

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



BALANCE DE LOS RECURSOS HIDRICOS DE LA
LAGUNA RONTOCOCHA EN LA SUBCUENCA DEL
RIO MARIÑO PARA GESTION INTEGRADA

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:
MARCO ANTONIO GÁLVEZ QUINTANA

LIMA - PERÚ

2015

Dedicatoria

Al amor incalculable de mi madre:
ROSITA QUINTANA JIMENEZ quien es
la fuerza, el cimiento y base de apoyo del
INGENIERO EDILBERTO GÁLVEZ
BARRIENTOS mi padre, quien sin
planos, datos de campo, corto presupuesto
y sin una programación de obra.

Pudieron construir la obra maestra de sus
vidas. MI FAMILIA

Al, esfuerzo, paciencia y cariño brindado
por mis amigos, a todas aquellas personas
que día a día luchan por el desarrollo
sostenible de la vida humana
especialmente, las del interior del país.
Gracias.

INDICE GENERAL

CAPITULO 1:

INTRODUCCIÓN	1
1.1 Marco Situacional	1
1.2 Problematización	3
1.3 Objetivo	3
1.4 Metodología	4
CAPÍTULO 2	5
GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HIDRICOS (GIRH)	5
2.1 Principios	5
2.2 Estrategias	8
CAPÍTULO 3	10
RECURSOS HÍDRICOS Y DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO	10
3.1 Caracterización de la zona de estudio	10
3.2 Caracterización física de la laguna Rontoccocha	13
3.3 Conformación social y Organización del Trabajo en la Zona	15
3.4 Usos del agua provenientes de laguna Rontoccocha	16
3.5 Gestión de la Laguna Rontoccocha	18
3.6 Impacto del cambio climático en la laguna Rontoccocha.....	19
3.7 Impacto Ambiental la laguna Rontoccocha	21
3.8 Disponibilidad de información en la zona de estudio.....	22
3.9 Disponibilidad de Información de los escenarios de investigación Planteados....	23
3.10 Análisis de Precipitaciones (P)	26
3.10.1 Escenario 2013	28
3.10.2 Escenario 2030	29

3.10.3 Escenario 2090	31
3.11 Análisis de escorrentía (RO).....	31
3.11.1 Escenario Actual 2013.....	41
3.11.2 Escenario 2030 y escenario 2090	41
3.12 Estimación de la evaporación (E).....	42
3.12.1 Escenario 2030 y escenario 2090	44
3.13 Estimación de la evapotranspiración (ETR).....	49
3.14 Infiltraciones (F).....	49
CAPÍTULO 4	51
SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA (SIG).....	51
4.1 Generalidades sobre el software	51
4.2 Modelación de la sub cuenca de la laguna Rontoccocha.....	52
4.3 Parámetros de la micro cuenca Rontoccocha	58
CAPÍTULO 5	60
BALANCE HÍDRICO DE LOS ESCENARIOS DE INVESTIGACIÓN USANDO SIG	60
5.1 Balance hídrico y escenarios de investigación	60
5.1.1 Escenario 2013	62
5.1.2 Escenario 2030	66
5.1.3 Escenario 2090	70
CAPITULO 6	75
RESULTADOS DEL BALANCE HIDRICO	75
6.1 Resultados.....	75
6.1.1 Escenario 2013	77
6.1.2 Escenario 2030	80
6.1.3 Escenario 2090	82

CAPITULO 7.....	84
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	84
7.1 – Conclusiones.....	84
7.2.- Recomendaciones.....	86
BIBLIOGRAFÍA.....	88
ANEXOS.....	93

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Análisis Regional de Precipitación, Ecuación de Regresión Precipitación - Altitud
Anexo 2: Monograma de Penman
Anexo 3: Proceso de Tratamiento de Imágenes Satelitales
Anexo 4: Generación de Caudales Mensuales mediante Modelo Hidrológico, Micro Cuenca Rontoccocha – Año 2013, 2030, 2090
Anexo 5: Balance Hídrico
Anexo 6: Cálculo de la Evaporación Media para el Año 2013, 2030, 2090
Anexo 7: Administración Local de Agua ALA-Medio APURIMAC – Pachachaca, registro consolidado del inventario de fuentes hídricas.

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 Estaciones de dónde se obtuvo la información:	23
Tabla N° 2: Láminas mensuales media para el escenario 2013 y 2030:.....	30
Tabla N° 3: Estaciones empleadas:.....	44
Tabla N° 4: Temperaturas medias para los escenarios 2013,2030 y 2090:	48
Tabla N° 5: Áreas generadas a partir del análisis del software Arc Map:	58
Tabla N° 6: Evaporación mensual para el escenario 2013:.....	65
Tabla N° 7: Volumen de participación de cada parámetro considerado en el análisis del escenario 2013.....	78
Tabla N° 8: Volumen total de participación en la micro cuenca Rontoccocha en el escenario 2030.....	80
Tabla N° 9: Volumen de participación de cada parámetro considerado en el análisis del escenario 2090.....	82

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1: Manantes que abastecen de agua a la población de ABANCAY	17
Cuadro N° 2: Efectos observados del cambio climático y sus impactos observados posibles en recursos hídricos.....	20
Cuadro N° 3: Escenario de cambio climático al año 2030, resumen de resultado: ...	20
Cuadro N° 4: Límite superior para la precipitación efectiva	34
Cuadro N° 5: Coeficientes para el cálculo de la precipitación efectiva.....	34
Cuadro N° 6: Abastecimiento de la Retención	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: GIRH espiral y su proceso.....	7
Figura 2: Macro localización geográfica de la ciudad de ABANCAY.....	10
Figura 3: Ubicación de la laguna Rontoccocha.....	11
Figura 4: Planta de la Laguna.....	14
Figura 5: Corte transversal de la laguna, esquema adoptado del levantamiento batimétrico y topográfico.....	14
Figura 6: Presa existente de 3 m de altura, contención de la laguna Rontoccocha....	15
Figura 7: Tasas de las precipitaciones medias estacionales (IPCC 2007: 79).....	25
Figura 8: Precipitaciones medias de los multimodelos para cambios durante el periodo (2090-2099).....	32
Figura 9: Vista del material granodiorítico y de la roca con cobertura vegetal.....	40
Figura 10: Relación entre agua evaporada y agua consumida por el uso industrial y doméstico.....	43
Figura 11: Localización de estaciones consideradas por el software LocClim (en color blanco).....	45
Figura 12: Proyecciones de temperaturas superficiales globales.....	48
Figura 13: Delimitación de la micro cuenca Rontoccocha siguiendo las abras de las curvas de nivel, sin recorte.....	53
Figura 14: Delimitación de la micro cuenca Rontoccocha siguiendo las abras de las curvas de nivel, con recorte.....	54
Figura 15: Imagen ASTER GDEM 15m, DEM de la micro cuenca Rontoccocha....	55
Figura 16: Esquema de la información obtenida a partir de los datos ASTER GDEM.....	56

Figura 17: Micro cuenca Rontoccocha delimitada a partir de un DEM	57
Figura 18: Clasificación del área de la micro cuenca Rontoccocha cada 50m	57
Figura 19: Curva hipsométrica generada a partir de los datos obtenidos del programa Arc Map.	58
Figura 20: Poligonos de frecuencia generada a partir de los datos obtenidos en Arc Map.	59
Figura 21: Esquema del balance hídrico.	62
Figura 22: Precipitación para el escenario 2013	63
Figura 23: Curva de regresión para la escorrentía en el escenario 2013.....	64
Figura 24: Curva de regresión para la evaporación en el escenario 2013.....	66
Figura 25: Precipitaciones estimadas para el escenario 2030	67
Figura 26: Escorrentía de la cuenca para el escenario 2030	68
Figura 27: Evaporación estimada para el escenario 2030.....	70
Figura 28: Datos de precipitación estimados para el escenario 2090	71
Figura 29: Láminas mensuales media de precipitación estimadas para el escenario 2090, completados mediante la ecuación de la figura N° 28	72
Figura 30: Escorrentía generada para el escenario 2090.....	73
Figura 31: Láminas mensuales medias de evaporación estimadas para el escenario 2090.....	74
Figura 32: Precipitaciones estimadas para los tres escenarios planteados.....	75
Figura 33: Escorrentía calculada por el método “LOTZ SHULDZ” para los escenarios planteados	76
Figura 34: Evaporación estimada para los escenarios: 2013, 2030 y año 2090.....	77
Figura 35: Balance hídrico de la micro cuenca Rontoccocha escenario 2013	78

Figura 36: Disponibilidad del agua en la micro cuenca Rontoccocha escenario 2013	79
Figura 37: Balance hídrico de la micro cuenca Rontoccocha, escenario 2030.....	81
Figura 38: Disponibilidad del agua en la micro cuenca Rontoccocha escenario 2030	81
Figura 39: Balance hídrico de la micro cuenca Rontoccocha, escenario 2090.....	83
Figura 40: Disponibilidad del agua en la micro cuenca Rontoccocha escenario 2090	83

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Marco Situacional

EL presente trabajo de tesis pretende contribuir con la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH). El término Gestión Integrada de los Recursos Hídricos apareció alrededor de la década del 80 como respuesta al incremento de conflictos entre usuarios de recursos hídricos que iban disminuyendo. La gestión integrada toma en cuenta los temas técnico-ambiental y socio-económico, además de considerar la participación de todos los involucrados con el fin de entrelazar sus intereses sectoriales, con el requerimiento que el recurso hídrico sea gestionado holísticamente para el beneficio de todos, esta gestión se aplicará en la sub cuenca del río Mariño.

Este río tiene sus orígenes en la laguna RONTOCOCHA cuya cota superficial alcanza en promedio 4200 m.s.n.m. El area de estudio es de 7.85 km² promedio, y es la principal microcuenca que incluye dentro de ella microcuencas secundarias formadas por 3 lagunas que son las siguientes y cuyas respectivas áreas son:

- Amaruccocha = 0.94 Km² a 2 Km al NE de Rontoccocha, a 4360 m.s.n.m. (no contemplada en éste estudio).
- Allcoccocha = 1.23 Km² a 2 Km al SE de Rontoccocha a 4380 m.s.n.m. (con proyecto de represamiento).
- Alfaroccocha = 1.34 Km² a 2 Km al SSE de Rontoccocha a 4420 m.s.n.m. (con proyecto de represamiento).

Acceso

La principal vía de comunicación es la carretera asfaltada Cusco – Abancay – Nazca y la laguna de Rontoccocha se encuentra ubicada al sur aproximadamente a 23 Km de la ciudad de Abancay (2398 m.s.n.m.) accesible por caminos de herradura y comunicada por una trocha carrozable hasta muy cerca de la laguna Rontoccocha (a menos de 1 Km).

La diferencia de altitud de la ciudad de Abancay a la zona del proyecto es de 1802 m. Se realiza un balance hídrico en un escenario basado en los datos de los estudios realizados en la zona hasta el 2013; un balance hídrico para un escenario en el año 2030, basado en un modelo regional generado por el SENAMHI (para la sub cuenca del río Mariño) a partir de los modelos globales del panel intergubernamental para el cambio climático (IPCC por sus siglas en inglés); y un tercer escenario para el año 2090, basado en modelos globales que contemplan datos de cambio climático, también generado por el IPCC. Los tres escenarios se desarrollan en un Sistema de Información Geográfica (SIG).

El presente trabajo comprende el empoderamiento de la población local para la gestión del agua en la sub cuenca del río Rontoccocha. Se cuenta con datos e información de, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú SENAMHI, Instituto Geofísico del Perú IGP, Autoridad Local del Agua ALA Apurímac y del Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI. Así como de otras fuentes como la EPS EMUSAP ABANCAY S.A y estudios del Gobierno Regional de APURIMAC.

1.2 Problematización

Hasta hace poco se pensaba que el cambio climático era un problema que estaba por venir. Sin embargo, en los últimos años siguen aumentando los hechos que indican que estamos ante un peligro real, y que el cambio climático ya está ocasionando numerosos daños.

Lo más grave es que los impactos del cambio climático se sentirán con mayor fuerza en los países pobres, lugares en donde el hambre, la falta de agua y las enfermedades pueden volverse desgracias aún más mortales de lo que ya son.

Bajo este contexto se genera la necesidad del conocimiento acerca de la cantidad y calidad de agua disponible en la laguna y cuanto de esta agua puede ser utilizada para los diferentes usos sin provocar consecuencias negativas a la calidad de vida, así pueda existir armonía con el medio ambiente.

Para identificar los usos y los usuarios de dichos recursos, es necesario considerar los principios de la GIRH(Gestión Integral de los Recursos Hídricos).

1.3 Objetivo

Objetivo General

- Es el aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos de la laguna Rontoccocha, sustentada en una investigación y cuyos resultados se recomendaría aplicar en la implementación de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) en la sub cuenca del río Mariño. Para lograrlo se va a investigar sobre la gestión actual del recurso hídrico, así como los usos que se le da en la laguna, en conjunto a ello se podrá discutir sobre los diversos escenarios planteados del aprovechamiento, establecer la bondad del balance hídrico como

herramienta para la gestión de la laguna y en base a los procesos del ciclo hidrológico de la sub cuenca.

Objetivos Especificos

- Participación significativa de todos los interesados involucrados.
- Medidas técnicas para mejorar problemas que de todas maneras aparecerán.
- Información apropiada acerca de las actuales y futuras condiciones de la laguna.

1.4 Metodología

Además del capítulo 1 (Introducción) el presente trabajo se dividió en los siguientes capítulos:

- Capítulo 2 Se desarrolla aspectos básicos de la gestión integrada: Principios y Estrategias.
- Capítulo 3 Se desarrollara la caracterización de la zona en estudio, además del análisis de los procesos considerados.
- Capítulo 4 Se expone los conceptos necesarios para el desarrollo de un Sistema de Información Geográfica (SIG) que se conceptualiza para presentar los resultados del balance hídrico.
- Capítulo 5 Balance hídrico de la laguna Rontoccocha, en los tres escenarios planteados.
- Capítulo 6 Se presentaran los resultados obtenidos del balance hídrico.
- Capítulo 7 Conclusiones y Recomendaciones.

CAPÍTULO 2

GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HIDRICOS

(GIRH)

2.1 Principios

El término Gestión Integrada de los Recursos Hídricos apareció alrededor de la década del 80, como respuesta al incremento de conflictos entre usuarios de recursos hídricos que iban disminuyendo. “Actualmente el agua es un recurso limitado, finito, y escaso y desigualmente distribuido” (GWP 2009), La gestión integrada toma en cuenta los temas técnico-ambiental y socio-económico, además de considerar la participación de todos los involucrados con el fin de entrelazar sus intereses sectoriales, requerimiento que el recurso hídrico sea gestionado holísticamente para el beneficio de todos (GWP 2009).

Según el Internacional Hydrological Programme IHP (Programa hidrológico internacional), la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) tiene como objetivo lograr la seguridad del agua para todos los usos, al mismo tiempo que se responde también una gestión de riegos u mitigación de posibles desastres (IHP 2008). Este enfoque trata de integrar la gestión del medio ambiente físico en una amplia red socio-económica y política.

Los antecedentes para la actual conceptualización de gestión integrada tuvieron un hito en la declaración de Dublín presentada en “International Conference on Water and the Environment (ICWE)” (Conferencia Internacional sobre Agua y Medio ambiente) en Dublín, Irlanda en 1992, en la cual se establecen 4 principios rectores:

- Principio No.1: El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente.
- Principio No.2: El aprovechamiento y la gestión del agua deben inspirarse en un planteamiento basado en la participación de los usuarios, los planificadores y los responsables de las decisiones a todos los niveles.
- Principio No.3: La mujer desempeña un papel fundamental en el aprovechamiento, gestión y protección del agua.
- Principio No.4: El agua tiene un valor económico en todos los diversos usos en competencia a los que se destina y debería reconocérsele como un bien económico (WWAP 2011).

En países como el Perú, la situación de los recursos hídricos se ha visto obstaculizada, como es común en esta región, por la falta de un trabajo integrado por parte de las capacidades técnicas y la acción política, además de la presencia de un desconocimiento generalizado de conceptos de la GIRH. El año 2009 con la creación de la nueva Autoridad Nacional del Agua (ANA), que es un organismo técnico especializado adscrito al Ministerio de Agricultura, encargado de realizar acciones necesarias para el aprovechamiento multisectorial y sostenible de los recursos hídricos por cuencas hidrográficas (ANA 2011). Teresa Oré en una reflexión con respecto a las políticas relacionadas a los recursos hídricos (y relacionados a otros temas) hace notar que cada vez que se asume nuevas políticas en este sector se hace “borrón y cuenta nueva” de los anteriores modelos aplicados sin hacer balances de estos últimos ni rescatar experiencias exitosas o lecciones aprendidas (ORE 2009).

La GIRH es un proceso en el que se encuentran involucrados los usuarios, autoridades reguladores e autoridades políticas del más alto nivel, todos ellos coordinados de manera multisectorial por el que “constituye un reto para las practicas, actitudes y conocimientos profesionales actuales” (GWP 2009).

En la figura N°1 es posible observar el modelo de la GIRH planteada en IWRM GUIDELINES at River Basin Level (WWAP 2008). En él se muestra el comportamiento de una espiral ascendente y continua que se asemejaría al comportamiento deseado para la GIRH.

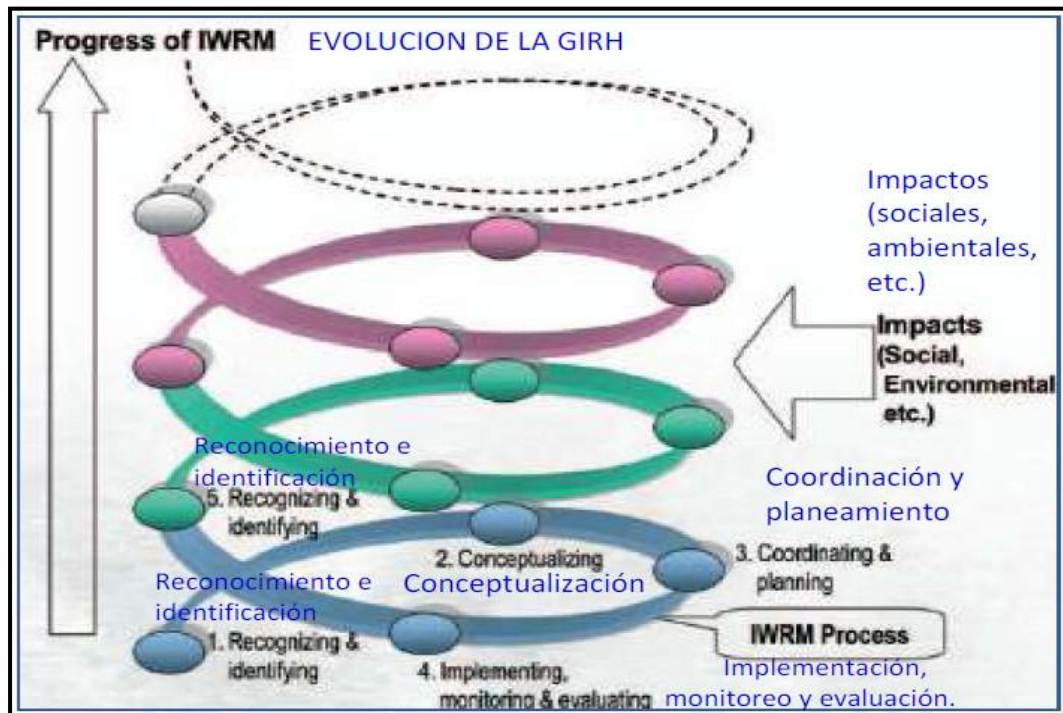


Figura 1: GIRH espiral y su proceso
Fuente: WWAP 2008: 9

Las etapas dentro del proceso continuo de evolución de la GIRH (WRM por sus siglas en inglés) son:

- Conceptualización (“conceptualizing”).

- Coordinación y planificación (“coordinating & planning”).
- Implementación, monitoreo y evaluación (“implementing, monitoring & evaluating”).
- Reconocimiento e identificación (“recognizing & indentifying”).

Según las lecciones clave señaladas en el “Report for lake basin Managers and Stakeholders”, las personas son el centro de gestión de una laguna, son los que utilizan los recursos de la laguna y son afectados por las decisiones tomadas en su gestión (International Lake Environment Committee Foundation 2005: xii).

2.2 Estrategias

Según la experiencia recopilada en el “Report For Lake Basin Managers And Stakeholders”, basada en la experiencia aprendida de 28 casos estudiados a nivel del mundo, existen 6 componentes necesarios para una afectiva gestión de una laguna o lago (International Lake Environment Committae Foundation 2005:xii):

- a) Instituciones adecuadas para implementación de políticas de cambio.
- b) Políticas eficientes, efectivas y equitativas.
- c) Participación significativa de todos los interesados involucrados.
- d) Medidas técnicas para mejorar problemas que de todas maneras aparecerán.
- e) Información apropiada acerca de las actuales y futuras condiciones de la laguna.
- f) Financiamiento que permita que los puntos mencionados anteriormente se cumplan.

Como se puede observar, el proceso de la GIRH es complejo, por lo que se requiere de las decisiones del más alto nivel y de un marco legal capaz de facilitar las coordinaciones de manera multisectorial (International Lake Environment Committee Foundation 2005).

El presente trabajo desarrolló una herramienta de la GIRH en la sub cuenca Mariño específicamente en la micro cuenca Rontoccocha, aportando en lo conveniente del ítem “c”, “d” y “e”.

Un factor importante para la realización de los componentes mencionados es el traslado de la información al actor que menos acceso tiene a ella. En el caso específico de la laguna Rontoccocha se considera necesario aportar con el alcance de información valiosa de manera sencilla y didáctica a la comunidad campesina Atumpata que puebla la zona media y alta de la sub cuenca Mariño. Mediante charlas de capacitación periódicas, cursos taller, hacerlos partícipes de las decisiones de su comunidad frente a los entes que realizan o realizarán trabajos en la zona.

Se resalta que desde el año 2008 se viene realizando un proyecto integral el cual abarca como punto importante, la escases de agua para la producción agrícola, lo que motivó el planteamiento de invertir en conservación de agua, suelos y en sistemas de riego. Dentro de la sub cuenca del río Mariño la laguna Rontoccocha viene siendo administrada por la EMP EMUSAP S.A la cual controla de manera totalitaria puesto que esta laguna es una de las fuentes de agua para consumo humano de la ciudad de Abancay, pero dicha fuente no cuenta con un cálculo del balance hídrico actualizado tampoco con un plan de gestión de sus recursos, por ende se desarrolla esta tesis que mostrará algunas herramientas para poder aplicar la GIRH en la laguna así como su balance hídrico en diferentes periodos de tiempo (escenarios).

CAPÍTULO 3

RECURSOS HÍDRICOS Y DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO

3.1 Caracterización de la zona de estudio

- **Localización geográfica**

Pertenece a la comunidad de Rontoccocha Distrito de Abancay, Provincia de Abancay y Departamento de Apurímac, tal y como se muestra en las figuras N° 2 y 3.

Se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas geográficas:

13°40'40" a 13°42'30" Latitud Sur

72°45'30" a 72°48'30" Longitud Oeste

Coordenadas UTM : entre E 738,000 – E 742,500 y N 8'483,500 – N 8'487.800

Altitudinalmente se encuentra entre los 4050 y 4675. La cota aproximada del espejo de agua de la laguna es de 4200 m.s.n.m.

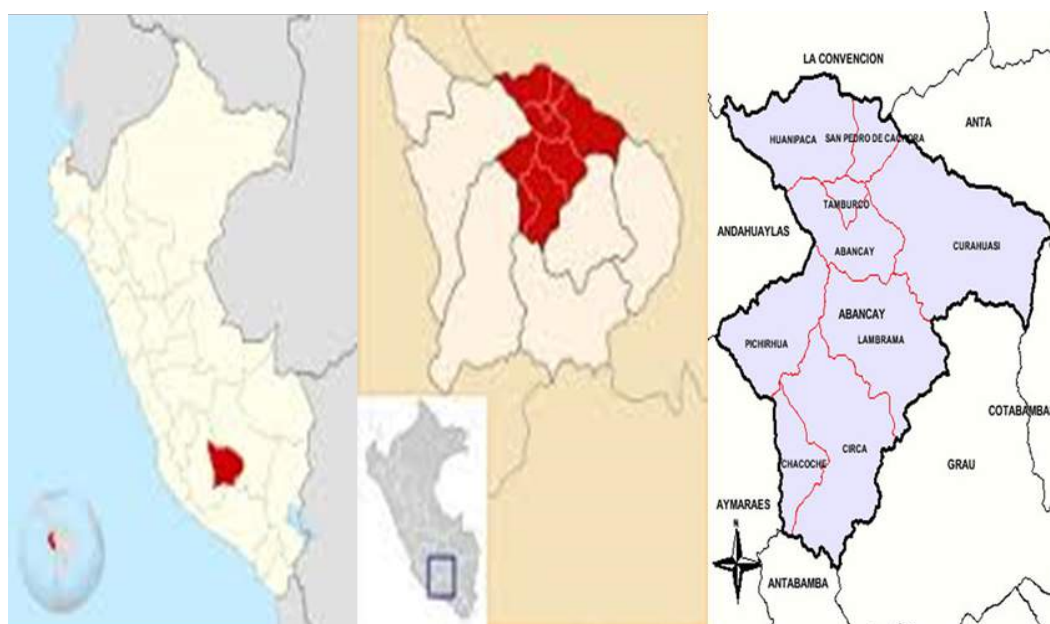


Figura 2: Macro localización geográfica de la ciudad de ABANCAY
Fuente: ARMOVE año 2010

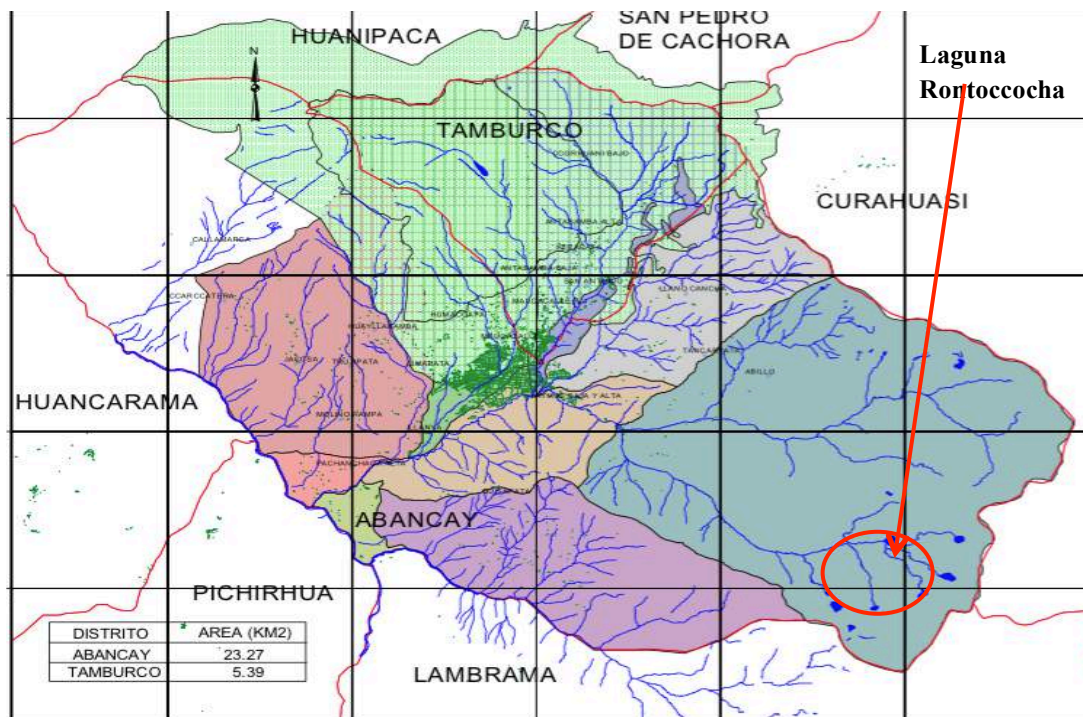


Figura 3: Ubicación de la laguna Rontoccocha

Fuente: ARMOVE año 2010

- **Clima**

De acuerdo a la clasificación de tipos de climas del Perú, determinados por Antonio Brack (2,000); teniendo en cuenta a la temperatura, altitud y precipitación, la laguna clasifica como clima Puna, corresponde a los sectores altitudinales de la región andina comprendido entre los 4000 y 5000msnm.

