

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

**BALANCE HÍDRICO DE LA LAGUNA PARÓN, HERRAMIENTA
PARA LA GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS
(GIRH) EN LA CUENCA DEL RÍO SANTA**

Tesis para optar el Título de **INGENIERO CIVIL**, que presenta el bachiller:

Mónica Untiveros Lázaro

ASESORA: Dra. Iris Violeta Domínguez Talavera

Lima, noviembre del 2011

RESUMEN

En el presente trabajo de tesis se desarrolla un balance hídrico de la laguna Parón, localizada en la provincia de Huaylas, departamento de Ancash. Esta laguna se encuentra en el Parque Nacional Huascarán (Área Natural Protegida) y en la cuenca hidrográfica del río Santa.

La laguna Parón tiene un origen de tipo glaciar, por ese motivo se toma en consideración aspectos de los glaciares. Así mismo, al conocerse estudios realizados en la Cordillera Blanca que indican que el calentamiento global afecta directamente a las lagunas de origen glaciar, como es el caso de la laguna Parón, se consideró a este factor en el balance hídrico.

Para incluir los aspectos antes mencionados, se decide plantear el balance hídrico en tres escenarios de aprovechamiento. El primer escenario, denominado “*escenario actual 2010*”, situado en el año 2010, en este se realiza un balance hídrico mes a mes; el segundo, denominado “*escenario 2030*”, situado en el año 2030, en el que se realiza un balance hídrico anual, finalmente, el tercer escenario se denomina “*escenario 2090*”, situado en el año 2090, en el que se realiza un balance hídrico mes a mes. Los tres escenarios se desarrollan en un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Se ha considerado a la micro cuenca Parón como el área aportante a la laguna del mismo nombre. Los parámetros considerados en el balance hídrico fueron: La precipitación sobre la laguna, la escorrentía (diferenciada como escorrentía glaciar y escorrentía no glaciar) y la evaporación sobre la laguna.

Se presenta el balance hídrico de la laguna Parón como propuesta para el aprovechamiento sostenible de sus recursos hídricos en el contexto actual del calentamiento global.

Es importante resaltar que el presente trabajo ha sido compartido con la población local, a través de talleres de capacitación en los que se trataron conceptos como ciclo hidrológico, cuenca hidrográfica, balance hídrico, calentamiento global, entre otros.

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Título : "Balance hídrico de la Laguna Parón, herramienta para la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) en la cuenca del Río Santa".
 Área : Hidráulica -Investigación-
 Asesora : Dra. Iris Domínguez
 Alumna : MÓNICA UNTIVEROS LÁZARO
 Código : 2000.2405.9.412
 Tema N° : 47
 Fecha : Lima, 14 de abril de 2009



ANTECEDENTE

La Laguna Parón se encuentra aproximadamente a 4200 msnm, en el Parque Nacional Huascarán, que es Área Natural Protegida en el Perú (ANP). La laguna se alimenta de glaciares en la cuenca hidrográfica del Río Santa en la Región Ancash. El agua de la laguna es usada para el abastecimiento poblacional, para la generación de electricidad, así como en agricultura y en minería.

En julio de 2008, los campesinos de la Comunidad Cruz de Mayo tomaron por fuerza la toma de derivación hacia la central hidroeléctrica del Cañón del Pato, reduciendo el caudal de 5 m³/s a 1 m³/s, afirmando que el nivel de agua en la laguna ha venido descendiendo alarmantemente en los últimos años. En este contexto, la Comisión Episcopal de Acción Social (CEAS) tomó contacto con el área de Hidráulica de la especialidad de Ingeniería Civil de la Universidad Católica, solicitando asesoramiento para el manejo de la laguna así como capacitación para la Comunidad Campesina Cruz de Mayo, comunidad que CEAS pastorea.

OBJETIVO

El objetivo principal de la tesis es presentar una propuesta para el aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos de la Laguna Parón, basada en una investigación, cuyos resultados se aplicarán en la implementación de la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) en la cuenca del Río Santa, en particular, en la cuenca del Río Lullán-Parón, tributario del Río Santa. Para lo cual, se investigará escenarios de aprovechamiento en base al balance hídrico mensual de la laguna, tomando en cuenta procesos del ciclo hidrológico así como los usos del agua de la laguna.

El trabajo a realizar incluye el desarrollo de un Sistema de Información Geográfica (SIG), que permita modelar la laguna para presentar los resultados del balance hídrico de manera georreferenciada así como para proveer a la población local de una herramienta útil para la gestión integrada del agua en la cuenca del Río Lullán-Parón.

Handwritten signature

Handwritten signature

FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍAPONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

METODOLOGÍA

1. Se realizará una revisión de información y estudios existentes sobre la Laguna Parón en la Región Ancash.
2. Se visitará la Laguna Parón en coordinación con CEAS, para recoger información in situ.
3. En base a la revisión y a las visitas de campo, se realizará el balance hídrico de la Laguna Parón, mes a mes durante años hidrológicos, que permitan investigar diferentes escenarios de aprovechamiento.
4. Se desarrollará un Sistema de Información Geográfica, éste será conceptualizado para modelar la laguna y para presentar los resultados del balance hídrico, así como para ser usado por la población local como herramienta estratégica en la gestión integrada del agua en la cuenca del Río Lullán-Parón.
5. Se elaborará la memoria descriptiva con una extensión máxima de 100 páginas.

V°B° *A.S.D.*
Ing. Ángel San Bartolomé

INDICE

INDICE

CAPITULO 1: INTRODUCCION Y OBJETIVO

1.1	Introducción	4
1.2	Objetivo	5

CAPITULO 2: GESTION INTEGRADA DE LOS RECURSOS HIDRICOS (GIRH)

2.1	Principios	7
2.2	Estrategias	9

CAPITULO 3: RECURSOS HÍDRICOS Y DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN EN LA ZONA EN ESTUDIO

3.1	Caracterización de la zona de estudio	13
3.2	Caracterización física de la laguna Parón	16
3.3	Tejido social y organización del trabajo en la zona	18
3.4	Usos del agua proveniente de la laguna Parón	19
3.5	Sobre la gestión de la laguna Parón	23
3.6	Impacto del cambio climático sobre la laguna Parón	24
3.7	Disponibilidad de Información en la zona de estudio	25
3.8	Disponibilidad de Información de los escenarios de investigación planteados	26
3.9	Inconvenientes relacionados con la información	29
3.10	Análisis de precipitaciones (P)	29

3.11	Análisis de la escorrentía (RO)	33
3.12	Estimación de la evaporación (E)	44
3.13	Estimación de la evapotranspiración (ET)	51
3.14	Infiltraciones (F)	51

CAPITULO 4: SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA (SIG)

4.1	Generalidades sobre el software	53
4.2	Modelación de la micro cuenca de la laguna Parón	54
4.3	Parámetros de la micro cuenca Parón	60
4.4	Consideraciones referidas a la escorrentía glaciar	61
4.5	Consideraciones referidas a la escorrentía no glaciar	66

CAPITULO 5: BALANCE HIDRICO DE LOS ESCENARIOS DE INVESTIGACIÓN USANDO SIG

5.1	Balance hídrico y escenarios de investigación	78
5.1.1	Escenario “actual (2010)”	79
5.1.2	Escenario “año (2030)”	85
5.1.3	Escenario “año (2090)”	87

CAPITULO 6: RESULTADOS DEL BALANCE HIDRICO

6.1	Resultados	92
-----	------------	----

CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y PROYECCION

FUENTES EMPLEADAS	101
--------------------------	-----

CAPITULO 1

INTRODUCCION Y OBJETIVO



Vista del río Lullán en la Sub cuenca Parón Lullán- Caráz. (Foto: Mónica Untiveros Lázaro. Fecha: Junio del 2009)

"Una visión sin acción es sólo un sueño, una acción sin visión sólo pasa el tiempo, una visión con una acción cambia el mundo". Nelson Mandela

1. INTRODUCCION Y OBJETIVO

1.1 Introducción

El presente trabajo de tesis pretende contribuir con la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) en la cuenca del río Santa, en particular, en la subcuenca del río Lullán, tributario del río Santa. Este río tiene sus orígenes en la laguna Parón, cuya cota superficial alcanza en promedio 4185msnm y con 48 km² de superficie del espejo de agua en promedio. Sus aguas vienen siendo utilizadas para uso doméstico, agrícola y desde el año 1993 para uso de generación eléctrica. Es la laguna más grande de la Cordillera Blanca y tiene una participación glaciar considerable, por lo que el calentamiento global determinará su futuro en los próximos 50 años.

En este contexto se genera la necesidad del conocimiento acerca de la cantidad y calidad de agua disponible en la laguna; y cuánto de esta agua puede ser utilizada para los diferentes usos sin provocar consecuencias negativas a la calidad de vida y exista armonía con el medio ambiente. Para identificar los usos y los usuarios de dicho recurso, es necesario considerar los principios de la GIRH.

Se realiza un balance hídrico en un escenario actual basado en los datos de los abundantes estudios realizados en la zona hasta el 2010; un balance hídrico para un escenario en el año 2030, basado en un modelo regional generado por el SENAMHI (para la cuenca del Río Santa) 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, 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 subcuenca del río Lullán-Parón. Se cuenta con datos e información de la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos UGRH de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú SENAMHI, Instituto Geofísico del Perú IGP, Autoridad Local del Agua ALA Huaraz y del Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI.

1.2 Objetivo de la tesis

El objetivo es formular una tesis para el aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos de la laguna Parón, sustentada en una investigación, cuyos resultados se recomendaría aplicar en la implementación de la gestión integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) en la cuenca del río Santa, en particular, en la subcuenca del Río Lullán - Parón, tributario del río Santa. Para lograr este objetivo se llevará a cabo una investigación y discusión sobre los diversos escenarios del aprovechamiento en base al balance hídrico de la laguna, en base a los procesos del ciclo hidrológico así como los usos del agua de la laguna.

Organización del trabajo

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

- Capítulo II Se desarrolla aspectos básicos de la gestión integrada: Principios y Estrategias.
- Capítulo III Se desarrolla la caracterización de la zona en estudio, además del análisis de los procesos considerados.
- Capítulo IV 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 V Balance hídrico de la laguna Parón, en los tres escenarios planteados.
- Capítulo VI Se presentan los resultados obtenidos del balance hídrico.
- Capítulo VII Conclusiones y proyecciones.

CAPITULO 2

GESTION INTEGRADA DE LOS RECURSOS HIDRICOS (GIRH)



Vista de C.C. Cruz de Mayo, Caráz, provincia de Huaylas, departamento de (Foto: Mónica Untiveros Lázaro. Fecha: Mayo del 2009).

“Podemos cambiar el mundo y hacer que sea un mundo mejor. Está en tu mano hacerlo realidad.” Nelson Mandela

2. GESTION INTEGRADA DE LOS RECURSOS HIDRICOS (GIRH)

2.1 Principios

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

Según el International 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 a una gestión de riego y 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 Dublin presentada en "International Conference on Water and the Environment (ICWE)" (Conferencia Internacional sobre Agua y Medio Ambiente) en Dublin, 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 abastecimiento, la gestión y la protección del agua.

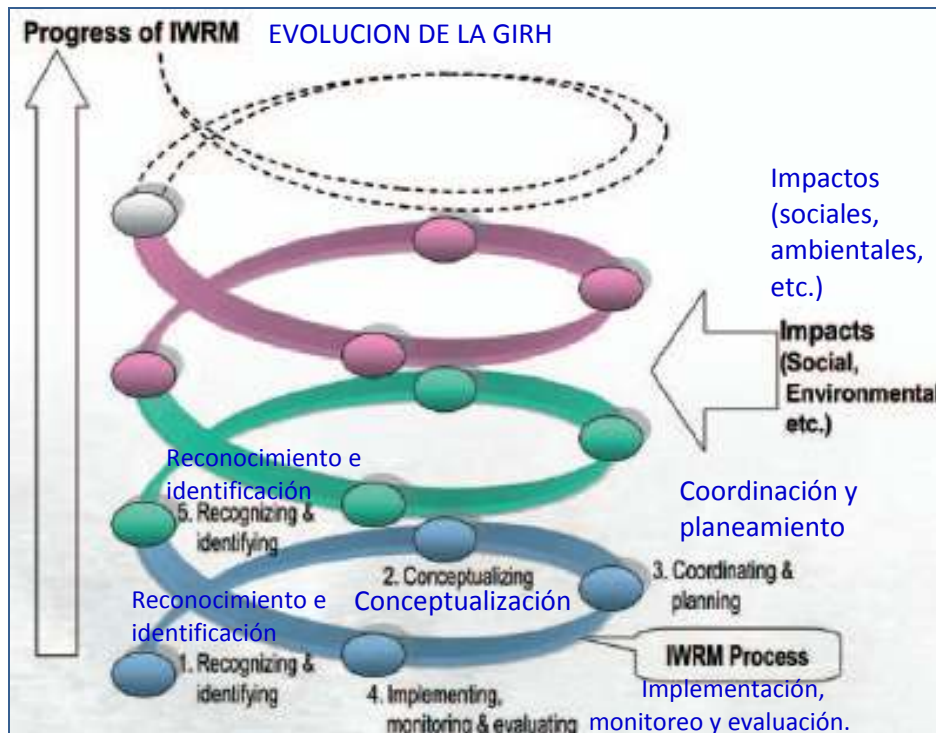
Principio No. 4: El agua tiene un valor económico en todos sus diversos usos en competencia a los que se destina y debería reconocérsele como un bien económico. (WWAP 2011)

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 reguladoras e incluso autoridades políticas del más alto nivel, todos ellos coordinados de manera multisectorial por lo que “constituye un reto para las prácticas, actitudes y conocimientos profesionales actuales” (GWP 2009). Es necesario resaltar que el proceso consultivo y continuo a los actores involucrados a cerca de sus necesidades y objetivos es un aspecto fundamental en la evolución de la GIRH.

En la figura 2.1 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. Las etapas dentro del proceso continuo de evolución de la GIRH (IWRM por sus siglas en ingles) son: Reconocimiento e identificación (“reconognizing & identifying”); conceptualización (“conceptualizing”); coordinación y planificación (“coordinating & planning”); implementación, monitoreo y evaluación (“implementing, monitoring & evaluating”) y reconocimiento e identificación (“recognizing & identifying”) (WWAP 2008).

Figura 2.1: GIRH espiral y su proceso. Fuente: (WWAP 2008: 9)



Según las lecciones clave señaladas en el “Report for Lake Basin Managers and Stakeholders”, las personas son el centro de la gestión de una laguna. Ellos son los que utilizan los recursos de la laguna, los que crean y sufren de los problemas, los que trabajan en las instituciones y los que se ven afectados por las decisiones tomadas en la gestión de un lago (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 efectiva gestión de una laguna lago (International Lake Environment Committee Foundation 2005:xii):

- Instituciones adecuadas para la implementación de políticas de cambio.
- Políticas eficientes, efectivas y **equitativas**.
- Participación significativa de todos los interesados involucrados.
- 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 GIRH es complejo, por lo que requiere de 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 para la GIRH en la subcuenca Lullán-Parón aportando en lo concerniente del ítem “c”, “d” y “e”.

Un factor importante para la realización de los componente mencionados es el traslado de información al actor que menos oportunidad tiene de acceso a ella. En el caso específico de la laguna Parón se considera necesario aportar con el alcance de información valiosa de manera sencilla y didáctica a la comunidad campesina Cruz de Mayo que puebla la parte media y alta de subcuenca. En el Anexo 03 se comenta las actividades realizadas en la C.C. Cruz de Mayo para aportar a este fin (ver figura 2.2).

Se resalta que al inicio del presente trabajo, en el año 2008, la laguna Parón tenía una administración privada unilateral que desencadenó en un conflicto social el año 2008, sin embargo durante los dos últimos años la situación ha cambiado trascendentalmente. En la actualidad existe una mesa de diálogo en la que se comparte alcances para el desarrollo un plan integrado de gestión de recursos hídricos de la subcuenca Lullán Parón.

Figura 2.2: Talleres de capacitación en Gestión Integrada de Recursos Hídricos en la subcuenca Lullán Parón realizados en la Comunidad Campesina Cruz de Mayo en el mes de Junio del 2009. (Foto: Mónica Untiveros Lázaro. Fecha: Junio del 2009)



CAPITULO 3

RECURSOS HÍDRICOS Y DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN EN LA ZONA EN ESTUDIO



Niños de Comunidad Campesina Cruz de Mayo, sector Huandoy. (Foto: Mónica Untiveros Lázaro. Fecha: Junio del 2009)

"No puede haber una revelación más intensa del alma de una sociedad que la forma en que trata a sus niños" Nelson Mandela

3. RECURSOS HÍDRICOS Y DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN EN LA ZONA EN ESTUDIO

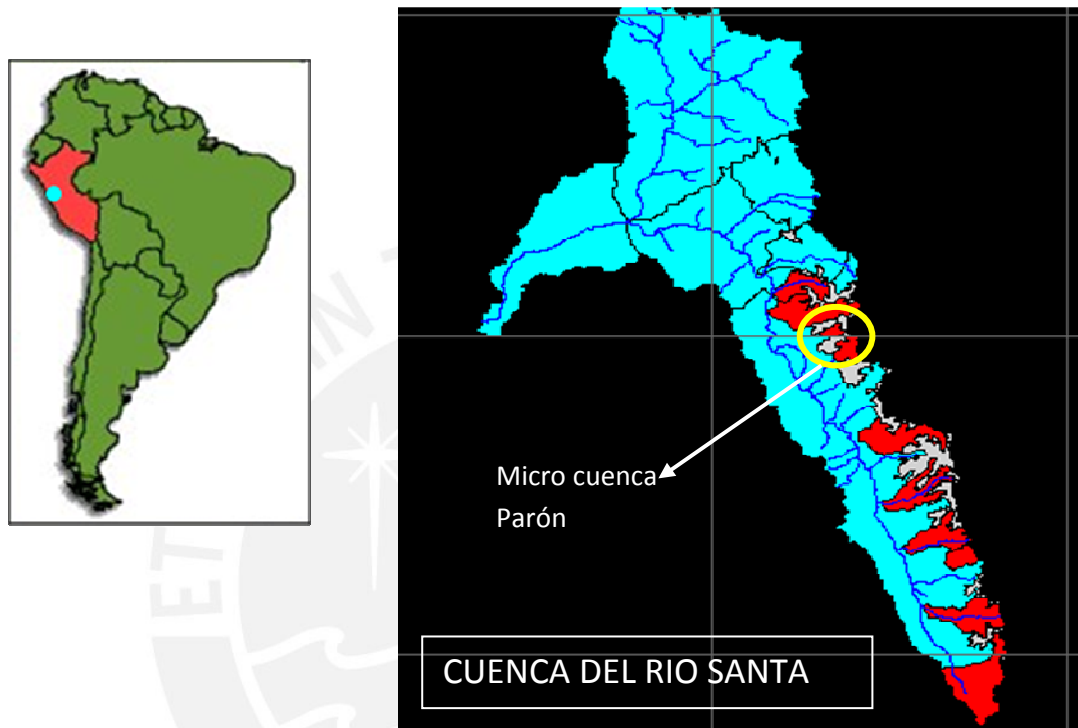
3.1 Caracterización de la zona de estudio

- **Localización geográfica**

La cuenca del Río Santa se encuentra en el norte del Perú y es la más extensa de la vertiente occidental de la Cordillera en el Perú. Delimitada por la Cordillera Blanca y la Cordillera Negra, sus aguas discurren de sur a norte hasta desembocar perpendicularmente en la costa peruana.

A lo largo de la Cordillera Blanca se ubican subcuencas de origen glaciar que alimentan a la cuenca del río Santa amortiguando sus caudales en época de estiaje. Una de estas es la subcuenca de Parón - Lullán cuya área de drenaje comprende hasta el punto de confluencia en el río Santa, y su principal micro-cuenca aportante es la micro-cuenca de la laguna Parón. Se denominará micro-cuenca Parón al área de drenaje que comprende hasta el punto de acumulación de morrena que represa la laguna.

Figura 3.1: Ubicación de la laguna Parón. Figura generada a partir de la figura tomada de la presentación “Futuro de los recursos Hídricos en la Parte Alta de la Cuenca del Santa” de Suarez W. presentada en Seminario de glaciología realizado en el INRENA en Julio del 2008.



- Clima

La superficie libre de la laguna se encuentra aproximadamente en los 4200 msnm y pertenece a la región puna, según la clasificación de las regiones del Perú de Pulgar Vidal, con un clima muy húmedo y frígido. Las estaciones secas (mayo - noviembre) y húmedas (diciembre-abril) están bien definidas. La temperatura media anual es de 6.6 °C, con una humedad relativa en promedio anual de 68% y una precipitación media anual de 800mm-900mm.

- Geología

La laguna Parón se encuentra, casi en su totalidad, sobre el afloramiento de roca intrusiva correspondiente al batolito de la costa. La histología predominante consiste en granodiorita y tonalita (INGEMMET, 1989). En la zona también existen depósitos fluvio-glaciares que son acumulaciones morrénicas, producto de una sistemática

desintegración de la roca base debida a la acción mecánica del hielo en su movimiento.

A lo largo de la Cordillera Blanca se han formado valles profundos y estrechos, como efecto de las glaciaciones y los efectos erosivos de los glaciares. En uno de estos valles se encuentra la laguna Parón llenando una pequeña cuenca erosionada por los glaciares y represada por morrenas en su lado frontal. Este tipo de morrena que represa a la laguna está constituida principalmente por una mezcla heterogénea y termométrica de materiales tanto por su tamaño y composición, encontramos gravas, arcillas, arenas con inclusiones de clastos mayores que las gravas de formas angulosas a subredondeadas pero compactas de profundidad y permeabilidad variable (INGEMMET, 1989).

- Historia del túnel de descarga

Hasta fines de la década de los 60' la descarga se daba por filtraciones naturales a través de la morrena y en ocasiones por rebose. Luego de la catástrofe ocurrida en Yungay en 1970, en la que un sismo produjo el desprendimiento de un bloque de hielo que a su vez ocasionó una avalancha sobre la población, se generó un programa nacional de control de lagunas glaciares. Para el año 1972 ya se había construido un túnel de regulación de 1157 m de longitud en la margen derecha de la laguna (dentro del batolito de granodiorita) cuyo objetivo era el de regular el nivel de embalse, previniendo cualquier situación de peligro para la ciudad de Caráz (Suarez 2008: 10).

Desde 1980 ELECTROPERU inició trabajos con el fin de usar las aguas de la laguna para alimentar a la estación hidroeléctrica del Cañón del Pato y no fue hasta 1993 que se realizó una gestión real de las aguas. En esta etapa se define la cota de seguridad de la laguna: 4185 msnm como cota máxima de embalse. Este valor fue definido como máximo permisible debido a que a mayores niveles del espejo de laguna origina infiltraciones en el túnel de regulación y también a través de la morrena que se encuentra al frente de la laguna. De esta manera se deja una zona de seguridad de 15 m hasta la zona por donde antiguamente rebosaba la laguna, esto debido a que las filtraciones se dan en estos primeros 15 metros (Suarez 2007: 11).

3.2 Caracterización física de la laguna Parón

La laguna Parón se encuentra en la provincia de Huaylas a 100 km al norte de Huaraz, con coordenadas 8°59'S, 77°41'W y la superficie libre de la laguna se encuentra en la cota de 4185 msnm aproximadamente. Es la laguna más grande de la Cordillera Blanca en el Parque Nacional Huascarán, Área Natural Protegida en el Perú (ANP). La laguna es de origen glaciar y se alimenta de deshielos de los nevados circundantes y por las aguas de la laguna Artesoncocha, cuya superficie libre de la laguna se encuentra en la cota 4300 msnm aproximadamente, la que a su vez es alimentada de de los glaciares también. En la figura 3.2 se detalla información adicional de la laguna Parón. “La laguna Parón es alimentada por una cuenca baja de 35.87 km² donde el 34% de superficie es glaciar y por los aportes de la laguna Artesón” (Suarez 2008).

Los nevados que circundan a la laguna Parón son las siguientes: Nevado Huandoy, Chacararaju, Pirámide, Artesonraju y Senal Aguja. Sus principales características son:

Área máxima del espejo de agua: 42 km² Ancho máximo: 0.82 km
Largo máximo: 3.92 km Prof. Máxima: 68.50 m

Figura 3.2: Corte transversal de la laguna. Esquema adaptado del levantamiento batimétrico y topográfico realizado en el estudio Batimetría de la Laguna Parón, Huaráz realizado por la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos UGRH en Setiembre del 2007.Huaraz.

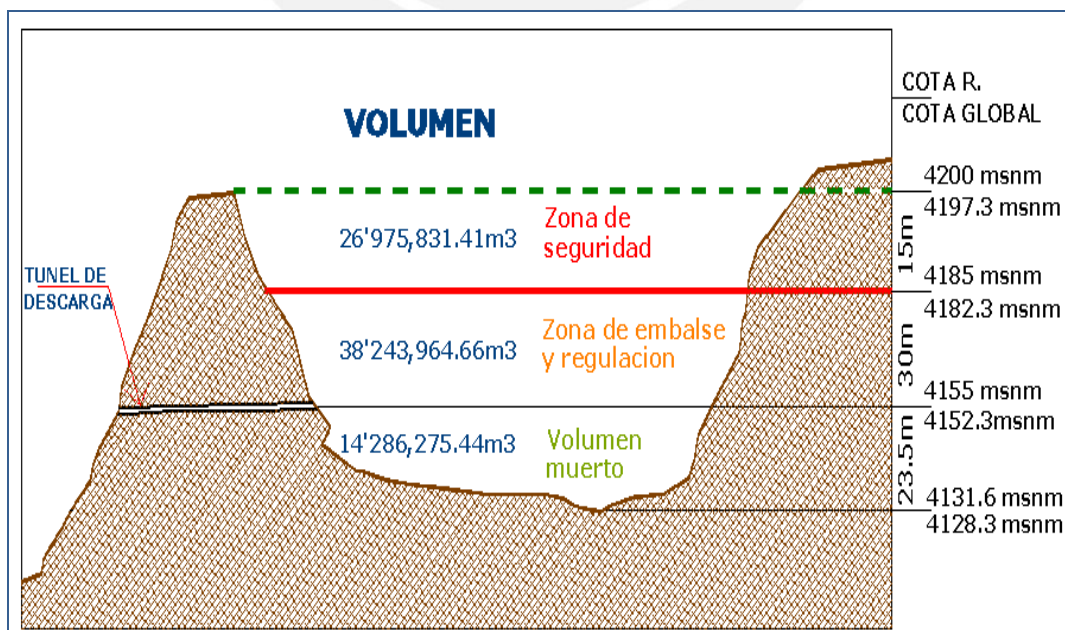


Figura 3.2.1: Arriba: Vista de la morrena que embalsa naturalmente a la laguna Parón. Abajo: Vista de la salida del túnel de descarga por donde es regulada la laguna Parón y vista del vertedero por donde se evacúa el agua proveniente de la laguna Parón hacia el río Parón. (Foto: Mónica Untiveros Lázaro. Fecha: Febrero del 2009)



3.3 Tejido social y organización del trabajo en la zona

- Tejido Social

La Comunidad Campesina (C.C.) Cruz de Mayo nació en el marco de la reforma agraria del año 1969. En la actualidad viven en dicha comunidad unas 5000 personas aproximadamente, de las cuales 750, aproximadamente, son comuneros activos, es decir que tienen derecho a voto en la toma de decisiones de la comunidad campesina y suelen ser los jefes de cada familia.

La C.C. se encuentra dividida en 21 sectores (caseríos). Estos sectores se encuentran ubicados a lo largo de las riberas del río Lullán (margen derecha y margen izquierda). En los territorios de la C.C. se encuentran 4 de las 12 tomas de agua existentes en la subcuenca Lullán Parón. Las 12 tomas de agua ubicadas a lo largo del río Lullán son administradas por la comisión de regantes Parón Lullán.

Su organización interna contempla la existencia de un presidente de la comunidad encargado de dirigir la Asamblea General cuya función es la toma de decisiones importantes sobre sus terrenos. Cada sector tiene su delegado de sector quien representa a su sector frente a la asamblea general.

- Organización del trabajo en la zona

Los viajes a campo del presente trabajo empezaron a fines del año 2008 en coordinación con CEAS (Comisión Episcopal de Acción Social). Durante el año 2010 los viajes se realizaron en coordinación con la C.C. directamente. Los viajes de trabajo a la zona tuvieron los siguientes objetivos:

- Acompañar y asesorar a la C.C. Cruz de Mayo en las visitas técnicas, organizadas por entidades como el Administrador Técnico de Riego -ATDR (actual Autoridad Local de Agua- ALA) y la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos - UGRH del INRENA (hoy parte de la Autoridad nacional del Agua – ANA) hasta el mes de marzo del año 2009 (véase Anexo 01).
- Búsqueda de posibles filtraciones de la laguna a través de la morrena de la laguna (véase Anexo 03).

- Talleres de capacitación a la C.C. Cruz de Mayo, a la parte baja de la cuenca (zona agrícola conocida como la campiña) y a algunos colegios de la zona (véase Anexo 03).
- Acompañamiento a la C.C. Cruz de Mayo como apoyo técnico en la reuniones de instalación del Comité de Gestión y Comité de Operación formados en el marco del “Plan de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos de la Sub Cuenca Lullán Parón” propuesto por la Autoridad Nacional del Agua durante los años 2009 y 2010 (véase Anexo 03).

3.4 Usos del agua proveniente de la laguna Parón

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

- Uso doméstico

En cuanto al uso domestico rural

En la parte alta de la cuenca hay tuberías de conducción (abastecimiento conocido como “agua entubada”) que constan de reservorios que almacenan el agua directamente de manantes y son potabilizadas usando únicamente dosis de cloro. Los pobladores fueron capacitados por instituciones estatales (FONCODES) y de apoyo social (CARE) en el uso y potabilización de las aguas, así como en el mantenimiento de la estructura relacionada. Gran parte de los 21 sectores que conforman la C.C. Cruz de Mayo, con el sistema descrito anteriormente, sin embargo un sector de la población toma agua directamente del canal que viene de la laguna Parón.

En cuanto al uso domestico urbano

En la parte baja de la sub cuenca, el río Lullán suministra de agua potable a la ciudad de Caraz. La entidad prestadora de servicios EPS Chavín es la institución regional que administra la red de distribución urbana de agua potable. La calidad de este recurso depende exclusivamente de las condiciones de descarga aguas arriba, debido a la configuración geográfica de la zona. La Unidad de Glaciología de Huaráz maneja como dato que dejando escurrir a través del túnel de descarga un caudal superior a los 4 m³/s, los niveles de turbiedad del agua presentados en la planta de captación para agua potable, son mayores a los permitidos para el consumo humano.

Perspectivas del uso doméstico: Se requiere agua de calidad.

