UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

Ingeniero Ambiental

Trabajo Experimental:

"ESTUDIO DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO".

AUTOR:

YULIO SANTIAGO LOOR BARREZUETA

TUTORA:

ING. PAOLA JACKELINE DUQUE SARANGO MS.c

Cuenca, Julio del 2017

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo Yulio Santiago Loor Barrezueta con documento de identificación N° 1311405953, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado "ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO", mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Ambiental en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado por la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Nombre: Yulio Santiago Loor Barrezueta

Cédula: 1311405953

Fecha: Julio de 2017

CERTIFICACIÓN

Declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación "ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO", realizado por Yulio Santiago Loor Barrezueta, obteniendo un trabajo experimental que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, Julio de 2017

.....

Msc. Paola Jackeline Duque Sarango

CI: 1104257835

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Yulio Santiago Loor Barrezueta con número de cédula 1311405953 autor del trabajo de titulación "ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO" certifico que el total contenido de este Trabajo experimental es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, julio de 2017

……
Yulio Santiago Loor Barrezueta
CI: 1311405953

DEDICATORIA

Confía en María y verás lo que son los milagros.
Don Bosco.

Quisiera dedicar este triunfo a Dios, solo Él conoce cada uno de los pasos que camine en este trayecto, y en Él estuvo puesta mi fe para tener la sabiduría necesaria para lograr este objetivo.

Además expongo un claro latir por mi madre Matilde quien sé que también se desvelaba mientras yo estudiaba a pesar de las distancias. A mi padre, mi ñaña, tíos, primos, mi abuelo y particularmente mi abuela Azucena por encender la brecha y la mística en nuestra familia.

Finalmente, dedicar esta grandiosa etapa a cada una de las personas con quien compartí desde mi año de voluntariado y vida universitaria, ambas en la ciudad de Cuenca; y de manera muy especial a Karen Guerrero por ser el impulso desde el primer día para poder emprender esta etapa de mi vida que acaba de finalizar.

AGRADECIMIENTOS

Si quieres ir rápido, ve solo. Si quieres llegar lejos, ve acompañado.
Proverbio Africano

Agradecer principalmente a Dios por poner las cosas en el tiempo y en el lugar exacto, eso incluye instituciones y personas que aportaron con los conocimientos esenciales en mi vida universitaria.

Empiezo por nombrar a todos los miembros de mi familia motor anímico y razón de ser, a mis compañeros de la universidad que se transformaron en amigos de la vida; También quisiera agradecer a cada uno de los docentes quienes tuvieron el agrado de compartir ciencia y conocimiento en sus clases, a PhD Beverley Wemple y al Msc. Alejandro Parra por su ayuda incondicional y desinteresada para resolver inquietudes en nuestro proyecto y de manera muy especial deseo agradecer a mi tutora del proyecto Msc. Paola Duque por su gentil colaboración, predisposición y por ser una guía en la búsqueda de la luz en el campo investigativo.

Para terminar quisiera agradecer infinitamente a la obra Salesiana en el Ecuador, con los cuales me he formado desde los cinco años de edad hasta el día de hoy.

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo principal estimar el balance hídrico en las microcuencas Huayrapungu y Quillosisa pertenecientes Bosque Protector Aguarongo. Tal balance hídrico consistió en estudiar el comportamiento hídrico del área ya mencionada y tener de esta manera datos palpables del recurso agua para la zona de estudio.

Para el desarrollo del balance se ocuparon datos de 34 años de precipitación correspondientes a las estaciones meteorológicas cercanas al bosque, estos valores fueron necesarios para realizar dos tipos de balance el primero calculado de manera empírica mediante cálculos manuales y el segundo con ayuda del programa ArcGIS. En ambos casos se utilizó la metodología recomendada por Thornthwaite para obtener datos de evapotranspiración potencial.

La diferencia entre los métodos empleados para el balance fue en que para apoyarnos en el programa ArcGIS se ocuparon los datos de temperatura media anual correspondientes a los años 1981-2010 en formato ráster descargados de la biblioteca virtual del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), cuya información pertenece a las isotermas de todo el Ecuador; en tanto que para nuestro primer caso del balance se ocupó únicamente los datos de temperatura de la estación M0139 (Gualaceo) la cual es la más próxima a la zona de estudio.

Ambos balances hídricos nos demostraron similitudes en meses donde la precipitación es mayor a la evapotranspiración, estos meses fueron a partir de febrero hasta mayo e identificando a los meses de agosto y septiembre como los más secos del año.

Finalmente se monitoreo durante el mes de mayo el caudal correspondiente a la microcuenca Huayrapungu, estos datos fueron relacionados directamente con el balance hídrico

estimado en ese mismo mes y determinando una aproximación entre ambos valores y con ello obteniendo una validación indirecta de la metodología del balance hídrico.

Palabras claves: Balance hídrico, microcuencas, precipitación, Thornthwaite, evapotranspiración.

ABSTRACT

The main objective of this work was to estimate the water balance in Huayrapungu and Quillosisa microbasins belonging to Protector Forest Aguarongo. Such water balance consisted in studying the water behavior of the area already mentioned and have tangible data of the water resource for the study area.

For the development of the balance, 34 years of data of precipitation corresponding to the meteorological stations near the forest were taken, these values were necessary to realize two types of balance: the first one calculated empirically by manual calculations and the second one with the help of the ArcGIS program. In both cases, the methodology recommended by Thornthwaite was used to obtain potential evapotranspiration data.

The difference between the methods used for the balance was in order to support us in the ArcGIS program, the annual average temperature data corresponding to the years 1981-2010 in raster format downloaded from the virtual library of the National Institute of Meteorology and Hydrology (INAMHI), it information belongs to the isotherms of the whole Ecuador; while for our first case of the balance only the temperature data of station M0139 (Gualaceo) was occupied, which is the closest to the study area.

Both water balance showed similarities in months where precipitation is greater than evapotranspiration, these months were from February to May and identifying the months of August and September as the driest of the year.

Finally, during the month of May, the flow corresponding to the Huayrapungu micro basin was monitored, these data were directly related to the water balance estimated in the same month and determining an approximation between both values and this getting an indirect validation of the water balance methodology.

Keywords: water balance, micro basins, precipitation, Thornthwaite, evapotranspiration.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN: 15
1.1 Planteamiento del problema 17
1.2 Importancia y alcance 18
1.3 Delimitación 21
1.4 Explicación del problema 21
1.5 Objetivo General 22
1.5.1 Objetivos específicos 22
1.6 Fundamentación Teórica 23
1.6.1 Ciclo hidrológico 23
1.6.2 Componentes de almacenamiento y flujo. 25
1.6.3 Factores que influyen en el ciclo hidrológico 39
1.6.4 Balance Hídrico 41
1.7 Estado del arte 44
2. MATERIALES Y MÉTODOS 47
2.1 Estudio de estaciones meteorológicas 47
2.1.1 Estaciones de interés 49
2.1.2 Variables disponibles 50
2.2 Estimación y corrección de datos para el cálculo 50
2.2.1 Precipitación y temperatura 50
2.2.2 Estimación de heliofanía 55
2.2.3 Estimación de la radiación solar directa 58
2.3 Estimación del balance hídrico 58
2.3.1 Cálculo de la evapotranspiración 58
2.3.2 Manejo de datos 59
2.3.2 Balance hídrico desarrollado en ArcGIS 63
2.4 Humedad, materia orgánica y capacidad de campo en el BVPA 63
2.4.1 Determinación del contenido de humedad en el suelo 64
2.4.2 Contenido de materia orgánica 66
2.4.3 Estimación de la capacidad de campo 68
2.5 Medición del Caudal 68
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 70
3.1 Análisis de la precipitación 70
3.2 Comportamiento de la precipitación 72
3.3 Comportamiento de la temperatura 73
3.4 Heliofanía 74
3.5 Cálculo del contenido de humedad en el suelo. 75
3.6 Cálculo del contenido de materia orgánica 77
3.7 Estimación de la capacidad de campo 78

3.8 Cálculo del balance hídrico....81
3.8.1 Balance hídrico microcuenca Huayrapungu....81
3.8.2 Balance hídrico microcuenca Quillosisa....83
3.8.3 Balance hídrico mediante ArcGIS....84
3.9 Cálculo del caudal en microcuenca Huayrapungu....86
3.9.1 Curva de gastos....87
3.10 Discusión....88
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES....91
4.1 Conclusiones....91
4.2 Recomendaciones....92
5. BIBLIOGRAFÍA....95
6. ANEXOS....102

Índice de Mapas, sección anexos

Mapa 1: Ubicación del BVPA y sus parroquias colindantes

Mapa 2: Fuentes hídricas

Mapa 3: Delimitación de áreas de estudio

Mapa 4: Estaciones meteorológicas cercanas al BVPA

Mapa 5: Estaciones de interés

Mapa 6: Horas de radiación solar para el BVPA

Mapa 7: Radiación solar directa en el BVPA

Mapa 8: Polígono de Thiessen

Mapa 9: Orden taxonómico de suelos

Mapa 10: Balance hídrico mes de enero Huayrapungu

Mapa 11: Balance hídrico mes de febrero Huayrapungu

Mapa 12: Balance hídrico mes de marzo Huayrapungu

Mapa 13: Balance hídrico mes de abril Huayrapungu

Mapa 14: Balance hídrico mes de mayo Huayrapungu

Mapa 15: Balance hídrico mes de junio Huayrapungu

Mapa 16: Balance hídrico mes de julio Huayrapungu

Mapa 17: Balance hídrico mes de agosto Huayrapungu

Mapa 18: Balance hídrico mes de septiembre Huayrapungu

Mapa 19: Balance hídrico mes de octubre Huayrapungu

Mapa 20: Balance hídrico mes de diciembre Huayrapungu

Mapa 21: Balance hídrico mes de diciembre Huayrapungu

Mapa 22: Balance hídrico anual Huayrapungu

Mapa 23: Balance hídrico mes de enero Quillosisa

Mapa 24: Balance hídrico mes de febrero Quillosisa

Mapa 25: Balance hídrico mes de marzo Quillosisa

Mapa 26: Balance hídrico mes de abril Quillosisa

Mapa 27: Balance hídrico mes de mayo Quillosisa

Mapa 28: Balance hídrico mes de junio Quillosisa

Mapa 29: Balance hídrico mes de julio Quillosisa

Mapa 30: Balance hídrico mes de agosto Quillosisa

Mapa 31: Balance hídrico mes de septiembre Quillosisa

Mapa 32: Balance hídrico mes de octubre Quillosisa

Mapa 33: Balance hídrico mes de noviembre Quillosisa

Mapa 34: Balance hídrico mes de diciembre Quillosisa

Mapa 35: Balance hídrico anual Quillosisa

1. INTRODUCCIÓN:

El Bosque de Vegetación Protector Aguarongo (BVPA), es uno de los remantes boscosos importantes de la provincia del Azuay-Ecuador, considerando como un bosque que genera servicios ambientales a las comunidades aledañas. Destacando además que fue declarado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería como "Área de Vegetación Protectora N° 10 por medio del Acuerdo Ministerial No. 292 que consta en el Registro oficial No. 255 del año 1985, dejando en claro que se encuentra en la clasificación de Bosque Húmedo Montano Bajo (Lomas, 2016).

Toda la extensión del bosque se encuentra ubicado en la provincia del Azuay en las parroquias Zhidmad, Jadán, y San Juan pertenecientes al cantón Gualaceo, parroquia San Bartolomé al cantón Sigsig y San Ana al cantón Cuenca. Así mismo el BVPA se encuentra ubicado en la cuenca media del río Paute, cuyas coordenadas geográficas son: 78º48`54" y 78º52´22" de longitud occidental y de 2º 52´37" y 2º 59´43" de latitud sur. Por su parte en coordenadas UTM 744000 – 9682000 y 737000 – 9668000 (Minga, 2002).

De modo general el BVPA contiene una ponderosa cortina vegetal que en promedio de altura varía entre los 5 a 6 metros de alto, presentando tres tipos distintos de formación vegetal chaparro, paramo herbáceo muy similar al pajonal y bosque alto. En su clasificación pertenece a la categoría de bosque húmedo montano, por ello es considerado como uno de los pocos bosques andinos de la provincia del Azuay. Actualmente por intermedio de una publicación oficial del ministerio de ambiente el BVPA cuenta posee una superficie de 1942 ha (Prado, 2015), de las cuales el 87% es un mosaico de chaparros, el 8,4% de cultivos temporales y pastos, mientras el 4,6% está constituido por un bosque secundario (Barrera, 2015).

Los rangos altitudinales del bosque están sobre los 2840 y 3328 metros sobre el nivel del mar, por su parte el clima es muy variado presentando temperaturas medias anuales entre los 11,5 y 12°C en las zonas más bajas, mientras que en partes más altas se registran temperaturas entre los 9 y 10 °C. La temperatura máxima registrada es aproximadamente 22,5°C en zonas bajas y en las franjas altas de 20°C, siendo la temperatura mínima registrada de 0°C en meses donde hay presencia de heladas.

La relación temperatura y radiación solar está directamente asociada con el clima, Minga (2002, pp. 23) afirma que "El clima tiene influencia directa en el crecimiento de las plantas. En efecto, los cambios producidos por el crecimiento son productos de la velocidad de la fotosíntesis, la cual está influenciada tanto por la temperatura como por la insolación, factores que determinan la productividad de un cultivo. Por otra parte, la selección natural ha hecho que los procesos fisiológicos se presenten en las plantas únicamente en cierto rango de temperatura".

La precipitación media anual que recibe el bosque a lo largo de un año calendario es de aproximadamente 820mm, dividiéndose en dos estaciones la seca y la húmeda teniendo para la primera datos entre 25 a 60 mm mensuales que van desde mayo a septiembre, presentando mínimos en el mes de agosto. Para la estación húmeda esta comprende los meses de octubre a abril con precipitaciones entre los 75 a 110 mm (Halliday).

La presente investigación tendrá como propósito estudiar el recurso hidrológico del BVPA con el afán de proporcionar resultados acerca del agua que muy poco o casi nada se ha realizado en el interior del bosque y que sin lugar dudas será de un alto beneficio para quienes deseen continuar con investigaciones hidrológicas en el área de estudio y por su puesto para el bosque en general considerando las comunidades colindantes a la zona.

1.1 Planteamiento del problema

Entre los puntos más relevante del bosque protector consideramos a la dotación del recurso hídrico que brinda hacia las distintas comunidades ubicadas a su alrededor, ocupando este recurso para distintas actividades tales como riego en cultivos y consumo humano. Durante todo el año existen épocas donde la cantidad de este recurso posee variabilidades en cuanto a su cantidad esto debido a los meses de estiaje donde las precipitaciones son muy por debajo de la cantidad normal que precipita en tiempo de meses húmedos

Es por ello que se plantea buscar alternativas de investigación para estimar la cantidad de agua que aporta el bosque a las subcuencas hidrográficas del río Jadán y Santa Bárbara que a su vez desembocan en la cuenca media del Paute, siendo esta misma agua la que en menores cantidades es ocupada por las comunidades vecinas del BVPA.

El agua es sin duda un recurso valioso para las más de 40 comunidades que se sirven de ella para múltiples actividades, por su parte este recurso no solo se ve afectado en su cantidad sino que además hay otros factores antrópicos que contribuyen con la irregularidad en su ciclo natural (Minga, 2002).

La pérdida de cobertura vegetal que se da por el cambio en el uso de la tierra que actúa como una respuesta desfavorable para el curso normal del ciclo del agua. El caso de las vertientes que son puntos donde nacen pequeños caudales, estos están acompañados no solo de suelos permeables que retienen con facilidad el agua, ni de una topografía con buen grado de pendientes, sino que además la cobertura vegetal será importante ya que actúan como esponjas que ayudan a retener el agua (Nicola, 1996).

1.2 Importancia y alcance

La importancia de esta investigación será conocer la realidad hidrológica del bosque, si bien es cierto las mediciones de caudales fueron muy puntuales y en épocas donde las precipitaciones no fueron constantes como en meses anteriores, dichas mediciones nos permitirán tener una idea del caudal que aportan las vertientes hacia las comunidades y por su puesto a la cuenca media del Paute.

Así mismo se pretende que esta investigación sea un documento de ayuda tanto técnica como bibliográfica puesto que estará de libre de acceso para próximas investigaciones hidrológicas que se hagan dentro del BVPA, además de ser un documento de respaldo para el consorcio que está a cargo de la protección y mantenimiento del bosque.

Los más beneficiados serán las comunidades principalmente, ya que estas se dotan del servicio de agua que el bosque les brinda, al realizar la estimación del balance hídrico con la recopilación de datos de 34 años se puede tener un panorama de la cantidad del recurso agua, este balance dicho sea de paso será una estimación mas no un cálculo exacto del valor total de agua.

Actualmente el consorcio a cargo del bosque en conjunto con el GAD de Gualaceo se encuentran trabajando en planes para crear mejoras no solo para el BVPA sino también en medidas para mejorar la captación y dotación del servicio de agua para las distintas comunidades establecidas alrededor del bosque. En charlas mantenidas con los ingenieros a cargo de estas instituciones se ha podido establecer vínculos para facilitar la investigación propuesta por nosotros y que a su vez también les beneficiara a ellos, con el afán de tener datos palpables del recurso agua en la zona de estudio.

Alrededor del BVPA se encuentran ubicadas cinco parroquias las cuales son Jadán, Zhidmad, San Bartolomé, San Juan y Santa Ana (Mapa 1, sección de anexos) y según Minga (2002, pp. 16) en un levantamiento de información pudieron constatar que existen 40 comunidades dentro de las parroquias ya mencionadas. No todas estas comunidades son beneficiarias del servicio de agua que ofrece el bosque, en el mapa 2 correspondiente a la sección de anexos podemos verificar un levantamiento realizado por Minga en donde se especifica el nombre de la vertiente, la comunidad en la que esta se encuentra y además si la fuente de agua es usada por la comunidad.

En el Plan de Manejo Ambiental del bosque elaborado en el año 2002 se muestran serios problemas asociados a la escasez de agua y a la falta de acceso de sistemas de riego, en dicho plan se detalla que únicamente las comunidades de Llayshatán, Vegaspamba, San vicente de Jadán y San José de Dalcote cuentan con sistemas de riego diseñados para irrigar alrededor de 417 ha y beneficiando aproximadamente 300 usuarios. Tales sistemas fueron construidos con el oportuno apoyo de la Fundación Ecológica Mazán, y por el Programa de Desarrollo de los Pueblos Indígenas (PRODEPINE) financiados con ayuda de la cooperación internacional (Prado, 2015).

En la siguiente tabla se puede apreciar una división realizada por Minga, quien divide las parroquias en dos zonas oriental (San Juan y San Bartolomé) y la occidental (Jadán, San Ana y Zhidmad).

Tabla 1: Ubicación de las comunidades

Zona Oriental	Zona Occidental
Ruizho	Chichín
Tahuan	San Juanpamba
La libertad	Llayzhatán
San Bartolomé	Llantaloma
Tuzha	Pucamuro
Zhuzhincay	Jadán
Bacpamcel	Uzhog
San Juan	Granda
Chusquín	Santa Ana
Pircas San José	Lican
Dunla	Dizha
San Luis	Vegaspamba
San Miguel	El Carmen
Cochapamba	San José
Llintig	Zhidmad
Cristo Rey	Gordeleg
Dotaxi	Monjas
Maripamba	Bella Unión
Shaycay	Guayan
Parculoma	
Cahuazhún	

Fuente: Minga. “Plan de manejo del bosque protector de Aguarongo y su área de influencia”

Elaborado: Autor

Es por esto que se ve la necesidad de estimar mediante el cálculo del balance hídrico una especie de diagnóstico de las condiciones reales del recurso agua en el BVPA y de esta forma con los datos obtenidos poder tomar decisiones, medidas, estrategias para la protección y uso del recurso con la finalidad de garantizar su disponibilidad tanto en cantidad como a su vez en calidad.

1.3 Delimitación

El área del BVPA fue dividido a partir de las microcuencas estimadas mediante el uso de una capa ráster de la zona, como resultado se obtuvieron cuatro microcuencas de estudio. Estas cuatro microcuencas se las pueden visualizar en el Mapa 3 adjuntado en la sección de anexos, y a partir de las parroquias colindantes a estas zonas de estudio se decidió fragmentar la investigación, de tal forma que este documento profundizara en la estimación del balance hídrico de las microcuencas cercanas a las parroquias San Juan y San Bartolomé.

Tal balance hídrico está dispuesto a realizarse en las microcuencas 3 y 4 (Huayrapungu y Quillosisa respectivamente) cuya área comprendida en ambas es de alrededor de 650 ha, y por su parte las mediciones de caudal serán tomadas en la microcuenca 3 (Huayrapungu) colindante al área de la parroquia San Juan.

1.4 Explicación del problema

Desde el año de 1985 en que el área del Aguarongo fue declarada como Bosque de vegetación protector se han venido realizando una serie de estudios enfocados muchas veces a la parte de la fauna y flora, pero existen muy pocos registros en lo que concierne al tema agua.

Hasta la actualidad son muy pocas las investigaciones que se han desarrollado sobre el recurso hídrico de la zona, si bien es cierto a lo largo del bosque existen varias tomas de captación de agua estas fueron diseñadas y construidas por departamentos gubernamentales para cubrir únicamente las necesidades de las comunidades. En un PMA elaborado en el año 2002 se realizó un levantamiento superficial de ciertas vertientes, así mismo de datos básicos sobre el

comportamiento a lo largo del año de los meses con mayor presencia de precipitaciones y meses de estiaje.

Es por ello que una de las principales causas que producen el problema a investigar es poder contar con datos y resultados sobre el recurso hídrico en las zonas delimitadas de estudio, un balance hídrico proporcionara una estimación de la cantidad de agua en el BVPA. Así mismo otro problema diferente a la carencia de datos y que va de la mano con ello es que todas las vertientes que surgen en el interior del bosque y que se dispersan por toda el área se encuentran en lugares pocos accesibles debido a la vegetación particular de la zona y también por la distancia que se debe recorrer para levantar los datos de interés.

1.5 Objetivo General

Evaluar el balance hídrico de las cuencas hidrográficas pertenecientes al sector San Juan y San Bartolomé ubicadas en el área del Bosque Protector Aguarongo, mediante la recopilación de registros meteorológicos y levantamiento de información de campo para una correcta gestión del recurso hídrico de la zona.

1.5.1 Objetivos específicos

- Corregir y validar los datos meteorológicos correspondientes a precipitación, temperatura y heliofanía registradas en las estaciones meteorológicas cercanas al área del bosque de la zona San Juan y San Bartolomé.

- Muestrear los caudales en los principales cauces de la red hídrica de desagüe del área del bosque en la zona San Juan y San Bartolomé.

- Analizar el comportamiento del recurso agua en la zona San Juan y San Bartolomé pertenecientes al área geográfica del Bosque Protector Aguarongo.

1.6 Fundamentación Teórica

1.6.1 Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico está constituido por una serie de procesos continuos, tanto de movimiento como de transferencia de agua en todo el planeta comprendiendo cuerpos de agua, océanos, y la atmósfera terrestre.

Al mencionar la palabra ciclo deducimos que no tiene un punto de inicio establecido, pero para explicarlo de una manera razonable se puede empezar por la evaporación que se produce en los mares, ríos, lagos, embalses y todo cuerpo de agua sobre el planeta; Así mismo existe la evapotranspiración de las plantas cuyo concepto radica en la combinación del agua que se pierde por evaporación tanto del suelo y de la cobertura vegetal (Carrasco, 2014).

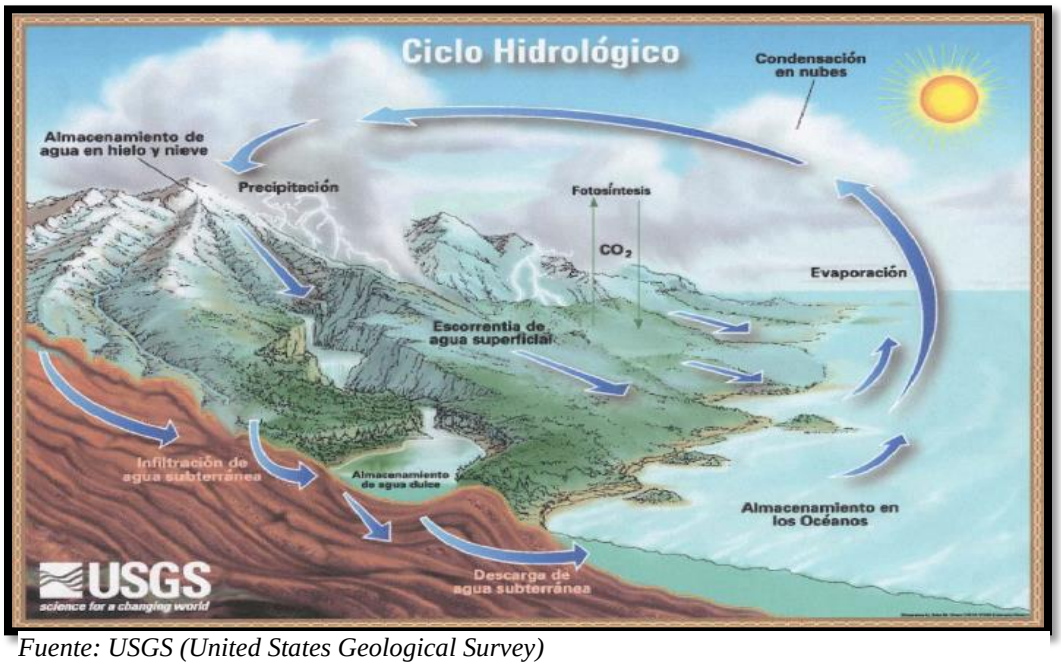
La evapotranspiración como la evaporación son producidas por la influencia directa de la energía solar sobre la tierra y de las condiciones climáticas del lugar como temperatura, viento, humedad, radiación siendo por todas estas condiciones los cambios de estado que sufrirá el agua en este caso de líquido a gaseoso (Hammerly, 2001).

De esta forma el agua que ha sufrido el efecto de pasar de estado líquido a gaseoso sube hacia la atmósfera, en todo este ascenso pierde calor generándose así el proceso de condensación y creando pequeñas gotas de agua. Estas minúsculas gotas de agua en toda su etapa de circulación se juntan con otras pequeñas gotas generando gotas mas grandes que al juntarse y por

su peso vuelven a precipitar en distintas formas ya sea en forma de lluvia, nieve o granizo (Chereque, 2011).

Ahora bien, toda esta precipitación al caer es interceptada por la vegetación, otra en suelos libres en donde dependerá del tipo de suelo y de la pendiente del terreno para determinar si esa agua escurrirá superficialmente, se infiltrara o quedará encharcada. Toda el agua que escurre de manera superficial es dirigida hacia los ríos y circulara hasta llegar al mar. Por su parte el agua que se infiltra es retenida por el suelo cuya capacidad de retención dependerá de la estructura y textura del mismo. Cuando la capacidad de almacenamiento del suelo es saturada el agua infiltrada pasa a ser escorrentía superficial, otra parte pasa como flujo subsuperficial y finalmente el resto percola hacia los acuíferos subterráneos (Salvador, Master, Angel, & Ramos, n.d.)

Figura 1: Ciclo hidrológico



Fuente: USGS (United States Geological Survey)

De esta manera el ciclo hidrológico se compondrá tanto de almacenamiento como de flujos, explicados a continuación.

1.6.2 Componentes de almacenamiento y flujo.

Las variables que componen todo el sistema hidrológico están ligadas al almacenamiento y flujo de aspectos que hacen posible la presencia de un ciclo natural del agua en los ecosistemas.

1.6.2.1 Cuenca hidrográfica

Es el área de un territorio delimitado por una línea divisoria de agua que se encuentra conformado por un sistema hídrico que conduce el agua hacia un río principal dentro de la cuenca. Todo este espacio que conforma la cuenca integra diferentes interacciones como la cobertura del terreno, profundidades en el suelo y el entorno en general de las divisorias de agua (Caguana, 2015).

1.6.2.2 Ladera

Es la manifestación de terreno cercana a los flujos de agua de la cuenca y está compuesto por un sinnúmero de factores como la vegetación, suelo, substrato (Ordoñez, 2011)

1.6.2.3 Acuífero

Los acuíferos son formaciones geológicas situadas a profundidades considerables de la superficie y debido a la permeabilidad del suelo se crean espacios subterráneos capaces de almacenar agua (Ordoñez, 2011)

1.6.2.4 Cauce

El cauce es quien recepta el agua que precipita la cual llega de manera directa o debido al grado de pendiente de sus laderas y en otras oportunidades por la alimentación de flujo base que se encuentra por debajo del suelo (Ordoñez, 2011).

1.6.2.5 Precipitación

La precipitación podemos considerarla como el agua en sus diversos tipos de estado la cual precipita hacia la superficie del planeta por el mismo efecto de la gravedad debido a la saturación de las nubes al no poder retener el agua.

La estimación de todos estos datos de lluvia que precipitan hacia la tierra se realizan mediante instrumentos estandarizados que registran los valores para ciertos periodos de tiempo preestablecidos por el operador, este tipo de mediciones se efectúan mediante la ayuda de pluviómetros o pluviógrafos. Estos equipos deberán ser instalados en lugares apropiados donde no exista interferencias con árboles, edificaciones o cualquier otro obstáculo que perjudique la medición; Por su parte la unidad de medida de la precipitación estará dada en milímetro (mm), la misma que puede ser cuantificada por medio de la cantidad de lámina de agua que cae sobre un metro cuadrado de superficie (García, 2013).

Entre los mecanismos que producen el efecto de la precipitación contamos con los procesos convectivos, orográficos y de estratificación. Para el proceso convectivo este se produce por las fuertes corrientes ascendentes las cuales causan un cambio en la atmósfera para una determinada localización provocando fuertes precipitaciones. Por su parte los procesos de estratificación están vinculados con vientos ascendentes más débiles causando precipitaciones

menos intensas y mientras que los procesos orográficos son producidos por el ascenso de una columna de aíre húmedo que al chocar con un obstáculo que puede ser una montaña este asciende y el aíre se enfría provocando el punto de saturación del vapor de agua, originando así la lluvia. (Carchi, 2015).

1.6.2.6 Evaporación

Se define a la evaporación como el paso del estado líquido a gaseoso del agua, para estudiarla de mejor manera es importante considerar los orígenes desde donde se produce. Cuando la lluvia precipita hacia la tierra una parte de ella es interceptada por la vegetación produciéndose posteriormente el efecto de la evaporación. Otra parte de esta lluvia llega el suelo donde por condiciones de humedad del terreno está también se evapora y finalmente la lluvia que alcanza los ríos, lagos y mares también sufren el proceso de evaporación (Custodio & Llamas, 1976).

La evaporación del agua en el suelo y la transpiración de las plantas son complejas de cuantificar o estimar, para ello se engloba una sola variable denominada evapotranspiración. Esta variable de evapotranspiración está influenciada directamente por una serie de factores meteorológicos tales como la radiación solar, temperatura del aire, horas de insolación, velocidad y turbulencia del viento, presión barométrica. A todos estos factores se puede sumar otros como por ejemplo la salinidad del agua, la altitud, la disponibilidad de agua. (Hammerly, 2001).

La evaporación como variable general es una magnitud difícil de medir, normalmente se utilizan instrumentos como evaporímetros que son una especie de tanques o recipientes que

miden el poder de evaporación del aíre, pero este proceso no suele ser representativo debido a que sus mediciones son bastantes puntuales debido a que las condiciones meteorológicas del aíre pueden ser distintas en otros lugares no tan lejanos a la toma de muestra y sobre todo en zonas de distintas características como terrenos con presencia de cuerpos de agua, terrenos secos, o con diferentes tipos de vegetación (Ráscon, 2005).

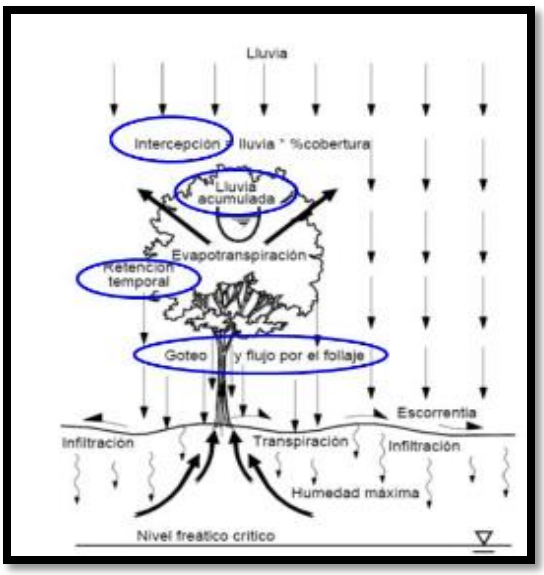
1.6.2.7 Transpiración

Es la evaporación a través de las hojas. El proceso fisiológico de alimentación de las plantas se efectúa mediante el paso de ciertas cantidades de agua, portadoras de los alimentos, por el interior de ellas y ese tráfico solamente es posible gracias a la transpiración (Ordoñez, 2011).

1.6.2.8 Intercepción

Es la cantidad de agua que al precipitarse es interceptada por objetos superficiales como la cubierta vegetal (Figura 2) en ciudades por los tejados, en general, parte de este líquido interceptada nunca alcanza al suelo porque se adhiere y humedece estos objetos para luego evaporarse (Ordoñez, 2011)

Figura 2: Componentes que intervienen en los conceptos de intercepción

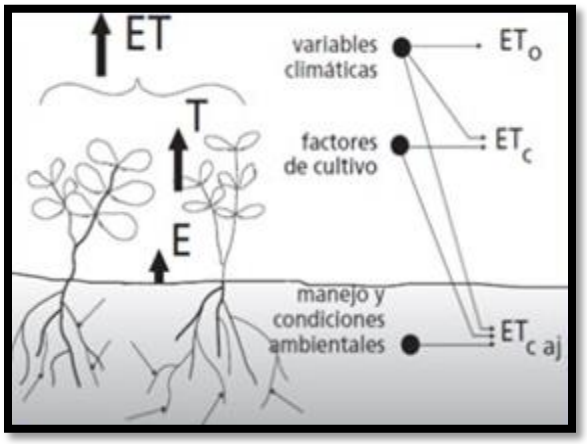


Fuente: Calle, 2011

1.6.2.9 Evapotranspiración

Es la cantidad total de agua transformada en vapor debido a la cobertura vegetal existente; incluyendo la evaporación desde el suelo, la evaporación del agua interceptada y la transpiración de las hojas (Ordoñez, 2011).

Figura 3: Factores que actúan sobre la evapotranspiración



Fuente: FAO, 2006

Las unidades en que se mide la evapotranspiración son en milímetros sobre un período dado sea este mm por año o mm por mes. Dentro de las teorías que estudian la evapotranspiración encontramos aquellas que profundizan el flujo de calor absorbido por medio de un balance energético y otras que evalúan el flujo de vapor de agua emitido a la atmósfera. A partir de estas dos teorías surgen numerosas formulas empíricas y algoritmos que estiman de una forma aproximada la evapotranspiración potencial y real (Hammerly, 2001).

1.6.2.10 Evapotranspiración potencial (ETP)

Es la máxima evapotranspiración posible que se produce en condiciones óptimas, es decir cuando el terreno contiene gran cantidad de agua llegando a su capacidad de campo y además cubierto por vegetación o cubierta vegetal densa (Unesco, 2006).

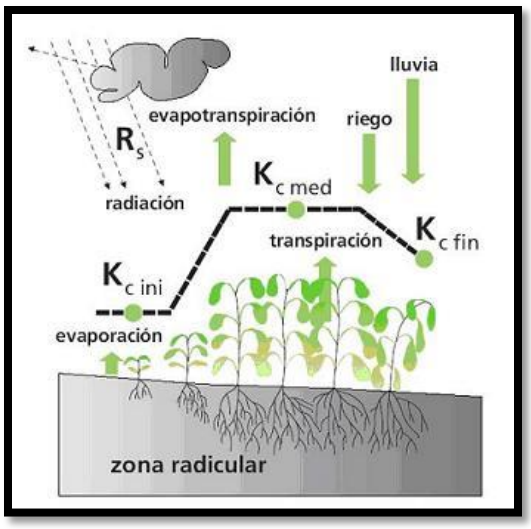
1.6.2.11 Evapotranspiración real (ETR)

Es la cantidad de agua que verdaderamente se evapotranspira, tal efecto es muy variable y depende principalmente de los factores climáticos como radiación y viento, además dependerá de la disponibilidad de agua y también de las características de la cobertura vegetal del suelo (Senamhi, s.f.)

1.6.2.12 Evapotranspiración de referencia (ETo)

La evapotranspiración de referencia es básicamente la pérdida de agua debido al efecto de evaporación y transpiración de los cultivos (gramíneas o pastos), esto a causa de las condiciones climáticas del lugar. Su estimación se basa en los datos climáticos y usando diferente tipo de fórmulas empíricas en donde la elección para el cálculo depende necesariamente de la disponibilidad de datos que existan en la zona de estudio (Ordoñez, 2011).

Figura 4: Evapotranspiración de referencia



Fuente: FAO, 2011

1.6.2.13 Métodos de medición y estimación de la evapotranspiración

Los métodos existentes para la estimación de la evapotranspiración son muy diversos, de forma general se puede citar tres grupos. El primero de ellos es el que utiliza balances tantos hídricos como de energía. En segundo lugar aparecen los métodos que utilizan fórmulas empíricas que hacen relación hacia parámetros de la zona, condiciones climáticas y coeficientes para los cultivos del área de estudio. Y finalmente el tercer método son aquellos que reproducen el proceso físico de la evapotranspiración basándose en los factores climáticos y los movimientos del agua sea en la planta y en el suelo. Cada uno de estos métodos se aproximan hacia una verdadera estimación de la evapotranspiración, pero el mayor problema siempre será la disponibilidad de los datos necesarios para el cálculo (Tagliaferre, 2013).

1.6.2.14 Dispositivos de medición

Como equipos de medición generalmente se puede citar a los lisímetros, en primera instancia los lisímetros fueron creados para investigar los líquidos percolados a través de los suelos siendo en próximos años rediseñado para que actúen en el análisis de componentes hídricos. Principalmente un lisímetro es un dispositivo que representa el perfil del suelo haciendo posible que se pueda medir el agua que ingresa al suelo y la que percola, el dato final de la evapotranspiración se lo estima por simple balance de entradas y salidas (Tagliaferre, 2013).

$$ET=P+I-D$$

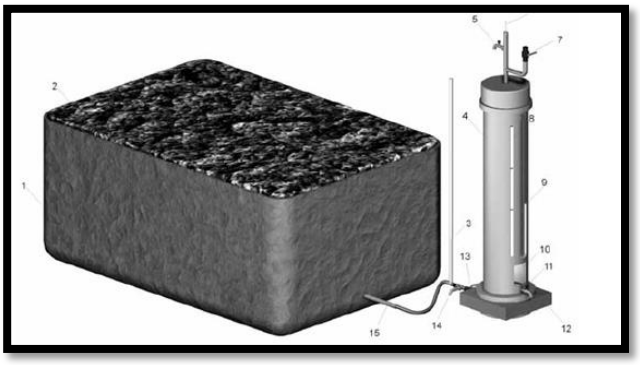
ET - evapotranspiración de referencia, mm d $^{-1}$

P - precipitaciones en lisímetro, mm

I - profundidad de agua aplicado para la irrigación, mm

D - drenado profundidad del agua, mm

Figura 5: Lisímetro UFV-1



Fuente:Tagliaferre, 2013

1.6.2.15 Métodos tradicionales para el cálculo

Alrededor del cálculo de la evapotranspiración existen varias expresiones y métodos para su estimación; entre las ecuaciones empíricas se puede mencionar Thornthwaite, Jensen-Heise y Hargreaves que básicamente usan variables térmicas y de radiación solar únicamente. Existen otras fórmulas empíricas basadas en un ajuste de la evapotranspiración con respeto al déficit de saturación de la atmósfera y correcciones mediante el uso de datos de viento para tomar en consideración los efectos aerodinámicos (Hammerly, 2001).

La expresión más conocida es la ecuación de Penman (1948) en donde combina la ecuación del balance d energía con la de una ecuación aerodinámica para obtener una expresión que permita calcular la evaporación de una superficie libre de agua, proporcionando una

evapotranspiración potencial (*ETP*), es decir el valor máximo que depende principalmente de los factores atmosféricos (Espinoza, 2012).

1.6.2.16 Ecuación de Penman-Monteith

La ecuación original de Penman (1948) fue modificada al considerar la cobertura vegetal añadiendo dos factores uno de ellos la resistencia aerodinámica a la difusión de vapor de agua por encima de la cobertura vegetal y a la resistencia del cultivo obteniendo así la ecuación de Penman-Monteith (1965). En caso de que estos factores sean mínimos significa que el agua del suelo no es una limitante y por lo tanto se estimará la cantidad potencial de evapotranspiración (FAO, s.f.)

$$\lambda ET0: = \frac{\Delta(Rn\text{-}G)+\rho cp(ea\text{-}ed)/ra}{\Delta+Y(1+rc/ra)}$$

Donde: λET0: Flujo del Calor Latente de Evaporación [kJ m-2 s-1]
Rn: Flujo de la Radiación neta en superficie [kJ m-2 s-1]
G: Flujo térmico del suelo [kJ m-2 s-1]
r: Densidad atmosférica [kg m-3]
cp: Calor específico del aire húmedo [kJ kg-1 ºC-1]
(ea-ed): Déficit de Presión de Vapor [kPa]
rc: Resistencia de la cubierta vegetal [s m-1]
ra: Resistencia aerodinámica [s m-1]
D Pendiente de la Curva de Presión de Vapor [kPa ºC-1]
g: Constante Psicrométrica [kPa ºC-1]
ζ: Calor Latente de Vaporización [MJ kg-1]

Los coeficientes K_c para cada cultivo según la FAO están representados mediante una tabla expuesta en la sección de anexos.

1.6.2.17 Estimación mediante Thornthwaite

Thornthwaite en 1942 introdujo la primera noción sobre la ETP la cual expresa que la evapotranspiración potencial corresponde a la perdida de agua debido a la evaporación directa del agua del suelo y por la transpiración de la cobertura vegetal densa, en modo de crecimiento y sin limitaciones de disponibilidad de agua. Luego en 1948 determino que para el cálculo de la ETP de un mes determinado se debe corregir la ETP calculada por medio de la temperatura media de la zona y por medio de un coeficiente que considere el número de días de ese período de tiempo y horas de luz se obtendrá la ETP corregida para el cálculo completo del balance (Sánchez, 2010)

$$\text{ETP sin corregir} = 16\left(\frac{10.t}{I}\right)^{a}$$

Donde: $ETP_{\text{sin corregir}}$=ETP mensual en mm/mes

t= Temperatura media mensual, °C

I= Índice de calor anual

$a = 675.\ 10^{-9}\ I^{3} - 771.\ 10^{-7}\ I^{2} + 1792.\ 10^{-5}\ I + 0{,}49239$

$$\text{ETP} = \text{ETP sin corregir}\ \frac{N}{12}\frac{d}{30}$$

Donde: ETP= Evapotranspiración potencial corregida

N= Número máximo de horas de sol, dependiendo del mes y latitud

d= Número de días del mes

Las horas de sol son estimadas mediante una tabla teórica expuesta por la FAO según la latitud adjunta en la sección de anexos

1.6.2.18 Resumen de los métodos de evapotranspiración

La siguiente tabla muestra los métodos más relevantes para la estimación de la evapotranspiración conjuntamente con las variables necesarias para el cálculo:

Tabla 2: Resumen de métodos para el cálculo de la evapotranspiración

Tabla 2: Resumen de métodos para el cálculo de la evapotranspiración

Método	Variables necesarias	Otros datos
Thornthwaite	Temperatura	Tabla teórica a partir de la latitud se obtiene el n° de horas de brillo solar
Jensen-Heise	Temperatura (medias, máx y mín del mes más cálido) altitud, radiación solar	Tablas teóricas de horas de brillo solar, y la radiación se la puede estimar
Hargreaves	Temperatura y radiación solar	La radiación solar se la estima a partir de las temperaturas máximas y mínimas diarias
Turc	Temperatura y horas reales de sol	Radiación solar
Penman-Monteith	Temperatura, horas reales de sol, velocidad del viento, humedad relativa	Por tablas se obtienen otros parámetros

Fuente: Sánchez, 2010.
Elaborado: Autor

1.6.2.19 Escorrentía superficial

Llamamos escorrentía a la lluvia que precipita y que por su intensidad es demasiado improbable que sea absorbida por el suelo formándose una capa de agua sobre la superficie del terreno. Esta agua se desplaza sobre el suelo siguiendo las pendientes del suelo y por el cual algunas veces es responsable de casos de erosión. Los suelos generalmente buenos logran absorber gran parte del agua que cae haciendo que el agua de escorrentía no cause mayores

desastres; Al contrario de suelos arcillosos que al ser impermeables o aquellos donde su vegetación es casi nula habrá muy poca o casi nade de infiltración, de tal forma que toda el agua fluirá por laderas hasta encontrar un curso normal en ríos (Soubannier, 1985).