Se caracteriza por presentar precipitaciones promedio de 700mm anuales y temperaturas también promedio anuales de 6°C.

Los veranos son siempre lluviosos y nubosos; y los inviernos (junio- agosto), son rigurosos y secos.

- En los meses de abril a setiembre, ausencia de lluvias, siendo los meses más críticos de agosto a setiembre.
- Entre los meses de junio a setiembre, las temperaturas descienden, siendo frecuentes las heladas (más críticas en las partes altas).

c) De octubre a diciembre se producen las primeras lluvias, provocando el reverdecimiento de la flora y moderando la temperatura.

d) El período de lluvias propiamente es entre noviembre y abril.(tablas N° 2 y 4).

Cabe resaltar que no se cuentan con datos históricos de la variación climática en esta zona, para el presente estudio nos basamos en la data de estaciones meteorológicas aledañas al punto de estudio. Por ende no se presenta referencia gráfica de la historia de temperaturas en la laguna Rontoccocha.

• **Geología**

Se distinguen básicamente las siguientes unidades geológicas (ver plano Geológico 07 en los anexos de esta tesis).

a) Montañas.- Gran elevación de terreno constituida por una agrupación o cadena de cerros superior a 700m respecto a su base, en este caso por encima de 4300 m.s.n.m constituida en un 90% por rocas, ígneas intrusivas granodioritas, con pendientes muy escarpadas, dada la dureza de las rocas que las caracterizan cubren el 50% del área de estudio.

b) Picos.- Cima de una montaña o volcán, son las geo formas más prominentes de la laguna de Rontoccocha y/o Mariño, representada por altitudes por encima de 4600 m.s.n.m. todas en rocas granodioritas.

c) Coluviales y colinas bajas.- Son el resultado de la peniplanización originada por la erosión glacial y la posterior acumulación de morrenas las mismas que son nuevamente erosionadas por un último periodo glacial. En la zona se observan colinas bajas formadas en un caso, por afloramientos relictos de rocas ígneas intrusivas que han quedado al paso de los glaciares en segundo lugar colinas formadas por la acumulación de morrenas y fluvio-glaciares.

- d) Terrazas tectono – glaciáricas.-** La combinación entre la previa actividad tectónica, especialmente por el movimiento de fallas regionales y locales, hacía un paleo relieve de terrazas sucesivas que son remoldadas por una actividad glaciár interna posteriormente; dando como resultado una serie de “escalones” naturales en rocas ígneas intrusitas las mismas que en muchos casos forman previos circos glaciáricos y posteriormente lagunas (que existen hasta hoy).
- e) Terrazas glaciáricas.-** Formadas solamente por la actividad glaciár erosiva y de sedimentación; constituyen sólo humedales.
- f) Morreno Terminal.-** Por debajo de la laguna Rontoccocha existe una gran masa de suelo morrénico con distribución granulométrica caótica, fruto de acumulación de morrenas terminales de la laguna que separan el conjunto de terrazas sucesivas del sistema Rontoccocha de un valle formado por la confluencia de varios riachuelos que serían las nacientes del río Mariño.

3.2 Caracterización física de la laguna Rontoccocha

La laguna Rontoccocha se encuentra en la comunidad de Rontoccocha, distrito de Abancay, Provincia de Abancay-Apurímac, con coordenadas 13°40'40"S ,72°45'30" a 72°48'30"W y la superficie libre de la laguna está en la cota 4362.50 m.s.n.m. aprox. geomorfológicamente las rocas predominantes son ígneas intrusivas.

Los suelos en la laguna son en un 90% resultado de la erosión y acumulación glaciár, predominando las morrenas, seguido por morrenas fluvio-glaciáricas y coluvio-eluviales. La proporción de los suelos con respecto a las rocas es de 35% a 65% respectivamente. La micro cuenca de la laguna Rontoccocha, comprende un área de 7.85 km², y otras características se ven en las figuras N° 4,5 y 6.

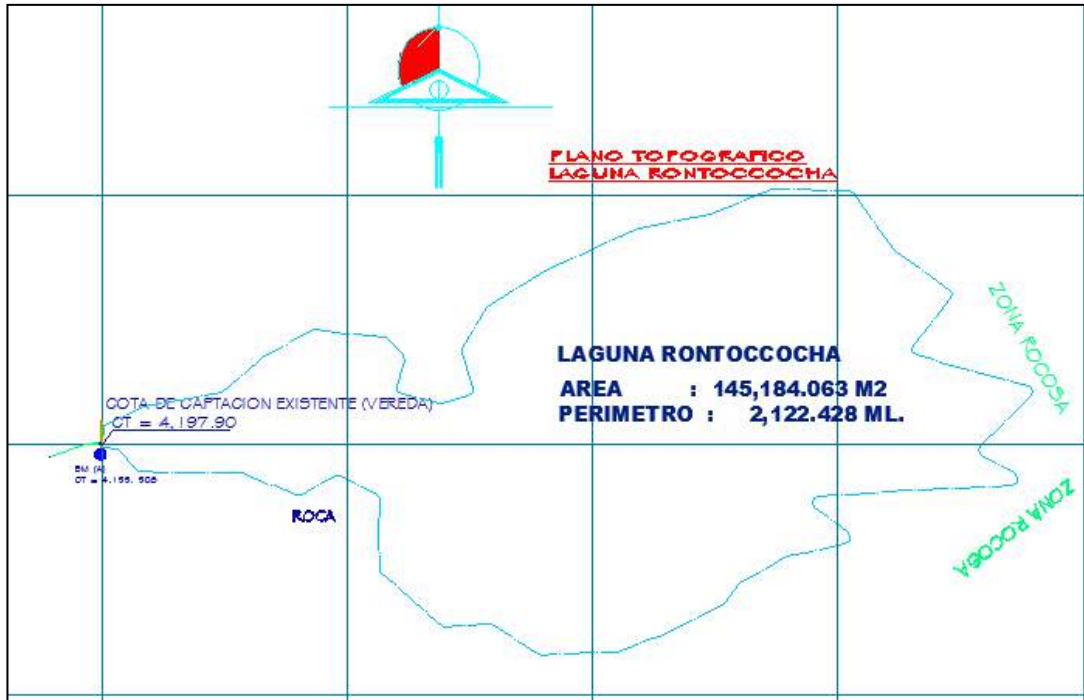
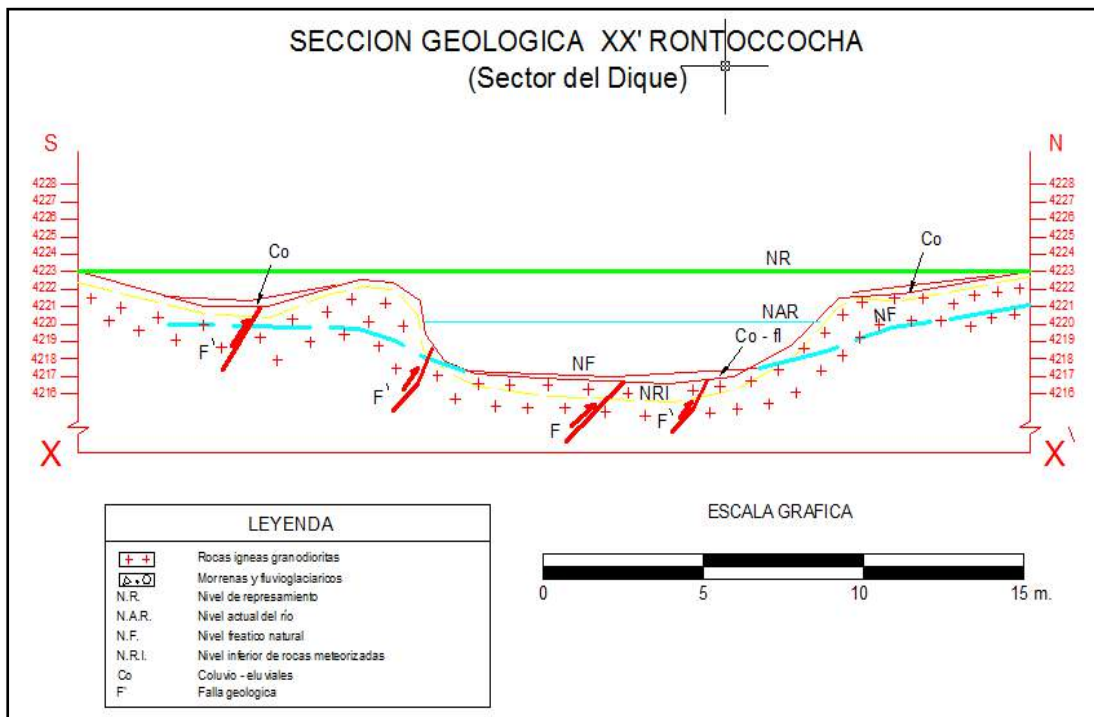


Figura 4: Planta de la Laguna
Fuente: EMUSAP ABANCAY S.A.



**Figura 5: Corte transversal de la laguna, esquema adoptado del levantamiento
 batimétrico y topográfico.**
Fuente: EMUSAP ABANCAY S.A.



Figura 6: Presa existente de 3 m de altura, contención de la laguna Rontoccocha.

Fuente. EMUSAP ABANCAY S.A.

3.3 Conformación social y Organización del Trabajo en la Zona

- **Conformación Social**

A nivel provincial, Abancay concentra una población de 96,064 habitantes, con una densidad promedio de 27.9 Hab/Km² frente a 19.3 del total regional. Por grupos de edades, aquellos que cuentan con menos de 15 años representan el 35%; los jóvenes (de 15 a 29 años) representan el 27%; esto refleja el alto componente infantil y juvenil de la población de la región. A nivel distrital Abancay tiene una población de 51.225 habitantes según datos del INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). De los 51.225 habitantes de Abancay, 26.249 son mujeres y 24.976 son hombres. Por lo tanto, el 48,76 por ciento de la población son hombres y las 51,24 mujeres.

- **Organización del trabajo en la zona**

Un porcentaje bastante significativo de la población abanquina centra su actividad económica en la dependencia del sector estatal y el comercio informal; la falta de mayores oportunidades de desarrollo es producto del retraso y la postergación en los que está sumido el departamento de Apurímac. El entorno rural conformado por comunidades campesinas o asociaciones de pequeños agricultores, además de ser el principal perjudicado por la crisis económica, ha recibido parte de la sobrecarga poblacional migrante de las comunidades más alejadas del departamento; este hecho agudiza la pobreza del campesino cada vez con menos tierras propias donde pueda desarrollar la actividad agropecuaria, principal fuente de su economía. Existe un bajo nivel en la producción y la productividad agropecuaria, de lo que se deriva el bajo nivel de ingreso y de calidad de vida para la población dedicada a este sector productivo.

3.4 Usos del agua provenientes de laguna Rontoccocha

En la actualidad los usos que se le dan a las aguas de la laguna son:

- Uso doméstico

En cuanto al uso doméstico rural

En las zonas rurales de la cuenca alta la gestión de los servicios de saneamiento se encuentra a cargo de las municipalidades y Juntas Administradoras de Servicios de Saneamiento (JASS) dichos servicios no se encuentran registrados en la SUNASS.

En cuanto al uso doméstico urbano

EMUSAP ABANCAY S.A presta servicios de saneamiento en el ámbito urbano del distrito de Abancay, sin embargo, en dicho ámbito existen aproximadamente siete juntas administradoras de los servicios de saneamiento las cuales abastecen 325 conexiones.

El sistema de agua potable cuenta con una fuente de abastecimiento superficial y seis fuentes subterráneas, las mismas que se enumeran en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 1: Manantes que abastecen de agua a la población de ABANCAY

N°	Tipo de Captación	Nombre	Tipo de Fuente
1	Manantial	Marcahuasi	Subterránea
2		Amaruyoc	
3		Marca Marca	
4		Manzanares	
5	Galería Filtrante	Amaruyoc	
6		Chinchichaca	
7	Laguna natural	Rontoccocha	Superficial

Fuente: Información operacional 2007 – EPS EMUSAP ABANCAY S.A.
Elaboración: SUNASS.

Fuente: Información operacional 2007-EPS EMUSAP ABANCAY S.A

- Uso agrícola y ganadero

La cuenca baja tiene como principal actividad productiva la agricultura que, depende del agua que puedan garantizar en cantidad y oportunidad de uso para su desarrollo productivo y comercial. Los principales cultivos son el maíz, frijol, tomate, vainita, pastos cultivados como alfalfa y algunos frutales como la palta y lúcuma, sumado a este esquema productivo la ganadería como una actividad complementaria.

3.5 Gestión de la Laguna Rontoccocha

De manera creciente las demandas para agua de riego aumentan, mientras la oferta cambia en cuanto a la variabilidad de la disponibilidad por razones de la degradación de las áreas de alimentación y por ende la capacidad de poder aprovechar, captar y almacenar suficientemente una parte del ciclo hidrológico. Por el otro lado los efectos del cambio climático influyen aún más sobre la variabilidad de las lluvias, las ocurrencias, momentos de mayor intensidad y escorrentías difícil de aprovechar y los momentos de ausencia y sequías (ver cuadro N°2). La buena o limitada gestión social de los sistemas de riego, los derechos y los arreglos sociales sobre la distribución, las infraestructuras y tecnologías de riego influyen también sobre si la disponibilidad de agua en las diferentes partes de una cuenca alcanza la creciente demanda con competidores de otros usos y usuarios.

En el caso de la sub cuenca Mariño se expresa, como un sentido común y generalmente aceptado, que “el agua ha disminuido en la cuenca y que ya no abastece como antes”. Sin embargo un buen sustento de estudio aún faltaba. El reciente estudio del balance hídrico (CAS-UE PDA, octubre 2012) indica que un déficit hídrico en la micro cuenca (de manera diferenciado en las diferentes partes de la cuenca) puede ser cierto o que por lo menos se está llegando a límites de poder balancear la oferta con la demanda y que por un lado hay que atender mucho más sistemáticamente la conservación de las tierras y zonas de captación y almacenamiento de las aguas de las lluvias y por el otro lado un más cuidadoso y eficiente uso de los recursos hídricos en diferentes partes de la micro cuenca (en relación a la disponibilidad y calidad del agua). Ahora, la pregunta surge de quién debe cuidar y conservar los recursos hídricos con fines de

riego, considerando que los usuarios de riego no siempre son los que tienen acceso al territorio de la captación y conservación de las aguas de las lluvias. ¿A quiénes debe interesarles, a las autoridades públicas o a los usuarios mismos, o a ambas partes? Suena lógico que sean los últimos. Los usuarios directos y ojala con el apoyo de la gestión pública que se supone debe cuidar que haya suficientes condiciones para los pueblos para poder vivir y desarrollarse aún más en armonía con el ambiente.

3.6 Impacto del cambio climático en la laguna Rontoccocha

El calentamiento global o incremento de la temperatura promedio sobre la superficie del planeta, tiene efectos sobre los recursos hídricos y los impactos consecuentes varían geográfica y socialmente. La autoridad científica mundial más importante en cambio climático, el Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), afirma categóricamente: “Los registros de observaciones y las proyecciones climáticas proveen abundante evidencia que los recursos hídricos son vulnerables y tienen el potencial de ser fuertemente impactados por el cambio climático, con un amplio rango de consecuencias para las sociedades humanas y los ecosistemas” (IPCC, 2008-b).

En el Cuadro N° 2 se presenta un resumen de los posibles vínculos existentes entre el cambio climático y recursos hídricos. (IPCC: 2008-b).

SENAMHI (2011) ha efectuado últimamente una aproximación de escenarios de cambio climático al 2030. El Cuadro N° 3 presenta una síntesis, esquematizando datos cuantitativos para la región de Apurímac.

Cuadro N° 2: Efectos observados del cambio climático y sus impactos observados posibles en recursos hídricos.

Efectos observados	Impactos observados/posibles
Incremento de la temperatura atmosférica	Reducción en la disponibilidad de agua en cuencas alimentadas por glaciares que se están reduciendo, como observado en los Andes in Sudamérica
Incremento de la temperatura del mar	Reducción en el contenido de oxígeno disuelto, en los patrones de mezcla y en la capacidad de auto-purificación.
Elevación del nivel del mar	Salinización de los acuíferos costeros.
Cambios en patrones de precipitación	Variaciones en la disponibilidad de agua debido a cambios en las precipitaciones y en otros fenómenos relativos (como la recarga de los acuíferos y la evapotranspiración).
Incremento de la variabilidad interanual de la precipitación	Incremento de la dificultad de controlar las inundaciones y el uso de los reservorios durante de época lluviosa, así como los eventos de remoción en masa (en zonas montañosas).
Incremento de la evapotranspiración	Reducción de la disponibilidad de agua; salinización de los recursos hídricos; disminución de los niveles de agua subterránea.
Más frecuentes e intensos eventos extremos	Inundaciones afectan la calidad de las aguas y deterioran /destruyen la infraestructura, así como incrementan la erosión pluvial y fluvial, lo que incorpora una serie de polutantes a los recursos hídricos. Sequías afectan la disponibilidad de agua (cantidad) y su calidad.

Fuente: IPCC (2008-b)

Cuadro N° 3: Escenario de cambio climático al año 2030, resumen de resultado:

Temperatura Máxima Anual	Temperatura Mínima anual	Precipitación acumulada anual
Parte oriental de Apurímac, máximos incrementos de 0.8oC y 12oC Gran parte de Apurímac, mínimas variaciones de hasta 0.4oC.	Gran parte de la región Apurímac, máximos incrementos de entre 0.8oC y 12oC .	Sobre la zona central norte de la región Apurímac, máximas variaciones de disminución de hasta 20% En el resto de Apurímac de 0-10%.

Fuente: SENAMHI 2011

Uno de los efectos más emblemáticos y preocupantes del cambio climático sobre los recursos hídricos es el retroceso de los glaciares y nevados. El Perú cuenta con 18 cuencas glaciares. Según estudios del (ex) CONAM 13, en un periodo de 35 años, el país perdió 22% de la masa glaciaria, equivalente a 7000 MMC (o 10 años de consumo de agua en la ciudad de Lima). Se estima que para el año 2025 habrán desaparecido todos los glaciares por debajo de los 5500 msnm. (Vargas, 2009). Uno de éstos es el Ampay, en la ciudad de Abancay.

3.7 Impacto Ambiental la laguna Rontoccocha

Dentro de la zona de estudio se pudieron identificar los siguientes agentes que impactan negativamente al medio ambiente:

- ***Contaminación del agua.-*** se presentan alteraciones en la calidad del agua ya que en la zona existen animales salvajes que beben de la laguna, y los animales que las poblaciones aledañas crían a los alrededores.
- ***Desechos sólidos y líquidos.-*** la población aledaña genera residuos sólidos orgánicos e inorgánicos, que desechan en el perímetro de la laguna.
- ***Contaminación del suelo.-*** producto de los desechos generados por la población aledaña y animales que son domesticados, así mismo la mala ubicación de las viviendas de los pobladores, inestabilidad de las laderas, lo que podría ocasionar derrumbes, depresiones, deslizamientos y otros movimientos masivos.

Toda vez que el recurso hídrico en la cuenca es de vital importancia para el desarrollo de la producción agropecuaria, es necesario preservar su calidad, cantidad; para lo cual es necesario detectar las fuentes de alteración y determinar sus incidencias sobre el medio receptor, a fin de conocer las acciones de prevención y

mitigación a ser adoptadas. Para promover la integración de la gestión del recursos hídrico y la conservación de los ecosistemas existente en la zona; es necesario la identificación y participación de las autoridades Locales, distritales y los interesados directos locales en el manejo de las cuencas hidrográficas, para concertar y para que apoyen la capacitación multidisciplinaria y trabajen en asociación con las organizaciones especializadas en los temas referentes al manejo sostenible del agua.

3.8 Disponibilidad de información en la zona de estudio

Los procesos que se tomarán en cuenta para la realización del balance hídrico en los tres escenarios propuestos (escenario 2013, escenario 2030 y escenario 2090) serán los siguientes: Precipitación, escorrentía y evaporación. Parte de la información requerida fue proporcionada por las estaciones de la zona, pero el mayor aporte informativo fue el recabado a partir de los diferentes estudios publicados por instituciones nacionales y extranjeras.

Para este estudio se cuenta con la información de 4 fuentes que son las estaciones meteorológicas de , Abancay, Curahuasi, Antabamba y Chalhuanca , estas estaciones recogen datos desde 1964 y pertenecen a SENAMHI , la cual en muchos casos , o ciertas fechas no cuenta con información ya que dichas fechas fueron afectadas por problemas sociales (terrorismo). Y una estación pluviométrica en la laguna Rontoccocha que recoge información desde el año 2007, instalada por la EPS, EMUSAP ABANCAY S.A, para su propio control, puesto que ellos controlan la presa construida en la laguna.

En la tabla 1 se muestra la ubicación exacta de las estaciones que serán usadas.

Tabla N° 1 Estaciones de dónde se obtuvo la información:

Estaciones meteorológicas	Longitud	Latitud	Altura (m.s.n.m.)
ABANCA Y	72° 53' N	13° 38' S	2398
CURAHUASI	72° 44' N	13° 32' S	2902
ANTABAMBA	72° 52' N	14° 23' S	3636
CHALHUANCA	73° 15' N	14° 17' S	2902

Fuente: SENAMHI

3.9 Disponibilidad de Información de los escenarios de investigación Planteados

A continuación se definen los tres escenarios de investigación planteados para el presente trabajo y la información considerada para cada escenario. De aquí en adelante se usará las denominaciones; “escenario 2013”, “escenario 2030” y “escenario 2090”, que son escenarios planteados para los años 2013, 2030 y 2090 respectivamente.

- **Escenario 2013**

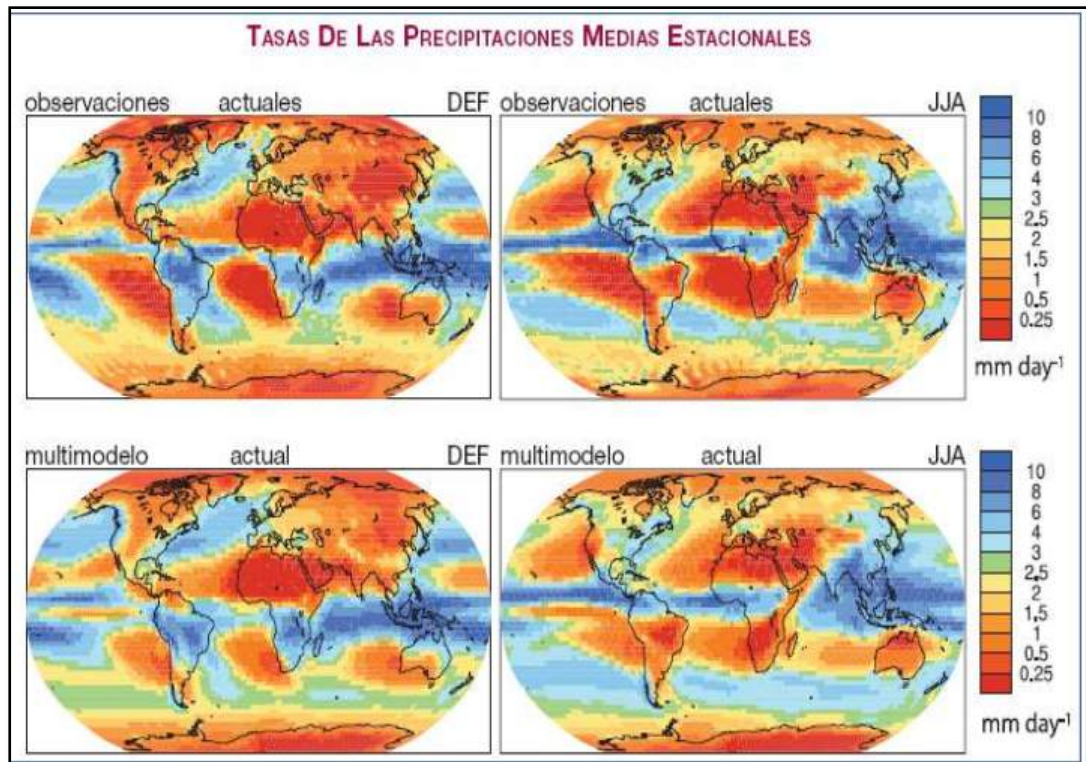
Para este escenario se decidió tomar los resultados obtenidos de las estaciones meteorológicas, a partir de los datos cuyo periodo considere a los años comprendidos entre 1964-2013. De la misma manera se usará los resultados de investigaciones publicadas entre los años 2000-2013.(ver tabla N° 2,3 y 4)

- **Escenario 2030 y escenario 2090**

Se planteó un escenario futuro para el año 2030 y otro en el año 2090, años de los que se cuenta con información de diversos estudios. Para estos escenarios futuros se consideró lo siguiente:

El IPCC, cada 6 años, prepara informes de evaluación del cambio climático, en los que se plantean posibles futuros escenarios del clima, basados en las emisiones futuras de gases invernadero. “Los escenarios comprenden una línea evolutiva similar en lo que respecta a sus características demográficas, sociales, económicas y de cambio tecnológico y está constituido de cuatro familias de escenarios: A1, A2, B1 y B2” (SENAMHI 2005:12) siendo el A2 el más pesimista y el B1 el más optimista.

Los escenarios futuros planteados en el presente trabajo están basados en el modelo regional WRF 3.2, corridos bajo los modelos globales realizados en el Cuarto Informe de evaluación del IPCC del año 2007 desarrollado por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático IPCC. Este informe, a diferencia del anterior, usa una mayor cantidad de modelos climáticos (SENAMHI 2009: 12) que a lo largo de estos años han actualizado sus datos, además de haber avanzado en aquellas áreas de ciencia que abordan el conocimiento del clima (IPCC 2007: 19) “Existe confianza que los modelos climáticos proporcionan estimaciones cuantitativas creíbles sobre los cambios climáticos, en particular a escala continental y más allá de ésta” (SENAMHI 2009:14). En la parte superior de la figura 7 se aprecia las tasas de las precipitaciones medias estacionales actuales basadas en observaciones reales alrededor del mundo, mientras que en la parte inferior de la misma figura, las tasas basadas en los multimodelos generados para el cuarto informe de la IPCC. Los gráficos de la parte izquierda son para los meses de diciembre, enero y febrero (DEF) y los de la derecha son para los meses de junio, julio y agosto (JJA). Como se puede apreciar el grado de aproximación entre las observaciones meteorológicas y las predicciones de los modelos climáticos son similares.