- Uso agrícola y ganadero

Los productos cultivados en la parte alta de la sub cuenca son en mayoría para el autoconsumo; entre los que se encuentran productos tradicionales como maíz, papa, trigo, cebada, chocho etc. En la parte baja de la cuenca, la tendencia es cultivar productos no tradicionales como alcachofa, tomate, flores, etc., además de los productos tradicionales, El ganado vacuno, ovino, porcino y caprino son los principales dentro de su actividad ganadera, además de la crianza de animales menores.

El estado de la infraestructura de riego como tomas y canales y la estabilidad de la ribera del río Lullán está supeditado a un adecuado manejo del caudal de descarga en la laguna y al correcto mantenimiento de dicha infraestructura. Los caudales descargados anteriormente ($8 \text{ m}^3/\text{s}$ y $5 \text{ m}^3/\text{s}$) han ocasionado un daño sistemático a las tomas (sobre todo a las tomas ubicadas en la parte alta). De la misma manera las riberas del río Lullán (desprotegidas) han sufrido un grave deterioro, pues los derrumbes de los muros de contención han ocasionado que pastizales usados con fines pecuarios se vean inundados y cubiertos de piedras y lodo.

Perspectivas del uso agrícola: El agua es un instrumento y lo principal es la producción de sus productos.

- Uso energético

Hasta fines de la década de los 60', la laguna tenía un funcionamiento natural y el uso que se le daba a las aguas que descargaban de la laguna Parón eran exclusivamente para consumo humano y para la agricultura. A partir de la puesta en funcionamiento del túnel de descarga "una verdadera gestión del uso del agua comenzó en 1992" (SUAREZ, 2008). Las descargas dependían de la necesidad hídrica de la Central Hidroeléctrica Del Cañón del Pato, dándole la denominación de "embalse Parón". Se descargaba inicialmente volúmenes de hasta $8 \text{ m}^3/\text{s}$. En el año 2006 se regula este caudal bajándolo a $5.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (Véase Anexo 01). En Julio del 2008 el conflicto social surgido a partir de una criticada gestión de la laguna Parón desencadenó en la expulsión del personal de la empresa

Hidroeléctrica de las instalaciones del túnel de descarga de la laguna. En la actualidad el volumen que la hidroeléctrica podrá usar para con fin hidroenergético se encuentra en evaluación.

Perspectivas del uso energético: Ver la manera de generar la mayor cantidad de energía a partir del agua

- Uso de los ecosistemas y del turismo

La laguna Parón es promocionada como destino turístico tanto por su belleza y la de sus nevados circundantes, así como de todo el recorrido hasta ella (el recorrido a pie dura 6 horas aproximadamente y hora y media en auto). Entonces se considera también el agua usada para mantener los ecosistemas existentes de los que depende el turismo. En Junio del 2009 la municipalidad provincial de Huaylas, mediante ordenanza municipal, decretó a la laguna zona turística intangible con la intención de que la demanda generada por el sector turismo sea considerada al momento de hacer el balance hídrico, es decir que el espejo de agua no baje tanto, pues la laguna pierde el atractivo. Adicionalmente el 17 de Setiembre del año 2009 se promulgó la ley General del Turismo declarando de interés nacional esta actividad y la consagra como política de estado para el desarrollo del país.

Figura 3.3: Vista de la laguna Parón en dos momentos diferentes. Arriba: En noviembre del 2008, cuando como consecuencia del conflicto social se suspendió el uso hidroenergético del recurso hídrico.



Perspectivas del uso turístico: Cuanto más agua tenga la laguna será más atractiva, respetando el límite a cumplir de la cota de seguridad.

- Uso minero

En el territorio de la C.C. Cruz de Mayo ya existen concesiones entregadas a compañías mineras. Las actividades se encuentran ahora en una etapa de exploración, sin embargo la C.C. Cruz de Mayo aún no autoriza el uso de sus territorios (véase Anexo 02). Las cantidades de agua usadas en la etapa de exploración son mínimas, tal como muestran los estudios de impacto ambiental de esta etapa. Un nuevo conflicto social se está formando en torno a este tema.

3.5 Sobre la gestión de la laguna Parón

La laguna Parón fue administrada por el antiguo Administrador Técnico de Riego (ATDR) hoy Autoridad Local del Agua (ALA). Esta entidad era la encargada de “administrar los recursos de agua y suelo en concordancia con las realidades hidrológicas, agrícolas y climáticas” (D.S. N° 018-2003-AG.: Art. 27) y dar permisos de usos de aguas para diversos fines. En el anexo 01 se señalan las diversas resoluciones que daban permisos de uso de agua para el caso específico del uso energético, uso que requería de grandes cantidades. Adicionalmente no se encontró información de estudios técnicos que permitan conocer si el administrador de riego local conocía de los efectos que ocasionaba el desembalse (a través del túnel de derivación) de caudales de 8 m³/s ó 5.5 m³/s sobre las riberas del río Lullán y sobre las estructuras de captación de agua pertenecientes a terceros. Tampoco se encontró información de los balances hídricos en los que se basó el Administrador técnicos de riego de ese entonces para poder administrar el recurso hídrico.

Finalmente, debido a esta gestión de las aguas de la laguna durante largos años surgió un conflicto social con la C.C. Cruz de Mayo que llegó a su punto más alto cuando en julio del 2008 la población liderada por miembros de la C.C. Cruz de Mayo tomó las instalaciones del túnel de descarga de la laguna, expulsando a sus operadores. Durante un año y 7 meses el caudal de salida a través de la compuerta de regulación estuvo restringido a 1 m³/s y el nivel del agua sobrepasó el nivel de seguridad en aproximadamente 12 m, generando una situación de riesgo para la población de la ciudad de Caraz. En el mes de febrero del 2010 y luego de arduas negociaciones se llegó a descargar la laguna Parón hasta su cota de seguridad (véase Anexo 1). A la fecha de entrega del presente trabajo, las mesas de diálogo en torno a una gestión integrada y

responsable del recurso hídrico de la subcuenca Lullán –Parón aun no definen los lineamientos a seguir en la solución definitiva del problema.

3.6 Impacto del cambio climático sobre la laguna Parón

En las últimas décadas se vienen produciendo cambios en la atmósfera y superficie terrestre que han afectado al balance de energía mundial y que a su vez han modificado el clima. El aumento en las concentraciones de CO₂ representa uno de esos cambios, y según el Cuarto Informe del Panel Intergubernamental del Cambio Climático, “es muy probable que los incrementos en los gases de efecto invernadero antropogénicos (incluido el CO₂) hayan causado la mayoría del incremento observado en las temperaturas mundiales promedio desde mediados del siglo XX” (IPCC, 2007: 62). De la misma manera “es probable que el forzamiento antropogénico haya contribuido a las recientes disminuciones en la extensión del hielo marino ártico” (IPCC, 2007: 63).

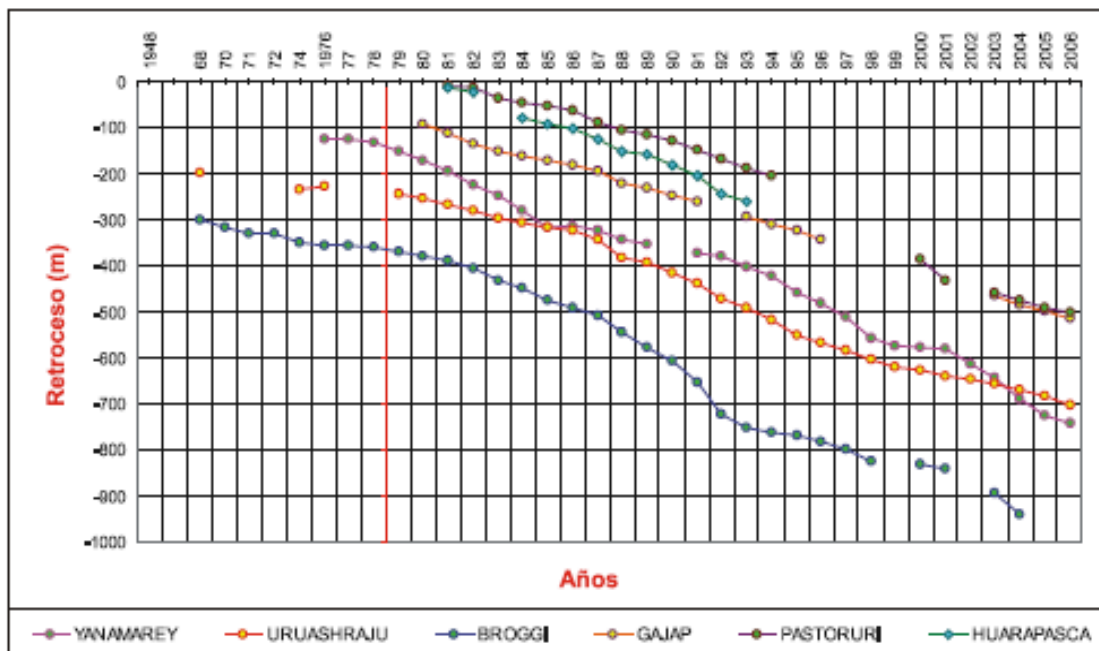
De acuerdo a estudios recientes realizados por especialistas e instituciones como el Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú SENAMHI, el Insitut de Recherche pour le developpment IRD y otros que vienen trabajando en la Cordillera Blanca, el calentamiento global que ha experimentado el planeta desde la década de los años 70 ha generado un aumento en los caudales de los ríos de la cuenca del río Santa - que tienen una importante participación glaciar como el río que nace en la laguna Parón. En el Perú, un 30% del área glaciar existente a inicios de la década de los años 70 había desaparecido para el año 2006; la figura 3.4 muestra claramente este comportamiento. “Se estima que para el 2015 ó 2020, todos los glaciares por debajo de los 5,000 metros podrían desaparecer por efecto del cambio climático” (Ministerio del Ambiente: 38).

Dichos hallazgos evidencian la fragilidad de esta cuenca ante el proceso de calentamiento global que viene experimentando el planeta. En un futuro cercano se tendrán mayores caudales entrantes a la laguna Parón debido a la aceleración de la ablación; una vez que ya no se cuente con los glaciares, los caudales entrantes dependerán exclusivamente de las precipitaciones estacionales. En este escenario, el cambio climático representa un gran desafío para la gestión del recurso hídrico debido a que no solo se tendrá que saber con cuánto de agua se cuenta, cuándo y dónde, sino que también a que usos es asignada este recurso.

En cuanto a las percepciones de la población de la zona no ha sido necesario conocer estudios o informes para darse cuenta de que ahora los nevados se encuentran a mayor altura. De la misma manera, se percibe el cambio de intensidad en las precipitaciones, así como un desarreglo en los tiempos de inicio y fin de las mismas. La sensación de calor y frío ha variado en comparación con la de años atrás y esto ha conllevado a la intensificación de efectos, como por ejemplo, los producidos por plagas oportunistas que aprovechan los mencionados cambios climáticos. Existe entonces la necesidad, de realizar un ajuste en los sistemas humanos y naturales como respuesta a futuros cambios en el clima, y en especial el de la disponibilidad del agua.

Figura 3.4: Retroceso glaciar en diversos nevados de la Cordillera Blanca observado en glaciares durante los 30 últimos años (ITDG: 15)

Cuadro 2. Medición del retroceso glaciar en la Cordillera Blanca hasta el año 2006



3.7 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 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.

En la sub cuenca Parón Lullán existen 2 estaciones limnimétricas y una meteorológica, una de las estaciones limnimétricas (estación Parón) recoge datos desde 1949, pero cuenta con una administración privada desde 1993, lo que limita el acceso a dicha información.

En la tabla 3.1 se observa las 3 estaciones que sirvieron de fuente de los datos. Estas son Artesonraju, Artesoncocha y Parón; las dos primeras cuentan con datos desde el 2002, mientras que en caso de la tercera estación se cuenta con datos desde 1949. Cabe resaltar que la existencia de convenios entre entidades nacionales y extranjeras de las estaciones restringe el libre acceso a información completa de estas estaciones.

Tabla 3.1: Estaciones de las que se obtuvo información

Estación Meteorológica Artesonraju	
Latitud	08°58'11.7"
Longitud	77°38'13.6"
Altitud	4811.00 msnm
Propiedad	ANA
Estación Limnimétrica Artesoncocha	
Latitud	08°58'36.8"
Longitud	77°38'40.3"
Altitud	4254.00 msnm
Propiedad	ANA-IRD
Estación Limnimétrica Laguna Parón	
Latitud	09°00'02.6"
Longitud	77°41'08.7"
Altitud	4130.00 msnm
Propiedad	ANA-IRD

3.8 Disponibilidad de Información de los escenarios de investigación planteados

A continuación se definen los escenarios de investigación planteados para el presente trabajo y la información considerada para cada escenario. Se plantea tres escenarios de análisis llamados “escenario actual 2010”, “escenario 2030” y “escenario 2090” que son escenarios planteados para los años 2010, 2030 y 2090 respectivamente. De aquí en adelante se usará las denominaciones; “escenario actual 2010”, “escenario 2030” y “escenario 2090” para referirse a los escenarios de análisis.

- *Escenario actual 2010*

Para este escenario se decidió tomar los resultados obtenidos a partir de los datos cuyo periodo considere como año de fin de toma de datos a los años comprendidos entre el 2000-2007. De la misma manera se usará los resultados de investigaciones publicadas entre los años 2000-2010.

- *Escenario 2030 y escenario 2090*

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

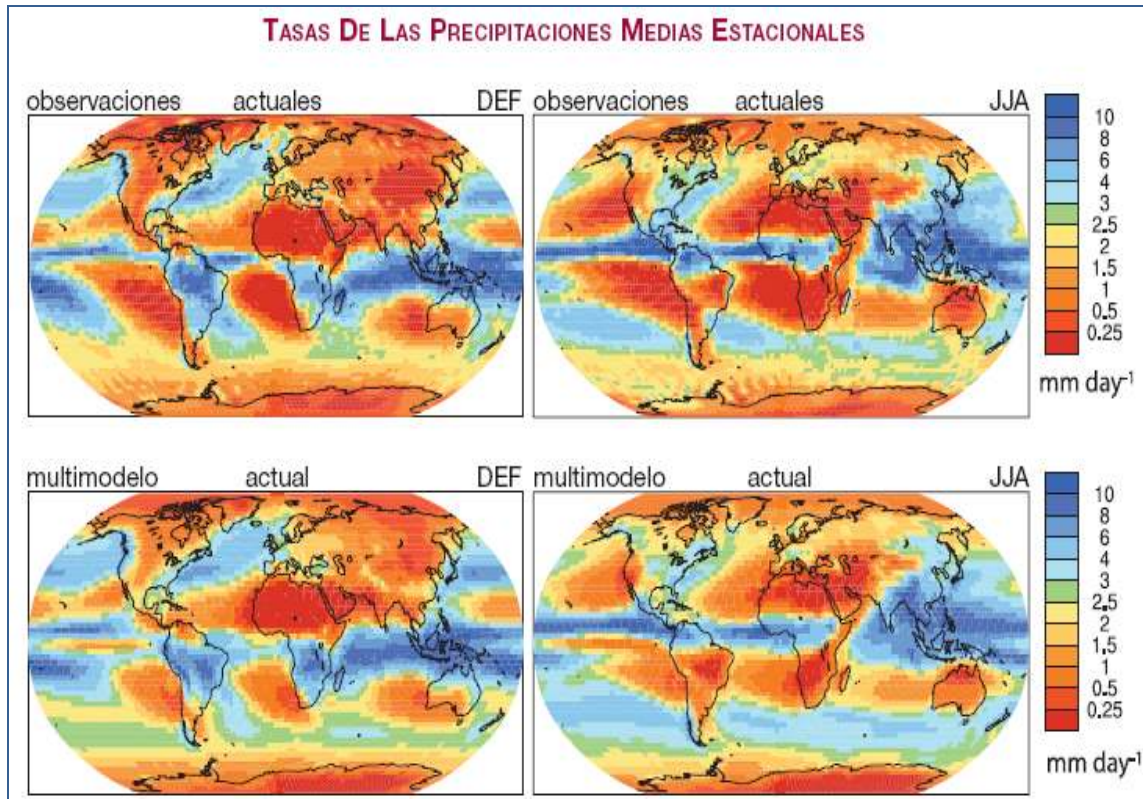
El IPCC, cada 6 años, prepara informes de evaluación del cambio climático, en los que se plantean posibles futuros escenarios del clima, basados en las emisiones futuras de gases invernadero. “Los escenarios comprenden una línea evolutiva similar en lo que respecta a sus características demográficas, 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 los *Modelos de Circulación General de la Atmósfera* (MCG) 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, hace uso de 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 3.5 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 es grande.

Figura 3.5: Tasas de las precipitaciones medias estacionales (IPCC 2007: 79)



Para el “escenario 2030” se tomó los resultados del estudio *Escenarios climáticos en la cuenca del río Santa para el año 2030* realizado por el SENAMHI el año 2009. En este estudio se usó los modelos de circulación global (MCG) generados por el IPCC el año 2007. Debido a que la escala de estos MCG es grande (200Km aprox.), 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 aunque 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.

3.9 Inconvenientes relacionados con la información

Los datos hidrométricos de las tres estaciones fueron facilitados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA). Sin embargo debido a la concesión de la estación Parón información como la de precipitación o datos de la cota del espejo de la laguna Parón no se encuentran a disposición de la misma Autoridad Nacional del Agua. Esto limita a investigadores locales o a la población de la misma zona a conocer el comportamiento de un recurso que se encuentra en su propia localidad. Cabe resaltar que Wilson Suarez, en su trabajo “Balance Hídrico de un Sistema Lacustre de Alta Montaña La cuenca Parón (Cordillera Blanca / Perú)” del año 2008 tuvo acceso a información del concesionario de la laguna Parón que incluía los datos de la compuerta del túnel de derivación de la laguna Parón de propiedad de una empresa de generación eléctrica, descubriendo fallas en los instrumentos de medición utilizados y evidentes errores en la medición de los caudales de salida (Suarez 2007: 26).

Es importante notar que la cuenca del río Santa presenta una de las principales zonas con glaciares del país y por esta razón es una de las cuencas más estudiadas por técnicos en ingeniería, glaciología, geografía etc. Sin embargo, los resultados y recomendaciones de estos estudios o investigaciones suelen quedarse en círculos científicos, gubernamentales, etc. Los pobladores de la zona que serán directamente más afectados, en su gran mayoría, desconocen de información importante que podría ayudarlos a tener un mejor entendimiento de la realidad actual de los recursos hídricos así como asumir un mayor compromiso en su cuidado. De la misma manera ayudaría a las poblaciones a organizarse y empezar a plantearse medidas de adaptación a los cambios que indudablemente se darán con la desaparición de los glaciares.

3.10 Análisis de precipitaciones (P)

La precipitación es entendida como aquellos elementos líquidos o sólidos procedentes de la condensación del vapor de agua que caen de las nubes o son depositados desde el aire en el suelo (Glosario Hidrológico internacional). Es necesario mencionar que se evaluará la precipitación en el tiempo y en el espacio.

3.10.1 Escenario actual (2010)

Se cuenta con valores mensuales medios interanuales desde 1953 hasta 2003 obtenidos a partir del “Estudio Hidrológico Centrales Hidroeléctricas Cañón del Pato y Carhuaquero” (DUKE ENERGY 2004: Anexo 1: 492). Este estudio fue entregado por la empresa de generación eléctrica Duke Energy y fue publicado por la Comisión de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES – SINAC) en el año 2004. También se cuenta con el estudio “Glaciares y Recursos Hídricos en la Cuenca del río Santa”, realizado en el 2007 por Pouyaud B. et al. En ambos estudios se realizó un análisis pluviométrico que muestra una correlación entre ambos.

Según el estudio realizado en la cuenca del río Santa por Pouyaud el 2007, la precipitación esta regionalizada según la altitud a lo largo de la cordillera blanca, lo que indica que en cuencas con grandes desniveles como la micro cuenca Parón se deberían considerar esta relación. Se asume que el valor de la precipitación es el mismo en toda la zona estudiada, Aunque es conocido que la precipitación varía con la altitud, para fines del presente trabajo, esto no se considerará sin incurrir en mayor error.

3.10.2 Escenario 2030

Debido al calentamiento global la evaporación debería aumentar y por lo tanto las precipitaciones; sin embargo, tal como muestran los resultados del estudio realizado por el Senamhi en su estudio “Escenarios climáticos en la cuenca del río Santa para el año 2030”, las tendencias en toda la cuenca del río Santa están regionalizadas.

Las proyecciones realizadas en los estudios de los escenarios climáticos futuros en la cuenca del río Santa, realizadas por el SENAMHI el año 2005, no tomaron en cuenta la evolución de la precipitación, con el afán de asegurar que no se exagere sobre la gravedad del fenómeno (Gallaire 2009). Sin embargo, el año 2009 el SENAMHI, en la Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático, se vuelve a plantear escenarios climáticos en la Cuenca del Río Santa para el año 2020 y 2030 donde se dividió a esta cuenca en tres sectores: Cuenca Baja, entre 0 – 900 msnm; Cuenca Media, entre 900 – 3 300 msnm; y Cuenca Alta, de 3 300 msnm a más, que incluye la cabecera de cuenca y los glaciares con el fin de observar mejor el comportamiento

en cada una de estas zonas. En este estudio último estudio se usó la técnica de la regionalización dinámica para poder realizar la regionalización de los modelos globales y así se obtienen las precipitaciones futuras en toda la cuenca del río Santa. En el Anexo 04 se pueden observar las variaciones porcentuales de las precipitaciones proyectadas al año 2030, ordenadas en trimestres correspondientes a esta Segunda Comunicación Nacional del Cambio Climático.

En toda la cuenca del río Santa se concluyó que la mayor variación en las precipitaciones, tanto en cantidad como en estacionalidad, se dará en la parte media y baja de la cuenca, zonas donde se realizan la mayor parte de las actividades agrícolas (SENAMHI 2009: 51; 52).

A partir de estas variaciones porcentuales trimestrales halladas por el SENAMHI se estimaron las precipitaciones para el escenario 2030 para el presente trabajo. A los valores de precipitación media mensual actual se les afectó por estos porcentajes de variaciones tal como se muestra en la tabla 3.2. En esta tabla se observa el complejo comportamiento del clima generado por los modelos para un escenario del año 2030. Mientras que los periodos de lluvia tenderán a extenderse, aquellos meses que hoy son más húmedos disminuirán en intensidad. En cuanto a los periodos de estiaje, estos tenderán a ser más secos aún.

Los porcentajes de variación mostrados en la tabla 3.2 fueron hallados haciendo un ponderado de las áreas de la cuenca Parón y las tasas de variación trimestrales asociadas a estas áreas. Los valores de las variaciones porcentuales de las precipitaciones utilizadas fueron las estimadas por SENAMHI el 2009 y son mostradas en el Anexo 04. Es posible distinguir cambios espaciales en las precipitaciones, sin embargo en el presente trabajo se asumirá un único valor de precipitación en toda la micro cuenca Parón para simplificar cálculo del balance hídrico.

Tabla 3.2: Láminas mensuales media para el escenario actual 2010 y el escenario 2030.

MES	LAMINA MENSUAL MEDIA ACTUAL (mm)	LAMINA MENSUAL MEDIA 2030 (mm)	VARIACION (%)
SETIEMBRE	40	38	-5.75%
OCTUBRE	70	66	-5.75%
NOVIEMBRE	77	73	-5.75%
DICIEMBRE	98	88	-10%
ENERO	120	108	-10%
FEBRERO	147	132	-10%
MARZO	142	156	10%
ABRIL	80	88	10%
MAYO	36	40	10%
JUNIO	10	10	-4%
JULIO	5	5	-4%
AGOSTO	10	10	-4%

3.10.3 Escenario 2090

La precipitación para este escenario se estimó usando la media anual de los multimodelos para cambios durante el periodo 2090-2099 estimada en el Cuarto Informe de evaluación del IPCC del año 2007. En este informe sólo se hace mención a tasas de variación de los periodos más húmedos (diciembre, enero y febrero) y a los más secos (junio, julio y agosto) y la tasa de cambio mencionada está basada en el escenario A1B.

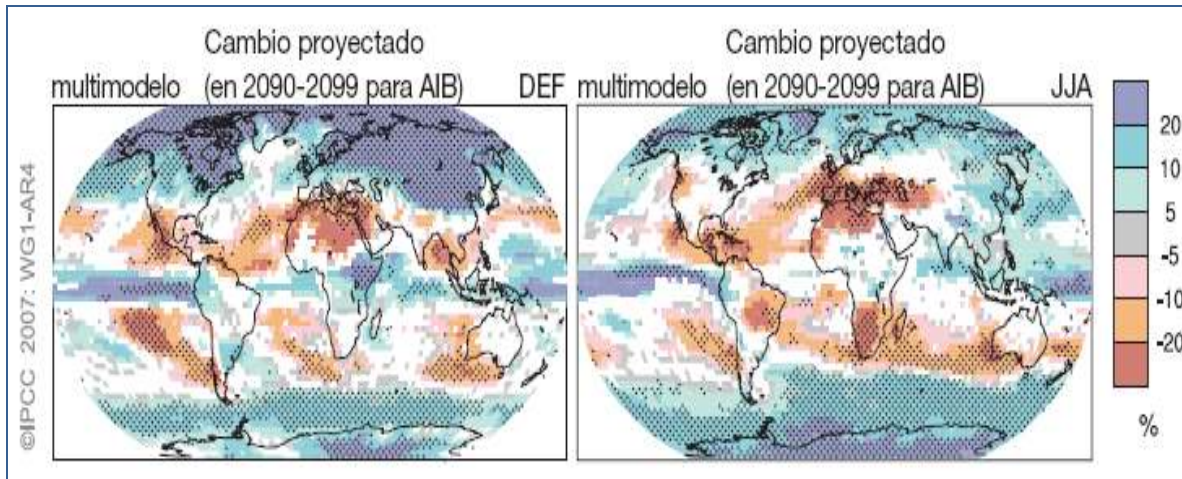
En la figura 3.6 en la parte izquierda se observa la tasa de las precipitaciones medias desde el mes de diciembre hasta febrero (DEF) y a la derecha desde el mes de Junio hasta Agosto (JJA) estimadas a partir de los multimodelos generados por el IPCC en el año 2007.

Para este escenario en particular, a diferencia de los dos anteriores, se usó información global y no regional, esto debido a que aun no hay estudios que hayan realizado una regionalización en la zona de estos multimodelos globales.

Esta consideración supondrá que los valores tomados serán significativamente menos conservadores con respecto a los valores regionales, ya que como se sabe los efectos del cambio climático son más intensos a nivel regional y local que a nivel

global (IPCC 2007: 77) sobre todo en aquellas zonas de gran complejidad topográfica como la región Andina.

Figura 3.6: Precipitaciones medias de los multimodelos para cambios durante el periodo (2090- 2099) estimadas por el IPCC el año 2007 (Fuente: IPCC 2007: 79).



3.11 Análisis de la escorrentía (RO)

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.

Usando el software ArcMap (como se explicará en el capítulo 4), las imágenes del Google Earth, la información recogida en sitio y, finalmente, información de la carta geológica se reconoció los diferentes tipos de suelo predominantes identificados en la zona. Estos datos ayudaron a diferenciar los distintos niveles en los que la escorrentía se producirá sobre cada tipo de suelo, cada tipo de pendiente y en cada uno de los escenarios planteados. En la figura 3.7 se puede observar a la izquierda la roca con una delgada cobertura vegetal y a la derecha parte de material morrénico de origen glaciar.

Figura 3.7: Vista de roca con poca cobertura vegetal y vista de material morrénico (Foto: Mónica Untiveros Lázaro. Fecha: Noviembre del 2008)



En la parte izquierda de la figura 3.8 se aprecia a la zona glaciár correspondiente al nevado Pirámide. En la figura derecha se puede apreciar roca sin cobertura glaciár.

Figura 3.8: Vista de suelo con cobertura glaciár y vista del suelo tipo roca sin cobertura vegetal. (Foto: Mónica Untiveros Lázaro. Fecha izquierda: Junio del 2009, Fecha derecha: Noviembre del 2008)

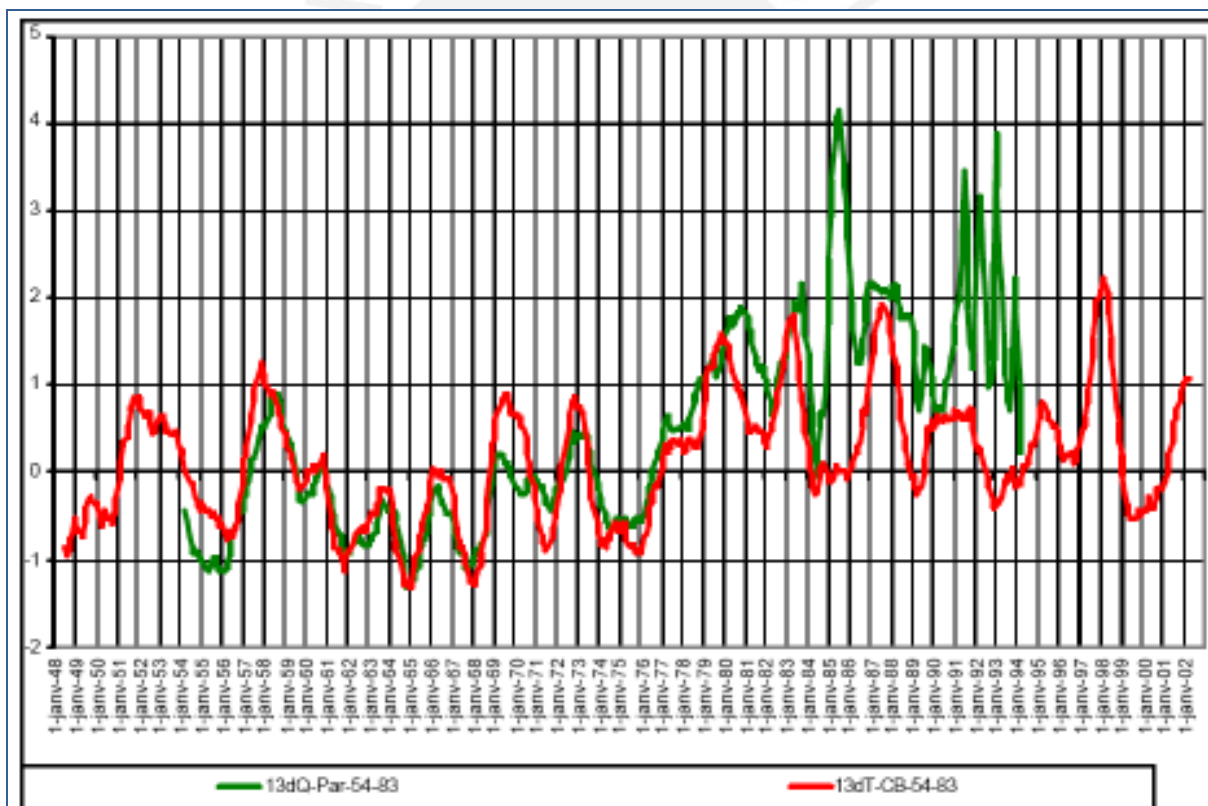


Se resalta que en el estudio Glaciares y Recursos Hídricos en la cuenca del río Santa realizado por Pouyaud el año 2003, los valores de la temperatura del aire encima de la

cordillera blanca y los de los caudales escurridos de las diferentes subcuencas glaciares del río Santa tienen una buena correlación. Estos resultados confirman la relación la escorrentía con grado de derretimiento de los glaciares de la Cordillera Blanca.