1.6.2.20 Escorrentía subsuperficial

Es la cantidad de agua que se infiltra a través de los horizontes superiores del terreno, una parte de esta escorrentía llega a formar parte rápidamente del flujo superficial de una corriente de agua superficial y otra parte le toma un buen tiempo unirse a este flujo (Rascón, 2005).

1.6.2.21 Escorrentía subterránea

Es aquella cantidad de agua que debido a las condiciones de los horizontes del suelo tiende a alimentar a los acuíferos y otra parte de ella constituye el escurrimiento base de los ríos. *Rascón* en su libro de "*Principios de hidrogeografía"* nos presenta cinco fases de escorrentía:

Primera fase

- Comprende la época seca en la que la precipitación es escasa o nula.
- La corriente de los ríos es alimentada por los mantos de agua subterránea.
- La evapotranspiración es bastante intensa, y si esta fase no fuera interrumpida, llegarían a secarse las corrientes.

Segunda fase

- Caen las primeras precipitaciones cuya misión principal es la de satisfacer la humedad del suelo.
- Las corrientes superficiales, si no se han secado, siguen siendo alimentadas por el escurrimiento subterráneo.
- Si se presenta escurrimiento superficial, éste es mínimo.
- La evapotranspiración se reduce.

Tercera fase

- Comprende el período húmedo en una etapa más avanzada.
- El agua de infiltración satura la capa del suelo y pasa, por gravedad, a aumentar las reservas de agua subterránea.
- Se presenta el escurrimiento superficial, que puede o no llegar a los cauces de las corrientes, lo cual depende de las características del suelo sobre el que el agua se desliza.
- Si el cauce de las corrientes aún permanece seco, el aumento del manto freático puede ser, en esta fase, suficiente para descargar en los cauces.
- La evapotranspiración es lenta.
- En caso de que exista nieve y su capacidad para retener la lluvia haya quedado satisfecha, la lluvia caída se convertirá directamente en escurrimiento superficial.

Cuarta fase

- Continúa el período húmedo.
- La lluvia ha satisfecho todo tipo de almacenamiento hidrológico.
- En algunos casos el escurrimiento subsuperficial llega a las corrientes tan rápido como el escurrimiento superficial.
- El manto freático aumenta constantemente y puede llegar a alcanzar la superficie del suelo, o bien la velocidad de descarga hacia las corrientes puede llegar a ser igual a la de recarga.

Quinta fase

- El período de lluvia cesa.
- Las corrientes de agua se abastecen del escurrimiento subsuperficial, del subterráneo y del almacenamiento efectuado por el propio cauce.
- La evapotranspiración empieza a incrementarse.
- Esta fase termina cuando las reservas de agua quedan de tal manera reducida que se presentan las características de la primera fase.

1.6.2.22 Infiltración

El proceso de infiltración es el movimiento del agua desde la superficie hacia las capas internas del suelo. Por otra parte llamamos capacidad de infiltración a la cantidad máxima de agua que un terreno puede absorber por unidad de tiempo y por unidad de superficie horizontal, midiéndose en unidades de mm/h. La capacidad de infiltración disminuye debido a que los suelos alcanzan su nivel máximo de absorción debido a que las precipitaciones se extienden empezando así la escorrentía (Montaner & Sánchez, 1988). Entre los factores que intervienen en la infiltración tenemos:

- Tipo de suelo: Cuando mayor sea la porosidad y el estado de fisuras del suelo, mayor será la capacidad de infiltración
- Grado de humedad del suelo: Un suelo húmedo presentara menor capacidad de infiltración si lo comparamos con un suelo seco
- Sustancia coloidales: Un suelo con presencia de sustancias coloidales que al hidratarse aumentan su tamaño lo que reducirá el espacio para que el agua se infiltre
- Cubierta vegetal: La presencia de vegetación natural especialmente aumentará la capacidad de infiltración en ese suelo, una cubierta densa favorecerá el proceso y dificultara la escorrentía
- Acción del hombre y animales: Un suelo en condiciones vírgenes por así llamarlo tendrá un panorama favorable para la infiltración debido a su alto contenido de materia orgánica y mayor tamaño de poros. Cuando surgen actividades antropocéntricas normalmente el suelo tiende a compactarse volviendo impermeable
- Temperatura: Las temperaturas bajas desfavorecen la capacidad de infiltración

Por su parte las mediciones de infiltración generalmente se recomienda realizarlas *in situ*, usando equipos como el infiltrómetro el cual es un cilindro de 15cm de largo que se introduce en el suelo añadiendo agua y observando el tiempo en que tarde en infiltrarse (Ráscon, 2005).

1.6.3 Factores que influyen en el ciclo hidrológico

1.6.3.1 Temperatura

La temperatura es una variable de carácter importante en el ciclo hidrológico puesto que está presente en cada una de sus etapas. Por su parte en el cálculo del balance hídrico la temperatura interviene como parámetro en las formulas empíricas para la estimación de la evaporación. La temperatura tiende a disminuir en la troposfera y que varía de acuerdo a las condiciones locales de la zona de estudio, pero en promedio su gradiente vertical de temperatura fluctúa en alrededor de los 0.6°C por cada 100 metros de altitud (Ibáñez, 2011).

1.6.3.2 Horas de brillo solar

Las horas de sol o también conocidas como heliofanía representan el tiempo total durante el cual actúa la radiación solar sobre algún lugar en específico, es decir entre el alba y el atardecer del día. A partir de los datos de horas de sol podemos estimar valores cuantitativos de radiación solar, nubosidad y en para el caso del balance hídrico servirán como una variable fundamental para el cálculo de la evapotranspiración (Aparicio, 2015).

El equipo que realiza las mediciones de horas de sol se denomina heliofanógrafo, este aparato registra de manera gráfica la duración del brillo solar. Está compuesto por un lente esférico que produce quemaduras en una lámina de papel debido a la radiación recibida en forma directa, normalmente se encuentra instalado a 1.50 metros de altura del suelo (Parra, 2013).

1.6.3.3 Radiación solar

La radiación solar constituye un proceso físico por el cual se transmite energía en forma de ondas electromagnéticas, dichas ondas poseen como característica fundamental la longitud y su frecuencia. El principal centro de esta fuente de energía que llega a la tierra es proveniente del sol y es precisamente esta radiación solar la que actúa con el 99,97% de la energía involucrada en los fenómenos meteorológicos, es debido a esto que la radiación solar influye directamente en el ciclo hidrológico (Fernández, 2008).

La radiación solar representa el conjunto de radiaciones electromagnéticas que emana el Sol y que influyen directamente con la temperatura en la Tierra. En función de la incidencia de los rayos solares sobre la Tierra podemos caracterizar tres componentes de la radiación solar (J. Méndez, R. Cuervo. 2009):

-Directa: recibida desde el Sol sin que se desvíe en su paso por la atmósfera.

-Difusa: es la que sufre cambios en su dirección principalmente debidos a la reflexión y difusión en la atmósfera.

- Albedo: es la radiación directa y difusa que se recibe por reflexión en el suelo u otras superficies próximas.

Por su parte Parra (2013) afirma “Las tres componentes actúan como radiación total sobre la tierra, siendo la directa la más incidente, sin embargo cuando en una zona de la tierra no haya incidencia directa la radiación difusa ejerce sobre el área en sombra” (p.24).

1.6.3.4 Humedad atmosférica

La humedad atmosférica representa la cantidad de vapor de agua que está presente en la atmósfera y que surge principalmente de los océanos y en menores cantidades proviene de los ríos, lagos y todo cuerpo de agua superficial (García, 2013).

La humedad puede presentarse de acuerdo a distintas relaciones, por ejemplo Bateman (2009) define a la "Humedad relativa como la relación entre la presión de vapor real y la de saturación, esta humedad se mide mediante un higrógrafo y esta expresada en porcentaje". Así mismo la humedad absoluta "es la masa de vapor de agua contenida en una unidad de volumen y por su parte la humedad específica se define como la relación entre masa de vapor y la de aire húmedo" (p.20).

1.6.4 Balance Hídrico

En teoría el balance hídrico en términos de hidrología estudia el principio de conservación de masas, es decir que para cualquier volumen de agua y durante cualquier período de tiempo las diferencias entre las entradas y salidas estarán condicionadas por la variación del volumen almacenado. De esta forma el estudio del balance hídrico implica mediciones de almacenamiento de los flujos del agua, la diferencia entre el total de entradas y salidas es igual a la variación en el almacenamiento (UNESCO, Sokolov, n.d.)

$$\text{ENTRADAS} - \text{SALIDAS} = \text{VARIACIÓN DEL ALMACENAMIENTO} \quad (1)$$

La ecuación del balance hídrico para cualquier área de estudio sea esta una cuenca natural o cuerpos de agua, señala datos relativos de entrada y salida del flujo y de la variación del volumen del agua almacenada. Básicamente la ecuación del balance comprende la precipitación (P) que como ya hemos mencionado puede ser en forma de nieve o lluvia que caen dentro de la zona de estudio pudiendo llegar a ser flujo superficial (Q_{sI}) o flujo subterráneo (Q_{uI}); todas estas

como entradas para la ecuación. Por su parte las salidas de la ecuación comprenden a la evaporación desde la superficie de la cuenca (E), además la salida de corrientes tanto superficiales (Q_{so}) como subterráneas (Q_{uo}). En el caso de que las entradas son superiores a las salidas el volumen de agua almacenado (ΔS) es superior, caso contrario disminuye. Toda esta ecuación del balance hídrico en su forma más general incluye un término residual (v) el cual está sujeto a errores de medición, por lo tanto la ecuación estará representada de la siguiente manera:

$$P + Q_{sI} + Q_{uI} - E - Q_{so} - Q_{uo} - \Delta S - v = 0 \quad (2)$$

1.6.4.1 Otras ecuaciones para el balance hídrico

La ecuación del balance hídrico (2) puede reducirse o su vez volverse más compleja, dependiendo de los datos disponibles, del propósito del estudio, del tipo de masa de agua (cuenca de un río, lago o embalse), también de las dimensiones de la masa de agua contando con sus características tanto hidrográficas como hidrológicas, y por ultimo también dependerá de la fase del régimen hidrológico sean en crecidas o baja crecida dependiendo del intervalo de tiempo en que se efectúa la estimación del balance.

En cuencas de extensa superficie Q_{uI} y Q_{uo} son relativamente pequeños si se los compara con otras variables de la ecuación, por lo tanto se desprecian y todo el intercambio de flujo subterráneo hacia cuencas vecinas es igual a cero. Por su parte las aportaciones superficiales de Q_{sI} son también despreciables al tener una divisoria de cuencas bien definidas por lo que obviamos ese flujo de la ecuación.

$$P - E - Q - \Delta S - v = 0 \quad (3)$$

Por su parte las variables de la ecuación (1) tomando como ejemplo el agua almacenada (ΔS) en una cuenca pequeña puede contener un sinumero de términos tales como la humedad de almacenamiento del suelo (ΔM), de los acuíferos (ΔG), en lagos o embalses (ΔL) como las mas comunes (Unesco rostlac, n.d.).

1.6.4.2 Características del balance hídrico

Los estudios de balance hídrico pueden estimarse para cualquier tamaño de masas de agua, el grado de complejidad dependerá también de la extensión de las zonas a estudiarse. Por ejemplo una cuenca hidrográfica según Espinoza (2002) afirma que "Una cuenca de un río es la única zona natural para la cual las determinaciones a gran escala del balance hídrico pueden simplificarse ya que la exactitud del cálculo aumenta al hacerlo la superficie de la cuenca. Cuanta más pequeña sea la superficie de la cuenca, más complicado es su balance, ya que es más difícil estimar componentes secundarios, tales como intercambio de aguas subterráneas con cuencas adyacentes, almacenamiento de agua, en lagos, embalses, y la dinámica del balance hídrico de bosques y zonas regables. El efecto de estos factores decrece gradualmente al aumentar el área de la cuenca y puede llegar a despreciarse" (p.79).

Por su parte los períodos de tiempo para poder realizar un balance varían de acuerdo a los resultados que se deseen adquirir, estos pueden ser horas, días, meses, años. La estimación del balance estará condicionado directamente por las variables que se cuenten para determinar el cálculo, por lo que se debe considerar la disponibilidad de la información de estaciones meteorológicas. Lo recomendable es poder calcular el balance para períodos de 30 años (Unesco rostlac, n.d.)

1.7 Estado del arte

En este trabajo experimental se va a estimar el balance hídrico de las microcuencas Quillosisa y Huayrapungu pertenecientes al área del BVPA, tal balance se realizará por medio de distintas variables climáticas a partir de la ecuación propuesta por Thornthwaite para calcular la evapotranspiración de la zona de estudio. Es así como a partir de nuestra temática haremos una revisión del estado del arte sobre investigaciones realizadas a cerca del balance hídrico y los métodos que se emplearon para su determinación.

En un estudio realizado Del Toro, Kretzschmar e Hinojosa, (2014) titulada *Estimación del balance hídrico en una cuenca semiárida, El Mogor, Baja California, México* se empleó el método de Thornthwaite para hallar la ETP y posteriormente se clasifico los meses húmedos con los meses secos haciendo una relación entre la precipitación y la evapotranspiración concluyendo que el método de Thornthwaite presenta ciertas deficiencias en los cálculos probablemente por la zona climática que no era la indicada para esta metodología puesto que en comparaciones con otros métodos que fueron netamente in situ se comprobó un déficit del 50% lo que puede generar sobreestimaciones.

En un estudio realizado en Venezuela por Silva, (2004) cuyo tema *La cuenca del río Orinoco visión hidrográfica y balance hídrico* menciona que los procedimientos de evapotranspiración están mejor desarrollados para cultivos agrícolas que para áreas forestales y de sabana, debido a esto Silva resuelve la incógnita de la ETP mediante la ecuación de TURC en función de la precipitación y horas de brillo solar. Al ser una cuenca hidrográfica de área muy extensa se la dividió en subcuencas para analizar finalmente los caudales en comparación con el resultado del balance estimado obteniendo buenos resultados que satisfacen las necesidades de la cuenca en general.

Por otra parte Espinoza (2012), en su tema denominado *Balance hídrico Rio El Angel,* aplica el método de Penman-Monteith aludiendo que su ecuación puede considerarse como estándar de todos los métodos existentes para estimar la ETP principalmente cuando se reconoce el cultivo de referencia. En los resultados obtenidos Espinoza hace una comparación del balance estimado con los datos de caudal tomados en campo concluyendo que los caudales existentes son deficientes en 0.48 m^3/s y 0.254 m^3/s para las dos zonas estudiadas.

En otros estudios desarrollados Rosales, (2012) presenta *Metodología y estimación del balance hídrico de la cuenca del Usumacinta* en su presentación muestra que la evapotranspiración no es calculada con fórmulas empíricas sino más bien gracias a la Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de México que cuenta con registros de evaporación potencial desde el año 1992, los cuales fueron tomados con equipos que miden precisamente esta variable. A partir de esos datos ya registrados se realizó el balance para el 83,78% de la cuenca del río citado debido a que el resto del porcentaje no se contaba con datos de gasto de agua. El estudio fue realizado en todos los meses de los años 2008, 2009 y 2010 obteniendo como resultados un amplio panorama sobre los meses de mayor sequía en donde según Silva se presentaron déficit que fueron complementados con las reservas de agua que puede retener el suelo en meses de mayor lluvia, así mismo se logró determinar los meses de mayor presencia de agua en la cuenca.

En una investigación realizada por Carchi, (2015) en su tema *Elaboración de un balance hídrico de la cuenca del río Machangara* utiliza el método de Thornthwaite para el cálculo de la ETP aportando algo importante que expresa que el método de Thornthwaite aporta con valores aceptables para zonas húmedas, mientras que para lugares secos o semiáridos ocurre lo contrario. Como resultados de su estudio Carchi elaboro su balance para cada uno de los meses del año

dividiendo la cuenca del Machángara en cuenca alta y baja. Para la cuenca alta existe una demanda que satisface el 100% a excepción de los meses de agosto y septiembre. Por su parte para la cuenca baja se presentan resultados poco alentadores puesto que se presentaron meses como enero, junio, julio, agosto y septiembre donde aparece un déficit dentro del balance.

En Colombia una investigación realizada por Vera con el tema *Balance hídrico superficial de las cuencas de los ríos Chira y Piura* evaluaron a nivel multianual la variación espacial y temporal del ciclo hidrológico durante un tiempo de 30 años, a estos datos se les realizó un análisis de consistencia y de relleno de valores faltantes mediante regresión lineal simple y doble masa. Para la resolución del cálculo del balance tomaron la aplicación del método de Penman-Monteith para hallar la evapotranspiración de referencia y posteriormente determinar el balance hídrico con métodos de balance aerodinámicos y de energía.

Finalmente en un estudio realizado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) tema denominado *Balance hídrico superficial del Perú a nivel multianual* se realizó un balance a nivel de todo el país incluyendo una gran red de estaciones con variables tanto de precipitación como de temperatura en un período comprendido entre 1969 y el año 2000. Todo este registro histórico de datos pasó por un análisis de homogenización y consistencia estadística para evitar errores en el cálculo. Por su parte para conocer los valores de pérdida de agua por efectos de evapotranspiración escogieron el método de Thornthwaite añadiendo además de las variables de precipitación y temperatura el factor de número de horas de brillo solar expresado en tablas teóricas de acuerdo a la ubicación geográfica del lugar. La estimación del balance multianual consideró el valor de precipitación, ETP y almacenamiento de agua realizando de esta manera la aproximación al valor real de la disponibilidad de agua en la superficie de la cuenca y subcuencas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación a desarrollar es de carácter experimental ya que está íntimamente relacionada con trabajos en campo y descriptiva en base a los cálculos que se revisarán.

2.1 Estudio de estaciones meteorológicas

Para reconocer las estaciones cercanas a la zona de estudio se utilizó el programa ArcSIG y mediante la herramienta *Buffer* se elaboraron diferentes radios a partir del BVPA, según Villacrés y Gallegos (2010) la Organización Meteorológica Mundial expone que el radio máximo para zonas montañosas en el cual los datos de una estación tienen significancia con la zona de estudio es de 28,2Km. Por lo tanto en el Mapa 4 (ver anexos) se desarrollaron radios de 5, 8, 12, 20 y 25 kilómetros. A partir de esta visualización se pudo conocer las estaciones que estaban dentro del radio recomendado para extraer sus registros y aplicarlos en el área de estudio.

Estas estaciones tanto meteorológicas como hidrológicas que resultaron del barrido están a cargo del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), se calcularon 30 estaciones que están dentro del radio del BVPA pero no todas sirven para aplicarlas en nuestro estudio debido a que una parte de todas ellas se encuentran inactivas.

Tal y como lo detalla la tabla 3 de las 30 estaciones, 18 de ellas se encuentran inactivas, la mayoría de ellas con registros que no se toman desde ya varios años y que además con los pocos registros con los que cuenta no se pueden utilizar en nuestra investigación.

Tabla 3: Descripción del barrido de estaciones meteorológicas cercanas al BVPA

N°	Código	Estación	Tipo	Estado	Provincia	Cantón
1	M0137	BIBLIAN	CLIMATOLOGICA ORDINARIA	Activa	CAÑAR	BIBLIAN
2	M0138	PAUTE	CLIMATOLOGICA ORDINARIA	Activa	AZUAY	PAUTE
3	M0139	GUALACEO	CLIMATOLOGICA PRINCIPAL	Activa	AZUAY	GUALACEO
4	M0197	JACARIN (SOLANO)	PLUVIOGRAFICA	Activa	CAÑAR	DELEG
5	M0418	CUMBE	PLUVIOMETRICA	Activa	AZUAY	CUENCA
6	M0424	SIGSIG INAMHI	PLUVIOMETRICA	Activa	AZUAY	SIGSIG
7	M0426	RICAURTE-CUENCA	PLUVIOMETRICA	Activa	AZUAY	CUENCA
8	M0427	SAYAUSI (MATADERO)	AUTOM-PLUVIOMETRICA	Activa	AZUAY	CUENCA
9	M0431	SEVILLA DE ORO	PLUVIOMETRICA	Activa	AZUAY	SEVILLA
10	M0906	SOLANO-CEDEGE	PLUVIOMETRICA	Activa	CAÑAR	DELEG
11	M1153	GUALLIL	AUTOMATICAS	Activa	AZUAY	SIGSIG
12	M1216	EL CEBOLLAR CUENCA	CLIMATOLOGICA PRINCIPAL	Activa	AZUAY	CUENCA
13	M0067	AEROPUERTO	AERONAUTICA	Inactiva	AZUAY	CUENCA
14	M0140	UCUBAMBA	CLIMATOLOGICA ORDINARIA	Inactiva	AZUAY	GUALACEO
15	M0416	EL PAN	PLUVIOMETRICA	Inactiva	AZUAY	EL PAN
16	M0541	COCHAPAMBA-QUINGEO	PLUVIOMETRICA	Inactiva	AZUAY	CUENCA
17	M0625	BIBLIAN INECEL	PLUVIOMETRICA	Inactiva	CAÑAR	BIBLIAN
18	M0664	SIGSIG INECEL	PLUVIOMETRICA	Inactiva	AZUAY	SIGSIG
19	M0668	MATAGLO-GULAG	PLUVIOMETRICA	Inactiva	AZUAY	CHORDELEG
20	M0669	GIMA	PLUVIOMETRICA	Inactiva	AZUAY	SIGSIG
21	M1112	NAMURELTE	PLUVIOMETRICA	Inactiva	CAÑAR	DELEG
22	M1113	BURGAY PARCELA	PLUVIOMETRICA	Inactiva	AZUAY	PAUTE
23	M1114	SANTA TERESITA	PLUVIOMETRICA	Inactiva	AZUAY	EL PAN
24	M1116	JADAN PARCELA	PLUVIOMETRICA	Inactiva	AZUAY	CUENCA
25	M1134	MOLON	PLUVIOMETRICA	Inactiva	AZUAY	SIGSIG
26	M1136	MATADERO D.J. SAYAUSI	PLUVIOMETRICA	Inactiva	AZUAY	CUENCA
27	M1138	TARQUI D.J. CUMBE	PLUVIOMETRICA	Inactiva	AZUAY	CUENCA
28	M1139	GUALACEO (PIRUCAY)	PLUVIOMETRICA	Inactiva	AZUAY	PAUTE
29	M5001	GUALLIL	AUTOMATICAS	Inactiva	AZUAY	SIGSIG
30	M5017	MAYLAS	AUTOMATICAS	Inactiva	AZUAY	GUALACEO

Fuente: INAMHI
Elaborado: Autor

2.1.1 Estaciones de interés

A partir de la selección que se realizó de todas las estaciones que estaban próximas al bosque, se constató cuáles de ellas cumplen con la distancia máxima de factibilidad para el estudio y además se comprobó su estado sea activa o inactiva realizando una nueva selección de estaciones.

Esta vez para una mejor comprensión del balance hídrico se analizó estación por estación y se comprobó las estaciones que contaban con las variables necesarias para realizar los cálculos del balance. Las variables que a priori son indispensable como la precipitación ayudo a descartar un sinnúmero de estaciones que no contaban con el mínimo de 30 años de datos de lluvia. Consecuencia de aquello de las 12 estaciones que estaban activas solo 4 de ellas contaban con registros de más de 30 años de precipitación, en el Mapa 5 (ver anexos) se puede visualizar la ubicación de cada una de ellas.

Tabla 4: Estaciones de interés

Código	Estación	Tipo	Estado	Cantón	latitud	longitud
M0138	PAUTE	CLIMATOLOGICA ORDINARIA	Activa	PAUTE	-2,8	78,762778
M0139	GUALACEO	CLIMATOLOGICA PRINCIPAL	Activa	GUALACEO	2,88194	78,776389
M0424	SIGSIG INAMHI	PLUVIOMETRICA	Activa	SIGSIG	3,04833	78,786111
M0426	RICAURTE-CUENCA	PLUVIOMETRICA	Activa	CUENCA	2,85083	78,948611

Fuente: INAMHI
Elaborado: Autor

La tabla 4 nos muestra un dato importante que se consideró para el desarrollo de este proyecto, para el cálculo del balance hídrico se necesitó datos de precipitación, temperatura media, heliofanía. Las estaciones M0424 y M0426 son de tipo pluviométricas por lo tanto sus

registros se basan únicamente en tomar medidas de precipitación, lo cual fue una pequeña limitación en el estudio.

2.1.2 Variables disponibles

Los datos de precipitación están disponibles de 4 estaciones pero a pesar de eso se debió hacer un relleno y corrección de los datos rellenados debido a que en ciertos meses dentro del rango de 33 años (1982-2014) no se contaba con registros.

Para el caso de la temperatura las estaciones M0424 y M0426 no cuentan con datos de temperaturas, en primera instancia se consultó en los anuarios online disponibles en la página web del INAMHI pero solo mostraban datos de precipitación, por lo que se decidió escribir personalmente a la personas encargadas quienes corroboraron que no existen registros de temperatura en tales estaciones. Como solución a ello se ocupó únicamente las estaciones M0138 y M0139.

Otras variables que hubiesen sido adaptadas al cálculo como humedad relativa, velocidad del viento, nubosidad lastimosamente no se han registrado, en consecuencia más adelante se explicara la metodología investigada para estimar horas de sol y radiación solar.

2.2 Estimación y corrección de datos para el cálculo

2.2.1 Precipitación y temperatura

En el campo hidrológico es muy común encontrar investigaciones realizadas donde se presentan estaciones meteorológicas con datos anómalos y en muchos casos sin registro de datos para ciertos períodos, las causas pueden ser diversas siendo la más frecuente la rotura o mal funcionamiento de los equipos en un período de tiempo determinado (Teixeira, FAO). En nuestro caso las cuatros estaciones donde se tomaron los datos de precipitación muestran

bastantes limitaciones puesto que en algunos periodos inclusive en rangos de un año entero no se cuentan con datos de lluvia, se contabilizaron más de 100 datos faltantes aproximadamente dentro de la base datos que debía contener 1140 datos. Además se encontró ciertas inconsistencias de datos extremos, como por ejemplo en la estación Sigsig (M0424) aparece registrado un valor de 910,9 mm en el mes de noviembre del año 1999.

A más de los 114 datos faltantes se eliminó los valores anómalos como el ya mencionado de la estación M0424, a partir de allí se decidió implementar la regresión lineal cuya metodología es una de las más usadas en temas hidrológicos especialmente para el relleno de datos. La FAO indica en su metodología *Statistical analysis of weather data sets* que cuando se carece de datos es apropiado completar estos valores con datos de otra estación cercana y fiable X_i (http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e0l.htm#TopOfPage).

El procedimiento para la sustitución de los datos consistentes en un conjunto de datos incompletos lo resumimos de la siguiente forma:

1. Se tomó como estación de referencia a la serie de datos completos, luego se verifico con la estación incompleta el coeficiente de correlación entre ambas, este al ser mayor a 0,8 presento una muy buena correlación haciendo factible el relleno. En nuestro caso fue mucho más conveniente realizar este procedimiento por meses puntuales más no por años debido a que entre los años de 1982 y 1989 resultaba imposible tener un reglón de datos completos.

Tabla 5: Relleno de datos, mes diciembre

Diciembre	Ricaurte	Gualaceo
1982	146,8	93,9
1983	113,4	68,2
1984	34,6	24,1
1985	100,9	62,9
1986	64,7	44,2
1987	19,6	22
1988	113	85,7
1989	6,7	55,1
1990	101,5	85,9
1991	85,2	39,3
1992	64,5	70,3
1993	121,2	141,7
1994	49,5	54,7
1995	133,8	95,2
1996	42,7	14,9
1997	63,1	103,1
1998	45,3	9,7
1999	129,4	-
2000	131,3	-
2001	79,2	54,8
2002	80,4	87
2003	106,9	49,1
2004	135,7	84,3
2005	234,3	153
2006	151,3	117,8
2007	76,6	90,9
2008	63,9	88,2
2009	62,8	42,3
2010	161,2	140,8
2011	246,9	363,3
2012	50,2	72,2

Fuente: INAMHI
Elaborado: Autor

2. El coeficiente de correlación entre ambas estaciones es de 0,806 y entre ambas estaciones se obtiene la ecuación de la recta reemplazando únicamente el valor de Ricaurte (x) y

encontrando el valor de Gualaceo (y), este mismo procedimiento se realizó en este ejemplo dos veces tanto para el año 1999 como para el año 2000.

$$y=0,8357x-3,4325$$

$$y=0,8357(129,4)-3,4325$$

$$y=114,84$$

Tabla 6: Explicación del relleno

Diciembre	Ricaurte	Gualaceo	Relleno
1999	129,4	-	114,84546
2000	131,3	-	116,59137

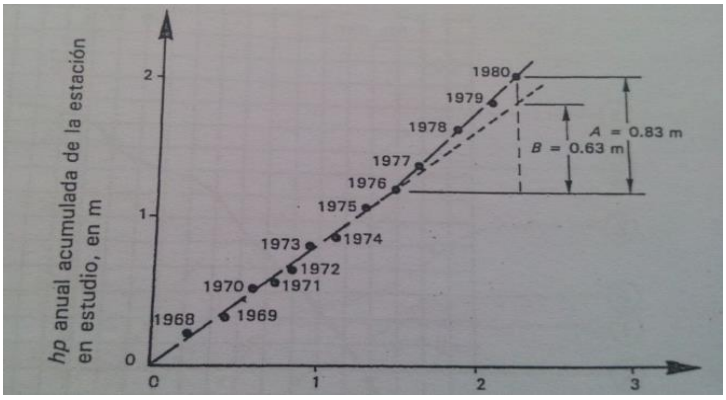
Fuente: INAMHI
Elaborado: Autor

Similar metodología se siguió para el rellenar toda la carencia de valores con los que no se contaban en la base datos. Una vez rellenado todos los datos faltantes para las cuatro estaciones se continuó con el análisis de consistencia de datos mediante la técnica de doble masa.

Cuando una estación pluviométrica presenta casos contrarios a la homogeneidad de sus datos es necesario corregirlos, en primera instancia es necesario detectarlos y luego hacer las correcciones del caso para ello se utiliza la técnica *curva masa doble*, la cual se basa en observaciones gráficas de la precipitación acumulada media para varias estaciones. En la gráfica se dibuja en uno de sus ejes la suma acumulada perteneciente a la suma anual de cada uno de los años del estudio y en el otro eje el período de tiempo en cuestión, de esta forma como resultado se tendrá una línea recta siempre y cuando no existen inconsistencias, de no ser así la recta presentará quiebres y se tendrá corregir con el siguiente factor (Aparicio, 2015):

$$Fa=\frac{A}{B}=\frac{0,83}{0,63}=1,32$$

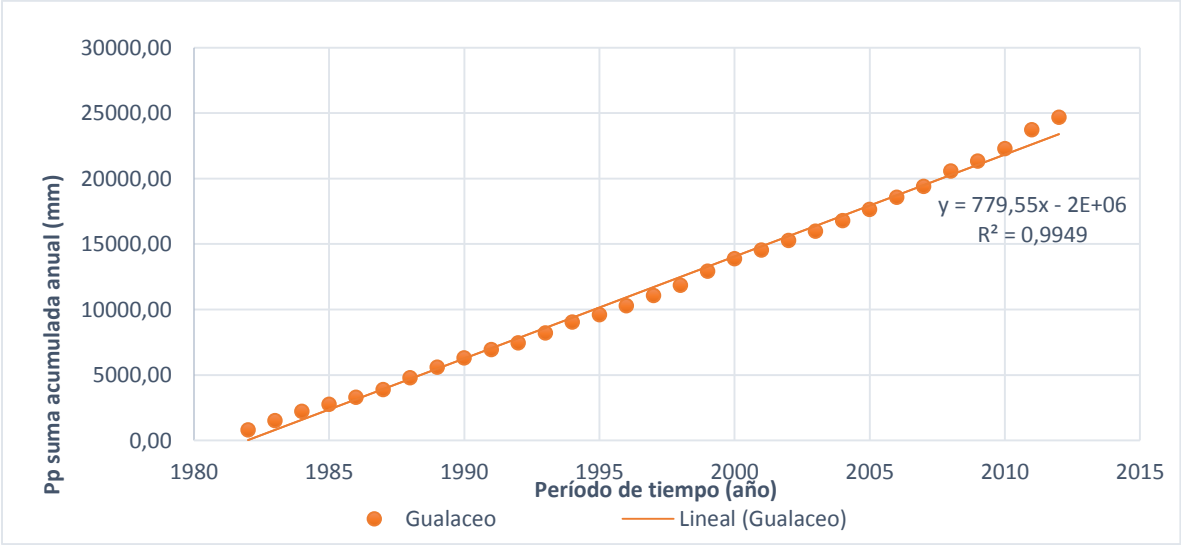
Figura 6: Análisis de doble masa



Fuente: Aparicio, 2015

Para nuestro análisis de consistencia se siguió cada uno de los pasos, la tabla de datos de sumas anuales acumuladas están presentes en la tabla de anexos, y como consecuencia de la aplicación de esta técnica podemos asegurar que apoyados con el coeficiente de correlación de cada estación cuyo valor obtenido se aproxima a 1 todos los datos de nuestras estaciones presentan consistencia, a continuación en la gráfica n°1 se detalla el análisis de la estación M0139 y más adelante en el apartado de resultados se mostrara el resto de los análisis de doble masa.

Gráfica 1: Estación Gualaceo-Análisis de Doble Masa



Elaborado: Autor

En virtud de todo el arreglo y análisis estadístico realizado, en la sección de anexos se muestra la tabla general de los datos de precipitación ya corregidos y rellenados para las cuatro estaciones de estudio M0138, M0139, M0424, M0426. En tanto que para la temperatura se recopilo los datos de las estaciones M0138 para rellenar los datos faltantes de la estación M0139 aplicando la misma metodología ya explicada.

2.2.2 Estimación de heliofanía

Las estaciones meteorológicas seleccionadas para el estudio y de igual forma todas las que estaban dentro del radio a la zona del proyecto no cuentan con registros contundentes de horas de brillo solar. Ahora bien en nuestro estudio hemos decidido estimar mediante un proceso geoestadistico las horas de luz solar y comparar estas mismas horas de brillo solar con tablas teóricas (ver anexos) que expone la FAO de acuerdo a la latitud y estimadas para el día 15 del año.

Estas horas teóricas son estimadas en base a la ubicación, es decir con respecto a latitud sea norte o sur, en nuestro caso el Ecuador ocupa las posiciones de latitud de 2 ° S. Para estimar estas horas de sol se ocupa también una fórmula que describimos a continuación:

$$N=\frac{24}{\pi}W_s$$

Donde: N: Horas de luz (h)

W_s: Ángulo a la hora de la puesta de sol (rad)

Nuestro interés a más de contar con estas tablas teóricas fue de estimar las horas de brillo solar, y se lo hizo con ayuda de los SIG, en base a su herramienta de geoestadística. El proceso

tuvo como primera instancia generar un mapa de aspecto y de pendiente a partir de un modelo digital de del terreno (MDT).

El mapa de aspecto proporciona información sobre la dirección de exposición de la pendiente. En otras palabras, una pendiente cualquiera puede estar expuesta hacia el norte (0°), o expuesta al este (90°), al sur (180°), al oeste (270°). La dirección de exposición se agrupa en 8 clases, cada clase tiene un rango de 45° (Delgado, 2015). Mientras que el mapa de pendientes no es más que la representación de los diferentes grados de pendiente que posee un terreno, siendo la inclinación de una superficie con respecto a la horizontal.

Para el análisis de la información de pendientes y aspecto (slope and aspect) es recomendable realizar una clasificación por promedio en intervalos discretos para asignar a cada celda (pixel) un valor simple de clase (M, Bezzi - A, Vitti. 2005). En la tabla N° 7 se indica la reclasificación de pendientes utilizada:

Tabla 7: Reclasificación de la pendiente

Clase	1	2	3	4	5	6
Valor (°)	0-5	5--10	10--20	20-30	30--40	40--90

Fuente: Marco Bezzi, Alfonso Vitti.
Elaborado: Autor

De manera similar se reclasifica el aspecto, indicado en la tabla N°8

Tabla 8: Reclasificación del aspecto

Clase	10 E	20 N-E	30 N	40 N-W	50 W	60 S-W	80 S-E
Valor (°)	-22,5-22,5	22,5-67,5	67,5-112,5	112,5-157,5	157,5-202,5	202,5-247,5	292,5-337,5

Fuente: Marco Bezzi, Alfonso Vitti.
Elaborado: Autor

Las clases de aspecto y pendiente son combinadas entre sí obteniendo el índice morfológico, para realizar estimaciones de radiación solar directa y horas de sol mediante el contraste de características del terreno (Parra, 2013). Esta combinación se la realizo a partir del mapa de algebra propio de los SIG.

Tabla 9: Combinación de la reclasificación pendiente-aspecto

	Aspecto							
Pendiente	10	20	30	40	50	60	70	80
1	11	21	31	41	51	61	71	81
2	12	22	32	42	52	62	72	82
3	13	23	33	43	53	63	73	83
4	14	24	34	44	54	64	74	84
5	15	25	35	45	55	65	75	85
6	16	26	36	46	56	66	76	86

Fuente: Marco Bezzi, Alfonso Vitti.
Elaborado: Autor

A partir de índice morfológico combinado se usó la herramienta *Spatial Analyst tools >> Solar radiation>> Area solar radiation* y se estimó las horas de brillo solar del año 2014 el cual el año más reciente con el que se está trabajando los datos de precipitación y exclusivamente se estimó para el día 15 que justamente es el día que expresa las horas de luz solar las tablas teóricas. Esta metodología fue desarrollada por el Msc. Alejandro Parra (2013), como tesis de maestría "*Evaluación De Métodos Heuristicos Y Matemáticos Para La Determinacion Del Potencial De Generación Distribuida Con Energía Fotovoltaica"*.

Las horas de sol estimadas también están en la sección de anexos (mapa 6) y son precisamente estas horas de sol las que se usaran para el cálculo del balance hídrico.

2.2.3 Estimación de la radiación solar directa

Además de las horas de brillo solar este documento presenta una variable adicional la cual es un mapa de radiación solar anual calculado con datos del Atlas Solar del Ecuador, publicado por el CONELEC en el año 2008. Los datos usados corresponden al período entre el 1 de Enero de 1985 y el 31 de Diciembre de 1991, y fue publicado en Julio del 2006. Esta información representa la energía solar promedio mensual y anual de los valores diarios la insolación total (directa y difusa) e insolación global sobre una superficie horizontal y contiene los promedios mensuales de cada una de ellas, expresados en Wh/m2/día (CONELEC, 2008).

La metodología que se desarrolló para estimar la radiación directa fue a través de los métodos de interpolación de los SIG, pero se utilizó únicamente el método *Kriging* el cual es una técnica que encierra un conjunto de métodos de predicción espacial que se fundamentan en la minimización del error cuadrático medio de predicción. A pesar de que esta variable no se ocupará en nuestro estudio creemos que en posteriores investigaciones que se realicen dentro del BVPA pueda ser utilizado (ver anexos, mapa 7).

2.3 Estimación del balance hídrico

La determinación del balance hídrico consta de tres partes, la primera fue la recopilación, corrección, validación y estimación de las variables climáticas necesarias para desarrollar el cálculo, en segunda instancia los procedimientos que se explicarán a continuación y finalmente como análisis de los resultados de este balance que serán discutidos más adelante.

2.3.1 Cálculo de la evapotranspiración

Ante la carencia de variables que normalmente son usadas en los distintos métodos para el cálculo de la evapotranspiración en nuestro estudio se ocupó tres variables climáticas una de

ellas es la precipitación con registros de datos de 34 años, se contó además con los datos de horas de sol estimados mediante los SIG por intermedio de sus herramientas geoestadisticas cuyos datos fueron estimados para todos los meses de año 2014, día 15. Y por último se utilizó los datos de temperatura media de las estaciones citadas al inicio de esta sección metodológica.

Precisamente estas tres variables son las que se acomodan al método de Thornthwaite para el cálculo de la ETP, según la literatura el método de Thornthwaite aporta con valores aceptables para zonas húmedas, mientras que para lugares secos o semiáridos ocurre lo contrario (Carchi, 2015). Al tener limitaciones en la aplicabilidad de otros métodos como el Penman-Monteith que ha tenido grandes resultados, consideramos que la técnica de Thornthwaite también se acomoda mucho a las condiciones del bosque.

2.3.2 Manejo de datos

Para conocer los datos de precipitación que se usaron en el balance se aplicó la técnica del polígono de Thiessen, este método nos ayudó a determinar las áreas efectivas de cada estación sobre las microcuencas de estudio. La técnica del polígono de Thiessen establece que en cualquier punto dentro del área generada la lluvia será igual a la que se registró en la estación analizada (Chow *et al*.1994). El procedimiento consiste en ubicar las estaciones en el mapa y se grafican las líneas que se conectan unas con otras formando polígonos, para el estudio se trabaja con el software ArcGis quien delimitará los polígonos dentro del área de estudio de tal forma que se pueda visualizar que estación actúa con más influencia dentro de las microcuencas.

En el Mapa 8 (ver anexos) se puede observar el producto del polígono de Thiessen, en donde la estación de Gualaceo tiene influencia sobre un porcentaje de área de la microcuenca 3

(Huayrapungu), mientras que la estación de Sigsig tiene total influencia sobre la microcuenca 4 (Quillosisa) y también sobre la microcuenca 3.

Para la microcuenca Huayrapungu se decidió con respecto a su área total determinar el porcentaje delimitado por el polígono de Thiessen para las dos estaciones que influyen en ella, a continuación en el siguiente cuadro se explica la división.

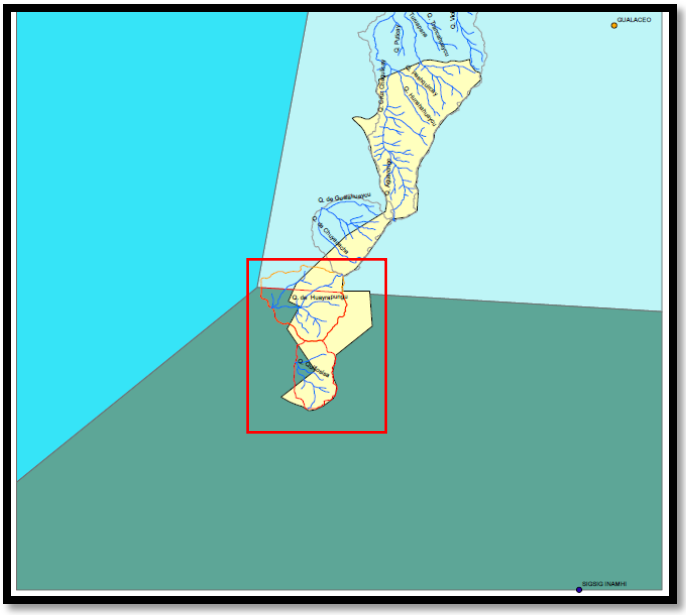
Tabla 10: Estaciones de influencia para microcuenca Huayrapungu

	Área_Km	Área_Porc
Área Huayrapungu	4757	100%
Área de influencia M0424	3152	66,26%
Área de influencia M0139	1605	33,74%

Elaborado: Autor

El dato de precipitación que se escogió en definitiva para la microcuenca Quillosisa es el promedio de cada mes durante los 34 años analizados, en tanto que para la microcuenca Huayrapungu se tomaron los datos de precipitación de ambas estaciones señaladas en la tabla 10 tomando en cuenta la influencia de las dos estaciones en la microcuenca, mediante un promedio ponderado. A continuación en la figura 7 se distinguen las microcuencas de estudio y la influencia de las estaciones ya citada, dicho mapa esta mejor representado en la sección de anexos (mapa 8).

Figura 7: Polígono de Thiessen



Elaborado: Autor

Con respecto a la temperatura se encontraron vacíos de datos, además solo dos estaciones la M0139 y la M0138 cuentan con datos de más de 30 años, en vista de aquello se mencionó al inicio de esta sección que nos apoyamos en la estación M0138 para rellenar los vacíos de datos de la estación M0139 que es la más cercana al bosque. Los datos de temperatura que se analizaron son únicamente las temperaturas medias por lo que se calculó un promedio de temperaturas para cada mes en el rango de los 34 años de datos (1982-2015).