**Figura 7: Tasas de las precipitaciones medias estacionales (IPCC 2007: 79)
Fuente: IPCC 2007**

Para el “escenario 2030” se tomó los resultados del estudio *Escenarios climáticos para las regiones de CUSCO Y APURIMAC para el año 2030* realizado por el SENAMHI el año 2011. En este estudio se usó el modelo regional WRF 3.2 el cual fue forzado por el modelo global ECHAM5-OM de quinta generación desarrollado por el Instituto de Meteorología Max Planck de Alemania el SENAMHI regionalizó los modelos a escalas más pequeñas usando un proceso conocido como Downscaling, proyección local, o regionalización. Se indica también que este estudio se basó en el escenario extremo de emisión A2 considerado como el más desfavorable. Para el “escenario 2090” se usaron los datos generados por los modelos de circulación global del IPCC en el año 2007 y publicados en su Cuarto Informe de Evaluación del IPCC y justamente de este informe se sabe que los efectos del cambio

climático son más intensos a nivel regional y local que a nivel global, para alcances del presente trabajo se consideran válidos.

3.10 Análisis de Precipitaciones (P)

La precipitación como parámetro importante en la hidrología, se origina parcialmente por las corrientes húmedas que suben a través de la evaporación a la atmosfera, donde las temperaturas predominantes son las frías, lo que hace provocar la caída de las lluvias, por efecto del enfriamiento brusco de este.

Las lluvias por encima de los 3,500 pueden ser de características solidas o liquidas, evidenciando a mayores alturas precipitaciones generalmente sólidas.

En la cuenca en estudio, ubicadas por encima de los 4,000 m.n.s.m., de acuerdo a la información recabada de sus habitantes, las precipitaciones liquidas prácticamente son abundantes, mientras que las sólidas, generalmente se producen en los meses de enero a marzo.

La época húmeda con mayores precipitaciones se da en los meses de diciembre a marzo, siendo los meses de abril y noviembre los meses de transición, mientras que las épocas de secas corresponde a los demás meses del año.

En la cuenca de interés los registros de lluvias son escasos, por ese motivo, para estimar las precipitaciones de la zona en estudio, fue necesario recurrir a la información de estaciones ubicadas en la cuenca del rio Apurímac y cuencas vecinas, con las características meteorológicas similares, por ausencia de estaciones que registren información, debido a esto se está considerando a las estaciones de Abancay, Antabamba, Chalhuanca y Curahuasi, que son las más representativas para este fin.

a) Fuentes de información

La selección de las estaciones que registran este parámetro, se encuentra ubicadas en la cuenca del río Apurímac; las estaciones meteorológicas en general, presentan registros de lluvias a partir del año 1964 hasta el 2013, en su mayoría estas estaciones tienen registros interrumpidos varios años y otras dejaron de funcionar por motivo desconocido.

Para este trabajo se tomarán las precipitaciones corregidas mediante un análisis de consistencia generada en el estudio “proyecto de gestión integral de la micro cuenca Mariño-Apurímac I”. Proyecto desarrollado por CES Salzglitter GmbH para la Unidad ejecutora pro desarrollo APURIMAC.

b) Análisis regional de la precipitación

Para la obtención de las ecuaciones de regresión, se correlacionaron la altitud de las estaciones seleccionadas y la precipitación media anual en las mismas (Anexo 1), y realizado el análisis estadístico de regresión simple, se obtuvo la ecuación de regresión de precipitación-altitud.

$$P^2 = B_0 + B_1 * H$$

B_0 y B_1 son coeficientes independiente y dependiente respectivamente.

$$P^2 = -5.94 \times 10^5 + 3.88 \times 10^2 \times H \quad (1)$$

Donde:

P = precipitación en mm

H = altura media de la cuenca

r = coeficiente de correlación, en este caso $r=0.92$

Del análisis desarrollado y empleo de la ecuación (1); se obtuvo la precipitación media mensual y anual para la cuenca en estudio; calculándose a partir de los registros tratados de las estaciones índice Abancay, Antabamba, Chalhuanca y Curahuasi, cuya información ha sido afectada por un factor de corrección proveniente de la relación entre precipitación total anual correspondiente a la altura media de la cuenca y la altitud de las estaciones base, y un factor de influencia geográfica.

El periodo de registros generados de las precipitaciones media mensual y anual para las zonas de interés son de 49 años, periodo comprendido entre 1964-2013.

3.10.1 Escenario 2013

Se cuenta con valores mensuales medios interanuales desde 1964 hasta el 2013 obtenidos a partir del “Estudio de Factibilidad de Represamiento del Sistema de lagunas Rontoccocha”, este estudio fue presentado por la EPS, EMUSAP ABANCAY S.A. también se cuenta con los datos del informe “proyecto de gestión integral de la micro cuenca Mariño-APURIMAC I” realizado el 2012 por el gobierno regional de APURIMAC unidad ejecutora pro desarrollo de APURIMAC, cuyas siglas son (U.E-PDA).

Según el estudio realizado en la micro cuenca del río Mariño realizado por U.E-PDA 2012, la precipitación está regionalizada según la altitud a lo largo de la cadena montañosa que rodea el valle de Abancay, lo que indica que en cuencas con grandes desniveles se debería considerar esta relación, por ello se asume que la precipitación es la misma en la zona de estudio.

3.10.2 Escenario 2030

Debido al calentamiento global la evaporación debería aumentar y por lo tanto las precipitaciones; sin embargo, tal y como muestra los resultados del estudio realizado por el SENAMHI en su estudio “Escenarios climáticos para las regiones de cusco y Apurímac para el año 2030”, las tendencias en toda la región de Apurímac están regionalizadas.

Las proyecciones realizadas en dicho estudio, indican para la localidad de Abancay, un incremento en la precipitación anual en una magnitud del 21% ,esto de manera regional.

SENAMHI (2011) realizó un análisis a escala local, para cada estación del año.

- En verano (mayores precipitaciones, DEF), se proyecta un ligero aumento de la precipitación respecto al clima actual con una magnitud de 18% promedio.
- En otoño (finalización de precipitaciones, MAM), la distribución promedio del cambio de precipitación para el periodo 2030, proyecta aumento en una magnitud del 17% respecto al clima actual.
- En invierno (estiaje o seco, JJA) se proyecta, en promedio cambios en la precipitación, indicando deficiencias de una magnitud del -5%, respecto al clima actual.
- En primavera (inicio de precipitaciones, SON), se proyecta aumento de la precipitación respecto al clima actual con una magnitud de 30% en promedio.

En este estudio último se usó la técnica de la regionalización dinámica para poder realizar la regionalización de los modelos globales así obtener las precipitaciones futuras en toda la sub cuenca del río Mariño.

A partir de estas variaciones porcentuales trimestrales (estaciones del año), halladas por el SENAMHI se estimaron las precipitaciones para el escenario 2030, a los valores de precipitación media mensual se les afectó por estos porcentajes de variación tal como se muestra en la tabla N° 2 , ahí se observa el complejo comportamiento del clima generado por los modelos para el escenario 2030. Mientras que los periodos secos tenderán a extenderse, aquellos meses que hoy son más húmedos disminuirán en intensidad.

Los porcentajes de variación mostrados en la tabla 2 fueron hallados haciendo un ponderado de las áreas del micro cuenca Mariño y las tasas de variación trimestral asociadas a estas áreas. Los valores de las variaciones porcentuales de las precipitaciones fueron las estimadas por SENAMHI el 2011. Es posible distinguir cambios espaciales de precipitación a nivel regional , sin embargo en el presente trabajo se asumirá un único valor de precipitación en toda la micro cuenca, ya que no se cuenta con información de los cambios espaciales a nivel local.

Tabla N° 2: Láminas mensuales media para el escenario 2013 y 2030:

Mes	Lamina mensual media 2013 (mm)	Variación	Lamina mensual media 2030(mm)
Sept	30	30%	39
Oct	79	30%	103
Nov	94	30%	122
Dic	134	18%	158
Ene	198	18%	233
Feb	196	18%	232
Mar	163	17%	191
Abr	59	17%	69
May	23	17%	27
Jun	11	-5%	11
Jul	13	-5%	12
Ago	19	-5%	18

Fuente: SENAMHI

3.10.3 Escenario 2090

La precipitación se estimó usando la media anual de los multimodelos (ver Capítulo 3, ítem 3.8) para cambios durante el periodo 2090-2099 determinada en el cuarto informe de evaluación del IPCC del año 2007. Este informe sólo hace mención a las tasas de los periodos más húmedos (diciembre, enero y febrero) y los más secos (junio julio y agosto), las tasas se basan en el escenario A1B.

En la figura N° 8 en la parte de la izquierda se observa la tasa de las precipitaciones medias desde el mes de diciembre hasta febrero (DEF) y a la derecha desde el mes de Junio hasta Agosto (JJA) estimadas a partir de los multimodelos generados por el IPCC en el año 2007.

Este escenario a diferencia de los anteriores, usó información global y no regional, esto debido a que aún no hay estudios que hayan realizado una regionalización en la zona de estos multimodelos globales.

Esta consideración hará que los valores tomados, sean significativamente menos conservadores con respecto a los valores regionales, los efectos del cambio climático son más intensos a nivel regional y local (IPCC 2007:77) sobre todo en aquellas zonas de gran complejidad topográfica como la región andina.

3.11 Análisis de escorrentía (RO)

Una vez iniciada la precipitación, la infiltración da inicio a procesos de almacenamiento que ocurren en el suelo antes de que el agua pueda escurrir, entonces se define a la escorrentía como “parte de la precipitación que se presenta en forma de flujo en un curso de agua” (Glosario Hidrológico internacional).

Además guarda relación directa con las precipitaciones, las características geomorfológicas, los usos de los suelos, la cobertura vegetal y las características de las formaciones geológicas de las zonas.

Empleando la metodología muy conocida en nuestro medio de Precipitación-Escurrimiento y la utilización del modelo “LUTZ SHOLTZ”, se obtuvieron las series sintéticas de los caudales medios mensuales y anuales del periodo (1964-2013) para zonas de interés (Anexo 4).

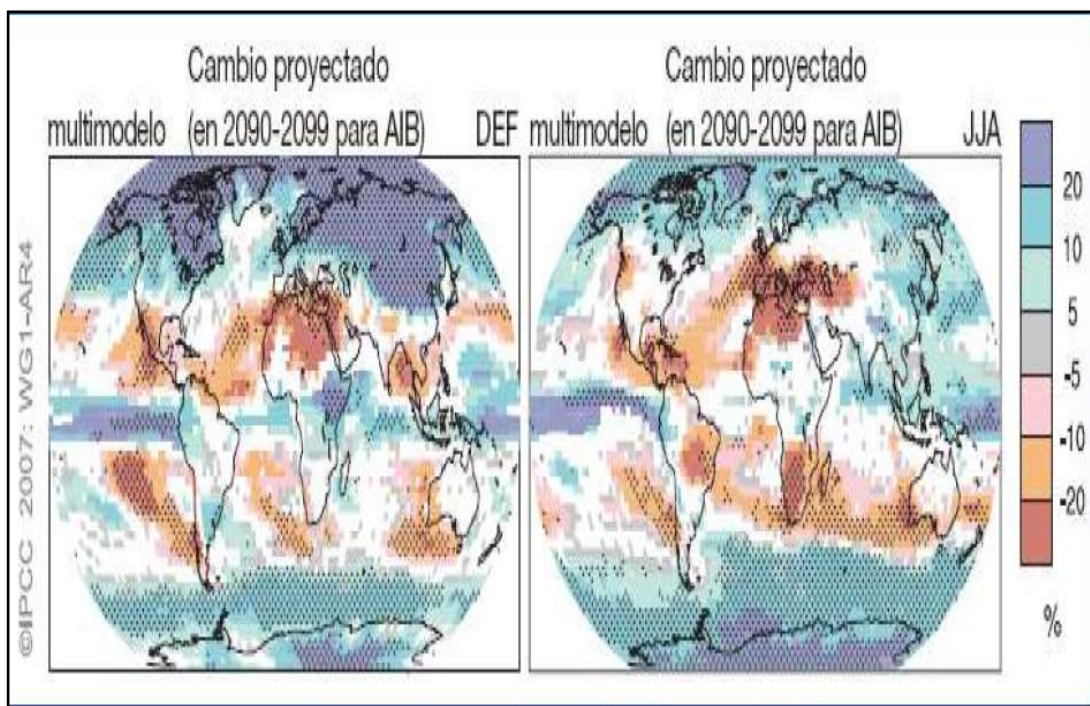


Figura 8: Precipitaciones medias de los multimodelos para cambios durante el periodo (2090-2099).

Fuente: IPCC 2007:79

a) Información existente

Dentro del ámbito de estudio, no se cuenta con registro alguno de información hidrométrica de sus lagunas y río, ni controles de niveles de agua en las micro cuencas.

b) Precipitación efectiva

Para el cálculo de la precipitación efectiva, se supone que los caudales promedio observados en la cuenca pertenecen a un estado de equilibrio entre gasto y abastecimiento de la retención, la precipitación efectiva se calculó para el coeficiente de escurrimiento promedio, de tal forma que la retención entre precipitación efectiva y la precipitación total resulta igual al coeficiente de escorrentía.

Para fines hidrológicos se toma como precipitación efectiva la parte de la precipitación total mensual, que corresponde al déficit según el método del USBR, (precipitación efectiva hidrológica es el antítesis de la precipitación efectiva para los cultivos). El proceso a continuación descrito se obtuvo del informe del SENAMHI denominado “ CARACTERIZACION DE LA OFERTA HIDRICA SUPERFICIAL- CUENCAS PAMPAS , APURIMAC Y URUBAMBA” del año 2010).

A fin de facilitar el cálculo de la precipitación efectiva se ha determinado el polinomio de quinto grado.

$$PE = a_0 + a_1P + a_2P^2 + a_3P^3 + a_4P^4 + a_5P^5 \quad (2)$$

Dónde:

PE = precipitación efectiva

P = precipitación total

a_i = coeficiente del polinomio de quinto grado (cuadro N° 5)

Mediante la aplicación de la expresión algebraica (2), se ha determinado los límites superiores para la precipitación efectiva, el cuadro N° 4 muestra los valores límite de la aplicación de la ecuación “precipitación efectiva” y el cuadro N° 5 muestra los tres juegos de coeficientes a_i , que permiten alcanzar por interpolación los valores de C, comprendidos entre 0.15 y 0.45.

Cuadro N° 4: Límite superior para la precipitación efectiva

Curva I:	PE=P-120.6	para P>177.8 mm/mes
Curva II:	PE=P-86.4	para P>152.4 mm/mes
Curva III:	PE=P-59.7	para P>127.0 mm/mes

Fuente: SENAMHI

Cuadro N° 5: Coeficientes para el cálculo de la precipitación efectiva

coeficiente	Curva I	Curva II	Curva III
a0	-0,018	-0,021	-0,028
a1	-0,0185	0,1358	0,2756
a2	0,001105	-0,002296	-0,004103
a3	-1204 E-8	4349 E-8	5534 E-8
a4	144 E-9	- 89,0 E-9	124 E-9
a5	-285 E-12	-879 E-13	-142 E-11

Fuente: SENAMHI

De esta forma es posible llegar a la relación entre la precipitación efectiva y la precipitación total:

$$C = \frac{Q}{P} = \sum_{i=1}^{12} \frac{PE_i}{P} \quad (3)$$

Dónde:

C= Coeficiente de escurrimiento

Q= caudal anual

P= precipitación total anual

$\sum_{i=1}^{12} \frac{PE_i}{P}$ = Suma de la precipitación efectiva mensual

Retención de la cuenca

Bajo la suposición de que exista un equilibrio entre el gasto y el abastecimiento de la reserva de la cuenca y además que el caudal total sea igual a la precipitación efectiva anual, la contribución de la reserva hídrica al caudal se puede calcular según las formulas;

$$R_I = CM_i - P_i \quad (4)$$

$$CM_i = PE_i + G_i + A_i \quad (5)$$

Dónde:

CM_i = caudal mensual (mm/mes)

PE_i = precipitación efectiva mensual (mm/mes)

R_I = retención de la cuenca (mm/mes)

G_i = gasto de la retención (mm/mes)

A_i = abastecimiento de la retención (mm/mes)

$R_I = G_i$ para valores mayores a cero (mm/mes)

$R_I = A_i$ para valores menores a cero (mm/mes)

Sumando los valores de G o A respectivamente, se halla la retención total de la cuenca para el año promedio, que para el caso de las cuencas de la sierra varía entre 43 a 188 (mm/año).

Coefficiente de agotamiento

Mediante la fórmula (1), se puede calcular el coeficiente de agotamiento “a”, en base a datos hidrometeorológicos. Este coeficiente no es constante durante toda la estación seca, ya que va disminuyendo gradualmente. Con fines prácticos se puede

despreciar la variación del coeficiente “a” durante la estación seca empleando un valor promedio.

El coeficiente de agotamiento de la cuenca tiene una dependencia logarítmica del área la cuenca.

$$a = f(\ln AR) \quad (6)$$

$$a = 3.1249 \times 10^{67} AR^{-0.1144} EP^{-19.336} T^{-3.369} R^{-1.429} \quad (7)$$

El análisis de las observaciones disponibles muestran, además cierta influencia del clima, geología y la cobertura vegetal. Se ha desarrollado una ecuación empírica para la sierra peruana. En principio, es posible determinar el coeficiente de agotamiento real mediante aforos sucesivos en el río durante la estación seca; sin embargo cuando no sea posible ello, se puede recurrir a las ecuaciones desarrolladas para la determinación del coeficiente “a” para cuatro clases de cuencas

Cuencas con agotamiento muy rápido. Debido a temperaturas elevadas (>10°C) y retención que va de reducida (50mm/año) a mediana (80mm/año):

$$a = -0.00252(\ln AR) + 0.034 \quad (8)$$

Cuencas con agotamiento rápido. Retención entre 50 y 80 mm/año y vegetación poco desarrollada (Puna):

$$a = -0.00252(\ln AR) + 0.030 \quad (9)$$

Cuencas con agotamiento reducido. Debido a la alta retención (>100 mm/año) y vegetación mezclada:

$$a = -0.00252(\ln AR) + 0.023 \quad (10)$$

Dónde:

a=coeficiente de agotamiento por día

AR= área de la cuenca (km²)

EP= evapotranspiración potencial año (mm/año)

T= duración de la temporada seca (días)

R= retención total de la cuenca (mm/año)

Almacenamiento Hídrico

Tres tipos de almacenes hídricos naturales que inciden en la retención de la cuenca son considerados y la determinación de la lámina “L” que almacena cada tipo de estos almacenes está dado por:

- Acuíferos

$$L_A = -750(I) + 315 \text{ mm/año}$$

Siendo:

L_A = lámina específica de acuíferos

I = pendiente de desagüe: $I \leq 15\%$

- Lagunas y pantanos

$$L_L = 500 \text{ mm/año}$$

Siendo:

L_L = Lámina específica de lagunas y pantanos

- Nevados

$$L_N = 500 \text{ mm/año}$$

Siendo:

L_N = Lámina específica de nevados

Las respectivas extensiones o áreas son determinadas de los mapas o aerofotografías. Los almacenamientos de corto plazo no son considerados para este caso, estando los mismos incluidos en las ecuaciones de la precipitación efectiva.

Abastecimiento de la retención

El abastecimiento durante la estación lluviosa es uniforme para cuencas ubicadas en la misma región climática. En la región del Cusco el abastecimiento comienza en noviembre con 5% alcanzando hasta enero el valor del 80% del volumen final. Las precipitaciones altas de febrero completan al 20% restante, y las precipitaciones efectivas de marzo escurren directamente sin contribuir a la retención. Los coeficientes mensuales expresados en porcentaje del almacenamiento se muestran en la siguiente tabla:

Cuadro N° 6: Abastecimiento de la Retención

Región	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total
Cusco	0	5	35	40	20	0	100
Huancavelica	10	0	35	30	20	5	100
Junín	10	0	25	30	30	5	100
Cajamarca	25	-5	0	20	25	35	100

Fuente: SENAMHI

Almacenamiento hídrico durante la estación de lluvias (valores en %)

La lámina de agua A_i que entra en la reserva de la cuenca se muestra en forma de déficit mensual de la precipitación efectiva PE_i . Se calcula mediante la ecuación:

$$A_i = a_i \frac{R}{100} \quad (11)$$

Siendo:

A_i = abastecimiento mensual déficit de la precipitación efectiva (mm/mes)

a_i = coeficiente de abastecimiento (%)

R = retención de la cuenca (mm/mes)

Determinación del caudal mensual para el año promedio

Está basado en la ecuación fundamental que describe el balance hídrico mensual a partir de los componentes descritos anteriormente:

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i \quad (5)$$

Dónde:

CM_i = caudal del mes “i” (mm/mes)

PE_i = Precipitación efectiva del mes “i” (mm/mes)

G_i = Gasto de la retención del mes “i” (mm/mes)

A_i = abastecimiento del mes “i” (mm/mes)

Escorrentía-suelo

Estos datos ayudaron a diferenciar los distintos niveles en los que la escorrentía se producirá a través de los años sobre el tipo predominante de suelo que en este caso es la granodiorítica que será usada como única en este estudio , cada tipo de pendiente y en cada uno de los escenarios planteados. En la figura 9 se puede observar a la derecha la roca con cobertura vegetal y a la izquierda parte de material granodiorítico de origen glaciar.

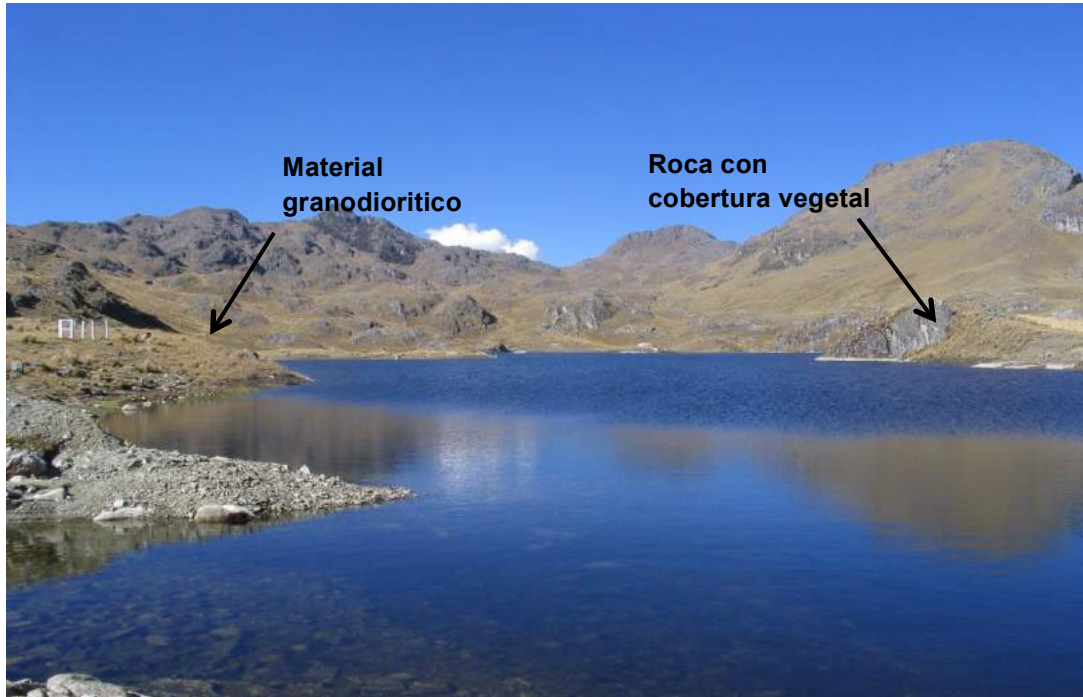


Figura 9: Vista del material granodiorítico y de la roca con cobertura vegetal

Fuente: Elaboracion propia

En la parte izquierda apreciamos la roca granodiorítica siendo la más predominante en la zona de estudio, y a la derecha la misma roca con cierta cobertura vegetal.

Para el análisis de la escorrentía en la zona de así como de los afluentes de regulación de la misma, se empleará la metodología del modelo “Generación de Caudales Mensuales o método de LUTZ SHOLTZ”.

Generación de la información

La estimación teórica de los caudales medios mensuales se desarrolló empleando el método matemático estocástico “precipitación escurrimiento”, utilizando el modelo markoviano del tipo 1 “Generación de caudales en la sierra peruana”, desarrollada en 1980 por la Misión Técnica Alemana, como parte del convenio con el Programa Nacional de Pequeñas y Medianas Irrigaciones.

Este método genera caudales, empleando información de precipitación previamente analizada y las características físicas de las cuencas; así como la utilización de las formulas empíricas del modelo, dando como producto la información básica para la generación de caudales para el año promedio.

3.11.1 Escenario Actual 2013

Se partió del procedimiento arriba mencionado y se utilizó los datos de precipitación determinados en el “proyecto de gestión integral de la microcuenca Mariño-Apurimac I”. En el capítulo 5 se relacionará la información para obtener el volumen acumulado anual

3.11.2 Escenario 2030 y escenario 2090

En cierta forma la estructura del sistema de la cuenca hidrográfica refleja los valores de la precipitación, de la evaporación y de la escorrentía en ella. Es importante notar que el sistema de una cuenca no está sometido a procesos estacionarios, pues sus parámetros, o algunos de ellos, pueden variar con el tiempo en su desarrollo normal o en desarrollos hechos por el ser humano. Se puede añadir que las propiedades geomorfológicas del subsuelo, como en los acuíferos, normalmente son parámetros que varían en las escalas de tiempo geológico y para el caso de la hidrología pueden ser tomadas como invariantes.

Por lo mencionado líneas arriba se consideró que las características geomorfológicas no variarán dentro del periodo de estudio ,lo cual asegura la veracidad de los datos durante los cálculos proyectados en dichos años futuros, específicamente en los escurrimientos o escorrentías que tienen mucho que ver con el tipo de suelo.

3.12 Estimación de la evaporación (E)

Según UNEP-GRID Arendal (United Nation Environment Programme), en el mundo, la cantidad de agua se evapora de los embalses es mayor que la cantidad de agua consumida por el ser humano con fines domésticos e industriales (UNEP 2008). Este parámetro es importante en el balance de la presente investigación debido también a que la laguna rontoccocha es la laguna con el área de superficie más grande dentro de la cuenca del río mariño. Se resalta que en la microcuenca rontoccocha existen otras lagunas de menor área, Amaruccocha, Allccoccocha y Alfaraccocha. Se decidió tomar como superficie de evaporación la suma de áreas de las lagunas.

En la figura N° 10, se observa la tendencia del agua de uso doméstico e industrial así como la del agua evaporada desde embalses a nivel mundial. Se aprecia que ambas van en aumento.

Se entiende como evaporación a la emisión de vapor de agua por una superficie libre a temperatura inferior a su punto de ebullición (UNESCO). Este proceso requiere de energía y es la radiación solar la que se la proporciona y también, aunque en menor grado, la temperatura ambiental del aire.