En el caso específico de la cuenca Parón “la calidad de las curvas y las correlaciones entre valores de las temperaturas del re análisis y caudales escurridos, ambos centrados, reducidos y aislados son muy buenas” (Pouyaud 2003) para el periodo 1954-1983. En la parte superior de la figura 3.9 se puede apreciar que la línea roja (caudal del río Parón) y línea verde (temperatura) siguen una similar tendencia hasta el año 1983, año en que se dio inicio al uso de las compuertas de regulación de la laguna Parón” (Pouyaud 2003).

Figura 3.9: Correlación entre temperatura y caudal en la micro cuenca Parón. (Fuente: Pouyaud 2003)



Es de esperar entonces que en los próximos años con el aumento de la temperatura debido al cambio climático la ablación de las grandes reservas glaciares también aumentará, influyendo en la escorrentía.

Adicionalmente debido a que el 41% del área de la micro cuenca Parón es superficie glaciar (Suarez 2007: 22) se considerará dos tipos de escorrentía: Glaciar y no glaciar para dos de los tres escenarios planteados, en el tercero evidentemente no se contará con los glaciares. Se tomó esta consideración con el fin de mostrar, aunque en términos relativos pero sí notables, la relación entre la escorrentía total y la escorrentía glaciar.

3.11.1 Escorrentía Glaciar (RO_g)

Los glaciares tropicales son los mejores indicadores del cambio climático que viene afectando al planeta. En el caso de la Cordillera Blanca la ablación de sus glaciares le ha dado al río Santa la característica de tener uno de los caudales más regulares durante todo el año, sobre todo si lo comparamos con otros ríos importantes de la vertiente del Pacífico que no cuentan con aportes importantes de glaciares. Respecto a este punto hay varios estudios en la Cordillera Blanca que han registrado y estudiado este comportamiento y que concluyen que el aporte de las deglaciaciones llega del 10-20% de la descarga anual del río Santa y que la máxima ablación se da en los meses de la primavera austral (setiembre, octubre y noviembre), época en la que efectivamente se amortigua el estiaje estacional (Bryan 2005).

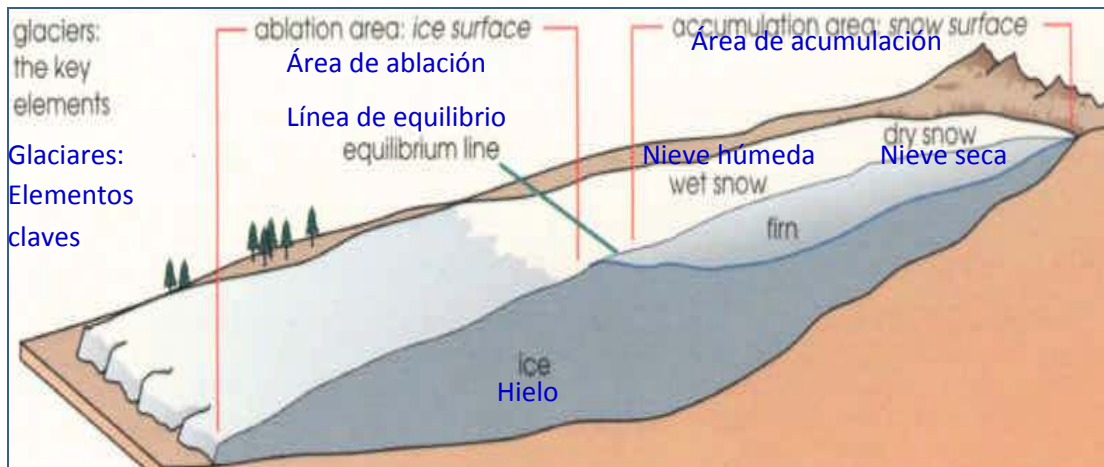
Consideraciones de los glaciares

En todos los glaciares hay una zona de acumulación, en la que el glaciar gana masa y una zona de ablación, a partir de donde existe evaporación y derretimiento del hielo. Entre estas dos zonas existe una línea imaginaria llamada “altitud media de la línea de equilibrio glaciar” ELA (por sus siglas en inglés: ELA, Equilibrium Line Altitude) que indica que sobre esa línea el balance será nulo. La ubicación de la ELA varía en cada glaciar y depende de las condiciones climáticas de la zona así como altura, orientación, etc. En las últimas décadas, esta línea ha ido subiendo para los glaciares ubicados en los Andes del Perú. Actualmente para los glaciares tropicales (ubicados en el trópico) se acepta una ELA entre los 5000 y 5200msnm (Suarez 2007:9).

En la figura 3.10 se puede diferenciar dos zonas. La primera, zona ubicada en la parte más alta del glaciar, sobre la línea de equilibrio ELA donde toda forma de precipitación se acumula y no se derrite. Mientras que la zona inferior (por debajo de la línea de equilibrio)

la zona es conocida como zona de ablación, donde se generan los procesos de derretimiento.

Figura 3.10: Línea de equilibrio glaciar. (Fuente: Serrano 2005)



Pese a que la laguna Parón se encuentra rodeada por 5 nevados diferentes, tanto en altura como en orientación, asumiremos que el ELA es constante en toda la micro cuenca y su valor único es 5200msnm. Tal como se mostrará en el capítulo 4, con la ayuda del software ArcMap se obtendrá las áreas de interés de la micro cuenca Parón:

- Área comprendida entre la cota del espejo de la laguna y la cota a la que llega la zona glaciar, observada en la figura obtenida del Google Earth.
- El área comprendida sobre el inicio de la zona glaciar y la cota del ELA y finalmente el área sobre el ELA.

Por razones prácticas, en el presente trabajo se asumió la ubicación del ELA a 5200 m.s.n.m. en el escenario actual 2010 como única línea de división, además, se considerará precipitación sólida a toda aquella precipitación que cae por encima esta línea y que no contribuye a la escorrentía glaciar y como precipitación líquida a toda aquella precipitación que se encuentra por debajo de la ubicación del ELA y que sí contribuye al escurrimiento glaciar.

Se contó con el trabajo de Irmgard realizado el año 2005 en el que se analizó los caudales de derretimiento en la zona de ablación del nevado Artesonraju, cuyos glaciares contribuyen a la micro cuenca Parón. En este estudio se realiza un balance de energía del mencionado nevado durante un año entero (Marzo 2004- Abril 2005), encontrando una

variabilidad estacional en el derretimiento del glaciar, esto ocasiona, por ejemplo, que en la época seca la energía necesaria para el derretimiento se ve significativamente reducida debido al alto albedo, humedad del aire y otras características climáticas de la zona. Esto produce un mayor derretimiento en los meses húmedos y uno menor en los meses secos. (Irmgard 2005)

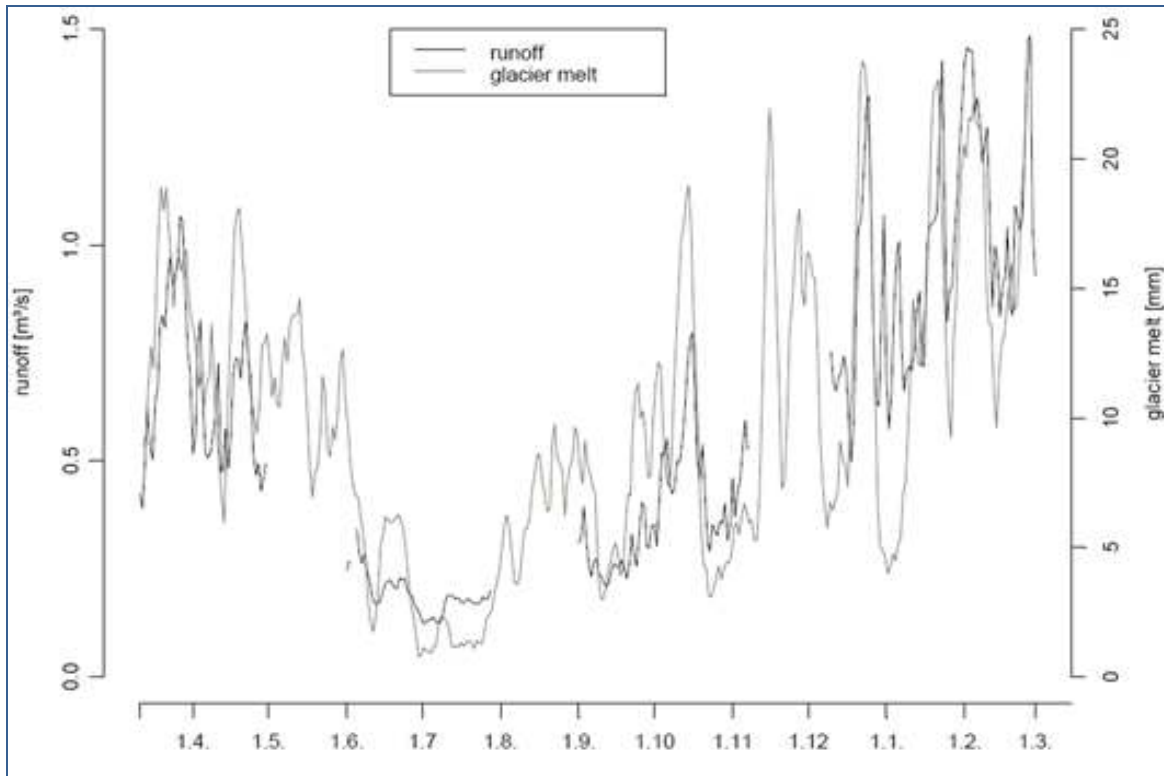
Para los fines aplicativos del presente trabajo se decidió tomar los datos de escorrentía glaciar mensual estimados por Irmgard para el año 2004-2005, como valores representativos de la escorrentía glaciar actual procedente de todo glaciares aportante a la micro cuenca Parón. En el Capítulo 4 se digitalizó esta información con el software ArcMap.

En la parte superior la figura 3.11.1 se observa la zona de estudio del trabajo de Irmgard, delimitada por el nevado Artesonraju, el nevado Parón y el nevado Pirámide. En la figura 3.11.2 se puede observar la curva de caudal glaciar derretido estimado en m^3/s y las láminas escurridas diariamente, medidas en milímetros durante el periodo de estudio entre marzo del 2004 y febrero del 2005.

Figura 3.11.1: Zona de estudio de Irmgard, Nevado Artesonraju. (Fuente: Irmgard 2005)



Figura 3.11.2: Diagrama de láminas derretidas y escurridas del nevado Artesonraju versus el tiempo de duración del estudio. (Fuente: Irmgard 2005)



3.11.2 Escorrentía no glaciar (RO_{ng})

Tal como se explica líneas arriba, la escorrentía no glaciar proviene de la precipitación que cae bajo el ELA. Existen diferentes métodos para la obtención de la escorrentía, pero debido a los diferentes tipos de suelo y a sus distintas capacidades de infiltración, en el presente trabajo se partió del método desarrollado por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales (por sus siglas en inglés: NRCS, Natural Resources Conservation Service,). Este método considera lo siguiente:

La profundidad de exceso de precipitación o llamada también escorrentía directa es menor o igual a la precipitación en una tormenta dada. Esto debido a que, iniciada la precipitación, existe un volumen de agua que es absorbido por el suelo antes de que empiece la escorrentía. De la misma manera, el volumen retenido en una cuenca es menor o igual que la retención potencial máxima de la misma. El método del NRCS se basa en el supuesto de que ambos procesos se encuentran relacionados de la siguiente manera:

$$\underline{P_e} = \underline{F_a} \quad (1)$$

$$P - I_a \quad S$$

Pe: Escorrentía directa

P: Profundidad de precipitación

Ia: Abstracción inicial antes del encharcamiento

Fa: Profundidad adicional del agua retenida en la cuenca

S: Retención potencial máxima

Además se sabe que por el principio de continuidad se tiene:

$$P = P_e + I_a + F_a$$

$$S_e = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (\text{plg}) \quad (2) \quad P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (\text{plg}) \quad (3)$$

$$\text{Donde } I_a = 0.2S \quad (\text{plg})$$

El NRCS encontró, de manera empírica, que los valores de Pe y P se encuentran relacionados a través de ciertas curvas y que para estandarizarlas se define el número CN, parámetro que es adimensional y que ha sido tabulado en base al tipo de suelo y al uso de la tierra tal como lo explica Ven te Chow. Adicionalmente el número CN se encuentra limitado por las condiciones de humedad de la zona. El número CN es obtenido a partir del tipo de suelo, uso del suelo, tratamiento de tierra, las condiciones hidrológicas y las condiciones de humedad antecedente (Assefa 2002). A mayor número de CN la escorrentía es mayor. Debido a que el método del NRCS fue producido empíricamente y adecuado para regiones de los Estados Unidos, los valores propuestos para el número CN no se adecúan a las características geomorfológicas de cuencas alto andinas. Debido a los diferentes tipos de suelos, a pendientes empinadas (mayor que en EEUU) y otros factores.

Por las razones mencionadas no se usó un número de curva señalado en las tablas del método original. Los valores a usar del número CN fueron obtenidos de un trabajo previo realizado por Montoya el año 2007 en la cuenca alta del río Huarmey, que son valores que son producto de la experiencia en cuencas alto andinas peruanas. Se considera también que la cuenca Huarmey posee suelos similares a micro cuenca Parón.

Partiendo del procedimiento desarrollado por el NRCS, Montoya generó una nueva versión del método que no permite cambios estacionales de acuerdo a la condición de humedad, como sí lo considera el método original, sólo funciona para las temporadas de humedad. En épocas de estiaje se asumirá que no existe escorrentía no glaciarse, situación lógica si tomamos en cuenta la marcada estacionalidad de las precipitaciones en la sierra peruana.

Se definió el parámetro P_o como umbral de escorrentía (mm), que se basa en los valores característicos derivados del método CN determinados para los tipos de suelos identificados en la zona pero adicionalmente se considera las pendientes características relacionadas a ellos (Montoya 2009).

La ecuación (3) resulta (Montoya 2009):

$$P_e = \frac{(P - P_o)^2}{P + 4P_o} \quad \text{cuando } P > P_o \quad (4)$$

$$P_e = 0 \quad \text{cuando } P < P_o \quad (5)$$

Adicionalmente se considerará que los valores de la escorrentía P_e son limitados por la precipitación y la evapotranspiración real, de donde se tiene la escorrentía real $P_{e_{real}}$ para los siguientes casos (Montoya 2009):

$$P_{e_{real}} = P_e \quad \text{donde } P_e < P - ET \quad (6)$$

$$P_{e_{real}} = P - ET \quad \text{donde } P_e > P - ET \quad (7)$$

Siendo ET la evapotranspiración real.

Como se comentará más adelante se considera que la evapotranspiración es nula. Por lo que finalmente se tendrá:

$$P_{e_{real}} = P$$

A continuación se muestran los valores para P_o a partir de los tres tipos de suelos identificados en la zona de estudio y a partir de las pendientes asociadas a estos. Los valores de CN a utilizar son los valores estimados por Montoya el año 2007, para la cuenca del río Huarmey. Esta cuenca cuenta, en su parte alta, los tipos de cobertura son

típicas también en la micro cuenca Parón, propios de las cuencas alto andinas sobre los 4000msnm. En la tabla 3 se muestran los valores de CN para los 3 tipos principales de cobertura y para los 5 intervalos de pendiente identificados.

Tabla 3.3: Valores de CN para la micro cuenca Parón

Cobertura de Suelo	Valores de CN para las pendientes identificadas en la cuenca del río Huarmey				
	0°-5°	5°-10°	10°-20°	20°- 40°	>40°
Roca con cobertura de suelo	64	68	70	74	76
Roca sin o con limitada cobertura de suelo - intrusiva	69	74	77	81	83
Morrenas	88	88	91	93	93

En el capítulo 4 usando el programa Arc Map se clasificarán los suelos teniendo en cuenta las tres clases de tipo de cobertura del suelo identificadas en la micro cuenca y también de acuerdo a las pendientes que cada una de ellas presente.

3.11.3 Escenario actual 2010

Se partió del procedimiento arriba mencionado y se utilizó los datos de precipitación determinados en el capítulo 5. En el capítulo 4 se determinará los mapas de pendientes de la cuenca así como los mapas de la cobertura del suelo actual ambos relacionados con su número CN respectivo. En el capítulo 5 se relacionará la información para obtener el volumen acumulado anual.

3.11.4 Escenario 2030 y escenario 2090

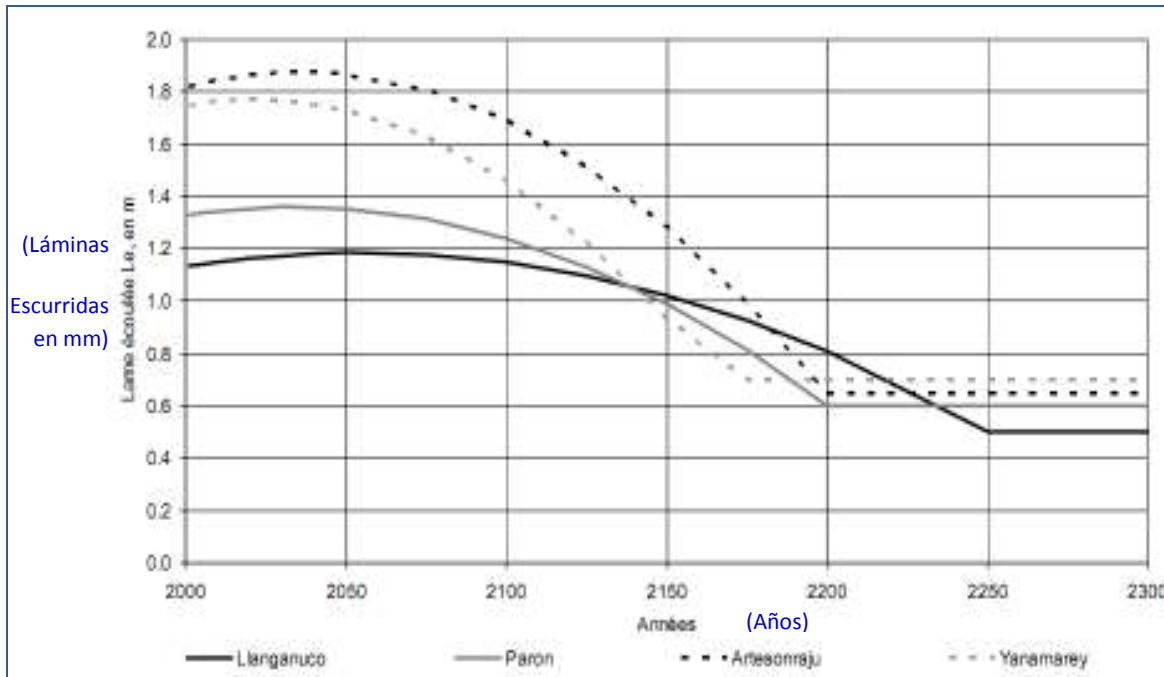
Se consideró que las características geomorfológicas no variarán dentro de los siguientes 100 años, además se considera que el Parque Nacional Huascarán, donde se encuentra la laguna Parón, es una zona intangible donde las actividades antrópicas son limitadas por lo que los valores de CN se mantendrán constantes.

- **Escorrentía no glaciar (ROng) y glaciar (ROg)**

Para los futuros escenarios planteados existen las proyecciones para la escorrentía superficial total, pero no se hace distinción entre la escorrentía no glaciar y la glaciar que dependen de otros factores como la ubicación del ELA, humedad del aire, etc. Por esta razón, para el escenario 2030 y el escenario 2090 no se diferenciaron las escorrentías en el balance hídrico.

En el año 2003 los investigadores del IRD (por sus siglas en francés: IRD, Institut de Recherche pour le Developpement) en colaboración con SENAMHI estimaron unas curvas de avenida para diversas sub cuencas y micro cuencas de la cuenca del río Santa, encontrando las curvas de avenida para la micro cuenca Parón. En esta curva se puede apreciar una máxima avenida para el año 2050, tal como lo muestra la figura 3.12.

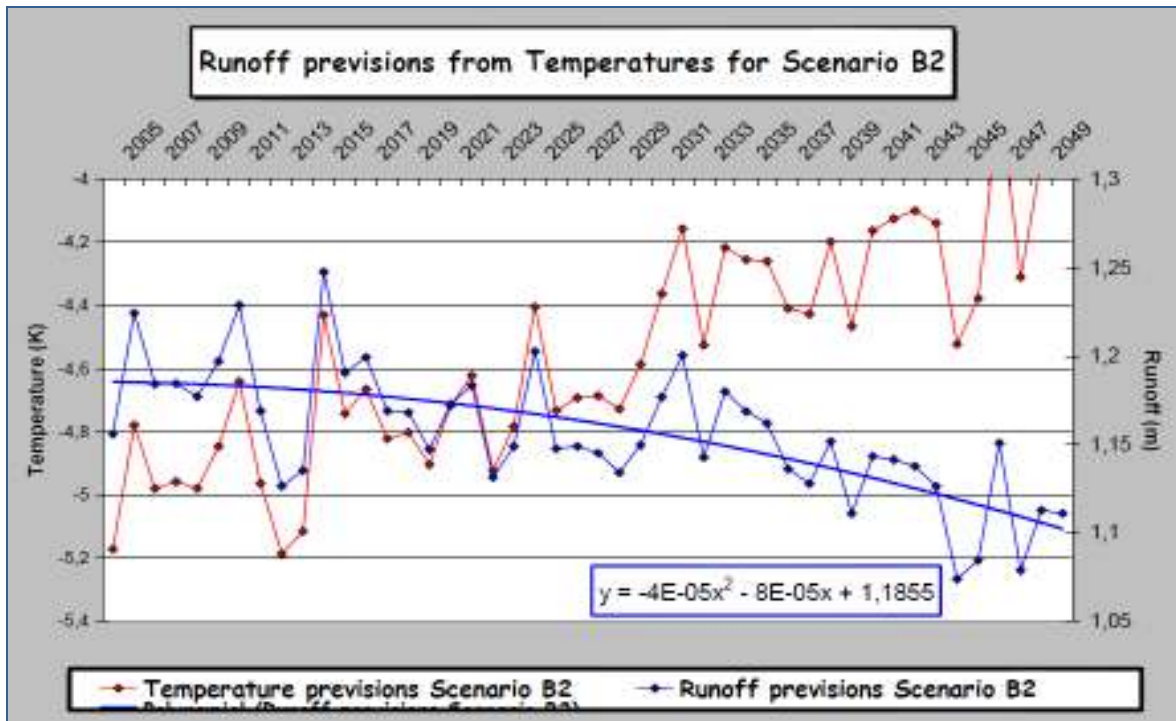
Figura 3.12: Láminas escurridas estimadas al año 2250. (Fuente: Pouyaud 2005)



Sin embargo en los últimos años la aceleración de la desglaciación en la Cordillera Blanca ha aumentado y ha seguido siendo estudiada por el IRD- SENAMHI- INRENA en uno de los nevados que aportan a la micro cuenca Parón, el nevado Artesonraju. Estos últimos resultados evidencian una desconexión entre la temperatura y la escorrentía alrededor del año 2030 (Gallaire 2008), lo que indica que el máximo aporte de los glaciares se dará con 20 años de anticipación, es decir alrededor del año 2030. Por este motivo se decidió usar el valor máximo de la lámina escurrida en el año 2050 para el escenario 2030 planteado en este trabajo.

En la figura 3.13 se aprecia una buena correlación de temperatura y escorrentía total hasta el año 2030 aproximadamente, sin embargo a medida que la temperatura sigue incrementándose la escorrentía tiene la tendencia a decrecer.

Figura 3.13: Relación escorrentía – temperatura prevista al año 2050. (Fuente: Gallaire, 2008)



La diferencia entre el año 2030 y el año 2090 es que el aporte glaciar en el escenario 2090 será nulo, pues se asumió que ya no se contará con glaciares. Sin embargo el valor de la escorrentía para el escenario 2030 será tomado directamente de la curva de avenida mostrada en la figura 3.12 pues no se cuenta con estudios que analicen la escorrentía glaciar y no glaciar por separado en este escenario. En el capítulo 5 se presentará los resultados acumulados anuales y no mensuales para este escenario.

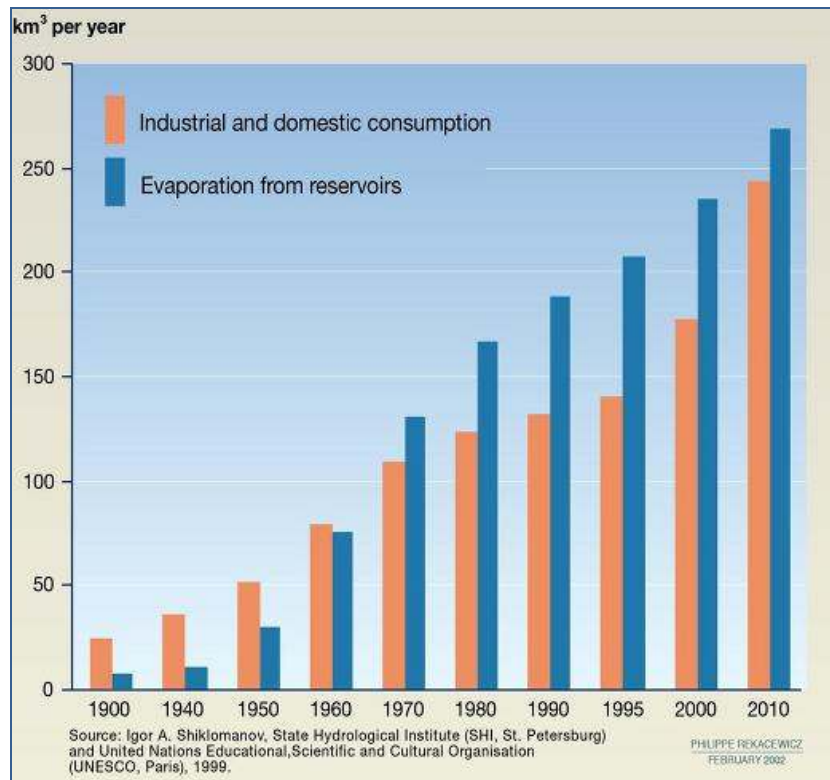
3.12 Estimación de la evaporación (E)

Según UNEP- GRID Arendal (United Nations Environmental Programme), en el mundo, la cantidad de agua que 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 del presente trabajo debido también a que la laguna Parón es la laguna con el área de superficie más grande de la Cordillera Blanca con 1.78 km². Se resalta que en la micro cuenca Parón, existe otra pequeña laguna llamada Artesoncocha ubicada a dos kilómetros al este de la laguna Parón y a una altura

de 4290msnm. Se decidió tomar como superficie de evaporación la suma de ambas áreas de las lagunas.

En la figura 3.14, se observa la tendencia del agua de uso domestico e industrial así como la del agua evaporada desde embalses. Se aprecia que ambas van en aumento.

Figura 3.14: Relación entre agua evaporada y agua consumida por el uso industrial y doméstico. (Fuente: UNEP 2008)



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 ambiente del aire. La diferencia de presiones entre la presión de agua en la superficie evaporante y la presión de vapor de agua de la atmósfera circundante genera una fuerza impulsadora que retira el vapor de agua de la superficie evaporante. Iniciado 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, la que reemplaza el aire saturado por uno más seco. Entonces los parámetros climatológicos

que influyen en el proceso de evaporación 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 Parón y la laguna Artesoncocha a menos de 200m de distancia y con una diferencia de cotas de menos de 100m, se decidió considerar el área de evaporación a la suma de ambas áreas.

3.12.1 Escenario actual 2010

En la zona de estudio no existen mediciones de evaporación de la laguna Parón, pero se contó con el Estudio técnico del COES - SINAC realizado por el Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional- COES, como parte del procedimiento de Fijación de tarifas en Barra Periodo Mayo 2005-Abril2006, donde se realiza un “Informe hidrológico de la Central Hidroeléctrica Pariac” (OSINERGMIN 2005, Anexo F). En el estudio hidrológico, realizado por la empresa CAHUA S.A., se analizó la información de una red de estaciones meteorológicas, que registran en particular temperatura y evaporación, con la que se cuenta en la cuenca del río Santa. En la tabla 3.4 se detalla la información de las estaciones hidrometeorológicas y los datos con los que cuentan.

Tabla 3.4: Estaciones meteorológicas en la cuenca del río Santa. Información obtenida del “Estudio Técnico Económico de determinación de precios de potencia y Energía en Barras para la Fijación Tarifaria de Mayo de 2005” (Fuente: OSINERGMIN 2005, Anexo F: 325).

ESTACIONES METEOROLOGICAS EN LA CUENCA DEL RIO SANTA					
Estación	Altitud (msnm)	Latitud	Longitud	Temperatura media (°C)	Evaporación (mm)
Hidroeléctrica del Cañón del Pato	1380	9°48'	77°51'	24.7	-
Caraz	2000	9°03'	77°49'	16.5	1449
Santa	3000	8°59'	77°37'	21.2	-
Querococha	3180	9°43'	77°20'	7.3	1183
Huaraz	3207	9°31'	77°32'	13.8	1362
San Lorenzo	3750	9°45'	77°22'	9.2	-
Lampas Bajo	3950	10°04'	77°18'	6.6	1183
Conococha	4020	10°07'	77°20'	5.7	1168
Lampas Alto	4030	10°07'	77°14'	6.1	1201
Safuna	4275	8°50'	77°38'	4.9	-

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 Querococha, datos que fueron publicados en el informe de COES.

Se contó también con información de la estación ubicada a orillas de la laguna Artesoncocha (proporcionada por el ANA). Esta estación que se encuentra a menos de 2 km de distancia y con una diferencia de cotas, de menos de 100m con respecto a la estación Parón. Se cuenta con datos de humedad relativa y temperatura tomados durante los últimos 8 años. Para efectos del carácter aplicativo del presente trabajo se hizo uso de estos datos.

3.12.2 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.