Y finalmente se tomaron las horas de brillo solar estimadas con los SIG para la corrección de la ETP calculada mediante Thornthwaite. Para desarrollar los cálculos de la evapotranspiración se utilizaron las siguientes ecuaciones:

- Cálculo de la índice de calor mensual

$$i = (\frac{t}{5})^{1,514}$$

- Cálculo del índice de calor anual

$$I=\Sigma i$$

- Cálculo de la ETP mensual sin corregir

$$\text{ETP sin corregir}=16\left(\frac{10.t}{I}\right)^{a}$$

- Corrección según el número de días del mes y el número de horas de sol

$$\text{ETP}=\text{ETP sin corregir}\,\frac{N}{12}\frac{d}{30}$$

Donde: t= Temperatura media mensual

i: Índice de calor mensual

I= Índice de calor anual

a= $6{,}75X10^{-7}.I^{3}-7{,}71X10^{-5}.I^{2}+0{,}01792.I+0{,}49239$

N= Número máximo de horas de brillo solar

d= Número de días del mes

ETP= Evapotranspiración corregida

Para nuestra investigación se realizó dos balances uno para cada microcuenca de estudio, cuya variabilidad fue solamente la precipitación para cada zona. La ecuación del balance se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Luvia neta (excedente)}=\text{Pp-ETR-}\Delta\text{vol de agua en el suelo}$$

En nuestro caso analizamos como entradas a la precipitación y a las salidas únicamente la ETP, la capacidad de retención de volumen de agua en el suelo y con ello estimar la lluvia neta (excedente). Además como parámetro de salida se cuantificó el caudal para el mes de mayo, esto

con el objetivo de relacionar el parámetro de lluvia neta de la microcuenca junto con el caudal calculado experimentalmente en el campo.

2.3.2 Balance hídrico desarrollado en ArcGIS

Nuestro balance hídrico también se lo desarrollo en el programa ArcGIS, a diferencia del método empírico explicado anteriormente aquí se usó un raster de isotermas a nivel nacional para poder asignarles una temperatura a las estaciones M0426 (Ricaurte) y M0424 (Sigsig) las cuales carecían de datos de temperatura media anual. Esta asignación de valores de temperaturas sirvió para poder interpolar la zona de estudio mediante el método *Kriging* y obtener valores representativos para el cálculo de la ETP.

Así mismo se realizó un mapa de isoyetas tanto mensual como anual y se extrajo los datos de precipitación que tienen mayor influencia en las microcuencas Huayrapungu y Quillosisa. A partir de los ráster obtenidos de isoyetas e isotermas para nuestra área se aplicó la metodología de Thornthwaite para hallar la ETP en base a las ecuaciones mencionadas en el apartado anterior, posteriormente se usó la herramienta *Raster Calculator* propia de los SIG para no solo hallar la ETP sino que además encontrar las diferencias entre precipitación y evapotranspiración.

Todos estos resultados alcanzados son explicados más adelante y también pueden ser visualizados mediante los mapas generados incluidos en la sección de anexos.

2.4 Humedad, materia orgánica y capacidad de campo en el BVPA

En este apartado se explicará cómo estimar ciertas propiedades físicas del suelo las cuales fueron extraídas del BVPA, estos análisis consistieron en la determinación del contenido

de humedad y del porcentaje de materia orgánica presente en las muestras, el objetivo principal de este análisis consistió en que a partir de estos datos de humedad se estableció la capacidad de retención de los suelos o capacidad de campo.

Las muestras recolectadas en el BVPA fueron extraídas mediante un barreno con profundidades que oscilaban entre los 25 a 35 cm, la muestra como tal era colocada en fundas ziploc y ubicadas en un cooler para su transporte a los laboratorios donde iban a ser posteriormente analizadas.

Figura 8: Extracción de la muestra de suelo mediante el barreno

Fuente: Autor

2.4.1 Determinación del contenido de humedad en el suelo

Para su determinación se esperó 24 horas para que las muestras tengan un secado normal al ambiente en vista de que tenían sobresaturación debido a que fueron tomadas en meses donde las precipitaciones en el BVPA eran diarias. Los materiales para realizar la práctica en el laboratorio fueron los siguientes:

- Estufa de secado
- Espátulas
- Recipientes de aluminio descartables
- Balanza
- Sujetadores o pinzas

La práctica en el laboratorio para calcular el contenido de humedad estuvo basada en la metodología propuesta por la Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.

- Se determinó el peso de la muestra conociendo en primera instancia el peso del recipiente que lo va a contener
- Se recomienda dejar un peso puntual para todas las muestras, en nuestro caso fue de 200 gr para cada una de las muestras
- Se ingresó las muestras a la estufa de secado, programando el equipo para una temperatura de 60°C por un tiempo 48 horas.
- Posterior a las 48 horas se extrajo las muestras para un nuevo pesado.

Figura 9: Estufa programada

Fuente: Autor

Figura 10: Peso del recipiente y peso húmedo de la muestra

Fuente: Autor

Contando con los datos de peso seco y húmedo se realizaron los cálculos para determinar el contenido de humedad mediante la siguiente fórmula:

$$W=\frac{W1-W2}{W2-Wt}X100\%=\frac{Ww}{Ws}X100\%$$

Donde: W= Contenido de humedad, (%)

W_w= Peso del agua

W_s= Peso seco del material

W_1= Peso del recipiente más el suelo húmedo, (gr)

W_2= Peso del recipiente más el suelo secado en la estufa, (gr)

W_t= Peso del recipiente, (gr)

2.4.2 Contenido de materia orgánica

Usando las mismas muestras se llevó a cabo el análisis granulométrico para determinar el contenido de materia orgánica en el suelo, los materiales para llevar a cabo esta metodología propuesta por la Universidad Nacional de Ingeniería, Perú fue la siguiente:

- Mufla
- Campana de desecación
- Crisoles
- Tamiz N°10
- Espátulas
- Balanza
- Pinzas o sujetadores

El procedimiento para llevar a cabo esta metodología esta descrito a continuación:

- Se hizo pasar muestra por muestra en el tamiz N°10 para ser colocados en sus respectivos crisoles
- Se pesó cada una de las muestras, anticipadamente se pesó cada uno de los crisoles
- Se ingresaron la muestras en la mufla a una temperatura de 460°C por 24 horas
- Al cabo de las 24 horas se retiró las muestras para llevarla a la campana de desecación con el objetivo de que adquieran temperatura ambiente
- Se pesó nuevamente cada una de las muestras.

Figura 11: Campana de desecación

Fuente: Autor

Figura 12: Mufla

Fuente: Autor

Para el cálculo del porcentaje de materia orgánica realizamos la misma relación anterior:

$$W=\frac{W1-W2}{W2-Wt}X100\%=$$

Donde: W= Contenido de materia orgánica en el suelo, (%)

W_1= Peso del crisol más el peso inicial del suelo, (gr)

W_2= Peso del crisol más el suelo secado en la mufla, (gr)

W_t= Peso del crisol, (gr)

2.4.3 Estimación de la capacidad de campo

Este dato de suma importancia dentro del balance fue estimado a partir de una relación entre la densidad aparente y la humedad del suelo mediante las siguientes formulas:

$$Dap = \frac{\text{muestra seca}}{\text{volumen retenido}}$$

$$humedad = \frac{w}{\text{volumen retenido}} * 100$$

$$cc = Dap * humedad$$

Donde: Dap= Densidad aparente

Muestra seca= Cantidad de suelo seco, (gr)

Volumen retenido= Cantidad de agua en suelo húmedo (cm^3)

W= Peso de la muestra húmeda (gr)

cc= Capacidad de campo (mm/10cm)

2.5 Medición del Caudal

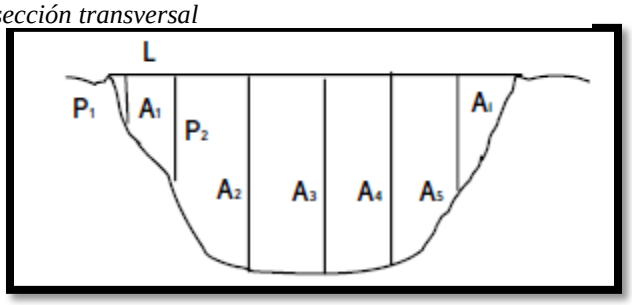
La medición de caudales se realizó en la microcuenca 3 (Huayrapungu) colindante al área de la parroquia San Juan, se tomaron 5 puntos de caudal en el mismo cauce en días distintos, esto con la finalidad de obtener una curva de gastos. La metodología aplicada para realizar estas mediciones en campo están basadas en el *Protocolo de Evaluación de la Integridad Ecológica de los ríos de la región Austral del Ecuador, ETAPA* y además con la ayuda en campo de la profesora *Beverley Wemple, Ph.D.* de la Universidad de Vermont.

El equipo que se usó para las mediciones de caudal fue por medio de un micro molinete sobrepuesto a una base, este a su vez estaba conectado a una pantalla registradora y que a la vez operaba de manera electrónica para calcular el caudal, la marca del equipo es Aquacalc Pro+.

La elección del lugar de muestreo fue elegida según las características idóneas propuestas por el Protocolo de ETAPA, el cual menciona que la sección transversal en la que se medirá el caudal deberá tener flujos continuos y de ser posible que el cauce este bien delimitado, en este caso con sus orilla bien definidas.

Tanto el protocolo de ETAPA como la Dr. Beverley Wemple nos recomendaron medir el caudal por secciones a lo largo del cauce, de tal forma que tuvimos varios caudales para el pequeño tramo que conformaban la sección de la vertiente donde se hicieron las mediciones, finalmente la suma de todos estos pequeños caudales dieron como resultado el caudal total que circulaba por la quebrada.

Figura 13: Esquema de medición del caudal en una sección transversal



Fuente: Protocolo, ETAPA

La medición como ya mencionamos fue realizada en varias secciones, los datos que se fueron tomando a lo largo de esta sección fueron el ancho, la profundidad y la velocidad que era receptada por el controlador a partir del molinete.

$$Q1=v.a.h$$

$$Qtotal= \sum Q$$

Figura 14: Mediciones de Velocidad del flujo

Fuente: Autor

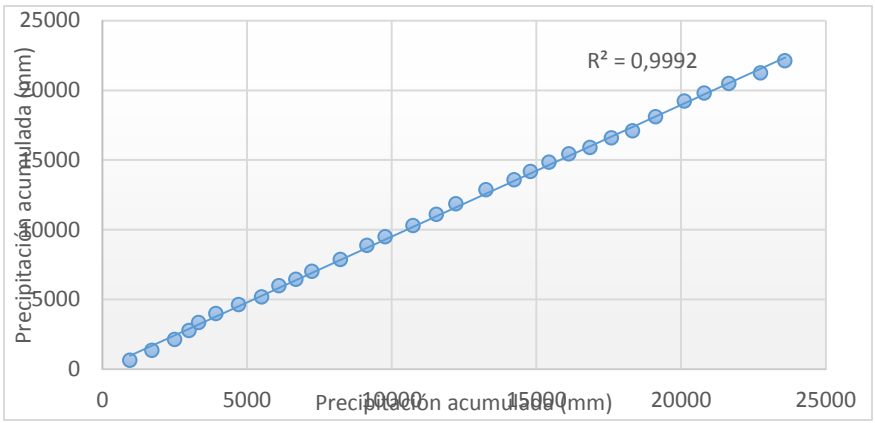
Por otra parte fue necesario medir el nivel de agua, el cual se define como la profundidad que tiene el cauce no exactamente en la sección donde se registraron los caudales sino más bien pocos metros aguas arriba donde el nivel es superior. Fue necesario medir este factor de nivel de agua para posteriormente elaborar la gráfica de curva de gastos, la misma que se generó con la altura y caudal

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

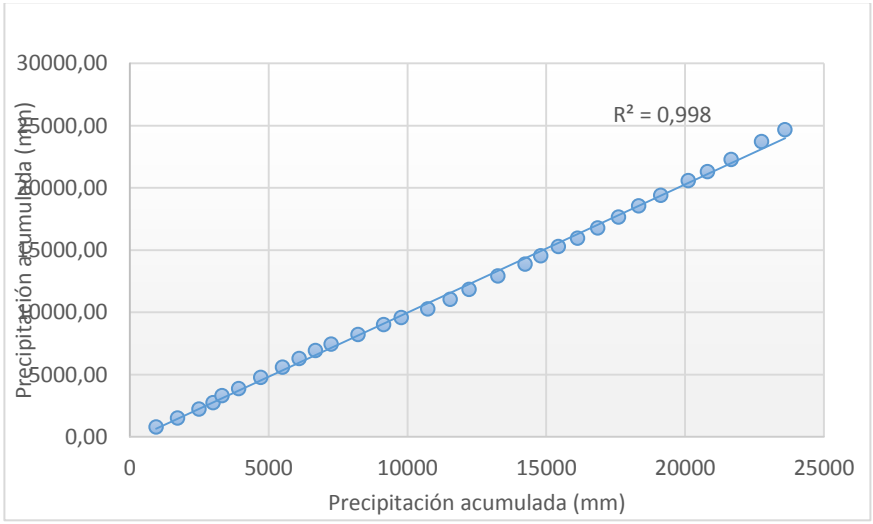
3.1 Análisis de la precipitación

Los resultados obtenidos luego de haber corregido y rellenado las anomalías encontradas en las estaciones de estudio han sido muy satisfactorias, para el caso de la precipitación el análisis de doble masa efectuado nos indican que existe una consistencia muy buena de los datos ajustados, los cuales nos brindaron garantías para poder elaborar el balance hídrico. A continuación presentamos ciertas gráficas entre estaciones meteorológicas las cuales son comparadas para corroborar la consistencia de los datos.

Gráfica 2: Análisis de doble masa, comparación de estaciones Paute (M0138) y Gualaceo (M0139)



Elaborado: Autor



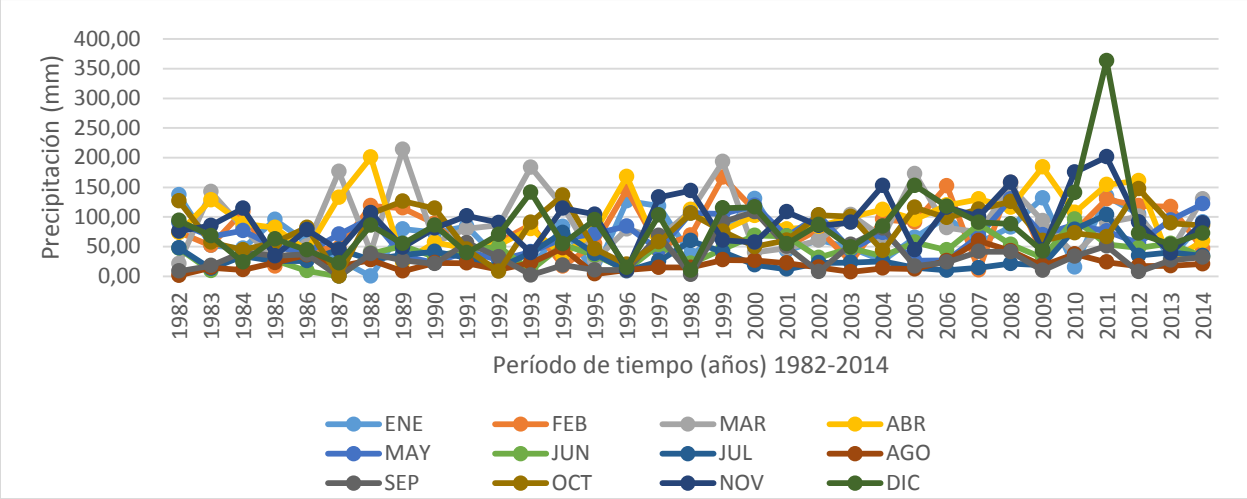
Gráfica 3: Análisis de doble masa, comparación de estaciones Paute (M0138) y Sigsig (M0424)

Elaborado: Autor

Tal y como lo demuestran la gráficas la consistencia de los datos es muy buena, los indicadores que nos permiten determinar su grado de confiabilidad son muy visibles, uno de ellos es que la recta no muestra quiebres y por otra parte los valores de R^2 se aproximan mucho a 1.

3.2 Comportamiento de la precipitación

Por su parte se hizo un análisis del comportamiento para todo el conjunto de datos de la precipitación, es importante destacar que en un análisis previo de estos datos sin corregirlos con anticipación las gráficas mostraban picos anómalos que a pesar de que la precipitación presenta tormentas bastante grandes estos eran datos que sin lugar a dudas habían que corregirlos, a continuación en las gráficas 6 y 7 se estudia el comportamiento para las estaciones M0139 y M0424.



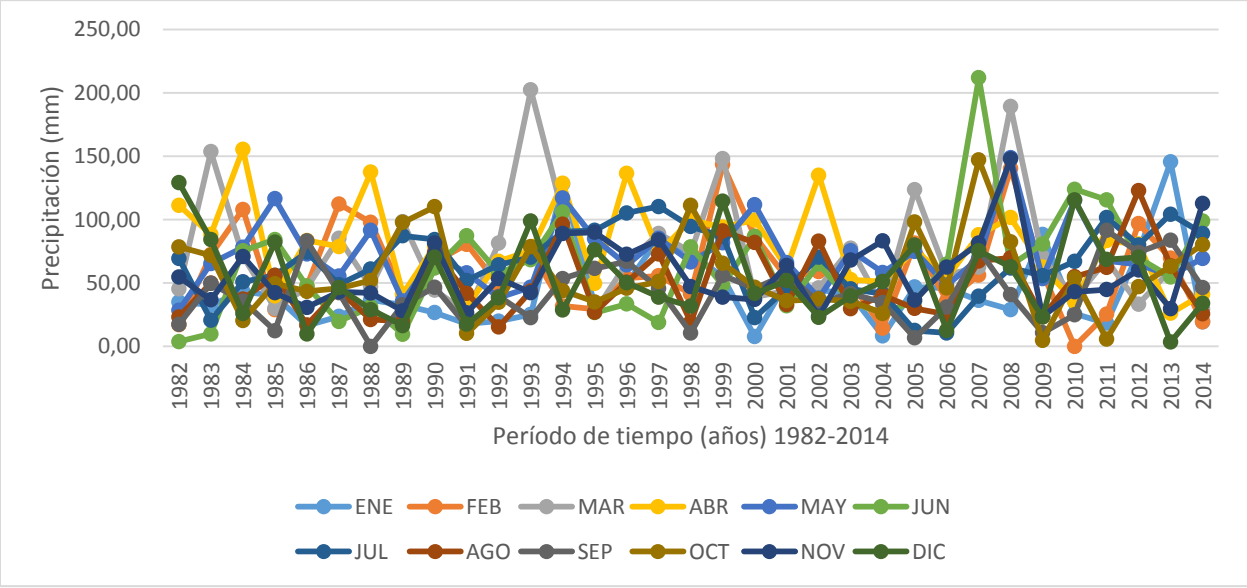
Gráfica 4: Comportamiento de la precipitación estación Gualaceo M0139

Elaborado: Autor

La estación Gualaceo muestra claramente que existe una homogeneidad de los datos, a excepción del mes de diciembre del 2011 donde muestra un pico de alrededor de 350 mm, pero que a pesar de ser alto no da lugar a pensar de que se tratará de un dato anómalo, por otra parte se puede distinguir que el régimen normal de precipitaciones medias mensuales oscila entre los 50-100 mm durante los 33 años analizados.

Mientras la estación Sigsig muestra también un alto grado de homogeneidad de los datos, en comparación con Gualaceo esta estación muestra dos picos de alrededor de 200 mm para los meses de marzo de 1993 y junio 2007, pero que de igual forma son datos que reales que no dan a imaginar que sean falsos. Es precisamente en esta estación cuando al inicio de nuestras investigaciones nos encontramos con un valor que sobrepasaba los 900 mm siendo un valor que claramente tenía mucha incertidumbre y poco grado de confiabilidad.

Gráfica 5: Comportamiento de la precipitación estación Sigsig (M0424)



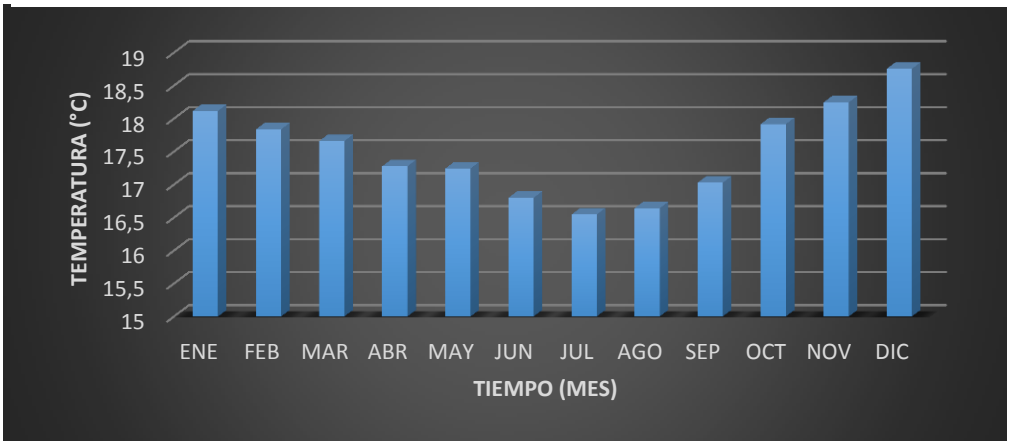
Elaborado: Autor

3.3 Comportamiento de la temperatura

En la gráfica 9 podemos visualizar un rango de valores casi homogéneos de la temperatura media, es precisamente estos mismo valores graficados los que se utilizarán para el cálculo del balance siendo el promedio de las medias mensuales de cada mes durante los años de 1982 hasta el 2015. Entre los resultados destacables encontrados en la gráfica de temperatura

podemos mencionar que se puede distinguir con facilidad los meses de mayor temperatura como diciembre y de menor temperatura julio.

Gráfica 6: Comportamiento de la temperatura media mensual estación Gualaceo (M0139)

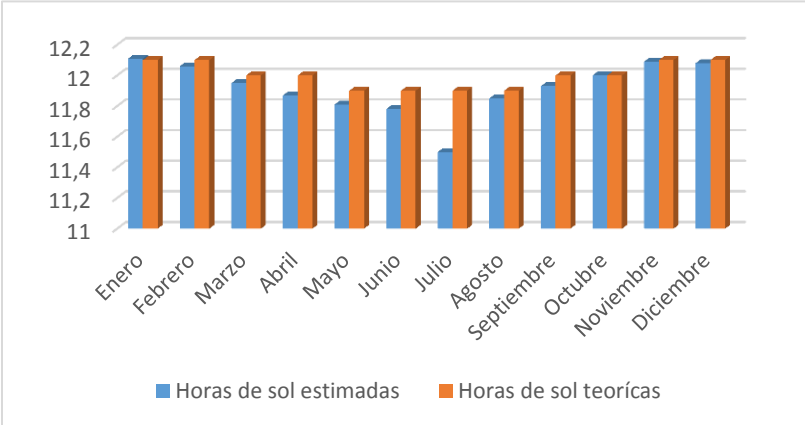


Elaborado: Autor

3.4 Heliofanía

En cuanto a las horas de brillo solar hemos decidido hacer la comparación entre las horas estimadas mediante los SIG y las horas de la tabla teórica propuesta por la FAO, notando que las diferencias son mínimas a excepción del mes de julio donde se puede notar una diferencia de 0,4 entre las horas estimadas y las teóricas.

Gráfica 7: Comparación de horas de brillo solar estimadas y teóricas

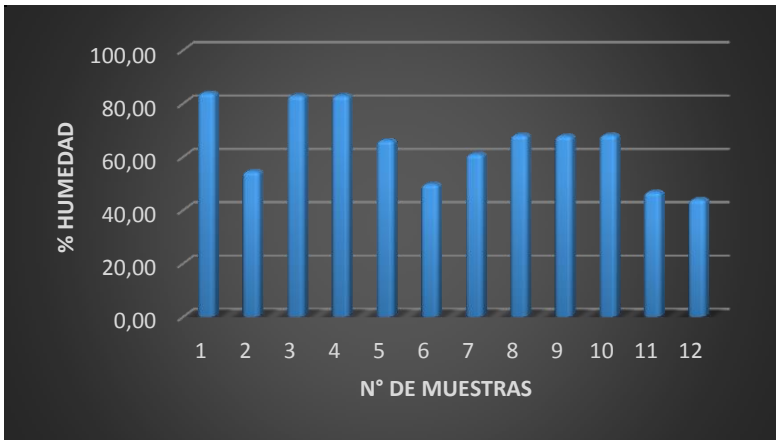


Elaborado: Autor

3.5 Cálculo del contenido de humedad en el suelo.

Los resultados obtenidos a través de los análisis en laboratorio nos indican que lo suelos del BVPA poseen altos contenidos de humedad, algunas muestras indicaron hasta más del 80% y las menor no bajo del 40%. Un aspecto a destacar en cuanto a la humedad de estos suelos es que algunos estaban sobresaturados, sus niveles de agua que contenían rebotaban los análisis por encima del 100% esto debido a que las muestras recolectadas su mayoría en el mes de marzo estuvieron propensas a la mucha cantidad de lluvia que precipito en ese mes.

Gráfica 8: Contenido de humedad en el suelo



Elaborado: Autor

El promedio de humedad en suelos del BVPA es de aproximadamente 65%, apoyados en el mapa 9 (ver anexos) se ha caracterizado el tipo de orden taxonómico de los suelos pertenecientes al bosque y particularmente a la zonas de estudio, en el área de la microcuenca Huayrapungu se determinó que el orden taxonómico del suelo está representado por un gran porcentaje de alfisoles y en una menor cantidad por inceptisoles, en tanto que para la zona de Quillosisa se distingue en su totalidad los andisoles.

En el documento *inceptisoles* de la Universidad Politécnica de Valencia expresa que estos tipos de suelos se desarrollan en climas húmedos pudiendo ser estos tanto fríos como cálidos, por otra parte presentan altos contenidos de materia orgánica descompuesta. En tanto que para el orden alfisoles son suelos que se mantienen húmedos la mayor parte del año y con porcentajes de saturación considerables sabiendo que su textura común es arcillosa.

Para el orden andisoles correspondiente a la microcuenca Quillosisa el departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) en su documento *Claves para la taxonomía de suelos* menciona que los andisoles son suelos de procedencia volcánica que están presentes en regiones húmedas y subhúmedas acumulando buenos porcentajes de humus siendo su color característico el negro indicador fundamental para distinguir la presencia de altos contenidos de materia orgánica.

Tabla 11: Contenido de humedad en el suelo

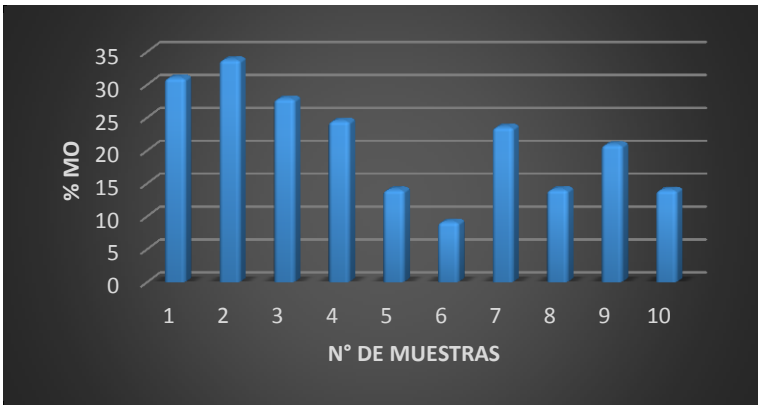
N°	Recipiente (gr)	Recipiente + suelo húmedo (gr)	Recipiente + suelo seco (gr)	Peso de agua contenida (gr)	Peso suelo seco (gr)	Porcentaje de humedad (%)
1	5,8	124,4	70,3	54,1	64,5	83,88
2	5,8	155,8	102,9	52,9	97,1	54,48
3	5,8	155,8	87,8	68	82	82,93
4	5,8	155,8	87,8	68	82	82,93
5	5,8	155,8	96,1	59,7	90,3	66,11
6	5,8	155,8	106	49,8	100,2	49,70
7	5,8	155,8	99	56,8	93,2	60,94
8	5,8	155,8	95	60,8	89,2	68,16
9	5,8	155,8	95,2	60,6	89,4	67,79
10	5,8	155,8	95	60,8	89,2	68,16
11	5,8	155,8	108	47,8	102,2	46,77
12	5,8	155,8	110	45,8	104,2	43,95
	Promedio					64,65

Elaborado: Autor

3.6 Cálculo del contenido de materia orgánica

La tabla 12 de resultados nos expresa que en los suelos del BVPA está presente un alto contenido de materia orgánica, los mismos que son comunes en los órdenes taxonómicos que encontramos en el bosque.

Gráfica 9: Contenido de MO en el suelo



Elaborado: Autor

Como dato a destacar es que en algunos lugares del BVPA los porcentajes son poco más alto que en otros, curiosidad que deja a entrever porque sucede este efecto, los contenidos más bajo de materia orgánica fueron de 9% siendo el más alto un valor de 33%. Y es que en un estudio realizado por Cárdenas denominado *Impacto de las prácticas agropecuarias y forestales sobre las propiedades Físico-Químicas de los suelos andinos del sur del Ecuador* el cual nos habla de un análisis de suelos realizado en algunos bosques del sur del país entre ellos el BVPA, en donde se caracteriza la materia orgánica para tres tipos de uso de suelos cultivos, pastos y bosque montano; en tales resultados se demuestran que el contenido de materia orgánica presenta variabilidades, en algunas muestras por ejemplo en bosque montano se alcanzó porcentajes entre 10% y 20% y en áreas intervenidas como cultivos con porcentajes superiores al 30%.

Tabla 12: Contenido de materia orgánica.

N°	Crisol (gr)	Peso del crisol+ Muestra (gr)	MO+Crisol	MO (gr)	Porcentaje de MO (%)
1	38,7	68,7	59,39	20,69	31,03
2	35,6	65,6	55,46	19,86	33,8
3	35,2	65,2	56,84	21,64	27,87
4	36,4	66,4	59,05	22,65	24,5
5	36,9	66,9	62,69	25,79	14,03
6	35,1	65,1	62,35	27,25	9,17
7	36,4	66,4	59,33	22,93	23,57
8	38,7	68,7	64,48	25,78	14,06
9	35,6	65,7	59,41	23,81	20,90
10	31,8	61,8	57,6	25,8	14
	Promedio				21,29

Elaborado: Autor

3.7 Estimación de la capacidad de campo

El dato de capacidad de campo será importante para poder determinar la cantidad de agua máxima que pueden retener los suelos del BVPA, entre los resultados obtenidos, expresados en la tabla 13 encontramos que de las doce muestras analizadas y tomadas en distintos lugares del bosque la capacidad máxima de retención es de 36,5 mm y al tener varios resultados se decidió realizar un promedio entre los resultados arrojados, determinando una capacidad de campo de 25 mm para todas las microcuencas estudiadas.

Tabla 13: Capacidad de campo

Volumen de agua (cm^3)	Densidad aparente (gr/cm^3)	Humedad	Capacidad de campo (mm/10cm)
54,1	0,84	43,49	36,48
52,9	0,54	33,95	18,50
68	0,83	43,65	36,19
68	0,83	43,65	36,19
59,7	0,66	38,32	25,33
49,8	0,50	31,96	15,89
56,8	0,61	36,46	22,22
60,8	0,68	39,02	26,60
60,6	0,68	38,90	26,37
60,8	0,68	39,02	26,60
47,8	0,47	30,68	14,35
45,8	0,44	29,40	12,92
		Promedio:	24,80

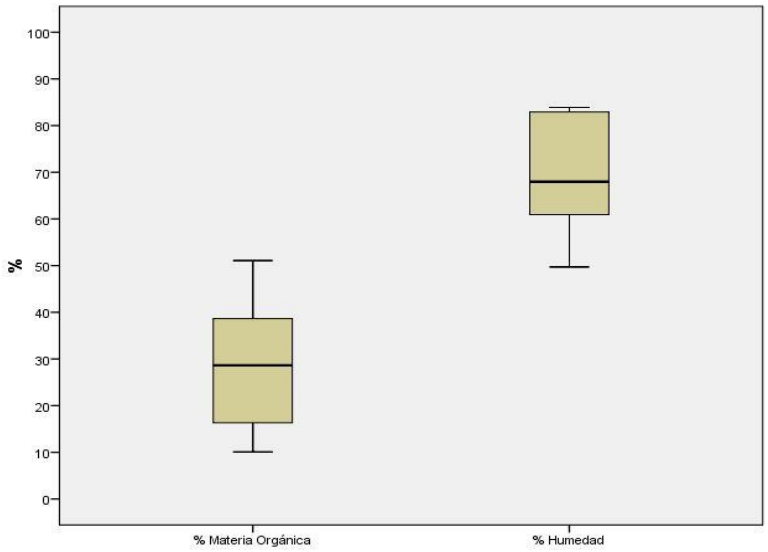
Elaborado: Autor

De acuerdo con el estudio realizado por Mosquera llamado *Identificación de las principales fuentes de agua que aportan a la generación de escorrentía en zona Andinas de páramo húmedo mediante isotopos estables* considera a la materia orgánica el principal componente que influye en la generación de caudales, de tal manera que se justifica la presencia de caudales en las microcuencas estudiadas en vista de que la capacidad de campo del BVPA está íntimamente relacionada con el porcentaje tanto de humedad como de materia orgánica. De tal modo que al tener una capacidad de campo de 25 mm la cantidad de lluvia que supere las necesidades de ETP y en caso de que este valor sea mayor a 25 mm generará un excedente en la cuenca.

A continuación se representan los gráficos de caja pertenecientes a los porcentajes de materia orgánica y contenido de humedad en el suelo, representados en la gráfica 10. Por su parte en la

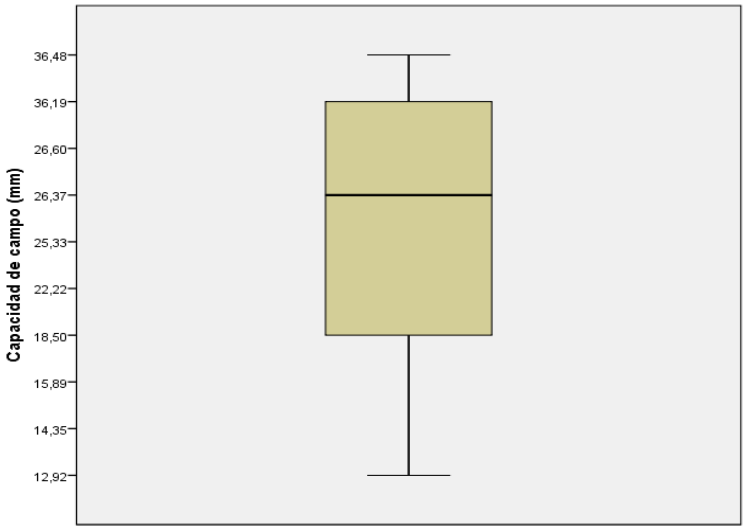
gráfica 11 se presenta el gráfico de cajas donde se distingue la capacidad de campo. Además de estas gráficas mostraremos el resumen estadístico para cada una de estas variables.

Gráfica 10: Representación del contenido de M.O y humedad



Elaborado: Autor

Gráfica 11: Representación de la capacidad de campo



Elaborado: Autor

Tabla 14: Resumen estadístico de los análisis de suelo

Análisis efectuado	Media	Mediana	Desviación estándar	Varianza	Min	Max
Contenido de humedad	64,65	66,95	14,02	196,69	43,95	83,88
Contenido Materia Orgánica	28,35	28,62	13,71	188,076	10,09	51,06
Capacidad de Campo	24,8	25,85	8,42	71,01	12,92	36,48

Elaborado: Autor

3.8 Cálculo del balance hídrico

Se realizaron dos balances hídricos tal y como se mencionó al inicio de la investigación uno por cada microcuenca.

3.8.1 Balance hídrico microcuenca Huayrapungu

En primera instancia se desarrolló el cálculo para la ETP mediante Thornthwaite siguiendo cada uno de los parámetros explicados en la sección metodológica.

Tabla 15: Cálculo de ETP-Microcuenca Huayrapungu

	PP media (mm)	T° media (ºC)	Horas insol.	Días en un mes	índice de calor mensual	a	ETP sin corregir	ETP cada mes
Enero	52,33	18,12	12,1	31	7,0244	1,779701	68,5	71,400
Febrero	67,2	17,84	12,1	28	6,8607	1,779701	66,6	62,468
Marzo	79,48	17,66	12	31	6,7562	1,779701	65,4	67,305
Abril	84,83	17,28	11,9	30	6,5373	1,779701	62,9	62,293
Mayo	71,17	17,24	11,8	31	6,5144	1,779701	62,7	63,781
Junio	54,98	16,8	11,8	30	6,2644	1,779701	59,8	58,749
Julio	54,72	16,55	11,5	31	6,1238	1,779701	58,3	57,704
Agosto	39,47	16,64	11,9	31	6,1743	1,779701	58,8	60,087
Septiembre	39,2	17,03	11,9	30	6,3947	1,779701	61,3	61,005
Octubre	64,14	17,92	12	31	6,9074	1,779701	67,1	69,368
Noviembre	68,86	18,25	12,1	30	7,1009	1,779701	69,3	69,924
Diciembre	63,27	18,75	12,1	31	7,3975	1,779701	72,8	75,690
Sumatoria	739,65	210,1			80,056		773,56	779,773

Elaborado: Autor

Posteriormente a los resultados de la ETP se realizó el cálculo del balance explicado en la siguiente tabla, en donde la capacidad de campo estimada para todo el bosque fue de 25mm

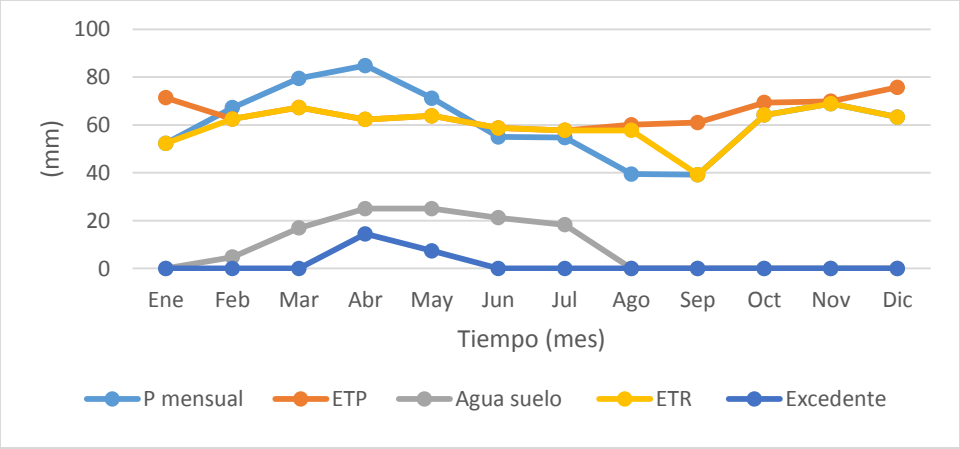
Tabla 16: Balance hídrico Microcuenca Huayrapungu

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Suma
P mensual	52,33	67,2	79,48	84,83	71,17	54,98	54,72	39,47	39,2	64,14	68,86	63,27	739,65
ETP	71,40	62,47	67,30	62,29	63,78	58,75	57,70	60,09	61,01	69,37	69,92	75,69	779,77
P - ETP	-19,07	4,73	12,18	22,54	7,39	-3,77	-2,98	-20,62	-21,81	-5,23	-1,06	-12,42	-40,12
Agua suelo	0	4,73	16,91	25	25	21,23	18,25	0	0	0	0	0	11,12
ETR	52,33	62,47	67,30	62,29	63,78	58,75	57,70	57,72	39,2	64,14	68,86	63,27	717,81
Excedente	0	0	0	14,44	7,39	0	0	0	0	0	0	0	21,83

Elaborado: Autor

Los resultados de la tabla 15 se distinguen mejor en la gráfica 12 donde se es muy notable ver los meses donde las precipitaciones son menores que los requisitos de ETP, observando los meses de agosto, septiembre, diciembre y enero como períodos de tiempo en donde la cantidad de precipitación y las reservas de agua en el suelo están agotadas para poder compensar este déficit. Todo lo contrario ocurre en los meses de febrero hasta mayo donde las precipitaciones son muy altas inclusive para poder llenar las reservas de agua en el suelo para meses en donde se equipará el balance y precisamente es en los meses de abril y mayo donde se producen los excedentes que generaran escorrentía en la microcuenca.

Gráfica 12: Representación del balance microcuenca Huayrapungu



Elaborado: Autor

3.8.2 Balance hídrico microcuenca Quillosisa

De la misma forma exponemos la tabla 16 que hace referencia al cálculo de la ETP con cada uno de los valores correspondientes para su cálculo.

Tabla 17: Cálculo de la ETP-Microcuenca Quillosisa

	PP media (mm)	T° media (ºC)	Horas insol.	Días en un mes	índice de calor mensual	a	ETP sin corregir	ETP cada mes
enero	44,05	18,12	12,1	31	7,0244	1,779701	68,5	71,400
febrero	60,5	17,84	12,1	28	6,8607	1,779701	66,6	62,468
marzo	72,97	17,66	12	31	6,7562	1,779701	65,4	67,305
abril	79,38	17,28	11,9	30	6,5373	1,779701	62,9	62,293
mayo	71,94	17,24	11,8	31	6,5144	1,779701	62,7	63,781
junio	61,53	16,8	11,8	30	6,2644	1,779701	59,8	58,749
julio	65,57	16,55	11,5	31	6,1238	1,779701	58,3	57,704
agosto	48,82	16,64	11,9	31	6,1743	1,779701	58,8	60,087
septiembre	42,13	17,03	11,9	30	6,3947	1,779701	61,3	61,005
octubre	56,17	17,92	12	31	6,9074	1,779701	67,1	69,368
noviembre	57,29	18,25	12,1	30	7,1009	1,779701	69,3	69,924
diciembre	52,71	18,75	12,1	31	7,3975	1,779701	72,8	75,690
Sumatoria	713,06	210,1			80,056		773,56	779,773

Elaborado: Autor

Por su parte los resultados del balance están expuesto a continuación:

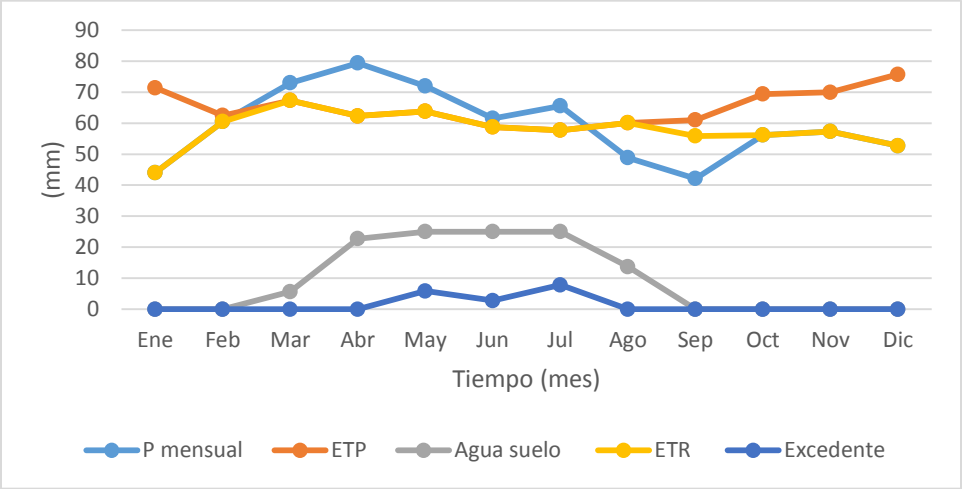
Tabla 18: Balance hídrico Microcuenca Quillosisa

	Ene	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dic**	**Suma**
P mensual	44,05	60,5	72,97	79,38	71,94	61,53	65,57	48,82	42,13	56,17	57,29	52,71	713,06
ETP	71,4	62,47	67,3	62,29	63,78	58,75	57,7	60,09	61,01	69,37	69,92	75,69	779,77
P - ETP	-27,4	-1,97	5,67	17,09	8,16	2,78	7,87	-11,3	-18,9	-13,2	-12,6	-23	-66,71
Agua suelo	0	0	5,67	22,75	25	25	25	13,73	0	0	0	0	117,15
ETR	44,05	60,5	67,3	62,29	63,78	58,75	57,7	60,09	55,86	56,17	57,29	52,71	696,49
Excedente	0	0	0	0	5,91	2,78	7,87	0	0	0	0	0	16,56

Elaborado: Autor

Los resultados obtenidos para la microcuenca Quillosisa nos hablan de una tendencia en cuanto a los meses con mayor precipitación y de los meses donde existen déficits. En la gráfica 13 es muy claro saber que septiembre es un mes donde las precipitaciones son bajas y las reservas de agua empiezan a usarse inclusive desde agosto y agotándose en el mes posterior todo esto debido a que la demanda de ETP empieza a aumentar. Por otra parte los meses favorables donde los requerimientos de ETP son sobrepasados por la precipitación son los meses de marzo, abril, mayo e inclusive junio y julio con valores no tan elevados llegando a tener excedentes importantes en los meses de mayo, junio y julio.