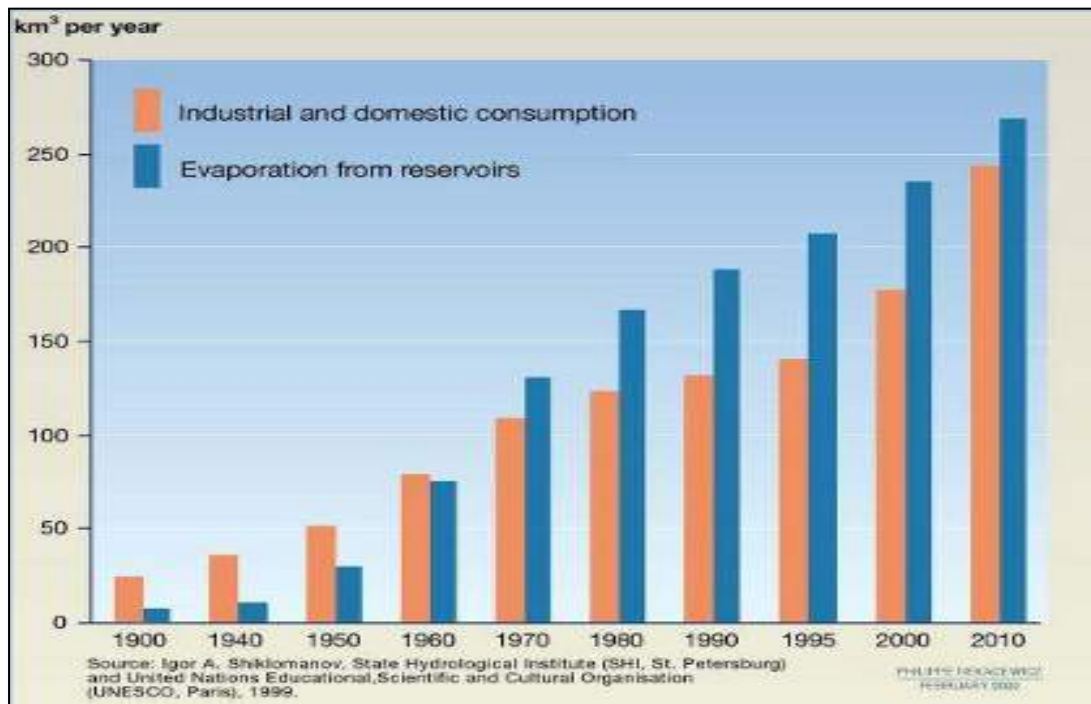


Figura 10: Relación entre agua evaporada y agua consumida por el uso industrial y doméstico. Fuente (UNEP 2008).

La diferencia de presiones entre la presión de agua y la superficie evaporante y la presión de vapor de agua de la superficie evaporante y la presión de vapor de agua de la atmosfera circundante genera una fuerza impulsadora que retira el vapor de agua de la superficie evaporante, iniciando el proceso de evaporación, el aire que circunda a la superficie evaporante se satura y cada vez el proceso se hace más lento, es la velocidad del aire, en gran medida a la que reemplaza el aire saturado por uno más seco. Entonces los parámetros climatológicos que influyen en el proceso, son la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento (FAO 2006:1). Debido a que en la micro cuenca de estudio se encuentra la laguna rontococha y las otras pequeñas lagunas entre 100-200m de distancia y con una diferencia de cotas de 100m, se decidió considerar el área de evaporación a la suma de ambas áreas.

En la zona de estudio no existen mediciones de evaporación de la laguna Rontococha, pero se contó con la información meteorológica de SENAMHI de 2 estaciones cercanas, las cuales brindan datos de temperatura y evaporación.

Tabla N° 3: Estaciones empleadas:

Estaciones meteorológica	Longitud	Latitud	Altura (m.s.n.m.)	Evaporación media anual (mm)
ABANCA Y	72° 53' N	13° 38' S	2398	1225.53
CURAHUASI	72° 44' N	13° 32' S	2902	1003.59

Fuente: proyecto “Represamiento de la Laguna Rontococha, EMUSAP S.A”

En el capítulo 5, se detalla el procedimiento utilizado para obtener los datos de evaporación mensual a través de procesos a partir de los datos de la estación ABANCA Y.

3.12.1 Escenario 2030 y escenario 2090

La zona de estudio se encuentra en una región tropical y el ingreso de energía es elevado, sin embargo, la humedad relativa alta presente reduce la evaporación.

Con esta consideración podemos asumir, con la respecto a los 2 escenarios futuros que los parámetros meteorológicos (radiación solar, humedad del aire y velocidad del viento) se mantendrán constantes en el tiempo. Solo se considerará la variación en la temperatura.

Tal como se muestra en el capítulo 5 se usó el método del monograma de Penman para el cálculo del valor de duración relativa de insolación n/D.(Anexo 2)

Para la estimación de los parámetros meteorológicos faltantes (Presión de vapor de agua, velocidad de viento) se hizo uso del programa LocClim (Local Monthly Climate Estimator). Dicho programa es un software de uso libre y un recurso generado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la

Alimentación (por sus siglas en inglés: FAO (Food and Agriculture Organization)); incluye una versión actualizada de la base de datos FAOCLIM de casi 30000 estaciones de todo el mundo. Tal como se puede observar en la figura N° 11 Para la estimación de cualquier parámetro es posible seleccionar las estaciones disponibles en la zona. En el texto en blanco aparecen las estaciones elegidas, debido a que también se encuentran en la sierra y tienen registros más cercanos a los de la zona de estudio. Los registros de estaciones de la costa, que son los que se encuentran con texto en rojo, fueron descartados debido a que sus valores de los diferentes parámetros hidrológicos, propios de la costa, pueden desviar las aproximaciones hechas por el programa.

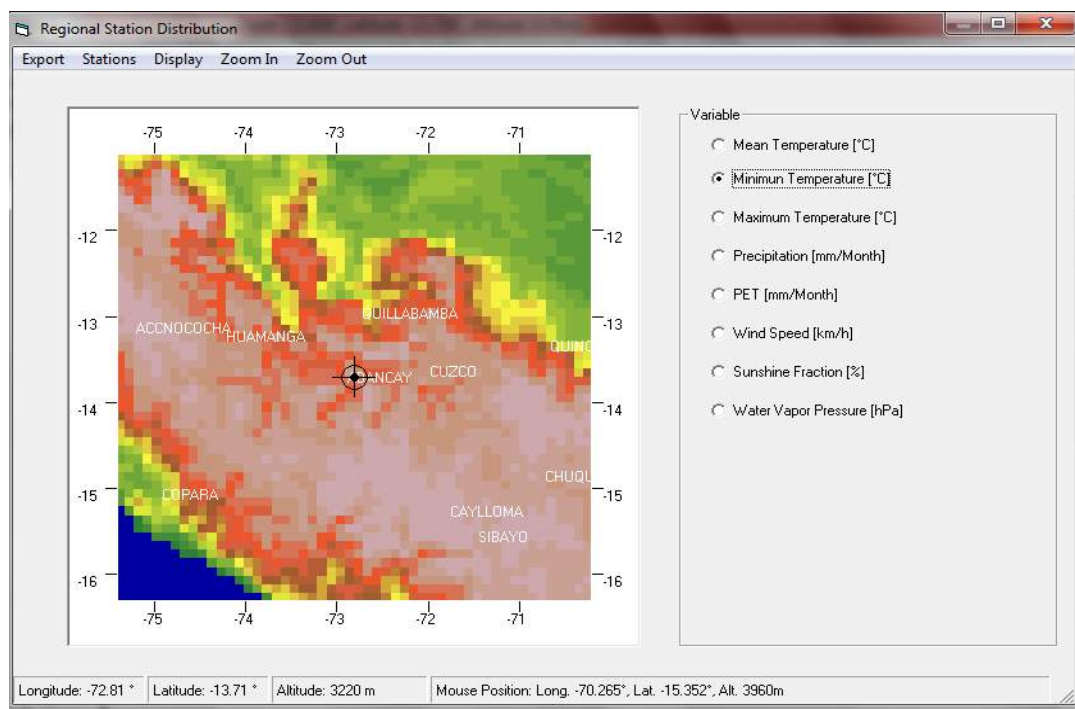


Figura 11: Localización de estaciones consideradas por el software LocClim (en color blanco)

Fuente: Elaboración propia.

Para obtener las estimaciones climáticas el programa usa métodos geoestadísticos de interpolación y es posible aplicar correcciones de altitud. Se decidió trabajar con “el

método thin-plate Spline”, ya que es el que mejor que se acerca con sus resultados los valores medidos de las precipitaciones y temperaturas, datos con los que si se cuenta y es posible comparar.

Adicionalmente, con los datos obtenidos de las estaciones meteorológicas de SENHAMI correspondiente a las temperaturas medias anuales. Usando LocClim se obtienen los valores de presión de vapor de agua, y velocidad media del viento al estar relacionada la temperatura del aire con la presión de vapor de saturación se halló la humedad relativa de la siguiente manera:

$$Rh = \frac{e}{es}$$

e = presión de vapor real

es = presión de vapor de saturación.

$$es = 611 \times \exp\left(\frac{17.27 * T}{273.3 + T}\right)$$

Este valor fue requerido por el Monograma de Penman para ambos escenarios futuros, por lo que el cálculo se hizo para los 2 escenarios y mensualmente como se aprecia en el capítulo 5.

Los valores de la temperatura para el escenario del 2030 fueron estimados a partir del estudio realizado por el SENAMHI el año 2013. El SENAMHI obtuvo los valores de las temperaturas extremas (mínimas y máximas) promedio que se tendrán cada trimestre durante el año 2030. Para fines del presente trabajo se asumió que en los escenarios del año 2030 la variable temperatura tomara valores cercanos a los valores extremos por lo que la temperatura media se supuso como el promedio de estos valores extremos, según se plasma en la tabla N° 4.

En el caso de las temperaturas para el año 2090 los datos fueron obtenidos de las proyecciones de incremento o disminución de las temperaturas superficiales estimadas por el IPCC el año 2007 (IPCC 2007) a nivel global tal como se muestra en la figura N° 12.

Los valores tomados de los modelos globales del 2090 son menos conservadores que los tomados de los modelos regionales del 2030.

Se observa en el lado derecho de la figura N° 12, la estimación para los años 2090-2099 en el escenario más desfavorable A2. Como se dijo anteriormente la estimación a escala global es menos conservadora que a escala regional y local, sería de esperar mayores valores temperaturas para zonas como el Perú, pero para alcances de este trabajo se tomará estos valores.

En la tabla 4, se tabula las temperaturas para los tres escenarios planteados. Los datos para los últimos escenarios fueron generados a partir de la información proporcionada por el SENAMHI para el escenario 2030 y por el IPCC el 2090, en este caso el escenario 2030 se considera un mismo valor para cada trimestre, pues es la información con la que se cuenta.

Tabla N° 4: Temperaturas medias para los escenarios 2013,2030 y 2090:

Mes	Temperatura Media(C°) Escenario 2013	Temperatura Media(C°) Escenario 2030	Temperatura Media (C°) Escenario 2090
Diciembre	12.46	13.46	15.46
Enero	12.13	13.13	15.13
Febrero	12.43	13.43	15.43
Marzo	12.31	13.51	15.31
Abril	12.28	13.48	15.28
Mayo	11.42	12.62	14.42
Junio	10.73	11.73	13.73
Julio	10.25	11.25	13.25
Agosto	10.49	11.49	13.49
Septiembre	11.13	12.33	14.13
Octubre	11.80	13.00	14.80
Noviembre	12.23	13.43	15.23

Fuente: Elaboracion propia

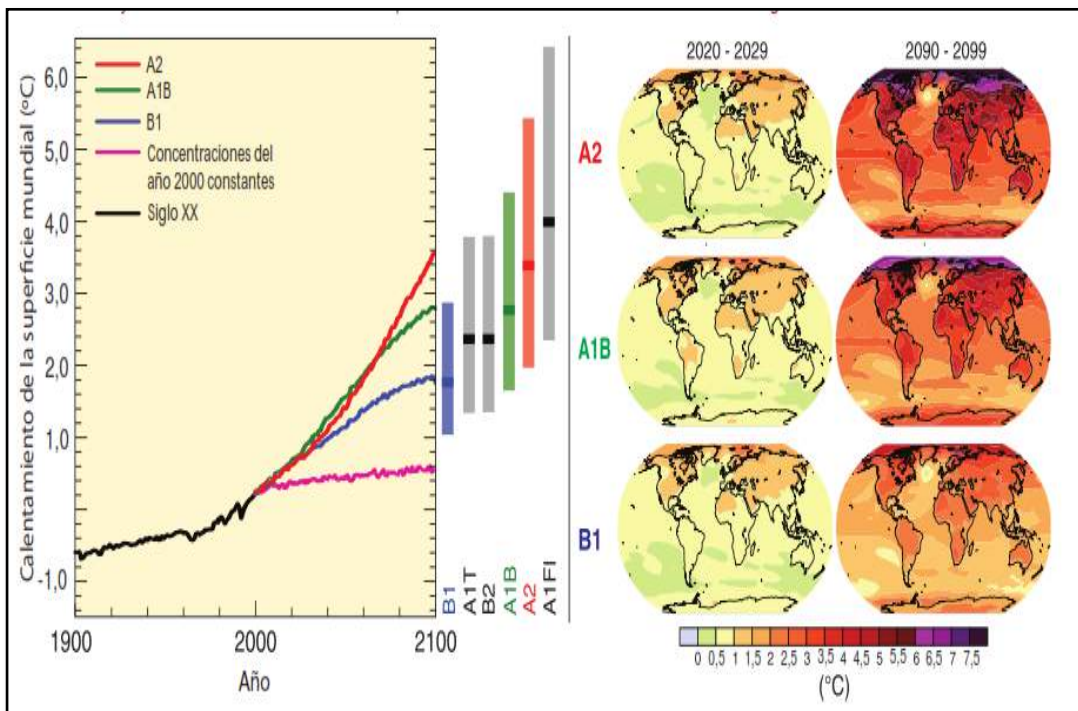


Figura 12: Proyecciones de temperaturas superficiales globales
Fuente: IPCC 2007: 75

3.13 Estimación de la evapotranspiración (ETR)

Thornthwaite define a la evapotranspiración como "la cantidad de agua que perderá una superficie completamente cubierta de vegetación en crecimiento activo si en todo Momento existe en el suelo humedad suficiente para su uso máximo por las plantas".

En el caso de la zona de estudio las épocas de avenida y de estiaje están bien definidas y se tienen largos intervalos de tiempo con ausencia de lluvias. Además en la zona existe suelos morrénicos, granodioríticos y suelos poco potentes sobre la roca intrusiva en gran parte de la cuenca, por ello la superficie del suelo tiende a secarse si no existe alguna fuente de reabastecimiento de agua a la misma, además que sobre los 4000 m.s.n.m la cobertura vegetal es escasa y es la gramínea stipa ichu.

Así mismo thornthwaite presenta una fórmula que sólo utiliza como variable a la temperatura (información que si tenemos), pero dentro de esta formula también requiere de las horas reales de sol durante el día, para el escenario 2013 podríamos estimar, pero no podemos obtener este dato para los escenarios 2030 y 2090, por lo cual para esta tesis queda descartado el empleo de esta formula.

En términos generales por lo mencionado se concluye que el parámetro evapotranspiración ETR no será considerado en el balance hídrico del capítulo 5.

3.14 Infiltraciones (F)

La infiltración es volumen de agua que no se pierde completamente, puesto parte de una "reserva" en el subsuelo y que por lo general reaparece después de cada periodo de lluvias bajo formas de fuentes o resurgencias, lo que equivale a que el volumen de agua infiltrado es compensable entre un periodo y otro de tiempo. En el ítem 3.1 y 3.2 se describe que el material bajo la laguna Rontoccocha es afloramiento rocoso,

sin embargo se descubrió filtraciones en los alrededores del vertedero de la presa, Cabe mencionar que no se encuentra información del caudal de estas infiltraciones.

Es importante señalar que según las visitas realizadas el 2013 durante las épocas lluviosas recién eran visualizados dichos afloramientos, y al terminar la época de lluvias disminuían notablemente su caudal. Lo observado durante las diferentes visitas confirma la existencia de material no consolidado que permite filtraciones en la parte alta del vaso de la laguna.

Por lo general en la ecuación del Balance Hídrico, y dependiendo de la escala temporal del análisis (anual) como es el caso, este valor se asume que su variabilidad es mínima y puede ser considerada cero. Entonces por todo lo descrito líneas arriba, la infiltración no será considerada en el cálculo del balance hídrico desarrollado en el capítulo 5.

CAPÍTULO 4

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA (SIG)

4.1 Generalidades sobre el software

Los sistemas de información geográfica son una herramienta tecnológica relativamente nueva. Permiten ingresar gran información real del medio ambiente a un sistema computarizado que los ordena, procesa y analiza dependiendo de las necesidades del usuario. Esta tecnología permite simplificar el manejo de información. La información que se puede ingresar puede ser geográfica, meteorológica, económica, demográfica, manejo de recursos, etc.

La geografía es la esencia del SIG y la modelación depende de los alcances que tiene cada uno de los siguientes componentes:

- El tipo de usuario: Rol que cumple, las funciones, habilidades y la frecuencia con la que se usara el sistema.
- La base de datos: El tipo de información con la que se cuenta.

Para la generación del sistema de información geográfica se usaron las herramientas ArcMap y ArcScene versión 10.1 del software ArcGis producido por ESRI, así como una gama de extensiones de diversas aplicaciones compatibles con el Arcmap. Entre ellas tenemos Arc Hydro, Arc HM, Hec-Ras, HEC-GeoRas, etc.

Las imágenes de la subcuenca Mariño fueron tomadas usando el software de libre acceso Google Earth, que no tiene imágenes actualizadas al presente año. Las fotos satélites actuales no fueron consideradas para los alcances del presente trabajo debido a su alto costo y a su poca representatividad, pues como se explicó en el

capítulo 3 la mayoría de estudios sobre los recursos hídricos actuales de la zona se encuentran entre el año 2000 y 2013.

4.2 Modelación de la sub cuenca de la laguna Rontoccocha

- Definición de los límites de la sub cuenca Rontoccocha

Como paso previo a la delimitación de la micro cuenca se georeferenció la información necesaria: curvas de nivel, imágenes y otros. La información presentada en el presente trabajo está dada en coordenadas UTM, Datum WGS84, zona 18.

Para la definición de la micro cuenca de la laguna Rontoccocha se la delimitó de dos diferentes maneras:

a. A partir de curvas de nivel

De la información utilizada para la modelación de la micro cuenca Rontoccocha fue obtenida de la página web <http://sigmed.minedu.gob.pe/descargas/> a través del cual se han cargado archivos de bases de datos georreferenciadas que permiten representar espacialmente distintos elementos del territorio nacional.

Las coberturas utilizadas para este fin han sido:

- Límites político administrativos (INEI, 2010).
- Cartografía base según cuadrícula IGN (Ministerio de Educación sobre la base de la Carta Nacional IGN, 2002).
- Información Satelital, Urbana y Relieve de Google Maps, a través del Api Java Script Google versión 3.0

Cargando estas curvas en el software Arc Map y haciendo uso de un editor se une los puntos de mayor altura que rodean a la laguna y que hacen confluir todas las gotas

hacia un punto de interés, el usuario hace el trazo uniendo puntos, según se valla graficando, mostrando al final un polígono como se muestra en la siguiente figura que secuencia en la figura N° 13 y finaliza con la figura N°14. Este procedimiento lo realiza el usuario del programa en base a su criterio.

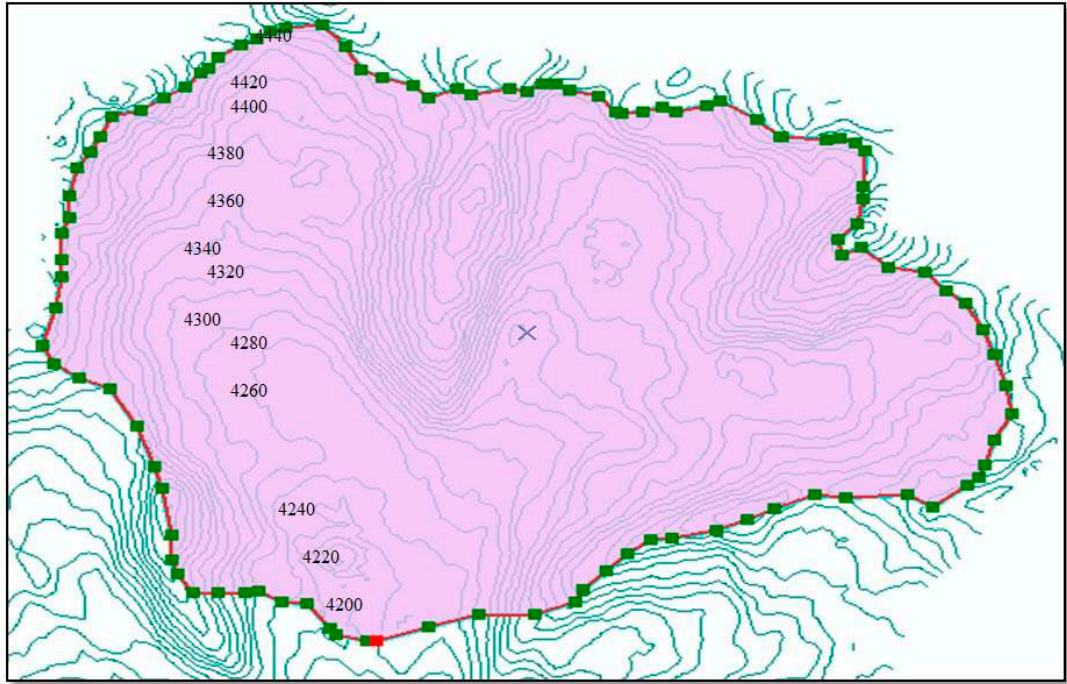


Figura 13: Delimitación de la micro cuenca Rontoccocha siguiendo las abras de las curvas de nivel, sin recorte
Fuente: Elaboración propia

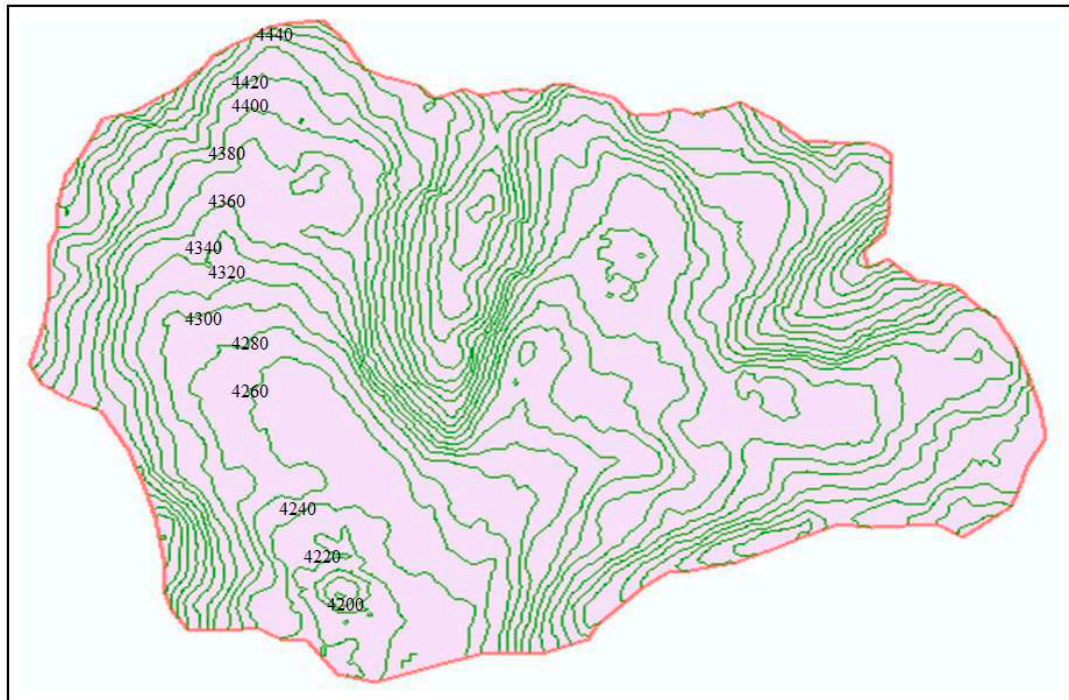


Figura 14: Delimitación de la micro cuenca Rontoccocha siguiendo las abras de las curvas de nivel, con recorte
Fuente: Elaboración propia

b. A partir de un DEM (modelo digital de elevación)

De la información utilizada para la modelación se la micro cuenca fue obtenida de la página web <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/> ASTER GDEM, es un proyecto desarrollado por el Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón (METI) y la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA), con la finalidad de construir con Modelo de Elevación Digital de todo la superficie terrestre, liberado por medio de imágenes DEM después de haber sido validada su información. En este caso se presenta una imagen de 15m de resolución, imagen puesta en libertad el 17 de octubre del 2011. A partir de estos datos se pudo aislar la zona en estudio como se muestra en la figura N° 15 y en la figura N° 16 se observa un esquema del funcionamiento a cada celda o pixel.

Esta metodología se basa en el análisis de flujo dentro de una cuenca, parte de las elevaciones que posee cada “pixel” de la imagen para poder identificar su respectiva línea de flujo y la dirección del mismo.

Haciendo uso de la extensión Arc Hydro que funciona en la misma plataforma del ArcMap se acumulan los flujos a lo largo de toda la cuenca formando los riachuelos y ríos que van definiendo la cuenca.