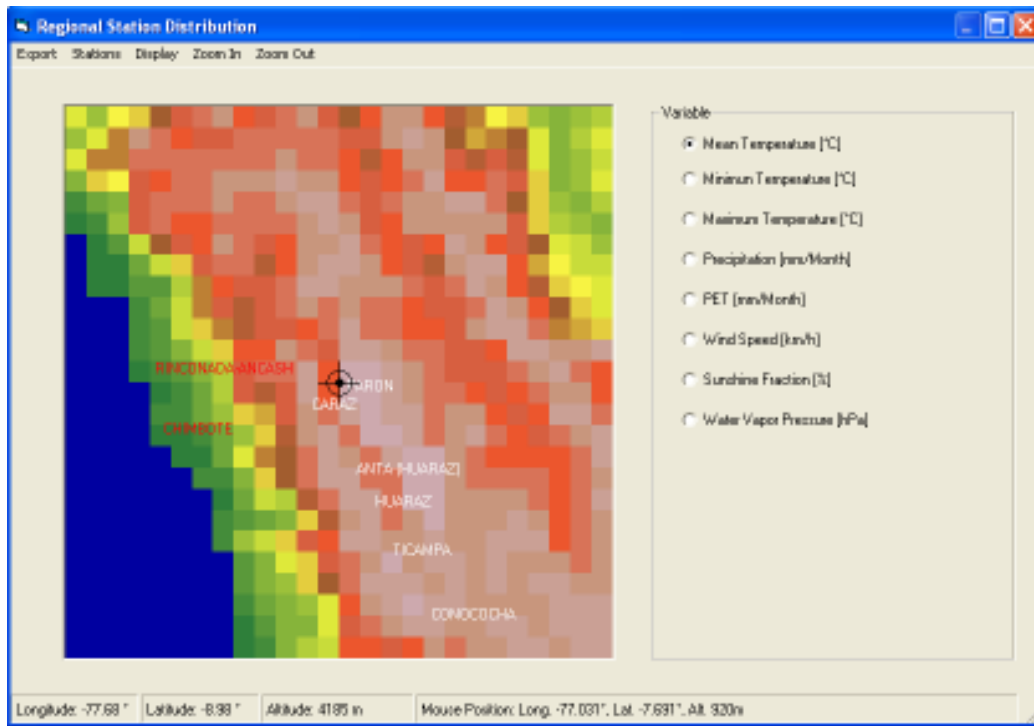
Con esta consideración podemos asumir, con respecto a los 2 escenarios futuros que los parámetros meteorológicos (radiación solar, humedad del aire y velocidad del viento) se mantendrán constantes en el tiempo. Sólo se considerará la variación en la temperatura.

Tal como se muestra en el capítulo 5 se usó el método del Nomograma de Penman para el cálculo del valor de la duración relativa de insolación n/D.

Para la estimación de los parámetros meteorológicos faltantes (presión de vapor de agua y velocidad de viento) se hizo uso del programa LocClim (Local Monthly Climate Estimator¹). 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 del inglés: FAO (Food and Agriculture Organization); incluye una versión actualizada de la base de datos FAOCLIM de casi 30000 estaciones de todo el mundo². Tal como se puede observar en la figura 3.15, para la estimación de cualquier parámetro es posible seleccionar las estaciones que usa el programa. En la misma figura se observa la cantidad de estaciones disponibles en la zona. En texto 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.

¹ Software de uso libre en internet generado por Sustainable Development (SD), Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)

Figura 3.15: Localización de estaciones consideradas por el software LocClim (en color blanco)



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 acerca con sus resultados los valores medios de las precipitaciones y temperaturas, datos con los que sí se cuenta y es posible comparar.

Adicionalmente, con los datos proporcionados por el ANA se obtienen los datos correspondientes a las temperaturas medias anuales. Usando el LocClim se obtienen los valores de la presión de vapor de agua y velocidad media del viento y al estar relacionada la temperatura del aire con la presión de vapor de saturación se halló la humedad relativa de la siguiente manera:

$$Rh = \frac{e}{es} \quad (8)$$

e: presión de vapor real

es: presión de vapor de saturación

$$es = 611 * \exp \left(\frac{17.27 * T}{273.3 + T} \right) \quad (\text{Pa}) \quad (9)$$

Este valor fue requerido por el Nomograma 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 2009. El SENAMHI obtuvo los valores de las temperaturas extremas (mínimas y máximas) promedio que se tendrán cada trimestre durante el año 2030 (véase anexo 05). Para fines del presente trabajo se asumió que en el escenario del año 2030 la variable temperatura asumirá valores cercanos a los valores extremos por lo que la temperatura media fue asumida como el promedio de estos valores extremos como se muestra en la tabla 3.15.

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 muestra la figura 3.16. Los valores tomados de los modelos globales del 2090 son menos conservadores que los valores tomados de los modelos regionales del 2030.

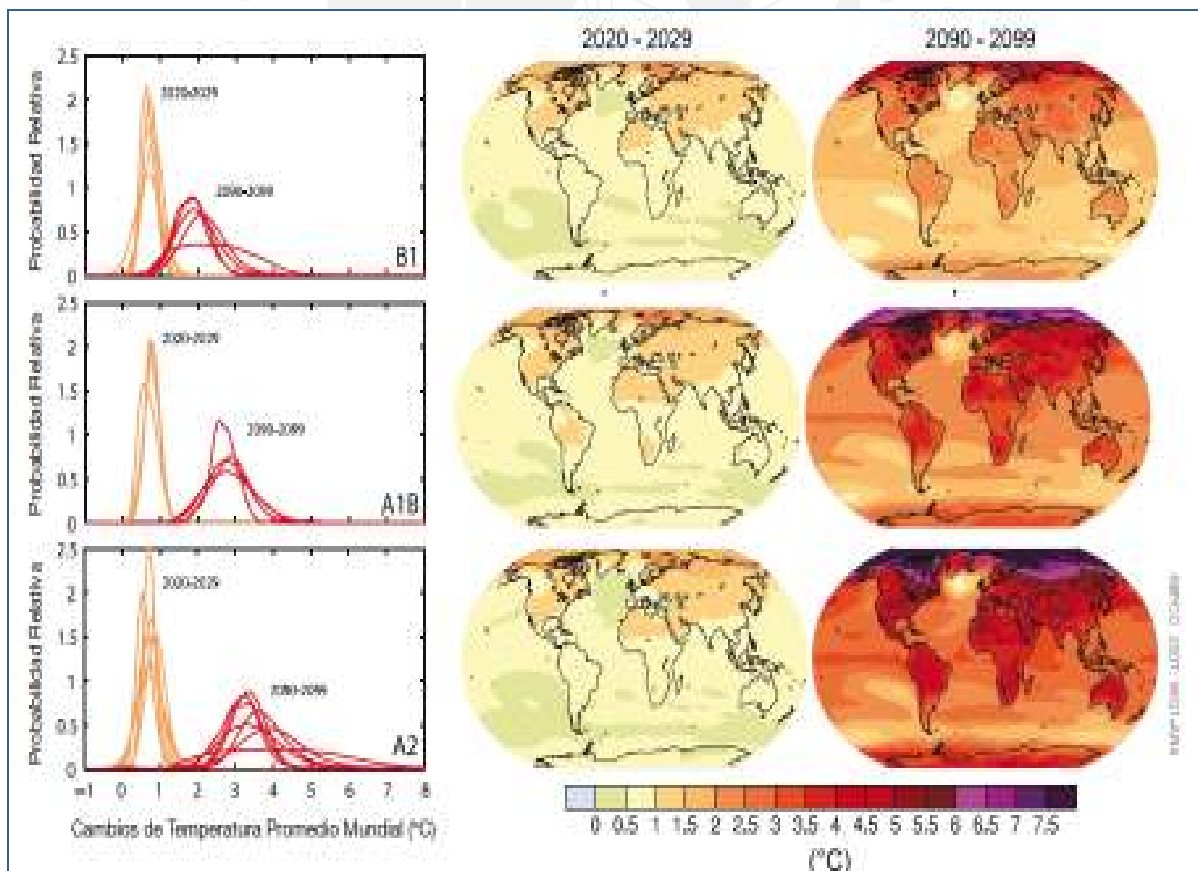
En la figura 3.16 se observa en el lado derecho de la figura la estimación para los años 2090-2099 en el escenario más desfavorable, A2. Como se dijo anteriormente la estimación a escala global es menos conservadora que a escala regional y local, sería de esperar mayores temperaturas para zonas como el Perú, pero para alcances de este trabajo se tomará estos valores.

En la tabla 3.15 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 para el escenario 2090. En el caso del escenario 2030 se considera un mismo valor para cada trimestre, pues es la información con la que se cuenta.

Tabla 3.15: Temperaturas medias para el escenario actual 2010, escenario 2030 y escenario 2090.

MES	TEMPERATURA MEDIA (C°) ESCENARIO ACTUAL 2010	TEMPERATURA MEDIA (C°) ESCENARIO 2030	TEMPERATURA MEDIA (C°) ESCENARIO 2090
Enero	7.56	6.75	11.86
Febrero	7.28	6.75	11.58
MARZO	6.63	7.95	10.93
ABRIL	6.98	7.95	11.28
MAYO	6.81	7.95	11.11
JUNIO	5.96	9.93	10.26
JULIO	5.86	9.93	10.16
AGOSTO	6.23	9.93	10.53
SETIEMBRE	6.57	8.9	10.87
OCTUBRE	7.05	8.9	11.35
NOVIEMBRE	7.64	8.9	11.94
DICIEMBRE	7.18	6.75	11.48

Figura 3.16: Proyecciones de temperaturas superficiales globales (Fuente: IPCC 2007: 75)



3.13 Estimación de la evapotranspiración (ET)

Para el caso de la zona de estudio, donde las épocas de avenida y de estiaje están bien definidas, teniéndose largos intervalos de tiempo con ausencia de lluvias, además de la existencia de suelos morrénicos y suelos poco potentes sobre la roca intrusiva en gran parte de la cuenca, la superficie del suelo tiende a secarse si no existe cualquier fuente de reabastecimiento de agua a la misma. Como la zona pertenece al Parque Huacarán, considerado zona intangible, es imposible cultivar en la zona, además de que sobre los 4000 msnm la cobertura vegetal es escasa y en gran parte es la gramínea *Stipa Ichu*, conocida como “ichu”.

El programa LocClim también estima valores de evapotranspiración, pero los valores obtenidos son muy elevados para poder considerar confiable esta información, por lo que el parámetro evapotranspiración ET no será considerado en el balance hídrico del capítulo 5.

3.14 Infiltraciones (F)

Tal como se describe en el punto 3.1, el material bajo la laguna Parón es afloramiento rocoso, por lo que se asume que no existen filtraciones por su lecho. Sin embargo, tal como se describe en el Anexo 1 se descubrió filtraciones en los alrededores del vertedero del túnel de descarga (cerca a la morrena que embalsa a la laguna Parón), afloramientos estimados en 0.25 m³/s. Cabe mencionar que no se encuentra información del caudal de estas infiltraciones. Es importante señalar que según las visitas de campo realizadas durante las épocas lluviosas del 2009 y 2010 cuando el espejo de la laguna se encontraba sobre la cota de seguridad (1485 msnm), se observaba el mencionado afloramiento, sin embargo cuando el espejo de la laguna se encontraba debajo de la mencionada cota, las filtraciones observadas reducían 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 descrito anteriormente, el parámetro infiltraciones F no se considerará en el cálculo del balance hídrico planteado en el capítulo 5.

CAPITULO 4

SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA (SIG)



Vista de Comunidad Campesina Cruz de Mayo, Sector Parón. (Foto: Mónica Untiveros. Fecha Junio del 2009)

“Una nación no debe juzgarse por cómo trata a sus ciudadanos con mejor posición, sino por cómo trata a los que tienen poco o nada.” Nelson Mandela

4. SISTEMAS DE INFORMACION 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 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 ArcEscece versión 9.3 del software ArcGIS producido por ESRI, así como una gama de extensiones de diversas aplicaciones compatibles con el Arc map. Entre ellas tenemos Arc Hydro, Arc HM, Hec-Ras, Hec-GeoRas, etc.

Las imágenes de la micro cuenca fueron tomadas usando el software de libre acceso Google Earth, que no tiene imágenes actualizadas al presente año sino para el año 2003, las fotos satelitales actuales no fueron consideradas para los alcances del presente trabajo debido a su alto costo y 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 los años 2003 y 2007.

4.2 Modelación de la micro cuenca de la laguna Parón

- Definición de los límites de la micro cuenca Parón

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 esta dada en coordenadas UTM, Datum GWS84, zona 18.

Para la definición de la micro cuenca de la Laguna Parón se la delimitó de dos diferentes maneras:

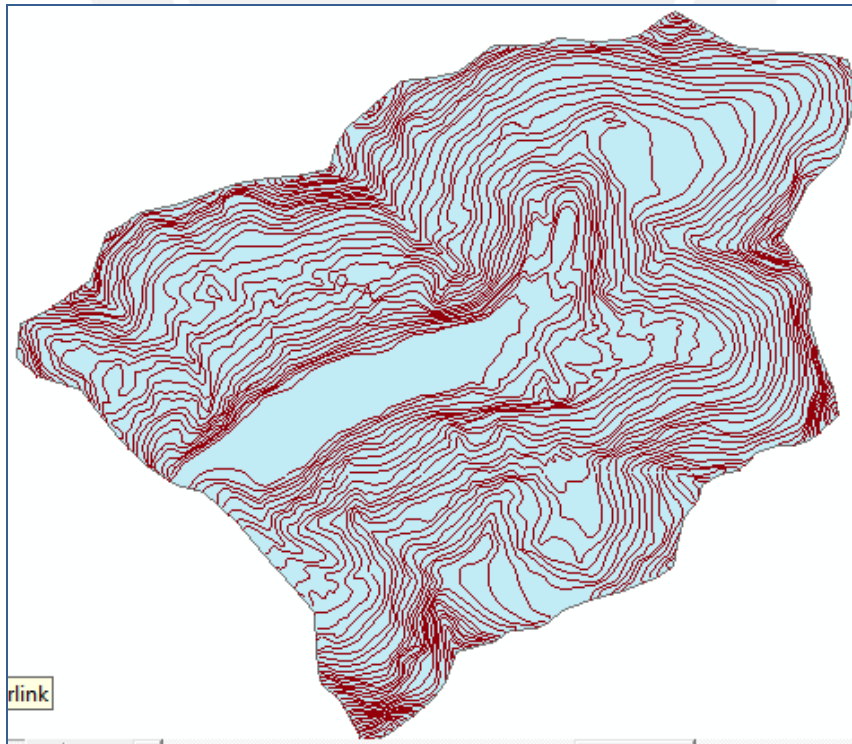
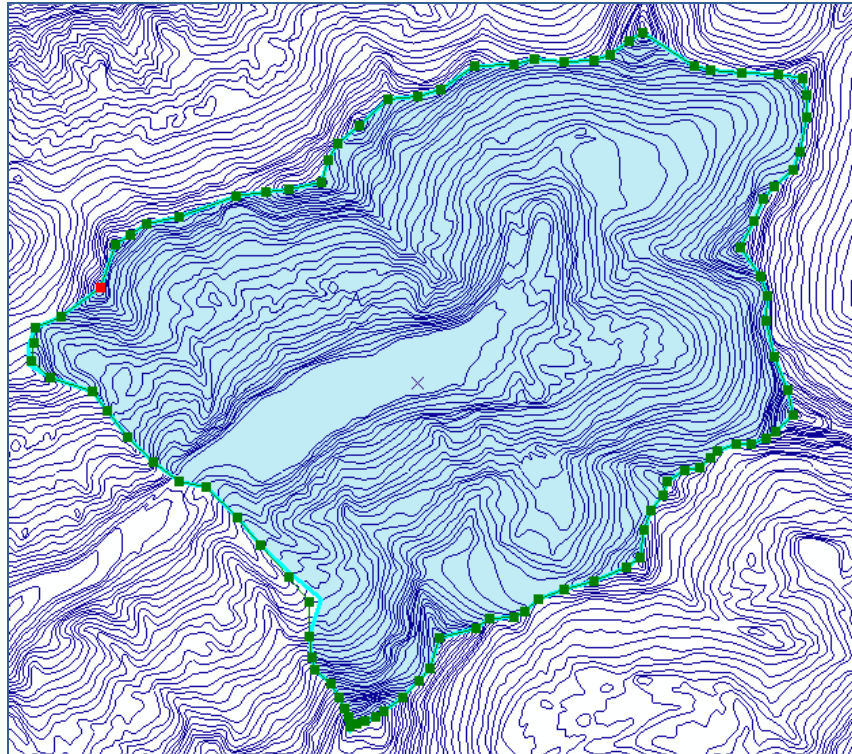
a. *A partir de curvas de nivel*

La información utilizada para la modelación de la micro cuenca fue obtenida de la página web “www.layer.edu”¹, página que contiene datos geográficos y topográficos de todo el Perú y que son de libre acceso. Las curvas fueron generadas con un intervalo de 50m.

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, como se muestra en la figura 4.1. Este procedimiento lo realiza el usuario del programa en base a su criterio.

¹ Página web visitada en febrero del año 2009.

Figura 4.1: Delimitación de la micro cuenca Parón siguiendo las abras de las curvas de nivel.



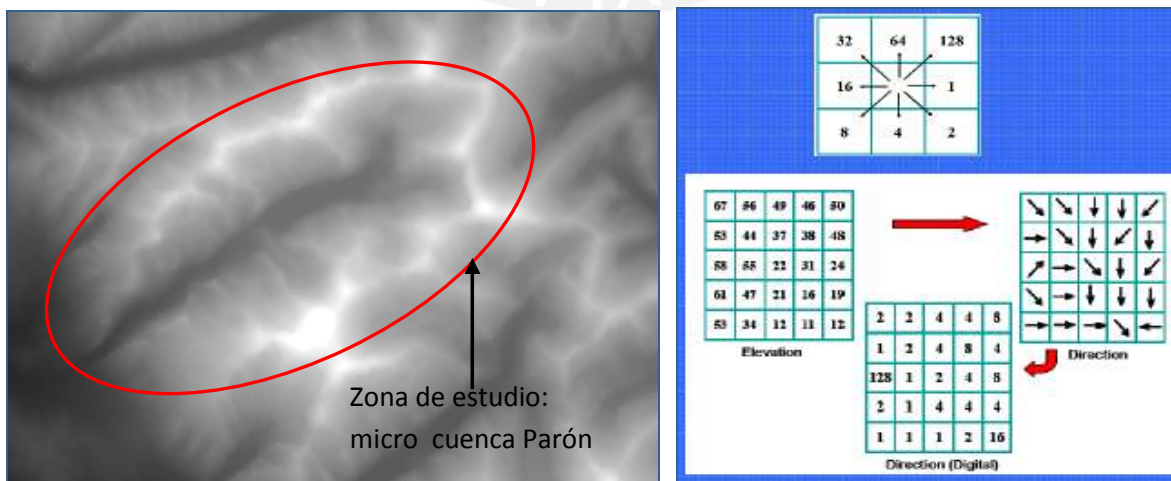
b. A partir de un DEM (Modelo digital de elevación)

El “Shuttle Radar Topography Mission” (SRTM por sus siglas en ingles), que es un sistema de radares modificados a bordo del transbordador espacial Endeavour, obtuvo datos de elevación a escala mundial con 90 m de resolución en febrero del año 2000. Las imágenes producidas contienen datos de superficie y de elevación.

Los datos captados por el SRTM fueron obtenidos de la pagina web de “Consortium for Spatial Information” (CGIAR-CSI). A partir de estos datos se pudo aislar la zona en estudio tal como muestra la figura 4.2 parte izquierda. En la parte derecha de la figura 4.2 se observa un esquema del funcionamiento de la extensión Arc Hydro, que va creando los flujos y va asignando valores predeterminados 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.

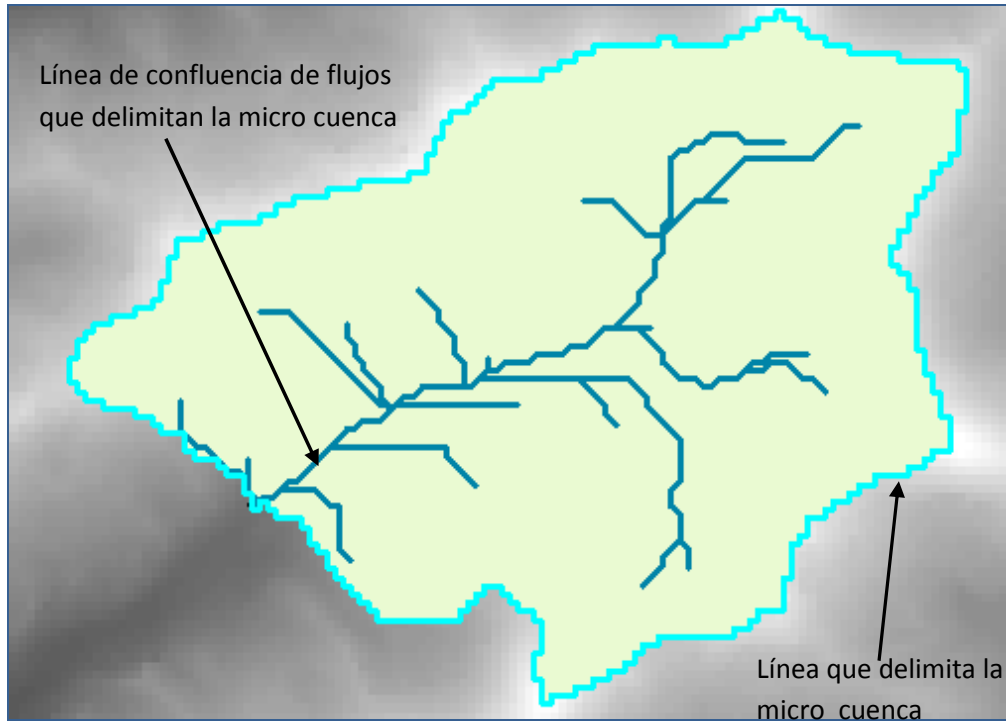
Haciendo uso de la extensión Arc Hydro que funciona en la plataforma del ArcMap se acumulan los flujos a lo largo de toda la cuenca formando los riachuelos y ríos que van definiendo la cuenca.

Figura 4.2: Procedimiento para delimitar una cuenca partiendo de un DEM. Derecha: Datos SRTM 90m DEM de la micro cuenca Parón. Izquierda: Esquema de información obtenida a partir de los datos SRTM.



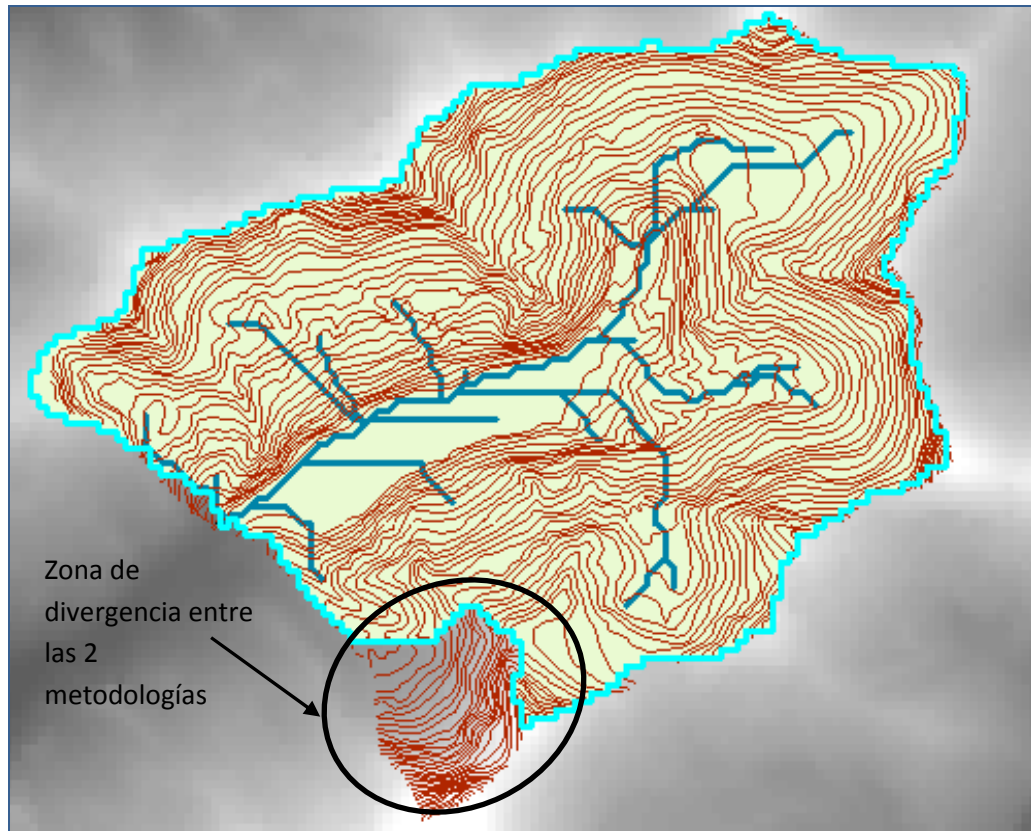
En la figura 4.3 se observa que los flujos han sido identificados y estos han definido la cuenca (en línea cyan). Como era de esperarse el programa reconoce la existencia de flujos, sus direcciones y las zonas de confluencias, pero no reconoce que en esa zona existe un embalsamiento o una laguna.

Figura 4.3: Micro cuenca Parón delimitada a partir de un DEM



Se sobrepuso los 2 micro cuencas delimitadas por las diferentes metodologías descritas líneas arriba. Como se observa en la figura 4.4 hay gran similitud entre los resultados, excepto en una pequeña zona señalada en negro en la figura. Debido a una mayor densidad de curvas de nivel en esta zona se cometió un error al incluirla dentro de la micro cuenca, error que pudo corregirse gracias al uso del DEM.

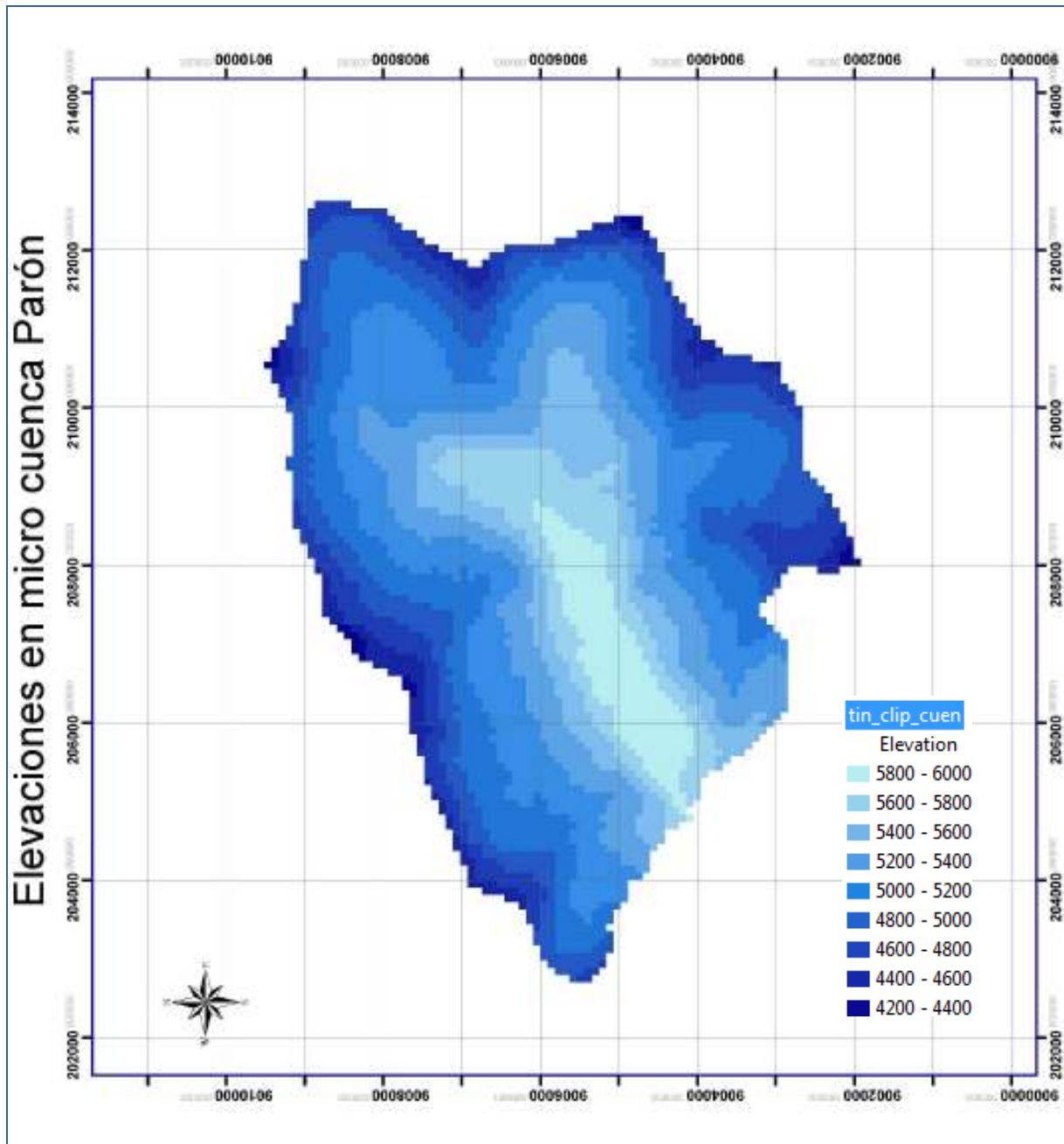
Imagen 4.4: Superposición de dos metodologías para la delimitación de cuencas. En línea cian la delimitación a partir del método b y las curvas de nivel en rojo corresponden al método a.



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

Se obtuvo las áreas de la micro cuenca cada 200m de altura. Se calculó las áreas sobre los 5200 msnm (ver figura 4.5) así como el área comprendida entre 4200 y 5200 msnm. El interés nace debido a la diferenciación de la escorrentía glaciar y no glaciar explicada en el capítulo 3.

Figura 4.5 Clasificación del área de la micro cuenca Parón cada 200 m.



4.3 Parámetros de la micro cuenca Parón

Con el programa Arc Map se halló algunos parámetros importantes de la cuenca como el área total y la curva hipsométrica (ver figura 4.6) y los polígonos de frecuencias (ver figura 4.7).

Tabla 4.1: La tabla superior fue generada a partir del análisis realizado con el Arc Map.

COTA (msnm)	AREA ACUMULADA (km2)	%
4200	0	0
4400	6.5	0.15
4600	11.06	0.25
4800	17.31	0.39
5000	26.42	0.60
5200	36.22	0.82
6000	44.18	1

Figura 4.6 Curva hipsométrica generada a partir de los datos obtenidos por el programa ArcMap.