Gráfica 13: Representación de la ETP, Agua en suelo y precipitación para Quillosisa



Elaborado: Autor

3.8.3 Balance hídrico mediante ArcGIS

Mediante el uso de los SIG se alcanzaron datos aproximados del balance hídrico para las microcuencas de estudio, encontrando diferencias así como también similitudes con el balance hídrico realizado empíricamente. La variabilidad de resultados no presume ser tan alta, esta diferencia radica en los datos de entrada como temperaturas y precipitaciones que se tomaron para el cálculo. De igual forma se puede apreciar que existe una relación para los meses de

febrero a mayo, dejando claro que estos meses son el período de tiempo ideal para que exista mayor escorrentía superficial en las vertientes de las microcuencas estudiadas.

A continuación en la tabla 18 se muestran los resultados entre ambas metodologías aplicadas, siendo el valor negativo un déficit en ese período de tiempo para la microcuenca y el valor positivo un superávit de agua en la zona. El producto de esta metodología aplicada esta adjuntada en la sección de anexos como mapas reproducidos a nivel mensual y anual para cada microcuenca.

Tabla 19: Comparación de los métodos del balance hídrico desarrollados

	Quillosisa	Quillosisa (SIG)	Huayrapungu	Huayrapungu (SIG)
Enero	-27,35	-7,5	-19,07	-8
Febrero	-1,97	15,5	4,73	17,5
Marzo	5,67	27,5	12,18	29
Abril	17,09	37,5	22,54	37
Mayo	8,16	13,5	7,39	17
Junio	2,78	-2	-3,77	-4
Julio	7,87	-4	-2,98	-8,5
Agosto	-11,27	-20,5	-20,62	-23
Septiembre	-18,88	-17,5	-21,81	-17,5
Octubre	-13,2	10,5	-5,23	14
Noviembre	-12,63	12	-1,06	14,5
Diciembre	-22,98	5	-12,42	7,5

Elaborado: Autor

Para una mejor discusión de los resultados se tomó el dato de precipitación media del mes de octubre producto de la interpolación realizada en ArcGIS, y se realizó el balance empírico a partir de este dato para ambas microcuencas, obteniendo los siguientes resultados agregados en la siguiente tabla:

Tabla 20: Discusión de datos

	P mensual (Oct)	ETP	P-ETP
Huayrapungu	78,21	69,37	8,84
Quillosisa	74,43	69,37	5,06

Elaborado: Autor

De esta manera se puede apreciar que la variabilidad de los resultados se debe al dato de precipitación media mensual en vista de que estos valores se asemejan a los alcanzados mediante ArcGIS y su interpolación generada para la variable de precipitación tomando como referencia las cuatro estaciones meteorológicas cercanas al área.

3.9 Cálculo del caudal en microcuenca Huayrapungu

El registro de los caudales se realizó en el mes de mayo, en días diferentes para el mismo cauce y obteniendo 5 puntos de muestra para realizar la curva de gastos. En la tabla 19 están expresados los caudales obtenidos y las coordenadas respectivas donde se realizó la medición.

Tabla 21: Mediciones de Caudal en microcuenca Huayrapungu

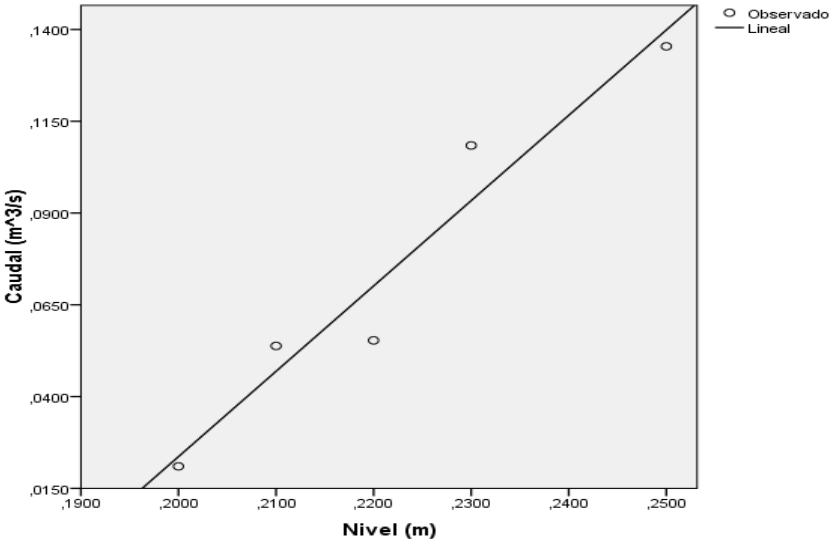
Microcuenca Huayrapungu		Coordenadas UTM x=736369 y=9672205	
Fecha	Velocidad (m/s)	Superficie (m^2)	Caudal (m^3/s)
05-may-16	0,03	0,7	0,021
11-may-16	0,13	0,8	0,1084
16-may-16	0,14	0,9	0,1354
26-may-16	0,08	0,7	0,0538
27-may-16	0,08	0,7	0,0553

Elaborado: Autor

3.9.1 Curva de gastos

Para la elaboración de una curva de gastos se necesitaron 5 datos de aforo para construirla, con la relación H-Q en sus ejes podemos encontrar variabilidades a lo largo de este mes aforado. Teniendo el caudal estrecha relación con el nivel de agua medido y que a pesar de que el caudal tiende a incrementarse en ciertos períodos el nivel no crecía tanto en esta microcuenca. Por su parte en las últimas mediciones el caudal fue disminuyendo, pero el nivel de agua permanecía entre 0,2-0,25 metros.

Gráfica 14: Curva de gastos



Elaborado: Autor

El resumen estadístico del modelo está expresado en la tabla 20, a partir de estos datos hemos encontrado la ecuación para estimar distintos datos de caudal teniendo como constante el nivel de agua

Tabla 22: Resumen estadístico del modelo

Regresión lineal		
R cuadrado	B (nivel)	Constante
0,939	2,324	-0,441

Elaborado: Autor

De tal forma que la ecuación resultante del caudal viene dada por:

$$Q\ (m^3/s)=2{,}324[nivel(m)]-0{,}441$$

El caudal medio de acuerdo a los 5 datos muestreados es de 0,074 m^3/s y transformando este valor para un mes mediante conversión de unidades tendremos un caudal de 193829,76 m^3/mes. Ahora bien este caudal relacionado para el área total de la microcuenca Huayrapungu es equivalente a 46,04 L/m^2 durante el mes de mayo, período en donde se efectuaron las mediciones.

3.10 Discusión.

El propósito de esta investigación fue estimar el balance hídrico para las microcuencas Huyarapungu y Quillosisa, obteniendo resultados favorables en meses que describiremos a continuación.

Para la microcuenca Huayrapungu se determinó que existe un superávit de agua para los meses de febrero hasta mayo siendo la precipitación mayor a las necesidades de ETP e incluso sobrepasando los niveles máximos de capacidad de campo generando de esta forma excedentes en el mes de abril de 14,44 mm y en el mes de mayo de 7,39 mm.

Por su parte en esta misma microcuenca se puede apreciar al mes de septiembre como el mes más seco del año teniendo importantes déficits para el balance, los cuales no logran ser compensados por las reservas de agua en el suelo las mismas que empiezan a ser utilizadas a partir del mes de junio hasta agosto. Y es a partir de este mes de septiembre hasta enero donde la demanda de ETP es superior a las precipitaciones, teniendo únicamente evapotranspiración real en meses que van desde febrero hasta julio. La evapotranspiración real es igual a la evapotranspiración potencial únicamente en los meses de febrero a julio.

En tanto que para la microcuenca Quillosisa se presentan meses favorables a partir del mes de marzo y se extiende hasta el mes de julio en donde las precipitaciones satisfacen las demandas de ETP y generándose excedentes para los meses de mayo 5,91 mm, junio 2,78 mm y julio 7,87 mm. Por otra parte se puede apreciar al igual que en la microcuenca Huayrapungu que el mes de septiembre es un mes seco de escasas precipitaciones al igual que diciembre, este período de estiaje resulta ser bien marcado desde septiembre hasta febrero presentando este último valores de -1,97 mm que no es tan considerable; la evapotranspiración real de la microcuenca se extiende desde los meses marzo hasta agosto y es precisamente en el mes de agosto donde se empiezan a utilizar las reservas de agua de meses anteriores para cubrir las necesidades de evapotranspiración. La evapotranspiración real alcanza valores iguales de ETP solamente en los meses que van desde marzo hasta agosto.

Empíricamente se obtuvieron estos resultados del balance hídrico, pero a través del uso de los SIG los resultados varían, para lo cual se justifica que los valores difieren del método empírico debido a que en el ArcGIS se utilizó el método de interpolación *Kriging* ocupando valores de precipitación de cuatro estaciones, mientras que en nuestro método tabulado se ocupó el valor de precipitación de acuerdo al polígono de Thiessen, metodología que indica la estación más influyente en la zona de estudio. En la tabla 19 se muestra el resultado obtenido para el mes de octubre de ambas microcuencas ocupando una media ponderada de precipitación obtenida a través de isoyetas generadas con la interpolación, en esta tabla se puede apreciar que la diferencia entre precipitación y la ETP que se utilizó en el método empírico no difieren en el resultado presentado en los mapas elaborados en ArcGIS justificando de esta manera que la variación es ocasionada por el método de estimación de la precipitación para la zona.

La metodología llevada a cabo mediante el polígono de Thiessen para determinar las áreas de influencia de las estaciones cercanas es muy utilizada a nivel hidrólogico, según Carchi (2015) este método establece que en cualquier punto dentro del área creada la lluvia será igual a la que se registra en la estación más cercana. Es por ello que se decidió seguir este mecanismo para posteriormente hallar el balance hídrico de forma empírica y compararlo con los resultados del ArcGIS donde se usaron isoyetas para obtener valores de precipitación.

Con lo que respecta al caudal muestreado en campo que es equivalente a 46,04 L/m^2 para el mes de mayo se lo puede relacionar para hacer una validación indirecta con el balance hídrico calculado precisamente para el mismo mes, tales resultados del balance para el mes de mayo nos demuestran que se obtiene superávit de cantidades de agua dentro de la microcuenca satisfaciendo en primera instancia las demandas de ETP y generándose excedentes que son los que generan escorrentía en la microcuenca.

Por su parte Thornthwaite (1948) indica que el 50% del excedente de agua de un mes escurre superficialmente hacia los ríos durante el mes en cuestión y el resto se infiltra; posteriormente un cuarto del excedente se escurre en el siguiente mes, un octavo del agua escurrirá en el tercer mes, en un cuarto mes un dieciseisavo del excedente escurrirá y así sucesivamente. Estos datos propuestos por Thornthwaite nos ayudan a entender sobre porque aún existen pequeños caudales en las vertientes del BVPA en meses de estiaje a pesar de las fuertes demandas de ETP que sobrepasan la cantidad de lluvia. Minga (2004) en su estudio expresa que en épocas de estiaje la mayoría de las vertientes pierden por completo su caudal, tales indicadores sería bueno corroborarlos con mediciones en campo para los meses secos

determinados en el balance y poder constatar que vertientes y en qué lugares de las microcuencas el caudal se extingue y en que otras partes se mantiene pero en cantidades menores.

En otros estudios más recientes Mosquera (2011) atribuye a la materia orgánica como factor influyente en la generación de caudales puestos que son grandes retenedores de agua y como ya mencionamos anteriormente los suelos del BVPA contienen altos porcentajes de materia orgánica que justifican lo dicho por Mosquera y que sin lugar a dudas es otro factor que ayuda a la generación de caudales en las microcuencas estudiadas.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

En conclusión cada uno de los objetivos planteados al inicio de esta investigación fueron concretados en su totalidad, teniendo limitaciones con la disponibilidad de datos al comienzo del estudio en vista de que las variables necesarias para el cálculo del balance no presentaban registros, por lo que se tuvo que aplicar la metodología que más se acomodara a los datos existentes. A pesar de ello el método de Thornthwaite usado para el cálculo de ETP generó buenos resultados y en base a la revisión del estado del arte es una metodología que se ajusta muy bien para zonas húmedas y frías como las condiciones del bosque, no tanto así para zonas cálidas.

Estas limitaciones de datos por ejemplo nos impidieron aplicar el método de Penman-Monteith el cual pudo haber sido desarrollado a la par con el método de Thornthwaite y comparar los resultados de ETP para las microcuencas estudiadas.

El objetivo principal de la investigación hace referencia al balance hídrico de la zona, los resultados alcanzados nos demuestran los meses del año en donde las microcuencas Huayrapungu y Quillosisa presentan déficit en el balance y los meses en que sus precipitaciones son mucho más altas. Esta estimación nos permite conocer claramente la cantidad del recurso agua que puede ser aprovechado por las comunidades que son beneficiadas en la actualidad pero que sin lugar a dudas a partir de este balance se puede tener una idea más clara de los meses en donde se puede aprovechar al máximo los caudales que se generan y almacenarlos como se los viene haciendo en ciertos lugares del BVPA.

El caudal muestreado en el mes de mayo nos da entender que son importantes cantidades de agua que se producen y que benefician a la población cercana de las parroquias San Juan y San Bartolomé quienes ocupan esta agua para actividades de riego y uso doméstico, este caudal es sin dudas bastante bueno pero que además deja un abanico a la incertidumbre sobre el caudal que se genera y que creemos es escaso en meses de estiaje.

4.2 Recomendaciones

Se recomienda que para realizar un estudio del balance hídrico se deberá conocer con exactitud y anterioridad la disponibilidad adecuada de los datos, esto con el fin de evitar limitaciones en el uso de ciertas metodologías para estimar el balance y que se tienen que ver descartadas por no contar con suficientes variables climáticas

Se propone que para los próximos años se pueda volver a realizar un estudio del balance hídrico sabiendo que alrededor del BVPA existe una red de meteorológica de monitoreo del Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energía Renovable (INER) la misma que contiene datos indispensables para sofisticar el balance, e inclusive tales estaciones son mucho más

cercanas al bosque lo cual ayudaría mucho en tener valores más aproximados a la realidad del bosque; es por esto que también que se recomienda que para los próximos años nuestra universidad o cualquier otra institución pueda administrar técnicamente una estación meteorológica dentro del BVPA.

A partir de una buena disponibilidad de datos se recomienda también el uso de varias metodologías que se usan para el cálculo del balance, al aplicar varias metodologías se podría comparar los distintos resultados y contar con valores mucho más reales.

Se aconseja realizar un monitoreo de caudales más exhaustivo en el interior del BVPA, este estudio comprende registros de caudal para el mes de mayo en una zona puntual de la microcuenca Huayrapungu para lo cual se recomienda continuar con investigaciones referentes a los caudales no solo en distintas zonas sino que además se puedan levantar registros para cada mes del año teniendo así una mayor clarificación de lo que sucede con el caudal tanto para meses secos como para meses donde se presentan altas precipitaciones.

Para realizar los muestreos de caudal se recomienda medir en flujos laminares esto en consecuencia de que el flujo turbulento altera el caudal normal del cauce, en nuestro caso hubieron días donde regresábamos para hacer una nueva medición y las condiciones del cauce se modificaban por tormentas altas que provocaban crecidas alterando el sustrato que en mucho de los casos tenía que ser removido del cauce.

Se recomienda contar con los permisos pertinentes para realizar investigaciones dentro del BVPA, en conversaciones que se ha mantenido con distintas personas cercanas al bosque logramos apreciar cierto malestar por parte de ciertas comunidades que a modo general han

creado una disputa por el servicio de agua que se les brinda, tal es el caso que para nosotros poder realizar esta investigación se tuvo que elaborar un documento que garantice que somos estudiantes universitarios, esto debido a que la comunidad cercana a las vertientes de estudios creen que se le va a quitar el servicio de agua o se van a desviar ciertas cantidades hacia otras partes ajenas a su sector.

Recomendamos también que para futuras investigaciones de toma de caudales o investigaciones de cualquier índole que involucran tener que adentrarse hacia lugares lejanos del centro de investigación del BVPA puedan contar con algún guía hasta conocer bien la zona y así evitar perderse en el lugar.

Finalmente se recomienda el uso de estos datos de balance hídrico para buscar una aplicabilidad técnica que esté al servicio de las comunidades colindantes a las microcuencas Huayrapungu y Quillosisa con el afán de que el recurso agua prevalezca en cantidad y calidad aun en meses donde las precipitaciones son escasas y las necesidades de agua para la zona son cotidianas.

5. BIBLIOGRAFÍA

Almorox, J. (s.f.). Métodos de estimación de las evapotranspiraciones ETP y ETr

Aparicio, F.J. (2015). *Fundamentos de hidrología de superficie*. D.F, México: LIMUSA, Noriega Editores.

Atlas Solar del Ecuador. Corporación para la Investigación Energética (CIE). Ecuador el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC). 2008.

Barrera, L. (2015). Producción del documental de divulgación científica del Bosque Aguarongo. Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca.

Bateman-, A., Camacho, A., Toro, M., Elosegi, A., Sabater, S., Ollero, A., & GAMA. (2009). El ciclo hidrológico. *Grupo de Investigación En Transporte de Sedimetos*, (1923), 16.

Bercián, K, Palomo, K. (2004). Revisión de metodologías para extensión y relleno de datos En Series Históricas , y su aplicación para rios de El Salvador (tesis de pregrado). Universidad Centroamericana José Simeón Cañas.

Bezzi, M., Vitti A. (2005) A comparison of some kriging interpolation methods for the production of solar radiation maps. University of Trento - Italia.

Boshell, V., Tellez, P., Gomez, R. (2000). Analisis agroclimatico del trapecio amazónico

Caguana, J. (2015). Determinación de balance hídrico en la microcuenca del río Atapo, parroquia Palmira, cantón Guamote, provinia de Chimborzo (tesis de pregrado). Universidad Politécnica del Chimborazo, Riobamba.

Carchi, E. (2015). Elaboración De Un Balance Hídrico De La Cuenca Del Río Machangara. *El Escorial*, 91.

Cárdenas, I. (2014). Impacto de las prácticas agropecuarias y forestales sobre las propiedades Físico-Químicas de los suelos andinos del sur del Ecuador.

Carrasco, N. (2014). Estimación del caudal ecológico en las vertinetes anexas a la parroquia de

Cangahua sujetas a la intervención del proyecto de riego en la comunidad de Pisambilla, que garantice la sustentabilidad ambiental de la zona (tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesina, sede Quito.

Chereque, W. (2011). Hidrología para estudiantes de ingeniería civil Pontificia Universidad Católica de Perú, *obra auspiciada por CONCYTEC*.

Chinchilla, M., Mata, R. Alavarado, A. (2011). Andisoles, inceptisoles y entisoles de la subcuenca del río Pirrís, región de los Santos, Talamanca, Costa Rica.

Chow V. T., D. R. Maidment, L. W. Mays. (1994). *Hidrologia Aplicada*, McGraw-Hill Interamericana, S.A., Bogotá, Colombia.

Contreras, J. Análisis comparativo de cuatro modelos de evapotranspiración de referencia en la microcuenca del río Quinuas

Custodio, E.; Llamas, M. R. (1976). *Hidrología subterránea*. Ediciones Omega, Barcelona, España.

Del Toro, F. Kretzschmar, T. Hinojosa, A. (2014) Estimación del balance hídrico en una cuenca semiárida, El Mogor, Baja California, México.

Delgado, O. (2015). Generación de información temática a partir de ortofotografía, como insumo para actualizar los planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. IERSE 30, Universidad del Azuay.

Departamento de Hidráulica - Universidad Nacional del Nordeste. (n.d.). Procedimiento de datos de precipitacion, 1–9

Duque, P. (2012). Estudio de la influencia de la adición de cloruro férrico en la sedimentabilidad de los fangos activados. Universidad Politécnica de Valencia/2012.

Duque, P., Rojas, L. (2008) Caracterización de residuos sólidos, efluentes residuales y evaluación

de impactos ambientales en tres mataderos de ganado en la provincia de Loja-Ecuador.

Espinoza, A. (2012). Balance hídrico río El Angel. Universidad San Francisco de Quito.

FAO. (s.f.). Evapotranspiración del cultivo, estudio FAO riego y drenaje. ISN 0254-5293

Fernández, J. (2008). Compendio de Energía Solar: Fotovoltaica, Térmica y Termoeléctrica. Madrid, España.

García, B. (2013). Caractrización del agua de lluvia captada en una edificación para su aprovechamiento con fines de sustentabilidad hídrica. Universidad Nacional Autonóma de Mexico.

García, M., Puppo, L., Hayashi, R. (s.f.). Metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo. Montevideo, Uruguay.

Guevara, J.M.(2003). *Métodos de estimación y ajuste de datos climáticos.* Caracas, Venezuela: Gráficas León S.R.L

Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur, elaborado por unesco rostlac. (n.d.)

Halliday, A. (s.f). *Proyecto El Bosque de Aguarongo.* Cuenca-Ecuador: Fundación Ecológica Mazan.

Hammerly, R. (2001). *"Modelación de la evapotranspiración con métodos de balance de agua"*

Ibáñez, L. (2011). El Tiempo Atmósferico y la Hidrología. *Departamiento de Irrigación UACh*.

Iñiguez, V., Buytaert, W. (s.f.). Hidrología del páramo. Importancia, propiedades y vulnerabilidad.

Lavado, W., Lhomme, J. (2015). Estimación de la evapotranspiración de referencia (FAO-56 Penman-Monteith) con limitados datos climáticos en la cuenca andina amazónica Peruana.

Lomas, M. (2016). Generación del plan de manejo ambiental del Bosque Protector Aguarongo a partir de la evaluación de impacto ambiental (tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca.

López, A., Delgado, K. (2009). Modelación hidrológica de la subcuenca lempa alto en cooperación con la comisión trinacional del plan trifino (El Salvador, Honduras, Guatemala).

López, P., Calera, A. (2005). Agua y Agronomía. España. Mundi-prensa

Lozada, G. (1985). Balance Hidrico De La Cuenca Del Lago Titicaca.

Manual de procedimeintos anlíticos, Laboratorio de suelos. Universidad autónoma de México. (2010)

Méndez, J. Cuervo, R. (2009). Energía Solar Fotovoltaica. 4a Edición Bureau Veritas Formación.

Minga, N. (2002). *"Plan de manejo del bosque protector de Aguarongo y su área de influencia".* Cuenca-Ecuador: SE.

Mijares, A., Lafragua, J., Gutiérrez, A., Mejía, R., Aguilar Gar, E. (2006). *Evaluación de los recursos hídricos Elaboración del balance hídrico integrado por cuencas hidrográficas*.

Montaner, M. Sánchez, E. (1988). Aproximación, por el método de Thornthwaite al cálculo de infiltración de lluvia útil. Pags. 223-235.

Mosquera, G., Lazo, P., Cárdenas, I., & Crespo, P. (2012). Identificación de las principales fuentes de agua que aportan a la generación de escorrentía en zonas Andinas de páramo húmedo: mediante el uso de los isótopos estables deuterio (δ2H) y oxígeno-18 (δ18O). MASKANA, vol. 3, 87-105.

Nicola, G. (1996). Pequeños sistemas de agua potable. Universidad del Azuay.

Ordoñez, J. (2011). Contribuyendo al desarrollo de una cultura del agua y la gestión integral del recurso hídrico. SENAMHI.

Paulini, A. (2005). Evaluación de la disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca alta del río

Quiroz

Parra, D. (2013). Evaluación De Métodos Heuristicos Y Matemáticos Para La Determinacion Del Potencial De Generación Distribuida Con Energía Fotovoltaica, 1–68.

Pérez, D. (2016). Comparación de métodos de interpolación geoestadísticos con y sin variables auxiliares para la precipitación anual (2003-2008) en Ecuador

Plana, J. (s.f.). Balance hídrico de la cuenca del NogueraRibagorzana.

Pizarro, R., Ausensi P. (s.f.). Evaluación de métodos hidrólogicos para la completación de datos faltantes de precipitación en estaciones pluviográficas de la VII región del Maule, Chile

Prado, K. (2015). Ordenación territorial de áreas protegidas: Aplicación al área de influencia del bosque y vegetación protectora - ABVP Aguarongo.

Protocolo de Evaluación de la integridad ecológica de los ríos de la región austral del Ecuador, *ETAPA-Cuenca*

Rascón, L.E. (2005). *Principios de hidrogeografía Estudio del ciclo hidrológico.* México.

Rosales, E. (2012). Metodología y estimación del balance hídrico de la cuenca del Usumacinta. Desarrollo de redes para la gestión territorial del corredor biológico mesoamericano, México D.F.

Rosell, P., García, B. (2008). Comportmiento hidrológico de la cuenca alta del arroyo Pigué (Buenos Aíres, Argentina): Balance hídrico (1964-2007). *Investigaciones geográficas, n° 47 pp. 159-174. Universidad de Alicante.*

Sáez, M. (2016) Determinación de la evapotranspiración mediante imágenes aéreas en bandas del espectro visible e infrarrojo cercano para cultivos de papa.

Salazar, E. (2007). Evaluación de los recurso hídricos en las cuenca de los ríos Casm, Culebras y Huarmey. Instituto Nacional de Recursos Naturales.

Salvador, U. D. E. E. L., Master, A. R. Q. Y., Angel, M., & Ramos, P. (2006). Balance hídrico integrado y dinámico en el Salvador. Componente evaluación de recursos hídricos

Sánchez, F. (2010). Evapotranspiración. Departamento de geología Universidad de Salamanca.

Senamhi, (s.f). Balance hídrico superficial-Cuenca del río Chimaca. Dirección de hidrología Aplicada.

Serrano, J. (2010). Regionalización espacial de series climáticas mensuales caso de estudio: Cuenca del río Guayllabamba.

Silva, G. (2004). La cuenca del río Orinoco: Visión hidrográfica y balance hídrico. Revista Geográfica Venezolana, Vol. 46(1), 75-108

Sokolov, A. Métodos de cálculo del balance hídrico, guía internacional de investigación y métodos. Instituto de hidrología de España (UNESCO).

Soubannier, J. S. (1985). *Riego y drenaje.* San José, Costa Rica: Universidad estatal a distancia.

Tagliaferre, C. (2013). Performance of the Minievaporimeter UFV-1 to estimate the reference evapotranspiration in relation to the constant groundwater Table lysimeter.Chile. IDESIA Vol 3. Pags 87-99.

Tapia, J. (2016) Estructura de la precipitación y su variabilidad espacio-temporal a lo largo de una gradiente altitudinal. *Universidad de Cuenca.*

Texeira, J (s.f.). Annex 4. Statistical analysis of weather data sets 1. FAO. Instituto Superior de Agronomía, Lisbon, Portugal.

Unesco. (2006). Balance hídrico superficial del Perú a nivel multianual. Programa hidrológico internacional.

Vélez, M. (1999). Hidráulica de aguas subterráneas. Universidad Nacional de Colombia, Facultad

de minas. *2da edición.*

Vera, H., Acuña, J., Yerren, J. (1998). Balance hídrico superficial de las cuencas de los ríos Tumbes y Zarumilla. *Water, m,* 12.

Villacrés, C. (2010). Estudio de evaluación de la red hidrometeorológica en la región nor-oriental del Ecudor y propuesta de su optimización como parte de la red hidrometeorológica básica del Ecuador. Escuela Politécnica Nacional

6. ANEXOS

Anexos correspondientes a tablas teóricas.

Tabla teórica de la FAO de horas de luz solar aplicables para el cálculo de la ETP mediante el método de Thornthwaite

Hemisferio Norte												Lat.	Hemisferio Sur											
Ene.	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	grad.	Ene.	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
0,0	6,6	11,0	15,6	21,3	24,0	24,0	17,6	12,8	8,3	2,3	0,0	70	24,0	17,4	13,0	8,4	2,7	0,0	0,0	6,4	11,2	15,7	21,7	24,0
1,1	7,3	11,1	15,3	19,7	24,0	22,3	17,0	12,7	8,7	4,1	0,0	68	21,9	16,7	12,9	8,7	4,3	0,0	1,7	7,0	11,3	15,3	19,9	24,0
3,9	7,8	11,2	14,9	18,7	22,0	20,3	16,4	12,7	9,0	5,2	1,9	66	20,1	16,2	12,8	9,1	5,3	2,0	3,7	7,6	11,3	15,0	18,8	22,1
5,0	8,2	11,2	14,7	17,9	20,3	19,2	16,0	12,6	9,3	6,0	3,7	64	19,0	15,8	12,8	9,3	6,1	3,7	4,8	8,0	11,4	14,7	18,0	20,3
5,7	8,5	11,3	14,4	17,3	19,2	18,4	15,7	12,6	9,5	6,6	4,8	62	18,3	15,5	12,7	9,6	6,7	4,8	5,6	8,3	11,4	14,5	17,4	19,2
6,4	8,8	11,4	14,2	16,8	18,4	17,7	15,3	12,5	9,7	7,1	5,6	60	17,6	15,2	12,6	9,8	7,2	5,6	6,3	8,7	11,5	14,3	16,9	18,4
6,9	9,1	11,4	14,1	16,4	17,8	17,2	15,1	12,5	9,9	7,5	6,2	58	17,1	14,9	12,6	9,9	7,6	6,2	6,8	8,9	11,5	14,1	16,5	17,8
7,3	9,3	11,5	13,9	16,0	17,3	16,8	14,8	12,4	10,1	7,9	6,7	56	16,7	14,7	12,5	10,1	8,0	6,7	7,2	9,2	11,6	13,9	16,1	17,3
7,7	9,5	11,5	13,8	15,7	16,8	16,4	14,6	12,4	10,2	8,2	7,1	54	16,3	14,5	12,5	10,2	8,3	7,2	7,6	9,4	11,6	13,8	15,8	16,9
8,0	9,7	11,5	13,6	15,4	16,5	16,0	14,4	12,4	10,3	8,5	7,5	52	16,0	14,3	12,5	10,4	8,6	7,5	8,0	9,6	11,6	13,7	15,5	16,5
8,3	9,8	11,6	13,5	15,2	16,1	15,7	14,3	12,3	10,4	8,7	7,9	50	15,7	14,2	12,4	10,5	8,8	7,9	8,3	9,7	11,7	13,6	15,3	16,1
8,6	10,0	11,6	13,4	15,0	15,8	15,5	14,1	12,3	10,6	9,0	8,2	48	15,4	14,0	12,4	10,6	9,0	8,2	8,5	9,9	11,7	13,4	15,0	15,8
8,8	10,1	11,6	13,3	14,8	15,5	15,2	14,0	12,3	10,7	9,2	8,5	46	15,2	13,9	12,4	10,7	9,2	8,5	8,8	10,0	11,7	13,3	14,8	15,5
9,1	10,3	11,6	13,2	14,6	15,3	15,0	13,8	12,3	10,7	9,4	8,7	44	14,9	13,7	12,4	10,8	9,4	8,7	9,0	10,2	11,7	13,3	14,6	15,3
9,3	10,4	11,7	13,2	14,4	15,0	14,8	13,7	12,3	10,8	9,6	9,0	42	14,7	13,6	12,3	10,8	9,6	9,0	9,2	10,3	11,7	13,2	14,4	15,0
9,5	10,5	11,7	13,1	14,2	14,8	14,6	13,6	12,2	10,9	9,7	9,2	40	14,5	13,5	12,3	10,9	9,8	9,2	9,4	10,4	11,8	13,1	14,3	14,8
9,6	10,6	11,7	13,0	14,1	14,6	14,4	13,5	12,2	11,0	9,9	9,4	38	14,4	13,4	12,3	11,0	9,9	9,4	9,6	10,5	11,8	13,0	14,1	14,6
9,8	10,7	11,7	12,9	13,9	14,4	14,2	13,4	12,2	11,1	10,1	9,6	36	14,2	13,3	12,3	11,1	10,1	9,6	9,8	10,6	11,8	12,9	13,9	14,4
10,0	10,8	11,8	12,9	13,8	14,3	14,1	13,3	12,2	11,1	10,2	9,7	34	14,0	13,2	12,2	11,1	10,2	9,7	9,9	10,7	11,8	12,9	13,8	14,3
10,1	10,9	11,8	12,8	13,6	14,1	13,9	13,2	12,2	11,2	10,3	9,9	32	13,9	13,1	12,2	11,2	10,4	9,9	10,1	10,8	11,8	12,8	13,7	14,1
10,3	11,0	11,8	12,7	13,5	13,9	13,8	13,1	12,2	11,3	10,5	10,1	30	13,7	13,0	12,2	11,3	10,5	10,1	10,2	10,9	11,8	12,7	13,5	13,9
10,4	11,0	11,8	12,7	13,4	13,8	13,6	13,0	12,2	11,3	10,6	10,2	28	13,6	13,0	12,2	11,3	10,6	10,2	10,4	11,0	11,8	12,7	13,4	13,8
10,5	11,1	11,8	12,6	13,3	13,6	13,5	12,9	12,1	11,4	10,7	10,4	26	13,5	12,9	12,2	11,4	10,7	10,4	10,5	11,1	11,9	12,6	13,3	13,6
10,7	11,2	11,8	12,6	13,2	13,5	13,3	12,8	12,1	11,4	10,8	10,5	24	13,3	12,8	12,2	11,4	10,8	10,5	10,7	11,2	11,9	12,6	13,2	13,5
10,8	11,3	11,9	12,5	13,1	13,3	13,2	12,8	12,1	11,5	10,9	10,7	22	13,2	12,7	12,1	11,5	10,9	10,7	10,8	11,2	11,9	12,5	13,1	13,3
10,9	11,3	11,9	12,5	12,9	13,2	13,1	12,7	12,1	11,5	11,0	10,8	20	13,1	12,7	12,1	11,5	11,1	10,8	10,9	11,3	11,9	12,5	13,0	13,2
11,0	11,4	11,9	12,4	12,8	13,1	13,0	12,6	12,1	11,6	11,1	10,9	18	13,0	12,6	12,1	11,6	11,2	10,9	11,0	11,4	11,9	12,4	12,9	13,1
11,1	11,5	11,9	12,4	12,7	12,9	12,9	12,5	12,1	11,6	11,2	11,1	16	12,9	12,5	12,1	11,6	11,3	11,1	11,1	11,5	11,9	12,4	12,8	12,9
11,3	11,6	11,9	12,3	12,6	12,8	12,8	12,5	12,1	11,7	11,3	11,2	14	12,7	12,4	12,1	11,7	11,4	11,2	11,2	11,5	11,9	12,3	12,7	12,8
11,4	11,6	11,9	12,3	12,6	12,7	12,6	12,4	12,1	11,7	11,4	11,3	12	12,6	12,4	12,1	11,7	11,4	11,3	11,4	11,6	11,9	12,3	12,6	12,7
11,5	11,7	11,9	12,2	12,5	12,6	12,5	12,3	12,1	11,8	11,5	11,4	10	12,5	12,3	12,1	11,8	11,5	11,4	11,5	11,7	11,9	12,2	12,5	12,6
11,6	11,7	11,9	12,2	12,4	12,5	12,4	12,3	12,0	11,8	11,6	11,5	8	12,4	12,3	12,1	11,8	11,6	11,5	11,6	11,7	12,0	12,2	12,4	12,5
11,7	11,8	12,0	12,1	12,3	12,3	12,3	12,2	12,0	11,9	11,7	11,7	6	12,3	12,2	12,0	11,9	11,7	11,7	11,7	11,8	12,0	12,1	12,3	12,3
11,8	11,9	12,0	12,1	12,2	12,2	12,2	12,1	12,0	11,9	11,8	11,8	4	12,2	12,1	12,0	11,9	11,8	11,8	11,8	11,9	12,0	12,1	12,2	12,2
11,9	11,9	12,0	12,0	12,1	12,1	12,1	12,1	12,0	12,0	11,9	11,9	2	12,1	12,1	12,0	12,0	11,9	11,9	11,9	11,9	12,0	12,0	12,1	12,1
12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0

[1] Los valores de N durante el día 15[ava] del mes, proveen una buena estimación (error <1%) de N promediada sobre todos los días del mes. Solamente en casos de latitudes muy elevadas (mayores a 55° N o S) y durante los meses invernales, las desviaciones podrían ser mayores al 1 %.

Tabla teórica de la FAO correspondiente al coeficiente de cultivo Kc direccionado hacia el método Penman Monteith

Cultivo	Inic. (L_{ini})	Des. (L_{des})	Med (L_{med})	Final (L_{fin})	Total	Fecha de Siembra	Región
a. Hortalizas Pequeñas							
Brécol (Brócoli)	35	45	40	15	135	Sept.	Calif. Desierto, EU
Repollo	40	60	50	15	165	Sept.	Calif. Desierto, EU
Zanahoria	20	30	50/30	20	100	Oct/Ene.	Clima Árido
	30	40	60	20	150	Feb/Mar.	Mediterráneo
	30	50	90	30	200	Oct.	Calif. Desierto, EU
Coliflor	35	50	40	15	140	Sept	Calif. Desierto, EU
Apio (Céleri)	25	40	95	20	180	Oct.	(Semi)Árido
	25	40	45	15	125	Abril	Mediterráneo
	30	55	105	20	210	Ene.	(Semi)Árido
Cruciferas[1]	20	30	20	10	80	Abril	Mediterráneo
	25	35	25	10	95	Febrero	Mediterráneo
	30	35	90	40	195	Oct/Nov.	Mediterráneo
Lechuga	20	30	15	10	75	Abril.	Mediterráneo
	30	40	25	10	105	Nov/Ene.	Mediterráneo
	25	35	30	10	100	Oct/Nov.	Región Árida
	35	50	45	10	140	Feb.	Mediterráneo
Cebolla (seca)	15	25	70	40	150	Abril	Mediterráneo
	20	35	110	45	210	Oct; Ene.	Región Árida; Calif.
Cebolla (verde)	25	30	10	5	70	Abril/Mayo	Mediterráneo
	20	45	20	10	95	Octubre	Región Árida
	30	55	55	40	180	Marzo	Calif., EU
Cebolla (semilla)	20	45	165	45	275	Sept.	Calif. Desierto, EU
Espinaca	20	20	15/25	5	60/70	Abr; Sep/Oct	Mediterráneo
	20	30	40	10	100	Noviembre	Región Árida
Rábano	5	10	15	5	35	Mar/Abr.	Medit.; Europa
	10	10	15	5	40	Invierno	Región Árida
b. Hortalizas – Familia de las Solanáceas							
Berenjena	30	40	40	20	130\140	Octubre	Región Árida
	30	45	40	25		May/Junio	Mediterráneo
Pimiento Dulce	25/30	35	40	20	125	Abril/Junio	Europa y Medit.
(campana)	30	40	110	30	210	Octubre	Región Árida
Tomate	30	40	40	25	135	Enero	Región Árida
	35	40	50	30	155	Abr/Mayo	Calif., EU
	25	40	60	30	155	Enero	Calif. Desierto, EU
	35	45	70	30	180	Oct/Nov.	Región Árida
	30	40	45	30	145	Abril/Mayo	Mediterráneo

Tabla teórica de la FAO correspondiente al coeficiente de cultivo Kc direccionado hacia el método Penman Monteith

Cultivo	Inic. (L_{ini})	Des. (L_{des})	Med, (L_{med})	Final (L_{fin})	Total	Fecha de Siembra	Región
Melón Dulce	25	35	40	20	120	Mayo	Mediterráneo
	30	30	50	30	140	Marzo	Calif., EU
	15	40	65	15	135	Ago	Calif. Desierto, EU
	30	45	65	20	160	Dic/Ene.	Región Árida
Sandía	20	30	30	30	110	Abril	Italia
	10	20	20	30	80	May/Ago.	Cercano Este (desierto)
d. Raíces y Tubérculos							
Remolacha, mesa	15	25	20	10	70	Abr/Mayo	Mediterráneo
	25	30	25	10	90	Feb/Mar.	Mediterráneo & Árido
Mandioca o Yuca:							
año 1	20	40	90	60	210	Período	Regiones Tropicales
año 2	150	40	110	60	360	Lluvioso	
Patata o Papa	25	30	30/45	30	115/130	Ene/Nov.	Clima (Semi)Árido
	25	30	45	30	130	Mayo	Clima continental
	30	35	50	30	145	Abril	Europa
	45	30	70	20	165	Abr/Mayo	Idaho, EU
	30	35	50	25	140	Dic.	Calif. Desierto, EU
Camote o Batata	20	30	60	40	150	Abril	Mediterráneo
	15	30	50	30	125	Período Lluvioso	Regiones Tropicales
Remolacha azucarera	30	45	90	15	180	Marzo	Calif., EU
	25	30	90	10	155	Junio	Calif., EU
	25	65	100	65	255	Sept.	Calif. Desierto, EU
	50	40	50	40	180	Abril	Idaho, EU
	25	35	50	50	160	Mayo	Mediterráneo
	45	75	80	30	230	Noviembre	Mediterráneo
	35	60	70	40	205	Noviembre	Regiones Áridas
e. Leguminosas (Leguminosae)							
Judías, o Frijoles	20	30	30	10	90	Feb/Mar.	Calif., Mediterráneo
(verdes)	15	25	25	10	75	Ago/Sep.	Calif., Egipto, Líbano
Judías o Frijoles	20	30	40	20	110	May/Junio	Climas Continentales
(secos)	15	25	35	20	95	Junio	Pakistán, Calif.
	25	25	30	20	100	Junio	Idaho, EU
Habas	15	25	35	15	90	Mayo	Europa
- secas	20	30	35	15	100	Mar/Abr	Mediterráneo
- verdes	90	45	40	60	235	Nov.	Europa
	90	45	40	0	175	Nov.	Europa
Caupís (cowpeas)	20	30	30	20	110	Marzo	Mediterráneo
Cacahuete	25	35	45	25	130	Período seco	Oeste de África
o Maní	35	35	35	35	140	Mayo	Latitudes Altas
	35	45	35	25	140	May/Junio	Mediterráneo

Tabla teórica de la FAO correspondiente al coeficiente de cultivo Kc direccionado hacia el método Penman Monteith

Cultivo	Inic. (L_{ini})	Des. (L_{des})	Med (L_{med})	Final (L_{fin})	Total	Fecha de Siembra	Región
f. Hortalizas perennes (con letargo invernal y suelo inicialmente desnudo o con mantillo)							
Alcachofa	40	40	250	30	360	Abr. (1er año)	California
	20	25	250	30	325	May. (2do año)	(cortada en Mayo)
Espárragos	50	30	100	50	230	Feb.	Invierno cálido
	90	30	200	45	365	Feb.	Mediterráneo
g. Cultivos textiles							
Algodón	30	50	60	55	195	Mar.–Mayo	Egipto; Pakistán; Cal.
	45	90	45	45	225	Marzo	Calif. Desierto, EU
	30	50	60	55	195	Sept.	Yemen
	30	50	55	45	180	Abril	Texas
Lino	25	35	50	40	150	Abril	Europa
	30	40	100	50	220	Octubre	Arizona
h. Cultivos oleaginosos							
Ricino	25	40	65	50	180	Marzo	Climas (semi) Áridos
	20	40	50	25	135	Nov.	Indonesia
Cártamo	20	35	45	25	125	Abril	California, EU
	25	35	55	30	145	Marzo	Latitudes Altas
	35	55	60	40	190	Oct/Nov.	Región Árida
Sésamo	20	30	40	20	110	Junio	China
Girasol	25	35	45	25	130	Abril/Mayo	Medit.; California
I. Cereales							
Cebada/Avena/Trigo	15	25	50	30	120	Noviembre	India Central
	20	25	60	30	135	Marzo/Abril	35–45 °L
	15	30	65	40	150	Julio	Este de África
	40	30	40	20	130	Abril	
	40	60	60	40	200	Noviembre	
	20	50	60	30	160	Diciembre	
Trigo de invierno	20[2]	60[2]	70	30	180	Diciembre	Calif.; EU
	30	140	40	30	240	Noviembre	Mediterráneo
	160	75	75	25	335	Octubre	Idaho, EU
Granos (pequeños)	20	30	60	40	150	Abril	Mediterráneo
	25	35	65	40	165	Oct./Nov.	Pakistán; Reg. Árida
Maíz (grano)	30	50	60	40	180	Abril	Este de África (alt.)
	25	40	45	30	140	Dic./Ene.	Clima Árido
	20	35	40	30	125	Junio	Nigeria (húmedo)
	20	35	40	30	125	Octubre	India (seco, frío)
	30	40	50	30	150	Abril	España (prim,ver); Calif. EU
	30	40	50	50	170	Abril	Idaho, EU