El proceso de como se le da el tratamiento a las imágenes satelitales para el producto que deseamos, se muestra en en el (Anexo 3)

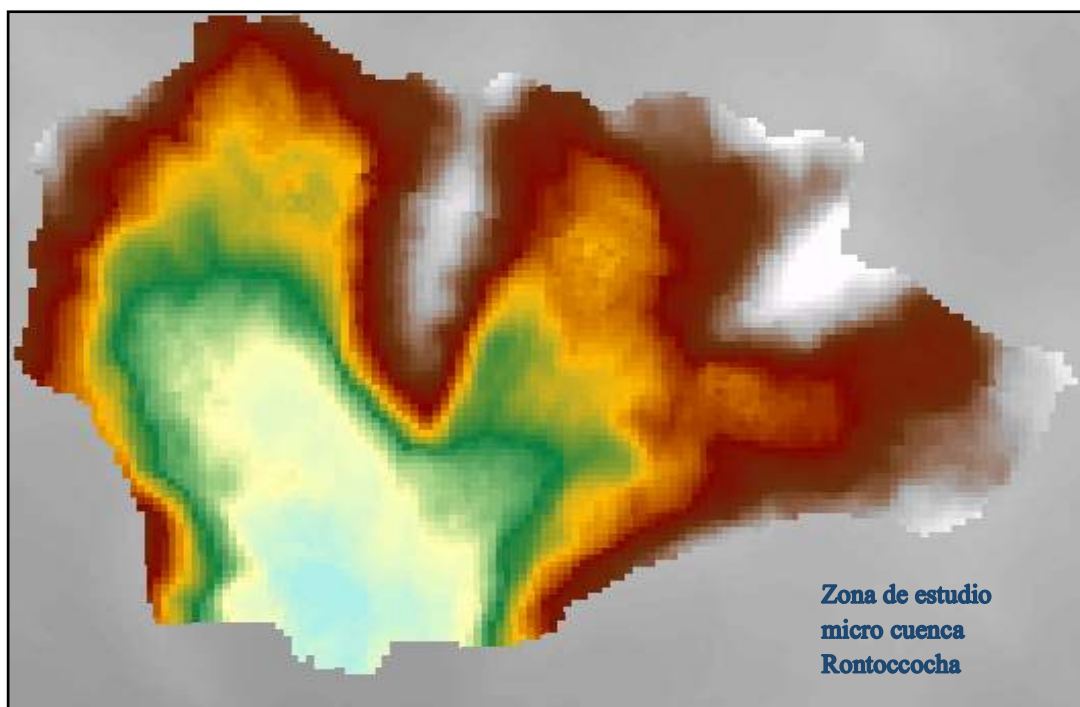


Figura 15: Imagen ASTER GDEM 15m, DEM de la micro cuenca Rontoccocha
Fuente: Elaboración propia

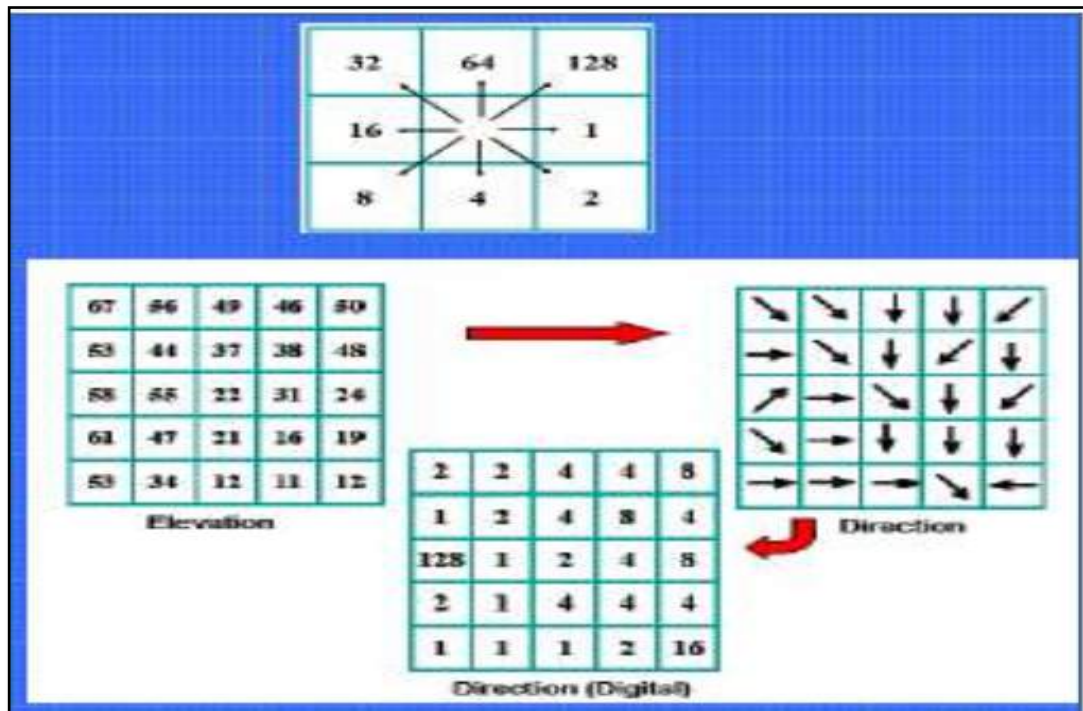


Figura 16: Esquema de la información obtenida a partir de los datos ASTER GDEM

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N° 17, se observa que los flujos han sido identificados y estos han definido la cuenca (en línea cian).

Como era de esperarse el programa reconoce la existencia de flujos, sus direcciones y las zonas de confluencia pero no reconoce que en esa zona existe un embalsamiento o una laguna.

A continuación se ordenó los resultados del análisis de la micro cuenca Rontoccocha usando el programa Arc Map:

Se clasificó y calculó las áreas sobre los 4000 m.s.n.m (figura N° 18), a cada 50m, el interés nace debido a que a falta de estudios referentes a las variedades de suelo en este micro cuenca, en futuras investigaciones, las áreas de cada curva de nivel calculadas podrían servir para delimitar áreas de suelos y facilitar el cálculo de la escorrentía.

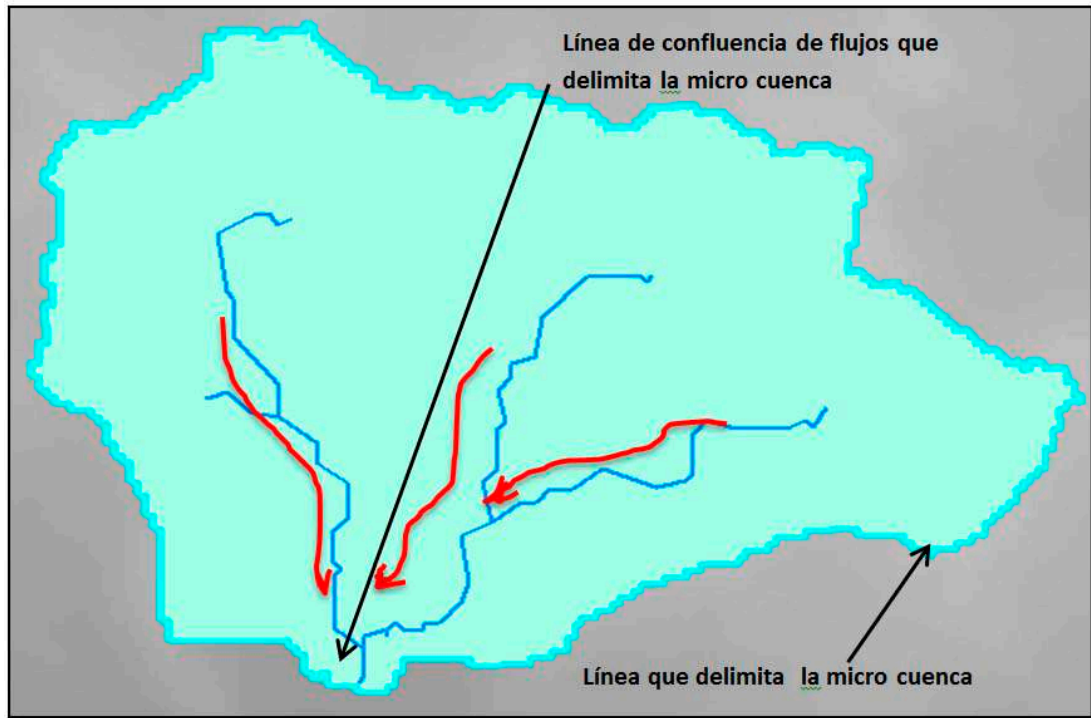


Figura 17: Micro cuenca Rontoccocha delimitada a partir de un DEM
Fuente: Elaboración propia.

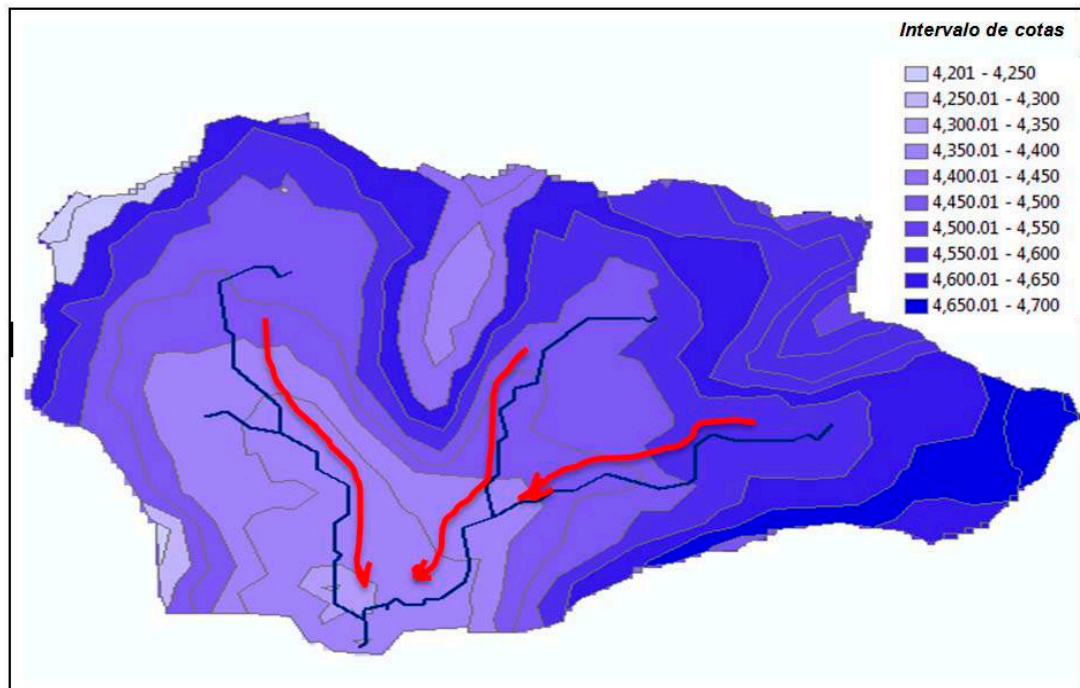


Figura 18: Clasificación del área de la micro cuenca Rontoccocha cada 50m
Fuente: Elaboración propia.

4.3 Parámetros de la micro cuenca Rontoccocha

Con el programa Arc Map se halló algunos parámetros importantes de la cuenca como el área total (tabla N° 5), la curva hipsométrica (figura N°19) y los polígonos de frecuencia (figura N° 20), el área obtenida fue utilizada en el cálculo de escorrentía (RO), (Anexo 4).

Tabla N° 5: Áreas generadas a partir del análisis del software Arc Map:

Cota(m.s.n.m)	Área Acumulada(km ²)	%
4200	0.00	0.00
4300	0.24	3.00
4400	2.17	27.65
4500	4.36	55.56
4600	7.44	94.75
4700	7.85	100.00

Fuente: Elaboración propia

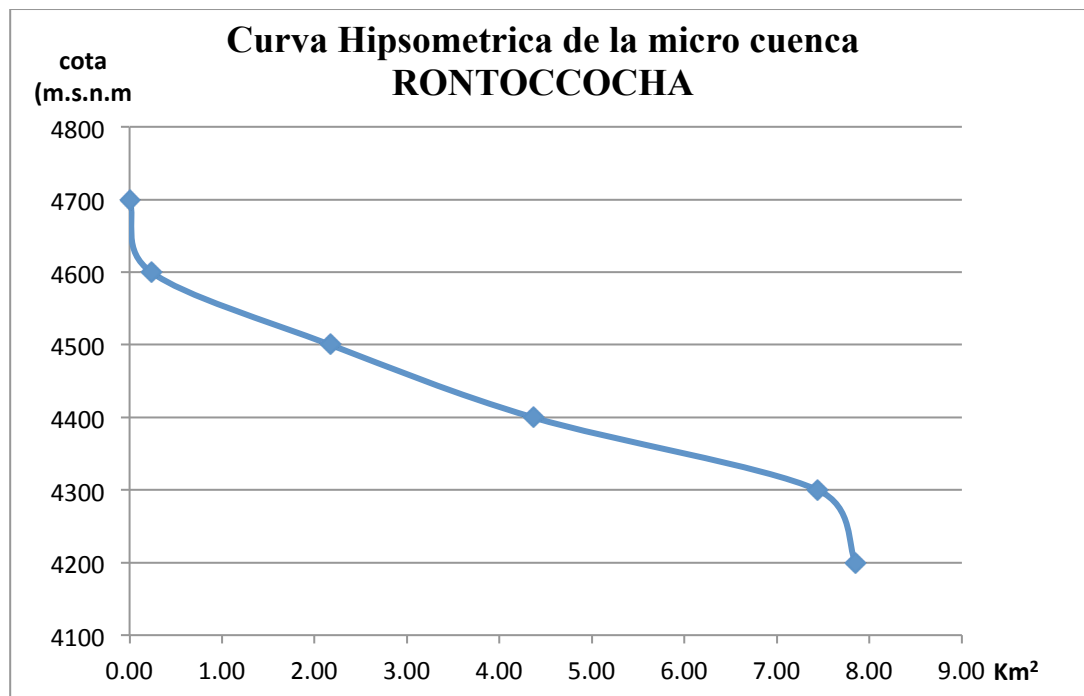


Figura 19: Curva hipsométrica generada a partir de los datos obtenidos del programa Arc Map.

Fuente: elaboración propia

Dichos datos al ser obtenidos en Arc Map, fueron procesados y acomodados en una hoja excel para poder tener el grafico expuesto lineas arriba, como tambien se hará para poder plotear el poligono de frecuencia, que sigue a continuacion, figura N° 20.

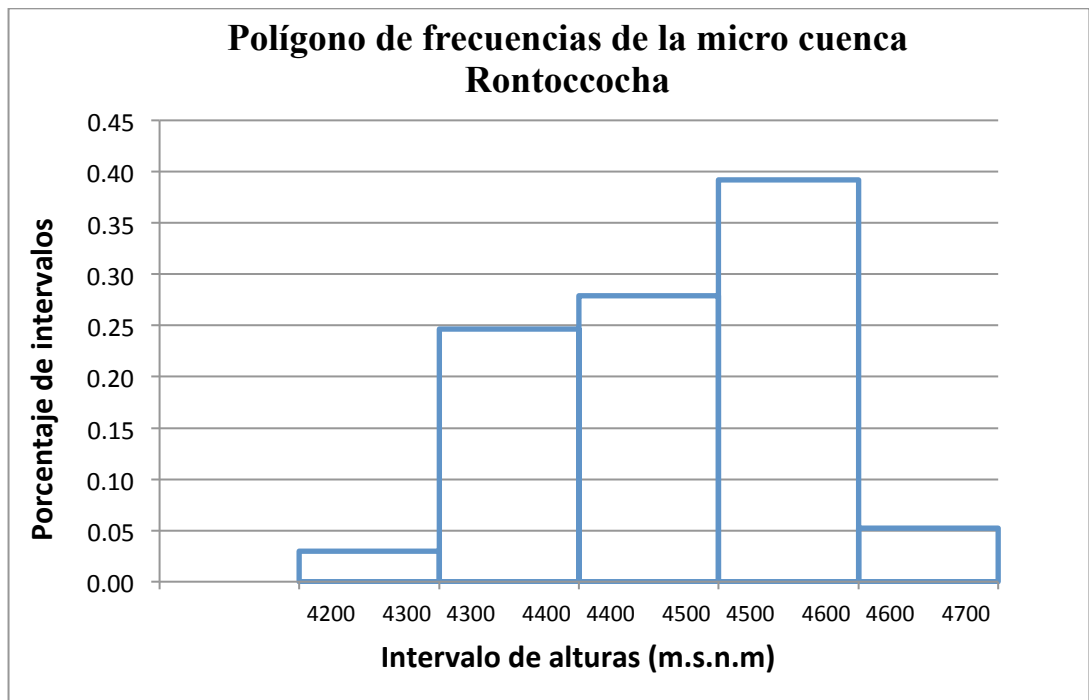


Figura 20: Poligonos de frecuencia generada a partir de los datos obtenidos en Arc Map.

Fuente: elaboracion propia

CAPÍTULO 5

BALANCE HÍDRICO DE LOS ESCENARIOS DE INVESTIGACIÓN USANDO SIG

5.1 Balance hídrico y escenarios de investigación

- Balance hídrico

El principio de conservación de masa es el más útil en el análisis hidrológico (Ven Te Chow 1994:24). El concepto de balance hídrico se basa “en el principio que durante cierto intervalo de tiempo el aporte total a una cuenca o masa de agua debe ser igual a la salida total de agua más la variación neta en el almacenamiento de dicha cuenca o masa de agua” (UNESCO).

En el capítulo 3, se mencionó a modo de inventario todos los ingresos y egresos del sistema de la laguna, de la misma manera que se mencionó que se cuenta con datos completos de los volúmenes de producción de la presa, datos que vendrían a ser directamente la variación del sistema.

Sin embargo también se mencionó que se tiene información del “Plan maestro optimizado de la EPS EMUSAP ABANCAY S.A “, en donde se hace mención que la capacidad promedio es de 40 lps, con variaciones significativas en temporada de lluvia y estiaje (entre 75 y 15) lps, respectivamente, orden por el cual nuestro cálculo de balance hídrico debe encontrarse a modo de verificación de resultados.

Para términos prácticos del presente trabajo se plantea una ecuación de balance hídrico que considera solo a las variables conocidas, más no la variación del sistema que será la información a obtener y que debe mantenerse en el intervalo antes mencionado.

A continuación se presenta la expresión del balance hídrico en MMC que se utilizará para la laguna:

$$Q_{entrada} = Q_{salida}$$

$$\Delta = P + RO - E$$

P: Precipitación sobre la laguna en MMC

E= Evaporación de la laguna en MMC

RO: Escorrentía en MMC

En el capítulo 3, ítem 3.13 y 3.14 se pudo sustentar los motivos por los que la evapotranspiración ETR y la infiltración F no serán consideradas en el cálculo del balance hídrico.

En la figura N° 21, se observa el esquema de balance hídrico donde no se considera en el balance los caudales de salida por el vertedero de regulación.

Entonces el análisis se realizará en el escenario 2013 estático. El objetivo del balance es saber la cantidad de agua de la que se dispone anualmente.

El proceso de cálculo se expone en el Anexo 4, en el caso de las precipitaciones y escorrentía, en el Anexo 5 para la evaporación, en todo los casos son los cálculos de escenarios planteados.

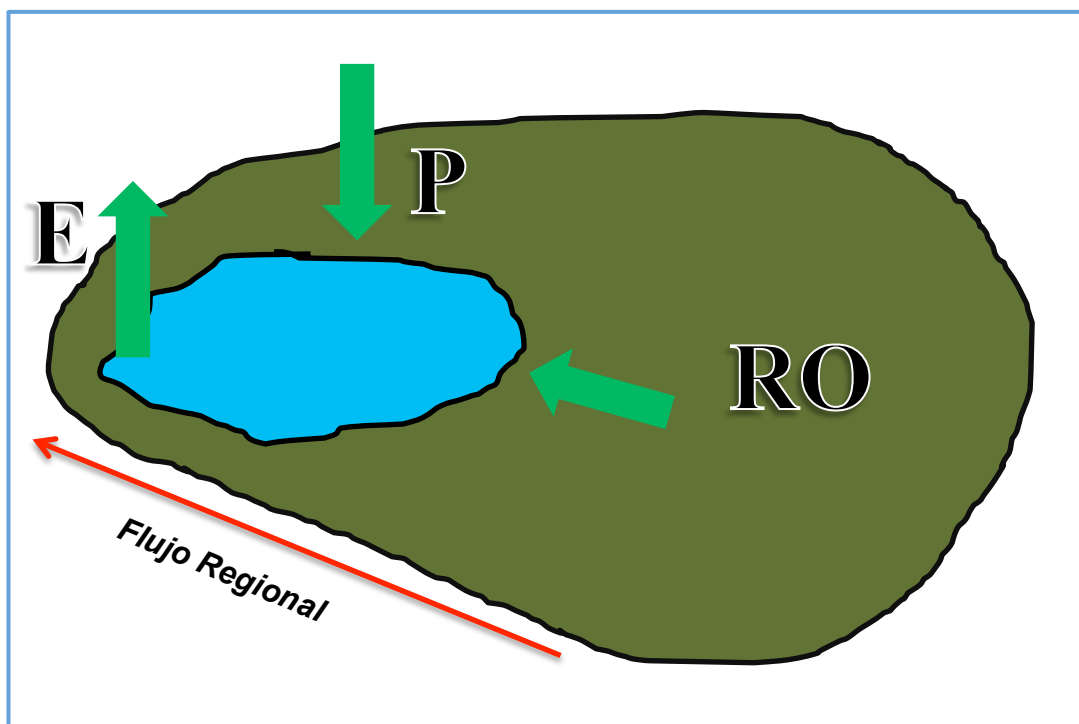


Figura 21: Esquema del balance hídrico.
Fuente: Elaboración propia

5.1.1 Escenario 2013

- **Precipitación P**

Como se explicó en el capítulo 3, sección 3.10.1, la precipitación media fue tomada del estudio “proyecto de gestión integral de la microcuenca Mariño-Apurímac I”.

En la figura N° 22, se observa la distribución de la precipitación a lo largo de un año hidrológico.

Se puede observar con claridad la estacionalidad marcada de las precipitaciones, característica de la sierra peruana.

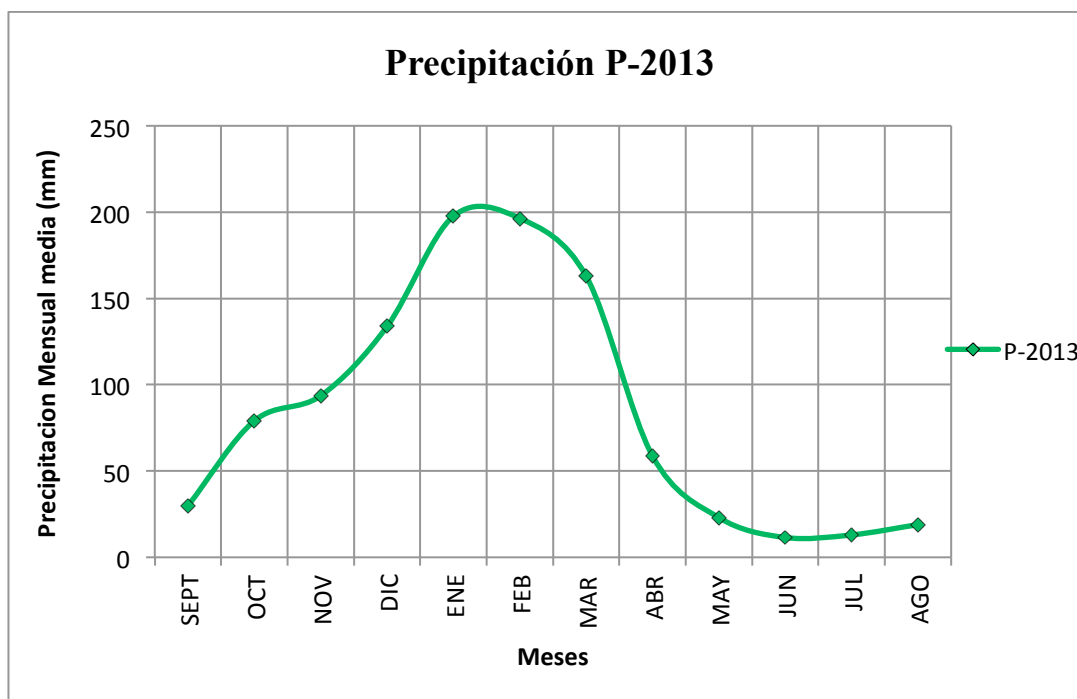


Figura 22: Precipitación para el escenario 2013
Fuente: Elaboración propia

- **Escorrentía RO**

Tal como se mencionó en el capítulo 3, las láminas escurridas en la micro cuenca de la laguna rontoccocha, representan la escorrentía local, proveniente de las precipitaciones escurridas por las cumbres que rodean la laguna. Y para su cálculo se empleó la metodología del modelo “Generación de Caudales Mensuales”. Este método genera caudales para periodos extendidos, empleando la información de precipitación previamente analizada y las características físicas de las cuencas; así como la utilización de las fórmulas empíricas del modelo, dando como producto la información básica para la Generación de Caudales para el año promedio. El procedimiento y las formulas usadas para este cálculo fueron detalladas en el capítulo 3, y su gráfica se aprecia en la figura N° 23.

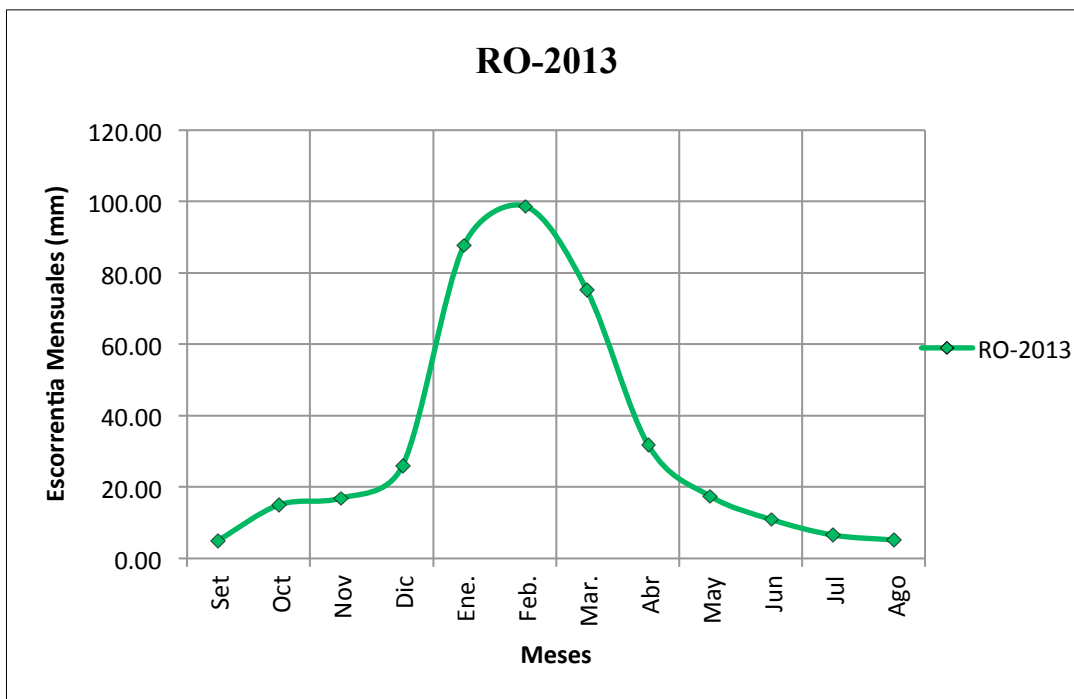


Figura 23: Curva de regresión para la escorrentía en el escenario 2013
Fuente: Elaboración propia

- **Evaporación E**

La evaporación depende de varios factores meteorológicos adicionalmente de la ubicación y la temperatura, pero para alcances del presente trabajo se asume que el comportamiento mensual de la evaporación en la micro cuenca Rontoccocha será igual al mostrado por la evaporación de la estación ABANCAY de la cual se dispone datos mensuales completos y consistentes.

En la tabla N° 6 se presentan los datos de evaporación usados para la laguna Rontoccocha estos datos fueron obtenidos del “Plan Maestro Optimizado de la EPS EMUSAP ABANCAY S.A” generado el año 2003.

Tabla N° 6: Evaporación mensual para el escenario 2013:

Mes	Evaporación media (mm) estación ABANCA Y
Sept	145.01
Oct	142.33
Nov	111.51
Dic	100.60
Ene	98.40
Feb	90.00
Mar	106.51
Abr	110.40
May	112.30
Jun	116.32
Jul	126.60
Ago	128.20

Fuente: Plan Maestro Optimizado de la EPS EMUSAP ABANCA Y S.A”.

Con estos datos se calibró la duración relativa de insolación n/N , tabulados en el monograma de penman y luego para los siguientes escenarios se asumió la no varianza de este dato.

La figura N° 24, muestra las láminas mensuales medias estimadas para el escenario 2013, como era de esperar, la mayor evaporación se da en los meses de estiaje donde la temperatura es mayor y la humedad relativa mayor.