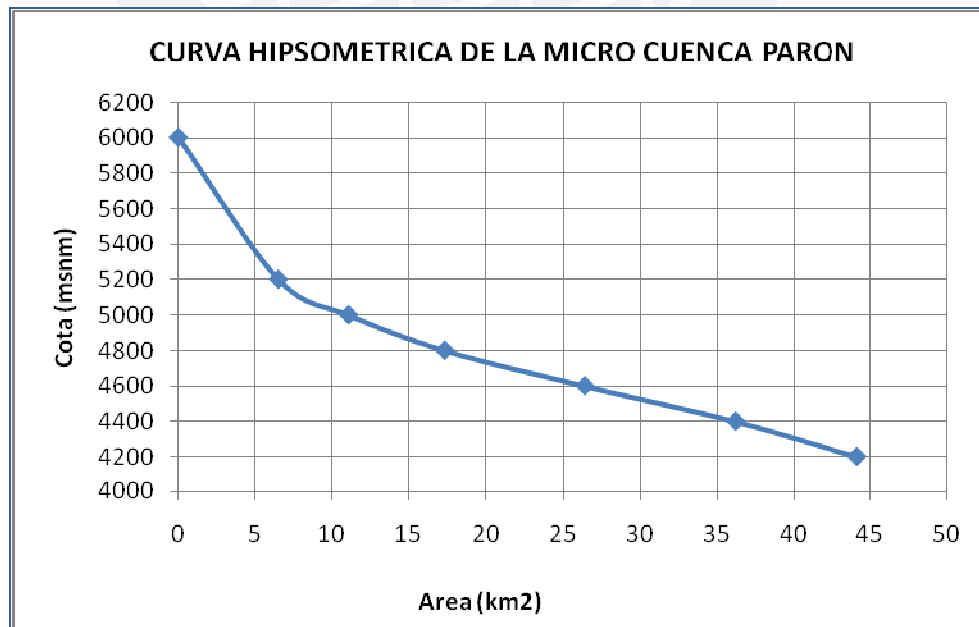
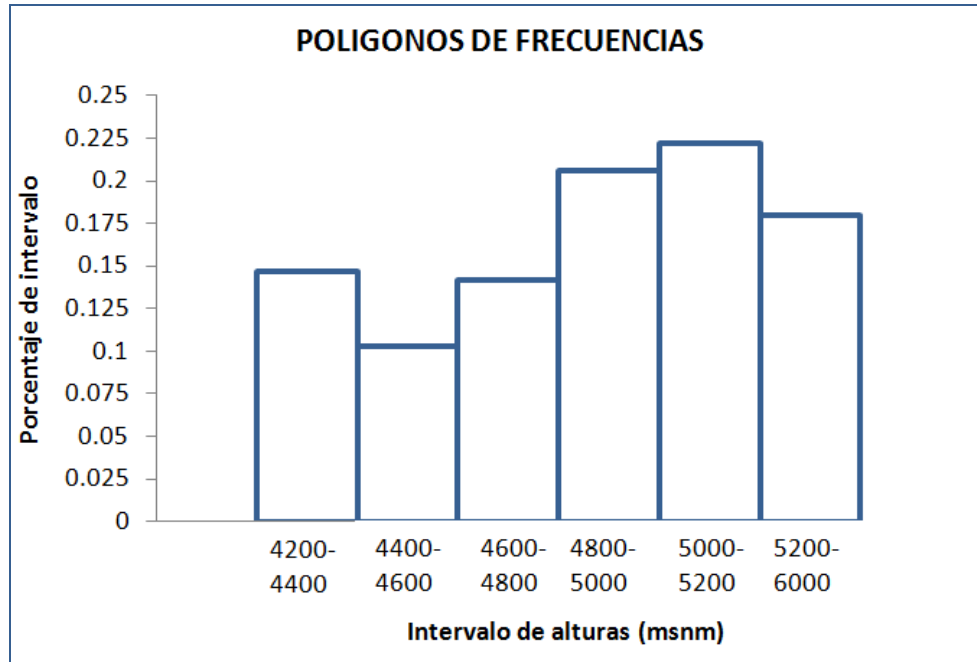


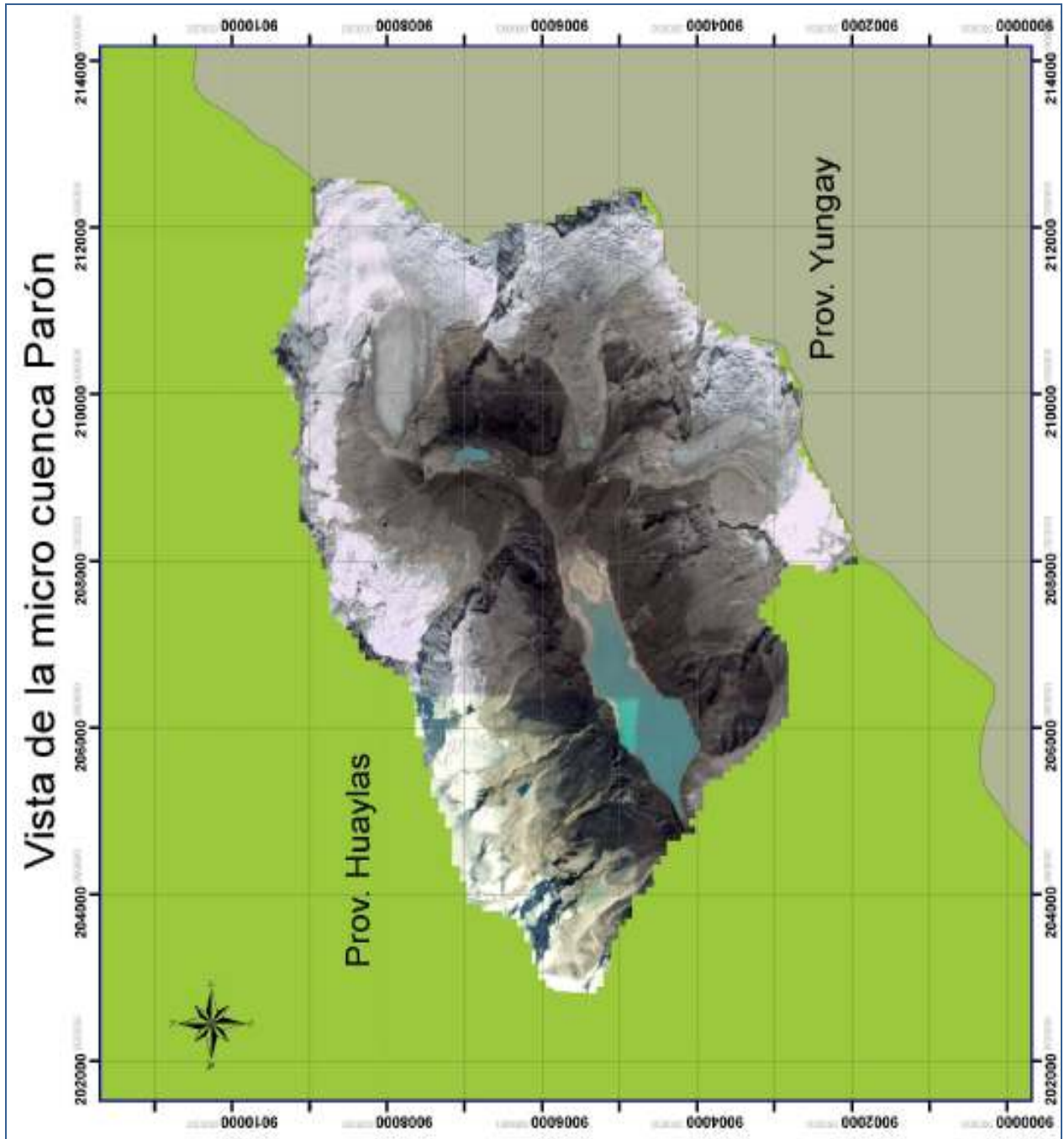
Figura 4.7 Polígonos de frecuencia generada a partir de los datos obtenidos por el programa ArcMap.



4.4 Consideraciones referidas a la escorrentía glaciar

Las imágenes satelitales, hoy en día, son utilizadas comúnmente para la realización de balances hídricos por la información actualizada que brindan acerca de la cobertura de los suelos de las zonas estudiadas, sin embargo en el presente trabajo se decidió el utilizar el programa libre Google Earth del que se obtuvieron imágenes satelitales de la zona en estudio tomadas en el año 2003. La figura 4.8 muestra la imagen satelital ya recortada con el contorno de la micro cuenca Parón y georeferenciada con el ArcMap. Como se observa en la mencionada figura es posible notar que debido a la resolución del DEM la línea de contorno de la micro cuenca no se ajusta con total exactitud a las abras que son la línea imaginaria divisoria de las provincias de Huaylas y de Yungay. Para efectos del presente trabajo no se tomará en cuenta estas diferencias.

Figura 4.8: Imagen obtenida del Google Earth georeferenciada y recortada con la forma de la micro cuenca en estudio.



A partir de la figura 4.8 se determinó el área glaciar para el escenario actual. Se consideró que la línea ELA (por sus siglas en inglés: ELA, Equilibrium Line Altitude) se encuentra a 5200 msnm tal como se explicó en la sección 3.11.1.

Tal como se observa en la figura 4.9 para determinar la zona glaciar actual, se partió de la imagen del Google Earth y con la ayuda de las curvas de nivel se definió el límite de la zona glaciar con una curva ubicada en la cota 5050msnm (línea en azul). Se observa también que se ubicó la línea ELA en los 5200 msnm (en línea roja discontinua). La superficie comprendida entre la línea azul y la línea roja discontinua representará la zona glaciar que aporta a la escorrentía glaciar tal como se explicó en la sección 3.11.1.

Para el escenario del año 2030, se usarán las conclusiones del estudio de Mark donde se concluye que en el periodo 1977-2003 el nevado Yanamarey, que se encuentra en la Cordillera Blanca, ha venido experimentando un retroceso estimado de su frente glaciar de 20 m/año (Mark 2008). Para alcances del presente trabajo se considerará que todos los nevados a portantes a la micro cuenca Parón tendrán el mismo ratio de retroceso estimado para el nevado Yanamarey. Es decir que si en el escenario actual 2010, el frente glaciar se ubicaba sobre los 5050 msnm para el año 2030 se estima que podría llegar a ubicarse en los 5450 msnm. Se tuvo la misma consideración para la ubicación de la línea ELA que en el escenario actual 2010 se encuentra en los 5200 msnm y que para el año 2030, se estima que esta línea podría retroceder unos 440 m aproximadamente, ubicándose en los 5600 msnm. Y aunque la ubicación de la línea ELA depende de diversos factores, como se explicó en la sección 3.11.1, para los alcances del presente trabajo se considerará válida esta consideración. En la figura 4.10 se observa con línea celeste la posible ubicación de la línea de los glaciares y en línea celeste discontinua se observa la ubicación de la línea ELA.

Como es de esperar, para el escenario del año 2090 ya no se contará con la presencia de zonas glaciares en el área.

Figura 4.9: Ubicación estimada de la línea ELA y de la línea hasta donde llegan los glaciares para el escenario actual 2010.

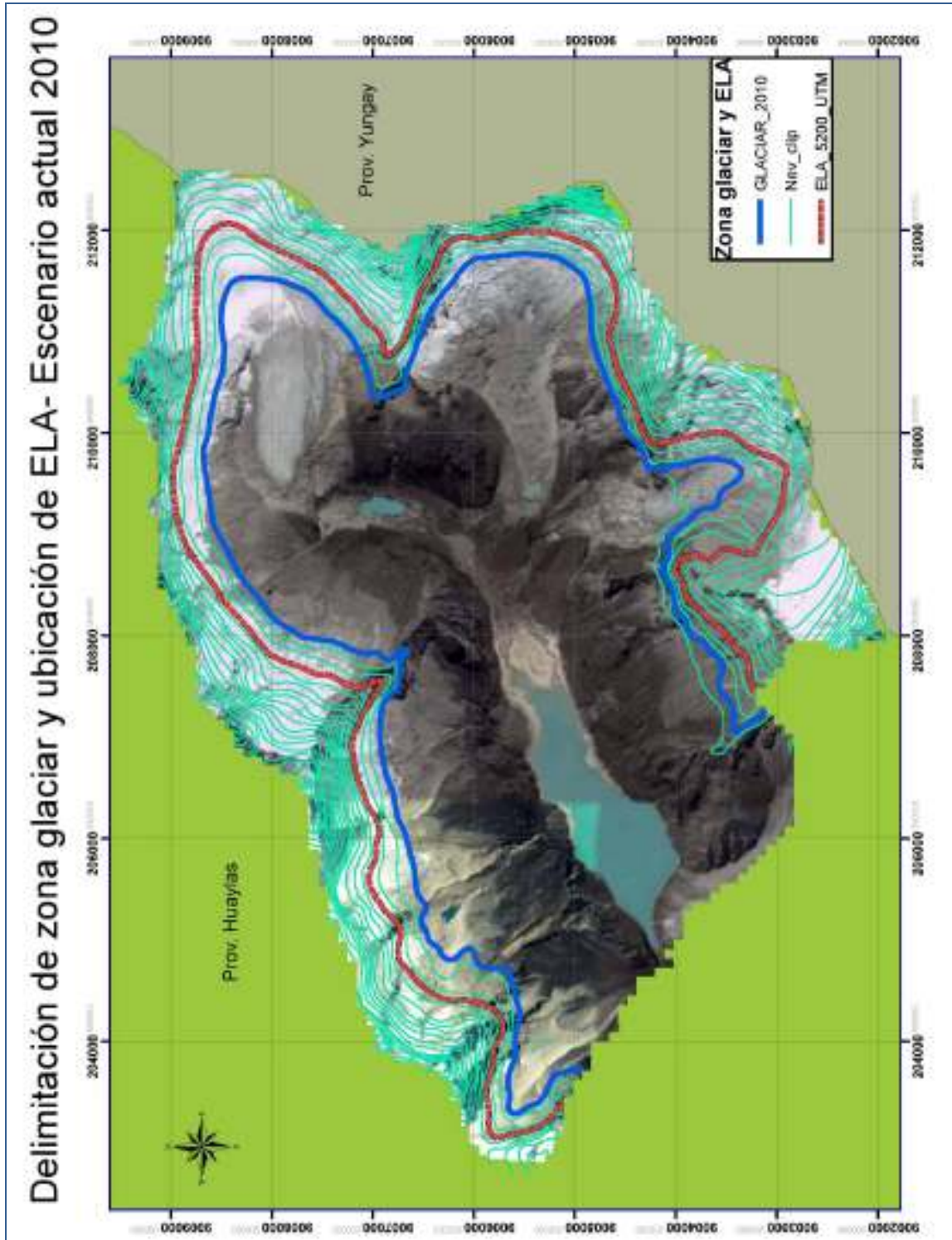
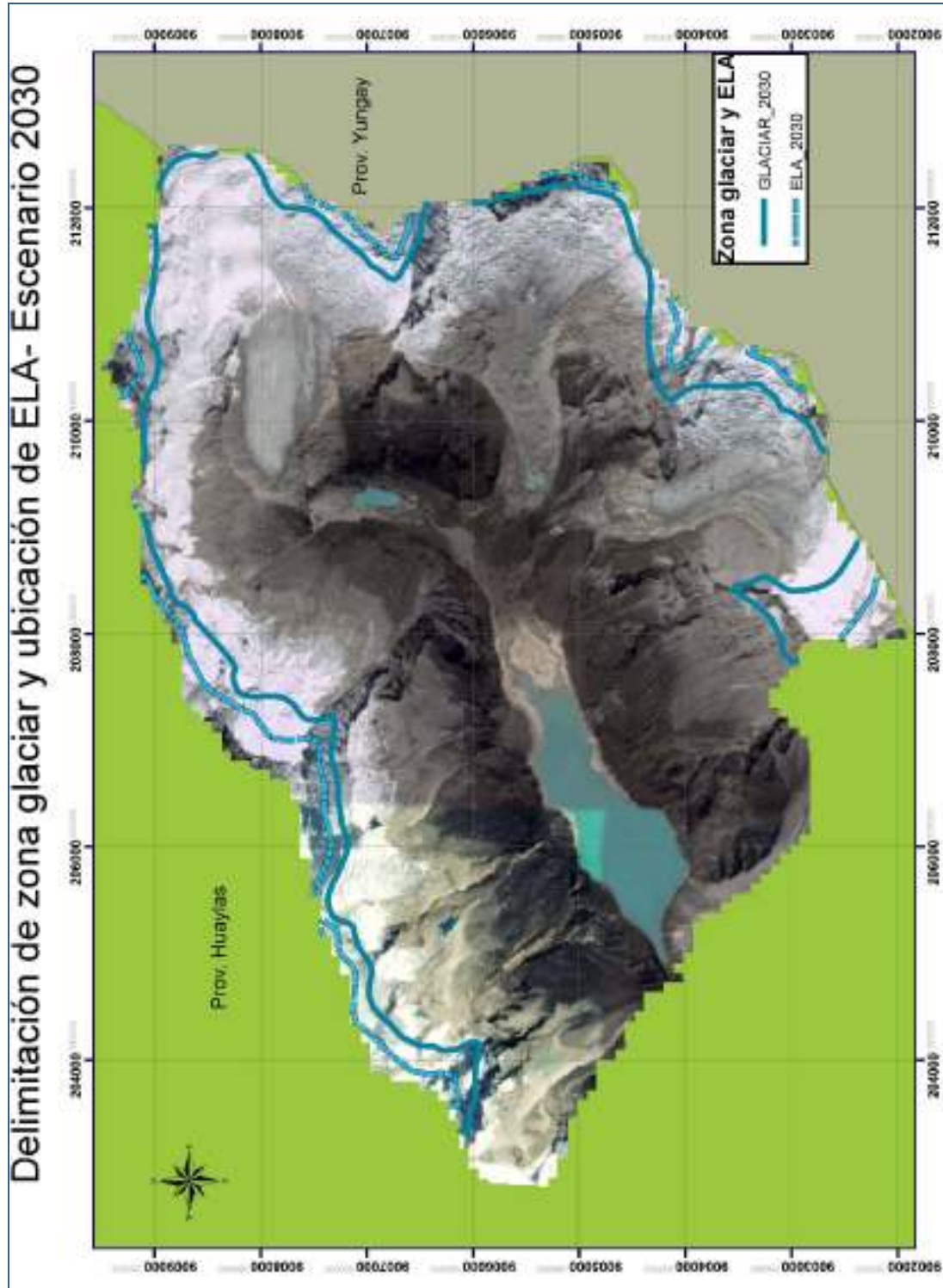


Figura 4.10: Ubicación estimada de la línea ELA y de la línea hasta donde llegan los glaciares para el escenario actual 2030.



Se tabuló y se ordenó las áreas, de la siguiente manera:

Tabla 4.2: Áreas de interés en la micro cuenca Parón en los tres escenarios planteados.

DESCRIPCION	AREA (KM2)	% AREA
Área de la micro cuenca	44.18	100
Área de lagunas	1.78	4
ESCENARIO ACTUAL		
Área no glaciar (desde los 4200 msnm hasta los 5050 msnm)	26.15	59
Área glaciar (desde los 5050 msnm hasta los 6000 msnm)	18.03	41
Área glaciar que no aporta (desde los 5200 msnm hasta 6000 msnm)	10.6	24
Área glaciar que aporta (desde los 5050 msnm hasta los 5200 msnm)	7.43	17
ESCENARIO 2030		
Área no glaciar (desde los 4200 msnm hasta los 5400 msnm)	39.68	90
Área glaciar (desde los 5400 msnm hasta los 6000 msnm)	4.5	10
Área glaciar que no aporta (desde los 5600 hasta los 6000 msnm)	3	7
Área glaciar que aporta (desde los 5400 hasta los 5600 msnm)	1.5	3
ESCENARIO 2090		
Área no glaciar (desde los 4200 hasta los 6000 msnm)	44.18	100
Área glaciar	0	0
Área glaciar que no aporta	0	0
Área glaciar que aporta	0	0

4.5 Consideraciones referidas a la escorrentía no glaciar

4.5.1 Clasificación de suelos de la cuenca Parón

- **Clasificación por pendientes**

Como se mencionó en el capítulo 3, para poder usar el método del SCS mejorado, necesitamos clasificar los suelos de la cuenca así como clasificar las pendientes presentes en la cuenca que influirán en la elección del número de curva CN.

El software ArcMap clasifica las pendientes de suelo con los intervalos que el usuario le asigne al programa. En la figura 4.11 se observa la cuenca clasificada en 9 intervalos de pendientes. Se puede notar también claramente los pixeles del formato creado por el programa. Una ventaja de delimitar la micro cuenca partiendo de un DEM, es que cada pixel no solo tiene información de altura con respecto del nivel del mar, sino que también tiene datos de pendiente. La figura también muestra que en aquellas zonas donde existe

embalsamiento de agua, como las lagunas Parón y Artesoncocha muestran una pendiente 0.

Tal como se mencionó en la sección 3.11.2 los valores del número CN a usar serán los encontrados por Montoya en su trabajo del año 2009. En la figura 4.12 se reclasificó las pendientes del suelo halladas en la figura 4.11 para que puedan coincidir con las pendientes encontradas en la cuenca del río Huarmey. El formato usado para la generación de este mapa (figura 4.12) permitirá más adelante superponer esta información con la de cobertura de suelo, ambos datos necesarios para la asignación del número CN del suelo.



Figura 4.11: Clasificación del suelo basada en las pendientes del suelo existentes en la micro cuenca.

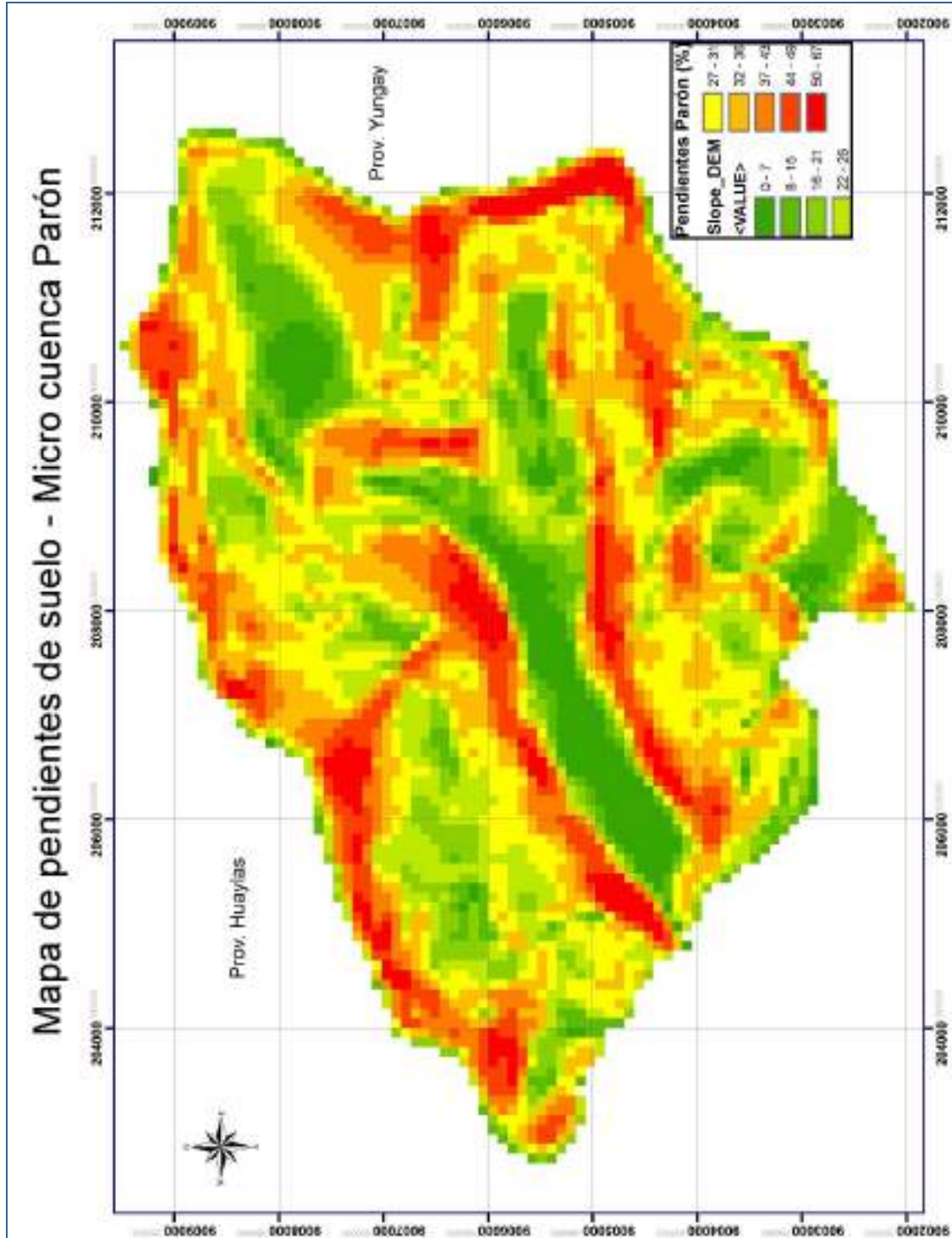
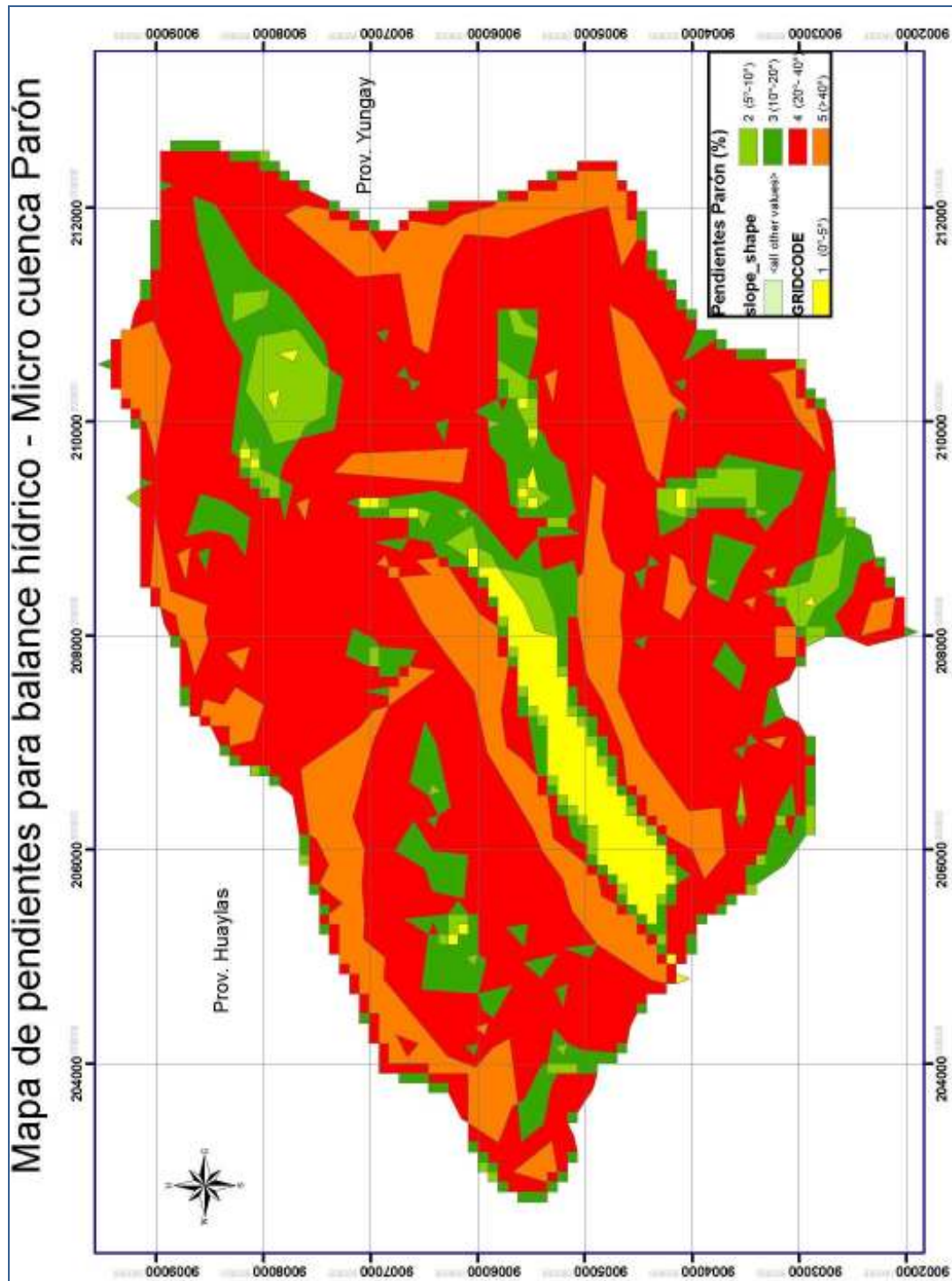


Figura 4.12: Clasificación del suelo en micro a considerar en balance hídrico.



- **Clasificación por tipo de cobertura del suelo**

Tal como se describe en el capítulo 3, en la zona existen suelos propios de cuencas glaciares, rocas, morrenas, etc. La información obtenida de la imagen del Google Earth así como la obtenida de las visitas a campo definió el tipo de cobertura que se asignó a los suelos presentes en la micro cuenca Parón para los escenarios 2010 y 2090, escenarios en los que se diferenciará la escorrentía glaciar de la no glaciar.

En la figura 4.13 se clasificó los tipos de coberturas de suelos definidos en la sección 3.11.2, existentes en la micro cuenca Parón. La caracterización de la cobertura del suelo alcanzó al área bajo la línea glaciar (línea azul) determinada en la figura 4.9, y se basó en las imágenes del Google Earth. El área de cobertura glaciar bajo el ELA y sobre el límite de la zona glaciar no fue incluida, pues como se determinó en la sección 3.11.1 que no se derrite. El análisis de esta zona se hizo de manera separada.

En la figura 4.14 se presenta la cobertura de suelo estimada para el escenario del 2090. Debido a la desaparición de los glaciares, se asume que para este escenario los suelos que hoy son ocupados por glaciares pasarán a ser suelos morrénicos. Para alcances prácticos del presente trabajo se considera válida esta suposición.

Figura 4.13: Clasificación de la cobertura de suelo para el escenario actual 2010.