Anexos correspondientes a resultados estadísticos de datos meteorológicos

Suma de precipitaciones acumuladas para análisis de doble masa

	Paute		Gualaceo		Sigsig		Ricaurte	
	Prom Anual	pp Acum	Prom Anual	pp Acum	Prom Anual	pp Acum	Prom Anual	pp Acum
1982	947,50	947,50	797,40	797,40	612,90	612,90	1106,40	1106,40
1983	772,80	1720,30	706,80	1504,20	734,30	1347,20	956,90	2063,30
1984	778,40	2498,70	712,30	2216,50	772,20	2119,40	986,20	3049,50
1985	502,00	3000,70	534,30	2750,80	637,20	2756,60	699,30	3748,80
1986	325,83	3326,53	549,40	3300,20	572,15	3328,75	804,40	4553,20
1987	599,79	3926,31	583,70	3883,90	644,80	3973,55	599,80	5153,00
1988	791,39	4717,70	888,77	4772,67	646,20	4619,75	1055,90	6208,90
1989	790,40	5508,10	819,10	5591,77	539,70	5159,45	928,50	7137,40
1990	599,10	6107,20	697,90	6289,67	816,30	5975,75	1064,20	8201,60
1991	586,50	6693,70	635,99	6925,66	465,10	6440,85	828,50	9030,10
1992	557,70	7251,40	529,90	7455,56	557,50	6998,35	803,80	9833,90
1993	976,40	8227,80	752,15	8207,71	849,40	7847,75	1285,30	11119,20
1994	915,99	9143,79	816,68	9024,39	1017,60	8865,35	948,90	12068,10
1995	637,60	9781,39	566,60	9590,99	630,20	9495,55	785,70	12853,80
1996	957,50	10738,89	690,38	10281,37	794,60	10290,15	995,90	13849,70
1997	808,00	11546,89	775,00	11056,37	810,23	11100,38	705,20	14554,90
1998	676,80	12223,69	793,00	11849,37	747,70	11848,08	927,20	15482,10
1999	1040,80	13264,49	1073,11	12922,48	1022,15	12870,23	1309,60	16791,70
2000	973,60	14238,09	950,58	13873,07	706,40	13576,63	1270,30	18062,00
2001	563,70	14801,79	663,00	14536,07	596,03	14172,66	678,00	18740,00
2002	637,80	15439,59	739,60	15275,67	659,00	14831,66	754,93	19494,93
2003	691,20	16130,79	692,00	15967,67	589,97	15421,64	802,10	20297,03
2004	724,20	16854,99	807,80	16775,47	465,20	15886,84	915,70	21212,73
2005	748,70	17603,69	865,30	17640,77	701,38	16588,22	1199,20	22411,93
2006	724,50	18328,19	916,94	18557,71	493,08	17081,30	950,30	23362,23
2007	796,90	19125,09	847,70	19405,41	1010,66	18091,96	812,60	24174,83
2008	991,47	20116,56	1169,10	20574,51	1137,65	19229,61	1101,70	25276,53
2009	692,00	20808,56	739,80	21314,31	554,30	19783,91	734,60	26011,13
2010	852,60	21661,16	957,00	22271,31	696,60	20480,51	1020,30	27031,43
2011	1089,20	22750,36	1449,20	23720,51	752,20	21232,71	1438,80	28470,23
2012	846,70	23597,06	959,90	24680,41	873,70	22106,41	848,95	29319,18

Fuente de datos, INAMHI

Estación M0139 Gualaceo, datos precipitación media mensual

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1982	136,90	74,40	21,20	73,40	90,30	46,90	47,70	1,40	8,60	127,00	75,70	93,90
1983	52,10	51,90	142,30	128,50	66,60	9,10	12,90	14,60	17,90	57,20	85,50	68,20
1984	46,80	108,60	81,70	88,90	77,00	41,20	33,70	10,70	40,70	44,60	114,30	24,10
1985	95,40	17,00	26,40	82,00	49,40	26,60	26,00	23,00	34,40	57,00	34,20	62,90
1986	56,80	45,80	50,80	43,50	39,60	9,30	25,88	35,85	37,07	82,20	78,40	44,20
1987	28,70	47,40	176,40	133,10	70,60	0,00	45,20	16,40	0,00	0,00	43,90	22,00
1988	0,00	118,60	41,10	200,80	98,20	38,40	28,17	27,50	37,90	105,70	106,70	85,70
1989	79,50	114,80	213,70	23,50	34,60	51,20	36,20	8,50	26,80	126,50	48,70	55,10
1990	73,50	88,90	56,80	56,80	22,30	32,90	41,50	22,70	21,10	114,40	81,10	85,90
1991	84,20	40,40	80,20	47,00	42,60	45,80	31,09	22,20	56,30	45,20	101,70	39,30
1992	28,60	57,60	86,30	53,20	27,60	49,30	14,60	11,20	32,70	8,20	90,30	70,30
1993	13,40	87,00	183,80	80,00	41,00	10,30	39,86	22,69	1,80	90,90	39,70	141,70
1994	83,70	16,90	118,00	36,00	63,28	53,30	73,50	47,50	18,70	136,40	114,70	54,70
1995	5,00	54,50	27,00	74,80	71,50	35,30	38,10	3,90	10,60	46,20	104,50	95,20
1996	127,10	146,00	79,53	168,05	84,30	10,40	8,90	10,40	10,50	19,90	10,40	14,90
1997	118,40	48,90	64,40	43,10	44,30	52,80	25,30	14,90	68,90	57,70	133,20	103,10
1998	35,60	69,10	110,60	112,40	106,60	21,70	59,80	14,80	2,80	105,70	144,20	9,70
1999	74,70	167,00	193,00	76,90	104,90	45,70	41,00	27,40	91,30	75,66	60,70	114,85
2000	130,56	111,10	40,20	102,23	119,47	68,81	19,16	26,61	108,69	49,95	57,21	116,59
2001	43,10	50,00	47,40	79,50	67,30	67,40	11,80	22,20	50,30	60,70	108,50	54,80
2002	61,40	78,90	60,30	84,00	102,70	31,60	22,70	15,20	7,50	103,00	85,30	87,00
2003	48,00	24,30	103,90	99,50	44,40	47,30	23,30	7,40	53,70	100,60	90,50	49,10
2004	26,40	96,10	65,60	112,60	73,60	33,70	25,10	13,40	81,00	43,20	152,80	84,30
2005	65,20	91,20	172,90	95,80	26,40	57,10	14,40	12,10	16,90	116,00	44,30	153,00
2006	100,00	152,40	81,70	119,70	26,60	44,20	10,00	26,04	23,60	98,60	116,30	117,80
2007	56,60	10,30	74,50	130,10	68,00	87,90	14,40	60,00	41,50	113,00	100,50	90,90
2008	82,90	157,70	151,00	116,20	130,00	53,80	21,20	43,00	41,20	125,80	158,10	88,20
2009	131,80	36,90	93,70	183,90	69,80	31,40	18,70	17,70	9,80	60,00	43,80	42,30
2010	15,10	75,40	36,40	107,30	87,10	96,30	79,00	37,60	33,70	72,90	175,40	140,80
2011	134,80	130,10	90,70	154,30	76,00	53,90	103,80	23,80	50,90	66,40	201,20	363,30
2012	105,00	118,80	100,80	161,00	55,90	47,70	34,80	17,20	7,60	147,50	91,40	72,20
2013	30,80	117,20	42,60	24,80	94,80	55,30	40,40	17,60	27,10	89,50	39,20	53,80
2014	91,30	46,50	129,90	59,50	122,00	33,10	34,50	20,80	32,10	85,80	89,90	72,60
Media	68,59	80,35	92,27	95,53	69,66	42,11	33,41	21,10	33,44	79,80	91,59	84,01

Fuente de datos, INAMHI

Estación M0138 Paute, datos precipitación media mensual

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1982	97,00	60,80	172,70	73,10	87,70	16,10	46,90	41,20	22,70	154,00	69,80	105,50
1983	83,50	66,00	156,40	77,20	81,20	15,60	38,50	29,30	34,30	94,70	64,00	32,10
1984	40,30	104,40	89,60	145,10	97,20	61,90	52,60	23,90	32,70	34,70	73,50	22,50
1985	45,90	16,70	29,30	90,20	60,50	34,20	43,20	58,40	28,50	44,00	24,70	26,40
1986	16,40	88,60	77,50	0,00	45,64	23,04	18,62	21,61	34,41	0,00	0,00	0,00
1987	26,27	49,51	154,12	108,72	66,27	15,64	33,52	11,43	0,59	43,75	54,36	35,60
1988	8,74	78,88	60,66	142,97	84,64	35,90	49,40	40,30	24,10	117,00	70,80	78,00
1989	82,30	119,10	179,70	19,50	26,30	71,10	45,40	7,60	20,70	164,30	12,30	42,10
1990	28,70	40,80	32,50	81,70	24,90	43,70	18,90	32,70	32,90	83,80	63,10	115,40
1991	37,00	36,20	47,40	71,80	75,60	51,00	25,20	35,00	19,80	30,00	93,10	64,40
1992	26,90	55,00	72,70	54,00	50,40	50,40	52,40	41,70	15,30	28,30	32,70	77,90
1993	26,70	135,60	195,60	73,50	43,10	27,90	44,30	24,40	22,10	100,40	83,90	198,90
1994	62,90	75,19	110,00	112,20	61,40	64,10	69,20	81,90	24,00	98,80	113,70	42,60
1995	6,30	31,00	42,30	71,80	76,80	24,10	63,00	11,70	28,20	40,30	133,50	108,60
1996	93,10	176,50	100,00	126,40	98,00	41,70	53,50	33,20	39,20	114,40	31,40	50,10
1997	93,50	64,90	69,50	66,10	29,60	30,90	48,20	41,70	95,50	70,10	140,60	57,40
1998	38,90	65,50	82,20	100,00	50,70	43,60	68,40	29,70	11,90	96,20	73,70	16,00
1999	62,60	70,50	216,80	69,20	84,40	56,10	47,80	58,70	88,00	64,30	32,00	190,40
2000	88,50	235,60	134,30	93,10	98,80	70,40	10,50	46,90	113,20	12,50	27,50	42,30
2001	50,70	24,10	53,40	73,80	45,30	75,90	28,30	27,90	40,00	26,30	59,70	58,30
2002	21,60	38,80	72,20	90,80	63,80	49,20	26,30	25,00	26,70	85,00	79,60	58,80
2003	29,00	70,30	102,20	82,80	70,40	53,40	30,90	10,00	39,50	63,40	101,90	37,40
2004	18,20	46,30	60,00	88,10	42,80	50,30	65,90	13,50	70,00	70,60	138,60	59,90
2005	29,40	83,50	122,00	128,00	14,50	54,30	26,00	11,10	15,30	88,40	42,60	133,60
2006	61,40	32,70	112,60	120,30	31,30	64,40	11,20	26,80	37,10	29,00	98,00	99,70
2007	52,90	15,70	92,90	118,90	48,70	96,20	19,10	66,60	39,40	64,50	104,90	77,10
2008	50,20	111,30	113,80	96,70	111,40	60,40	42,80	47,60	38,60	106,17	139,00	73,50
2009	87,90	52,60	91,10	90,00	66,00	40,40	28,90	24,00	23,00	68,60	28,60	90,90
2010	23,60	43,80	34,80	92,60	106,10	100,80	96,90	29,80	25,60	47,20	134,90	116,50
2011	90,90	111,30	78,40	174,50	86,80	48,50	102,10	46,80	62,80	75,90	86,80	124,40
2012	97,60	118,90	49,80	102,00	53,30	49,40	34,90	32,20	14,20	147,80	90,10	56,50
2013	27,8	114	47,6	26	137,7	64,2	56,6	21,8	31,7	121,5	166	74,7
2014	60,7	35	123,6	55,9	112,1	83,1	49,8	38,5	43	114,3	66,2	69,9
2015	51,4	23,6	153,1	46	24,9	101,7	65,7	19,5	23,3	66,1	41,3	20,9
Media	50,55	73,31	97,96	87,15	66,42	52,05	44,56	32,72	35,83	75,48	75,67	72,30

Fuente de datos, INAMHI

Estación M0424 Sigsig, datos de precipitación media mensual

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1982	35,00	17,00	45,30	111,30	28,30	3,70	69,40	23,20	17,30	78,50	54,70	129,20
1983	32,50	72,30	153,60	88,20	65,30	9,80	20,60	49,90	49,60	71,70	36,70	84,10
1984	43,20	108,00	71,10	155,40	78,10	75,30	50,80	37,20	35,80	20,40	70,90	26,00
1985	39,90	28,80	30,00	39,80	116,50	84,20	56,00	56,00	12,30	49,40	42,20	82,10
1986	16,50	47,40	46,15	83,50	72,90	47,50	74,30	16,90	83,20	43,40	30,70	9,70
1987	23,50	112,30	85,30	78,70	55,50	19,60	48,70	43,80	42,40	45,70	43,00	46,30
1988	36,50	97,70	47,00	137,40	91,50	31,10	60,90	21,10	0,00	51,90	42,10	29,00
1989	32,50	41,00	98,30	41,30	35,60	9,50	87,20	19,70	32,70	97,70	27,80	16,40
1990	26,60	66,30	44,20	79,20	71,60	61,70	84,20	74,00	46,70	110,10	81,40	70,30
1991	17,80	80,50	26,60	31,30	57,90	87,10	52,00	41,90	15,80	10,20	26,50	17,50
1992	19,90	48,10	81,40	67,10	38,30	57,50	64,30	15,30	39,30	34,60	53,50	38,20
1993	25,00	75,60	202,30	75,50	46,60	68,30	70,20	43,60	22,50	78,60	42,30	98,90
1994	128,20	31,70	104,50	128,60	116,90	106,00	90,30	96,20	53,50	43,90	89,10	28,70
1995	31,90	29,20	27,30	49,60	84,90	26,60	91,40	27,00	61,40	35,00	89,90	76,00
1996	49,60	53,70	65,80	136,50	64,20	33,40	105,20	50,70	67,00	45,80	72,50	50,20
1997	85,30	55,60	89,00	74,10	85,10	18,70	110,20	72,90	45,50	51,00	84,03	38,80
1998	73,80	41,40	74,20	99,40	66,60	78,50	94,50	18,90	10,50	111,20	47,10	31,60
1999	54,50	143,50	148,00	94,03	81,66	48,30	86,60	90,90	55,81	65,40	38,85	114,60
2000	7,60	86,60	38,90	99,61	111,70	86,63	22,60	81,80	45,70	46,60	36,98	41,68
2001	51,10	53,90	43,82	61,91	65,90	32,00	45,90	32,90	57,10	35,90	63,80	51,80
2002	44,80	59,00	46,10	135,00	38,00	64,90	70,20	82,90	34,30	37,40	23,50	22,90
2003	40,60	50,10	77,30	52,60	75,40	34,50	45,20	29,57	41,63	35,50	67,93	39,64
2004	8,20	14,30	31,00	51,00	58,20	26,30	41,30	40,10	34,50	25,90	83,20	51,20
2005	46,80	81,50	123,50	76,20	74,80	35,50	12,44	29,80	6,60	98,00	36,40	79,84
2006	46,00	35,80	56,50	54,00	48,30	64,80	10,58	25,20	31,00	46,00	62,50	12,40
2007	36,20	56,20	62,36	87,90	69,50	211,80	39,50	67,30	76,10	147,10	81,40	75,30
2008	29,00	140,20	189,20	101,55	148,70	63,80	61,80	69,70	40,80	82,40	147,80	62,70
2009	88,30	58,10	70,40	62,50	53,40	80,70	55,70	23,30	10,70	4,70	23,50	23,00
2010	25,70	0,00	37,50	35,30	115,20	123,90	67,00	54,90	24,80	53,80	43,00	115,50
2011	18,20	25,30	68,10	83,40	67,40	115,50	101,60	62,30	91,40	5,70	44,80	68,50
2012	74,10	96,70	33,30	80,60	64,70	69,80	80,00	122,90	74,20	47,00	60,20	70,20
2013	145,50	69,50	60,40	26,10	55,90	54,70	104,20	63,50	83,60	63,00	29,70	3,30
2014	19,40	19,20	29,50	40,90	69,40	98,90	89,00	25,70	46,40	80,20	112,60	33,90
Media	44,05	60,50	72,97	79,38	71,94	61,53	65,57	48,82	42,13	56,17	57,29	52,71

Fuente de datos, INAMHI

Estación M0426 Ricaurte, datos de precipitación media mensual

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1982	67,90	24,40	71,50	166,20	175,70	9,20	19,20	12,10	36,70	229,90	146,80	146,80
1983	79,10	63,50	102,80	175,90	163,20	10,20	11,10	9,20	9,80	105,30	113,40	113,40
1984	57,50	189,40	135,20	215,10	81,20	27,90	19,50	19,10	76,90	95,20	34,60	34,60
1985	83,80	24,30	57,60	67,40	56,60	15,70	15,60	21,30	45,40	109,80	100,90	100,90
1986	65,90	112,70	120,40	98,80	104,60	5,20	18,50	36,80	51,40	60,70	64,70	64,70
1987	35,70	52,90	83,00	71,70	158,70	8,60	16,60	12,90	28,40	92,10	19,60	19,60
1988	134,10	107,00	64,90	175,00	91,20	54,70	21,40	26,60	21,30	133,70	113,00	113,00
1989	129,70	73,40	218,40	73,40	48,30	56,70	78,10	5,90	46,30	184,90	6,70	6,70
1990	107,80	106,70	53,50	213,60	43,00	63,70	22,50	16,20	28,40	205,80	101,50	101,50
1991	35,80	128,00	179,00	84,30	61,90	38,20	25,10	13,80	35,20	56,80	85,20	85,20
1992	1,00	96,40	99,60	131,10	48,60	28,50	11,30	6,80	86,90	164,60	64,50	64,50
1993	137,50	152,90	228,00	157,80	66,60	12,50	36,20	20,70	56,00	174,70	121,20	121,20
1994	109,10	100,20	156,20	153,10	90,10	32,50	46,60	27,90	58,40	75,80	49,50	49,50
1995	33,70	57,40	60,50	78,70	106,00	52,00	44,10	4,80	7,80	73,10	133,80	133,80
1996	71,20	151,90	168,20	152,90	88,50	88,00	19,60	12,90	51,90	105,40	42,70	42,70
1997	50,30	45,30	88,50	93,70	63,40	93,30	17,00	6,40	64,30	56,80	63,10	63,10
1998	57,90	142,80	155,90	60,20	138,50	29,40	34,30	25,00	11,10	181,50	45,30	45,30
1999	121,20	157,40	167,40	167,80	184,50	69,80	25,10	23,80	82,20	51,60	129,40	129,40
2000	35,40	159,20	117,30	183,30	196,90	86,10	10,00	25,50	174,40	19,60	131,30	131,30
2001	74,20	54,50	138,00	78,50	57,20	31,10	14,60	15,80	27,50	28,20	79,20	79,20
2002	28,90	25,70	69,10	111,80	96,20	28,40	25,30	15,43	13,30	180,00	80,40	80,40
2003	45,30	58,10	86,30	115,80	53,40	36,70	25,10	36,70	48,60	82,30	106,90	106,90
2004	37,90	118,10	67,80	129,10	73,30	21,20	31,50	9,70	109,90	45,80	135,70	135,70
2005	62,10	65,90	231,90	120,70	61,70	59,00	11,70	6,50	5,30	105,80	234,30	234,30
2006	34,20	79,50	179,50	134,60	41,20	33,00	7,60	24,80	20,70	92,60	151,30	151,30
2007	41,30	32,60	139,30	188,20	43,00	83,00	8,20	38,20	26,80	58,80	76,60	76,60
2008	69,30	177,20	95,50	188,70	154,30	42,10	31,50	50,90	48,10	116,30	63,90	63,90
2009	85,40	40,50	115,60	162,80	63,40	53,70	13,40	8,50	24,70	41,00	62,80	62,80
2010	29,30	112,60	69,40	112,10	84,20	107,10	93,70	20,60	40,70	28,20	161,20	161,20
2011	47,70	219,10	122,60	213,60	61,90	61,20	73,70	22,20	53,40	69,60	246,90	246,90
2012	78,75	157,00	116,70	118,70	41,10	60,10	31,00	12,90	22,10	110,20	50,20	50,20
2013	68,10	80,30	98,60	34,40	161,30	34,90	41,20	74,60	16,00	177,60	46,10	44,90
2014	69,70	41,30	132,50	112,80	150,30	37,10	30,00	14,00	25,90	137,00	85,50	131,00
Media	66,27	97,22	120,93	131,57	94,24	44,57	28,19	20,56	44,12	104,57	95,40	96,74

Fuente de datos, INAMHI

Estación M0139 Gualaceo, datos de temperatura media mensual

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1982	17,00	16,00	16,50	15,30	15,30	17,20	18,10	18,10	16,71	17,76	18,00	18,97
1983	18,30	17,90	17,90	17,40	17,80	16,70	15,60	16,00	16,30	17,70	17,20	
1984	16,90	16,70	17,30	16,30	15,50	15,90	16,23	16,59	16,44	17,72	18,20	18,96
1985	18,00	17,40	16,00	15,30	16,60	17,70	17,30	18,10	16,75	18,01	18,00	18,86
1986	17,80	17,00	17,10	17,50	17,40	15,90	17,60	17,30	18,30			
1987	18,40	17,80	17,30	17,80	17,50	17,20	17,70	17,00	17,40	19,20		
1988	17,40	17,50	16,70	15,40	16,30	17,30	17,50	17,50				
1989	17,40	16,80	16,60	17,30	16,50	15,70	15,00	16,10	16,50	17,10	18,10	18,60
1990	18,00	18,10	17,60	17,80	17,30	17,00	15,70	15,70	17,10	17,80	18,00	17,50
1991	17,90	17,80	18,60	17,30	17,60	17,50	16,90	16,40	17,30	17,90	17,94	18,81
1992	17,80	17,40	17,50	17,60	17,90	16,90	15,80	16,90	16,90	17,50	18,40	18,30
1993	17,40	16,90	16,70	16,82	17,18	16,68	16,37	16,58	16,79	17,76	17,97	18,92
1994	18,30	16,80	15,80	16,00	16,00	15,10	15,90	17,20	17,40	18,50	18,23	
1995	18,20	18,80	18,30	18,00	17,10	17,00	16,60	17,40	16,40	17,80	18,30	17,80
1996	17,80	17,00	16,80	15,20	15,60	16,20	17,10	17,90	18,10	17,91	18,46	18,93
1997	18,00	17,50	18,00	17,30	17,20	17,50	15,30	17,40	18,60	17,70	18,70	18,91
1998	18,50	19,20	18,50	19,00	17,50	17,20	15,70	16,80	17,40	17,60	18,70	18,50
1999	18,50	17,30	17,30	17,00	17,20	17,70	16,00	15,80	16,60	17,67	18,46	19,00
2000	17,80	17,50	17,40	16,34	16,63	16,75	16,49	16,60	16,87	17,69	18,55	18,93
2001	17,30	17,40	17,50	17,20	17,50	15,90	16,60	15,50	16,50	18,70	18,60	18,40
2002	18,20	18,20	17,70	17,50	17,40	16,10	17,10	16,10	17,30	17,70	17,50	19,00
2003	18,20	18,60	18,10	17,90	17,60	16,80	15,90	16,80	17,00	18,10	18,10	18,40
2004	18,90	18,20	18,40	18,00	17,90	16,50	16,80	15,60	16,10	18,60	18,40	19,00
2005	19,20	18,70	18,10	17,90	17,90	17,40	16,50	16,60	17,80	17,90	18,30	17,80
2006	18,60	18,60	18,20	17,70	17,70	16,80	16,70	17,50	18,60	18,30	18,30	18,82
2007	19,40	19,10	18,10	18,00	18,00	16,00	17,20	16,10	15,60	17,50	18,30	17,90
2008	18,40	17,40	17,30	17,50	17,20	16,80	16,30	16,30	17,00	17,60	17,80	18,00
2009	18,00	17,80	18,20	17,70	17,70	17,50	17,20	17,20	17,80	18,60	19,50	19,80
2010	19,00	19,60	19,70	19,00	18,70	17,10	17,40	15,40	16,60	18,20	17,80	17,70
2011	18,00	18,30	17,90	17,40	17,30	17,40	16,10	16,90	16,30	18,00	18,10	23,70
2012	18,40	17,80	17,90	18,00	17,20	17,20	16,30	16,10	16,90	17,90	18,80	18,40
2013	18,60	18,00	18,40	18,00	18,20	17,50	16,10	16,30	16,60	18,00	18,10	18,70
2014	18,40	18,80	18,40	17,10	17,60	16,50	16,50	15,50	16,90	17,10	18,50	18,40
2015	18,00	18,60	18,60	17,90	18,30	16,60	17,00	16,56	17,10	17,82	18,35	18,87
Media	18,12	17,84	17,66	17,28	17,24	16,80	16,55	16,64	17,03	17,92	18,25	18,75

Fuente de datos, INAMHI

Anexos correspondientes al registro fotográfico realizado en el BVPA

Fotografía 1: Recolección de muestras de suelos

Fotografía 2: Nacimiento de vertientes

Fotografía 3: Microcuenca Huayrapungu

Fotografía 4: Captación de agua microcuenca 1, Chaquilcay

Fotografía 5: Punto de medición del caudal, microcuenca Huayrapungu

Fotografía 6: Mediciones de caudal

Fotografía 7: Microcuenca Chaquilcay

Fotografía 8: BVPA

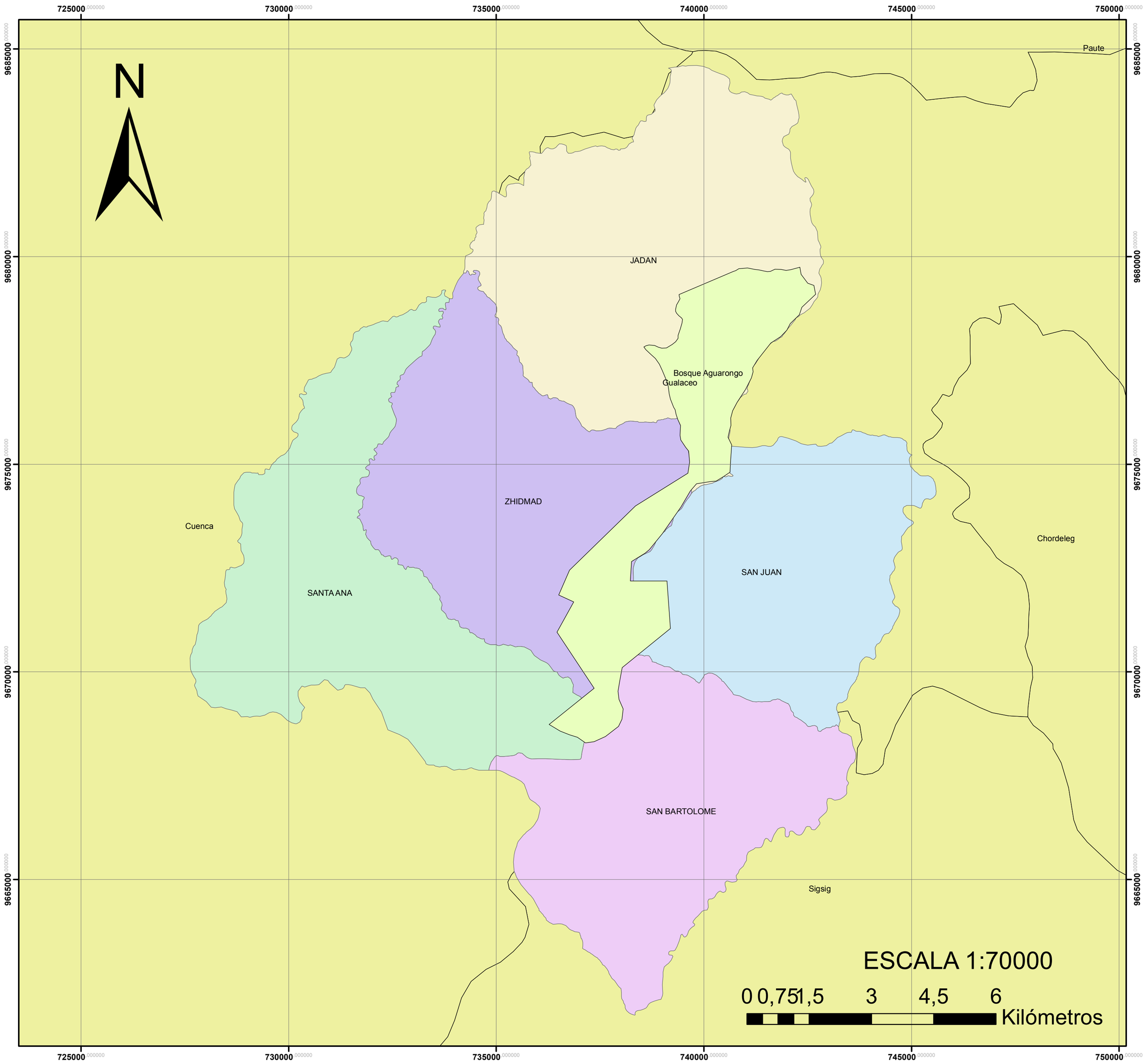
Fotografía 9: Microcuenca Chuyacacha

Fotografía 10: Extracción de muestras de suelo

Fotografía 11: Captación de agua, microcuenca chuyacacha

Fotografía 12: BVPA

MAPA DE UBICACION DEL BVPA Y SUS PARROQUIAS COLINDANTES

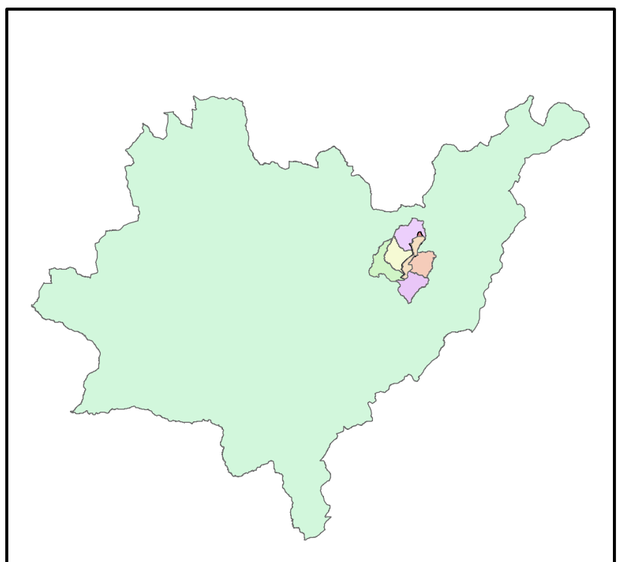


Leyenda

- Bosque Aguarongo
- Santa Ana
- San Juan
- San Bartolomé
- Zhidmad
- Jadán

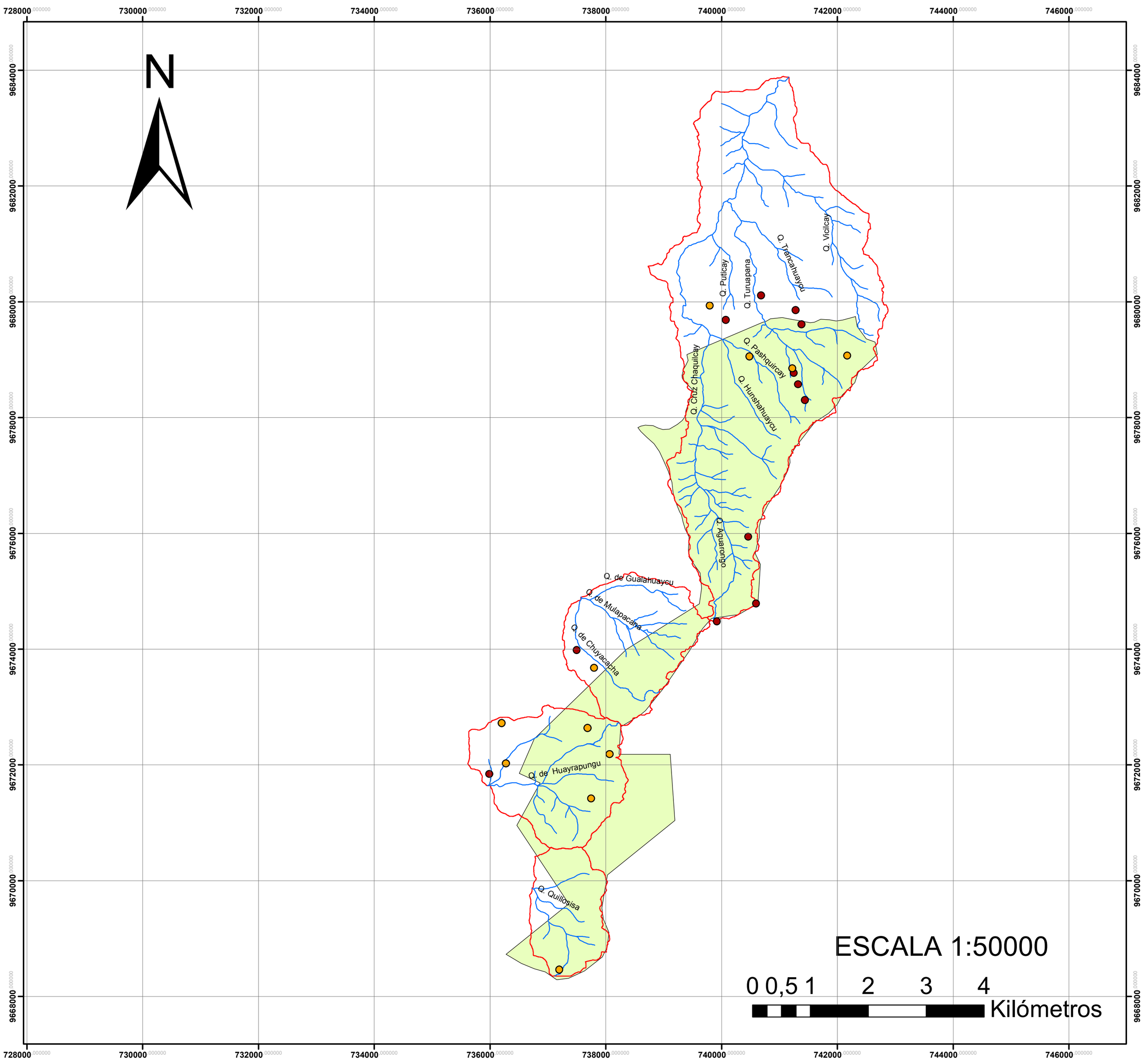
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA					
"ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO".					
MAPA: UBICACIÓN DEL BVPA Y SUS PARROQUIAS COLINDANTES					
FUENTE:	SNI. IGM	SISTEMA DE COORDENADAS:	WGS_1984_UTM_Zone_17S	TUTORA:	MSC. PAOLA DUQUE
ELABORADO POR:	YULIO LOOR BARREZUETA	PROYECCIÓN:	Transverse_Mercator	ESCALA:	1:70000

UBICACION PROVINCIAL



ESCALA 1:1600000

MAPA FUENTES HÍDRICAS



Leyenda

- Uso-Comunitario
- Fuentes
- rios
- Microcuencas
- Bosque Aguarongo

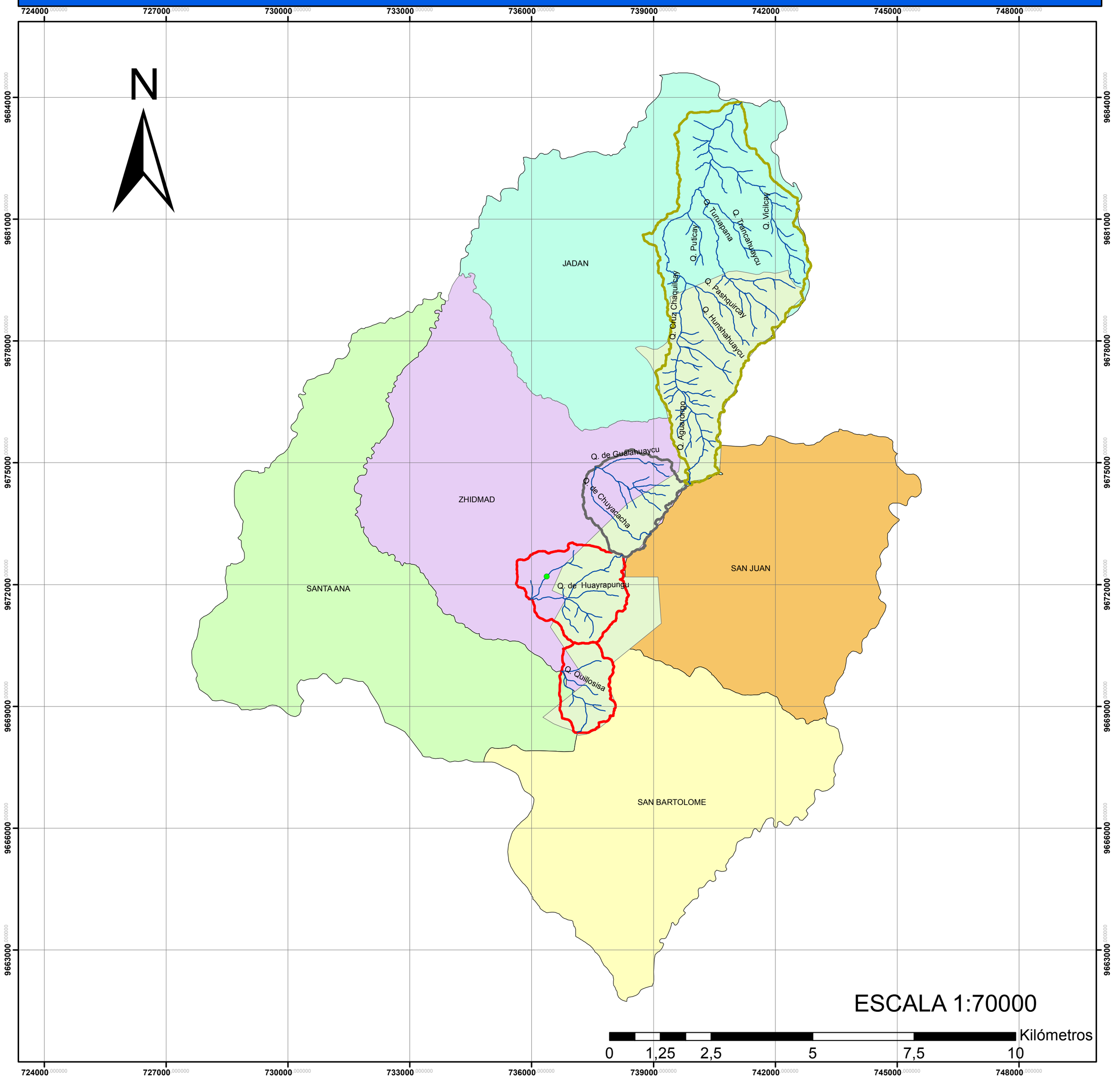
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

"ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO".

MAPA: FUENTES HÍDRICAS (Levantamiento realizado por Minga, 2002)

FUENTE:	SNI. IGM	SISTEMA DE COORDENADAS:	WGS_1984_UTM_Zone_17S	TUTORA:	MSC. PAOLA DUQUE
ELABORADO POR:	YULIO LOOR BARREZUETA	PROYECCIÓN:	Transverse_Mercator	ESCALA:	1:50000

DELIMITACIÓN DE ÁREAS DE ESTUDIO



Leyenda

- Bosque Aguarongo
- Santa_Ana
- Zhidmad
- Jadán
- San_bartolomé
- San_Juan
- Microcuenca1
- Microcuenca2
- Microcuenca3
- Microcuenca4
- rios
- Toma de Caudales

Zona de estudio	Área_ha	Investigación
Microcuenca 1	2092	-
Microcuenca 2	475	-
Microcuenca 3	421	Caudales y Balance H.
Microcuenca 4	242	Balance hídrico
Área Total	3230	
Área microcuencas 3 y 4	663	

Nombre de microcuencas por quebrada principal:	
Microcuenca 1	Chaquilcay
Microcuenca 2	Chuyacacha
Microcuenca 3	Huayrapungu
Microcuenca 4	Quillosisa

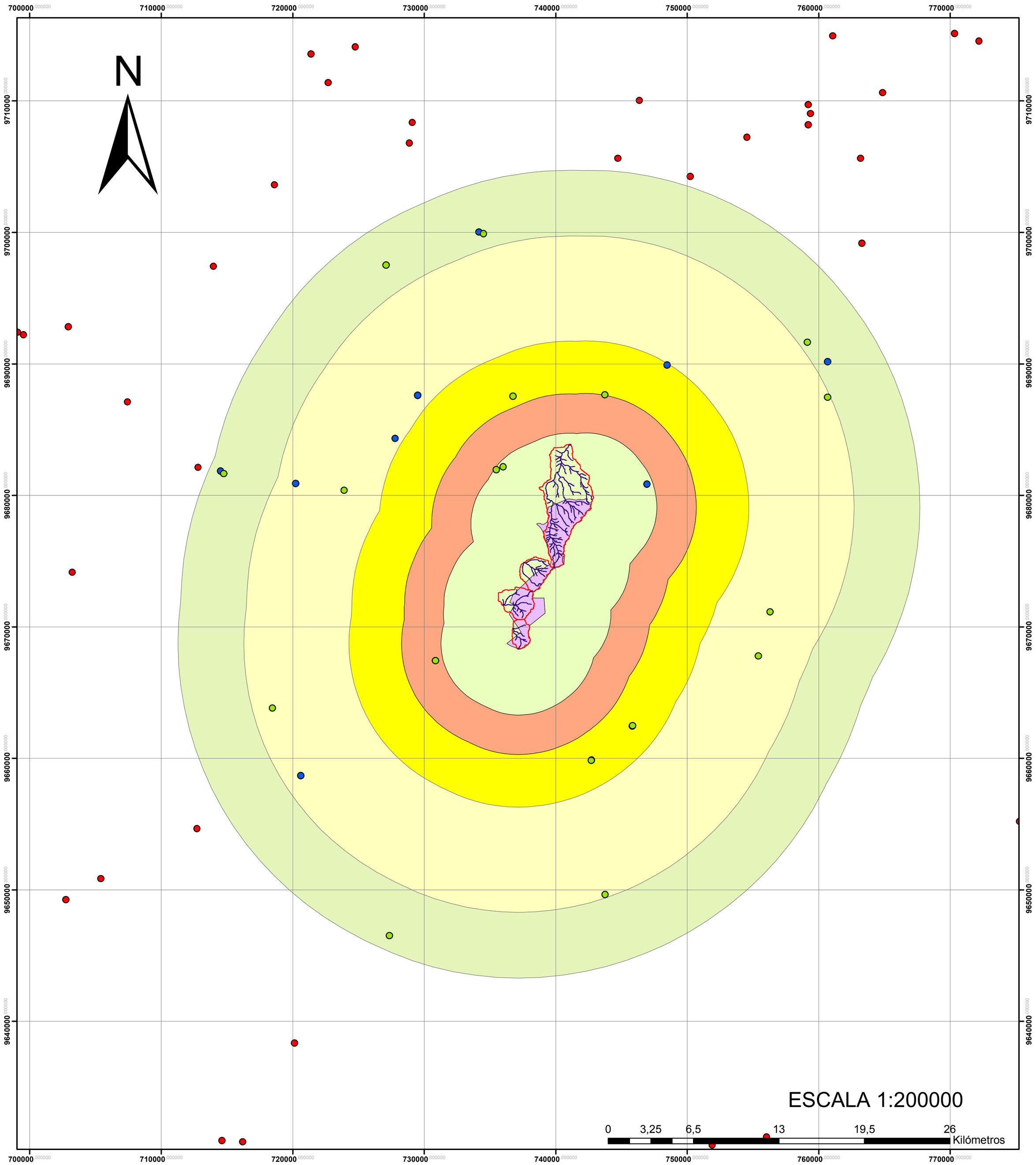
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

"ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO".