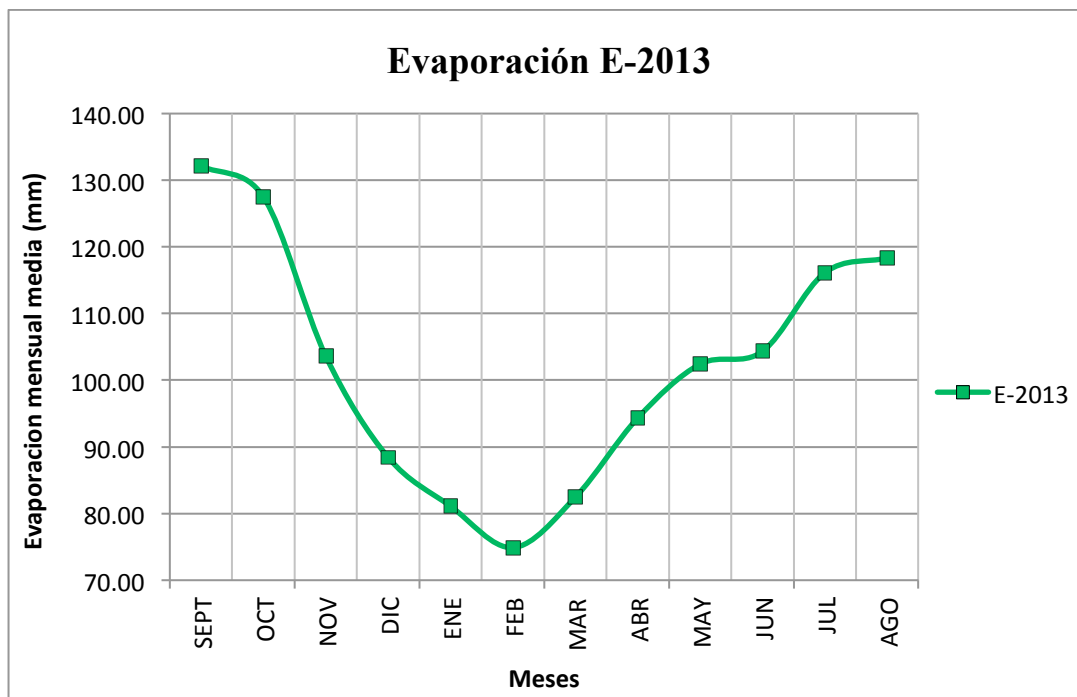


Figura 24: Curva de regresión para la evaporación en el escenario 2013
Fuente: Elaboración propia

- **Evapotranspiración ETR**

Se intentó estimar este parámetro haciendo uso del software LocLim, pues no se cuenta con procedimientos válidos para zonas en las que se encuentran especies vegetales como el hichu u otras especies nativas de zonas alto andinas.

Los valores que se obtuvieron con el programa son elevados, desproporcionados y por lo descrito en el capítulo 3, ítem 3.13 se decidió no considerar este parámetro para ningún escenario.

5.1.2 Escenario 2030

Para este escenario se mostrará los resultados mensuales de los parámetros precipitación, escorrentía y evaporación para poder comparar sus comportamientos con el resto de escenarios.

- **Precipitación P**

Usando los porcentajes de variación hallados por el SENAMHI el año 2011 y partiendo de las precipitaciones halladas para el escenario 2013 mostrados en la Tabla N° 2, se obtuvo las láminas mensuales medias en este escenario 2030, tal como se explicó en la sección 3.9.2. La figura N° 25, muestra la marcada diferencia entre las estaciones en un año hidrológico típico de la sierra.

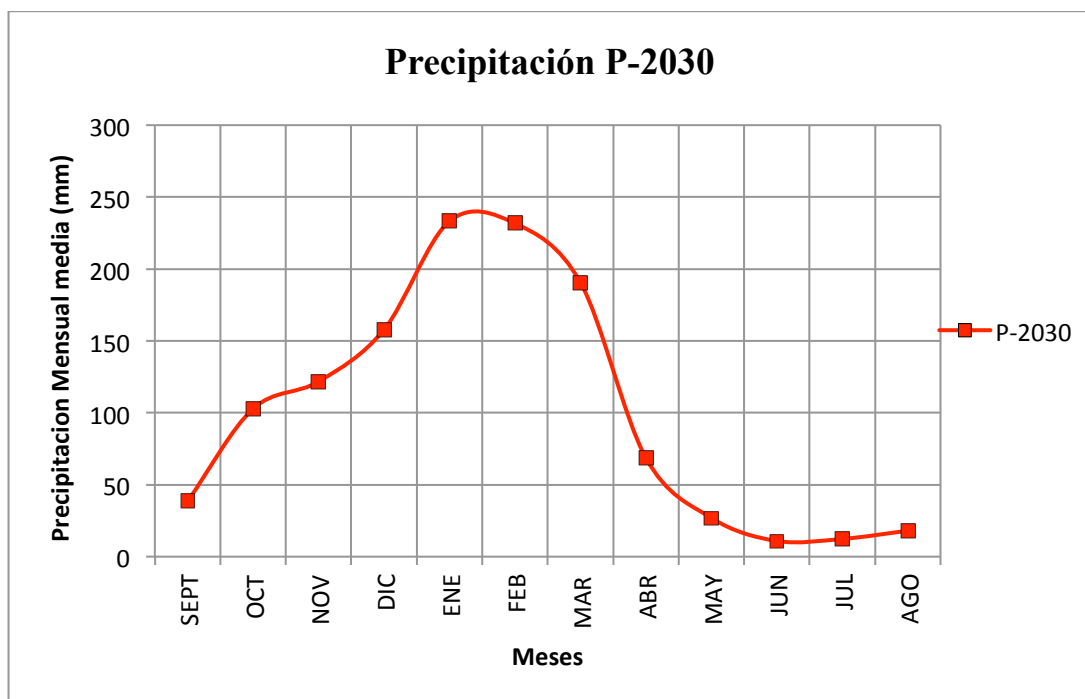


Figura 25: Precipitaciones estimadas para el escenario 2030
Fuente: Elaboración propia

- **Escorrentía RO**

Para el caso del escenario 2030, tal como se explicó en el capítulo 3, la única variante es la de la precipitación, dentro del cálculo de la metodología de “LOTZ SHULDZ”, en donde el resto de datos se consideran constantes, tales como tipo de cobertura de suelo, pendiente del drenaje, área de la cuenca, coeficiente de

escorrentía, etc. La figura N° 26, muestra la variación entre los meses febrero y marzo con respecto al escenario 2013, para este caso en marzo se presenta el pico de escorrentía.

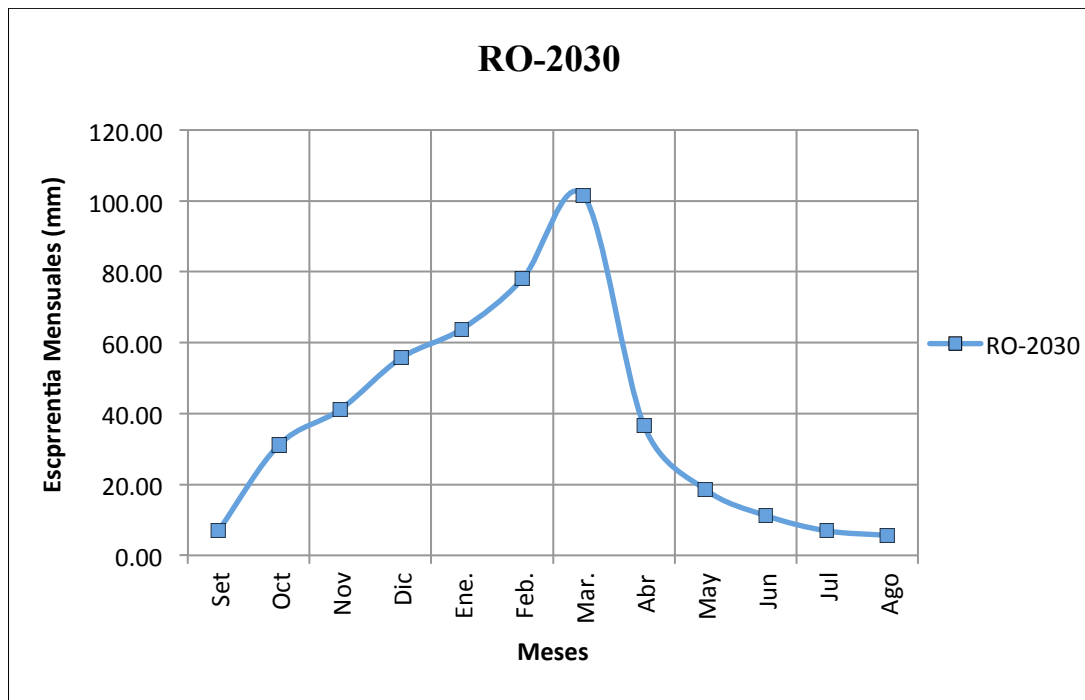


Figura 26: Escorrentía de la cuenca para el escenario 2030
Fuente: Elaboración propia

- **Evaporación E**

Para el caso de los dos escenarios futuros planteados, se realizó cálculos adicionales para obtener ciertos parámetros actuales que servirán para estimar la evaporación futura usando el procedimiento que emplea el monograma de Penman. De la misma manera que se asumió en el escenario actual la evaporación tendrá un mismo valor para toda la micro cuenca en ambos escenarios futuros.

A través de procesos iterativos y usando los datos de la evaporación del año 2013, humedad relativa y velocidad del viento hallados por el software LocClim y usando

el monograma de Penman para poder obtener el valor de duración de insolación efectiva promedio para cada mes n/D, dato faltante, pues no se cuenta con datos de un heliógrafo en la zona. El procedimiento que se siguió fue:

- Se asumió un valor de la duración relativa de insolación n/D.
- A partir de los parámetros actuales antes mencionados, humedad relativa, temperatura, velocidad del viento, valor de Argot RA (extraído de tablas) y usando el monograma de Penman se estimó la evaporación E para cada mes.
- El valor hallado fue comparado con el valor de Evaporación que fue obtenido en la tabla N° 6, si el valor no era el mismo se repitió el procedimiento asumiendo un nuevo valor de n/D.

Finalmente considerando a la temperatura como único parámetro variable y usando el procedimiento que emplea el monograma de Penman se obtiene la evaporación mensual desde la superficie de un embalse para el escenario del año 2030.

La figura N° 27, muestra que el comportamiento de la evaporación en el escenario 2030 ,sigue la tendencia de la curva hallada para el escenario del año 2013.

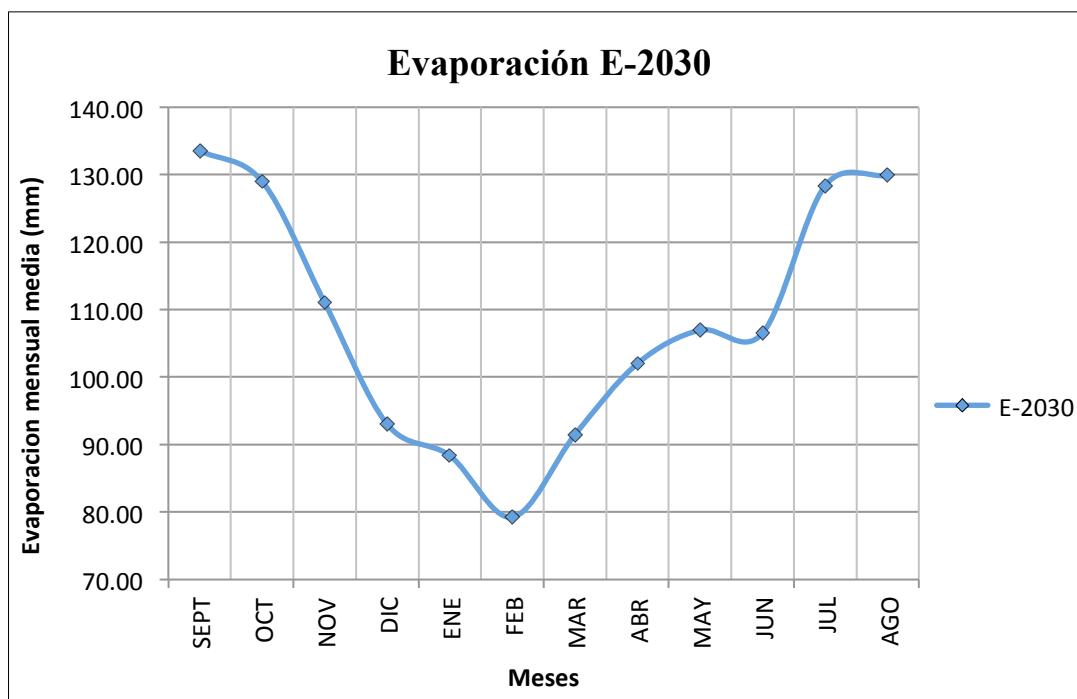


Figura 27: Evaporación estimada para el escenario 2030
Fuente: Elaboración propia

5.1.3 Escenario 2090

- **Precipitación P**

A partir de los datos de los 6 meses obtenidos del informe del IPCC del año 2007 y tal como se explicó en la sección 3.10.3 del capítulo 3, se reconstruyó la curva de las láminas escurridas mensuales usando líneas de regresión polinómicas que son las que más se aproximan a las tendencias de las precipitaciones mensuales medias, tanto en este escenario como en los dos anteriores. Inicialmente, se acomodó los meses de manera que la curva pueda reflejar los cambios estacionarios que se deban a ella, debido a las épocas de estiaje como a las de avenida. Se halló la función que, para este escenario es una de quinto grado, que refleja los mínimos valores para meses de junio, julio y agosto y los máximos en los meses de diciembre, enero y febrero, seguidamente se halló los valores faltantes y se reacomodo los meses, de

manera que el inicio coincida con el mes de septiembre, considerando el inicio del año hidrológico.

La figura N° 28, muestra los datos para los meses de junio, julio, agosto, diciembre, enero y febrero y la curva polinómica de regresión que se ajusta a ellos. Mientras que en la figura N° 29, muestra las láminas mensuales medias de la precipitación reconstruidas a partir de la curva polinómica de regresión hallada previamente.

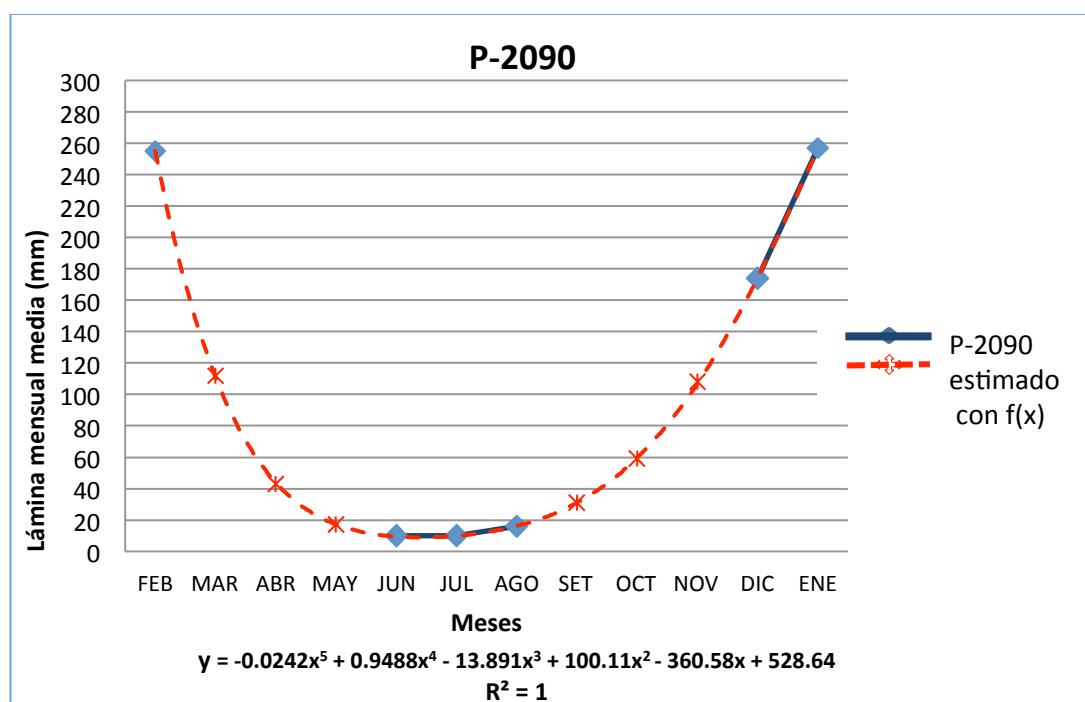


Figura 28: Datos de precipitación estimados para el escenario 2090
Fuente: Elaboración propia

En base a la ecuación generada por la curva polinómica en función de los seis datos obtenidos se pudo completar para los meses en donde no se tenía dato, conforme a ello se pudo plotear la siguiente figura N° 29, que cumple siguiendo la tendencia con respecto a los escenarios anteriores.

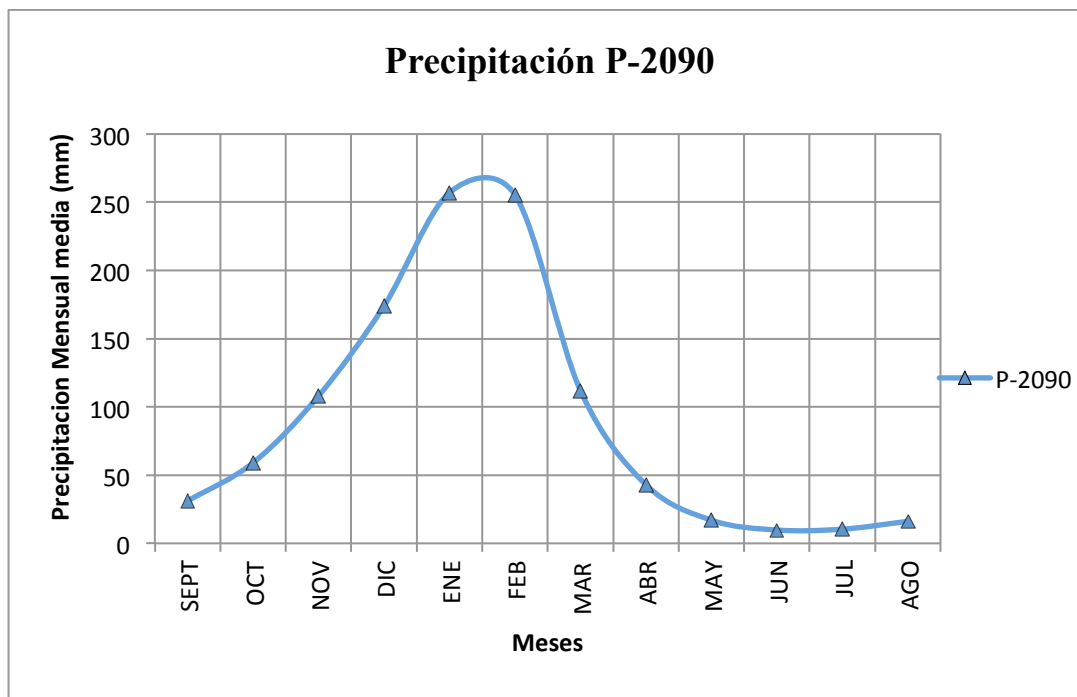


Figura 29: Láminas mensuales media de precipitación estimadas para el escenario 2090, completados mediante la ecuación de la figura N° 28
Fuente: Elaboración propia

- **Escorrentía RO**

Se pudo generar precipitaciones para este año, se procedió a calcular lo que sería la escorrentía en este escenario, resaltando la no varianza de las condiciones geográficas, tal y como se hizo para el escenario 2030, como variables se considera a la temperatura y la precipitación, con ello y usando el método de generación de caudales o de lotz shuldz, se obtuvo la siguiente figura N° 30.

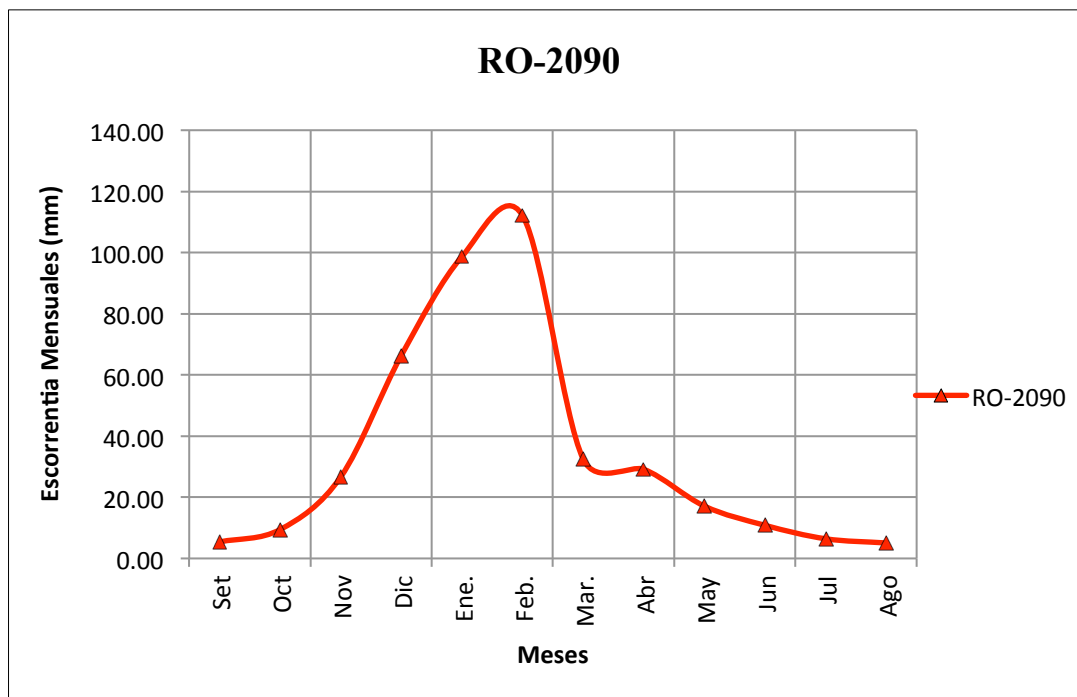


Figura 30: Escorrentía generada para el escenario 2090
Fuente: Elaboración propia

- **Evaporación E**

En el ítem 5.1.2, se pudo explicar el procedimiento a seguir para estimar la evaporación futura, y es el procedimiento que emplea el monograma de Penman.

La figura N° 31, muestra el comportamiento de la evaporación estimada usando este procedimiento para este escenario 2090.

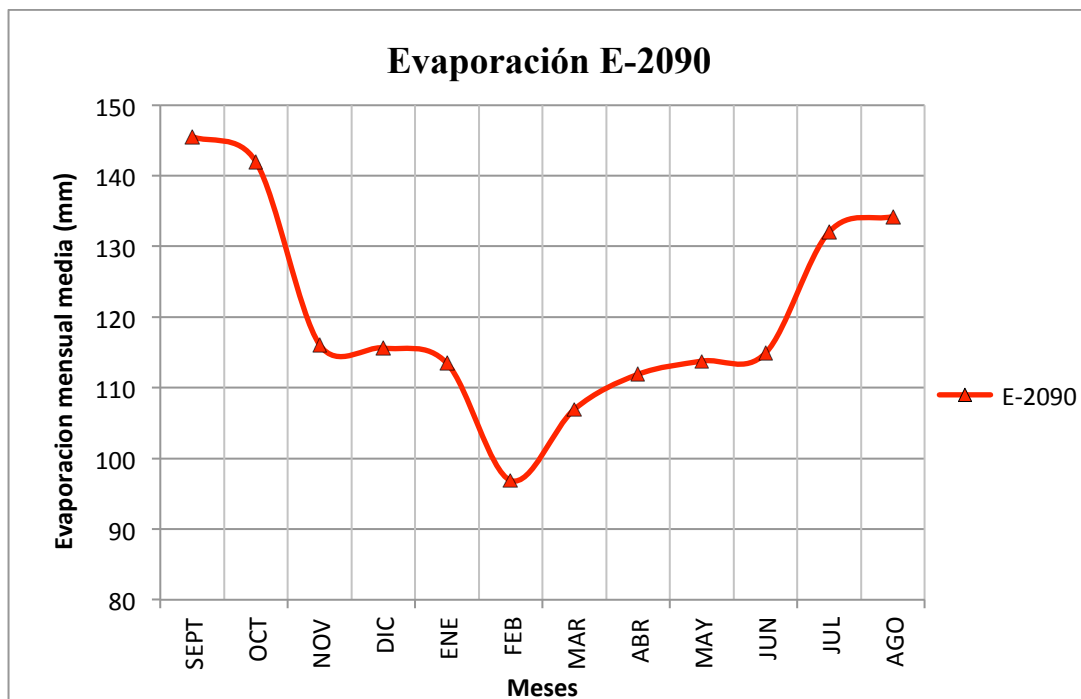


Figura 31: Láminas mensuales medias de evaporación estimadas para el escenario 2090

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO 6

RESULTADOS DEL BALANCE HIDRICO

6.1 Resultados

- Con respecto a los parámetros considerados en el balance hídrico

A continuación se presenta una comparación de los resultados de los diferentes parámetros analizados. La figura N° 25 para el escenario 2030 muestra una considerable intensificación de las precipitaciones en el periodo más lluvioso. Y en el escenario 2090 esta tendencia se intensifica además de mostrar un acortamiento y adelanto de esta época, a continuación se muestra un resumen de la precipitación en los diferentes escenarios en la figura N° 32.

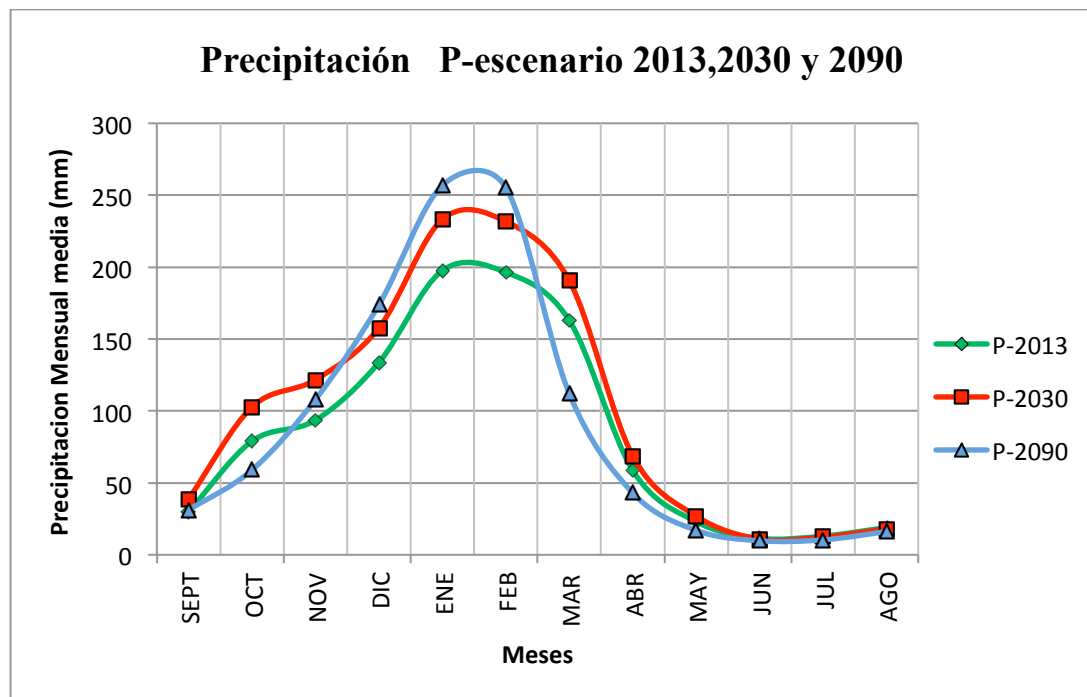


Figura 32: Precipitaciones estimadas para los tres escenarios planteados
Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la escorrentía debo comentar que al pasar los años esta aumenta, lógicamente por la crecida de las precipitaciones en los meses de lluvia, y una disminución en los meses de estiaje, en la figura N° 33 se aprecia estas variantes con una oscilación de picos entre los meses de enero y marzo, son temporadas muy marcadas.