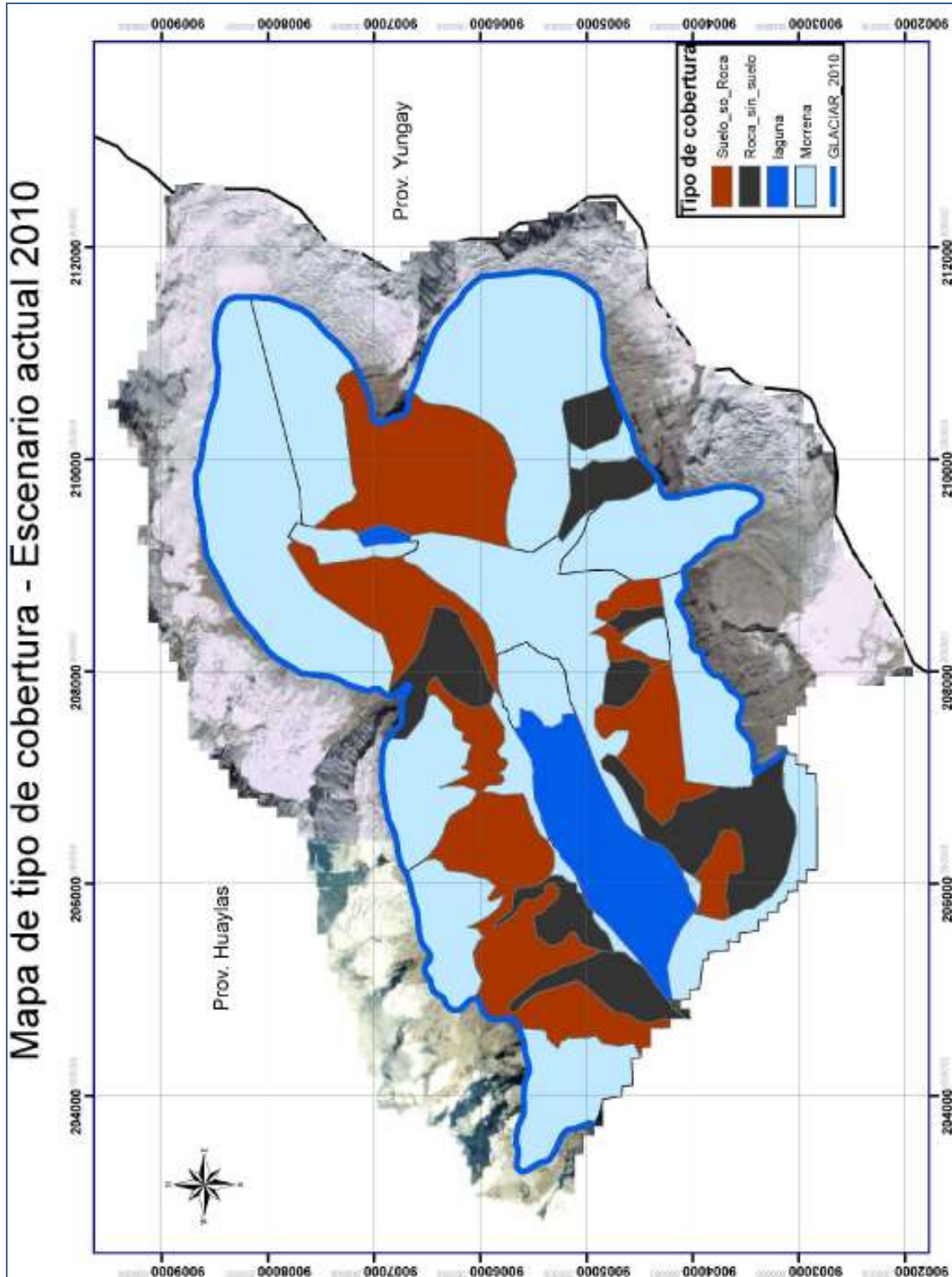
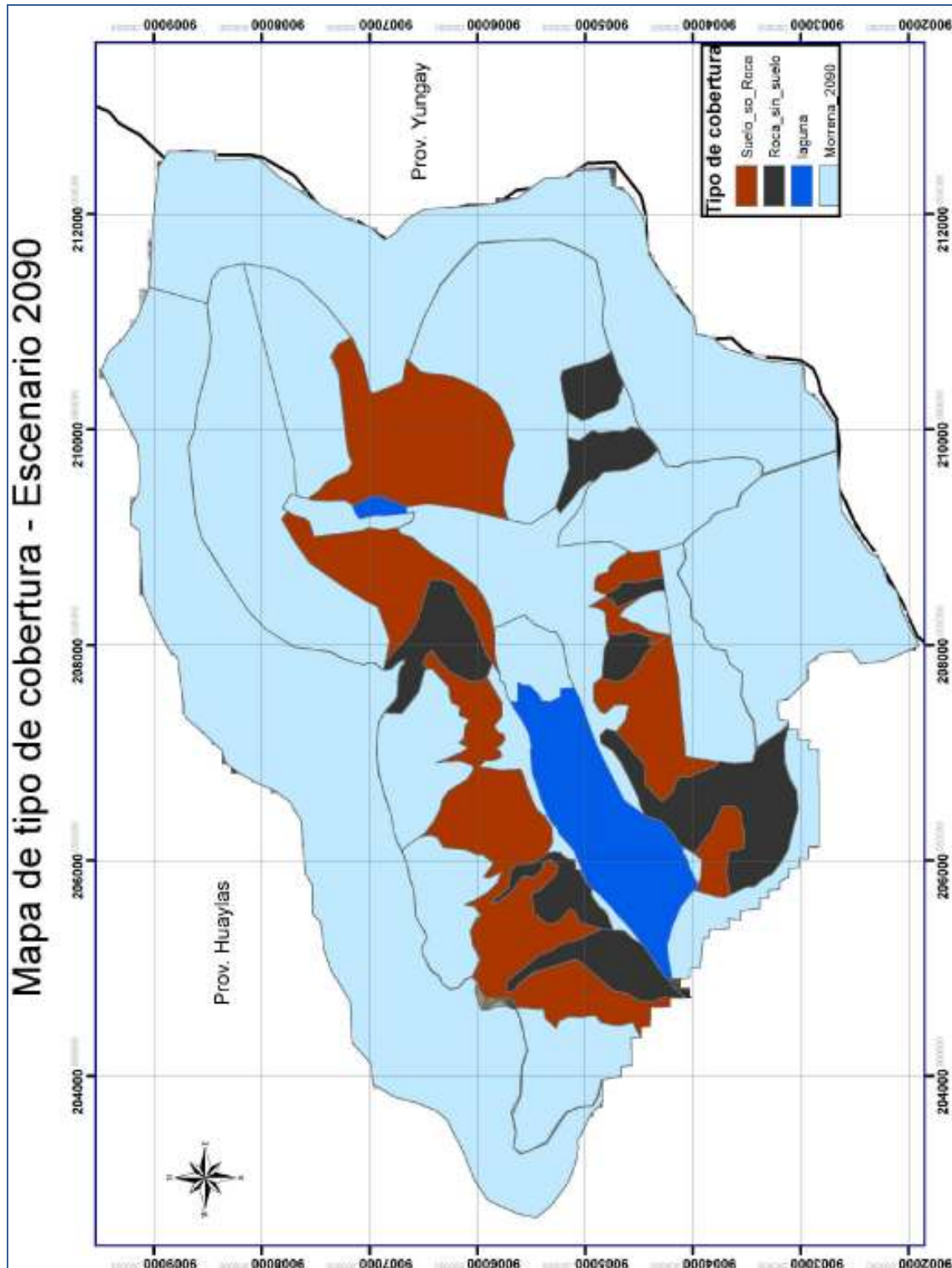


Figura 4.14: Clasificación de la cobertura de suelo para el escenario 2090.



Los datos generados por el ArcMap se ordenaron como muestra la tabla 4.3, sólo para los escenarios del 2010 y 2090, pues sólo en estos escenarios se diferenciará la escorrentía glaciar de la no glaciar.

Tabla 4.3: Tipo de cobertura en la micro cuenca Parón

Tipo de cobertura de la cuenca Parón				
Cobertura	2010		2090	
	Área (km2)	Área %	Área (km2)	Área %
Glaciar	18.03	41	0	0
Morrenas	14.69	33	32.72	74
Roca intrusiva sin cobertura vegetal (ROCA_NOSUELO)	3.25	7	3.25	7
Roca con cobertura de suelo (SUELO_ROCA)	6.36	14	6.36	14
Laguna	1.85	4	1.85	4
TOTAL	44.18		44.18	

Para poder hacer interactuar la información de pendientes con la información de tipo de cobertura de suelo se realizó una interacción de ambos mapas obteniendo un mapa final al que fue posible asignarle el valor de CN indicado en la tabla 3.3 de la sección 3.11.2. Como se puede apreciar en la figura 4.15, la micro cuenca Parón (bajo el área glaciar) fue subdividida en áreas pequeñas, cada una de ellas con un valor de tipo de cobertura y un tipo de pendiente asignado. Se observa también que el área correspondiente de las lagunas no ha sido considerada.

Siguiendo el mismo procedimiento que el escenario actual 2010, para el escenario 2090 se obtiene un mapa de cobertura – pendiente como se muestra en la figura 4.16.

Figura 4.15: Clasificación de cobertura de suelo con una pendiente asignada para el escenario actual 2010.

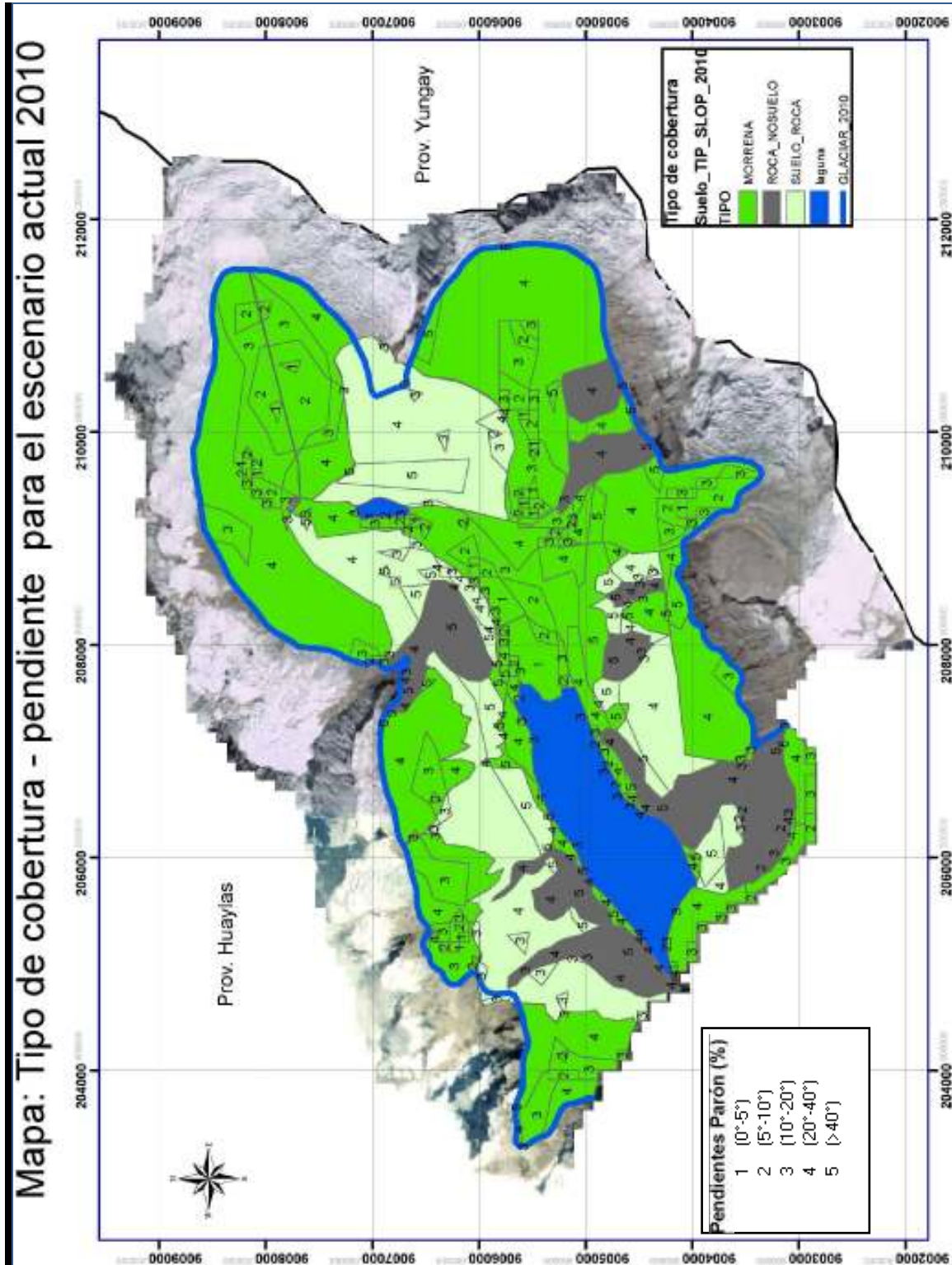
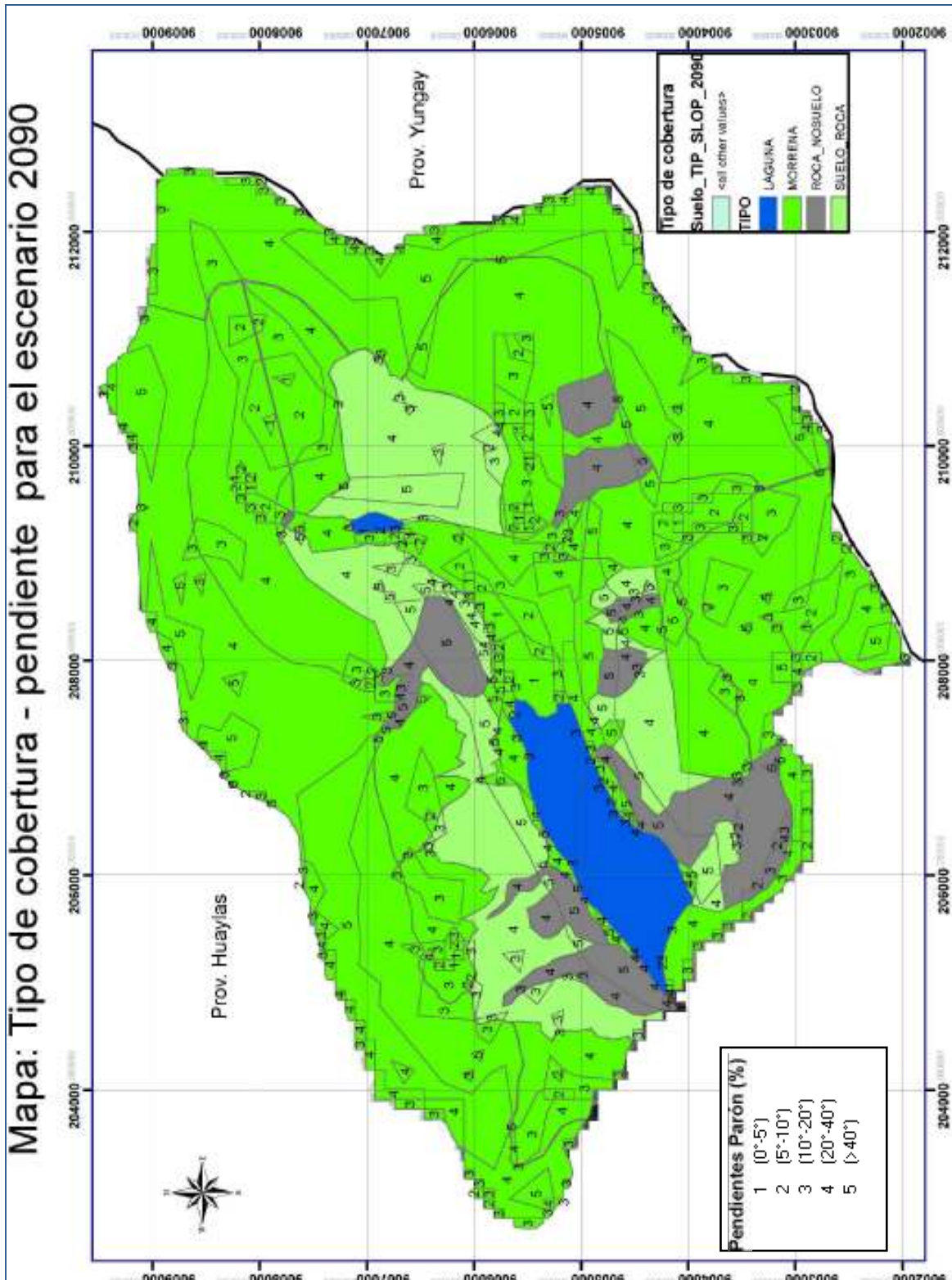


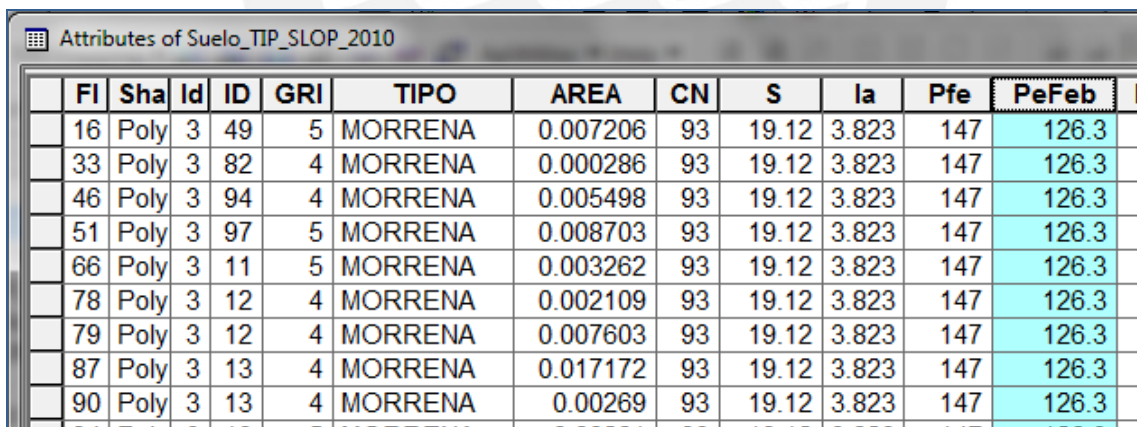
Figura 4.16: Clasificación de cobertura de suelo con una pendiente asignada para el escenario 2090.



Tanto para el escenario del 2030 y 2090 en la “tabla de atributos” del nuevo mapa generado (de la superposición del mapa de pendientes de suelo y cobertura de suelo) se introduce el valor del número CN asignado en la tabla 3.3 de la sección 3.11.2. También se le agrega los valores de precipitaciones correspondientes a cada mes tal como se muestra en el fragmento de la “tabla de atributos” mostrado en la figura 4.17. Para obtener los valores mensuales correspondientes a la esorrentía no glaciaria Pe se usó las formulas planteadas en el capítulo 3.

En la figura 4.17 se puede observar la interacción de la pendiente del suelo (5ta columna) con del tipo de suelo (6ta columna), con el área, con el número CN, con el valor de la retención potencial máxima S, con la precipitación P y con el valor final de la esorrentía Pe para el mes de febrero. Acumulando los valores del Pe, el programa halla los valores mensuales para la precipitación no glaciaria. Las formulas usadas en esta tabla de atributos son las señaladas en la sección 3.10.2.

Figura 4.17: Tabla de atributos generada por el Arc Map donde se muestra la clasificación de cobertura de suelo con una pendiente asignada para el escenario 2010. Se puede notar también el valor de CN ingresado.



	FI	Sha	Id	ID	GRI	TIPO	AREA	CN	S	la	Pfe	PeFeb	P
	16	Poly	3	49	5	MORRENA	0.007206	93	19.12	3.823	147	126.3	
	33	Poly	3	82	4	MORRENA	0.000286	93	19.12	3.823	147	126.3	
	46	Poly	3	94	4	MORRENA	0.005498	93	19.12	3.823	147	126.3	
	51	Poly	3	97	5	MORRENA	0.008703	93	19.12	3.823	147	126.3	
	66	Poly	3	11	5	MORRENA	0.003262	93	19.12	3.823	147	126.3	
	78	Poly	3	12	4	MORRENA	0.002109	93	19.12	3.823	147	126.3	
	79	Poly	3	12	4	MORRENA	0.007603	93	19.12	3.823	147	126.3	
	87	Poly	3	13	4	MORRENA	0.017172	93	19.12	3.823	147	126.3	
	90	Poly	3	13	4	MORRENA	0.00269	93	19.12	3.823	147	126.3	

CAPITULO 5

**BALANCE HIDRICO DE LOS ESCENARIOS DE INVESTIGACIÓN
USANDO SIG**

Vista de La cordillera Blanca desde la cordillera negra. (Foto: Mónica Untiveros Lázaro. Julio del 2009)

"Ser libre no es solamente, desamarrarse las propias cadenas, sino vivir en una forma que respete y mejore la libertad de los demás." Nelson Mandela.

5. BALANCE HIDRICO 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 un 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 no se cuenta con datos completos de los volúmenes de descarga a través del túnel de regulación, datos que vendrían a ser directamente la variación del sistema. Sin embargo también se menciona que se tiene información sobre los permisos de usos de agua de la empresa de hidroeléctrica reduciendo los volúmenes descargados a un intervalo entre 8m³/s y 1m³/s.

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

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

$$Q_{\text{entrada}} = Q_{\text{salida}} \quad (10)$$

$$\Delta = P + RO - F - E - ET \quad (11)$$

P: Precipitación sobre la laguna en MMC F: Infiltración en MMC

ET: Evapotranspiración en MMC E: Evaporación directa de la laguna en MMC

RO: Escorrentía en MMC

Donde $RO = RO_{ng} + RO_g$ (12)

RO_{ng} : Escorrentía no glaciar

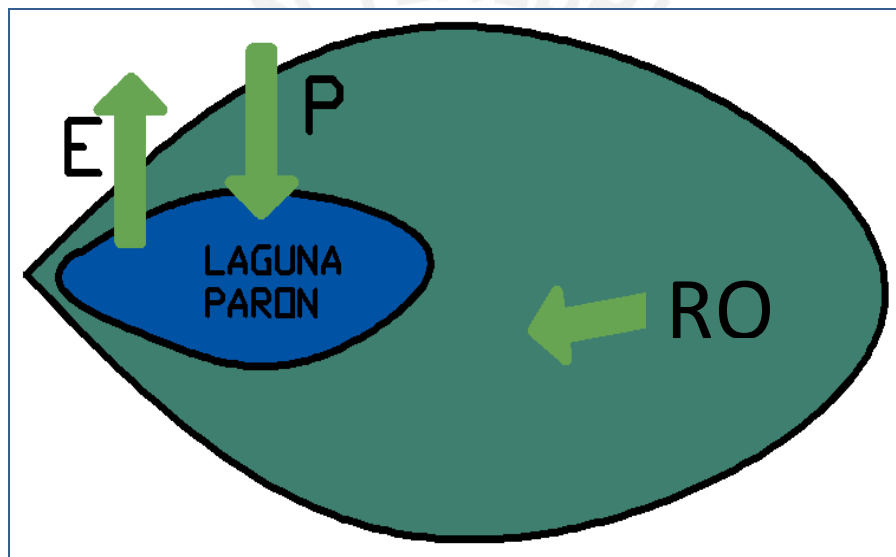
RO_g : Escorrentía glaciar

Como se explicó en el Capítulo 3 la infiltración F y la Evapotranspiración ET no serán consideradas, por lo que se tendrá:

En la figura 5.1 se observa el esquema de balance hídrico. Como se observa en el esquema no se considera en el balance los caudales de salida a través del túnel de derivación. Entonces el análisis se realizará en un escenario actual estático. El objetivo del balance es saber la cantidad de agua de la que se dispone anualmente.

$$\Delta = P + RO - E \quad (13)$$

Figura 5.1: Esquema de balance hídrico

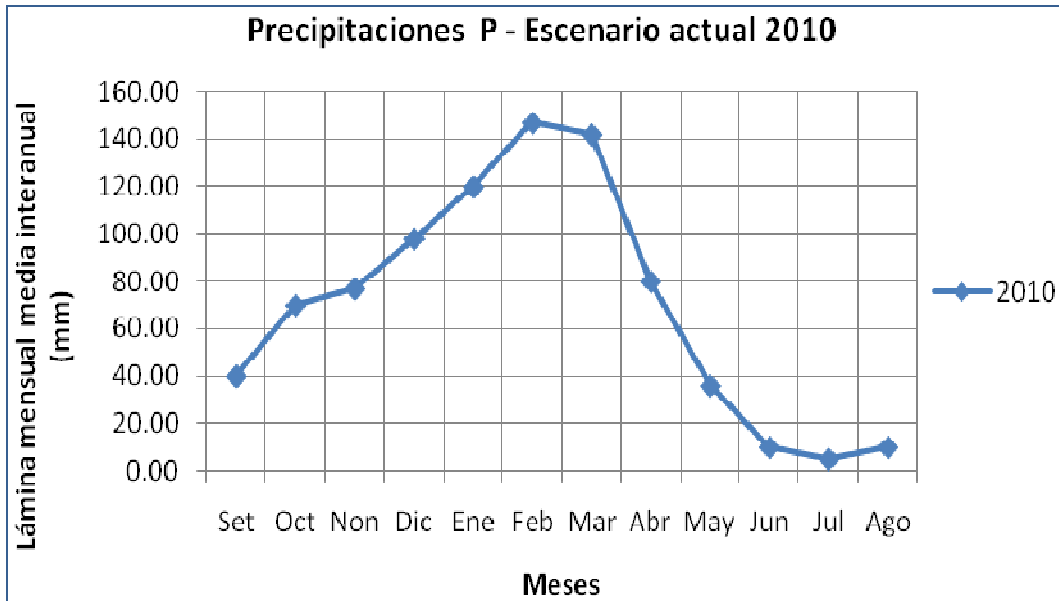


5.1.1 Escenario Actual

- **Precipitación**

Como se explicó en el capítulo 3, sección 3.10.1, la precipitación media fue tomada del estudio de COES - SINAC. En la figura 5.2 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 5.2: Precipitaciones para el escenario actual 2010



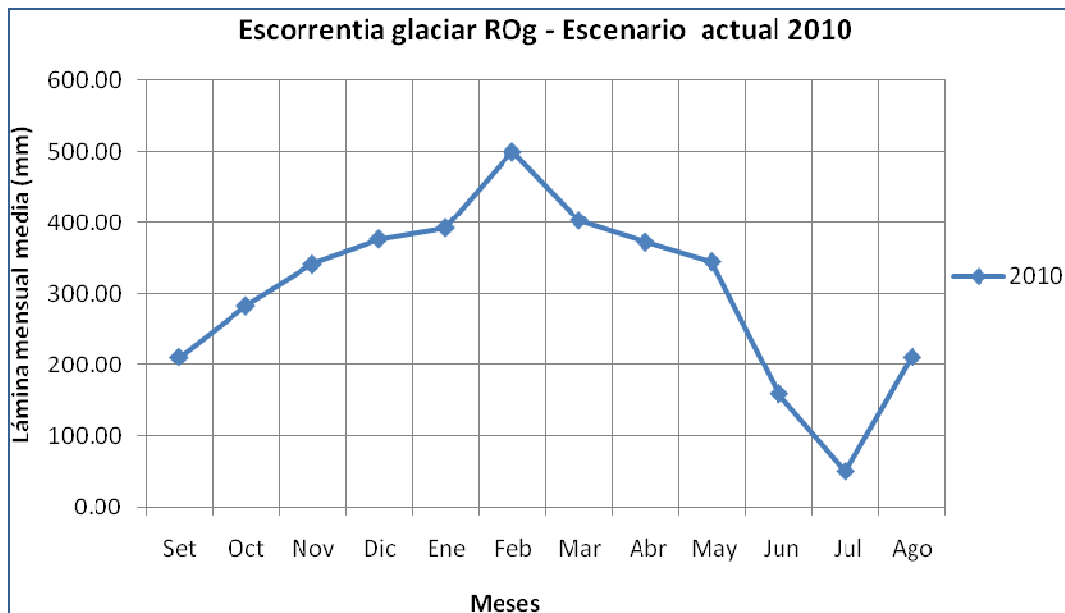
- **Escorrentía RO**

Escorrentía glaciar RO_g

Tal como se mencionó en el capítulo 3, las láminas escurridas del nevado Artesonraju representarán la escorrentía glaciar proveniente de toda la zona glaciar aportante y tal como se estimó en el capítulo 4, sección 4.4, es de 18.03 Km².

Los valores menores de escorrentía glaciar se dan en los meses de estiaje y los mayores en la época húmeda coincidiendo con un mayor albedo y menor albedo, respectivamente, como se explicó en el capítulo 3 y como se observa en el comportamiento de curva de la figura 5.3, donde los niveles más altos de la lamina mensual media de escorrentía glaciar se dan en los meses de enero, febrero y marzo.

Figura 5.3: Escorrentía glaciar para el escenario actual 2010



Para estimar los volúmenes de escorrentía glaciar se usó los valores de la lámina diaria escurrida mostrados en la gráfica derretimiento glaciar vs tiempo incluida en la imagen 3.11 del capítulo 3. Se estimó el promedio mensual y finalmente se acumuló las láminas para obtener una lámina anual. El valor obtenido se utilizó como el valor representativo de toda el área glaciar hallada con el Arc Map en la tabla 4.2 del capítulo 4.

Como se indicó en el capítulo 3, sección 3.11.1 el mayor aporte de los glaciares se da en la época de avenidas, época de mayor albedo como lo muestra la tabla 5.1.