MAPA: DELIMITACIÓN DE ÁREAS DE ESTUDIO

FUENTE:	SNI. IGM.	SISTEMA DE COORDENADAS:	WGS_1984_UTM_Zone_17S	TUTORA:	MSC. PAOLA DUQUE
ELABORADO POR:	YULIO LOOR BARREZUETA	PROYECCIÓN:	Transverse_Mercator	ESCALA:	1:70000

MAPA DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS CERCANAS AL BVPA



Leyenda

- Estaciones_inactivas
- Estaciones_activas
- Estaciones_fuera_rango
- Microcuencas
- Bosque Aguarongo
- Radio_5km
- Radio_8km
- Radio_12km
- Radio_20km
- Radio_25km

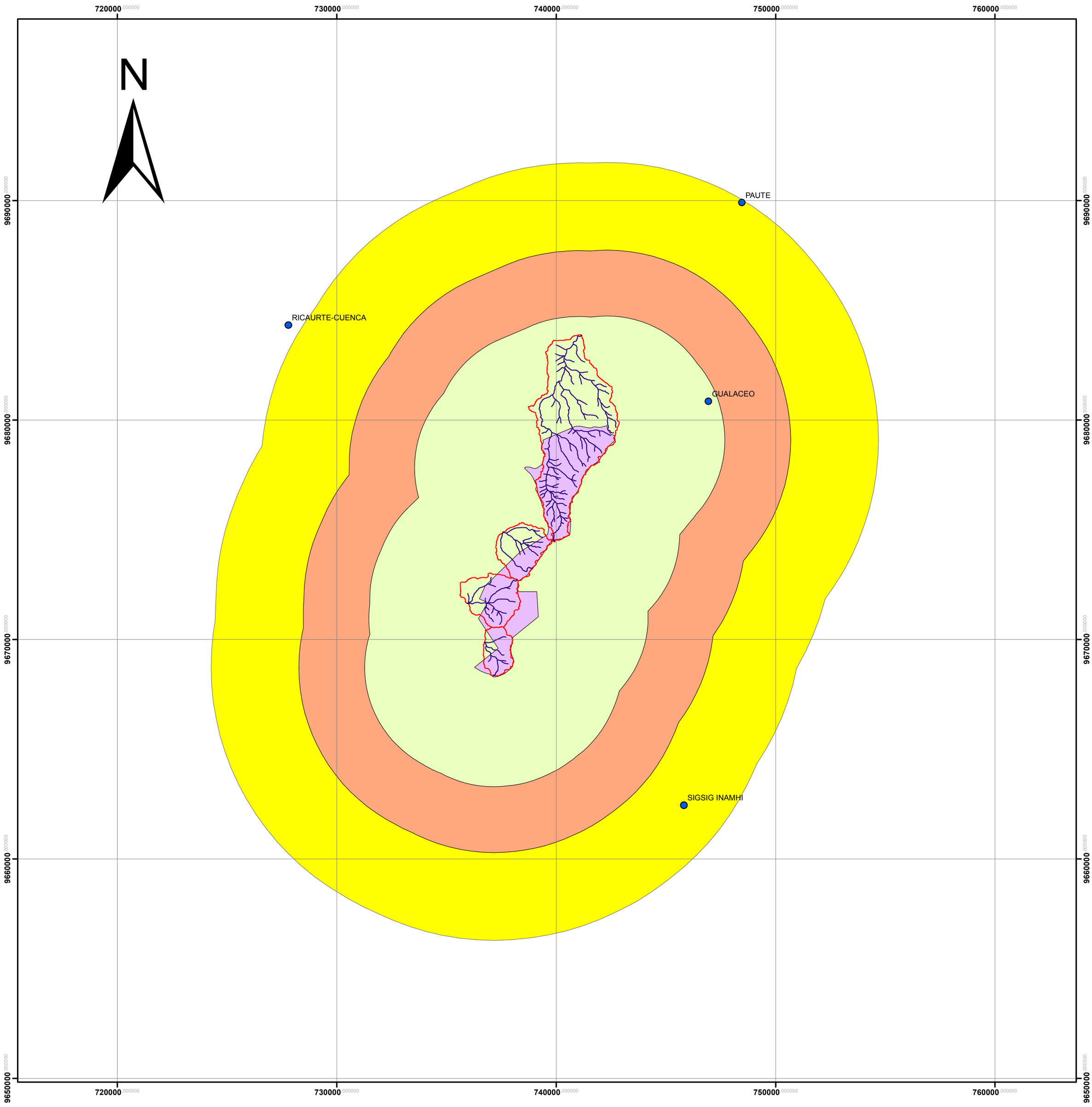
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

"ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO".

MAPA: ESTACIONES METEOROLÓGICAS CERCANAS AL BVPA

FUENTE:	SNI. INAMHI. IGM.	SISTEMA DE COORDENADAS:	WGS_1984_UTM_Zone_17S	TUTORA:	MSC. PAOLA DUQUE
ELABORADO POR:	YULIO LOOR BARREZUETA	PROYECCIÓN:	Transverse_Mercator	ESCALA:	1:200000

MAPA DE ESTACIONES DE INTERÉS



Código	Estación	Tipo	Estado	Cantón	Datos a usar	latitud	longitud	Distancia aprox al BVPA
M0138	PAUTE	CLIMATOLOGICA ORDINARIA	Activa	PAUTE	Precipitación y Temperatura	-2,8	-78,762778	13 Km
M0139	GUALACEO	CLIMATOLOGICA PRINCIPAL	Activa	GUALACEO	Precipitación y Temperatura	-2,88194	-78,776389	5 Km
M0424	SIGSIG INAMHI	PLUVIOMETRICA	Activa	SIGSIG	Precipitación	-3,04833	-78,786111	12 Km
M0426	RICAURTE-CUENCA	PLUVIOMETRICA	Activa	CUENCA	Precipitación	-2,85083	-78,948611	14,5 Km

ESCALA 1:125000

0 2 4 8 12 16 Kilómetros

Leyenda

- Est_Gualaceo
- Est_Paute
- Est_Ricaurte
- Est_Sigsig
- Microcuencas
- Bosque Aguarongo
- Radio_5km
- Radio_8km
- Radio_12km

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

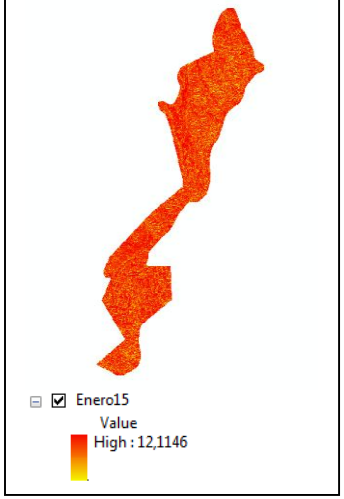
"ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO".

MAPA: ESTACIONES DE INTERÉS

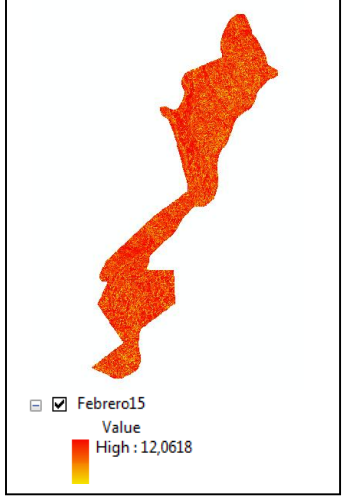
FUENTE:	SNI. INAMHI. IGM.	SISTEMA DE COORDENADAS:	WGS_1984_UTM_Zone_17S	TUTORA:	MSC. PAOLA DUQUE
ELABORADO POR:	YULIO LOOR BARREZUETA	PROYECCIÓN:	Transverse_Mercator	ESCALA:	1:125000

MAPA DE HORAS DE RADIACIÓN SOLAR PARA EL BVPA (HELIOFANÍA)

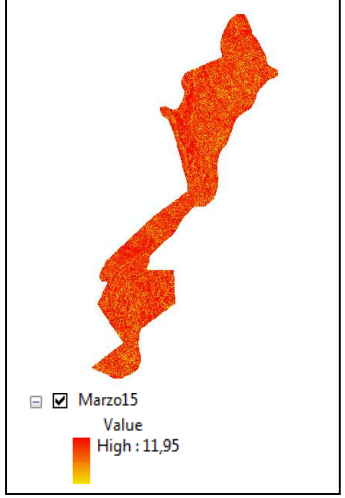
Brillo Solar-ENE 15



Brillo Solar-FEB 15

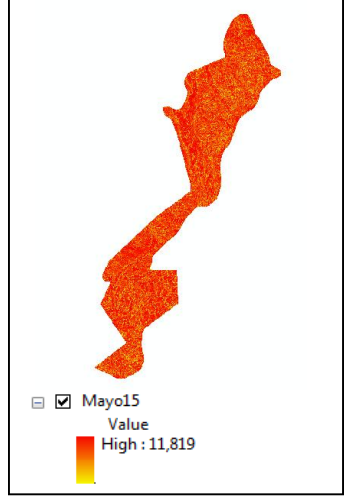


Brillo Solar-MAR 15

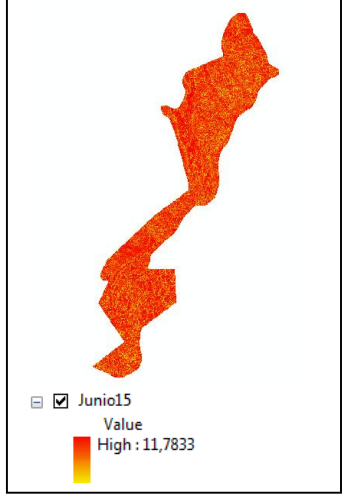


Brillo Solar-ABR 15

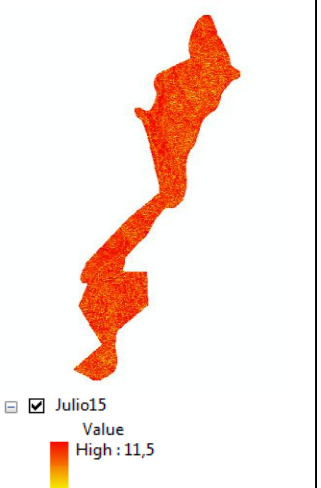
Brillo Solar-MAY 15



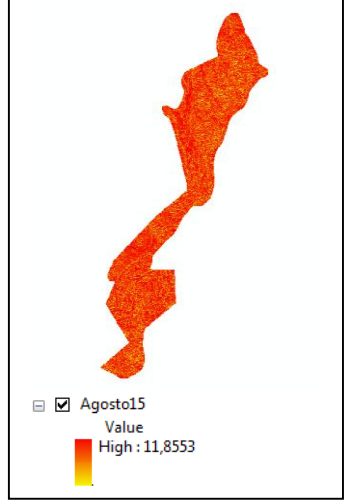
Brillo Solar-JUN 15



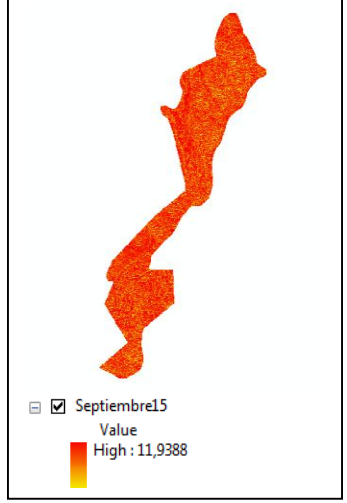
Brillo Solar-JUL 15



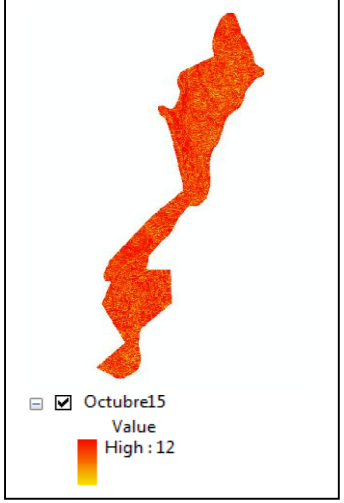
Brillo Solar-AGO 15



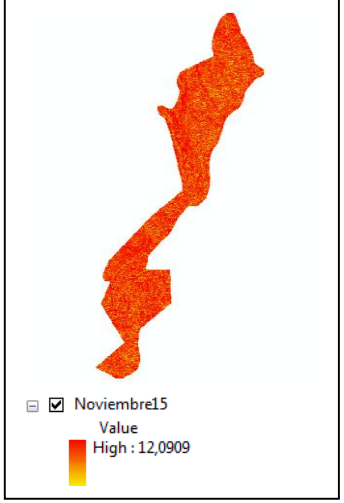
Brillo Solar-SEP 15



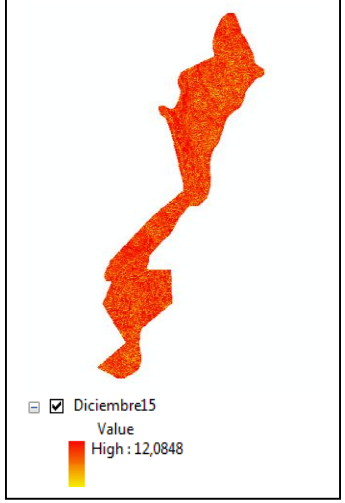
Brillo Solar-OCT 15



Brillo Solar-NOV 15

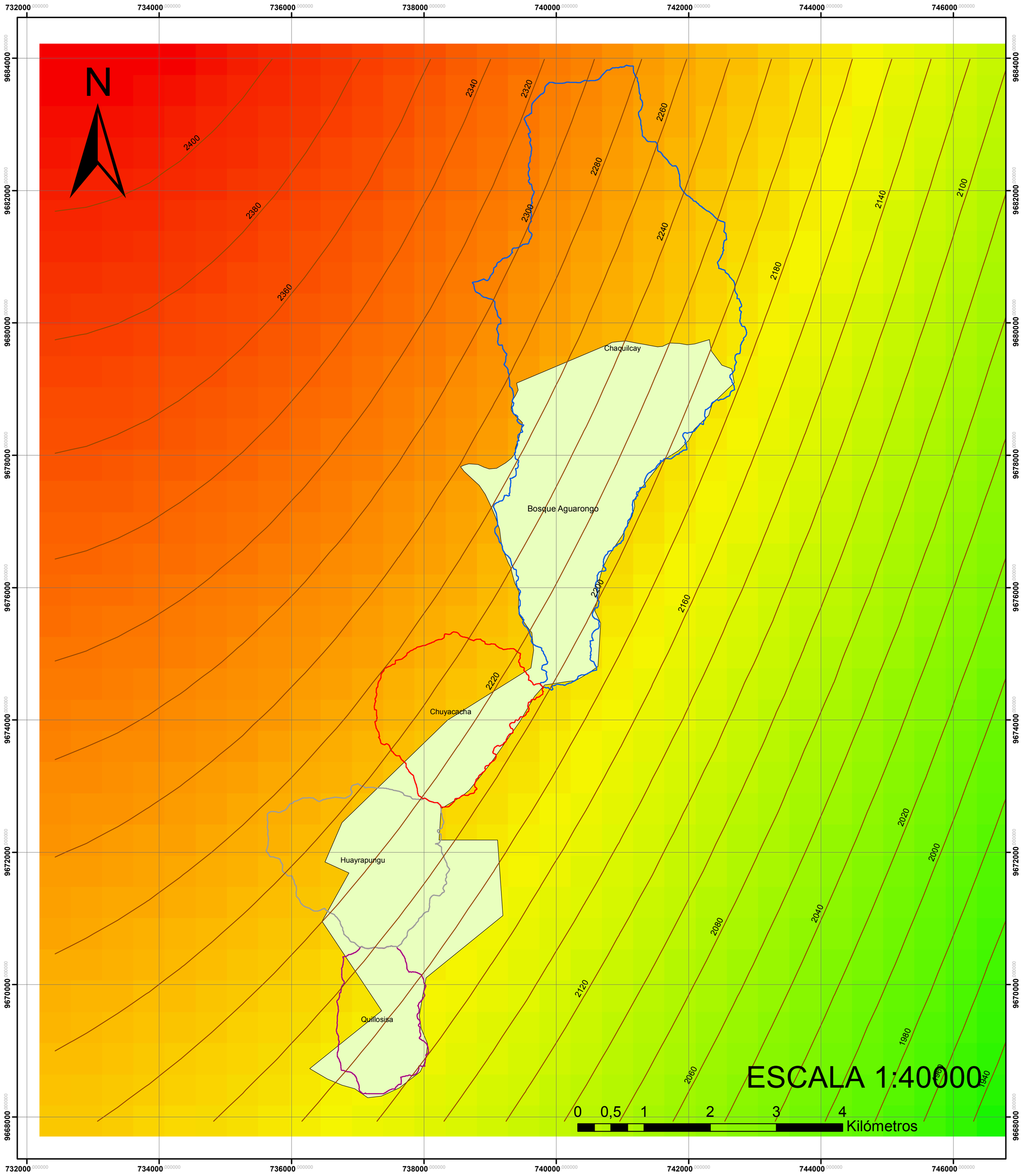


Brillo Solar-DIC 15



ELABORADO POR: LOOR YULIO

MAPA DE RADIACIÓN SOLAR DIRECTA EN EL BVPA



Leyenda

Radiación directa

Value

High : 2419,25

Low : 1907,8

Unidades de radiación expresadas en Wh/m^2/día

- Bosque Protector Aguarongo
- Isolíneas
- M. Chuyacacha
- M. Huayrapungu
- M.Quillosisa
- M.Chaquilcay

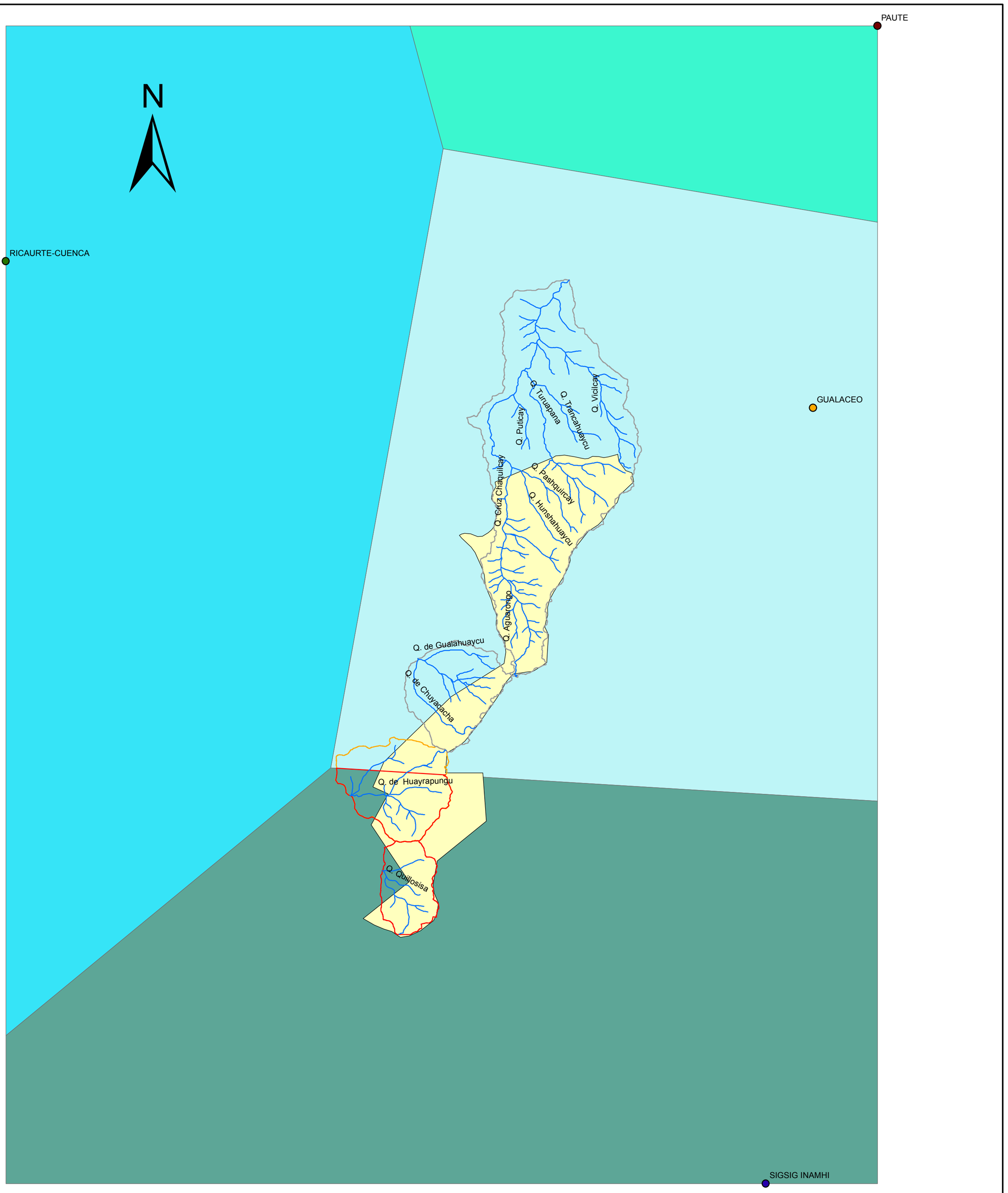
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

"ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO".

MAPA: RADIACIÓN SOLAR DIRECTA EN EL BVPA

FUENTE:	SNI. CONELEC.	SISTEMA DE COORDENADAS:	WGS_1984_UTM_Zone_17S	TUTORA:	MSC. PAOLA DUQUE
ELABORADO POR:	YULIO LOOR BARREZUETA	PROYECCIÓN:	Transverse_Mercator	ESCALA:	1:40000

POLÍGONO DE THIESSEN



Leyenda

Thiessen
- <all other values>

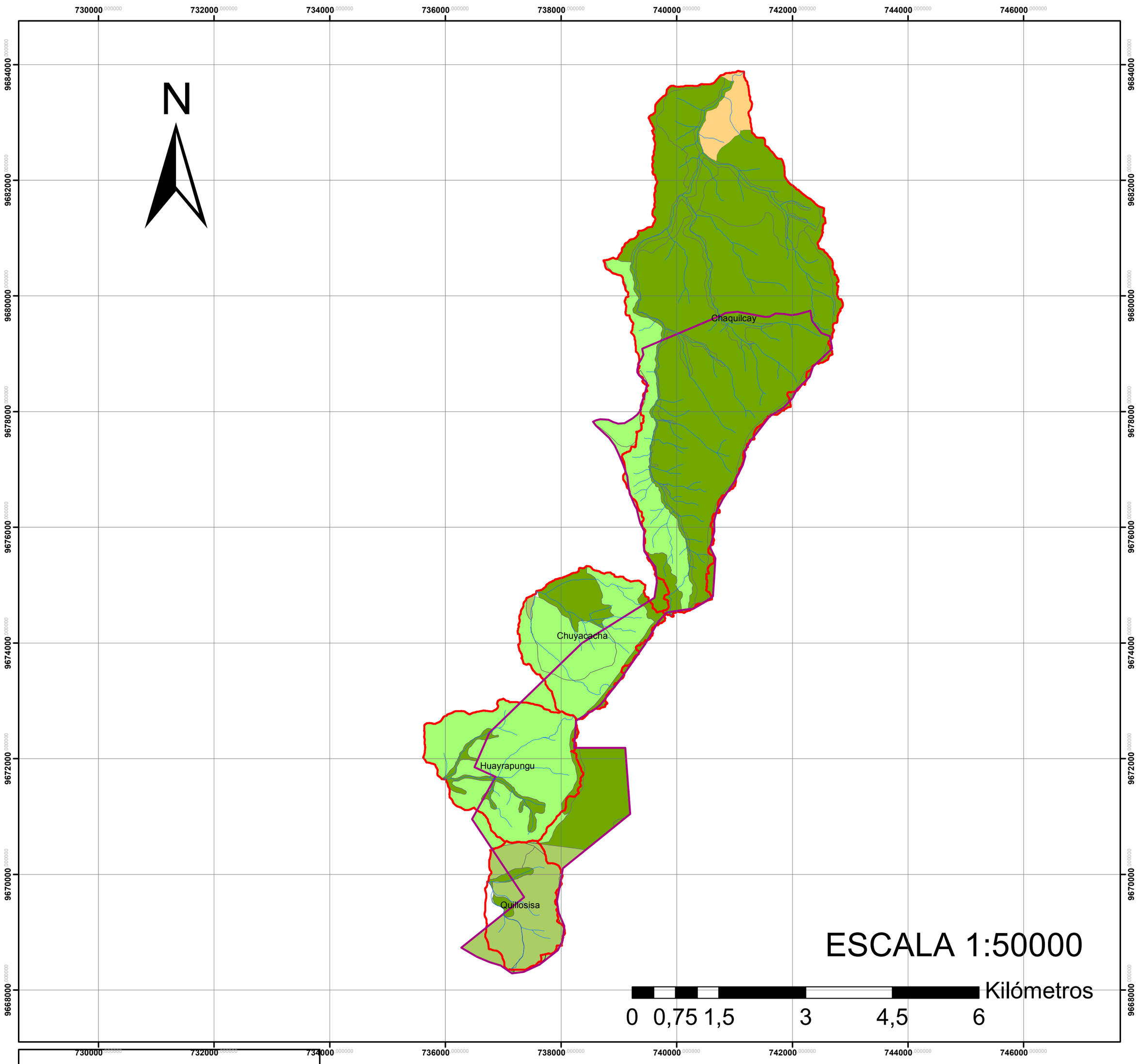
pp
- 59,63
- 63,49
- 66,2
- 78,81
- Bosque Aguarongo
- Huayrapungu_sigsig
- Huayrapungu_Gualaceo
- Quillosisa
- Bosque Aguarongo
- Chuyacacha
- Chaquilcay
- Est_Gualaceo
- Est_Paute
- Est_Ricaurte
- Est_Sigsig
- rios

ESCALA 1:70000

0 1 2 4 6 8 Kilómetros

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA					
"ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO".					
MAPA: POLÍGONO DE THIESSEN					
FUENTE:	SNI. IGM.	SISTEMA DE COORDENADAS:	WGS_1984_UTM_Zone_17S	TUTORA:	MSC. PAOLA DUQUE
ELABORADO POR:	YULIO LOOR BARREZUETA	PROYECCIÓN:	Transverse_Mercator	ESCALA:	1:70000

MAPA ORDEN TAXONÓMICO DE SUELOS



Leyenda

- rios
- BVPA
- Microcuencas

Orden Taxonómico

<all other values>

nombre_ord

- Alfisoles
- Andisoles
- Inceptisoles
- Mollisoles

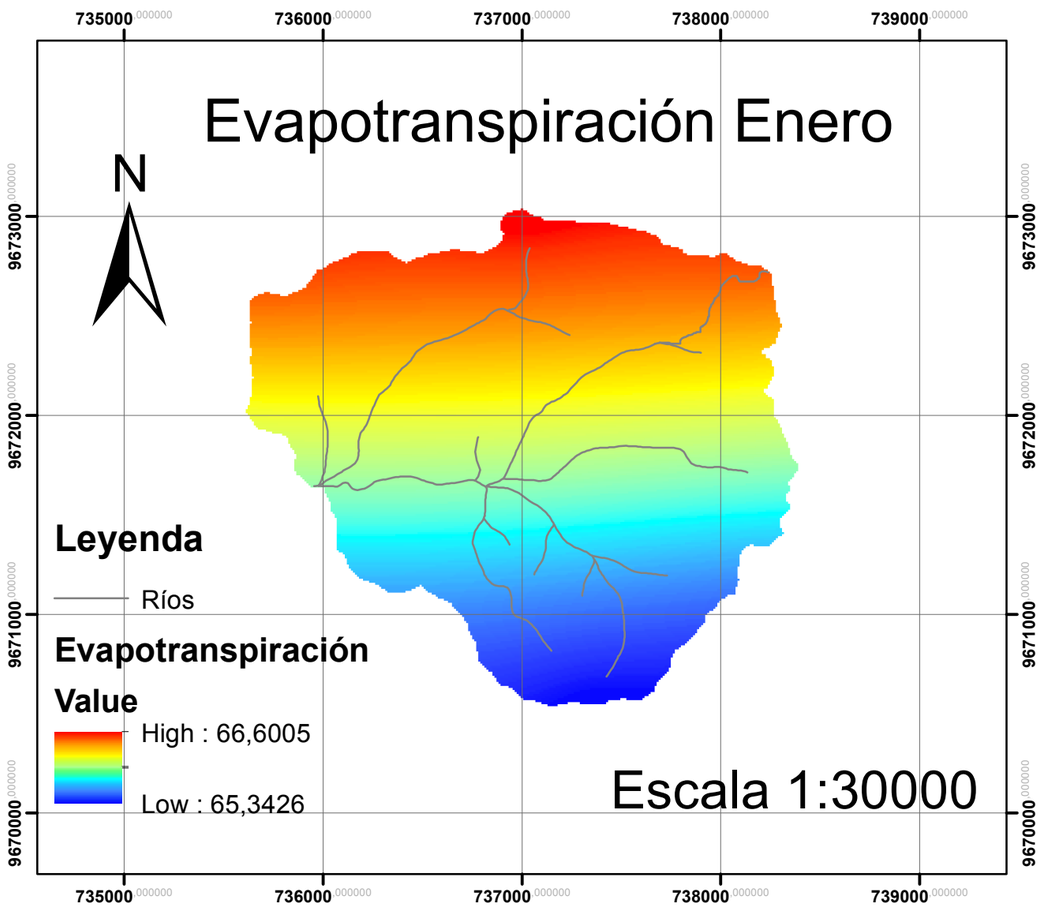
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

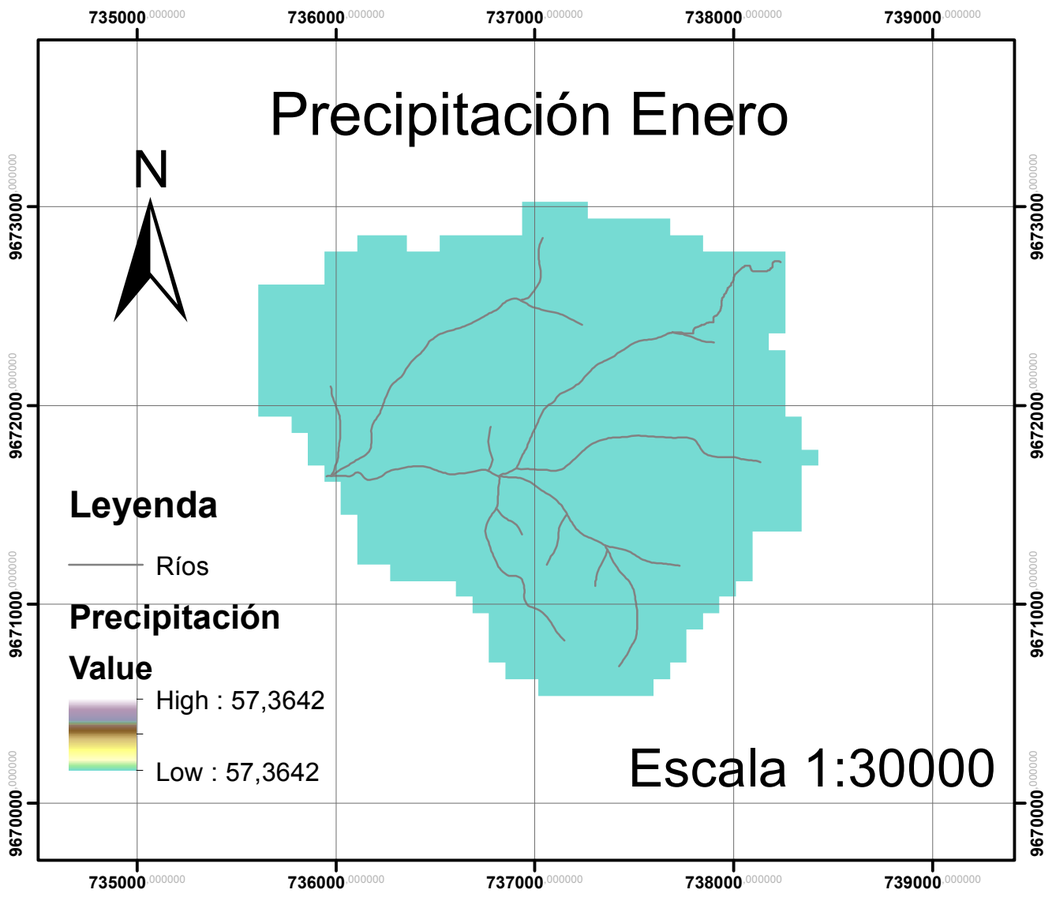
"ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO".

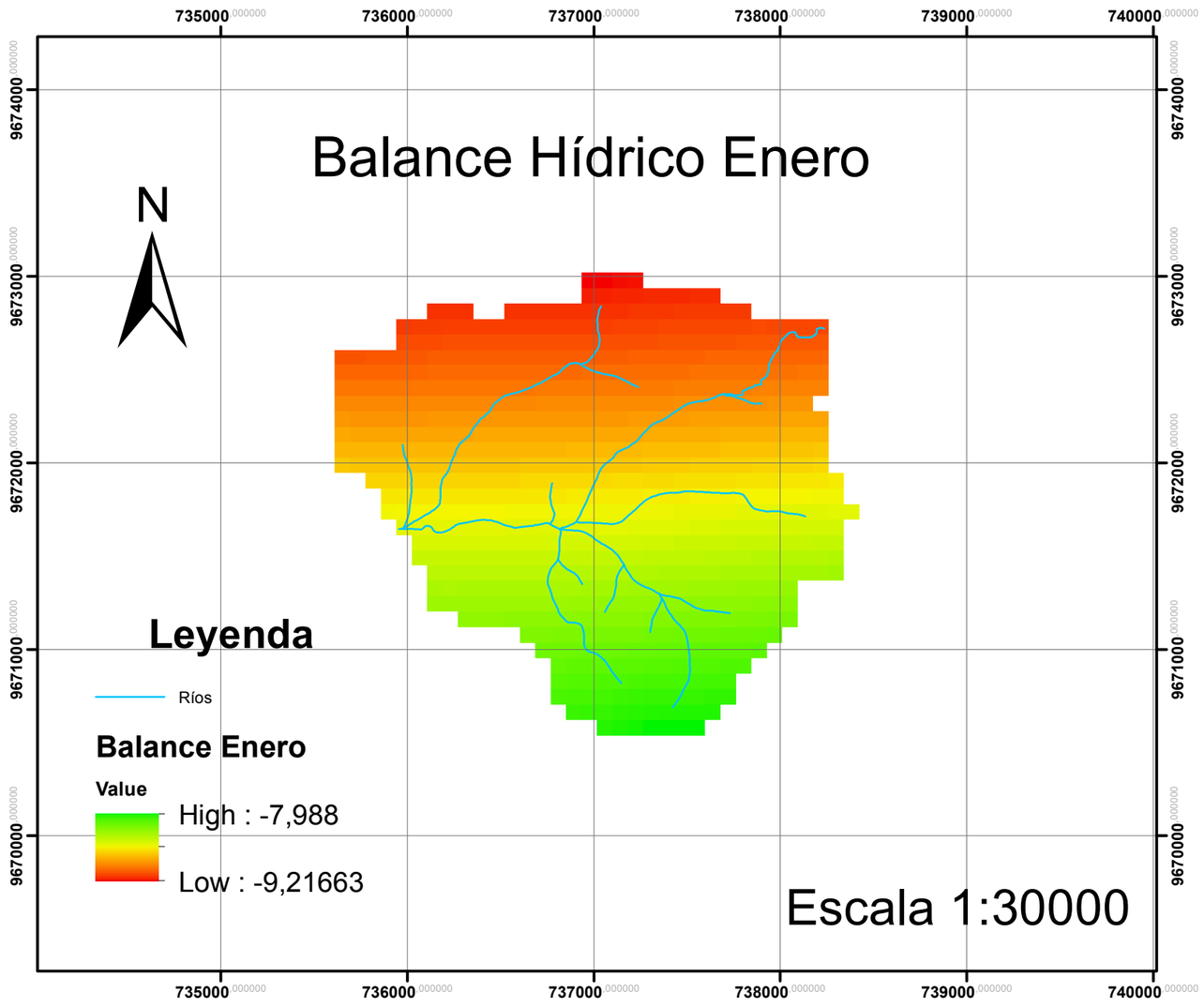
MAPA: ORDEN TAXONÓMICO DE LOS SUELOS

FUENTE:	SNI. IGM.	SISTEMA DE COORDENADAS:	WGS_1984_UTM_Zone_17S	TUTORA:	MSC. PAOLA DUQUE
ELABORADO POR:	YULIO LOOR BARREZUETA	PROYECCIÓN:	Transverse_Mercator	ESCALA:	1:50000

BALANCE HÍDRICO MES DE ENERO HUAYRAPUNGU

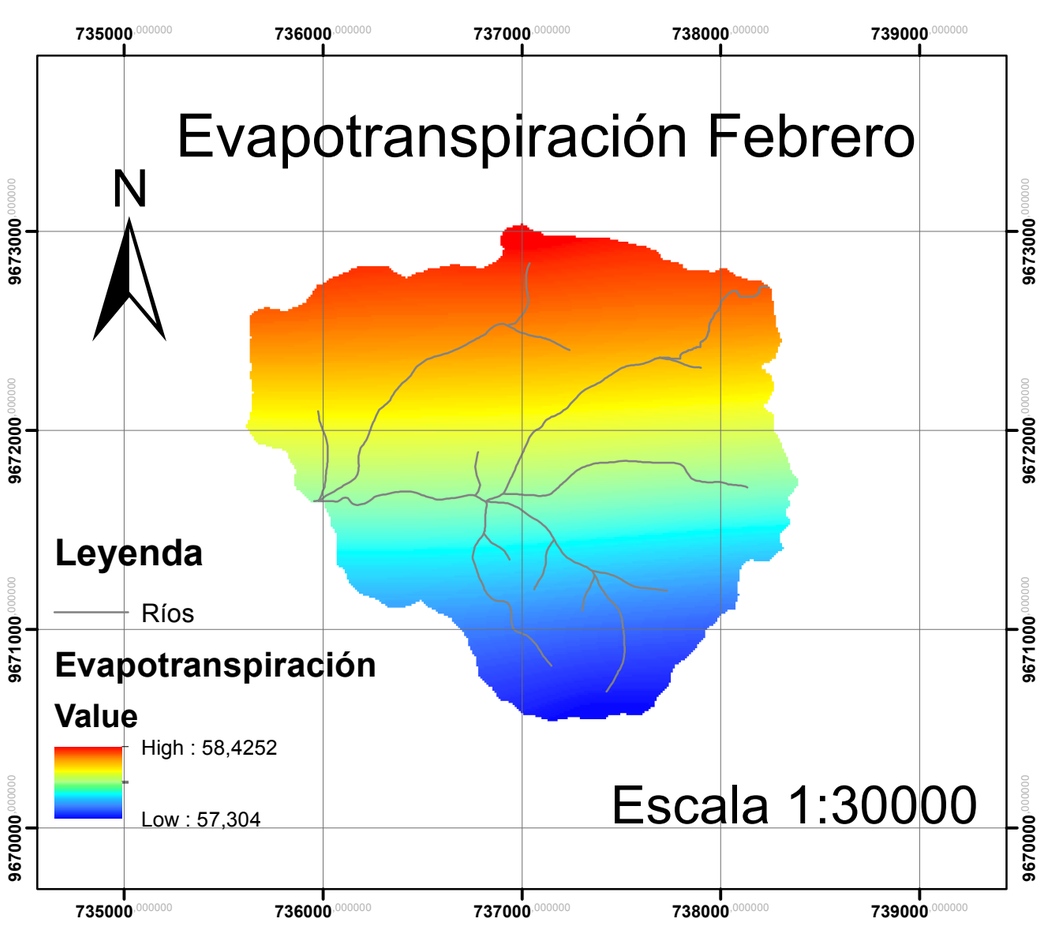


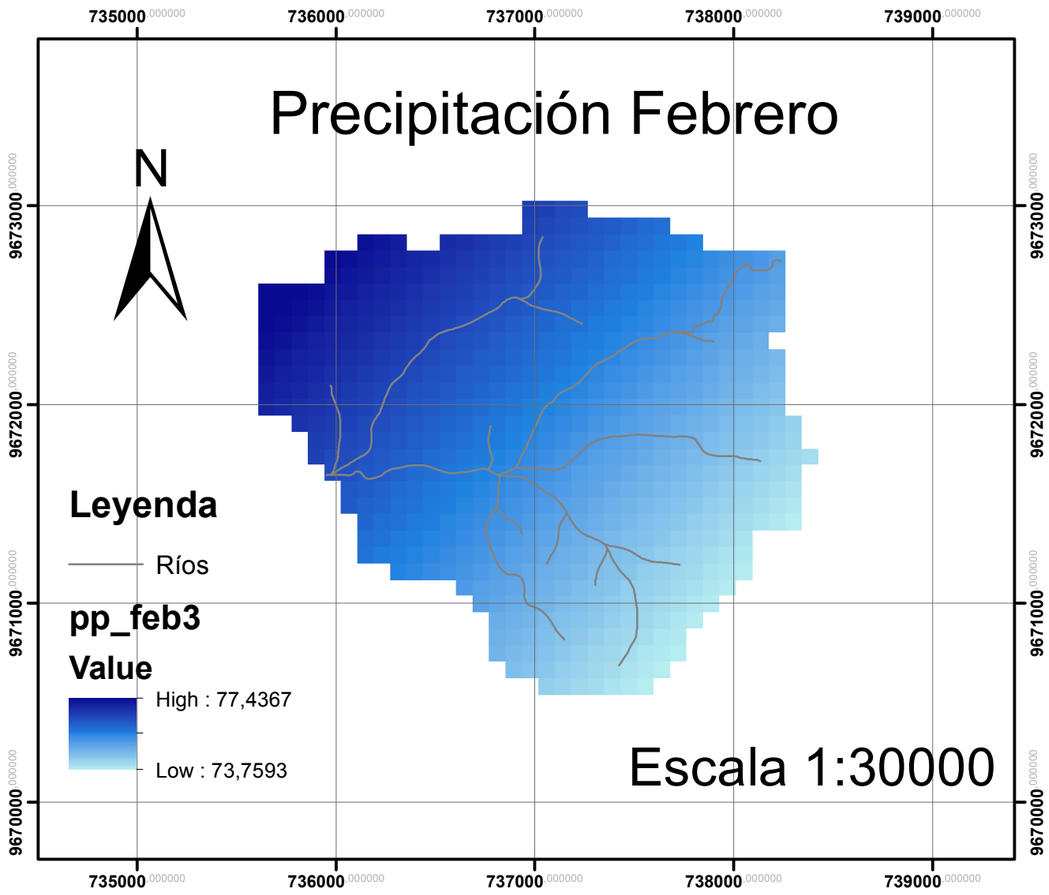


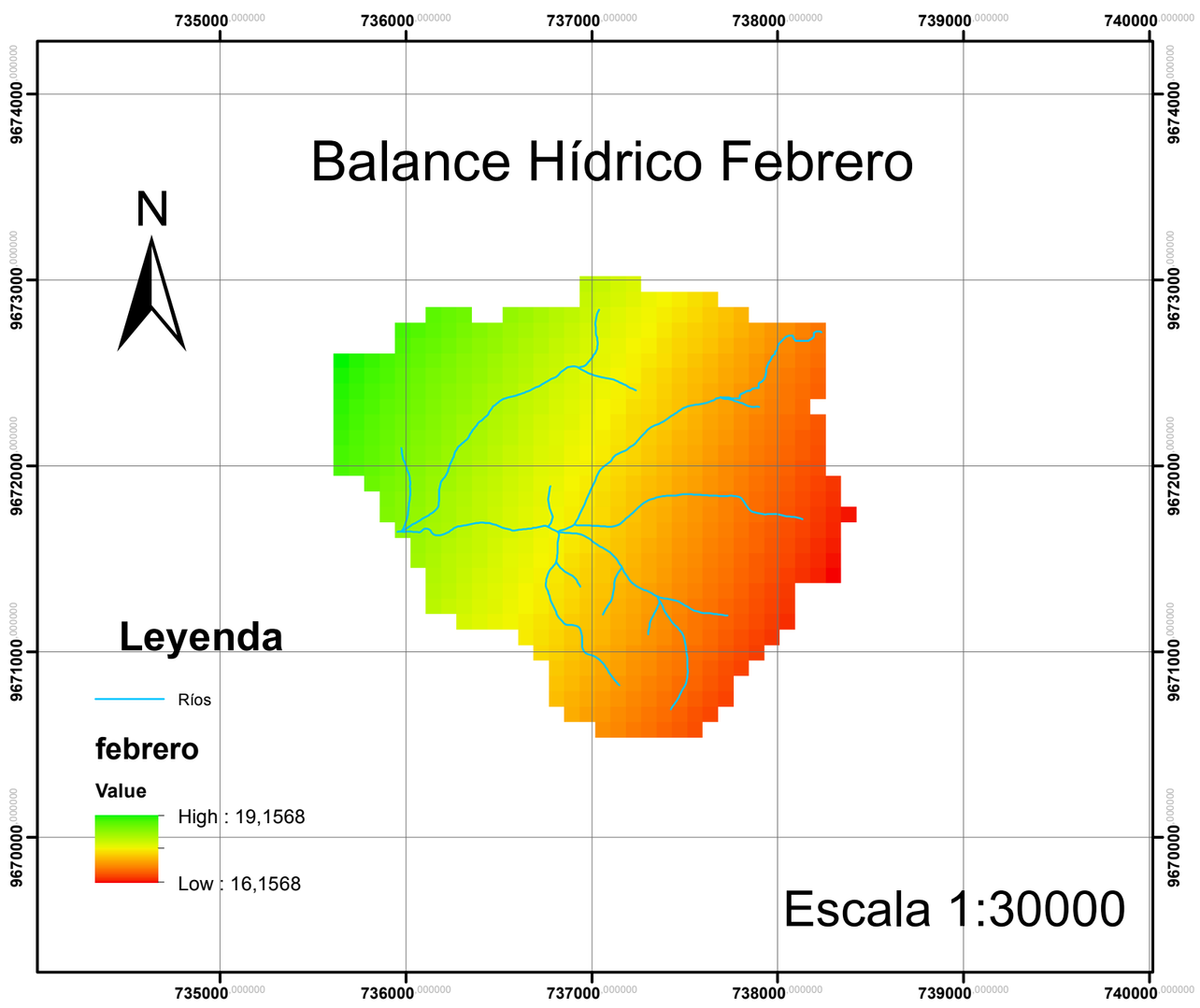


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA					
"ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO".					
MAPA: BALANCE HÍDRICO MES DE ENERO HUAYRAPUNGU					
FUENTE:	SNI. IGM.	SISTEMA DE COORDENADAS:	WGS_1984_UTM_Zone_17S	TUTORA:	MSC. PAOLA DUQUE
ELABORADO POR:	YULIO LOOR BARREZUETA	PROYECCIÓN:	Transverse_Mercator	ESCALA:	1:30000