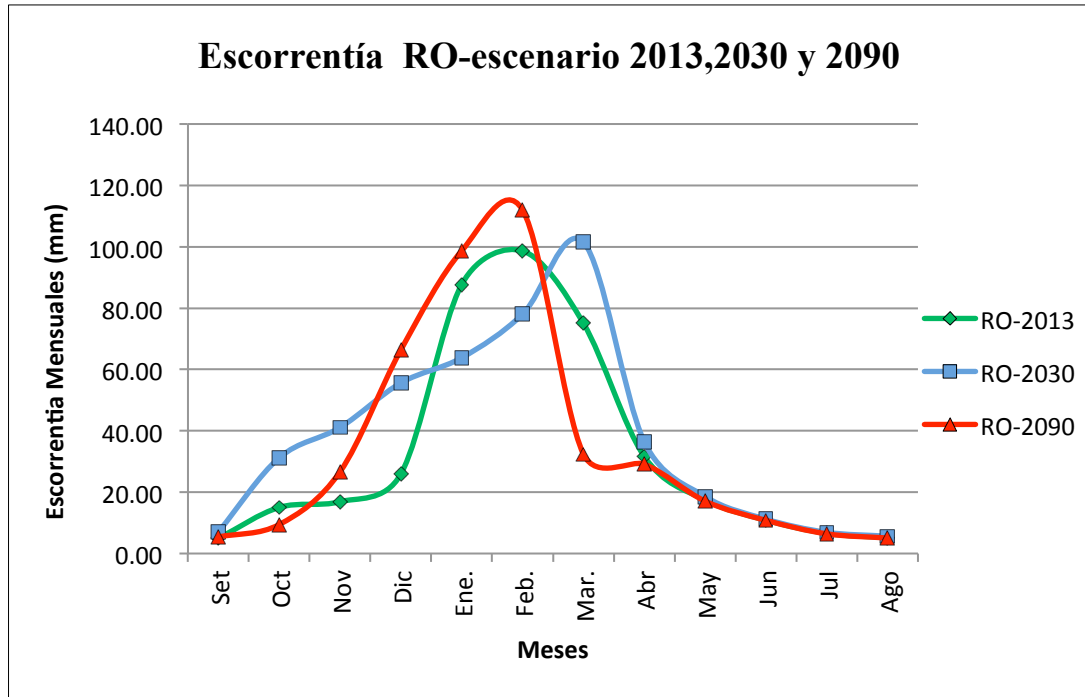


Figura 33: Escorrentía calculada por el método “LOTZ SHULDZ” para los escenarios planteados
Fuente: Elaboración propia

Para los tres escenarios planteados se pueden observar que las láminas evaporadas muestran un comportamiento estacional inverso al de las precipitaciones.

Se estima que la laguna Rontoccocha en el futuro perderá más agua que en la actualidad por el proceso de evaporación tal como se observa en la figura N° 34.

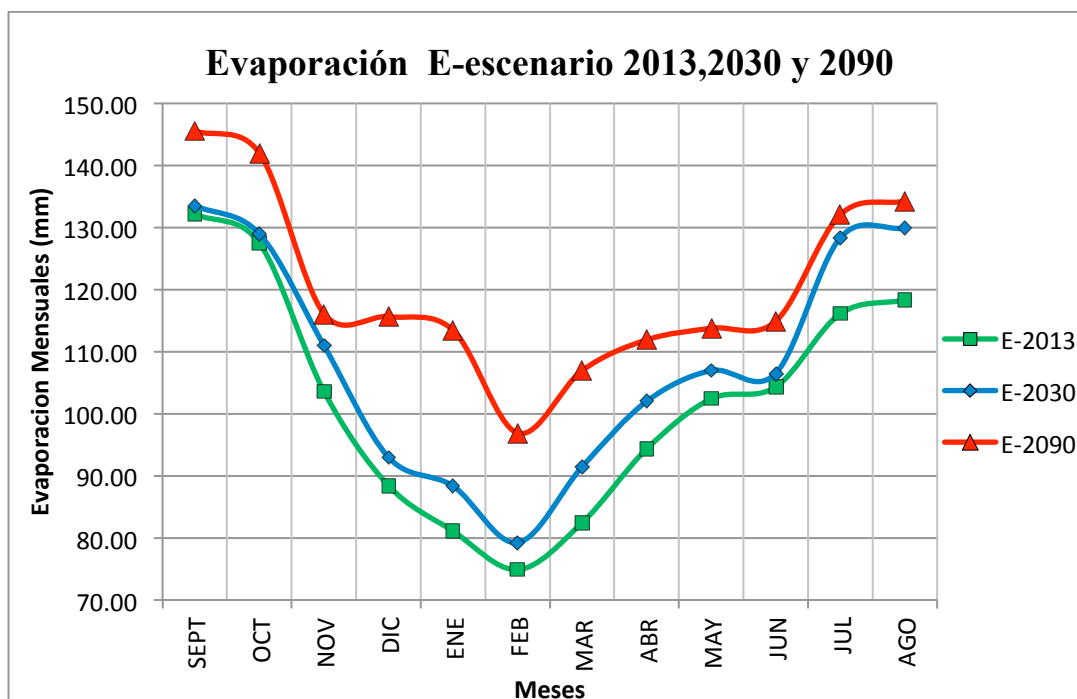


Figura 34: Evaporación estimada para los escenarios: 2013, 2030 y año 2090
Fuente: Elaboración propia

- **Con respecto al balance hídrico**

6.1.1 Escenario 2013

Los resultados obtenidos en el presente trabajo estiman que el volumen de la oferta hídrica anual en la micro cuenca Rontoccocha para el escenario 2013 es de 1.34MMC, equivalente a 42.41 lts aproximadamente, ver tabla N° 7 y figura N° 35. Este valor se acerca ligeramente a los valores obtenidos del balance hídrico realizado por la EPS EMUSAP S.A ABANCAY, en su estudio “PLAN MAESTRO OPTIMIZADO DE LA EPS EMUSAP ABANCAY S.A”, que obtuvo 0.8MMC equivalente a 40 lts, aproximadamente.

Tabla N° 7: Volumen de participación de cada parámetro considerado en el análisis del escenario 2013

Parámetro	Vol MMC/año
Precipitación sobre la cuenca	7.96
Escorrentía	2.96
Evaporación	-9.58
VOLUMEN ANUAL TOTAL	1.34

Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 35 se observa los valores de la cantidad de agua disponible a nivel mensual durante un año. Se observa la estacionalidad marcada de la disponibilidad hídrica, lo que implica la regulación de esta laguna es más importante en la época húmeda, mientras que en épocas de estiaje los esfuerzos deberían apuntar a embalsar el recurso.

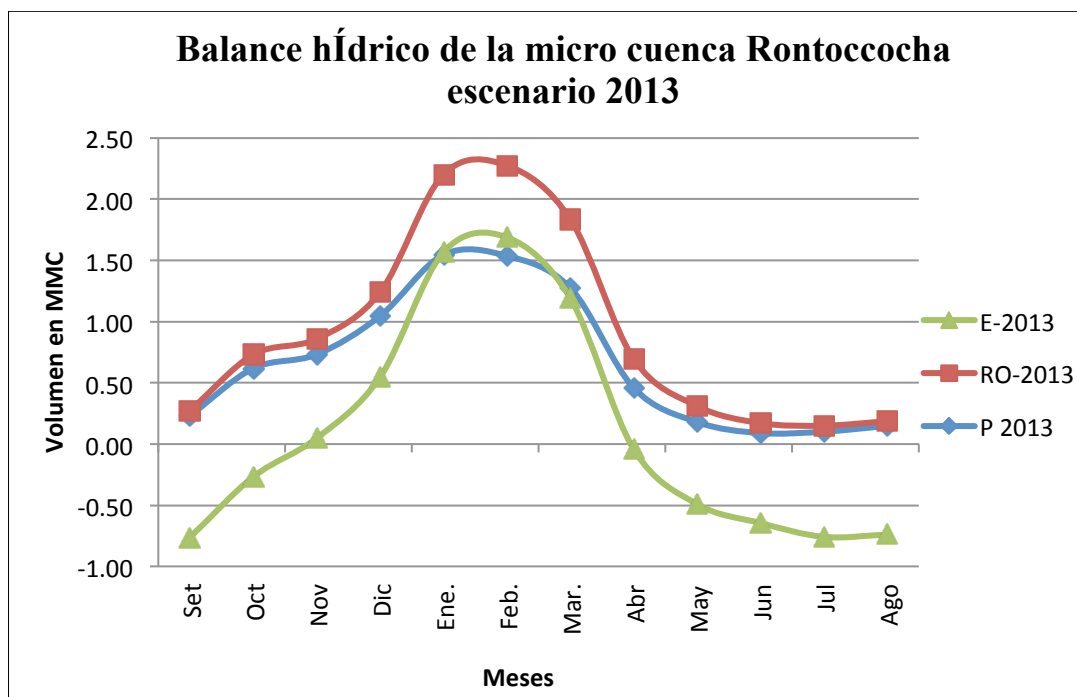


Figura 35: Balance hídrico de la micro cuenca Rontoccocha escenario 2013
Fuente: Elaboración propia

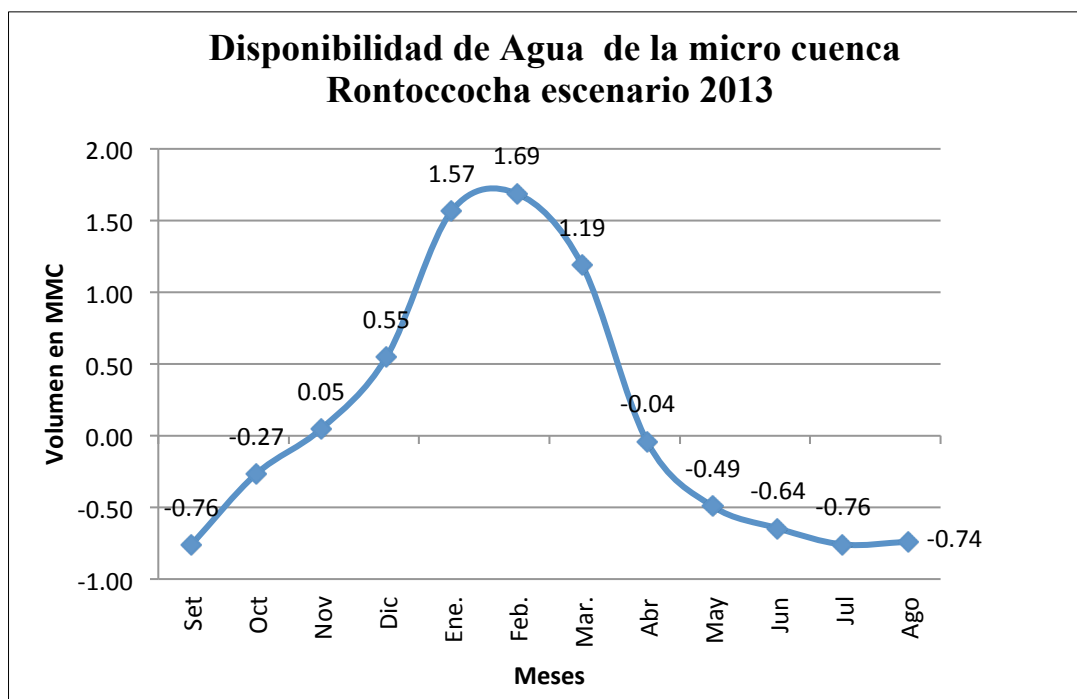


Figura 36: Disponibilidad del agua en la micro cuenca Rontoccocha escenario 2013

Fuente: Elaboración propia

Tal y como muestran los valores estimados preliminares obtenidos por la EPS EMUSAP S.A ABANCAY, en su estudio “PLAN MAESTRO OPTIMIZADO DE LA EPS EMUSAP ABANCAY S.A”, el volumen necesario para cubrir las demandas humanas principalmente y agrícolas de la sub cuenca Rontoccocha ascienden a 0.8MMC equivalente a 40 lts, al año aproximadamente. Tal como se puede inferir de la figura N° 7, el volumen de agua disponible en micro cuenca Rontoccocha en el escenario 2013 es de 1.34 MMC, según los resultados del presente trabajo, dejando 0.54 MMC como volumen de superávit. La micro cuenca Rontoccocha es la principal aportante de la sub cuenca Mariño, sin embargo a lo largo del recorrido del río Mariño, existen afluentes pequeños que aportan al río, elevando eventualmente el caudal disponible en toda la subcuenca Mariño.

Es importante señalar que el caudal ecológico necesario en la microcuenca Rontoccocha aún no ha sido determinado por las instituciones correspondientes debido a la falta de un procedimiento para su cálculo.

6.1.2 Escenario 2030

Como se comentó en el capítulo 5, para este escenario se presentará el balance hídrico calculado gracias a los datos de precipitaciones determinadas por el informe del SENAEMI el año 2009, se obtuvo unas curvas que siguen las tendencias de cada elemento del balance en los escenarios respectivos y en este caso para la proyección para el año 2030. En la tabla N° 8 se observa el volumen total de estimada a partir de la información obtenida para este escenario 2030.

Tabla N° 8: Volumen total de participación en la micro cuenca Rontoccocha en el escenario 2030

Parámetro	Vol MMC/año
Precipitación sobre la cuenca	9.49
Escorrentía	3.42
Evaporación	-10.16
VOLUMEN ANUAL TOTAL	2.74

Fuente: Elaboración propia

Para el escenario 2030, se muestra un incremento notable respecto al balance hídrico, sin embargo ya empieza hacerse notorio los meses marcados típicos de la sierra peruana, donde se tiene grandes tazas de precipitación, como de evaporación, generando así la figura N° 37.

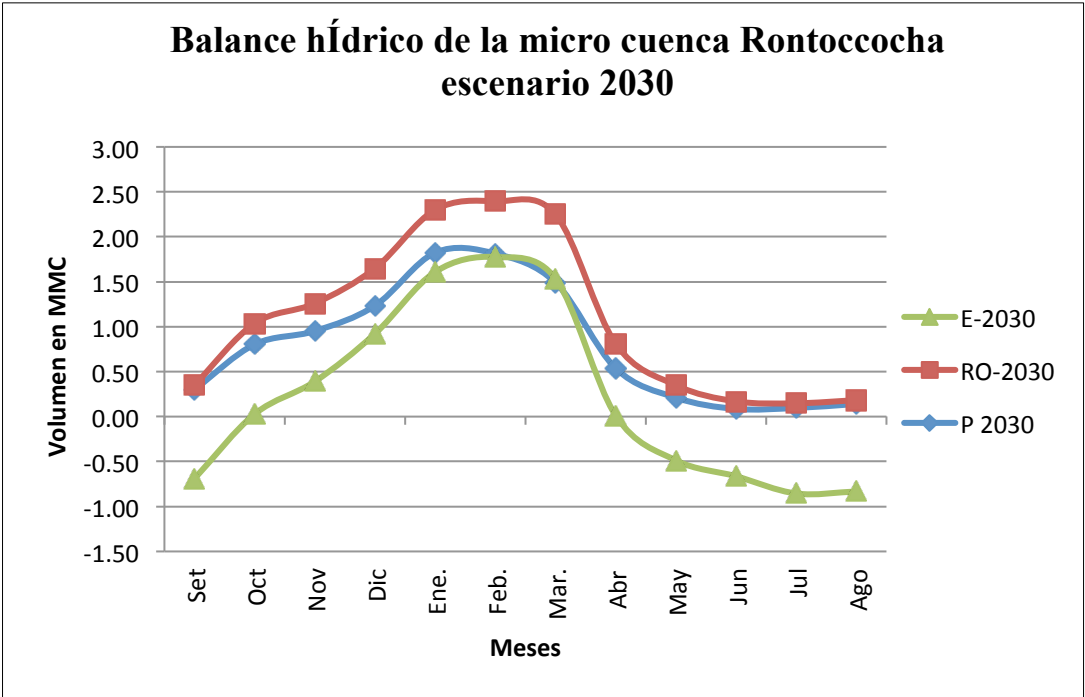


Figura 37: Balance hídrico de la micro cuenca Rontoccocha, escenario 2030
Fuente: Elaboración propia

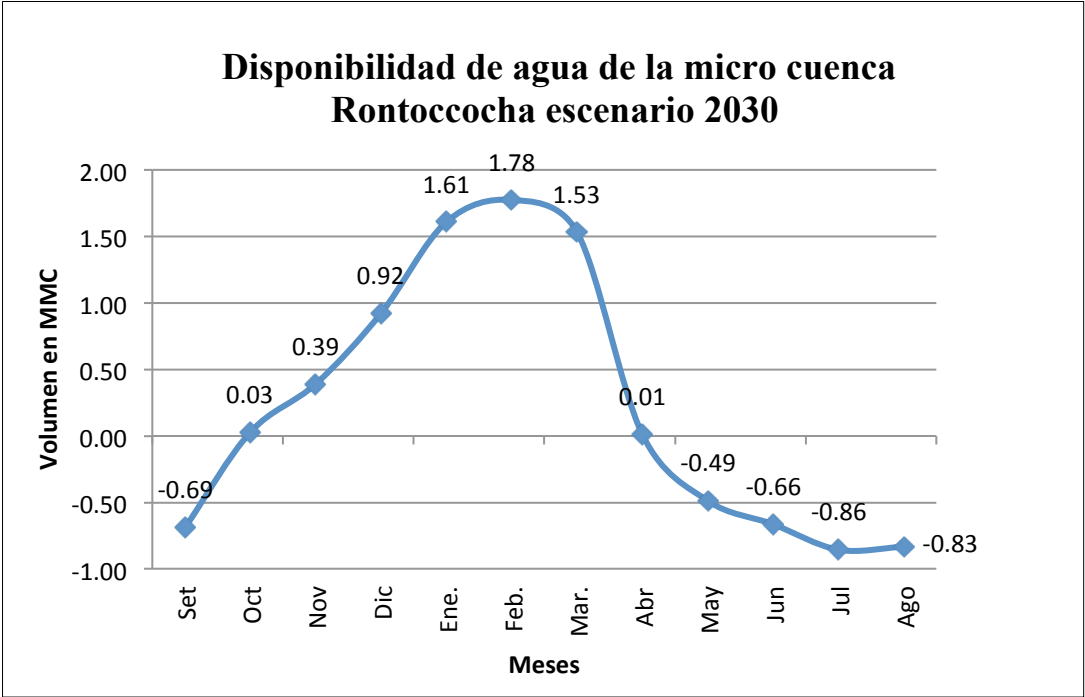


Figura 38: Disponibilidad del agua en la micro cuenca Rontoccocha escenario 2030
Fuente: Elaboración propia

6.1.3 Escenario 2090

Para el escenario del 2090, los resultados estiman que la oferta hídrica en la micro cuenca Rontoccocha es de 0.39 MMC, en la tabla N° 9, se detallan los volúmenes estimados para cada parámetro.

Tabla N° 9: Volumen de participación de cada parámetro considerado en el análisis del escenario 2090

Parámetro	Vol MMC/año
Precipitación sobre la cuenca	8.54
Escorrentía	3.13
Evaporación	-11.29
VOLUMEN ANUAL TOTAL	0.39

Fuente: Elaboración propia

Como se explicó en el capítulo 3, en el escenario 2090, las temperaturas habrán subido considerablemente por ende la evaporación, que es determinante en este escenario y consecuencia de ello la gran variación del balance hídrico con respecto a los escenarios pasados. Lo expresado se plasma en la siguiente figura N° 39.

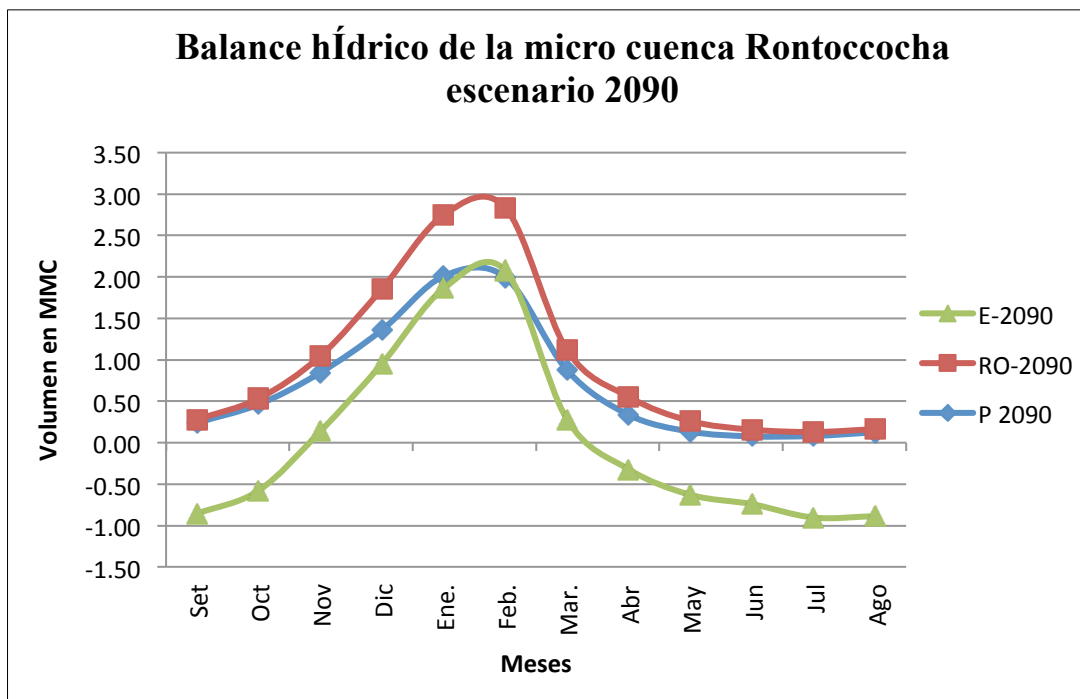


Figura 39: Balance hídrico de la micro cuenca Rontoccocha, escenario 2090
Fuente: Elaboración propia

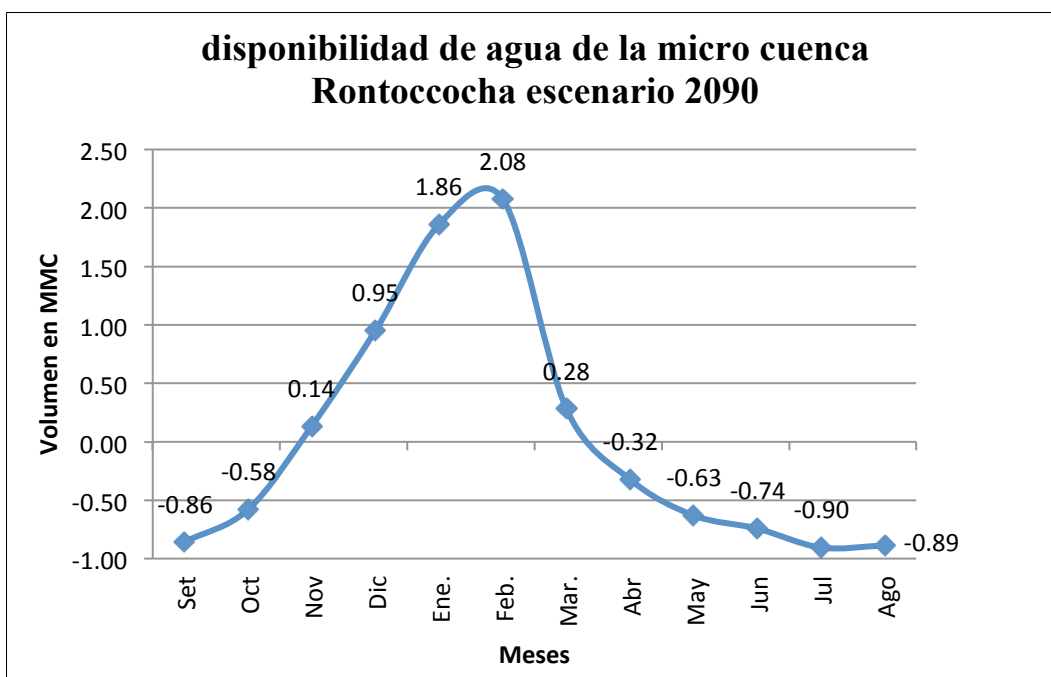


Figura 40: Disponibilidad del agua en la micro cuenca Rontoccocha escenario 2090
Fuente: Elaboración propia

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 – Conclusiones

1. La GIRH permite la coordinación y la colaboración entre los sectores individuales y además promueve la participación de los interesados, la transparencia y una gestión local rentable.
2. En un nivel local práctico, el aumento en la integración de la gestión del recurso hídrico puede conducir a la reducción significativa de los costos de suministro de los servicios domésticos de agua. Lo anterior puede lograrse, por ejemplo, si más sistemas de irrigación estuvieran diseñados en forma explícita, desde el principio, con un componente de agua doméstica
3. Se ha demostrado que el balance hídrico sirve como herramienta para la GIRH, para determinar la disponibilidad de agua en diferentes escenarios (años), en las cuales se debería planificar el manejo de este recurso hídrico.
4. Para el escenario 2013 podemos ver la importancia del aporte de la escorrentía y las precipitaciones en las estaciones de lluvia. Con la estimación del balance hídrico realizado en este trabajo se puede notar la importancia del desarrollo de planes de regulación de este tipo de lagunas, sobre todo en épocas de lluvia donde el nivel de la laguna no debe sobrepasar una determinada cota de seguridad, pero que a su vez debe de intentar almacenar la cantidad de agua requerida por la demanda de la población y agrícola. Según los resultados del presente trabajo, para el escenario 2013 se estiman 0.54 MMC como volumen de superávit de la micro cuenca.

5. Para el escenario 2030 se observó un aumento del recurso hídrico disponible, comparando con el escenario anterior se puede obtener un incremento de hasta 2.05 veces la cantidad de agua actual, con lo cual plantearan retos a la administración del agua de esta micro cuenca al ANA, la EPS EMUSAP ABANCA Y y lógicamente al gobierno regional de APURIMAC, es importante recalcar el hecho de reservar en las épocas de lluvia y así poder utilizarlas en las épocas de estiaje.
6. En el escenario del año 2090, cuando la población en la ciudad de ABANCA Y ,principalmente, sea mayor y por ende sus demandas hídricas,. El volumen entregado estimado para la micro cuenca Rontoccocha habrá descendido a poco menos que la mitad del volumen estimado en el escenario 2013 y prácticamente es lo que se tiene actualmente.
7. En el desarrollo del presente trabajo, es importante resaltar la importancia del uso del sistema de información geográfica, que ayudó a relacionar la información hidrológica con la geología de la zona.
8. Tanto en el escenario actual como en los futuros (escenario 2030 y 2090) se concluye que es necesario el acercamiento de información de la situación de los recursos hídricos a la población local. El conflicto social iniciado en torno al manejo del recurso hídrico de la laguna Rontoccocha el año 2009 demostró que si la población local no participa a ningún nivel en el manejo del recurso hídrico de su propia cuenca es de esperar conflictos futuros. Además como se pudo constatar en el taller realizado en la zona, existe interés de la población en conocer más acerca del estado de sus recursos hídricos que ya son

percibidos como recursos agotables y que en la actualidad experimentan cambios en su estacionalidad y en su cantidad.