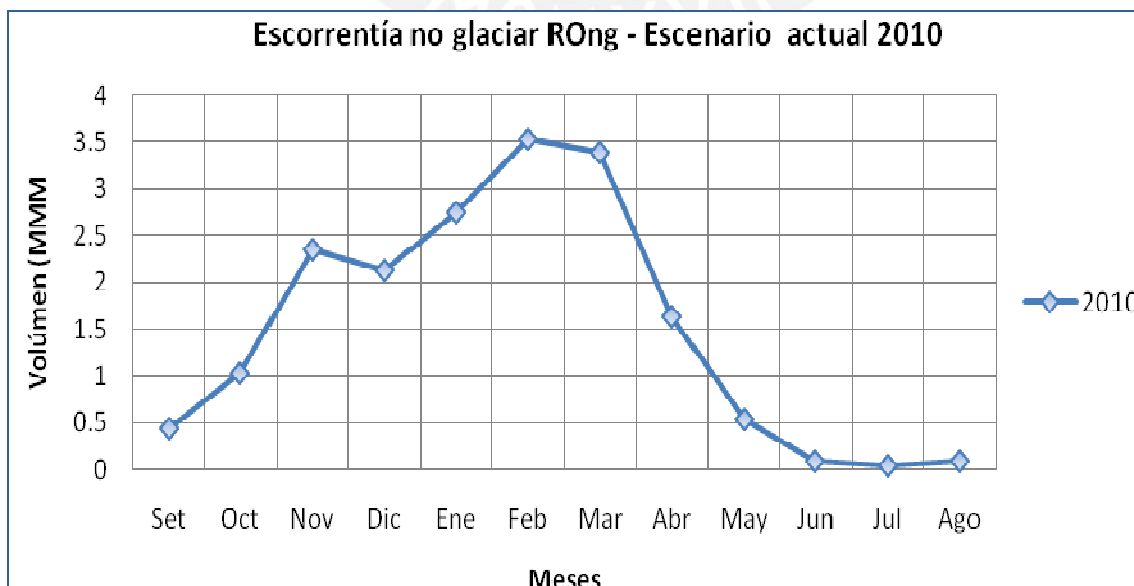
Tabla 5.1: Escorrentía glaciar para el escenario actual 2010

Mes	Lámina mensual media (mm)	Superficie glaciar entre 5050-5200 msnm-escenario 2010 (km ²)	Volumen de escorrentía glaciar- escenario 2010 (MMC)
Set	210.70	7.43	1.57
Oct	283.10	7.43	2.10
Nov	341.20	7.43	2.54
Dic	376.75	7.43	2.80
Ene	392.45	7.43	2.92
Feb	499.96	7.43	3.71
Mar	403.40	7.43	3.00
Abr	372.10	7.43	2.76
May	344.70	7.43	2.56
Jun	158.60	7.43	1.18
Jul	50.10	7.43	0.37
Ago	211.00	7.43	1.57
TOTAL(mm)	3644.06	TOTAL (MMC)	27.08

Escorrentía no glaciar RO_{ng}

Se siguió el procedimiento mencionado en la capítulo 3, con las áreas clasificadas por tipo de cobertura de suelo y por tipo de pendiente de la cuenca definidas en el capítulo 4, finalmente la precipitación utilizada fue la mostrada en la figura 5.2. En la figura 5.4 se observa un comportamiento similar al de las precipitaciones, evidenciando la poca retención de la cuenca debido al tipo de cobertura de suelo existente en ella.

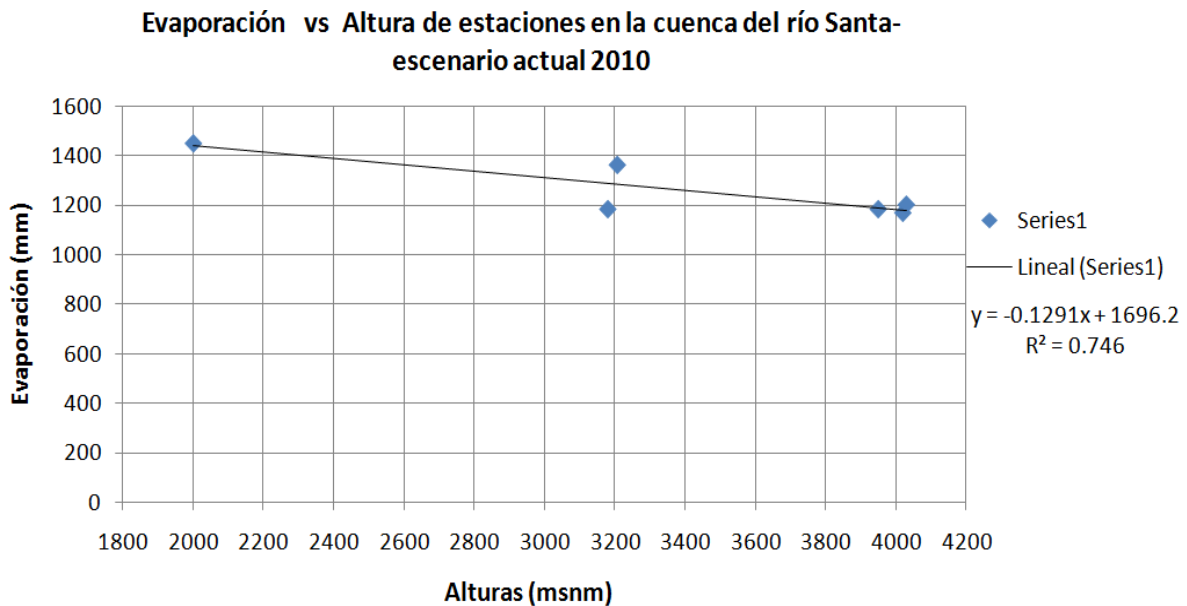
Figura 5.4: Escorrentía no glaciar para el escenario actual 2010



- **Evaporación E**

La evaporación se estimó generando una curva de regresión lineal con la información de alturas sobre el nivel del mar de las estaciones de medición de evaporación en la cuenca del río Santa. La evaporación anual respectiva de estas estaciones se muestra en la tabla 3.4 del capítulo 3. A partir de la ecuación mostrada en la figura 5.5 se determinó el valor de la evaporación media anual.

Figura 5.5: Curva de regresión lineal para la evaporación en el escenario actual 2010



Como se explicó en el capítulo 3 la evaporación depende de varios factores meteorológicos adicionales a la ubicación y a la temperatura, pero para alcances del presente trabajo se asume que el comportamiento mensual de la evaporación en la micro cuenca Parón será proporcional al mostrado por la evaporación encontrada en la estación Querococha ubicada a 3180msnm, de la cual sí se dispone datos mensuales publicados en la página web del Organismo Supervisor de la Inversión de la Energía y Minería OSINEGMIN.

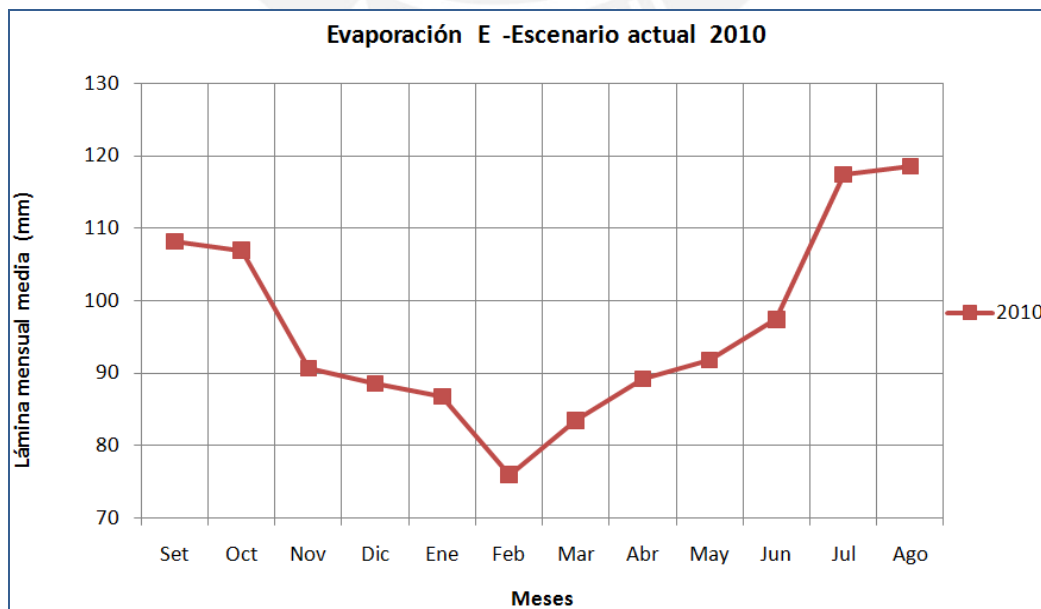
En la tabla 5.2 se presentan los datos de evaporación estimados para la laguna Parón a partir del valor de evaporación anual obtenida de la línea de regresión de la figura 5.4 generada a partir de los datos obtenidos por la Estación Querococha. Estos datos fueron obtenidos de la página del OSINERGMIN como se explicó en la sección 3.12.1.

Tabla 5.2: Evaporación estimada para el escenario actual 2010. (Fuente de los datos de la estación Querococha: OSINERGMIN 2005, Anexo F: 326)

MES	Evaporación Querococha (*) (mm)	Evaporación estimada Parón (mm)
Enero	82.1	86.8
Febrero	71.9	76.0
Marzo	79	83.5
Abril	84.4	89.2
Mayo	86.9	91.8
Junio	92.2	97.4
Julio	111.1	117.4
Agosto	112.2	118.6
Setiembre	102.4	108.2
Octubre	101.2	106.9
Noviembre	85.8	90.7
Diciembre	83.8	88.6

Para completar los datos meteorológicos faltantes para el escenario actual se asumirá que los datos obtenidos del ANA (humedad relativa y temperatura) correspondiente a la laguna Artesoncocha son válidos para la laguna Parón, pues se encuentra a menos de 2 km de distancia y con una diferencia entre sus cotas de menos de 100m. La figura 5.6 muestra las láminas mensuales medias estimadas para el escenario actual 2010, 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 5.6: Curva de regresión lineal para la evaporación en el escenario actual 2010



- **Evapotranspiración ET**

Se intentó estimar este parámetro haciendo uso del software LocLim, pues no se cuenta con procedimientos validados para zonas en las que se encuentran especies como el hichu u otras especies nativas de zonas alto andinas. Los valores que se obtuvo con el programa son elevados y desproporcionados por lo que se decidió no considerar este parámetro para ningún escenario.

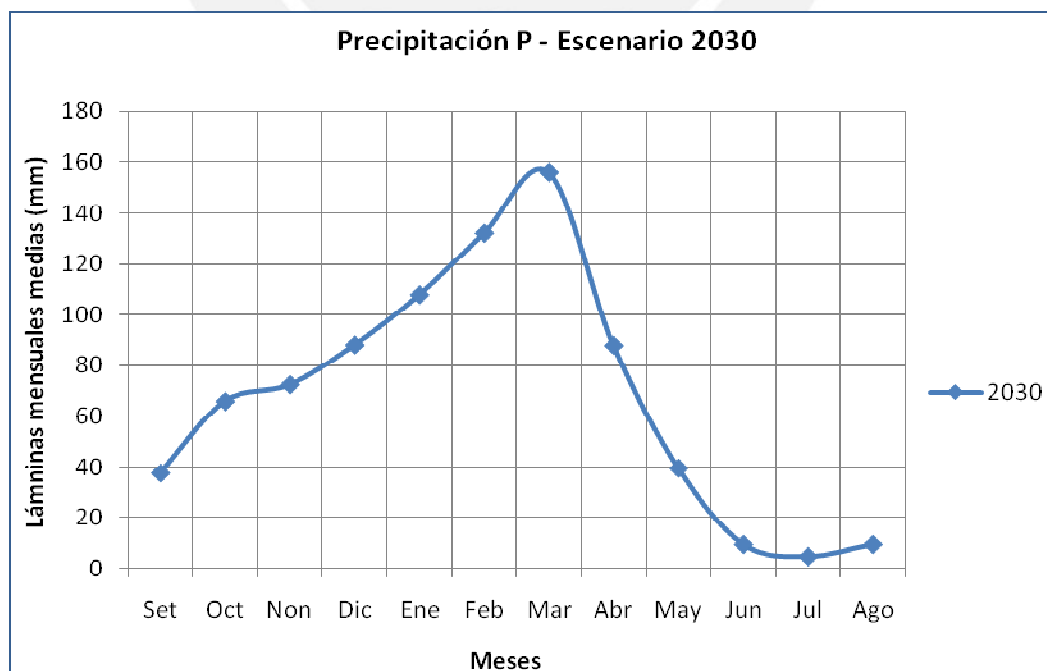
5.1.2 Escenario del año 2030

Para este escenario se mostrará los resultados mensuales de los parámetros, precipitación y evaporación sólo para poder comparar su comportamiento con el resto de escenarios.

- **Precipitación P**

Usando los porcentajes de variación hallados por el SENAMHI el año 2009 y partiendo de las precipitaciones halladas para el escenario actual 2010 mostradas en la figura 5.2, se obtuvo las láminas mensuales medias en este escenario del 2030, tal como se explicó en la sección 3.9.2. La figura 5.7 muestra la marcada diferencia entre las estaciones en un año hidrológico típico de la sierra.

Figura 5.7: Precipitaciones estimadas para el escenario 2030



- **Escorrentía RO**

Escorrentía no glaciar y escorrentía glaciar

Para el caso del escenario del 2030 tal como se explicó en el capítulo 3 no se diferenciará la escorrentía glaciar de la no glaciar debido a las múltiples suposiciones que tendrían que asumirse para llegar a resultados referidos a la escorrentía glaciar. El impacto del cambio climático sobre el cambio de velocidad de ablación está fuera de los alcances del presente trabajo.

Usando el valor máximo de la lámina escurrida generada por el Pouyaud el at. el año 2005 y mostrada en la figura 3.12 del capítulo 3, se obtuvo la tabla 5.3 donde se muestra el valor estimado de la escorrentía total de la micro cuenca Parón para el escenario 2030.

Tabla 5.3: Volumen total de la escorrentía estimado para el escenario 2030 estimado a partir de la información de Pouyaud el at. generada el 2005.

Lámina escurrida escenario 2030 (mm)	Área total de la micro cuenca (km ²)	Volumen escurrido por año (MMC)
1550	44.18	68.479

- **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 nomograma de Penman. De la misma manera que se asumió en el escenario actual la evaporación tendrá un mismo valor para ambas lagunas en ambos escenarios futuros.

A través de procesos iterativos y usando los datos de evaporación actual, humedad relativa y velocidad del viento hallados por el software LocClim y usando el nomograma de Penman para poder obtener el valor de la 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:

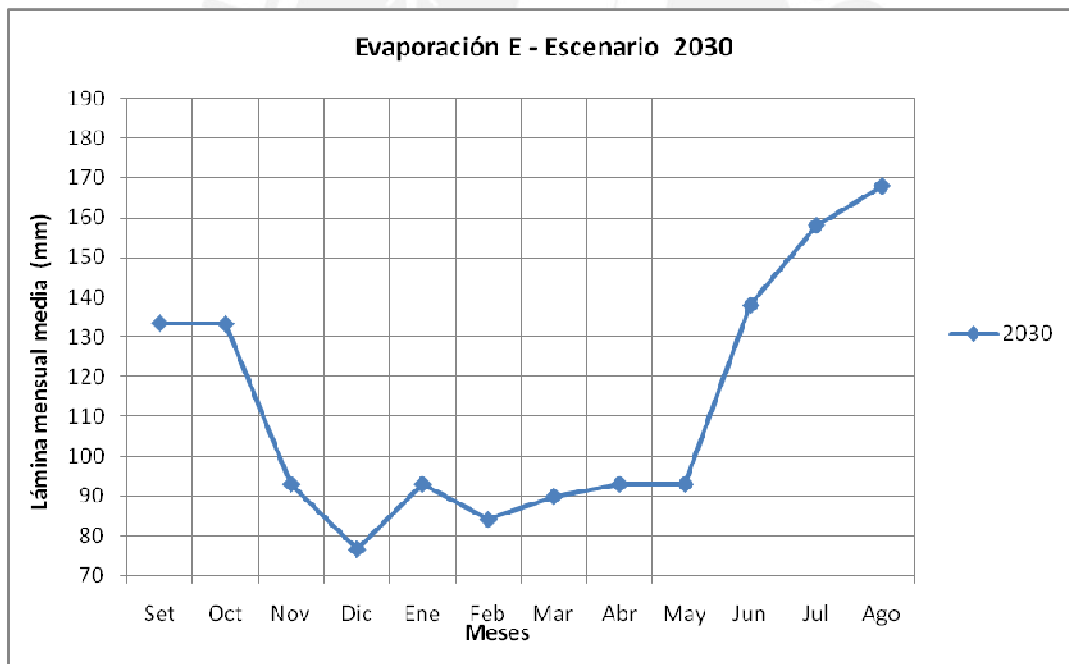
- Se asumió un valor de la duración relativa de insolación n/D.

- A partir de los parámetros actuales antes mencionados, humedad relativa, temperatura, velocidad del viento, valor de Angot RA (extraído de tablas) y usando el nomograma de Penman se estimó la evaporación E para cada mes.
- El valor hallado fue comparado con el valor de E que fue estimado en la tabla 5.2. 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 nomograma de Penman se obtiene la evaporación mensual desde la superficie de un embalse para el escenario del año 2030.

La figura 5.8 muestra que el comportamiento de la evaporación en el escenario 2030 sigue la tendencia de la curva hallada para el escenario del 2010.

Figura 5.8: Evaporación estimada para el escenario 2030



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 regresiones 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 daban en 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 los 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 reacomodó los meses, de manera que el inicio coincida con el mes de setiembre, considerado el inicio del año hidrológico.

La figura 5.9 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 5.10 muestra las láminas mensuales medias de precipitación reconstruidas a partir de la curva polinómica de regresión hallada previamente.

Figura 5.9: Datos de precipitación estimados para el escenario 2030

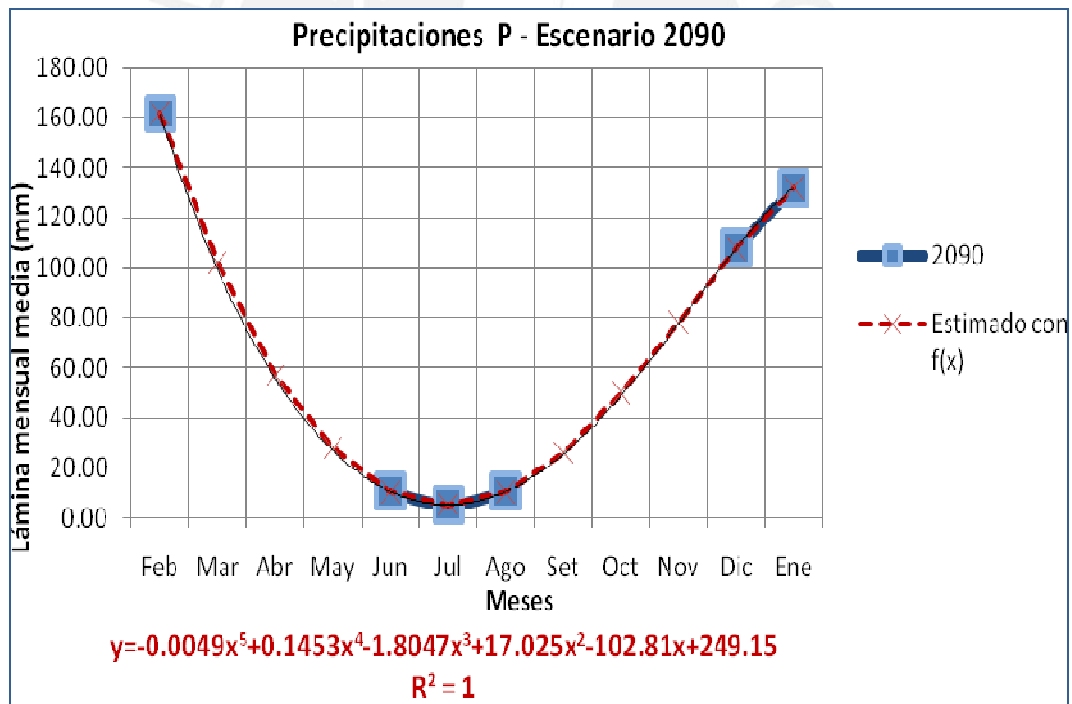
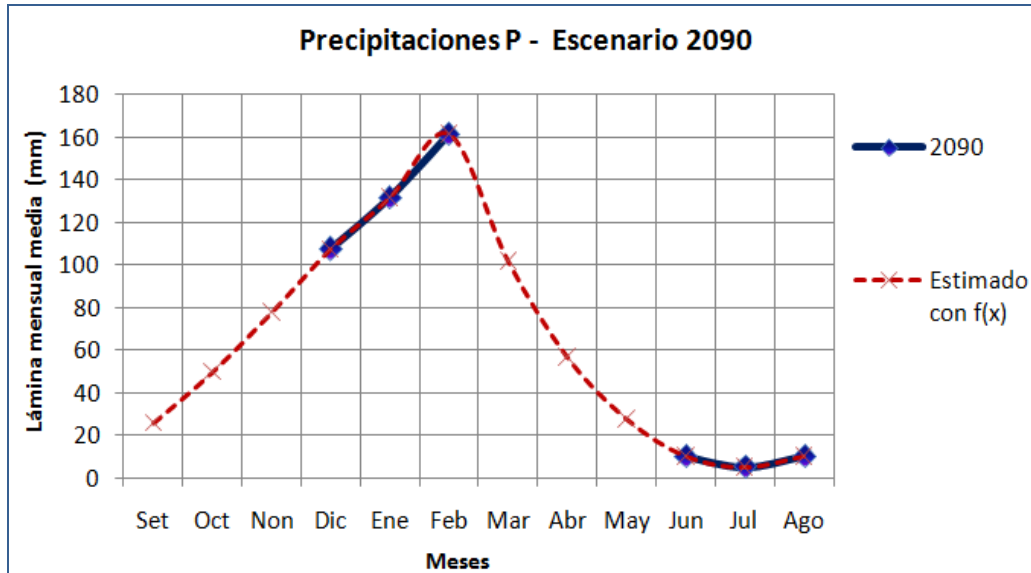


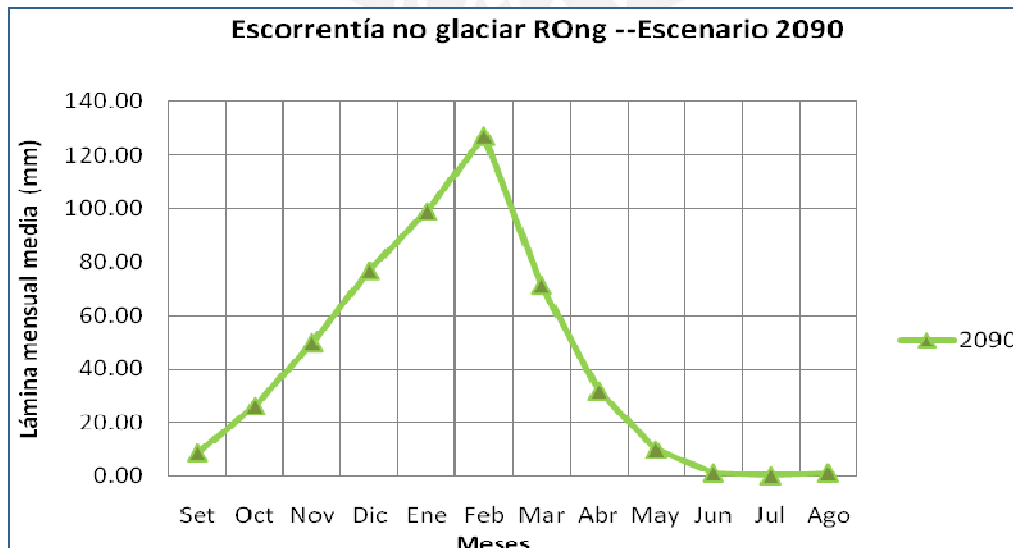
Figura 5.10: Láminas mensuales media de precipitación estimadas para el escenario 2030



- **Escoorrentía RO_{ng}**

Para el caso del escenario del año 2090 donde se asume que no existirá aporte de los glaciares y considerando que las características del suelo se mantienen constantes, la escoorrentía total es la escoorrentía directa generada a partir de las precipitaciones encontradas para este escenario. La figura 5.11 muestra que el comportamiento de la escoorrentía no glaciar es semejante al de las precipitaciones de la figura 5.10.

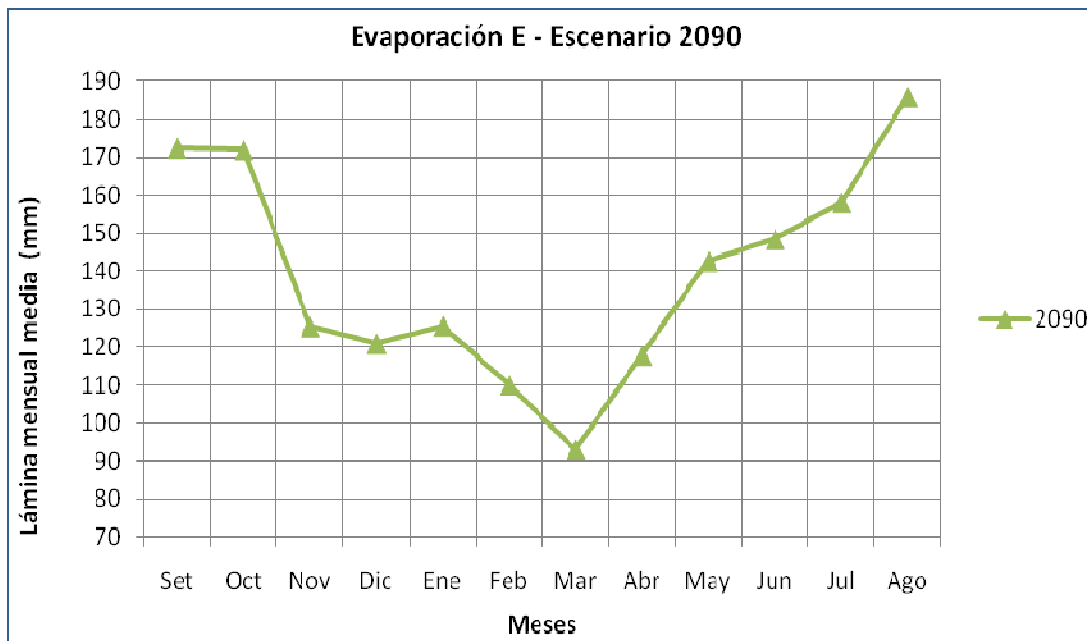
Figura 5.11: Láminas medias mensuales de escoorrentía no glaciar estimadas para el escenario 2090



- **Evaporación**

Como se explicó en el punto 5.3.2, el procedimiento a seguir para estimar la evaporación de los escenarios futuros es el procedimiento que emplea el nomograma de Penman. La figura 5.12 muestra el comportamiento de la evaporación estimada usando este procedimiento para este escenario.

Figura 5.12: Láminas mensuales medias de escorrentía no glaciaria estimadas para el escenario 2090



CAPITULO 6

RESULTADOS DEL BALANCE HIDRICO



Atardecer en la Sub cuenca Parón Lullán- Caráz. (Foto: Mónica Untiveros Lázaro. Fecha: Junio del 2009)

"La educación es el arma más poderosa que puedes usar para cambiar el mundo." Nelson Mandela

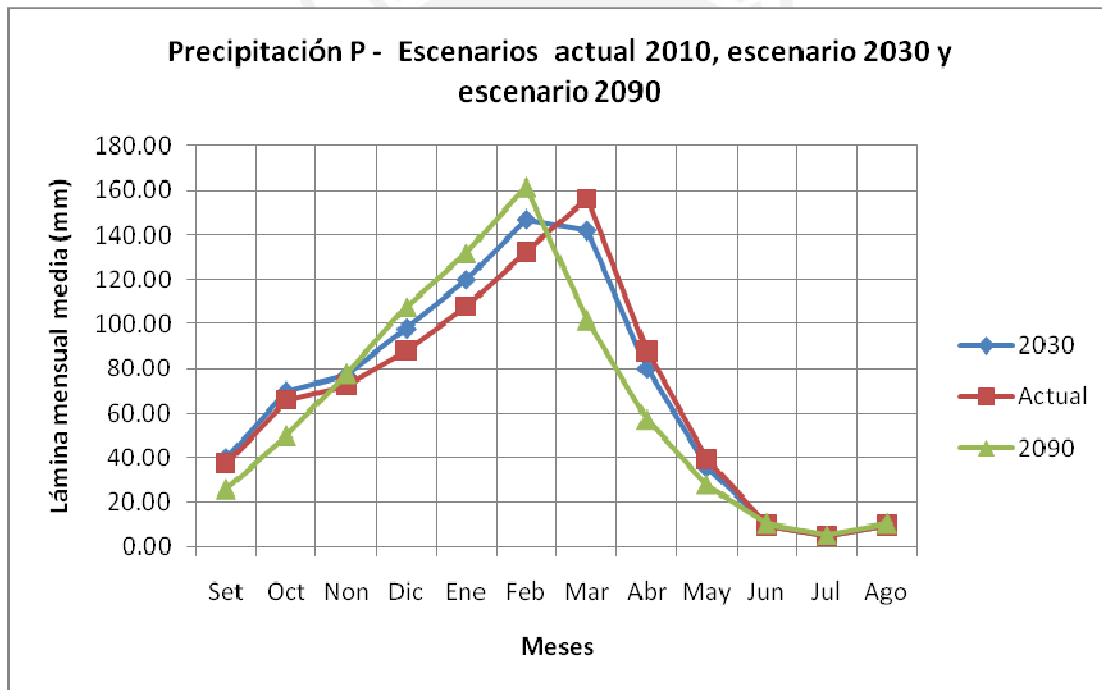
6. RESULTADOS DEL BALANCE HIDRICO

6.1 Resultados

- **Con respecto los parámetros considerados en el balance hídrico**

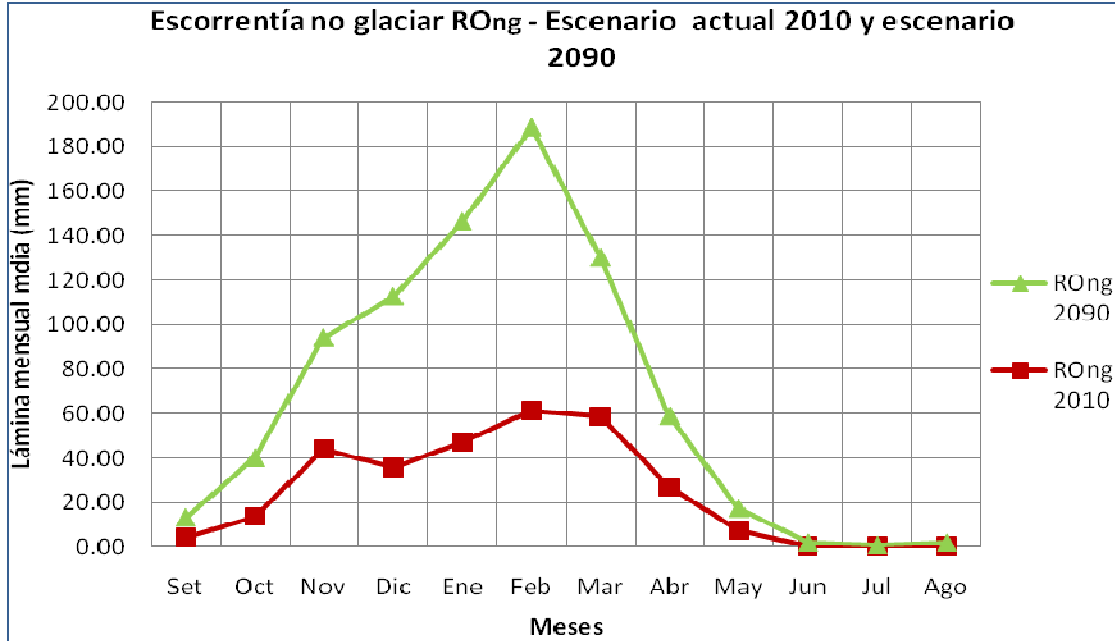
A continuación se presenta una comparación de los resultados de los diferentes parámetros analizados. La figura 6.1 muestra una ligera intensificación de las precipitaciones en el periodo más lluvioso para el escenario 2030. Para el escenario 2090 esta tendencia se intensifica además de mostrar un acortamiento y adelanto de esta época.