BALANCE HÍDRICO MES DE FEBRERO HUAYRAPUNGU

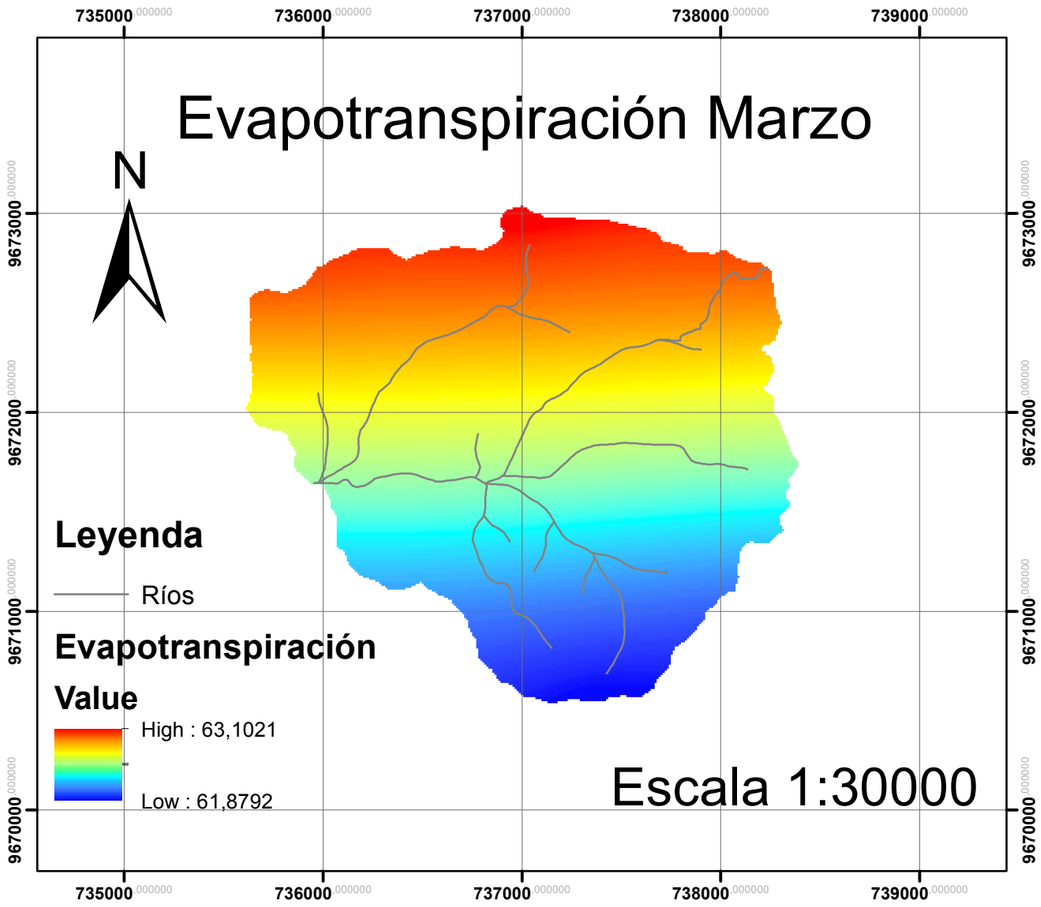


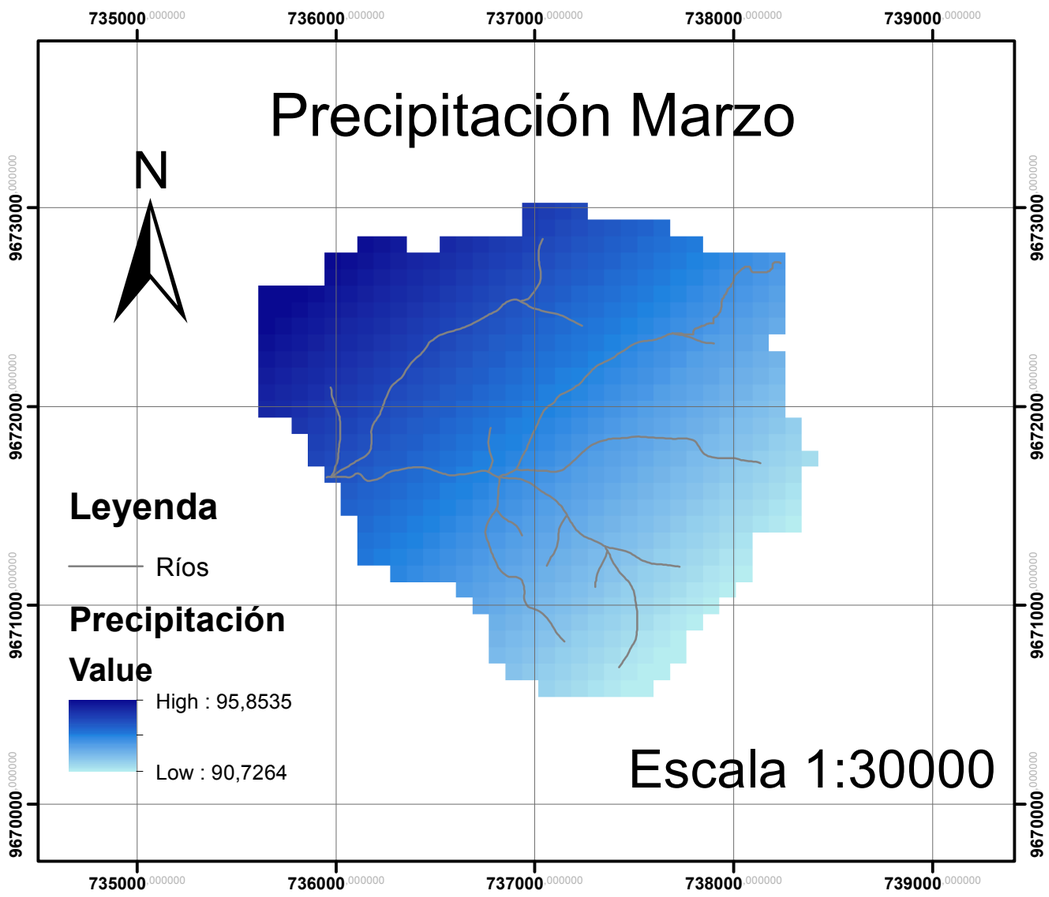


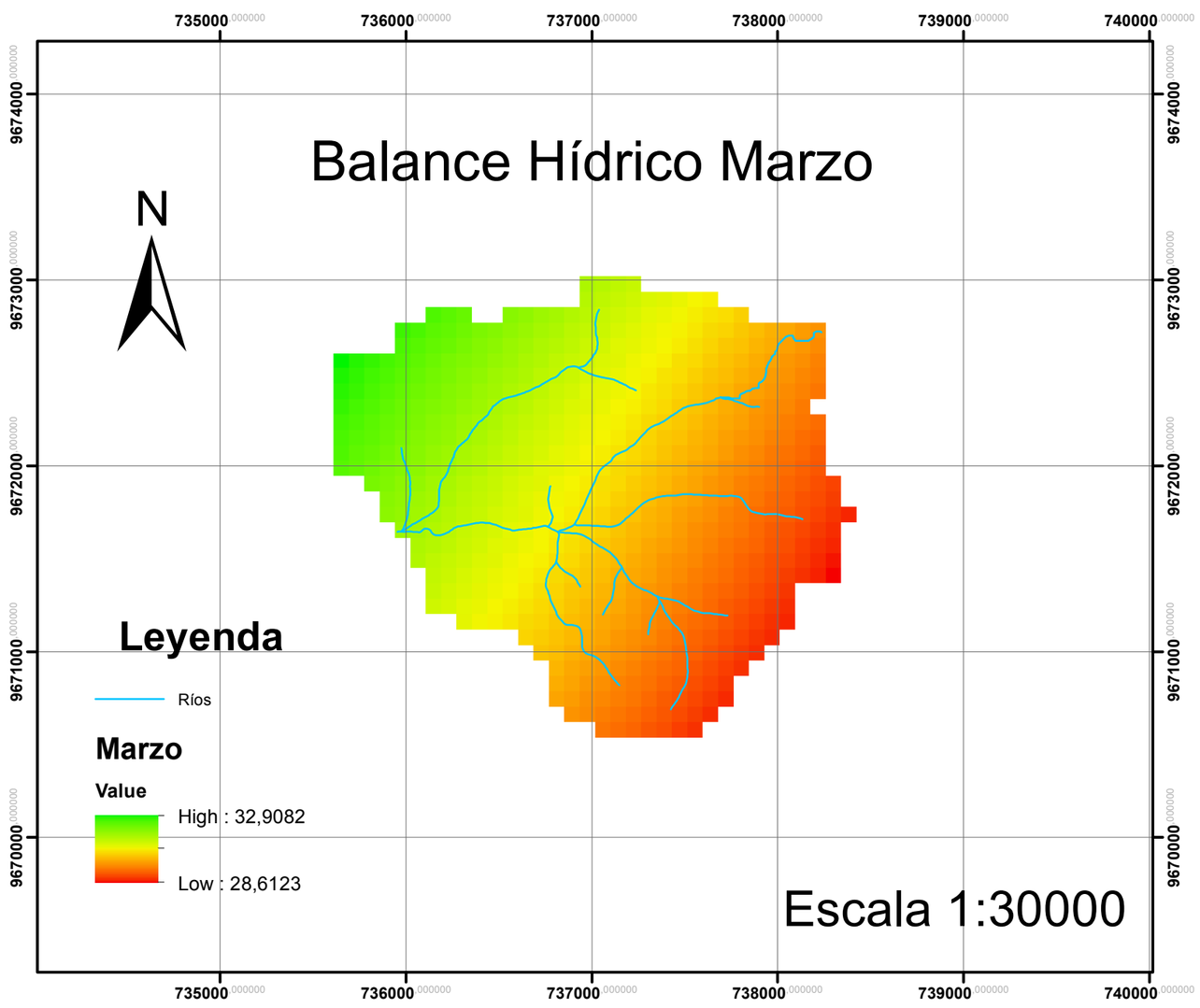


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA					
"ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO".					
MAPA: BALANCE HÍDRICO MES DE FEBRERO HUAYRAPUNGU					
FUENTE:	SNI. IGM.	SISTEMA DE COORDENADAS:	WGS_1984_UTM_Zone_17S	TUTORA:	MSC. PAOLA DUQUE
ELABORADO POR:	YULIO LOOR BARREZUETA	PROYECCIÓN:	Transverse_Mercator	ESCALA:	1:30000

BALANCE HÍDRICO MES DE MARZO HUAYRAPUNGU

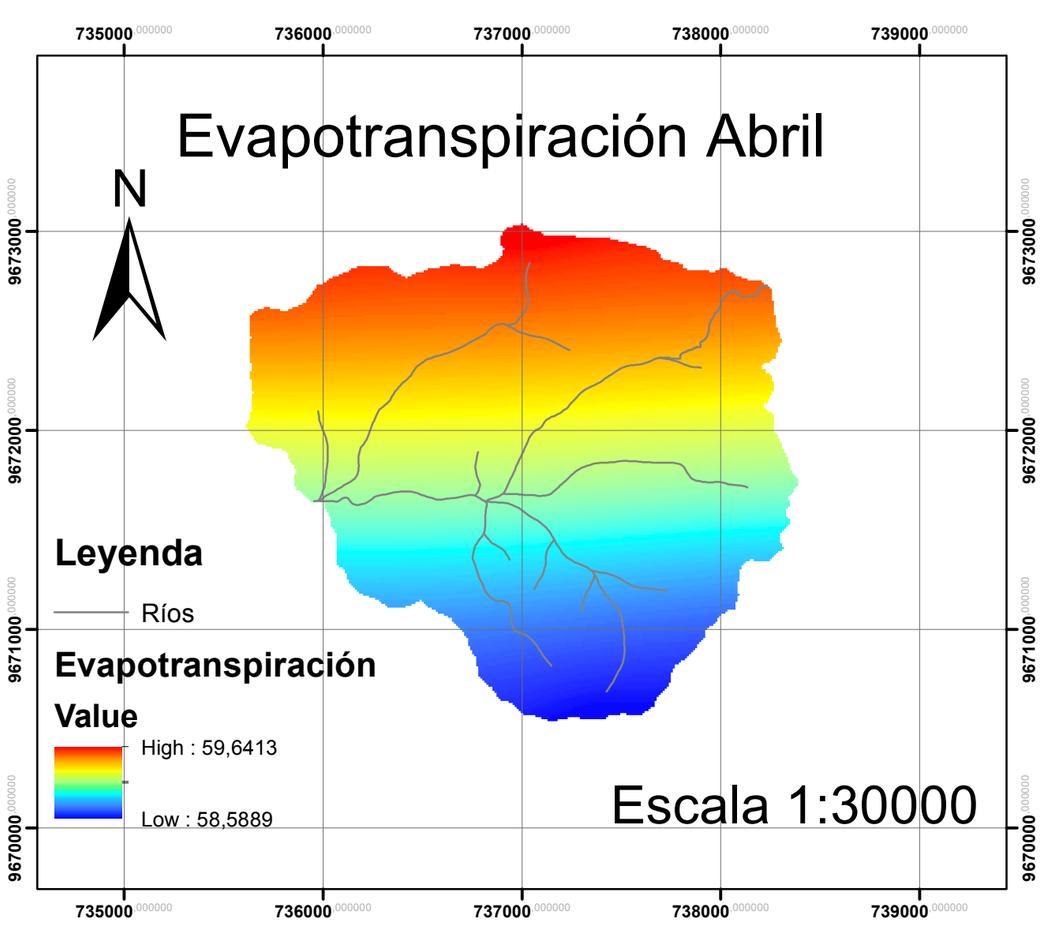


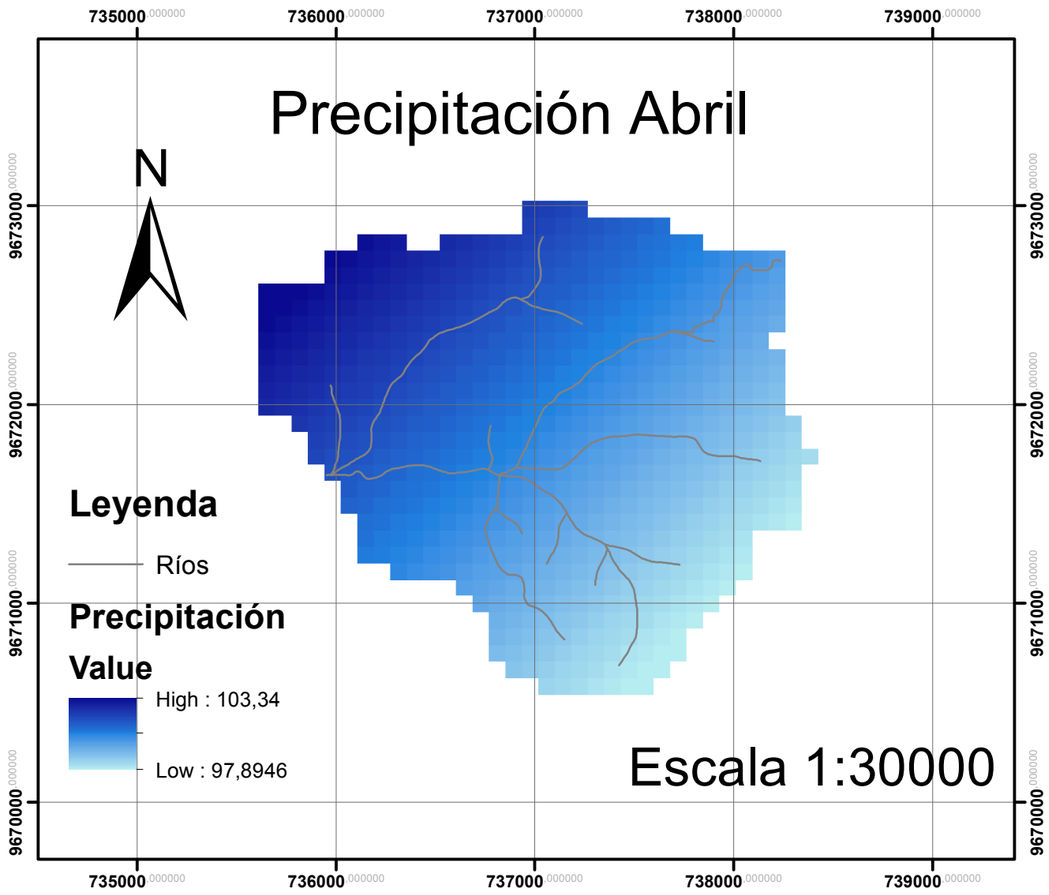


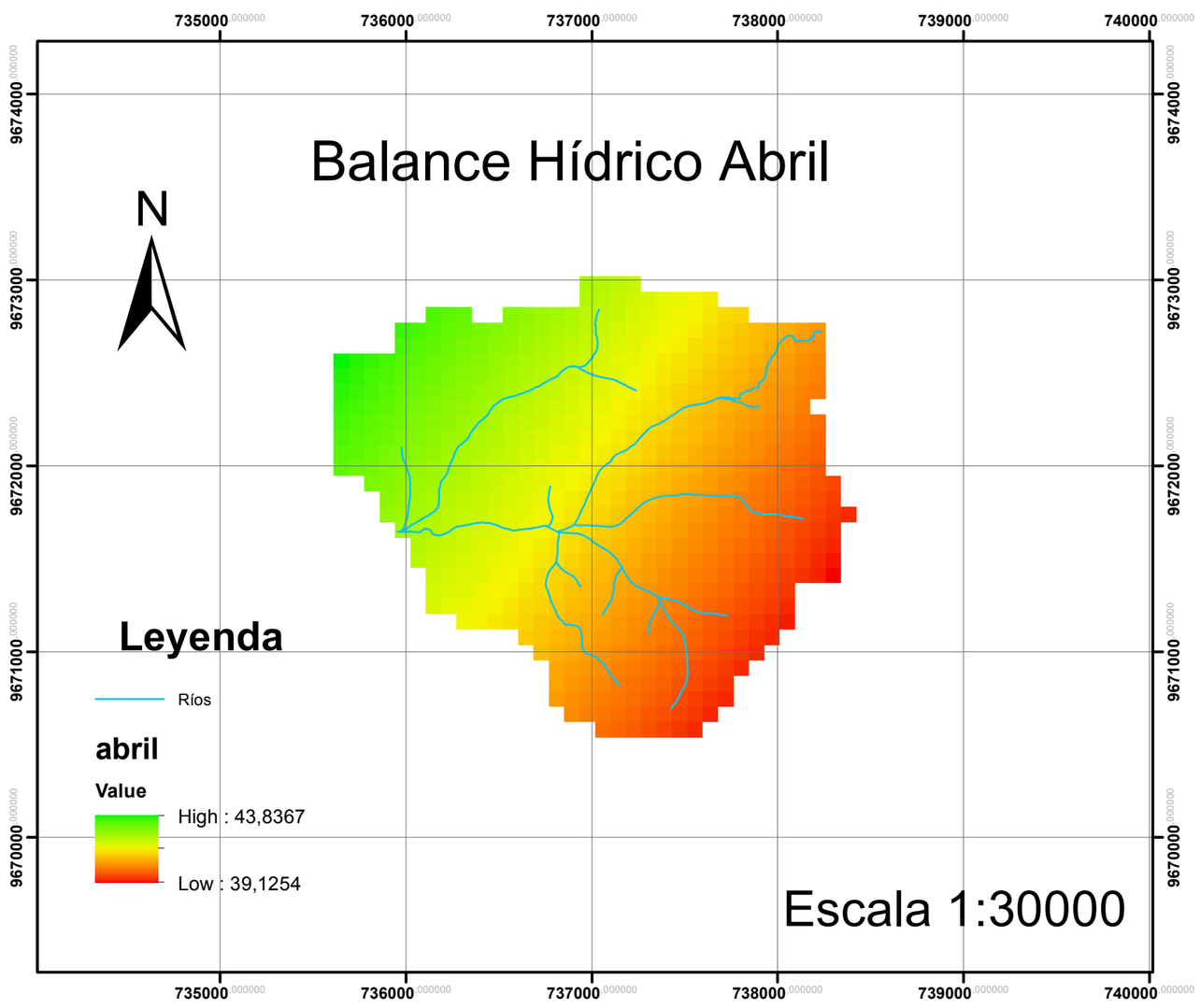


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA					
"ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO".					
MAPA: BALANCE HÍDRICO MES DE MARZO HUAYRAPUNGU					
FUENTE:	SNI. IGM.	SISTEMA DE COORDENADAS:	WGS_1984_UTM_Zone_17S	TUTORA:	MSC. PAOLA DUQUE
ELABORADO POR:	YULIO LOOR BARREZUETA	PROYECCIÓN:	Transverse_Mercator	ESCALA:	1:30000

BALANCE HÍDRICO MES DE ABRIL HUAYRAPUNGU

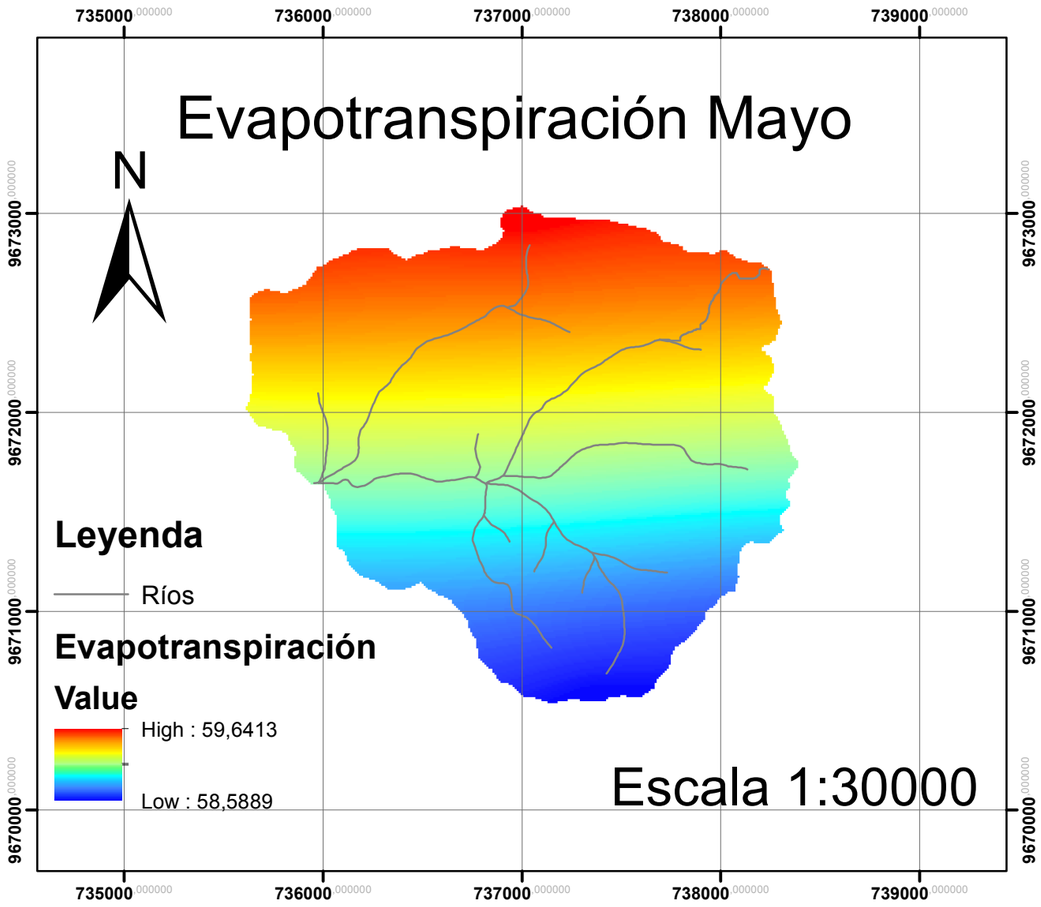


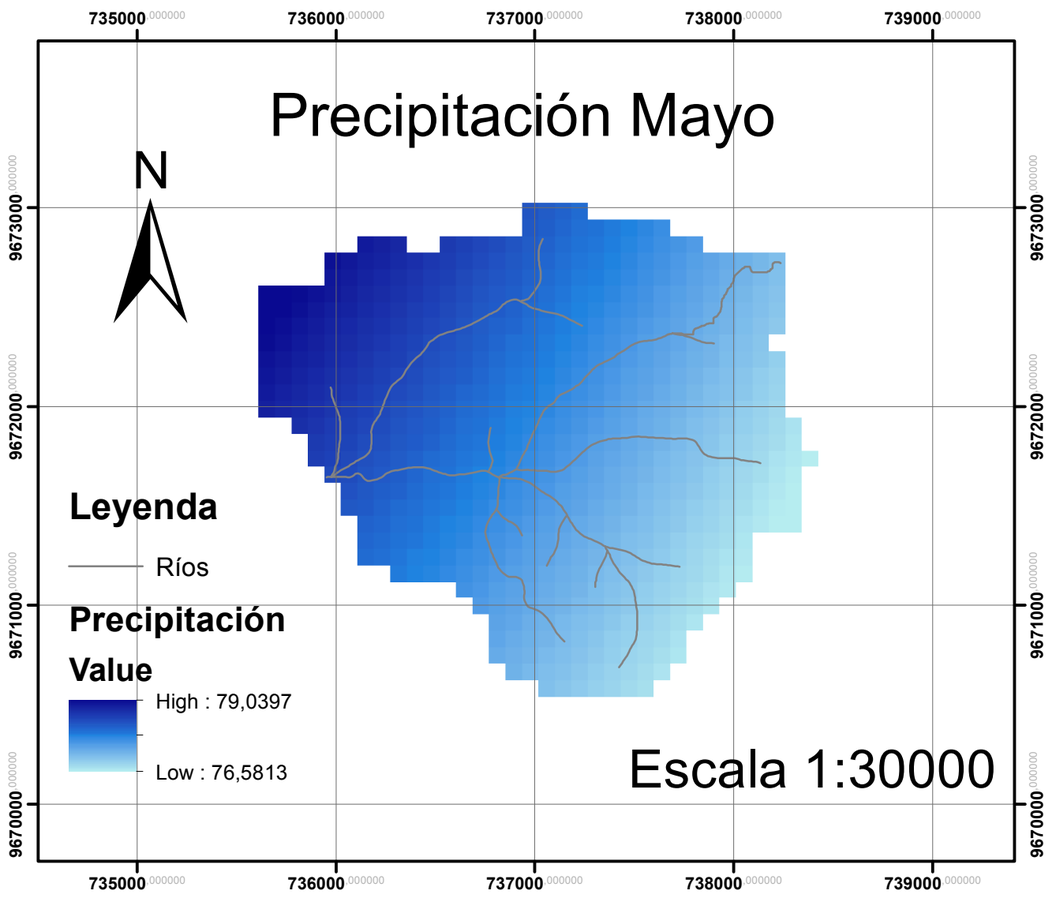


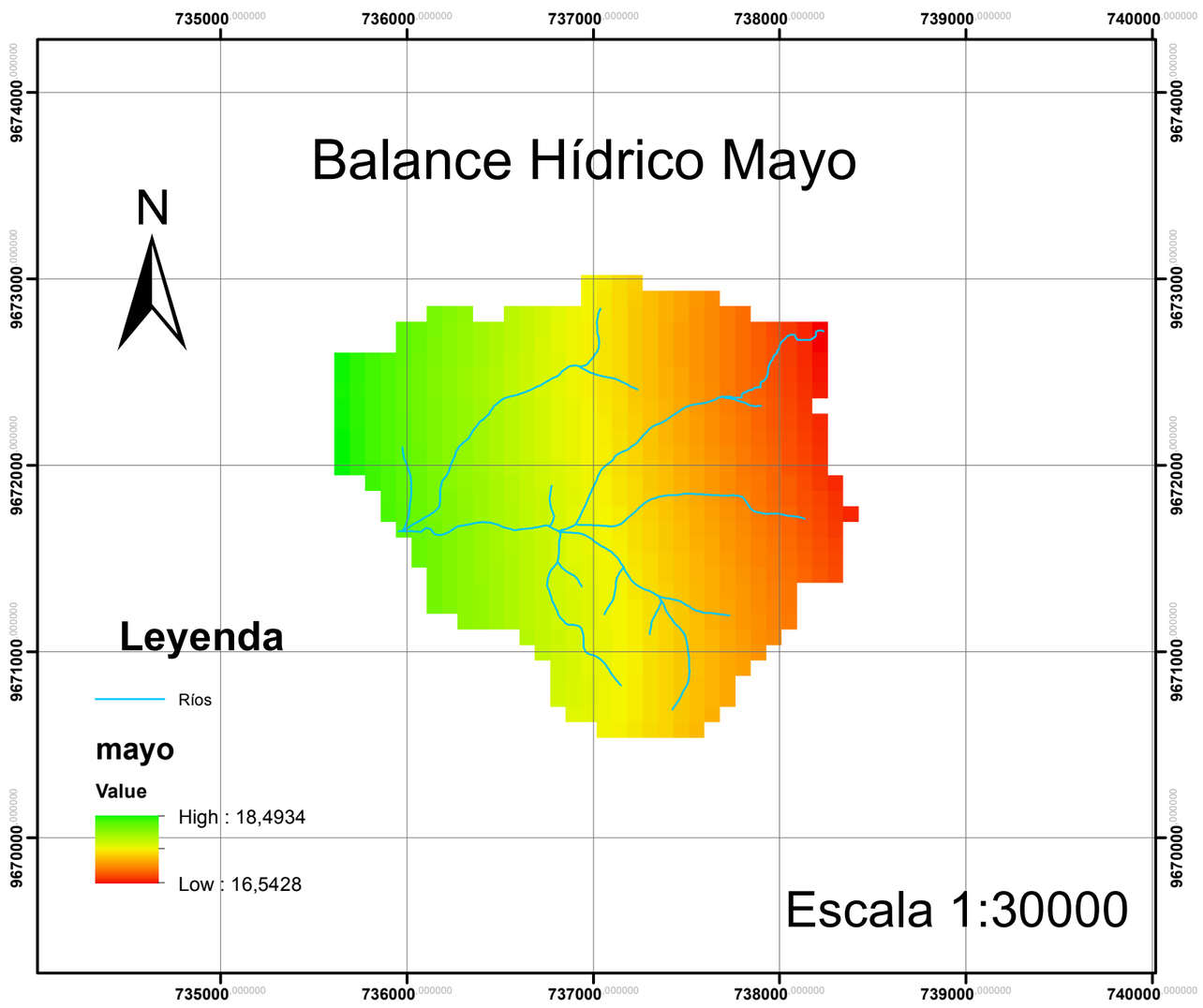


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA					
"ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO".					
MAPA: BALANCE HÍDRICO MES DE ABRIL HUAYRAPUNGU					
FUENTE:	SNI. IGM.	SISTEMA DE COORDENADAS:	WGS_1984_UTM_Zone_17S	TUTORA:	MSC. PAOLA DUQUE
ELABORADO POR:	YULIO LOOR BARREZUETA	PROYECCIÓN:	Transverse_Mercator	ESCALA:	1:30000

BALANCE HÍDRICO MES DE MAYO HUAYRAPUNGU

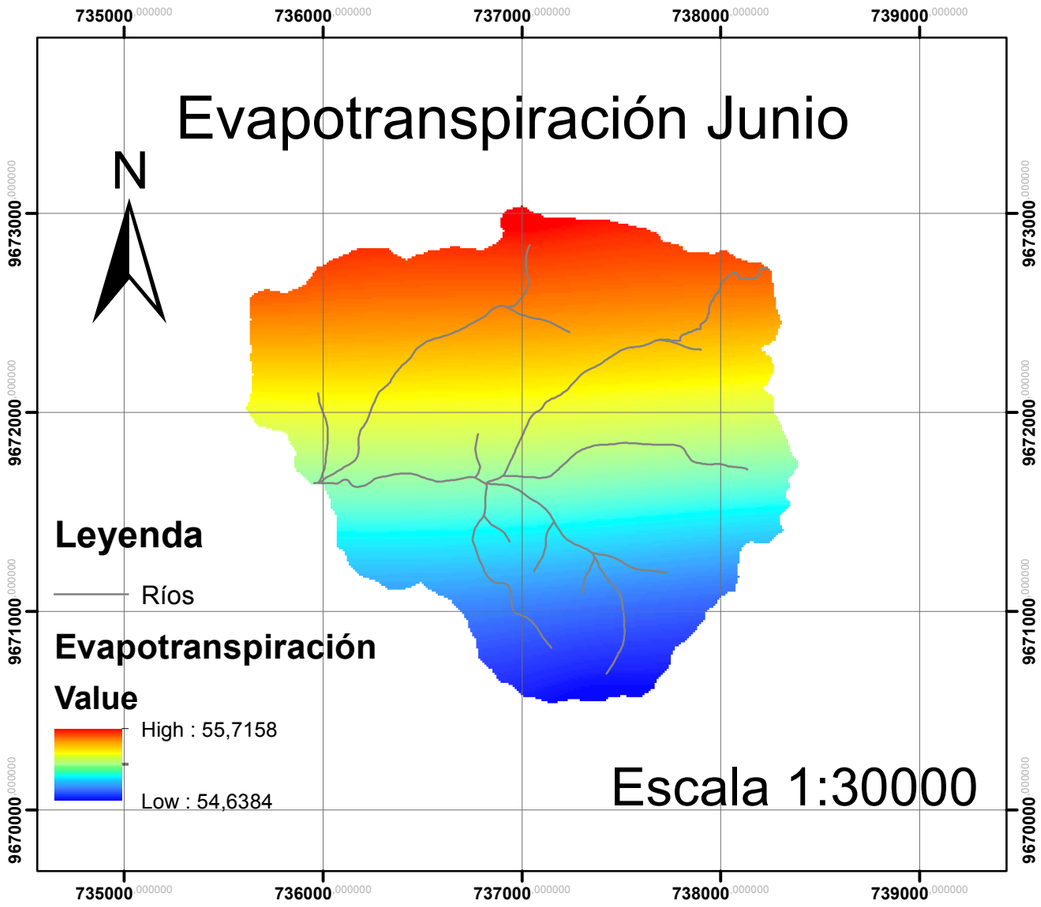


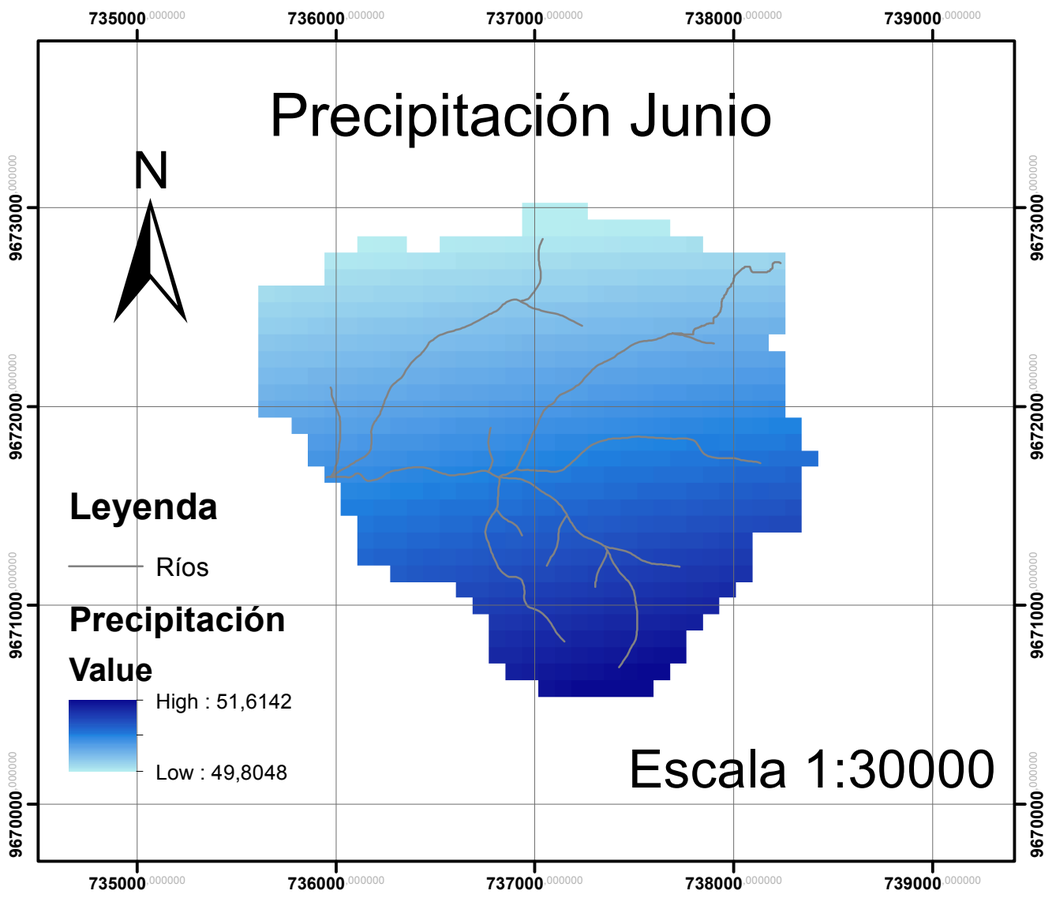


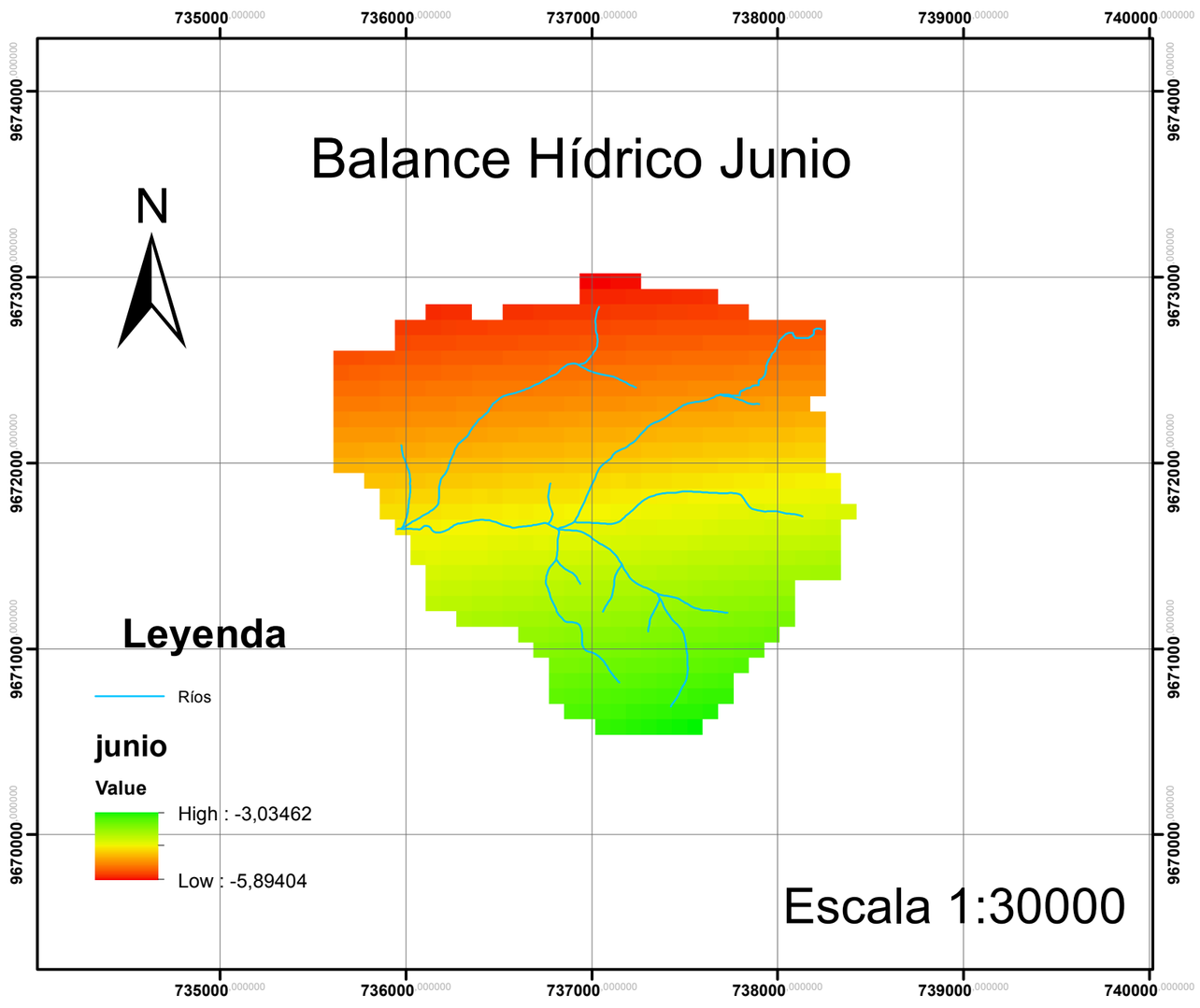


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA					
"ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO".					
MAPA: BALANCE HÍDRICO MES DE MAYO HUAYRAPUNGU					
FUENTE:	SNI. IGM.	SISTEMA DE COORDENADAS:	WGS_1984_UTM_Zone_17S	TUTORA:	MSC. PAOLA DUQUE
ELABORADO POR:	YULIO LOOR BARREZUETA	PROYECCIÓN:	Transverse_Mercator	ESCALA:	1:30000