9. Se calculó las áreas sobre los 4000 m.s.n.m (figura N° 18), el interés nace debido a que a falta de estudios referentes a las variedades de suelo en este micro cuenca, en futuras investigaciones, las áreas de cada curva de nivel calculadas podrían servir para delimitar áreas de suelos y facilitar el cálculo de la escorrentía.

7.2.- Recomendaciones

1. La investigación en este campo es necesaria pues grandes proyectos como el proyecto de gestión integral de la micro cuenca marino-APURIMAC I y el plan optimizado de la EPS EMUSAP S.A ABANCAY , no cuentan con una información consistente para complementar sus estudios y lógicamente la información brindada en este estudio es de sumo interés por ambas partes , así mismo ambos proyectos se verán afectados si no se considera el efecto del cambio climático en la disponibilidad del recurso hídrico a futuro.
2. Se deben plantear retos a la administración del agua de esta micro cuenca al ANA, la EPS EMUSAP ABANCAY y lógicamente al gobierno regional de APURIMAC, ya que es importante recalcar el hecho de reservar en las épocas de lluvia y así poder utilizarlas en las épocas de estiaje.
3. La participación de la población , es crucial, especialmente de aquellas que viven cerca de la laguna, ya que estas familias usan este recurso para su consumo, higiene y crianza de animales, por ende las autoridades

competentes no solo deben dar charlas, si no seminarios y visitas paulatinas para controlar este recurso , tal como lo demuestra este trabajo.

4. También se recomienda la intervención de instituciones del estado, para la implementación de equipos, tales como estaciones meteorológicas, heliógrafos, termómetros, evaporímetros, etc. todo con el único fin de conocer más el comportamiento hidrológico de esta cuenca, con la intervención de organismos internacionales tales como la IPCC, para fomentar la importancia del cambio climático, que es un factor importante ahora en el cálculo y diseño de estructuras hidráulicas. Por ende la data recopilada mejorará y enriquecerá la información poco disponible y así una mejor calidad de proyectos y obras hidráulicas.
5. Es necesario la implementación de más equipos de medición meteorológica en diferentes puntos de este sistema de lagunas tanto para precipitación evaporación. Así mismo instrumentación piezométrica, ya que no se cuenta con información de la capacidad hídrica subterránea de la zona ni estudios de la escorrentía subterránea.

BIBLIOGRAFÍA

- Sokolov, A.; Chapman, T.G. (1981) *Métodos de cálculo del balance hídrico, guía internacional de investigación y métodos*. Instituto de Hidrología de España/UNESCO
- Assefa, M.; Mellese S.F. (2010) “*Spacially distributed storm runoff depth estimation using landsat images and GIS*”. Elsevier-Computers and Electronics in Agriculture, Gainesville, 2002, volume 37,
- Chereque, Wendor (1992) *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*. Segunda Edición. Lima: Editorial CONCYTEC
- Kuroiwa, Julio (2005) *Reducción de Desastres*. Segunda Edición. Lima: Asociación Editorial Bruño. Lima.
- Araujo, Aliaga Segundo Vito (1985) *Hidrología Estadística*. Lima-febrero
- Painter, James (2007) *Human Development Report 2007/2008: Fighting climate change: Human solidarity in a divided world “Deglaciation in the Andean Region”*. Consulta: Junio del 2010. Tomado de:

http://hdr.undp.org/en/reports/global/hdr2007-8/papers/Painter_James.pdf
- Ven Te Chow; Maidment, David; May Larry (1994) *Hidrología Aplicada*. Primera Edición. Santafé de Bogotá, Colombia: McGrawWill.
- Oré, Teresa (2009) *Comentarios realizados, como moderadora, a la exposición del Ing. Rosasa (ANA) en el Foro Nacional del Agua, Políticas, Conflictos y Consensos presentada en la Pontificia Universidad Católica del Perú*. Lima. 8 setiembre.

- GOBIERNO REGIONAL DE APURIMAC-UNIDAD EJECUTORA PRO DESARROLLO DE APURIMAC. (2012) *Proyecto de Gestión Integral de la Microcuenca Mariño-APURIMAC, Estudio Definitivo, Informe Principal*.
Octubre
SRGIS-Sensores Remotos a GIS. *Guía básica sobre imágenes satelitales y sus productos* Tomado de: <http://www.srgis.cl> – e-mail: info@srgis.cl
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169902001114>
- PACCPERÚ (Programa de adaptación al cambio climático) y CENTRO BARTOLOMÉ DE LAS CASAS (2010) “*Estudio de la Gestión del Agua y los Conflictos y su Interrelación con el Cambio Climático en la Región APURIMAC*”
- EMUSAP ABANCAY S.A. (2006) “*Plan Maestro Optimizado de las EPS EMUSAP ABANCAY S.A*”
- ASTER GDEM ASTER GDEM, Consulta: Junio del 2014
<http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/>
- INFORME DEL GRUPO INTERUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMATICO (2007) *Cambio Climatico 2007 Informe de Síntesis*
- FAO - ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (2009) Estudio FAO Riego y Drenaje 56 – Evapotranspiración de un Cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Tomado de:
<http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm>

- GLOBAL WATER PARTNERSHIP (GWP) South América, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DLE PERU (PUCP) (2009) *“Aportes metodológicos al desarrollo de los planes de Gestión Integrada de Cuencas”*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Centro de Investigación en Geografía Aplicada.
- INTERNATIONAL LAKE ENVIRONMENT COMMITTEE FOUNDATION: KUSATSU, JAPAN (2005) *Managing Lakes and their Basins for Sustainable Use: A Report for Lake Basin Managers and Stakeholders*. Kusatsu, Japan. Tomado de:
<http://www.ilec.or.jp/eg/lbmi/index.htm>
- IPCC- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2009) *Cambio Climático 2007 - BASE DE CIENCIA FISICA*. Contribución del grupo de trabajo I al Cuarto Informe de evaluación del IPCC. Tomado de:
http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg1_report_the_physical_science_basis.htm
- SENAMHI-SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA (2011) *Programa de adaptación al cambio climático PACC, “caracterización climática y escenario de cambio climático en Las regiones de CUSCO y APURIMAC 2030-2050”*
- MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE TAMBURCO-ABANCAY-APURIMAC (2005) *“Estudio hidrológico de medias mensuales de la microcuenca FACCHA con fines de almacenamiento”*.
- SENAMHI- SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA (2011) *Escenarios Climáticos Futuros y Disponibilidad del*

Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Apurímac Lima, Perú. Fondo Editorial del "CONAM.

- SENAMHI- SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA (2010) *Characterization Hídrica de las cuencas – PAMPAS-APURIMAC-URUBAMBA.*
- UNEP- UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME- GRID (2009) *Arendal Vital Water Graphics - An Overview of the State of the World's Fresh and Marine Waters. 2nd Edition (2008).* Nairobi, Kenya. Consulta: Junio del 2009. Tomado de:
<http://www.grida.no/publications/vg/water2/page/3230.aspx>
- UNESCO UNITED NATIONAL EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION (2009) *Glosario hidrológico Internacional.* Tomado de:http://www.unesco.org/water/wwap/milestones/index_es.shtml
- WWAP - WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME (2011) *Portal del Programa de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP).* Tomado de:
<http://hydrologie.org/glu/aglo.htm>
- INTERNATIONAL HYDROLOGICAL PROGRAMME OF UNESCO (IHP), WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME (WWAP), NARBO (2011) Tomado de:
http://www.unesco.org/water/news/pdf/Part_23_Invitation_to_IWRM_for_Irrigation_Practitioners.pdf.
- AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA (ANA) (2011) Portal de la Autoridad Nacional del agua. Lima. Consulta: 14 de abril de 2011. Tomado de:<http://www.ana.gob.pe/con%C3%B3cenos.aspx>

- WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME (2011) *“Hitos del agua”*. Portal de la UNITED NATIONS EDUCATIONAL SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION UNESCO. Tomado de:
http://www.unesco.org/water/wwap/milestones/index_es.shtml
- MINISTERIO DE AGRICULTURA INGEMMET
- 2011 Diccionario Geológico, preparado por Jorge Dávalos Burga
- 2003 Decreto Supremo N° 018-2003-AG. Modificación del Reglamento de Organización y Funciones del Instituto Nacional de Recursos Naturales - INRENA, en lo relativo a las atribuciones y funciones de la Oficina de Políticas y Regulación; a la estructura de la Intendencia de Recursos Hídricos y las relaciones con el Administrador Técnico de Riego. 30 de mayo 2003.

ANEXOS

ANEXO 1

**ANALISIS REGIONAL DE PRECIPITACION
ECUACION DE REGRESION PRECIPITACION - ALTITUD**

NOMBRE ESTACION	ALTITUD MEDIA msnm	PRECIPITACION MEDIA ANUAL mm	ECUACION DE REGRESION $P^2 = B_0 + B_1 * H$			
			X ²	Y ²	X*Y ²	Y ⁴
ABANCAY	2,398.00	618.49	5.75E+06	3.83E+05	9.17E+08	1.46E+11
CURAHUASI	2,902.00	642.63	8.42E+06	4.13E+05	1.20E+09	1.71E+11
ANTABAMBA	3,636.00	921.42	1.32E+07	8.49E+05	3.09E+09	7.21E+11
CHALHUANCA	2,902.00	758.84	8.42E+06	5.76E+05	1.67E+09	3.32E+11
SUMA	11,838.00	2,941.37	3.58E+07	2.22E+06	6.87E+09	1.37E+12
n	4	4	4	4	4	4
PROMEDIO	2,959.50	735.34	8.95E+06	5.55E+05	1.72E+09	3.42E+11

FORMULAS PARA EL CALCULO DE PARAMETROS DE REGRESION

VALORES DE PARAMETROS DE REGRESION

A= SUM X	1.18E+04	G = C-(A ²)/n	7.80E+05	COEF. INDEPENDIENTE	Bo = -5.94E+05
B= SUM Y	2.94E+03	H = E-A*D/n	3.03E+08	COEF. DEPENDIENTE	B1 = 3.88E+02
C= SUM X ²	3.58E+07	I = F-(D ²)/n	1.37E+11	COEF. DE CORRELACION	r = 0.92
D= SUM Y ²	2.22E+06	J = H/G	3.88E+02		
E= SUM X*Y ²	6.87E+09	K = (D-J*A)/n	-5.94E+05		
F= SUM Y ⁴	1.37E+12				

FORMULAS DE PARAMETROS DE REGRESION

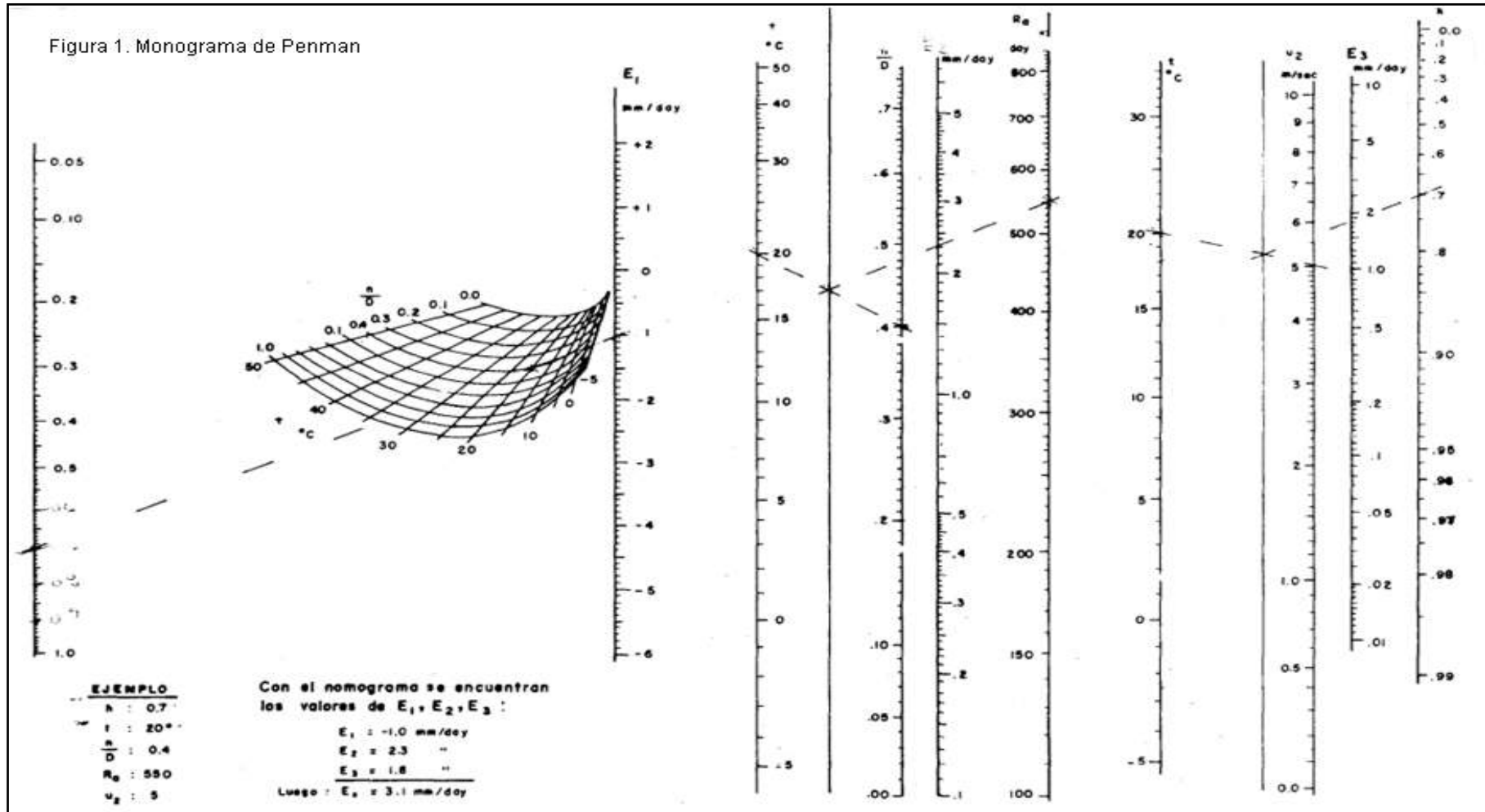
COEF. INDEPENDIENTE Bo= (D-J*A)/n

LAGUNA RONTOQOCHA

4200.00 msnm

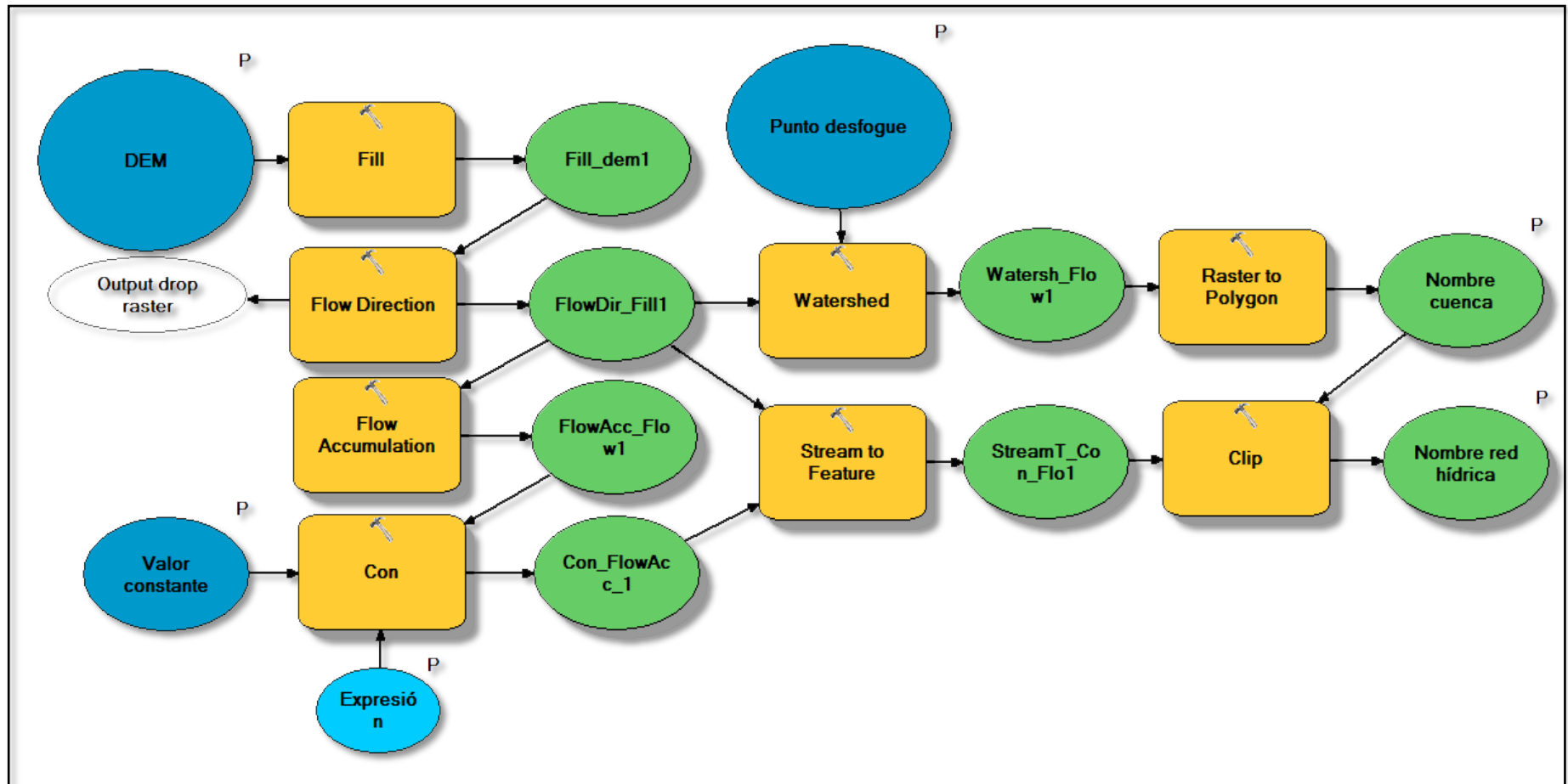
1,018.23

ANEXO 2



ANEXO 3

Diagrama de flujo para el procesamiento de un DEM en el software ArcGis 10x



AÑO 2030

DATOS

Lc	13°41'	Latitud sur al centro de gravedad de la cuenca										
Ac	7.85	Area de la cuenca (km ²)			Temperatura media de la cuenca	Tc	5.9	°C				
Al	0.35	Area de lagunas, o pantanos (km ²)			Retención de la cuenca	Rs	61.24	mm/año				
I	0.0714	Pendiente del desagüe (%)			Coefficiente de agotamiento	a	0.01512					
He	2398	Altura media estación metereológica (msnm)			Coefficiente de escurrimiento	C1	0.29		C3	0.35		
Hc	4200	Altura del vaso (msnm)				C2	0.37		C6	0.38		
Te	13.08	Temperatura Estación de referencia (°C)-2030										
T	214	Duración de la temporada seca (días)										
Pc	1213.36	Precipitación Media de la Cuenca (mm/año)										

MES	PRECIPITACION MENSUAL EFECTIVA					CONTRIBUCION DE LA RETENCION					CAUDALES GENERADOS	
	Total P (mm/mes)	PE I (mm/mes)	PE II (mm/mes)	PE III (mm/mes)	PE (mm/mes)	bi	Gi (mm/mes)	ai	Ai (mm/mes)	mm/mes	m3/seg	m3/mes
Set	39	0.52	4.10	7.84	4.94	0.05	2.07			7.01	0.0212	54842
Oct	103	9.48	25.96	42.59	29.72	0.04	1.51	0	0.00	31.23	0.0912	244187
Nov	122	16.37	39.02	61.78	44.16			0.05	3.06	41.10	0.1240	321389
Dic	158	38.68	71.34	96.70	77.07			0.35	21.43	55.64	0.1625	435120
Ene.	233	132.40	134.49	-69.75	88.33			0.4	24.49	63.83	0.1864	499186
Feb.	232	130.06	133.97	-59.38	90.27			0.2	12.25	78.02	0.2522	610105
Mar.	191	71.64	104.06	93.03	101.57			0		101.57	0.2965	794269
Abr	69	2.79	10.45	18.06	12.17	0.64	24.32			36.48	0.1101	285303
May	27	0.00	2.77	5.54	3.40	0.40	15.22			18.62	0.0544	145578
Jun	11	0.00	1.24	2.56	1.54	0.25	9.67			11.21	0.0338	87668
Jul	12	0.00	1.38	2.85	1.72	0.14	5.20			6.92	0.0202	54102
Ago	18	0.00	1.92	3.94	2.38	0.09	3.26			5.64	0.0165	44066
Total	1213.4	401.94	530.71	205.76	457.27	1.60	61.24		61.24	457.27	1.37	3575814.39

Ca **0.570** **Ca'** **0.774**

Cb **0.430** **Cb'** **0.226**

BALANCE HIDRICO**Escenario 2013 en MMC****Escenario 2030 en MMC****Escenario 2090 en MMC**

mes	P	RO	E	Δ	mes	P	RO	E	Δ	mes	P	RO	E	Δ
Set	0.23	0.04	-1.03	-0.76	Set	0.30	0.05	-1.04	-0.69	Set	0.24	0.04	-1.14	-0.86
Oct	0.62	0.11	-1.00	-0.27	Oct	0.80	0.23	-1.01	0.03	Oct	0.46	0.07	-1.11	-0.58
Nov	0.73	0.13	-0.81	0.05	Nov	0.95	0.31	-0.87	0.39	Nov	0.84	0.20	-0.91	0.14
Dic	1.05	0.19	-0.69	0.55	Dic	1.23	0.42	-0.73	0.92	Dic	1.36	0.50	-0.90	0.95
Ene.	1.55	0.66	-0.63	1.57	Ene.	1.82	0.48	-0.69	1.61	Ene.	2.01	0.74	-0.89	1.86
Feb.	1.54	0.74	-0.59	1.69	Feb.	1.81	0.58	-0.62	1.78	Feb.	2.00	0.84	-0.76	2.08
Mar.	1.27	0.56	-0.64	1.19	Mar.	1.49	0.76	-0.72	1.53	Mar.	0.88	0.24	-0.84	0.28
Abr	0.46	0.24	-0.74	-0.04	Abr	0.54	0.27	-0.80	0.01	Abr	0.34	0.22	-0.88	-0.32
May	0.18	0.13	-0.80	-0.49	May	0.21	0.14	-0.84	-0.49	May	0.13	0.13	-0.89	-0.63
Jun	0.09	0.08	-0.82	-0.64	Jun	0.09	0.08	-0.83	-0.66	Jun	0.08	0.08	-0.90	-0.74
Jul	0.10	0.05	-0.91	-0.76	Jul	0.10	0.05	-1.00	-0.86	Jul	0.08	0.05	-1.03	-0.90
Ago	0.15	0.04	-0.93	-0.74	Ago	0.14	0.04	-1.02	-0.83	Ago	0.13	0.04	-1.05	-0.89
total	7.96	2.96	-9.58	1.34	total	9.49	3.42	-10.16	2.74	total	8.54	3.13	-11.29	0.39

lt/seg 42.41**lt/seg 87.03****lt/seg 12.35**

ANEXO 6

MES	EVAPORACION MEDIA 2013 (mm)
SEPT	132.12
OCT	127.48
NOV	103.60
DIC	88.42
ENE	81.10
FEB	74.89
MAR	82.44
ABR	94.33
MAY	102.41
JUN	104.32
JUL	116.11
AGO	118.31

Valores de RA en cal/cm² día

LATITUD SUR	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
0	885	915	925	900	850	820	830	870	905	910	890	875	
10	965	960	915	840	755	710	730	795	875	935	955	960	
aprox. Latitud	13	981.5	964.5	906	817.5	723.5	674	695.5	768	858.5	933.5	968.5	979.5
20	1020	975	885	765	650	590	615	705	820	930	1000	1025	
30	1050	965	830	665	525	460	480	595	750	900	1020	1065	
40	1055	925	740	545	390	315	345	465	650	840	995	1080	
50	1035	865	640	415	250	180	205	325	525	760	975	1075	

MES	EVAPORACION MEDIA 2030(mm)	velo.viento (m/sec)	es	e (LocClim)	Rh =e/es	Ra(radiacion solar)	n/D	E1	E2	E3
SEPT	133.50	2.71	39.19	10.94	0.28	859	0.50	-2.4	4.15	2.7
OCT	128.96	2.71	41.32	8.49	0.21	934	0.35	-1.45	3.3	2.31
NOV	111.00	2.21	44.71	2.37	0.05	969	0.40	-2.6	4.1	2.2
DIC	93.00	2.21	39.48	12.24	0.31	980	0.45	-2.2	3.6	1.6
ENE	88.35	1.81	37.80	5.94	0.16	982	0.44	-2.35	3.6	1.6
FEB	79.24	1.81	39.35	12.48	0.32	965	0.47	-2.4	3.65	1.58
MAR	91.45	1.81	39.74	13.91	0.35	906	0.58	-2.3	4	1.25
ABR	102.00	1.60	39.59	9.86	0.25	818	0.66	-2.3	4.05	1.65
MAY	106.95	1.60	30.93	11.32	0.37	724	0.68	-2.1	3.85	1.7
JUN	106.50	1.80	31.35	1.22	0.04	674	0.70	-2.4	3.5	2.45
JUL	128.34	2.21	33.64	5.6	0.17	696	0.76	-2.33	3.84	2.63
AGO	129.89	2.71	26.57	12.64	0.48	768	0.50	-1.7	4.15	1.74

MES	EVAPORACION MEDIA 2090(mm)	velo.viento (m/sec)	es	e (LocClim)	Rh =e/es	Ra(radiacion solar)	n/D	E1	E2	E3
SEPT	145.5	2.71	49.65	10.94	0.22	859	0.50	-2.05	4.25	2.65
OCT	141.98	2.71	52.31	8.49	0.16	934	0.35	-1.85	3.80	2.63
NOV	116.1	2.21	56.55	2.37	0.04	969	0.40	-2.15	3.68	2.34
DIC	115.63	2.21	51.33	12.24	0.24	980	0.45	-2.35	4.22	1.86
ENE	113.46	1.81	49.18	5.94	0.12	982	0.44	-2.05	3.48	2.23
FEB	96.88	1.81	51.16	12.48	0.24	965	0.47	-2.34	3.94	1.86
MAR	106.95	1.81	50.34	13.91	0.28	906	0.58	-2.45	4.25	1.65
ABR	111.9	1.60	50.15	9.86	0.20	818	0.66	-2.65	4.43	1.95
MAY	113.77	1.60	39.30	11.32	0.29	724	0.68	-2.13	4.05	1.75
JUN	114.9	1.80	40.89	1.22	0.03	674	0.70	-2.38	3.85	2.36
JUL	132.06	2.21	43.84	5.6	0.13	696	0.76	-2.60	4.16	2.70
AGO	134.23	2.71	34.74	12.64	0.36	768	0.50	-1.65	4.13	1.85