Figura 6.1: Precipitaciones estimadas para los tres escenarios planteados.



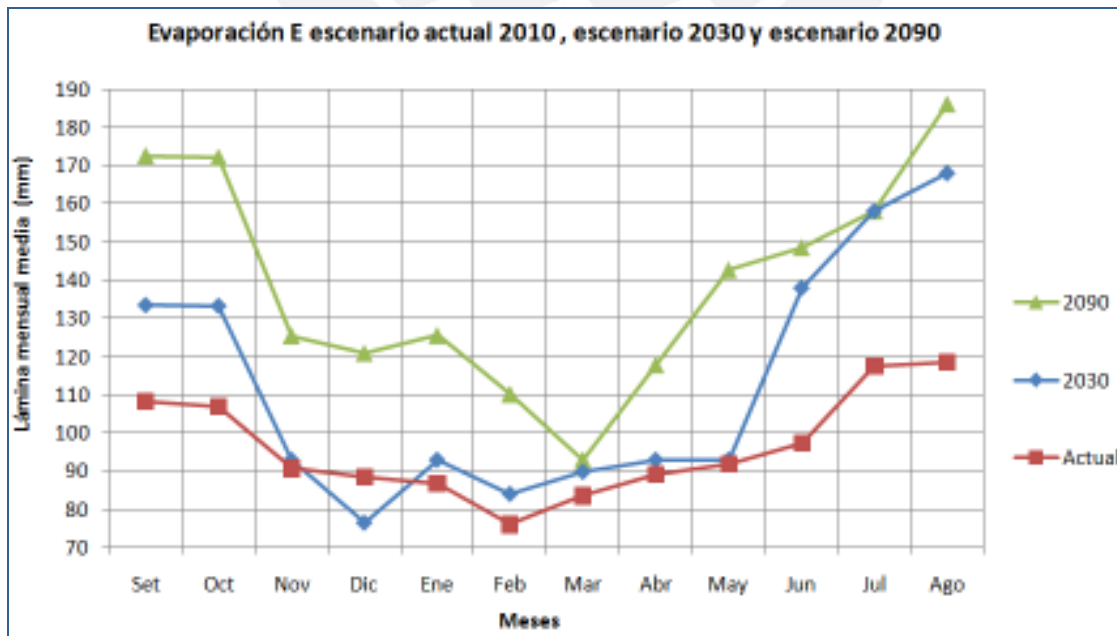
Con respecto a la escorrentía no glaciar, como se explicó en el capítulo 3 sólo se analizará su comportamiento para el escenario actual 2010 y el escenario 2090. Para este último escenario toda la escorrentía provendrá de la precipitación sobre el área de toda la micro cuenca, pues se asume que no existirán nevados. La figura 6.2 muestra este comportamiento.

Figura 6.2: Escorrentía no glaciaria en el escenario actual 2010 y escenario 2090.



Para los tres escenarios planteados se puede observar que las láminas evaporadas muestran un comportamiento estacional inverso al de las precipitaciones. Se estima que la laguna Parón en el futuro perderá más agua que en la actualidad por el proceso de evaporación tal como se observa en la figura 6.3.

Figura 6.3: Evaporación estimada para los escenarios: actual 2010, 2030 y 2090



- **Con respecto al balance hídrico**

6.1.1 Escenario 2010

Los resultados obtenidos en el presente trabajo estiman que el volumen de la oferta hídrica anual en la micro cuenca Parón en este escenario actual 2010 es de 45MMC, aproximadamente, ver tabla 6.1 y figura 6.5. Este valor se acerca ligeramente a los valores obtenidos del balance hídrico realizado por la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos (UGRH), con sede en Huaraz, que obtuvo 52 MMC como resultado de una estimación del volumen disponible en la micro cuenca Parón el año 2010¹. En la tabla 6.1 se detalla el aporte en MMC en cada parámetro considerado en el análisis del presente trabajo.

Tabla 6.1: Volumen de participación de cada parámetro considerado en el análisis del escenario actual 2010.

Parámetro	Vol MMC/año
Precipitación sobre Lagunas	1.5
Escorrentía Glaciar	27.1
Escorrentía no glaciar	18.0
Evaporación	-2.1
VOLUMEN ANUAL TOTAL	44.5

Se puede observar que el aporte glaciar es importante en esta micro cuenca, y es más regular durante gran parte del año en comparación con el aporte de la escorrentía no glaciar. En la figura 6.4 se observa cómo estos aportes se encuentran distribuidos a lo largo del año.

En la figura 6.5 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 que 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.

¹ Dato presentado el Ingeniero Cesar Portocarrero (Jefe de la Unidad e Glaciología y Recursos Hídricos - Huaráz) en la reunión de coordinación del Comité de Gestión de la Sub cuenca Parón Lullán realizada el 9 de febrero del año 2011 en el Anfiteatro de la Municipalidad Provincial de Huaylas ubicado en la ciudad de Caráz.

Figura 6.4: Balance hídrico de la micro cuenca Parón, escenario actual 2010.

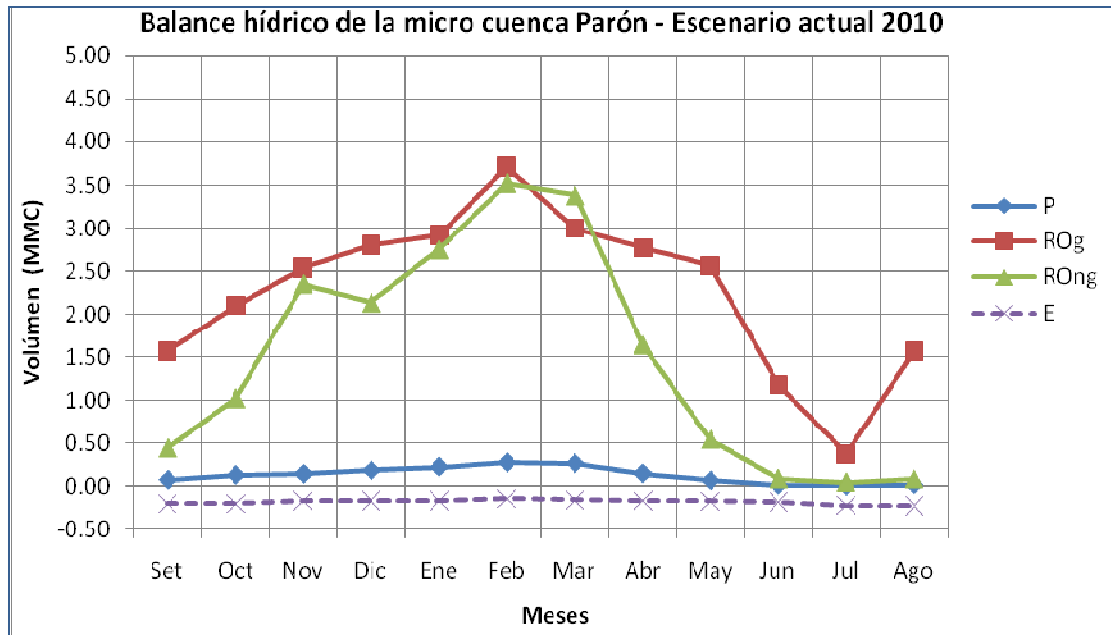
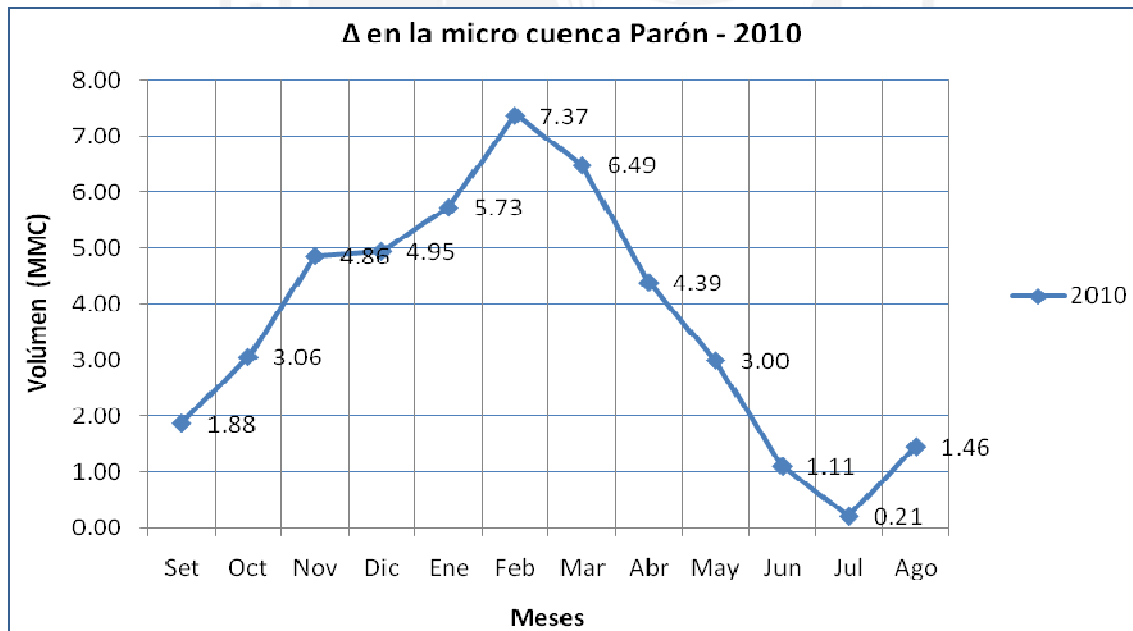


Figura 6.5: Disponibilidad del agua en la micro cuenca Parón en el escenario actual 2010



Tal como muestran los valores estimados preliminares obtenidos por el Programa de Formulación de derechos de uso de agua - PROFODUA en diciembre del año 2010, el volumen necesario para cubrir las demandas agrícolas y de consumo humano de la sub

cuenca Parón Lullán ascienden a 40 MMC al año². Tal como se puede inferir de la figura 6.5 el volumen de agua disponible en la micro cuenca Parón en el escenario actual 2010 es de 45 MMC, según los resultados del presente trabajo, dejando 5MMC como volumen de superávit. La micro cuenca Parón es la principal aportante de la sub cuenca Lullán Parón, sin embargo a lo largo del recorrido del río Lullán, existen afluentes pequeños que aportan al río, elevando eventualmente el caudal disponible en toda la sub cuenca Lullán Parón. No se consiguió información a cerca de alguna balance hídrico realizado en esta subcuenca.

Es importante señalar que el caudal ecológico necesario en la microcuenca Parón aun 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 no se presentará el balance hídrico mensual, pues no se hará diferencia entre la escorrentía glaciar y entre la escorrentía no glaciar. Se asumió que la lámina escurrida total, presentada en la curva de descarga generada por Pouyaud el 2005 presentada en el capítulo 3 incluye ambas escorrentías, la precipitación sobre las lagunas y la evaporación. En la tabla 6.2 se observa el volumen total de la escorrentía estimada a partir de la información:

Tabla 6.2: Volumen total escurrido en la micro cuenca Parón en el escenario 2030

Lámina Escurrida 2030 (mm)	Área total de la micro cuenca (KM ²)	Volumen escurrido por año (MMC)
1550	44.18	68.5

6.1.3 Escenario 2090

Para el escenario del 2090, los resultados estiman que la oferta hídrica en la micro cuenca Parón es de 19.76 MMC. En la tabla 6.3 se detallan los volúmenes estimados para cada parámetro.

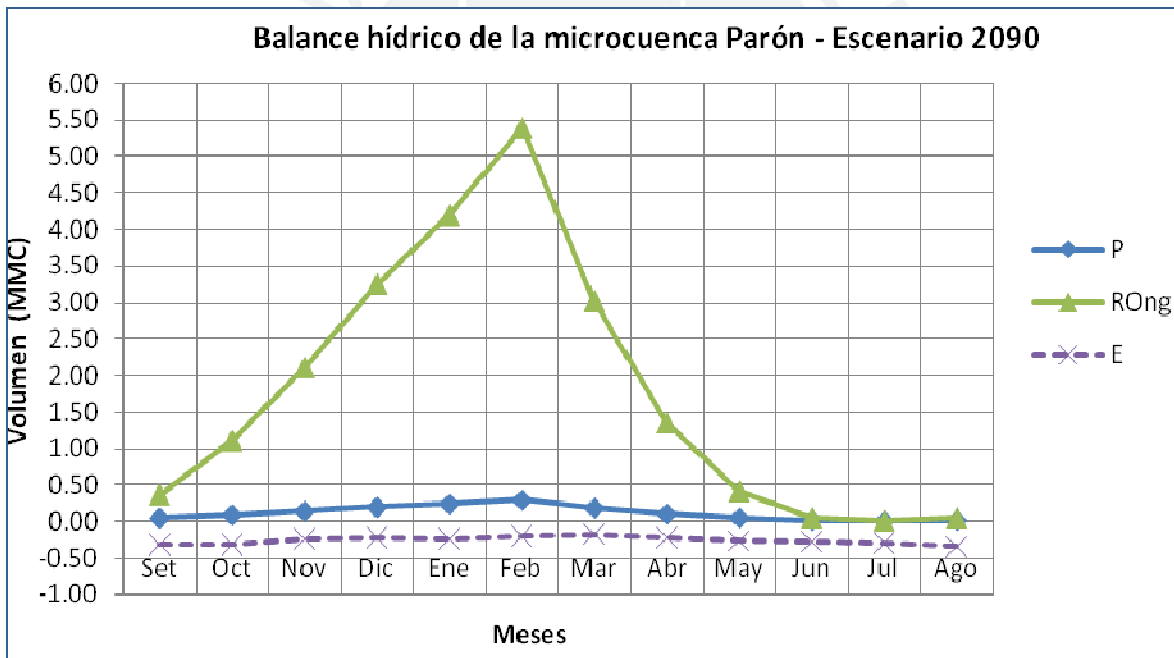
² Dato presentado por el Programa de Formulación de derechos de uso de agua- PROFODUA en la reunión de coordinación del Comité de Gestión de la Sub cuenca Parón Lullán realizada el 9 de febrero del año 2011 en el Anfiteatro de la Municipalidad Provincial de Huaylas ubicado en la ciudad de Caráz.

Tabla 6.3: Volumen de participación de cada parámetro considerado en el análisis del escenario actual 2090.

Parámetro	Vol. MMC/año
Precipitación sobre lagunas	1.4
Escorrentía glaciár	0.0
Escorrentía no glaciár	21.4
Evaporación	-3.1

Como se explicó en el capítulo 3, en el escenario 2090 el aporte a la micro cuenca Parón proviene exclusivamente de las precipitaciones estacionales, debido a que se asume que no existirán glaciares, la figura 6.6 detalla el aporte estimado de los diferentes parámetros durante un año.

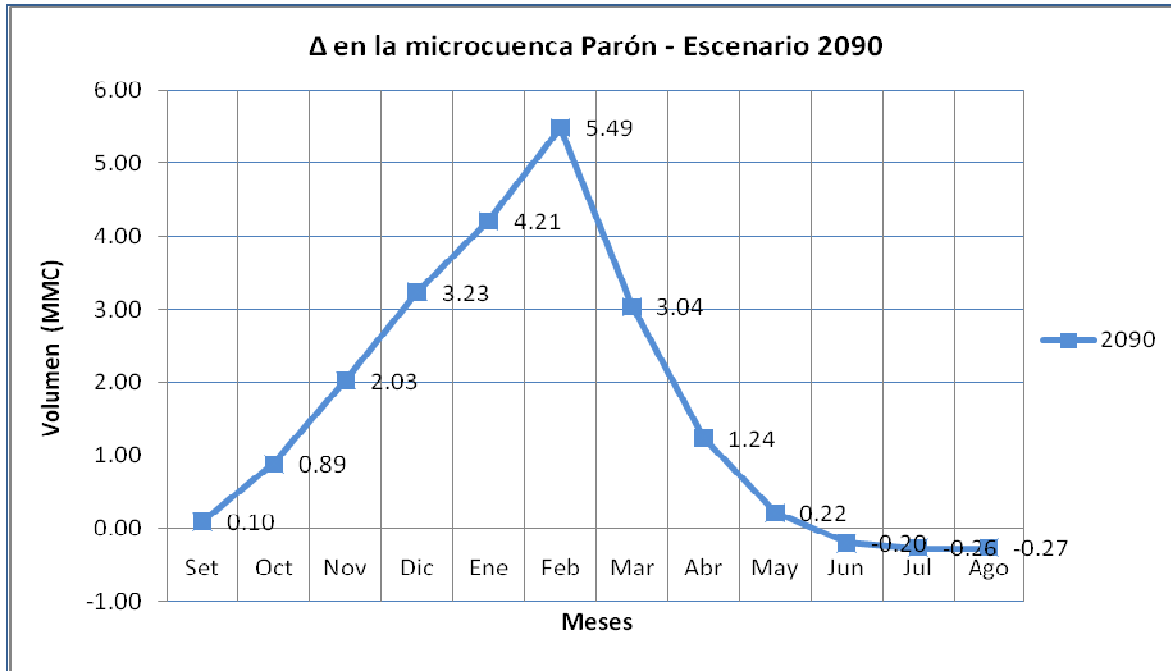
Figura 6.6: Balance hídrico de la micro cuenca Parón en el escenario 2090.



En la figura 6.7 se observa los valores de la cantidad de agua disponible a nivel mensual durante un año en el escenario 2090. Al igual que el escenario actual 2010, la estacionalidad de la disponibilidad del recurso hídrico en el escenario 2090 está bien marcada. Durante los meses de junio, julio y agosto es posible observar que no existirán aportes a la micro cuenca sino que sólo existirán pérdidas por evaporación de las

lagunas presentes, por lo que una adecuada gestión del recurso hídrico embalsado en la laguna será indispensable.

Figura 6.7: Disponibilidad del agua en la micro cuenca Parón en el escenario 2090.



Líneas arriba se hizo referencia a valores preliminares de la demanda de la subcuenca Lullán Parón hallados por el PROFODUA para el año 2010. Es de esperar que en un posible escenario en el año 2090, la demanda sea mayor.

CAPITULO 7

7. CONCLUSIONES Y PROYECCION

Para el escenario actual 2010 podemos ver la importancia del aporte de la escorrentía proveniente de los glaciares a la micro cuenca Parón, siendo el mayor aporte, cuantitativamente hablando. 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. Según los resultados del presente trabajo, para el escenario actual 2010 se estiman 5 MMC como volumen de superávit de la micro cuenca.

Para el escenario 2030 se observó un aumento del recurso hídrico disponible debido a las ablaciones de los glaciares, plantearán retos a la administración del agua de esta micro cuenca; buscar un equilibrio entre la prevención de riesgos de posibles avalanchas (generadas por el desprendimiento de masa glaciar debilitada) como el de reservar en la laguna la mayor cantidad del recurso durante épocas de lluvia, y así poder utilizarla en las épocas de estiaje. Se estima que en este escenario se contará con 1.5 veces la cantidad de agua actual.

En el escenario del año 2090, cuando la población sea mayor y por ende sus demandas hídricas, sobre todo en la parte baja de la cuenca del río Santa, el volumen entregado estimado por la micro cuenca Parón habrá descendido a poco menos que la mitad del volumen estimado que hoy en día es entregado.

La investigación en este campo es necesaria pues grandes proyectos especiales como Chavimochic y Chicama, así como la Central Hidroeléctrica del Cañón del Pato se abastecen de las aguas del río Santa y se verán afectados si no se considera el efecto del cambio climático en la disponibilidad del recurso hídrico a futuro.

En el desarrollo del presente trabajo, es importante resaltar la importancia del uso de un sistema de información geográfica, que ayudó a relacionar la información hidrológica con la geografía de la zona.

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 Parón el año 2008 demostró que si la población local no participa a algún nivel en el manejo de los recursos hídricos de su propia cuenca es de esperar conflictos futuros. Además como se pudo constatar en los talleres realizados 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.



FUENTES EMPLEADAS

ASSEFA M. MELESSE, S.F. SHIH,

- 2002** *“Spatially distributed storm runoff depth estimation using landsat images and GIS”*. Elsevier-Computers and Electronics in Agriculture, Gainesville, 2002, volume 37, 173-183. Consulta: Junio 2010.
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169902001114>>

BRYAN G., GEOFFREY O.

- 2005** *“Glacier Recession in the Peruvian Andes: Climatic Forcing, Hydrologic. Impact and Comparative Rates Over Time”*. Springer. Netherland, 2005, volumen 23, 205 - 214. Consulta: Abril 2009.
<<https://springerlink3.metapress.com/content/v067262457r1v400/resourcesecure/d/?target=fulltext.pdf&sid=5kwaxp55ngnp0zjma323rrux&sh=www.springerlink.com>>

CGIAR- CONSORTIUM FOR SPATIAL INFORMATION

- 2004** srtm_21_14- SRTM 90m DEM version 4. Consulta: Junio del 20010
< <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/listImages.asp>>

CHEREQUE, Wendor

- 1992** Hidrología para estudiantes de ingeniería civil. Segunda Edición. Lima: Editorial CONCYTEC.

DOMÍNGUEZ Iris., UNTIVEROS Mónica.

- 2010** *“Conflicto de usos y gestión integrada del agua en la micro cuenca Lullán-Parón”*. Artículo presentado en el II CONGRESO NACIONAL DEL AGUA organizado por la Universidad Nacional de Ingeniería. Lima Perú. Abril del 2010.

DUKE ENERGY INTERNATIONAL EGENOR

- 2004** *“Estudio Hidrológico Centrales Hidroeléctricas Cañón del Pato y Carhuaquero”*. Consulta: Setiembre del 2009
<http://www2.osinerg.gob.pe/ProcReg/TarifasBarra/ProcNov04-Abril05/pdf/Absoluciones/Anexo%20K_5.pdf>

INGEMMET

1989 *Estudio Geodinámico de la cuenca del Río Santa: (Departamentos: Ancash – La Libertad) – Ancash. Lima*

FAO - ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN

2006 *Estudio FAO Riego y Drenaje 56 – Evapotranspiración de un Cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos .Consulta: Setiembre del 2009.*

<<http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm>>

GALLAIRE, Robert

2008 “Consecuencia de la tendencia climática de los cincuenta últimos años en los glaciares andinos, Un reto para el futuro”. Ponencia presentada en la Tercera Jornada del Foro Internacional Clima de Cambios PUCP. Glaciares y Océanos. Lima

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.

INSTITUTO GEOFISICO DEL PERU - IGP

2005 *Diagnostico de la Cuenca del Mantaro bajo la visión del Cambio Climático*. Primera edición. Lima. Fondo Editorial de CONAM.

INSTITUTO GEOFISICO DEL PERU - IGP

2005 *Vulnerabilidad Actual y Futura ante el Cambio Climático y Medidas de Adaptación en la Cuenca del Río Mantaro*. Primera edición. Lima. Fondo Editorial de CONAM.

INGEMMET- INSTITUO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO

1989 *Estudio Geodinámica de la cuenca del Río Santa - Ancash. Lima.*

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.*
Original_LBMI_website--<http://www.ilec.or.jp/eg/lbmi/index.htm>

IPCC- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE

- 2007** *Cambio Climático 2007 - BASE DE CIENCIA FISICA. Contribución del grupo de trabajo I al Cuarto Informe de evaluación del IPCC.* Consulta: Junio del 2009.
<http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg1_report_the_physical_science_basis.htm>

IRMGARD Juen, WAGNON P., et al.

- 2005** *One year of energy balance measurements on glacier Artesonraju in the tropical cordillera Blanca, Peru. Glacier melt and runoff variability.*

IRMGARD Juen.

- 2006** *Glacier mass balance and runoff in the tropical Cordillera Blanca, Perú.* Disertación para obtener el grado académico de un Doctor en Ciencias Naturales. Innsbruck: Leopold-Franzens de Innsbruck- Universität.

KUROIWA, Julio

- 2005** *Reducción de Desastres.* Segunda Edición. Lima: Asociación Editorial Bruño. Lima.

MARK, Bryan and SELTZER, Geoffrey

- 2005** "Glacier Recession in the Peruvian Andes: Climatic Forcing, Hydrologic Impact and Comparative Rates Over Time". SPRINGER. Global Change and Mountain Regions: An Overview of Current Knowledge, pp. 205-214. Consulta: 11 de Enero del 2009.
<http://books.google.com.pe/books?id=ILXAxguLEgC&printsec=frontcover&source=gbs_v2_summary_r&cad=0>
- 2008** "Climate change and tropical Andean glaciers: Past, present and future" ELSEVIER. Earth-Science Review, pp. 76-96. Consulta: Junio del 2011.
<http://www.geography.osu.edu/faculty/bmark/2008%20ESR%20Vuille_etal.pdf>

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

- 2010** *Segunda Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. Lima.

**MINISTERIO DE AGRICULTURA - INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES-
INRENA**

- 2007** *Batimetría de la Laguna Parón*. Informe presentado por la Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos UGRH. Huaraz

MONTOYA S., DUFOUR R. Y BARZOLA K.

- 2009** *Análisis del balance Hídrico de la Cuenca del Río Huarmey basado en GIS*.

OSINERGMIN, COES

- 2005** *“Estudio Técnico Económico de determinación de Precios de Potencia y Energía en Barras para la Fijación Tarifaria de Mayo de 2005”*. Consulta: Agosto del 2009.
<<http://www2.osinerg.gob.pe/gart.htm>>

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERU

- 2008** *“GUÍA PUCP PARA EL REGISTRO Y EL CITADO DE FUENTES DOCUMENTALES”*.
Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

POUYAUD Bernard, YERREN J., ZAPATA M. et al.

- 2003** *“Glaciares y recursos hídricos en la cuenca del río Santa”*. Lima. Consulta: Mayo del 2009.
<http://www.senamhi.gob.pe/pdf/estudios/paper_RRHHSANTA.pdf>
- 2005** *“Glaciares Avenir des ressources en eau glaciaire de la Cordillère Blanche”*. Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques. 2005, volumen 50, 999- 1022.
Consulta: Junio del 2009.
<<http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/Alnv/Pouyaud2005.pdf>>

SENAMHI- SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

- 2005** *Escenarios Climáticos Futuros y Disponibilidad del Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Santa*. Lima, Perú. Fondo Editorial del CONAM.
- 2009** *Escenarios climáticos en la cuenca del río Santa para el año 2030*. Segunda Comunicación Nacional del Cambio Climático. Primera edición. Lima, Perú. SENAMHI.

SERRANO ENRIQUE

2005 “Glaciares, permafrost y cambio climático”. Ponencia presentada en conferencia organizada por la Asociación Meteorológica Española AME. Madrid. Consulta: Enero del 2010.

<<http://www.solucionespracticas.org.pe/publicaciones/pdf/yungay.pdf>>

SOLUCIONES PRÁCTICAS- ITDG

2008 *Gestión del agua para enfrentar el cambio climático. Propuesta de gestión del agua como medida importante de adaptación al cambio climático en Ancash. Primera edición. Lima. Soluciones Prácticas- ITDG. Consulta: Mayo del 2009.*

<<http://www.solucionespracticas.org.pe/publicaciones/pdf/yungay.pdf>>

SOLUCIONES PRÁCTICAS- ITDG

2008 *Gestión del agua para enfrentar el cambio climático. Propuesta de gestión del agua como medida importante de adaptación al cambio climático en Ancash. Primera edición. Lima. Soluciones Prácticas- ITDG. Consulta: Mayo del 2009.*

<http://www.solucionespracticas.org.pe/publicaciones/pdf/yungay.pdf>

SUAREZ, W., CHEVALLIER P., POUYAUD B. et al.

2008 “Modelling the water balance on the glacierized Paron Lake basin (White Cordillera Blanca, Perú)”. Hydrological Science-Journal-des Siences Hydrologiques, 2008, volumen 53, 266-277.

SUAREZ, Wilson

2007 *Balance Hídrico de un Sistema Lacustre de Alta Montaña: La Cuenca Parón (cordillera Blanca – Perú). Correspondiente al grado de Doctor. Montpellier: Université de Sciences et technologie de Languedoc - Montpellier 2. Ecole Doctorale Sciences de la Terre et de l'Eau.*

2008 “Futuro de los recursos Hídricos en la Parte Alta de la Cuenca del Santa”. Ponencia presentada en el INRENA. Lima.

UNDP , 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

<http://hdr.undp.org/en/reports/global/hdr2007-8/papers/Painter_James.pdf>

UNEP- UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME- GRID- Arendal

2008 *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.

<<http://www.grida.no/publications/vg/water2/page/3230.aspx>>

UNESCO - UNITED NATIONAL EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION

Glosario hidrológico Internacional. Consulta: febrero del 2009

<<http://hydrologie.org/glu/aglo.htm>>.

WWAP - WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME

2011 *Portal del Programa de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP)*. Consulta: 14 de abril del 2011.

<http://www.unesco.org/water/wwap/milestones/index_es.shtml>

INTERNATIONAL HYDROLOGICAL PROGRAMME OF UNESCO (IHP), WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME (WWAP), NARBO

2008 *IWRM GUIDELINES at River Basin Level*. Consulta: Mayo del 2011.

<http://www.unesco.org/water/news/pdf/Part_23_Invitation_to_IWRM_for_Irrigation_Practitioners.pdf>

VEN TE CHOW; MAIDMENT, David; MAY Larry

1994 *Hidrología Aplicada*. Primera Edición. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Will.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA (ANA)

2011 Portal de la Autoridad Nacional del agua. Lima. Consulta: 14 de abril de 2011.

<<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. Consulta: Abril del 2011

<http://www.unesco.org/water/wwap/milestones/index_es.shtml>

OTROS DOCUMENTOS, EVENTOS, ETC.

MINISTERIO DE AGRICULTURA

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.

ANA- AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA

2011 *“Reunión de coordinación del Comité de Gestión de la Sub cuenca Lullán Parón”.*
Organizada por la Autoridad nacional del Agua. Caráz, 9 de Febrero de 2011.

GALLAIRE, Robert

2009 *Consulta Cuenca del Río Santa.* Correo electrónico del 26 de Junio del 2009 a Dr. Robert Gallaire.

ORE, Teresa

2009 Cometarios 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 de 2009.