000	0.584	0.003	0.876
3p	65.000	0.743	0.002	1.983
5p	57.000			
8	47.000	1.362	0.075	4.085
24				
Total	309.000	2.740	0.083	7.284

Note: (p) pooled category. Last bid value was arbitrarily chosen. Pval(Elb) = 0.00011.