BALANCE HÍDRICO MES DE JUNIO HUAYRAPUNGU

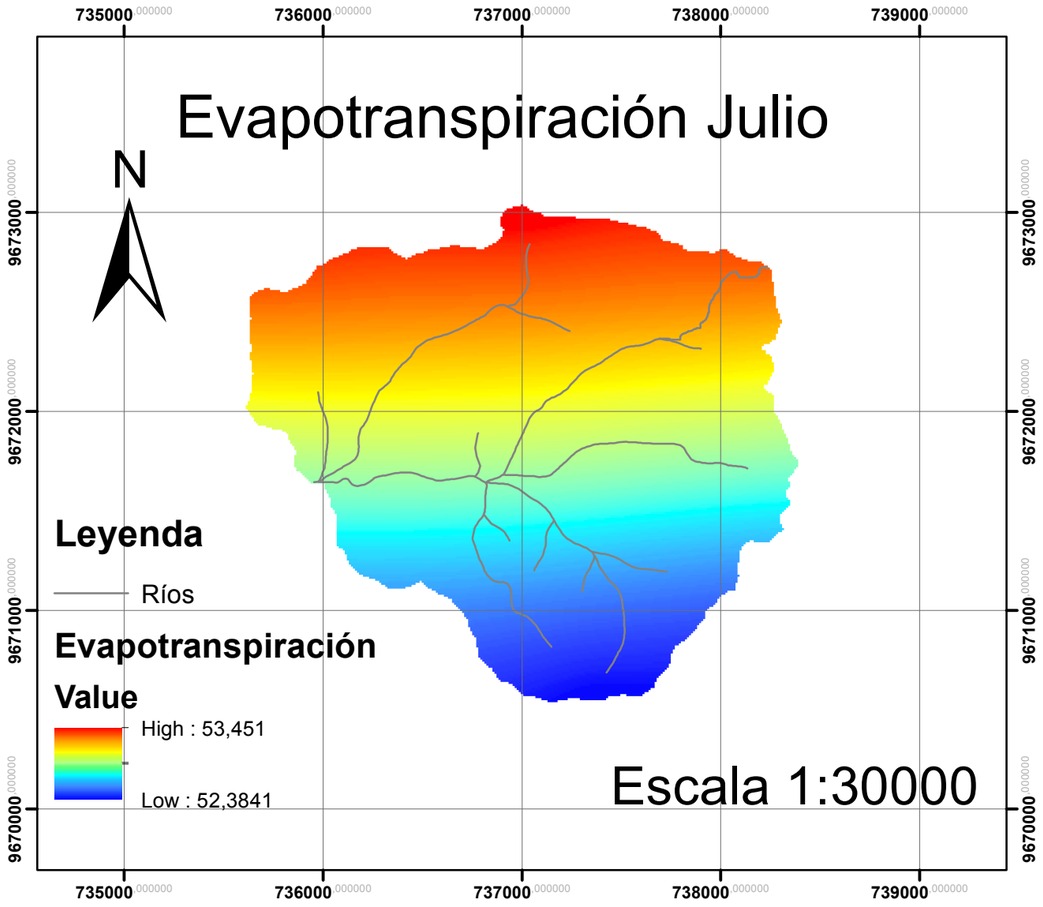


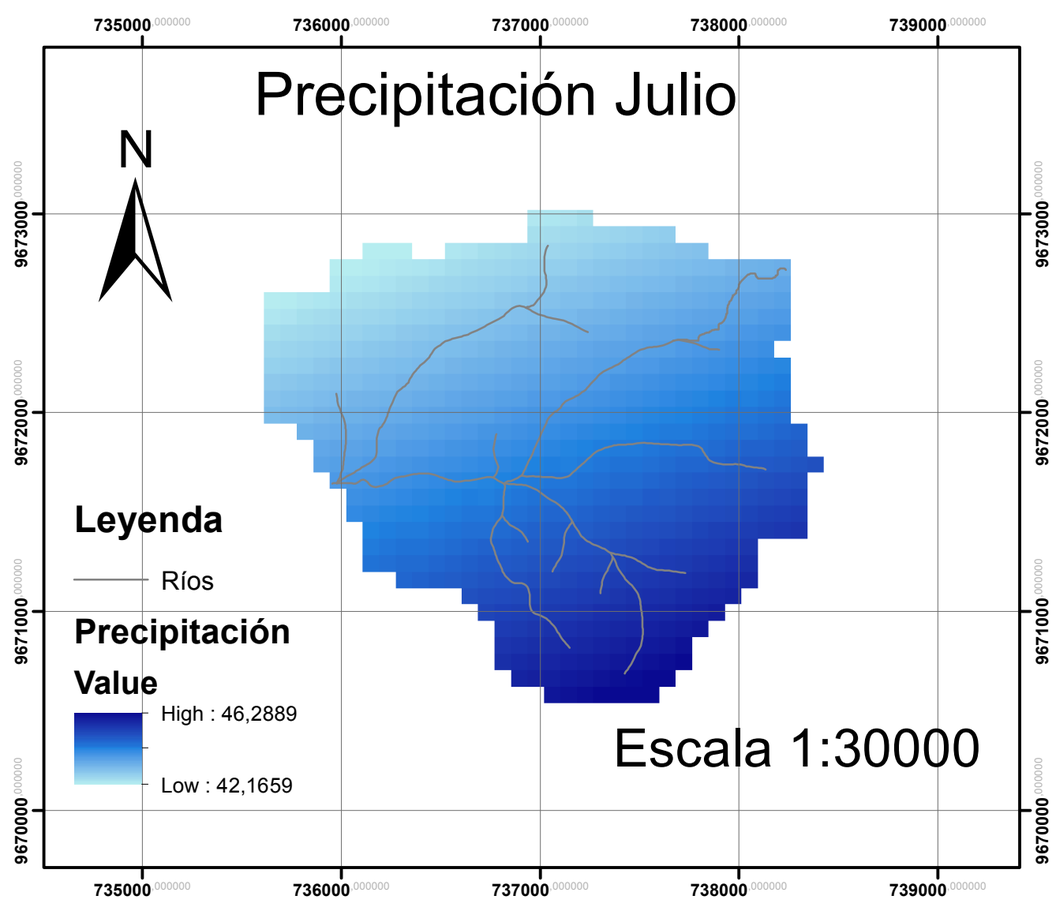


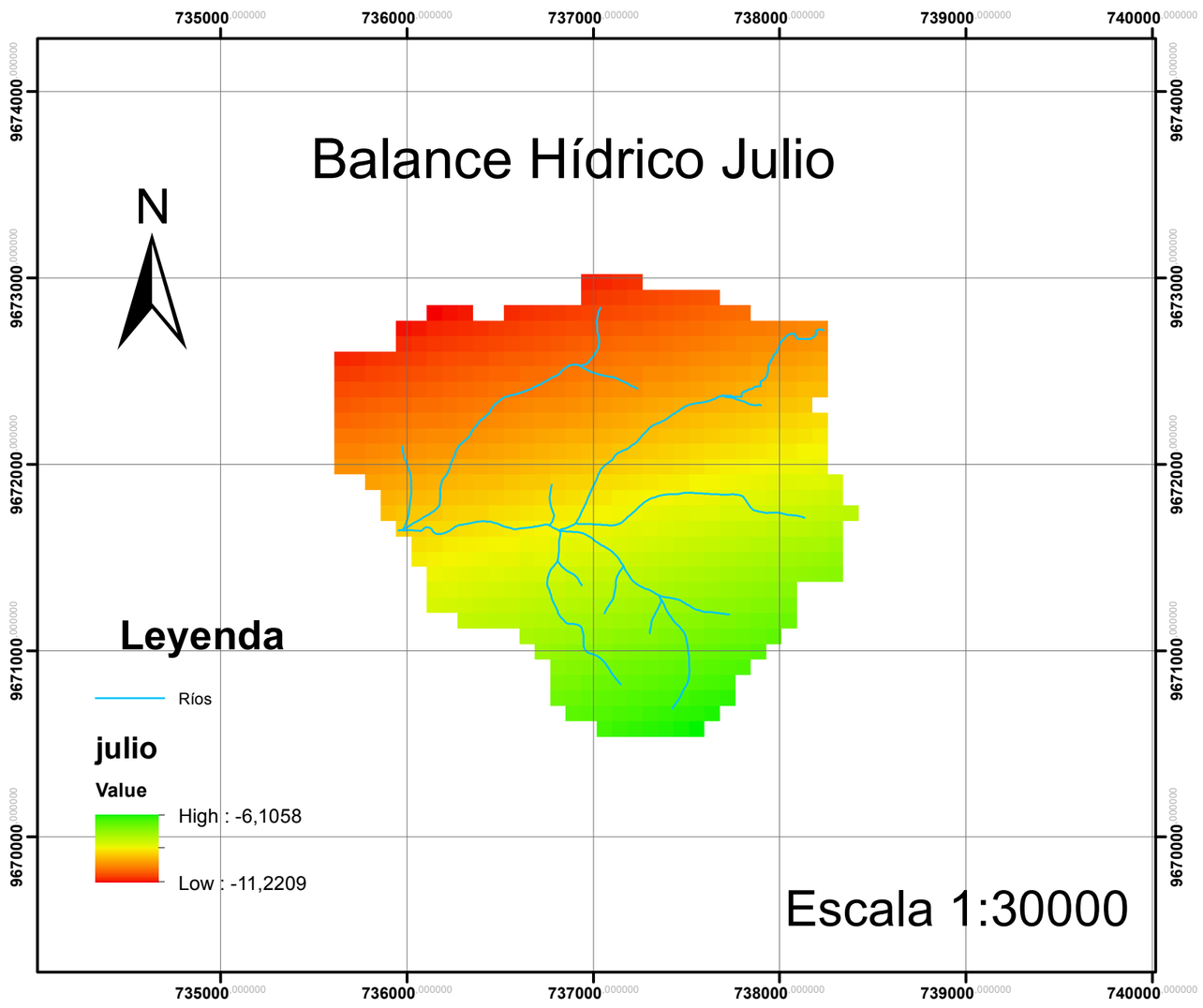


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA					
"ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO".					
MAPA: BALANCE HÍDRICO MES DE JUNIO HUAYRAPUNGU					
FUENTE:	SNI. IGM.	SISTEMA DE COORDENADAS:	WGS_1984_UTM_Zone_17S	TUTORA:	MSC. PAOLA DUQUE
ELABORADO POR:	YULIO LOOR BARREZUETA	PROYECCIÓN:	Transverse_Mercator	ESCALA:	1:30000

BALANCE HÍDRICO MES DE JULIO HUAYRAPUNGU

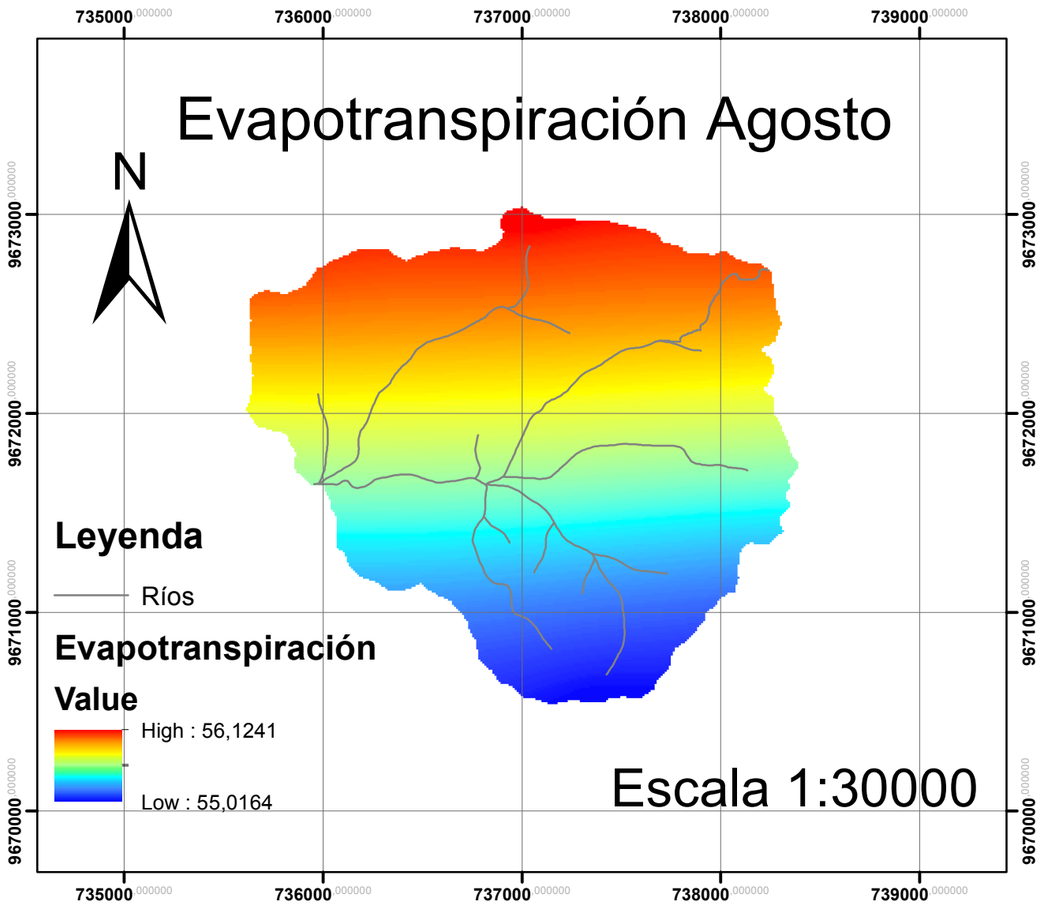


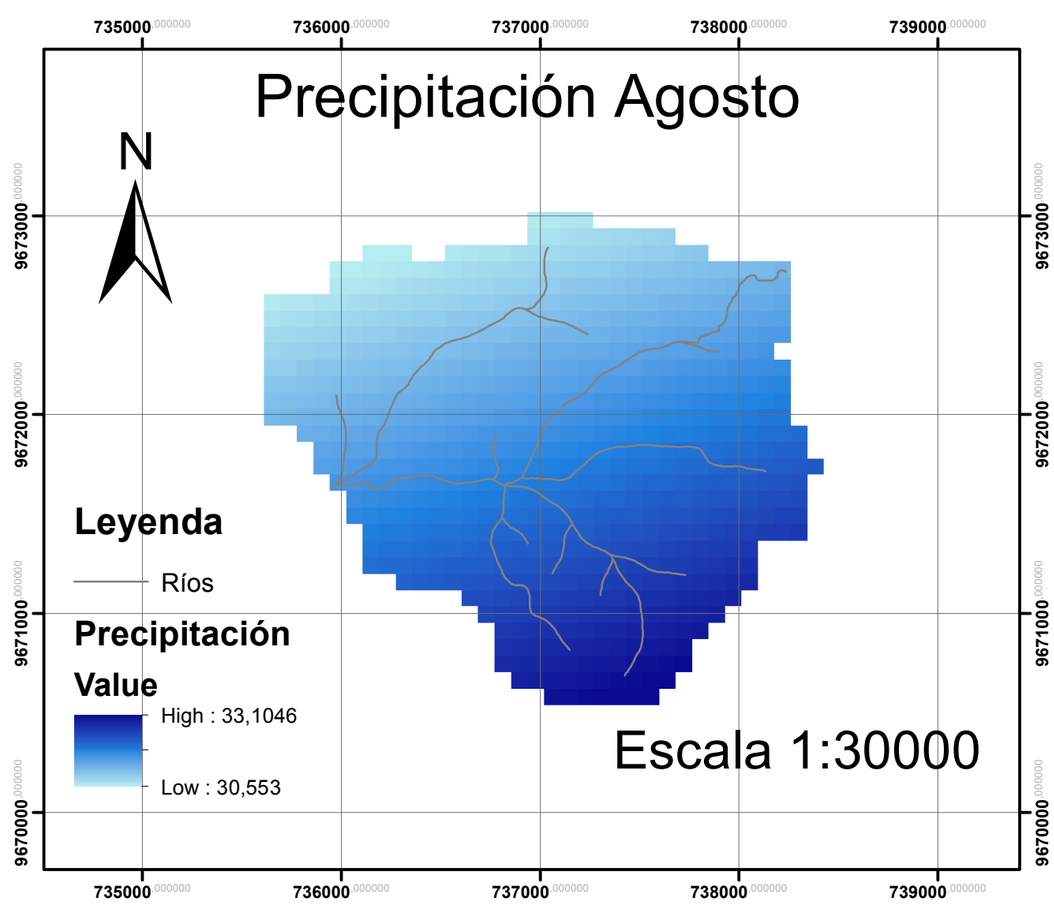


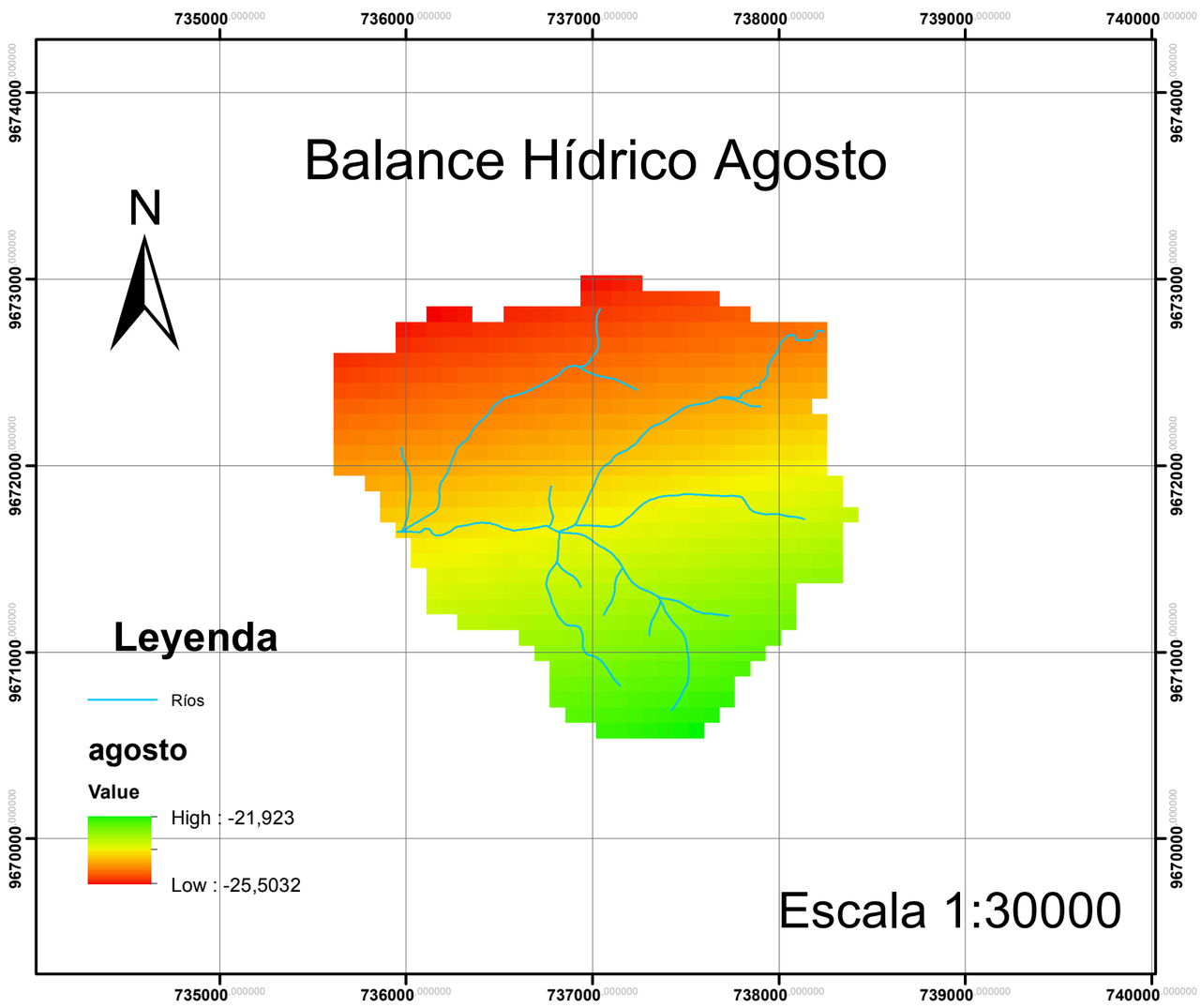


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA					
"ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO".					
MAPA: BALANCE HÍDRICO MES DE JULIO HUAYRAPUNGU					
FUENTE:	SNI. IGM.	SISTEMA DE COORDENADAS:	WGS_1984_UTM_Zone_17S	TUTORA:	MSC. PAOLA DUQUE
ELABORADO POR:	YULIO LOOR BARREZUETA	PROYECCIÓN:	Transverse_Mercator	ESCALA:	1:30000

BALANCE HÍDRICO MES DE AGOSTO HUAYRAPUNGU

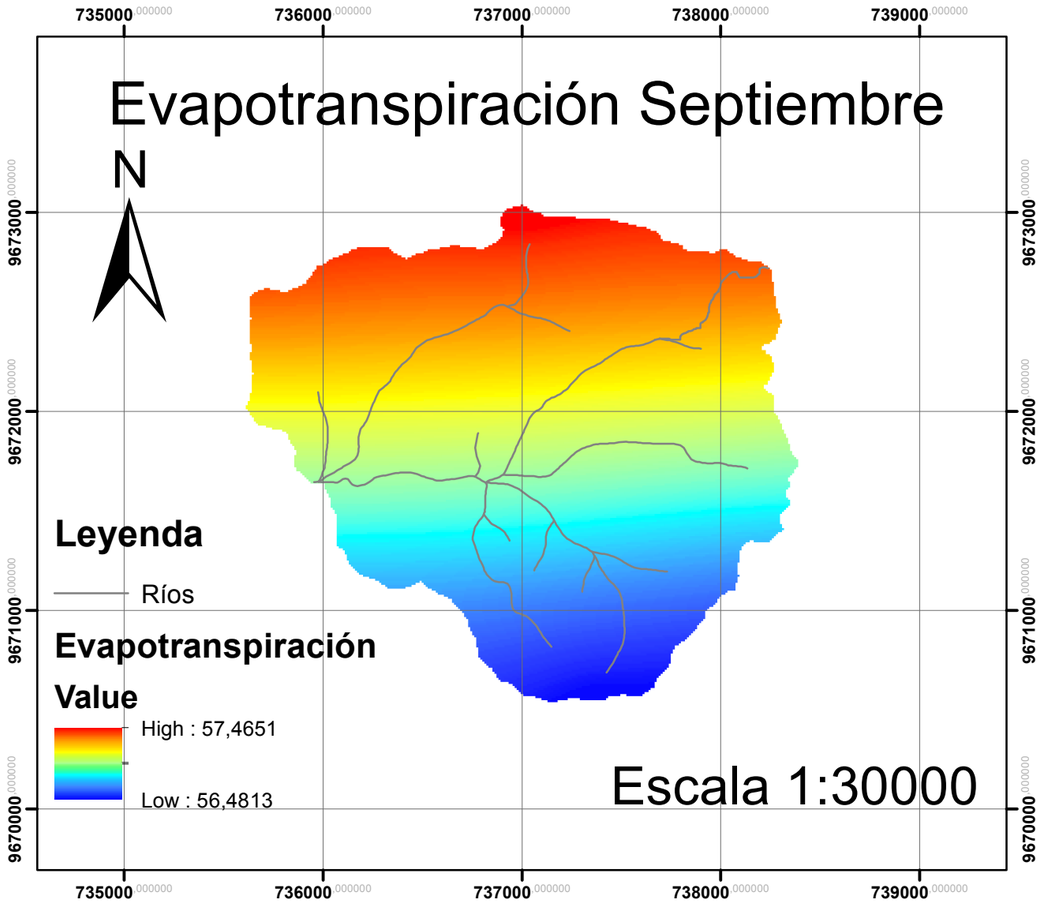


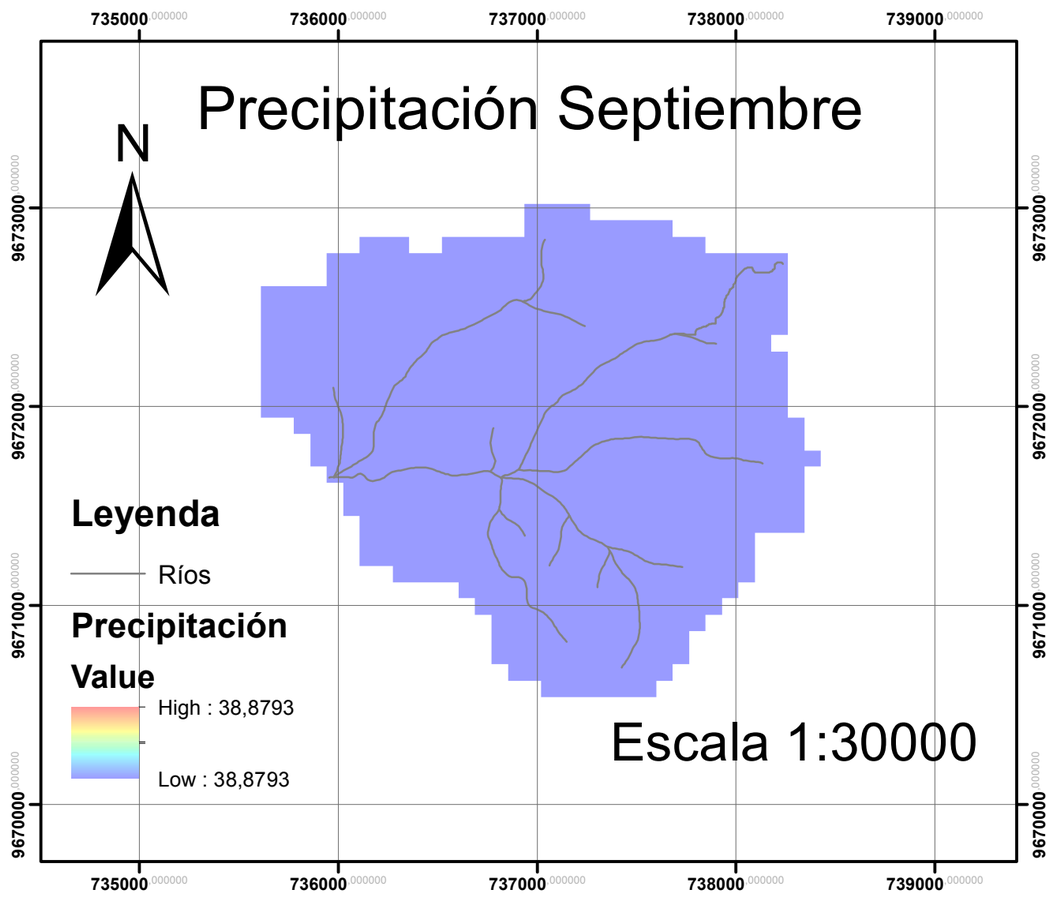


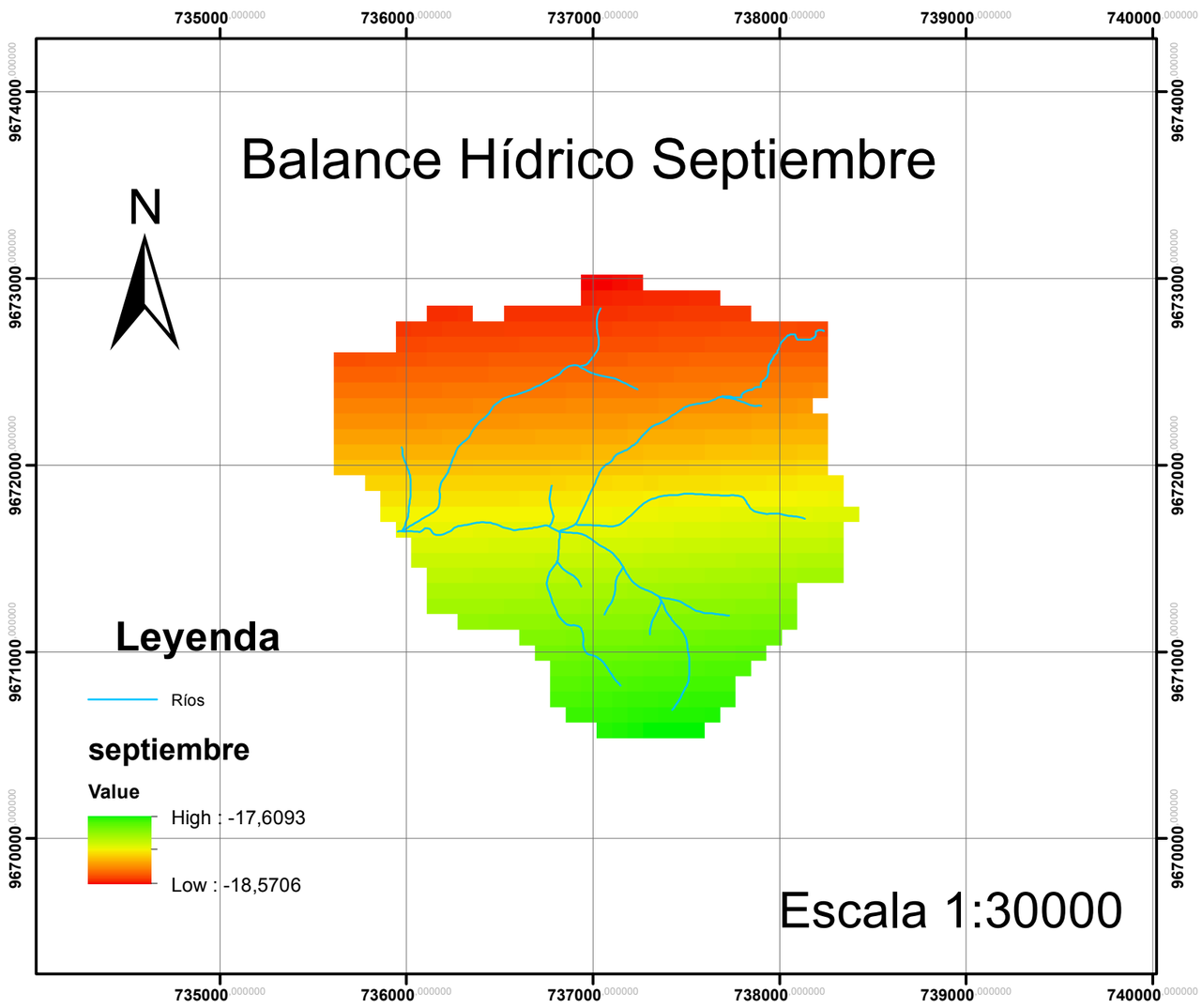


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA					
"ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO".					
MAPA: BALANCE HÍDRICO MES DE AGOSTO HUAYRAPUNGU					
FUENTE:	SNI. IGM.	SISTEMA DE COORDENADAS:	WGS_1984_UTM_Zone_17S	TUTORA:	MSC. PAOLA DUQUE
ELABORADO POR:	YULIO LOOR BARREZUETA	PROYECCIÓN:	Transverse_Mercator	ESCALA:	1:30000

BALANCE HÍDRICO MES DE SEPTIEMBRE HUAYRAPUNGU

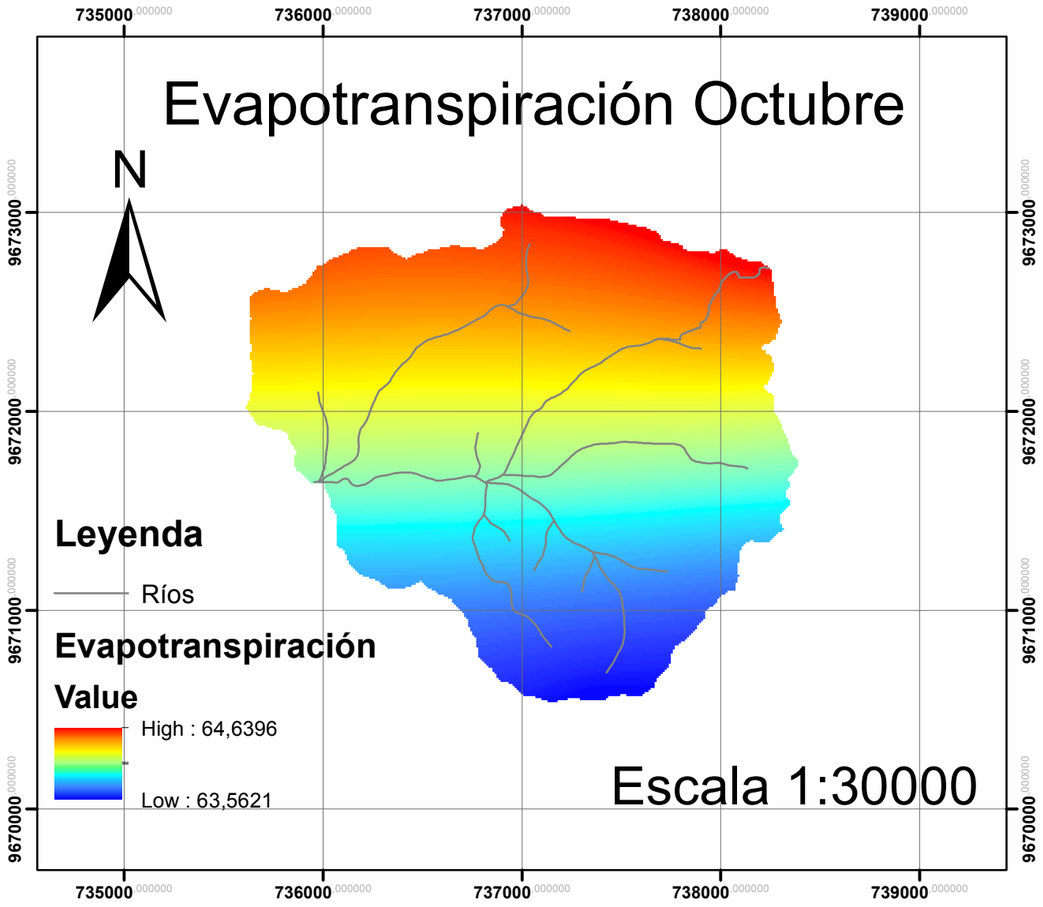


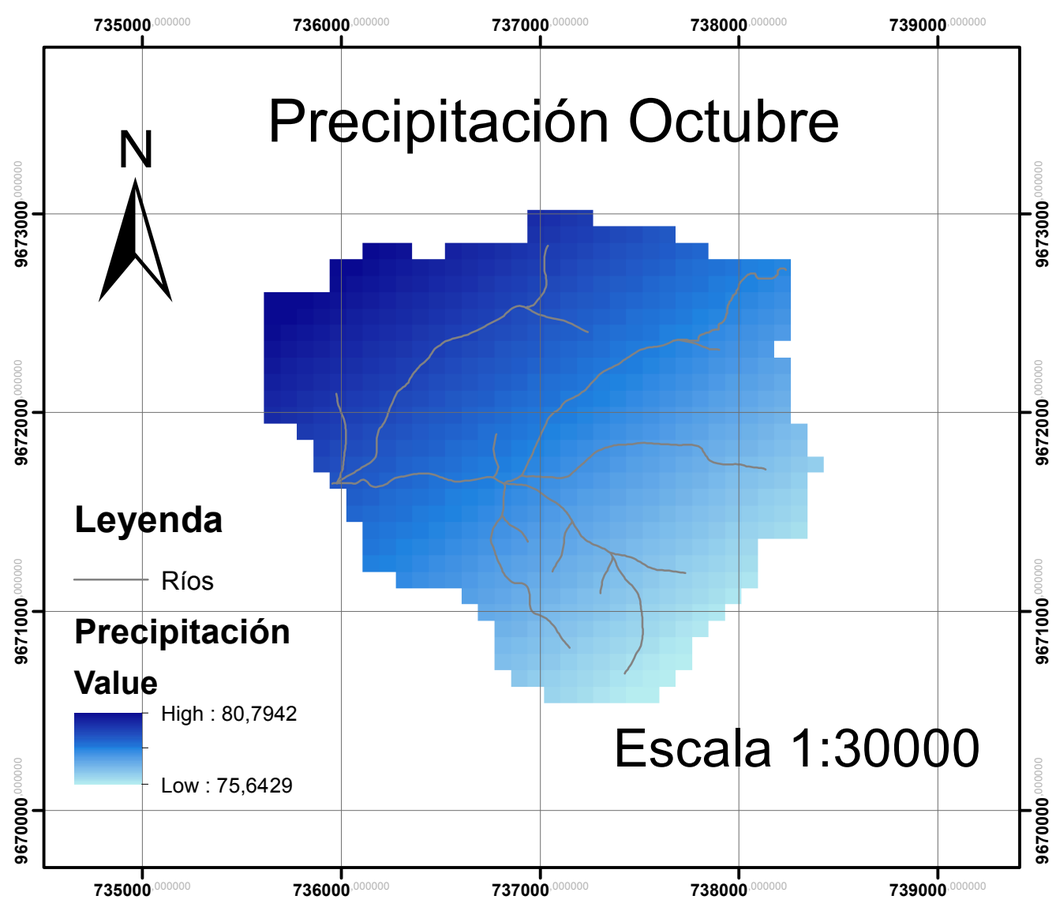


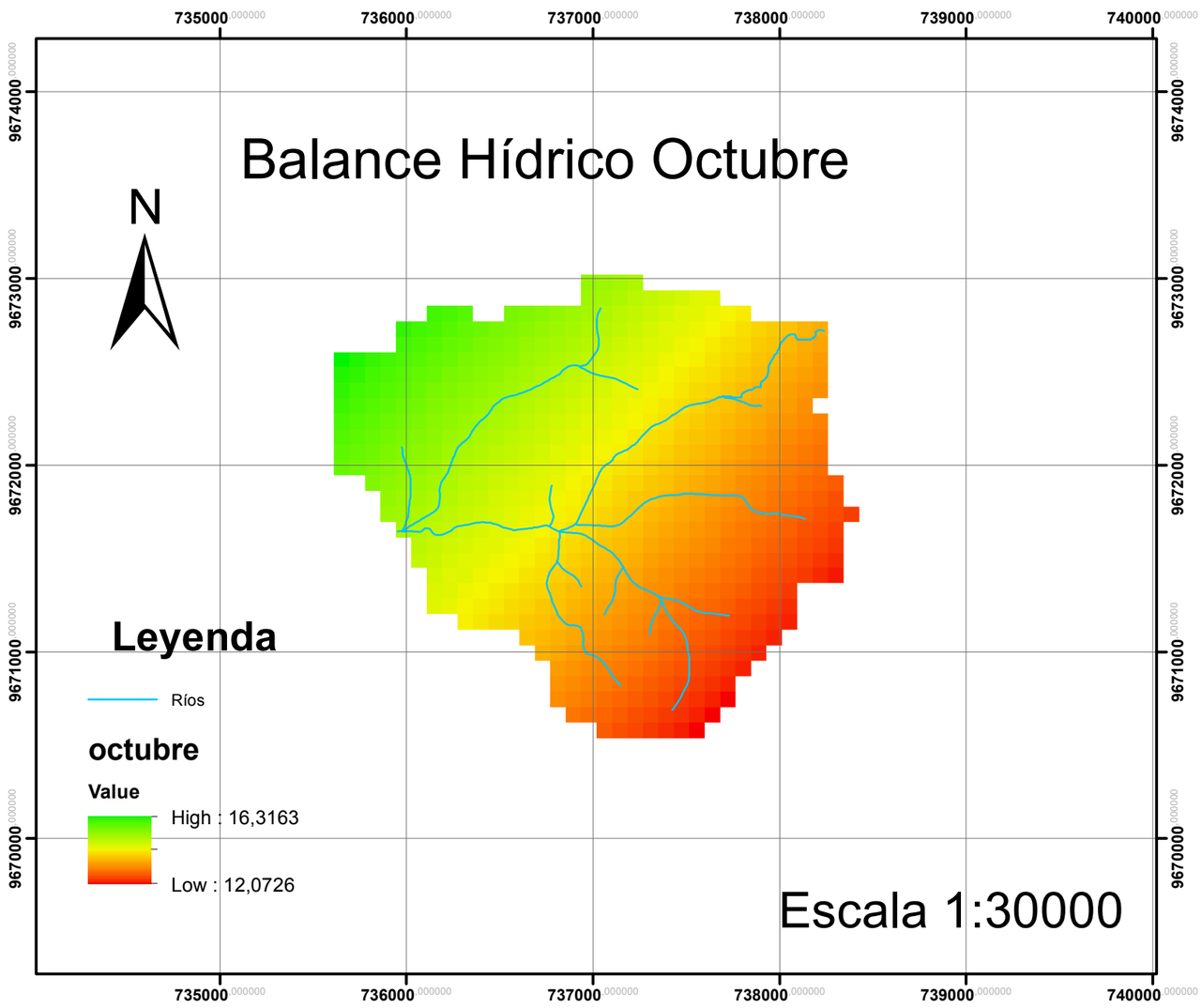


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA					
"ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO".					
MAPA: BALANCE HÍDRICO MES DE SEPTIEMBRE HUAYRAPUNGU					
FUENTE:	SNI. IGM.	SISTEMA DE COORDENADAS:	WGS_1984_UTM_Zone_17S	TUTORA:	MSC. PAOLA DUQUE
ELABORADO POR:	YULIO LOOR BARREZUETA	PROYECCIÓN:	Transverse_Mercator	ESCALA:	1:30000

BALANCE HÍDRICO MES DE OCTUBRE HUAYRAPUNGU

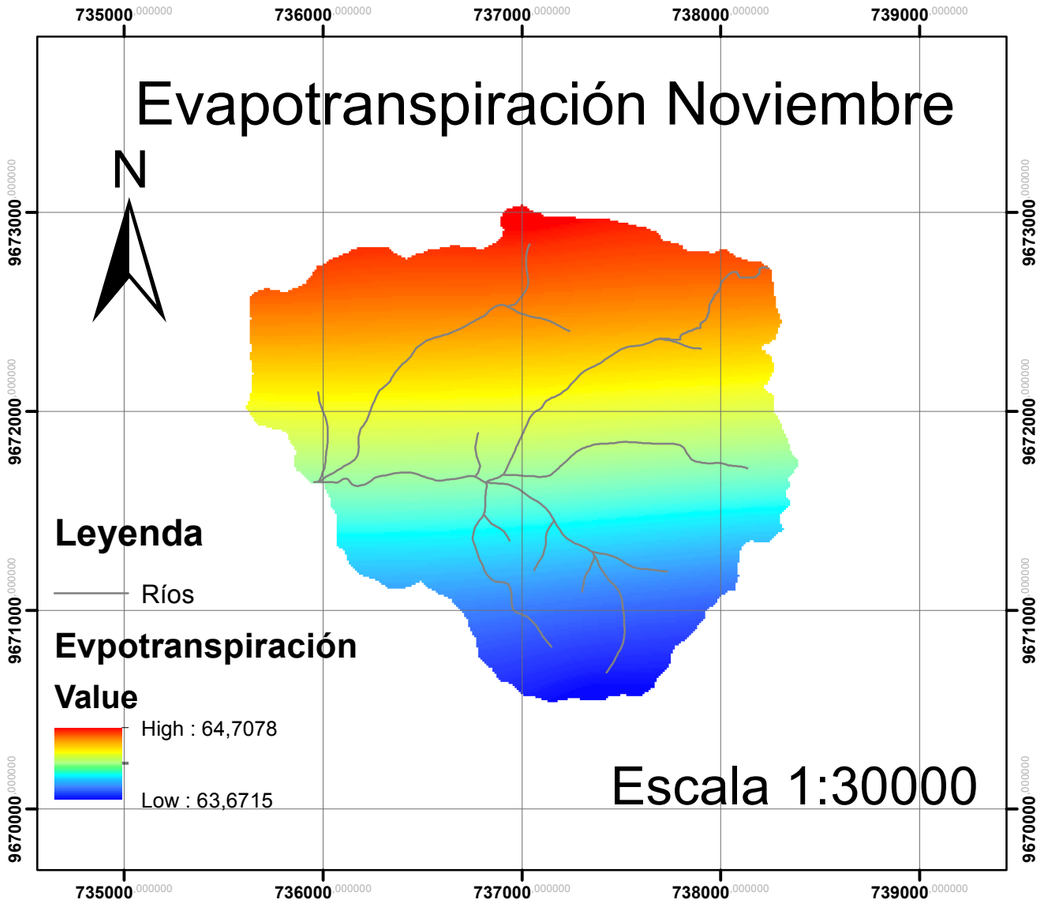


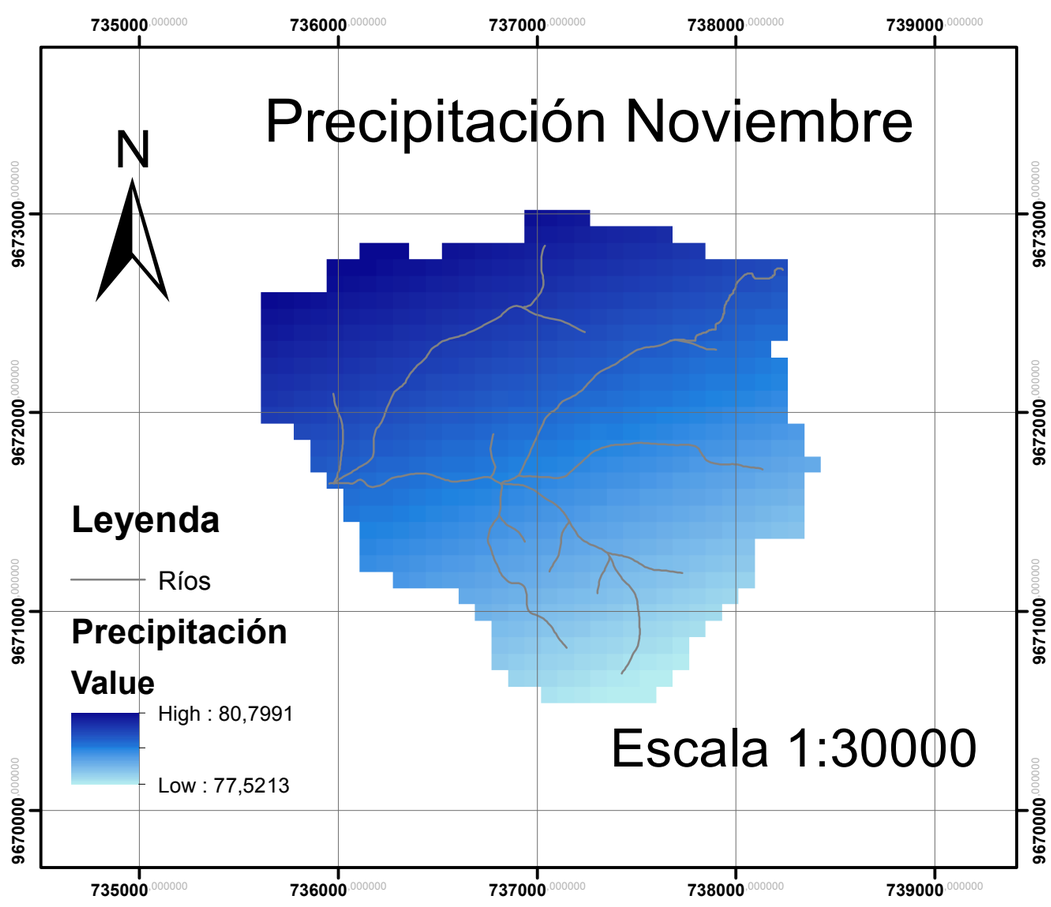


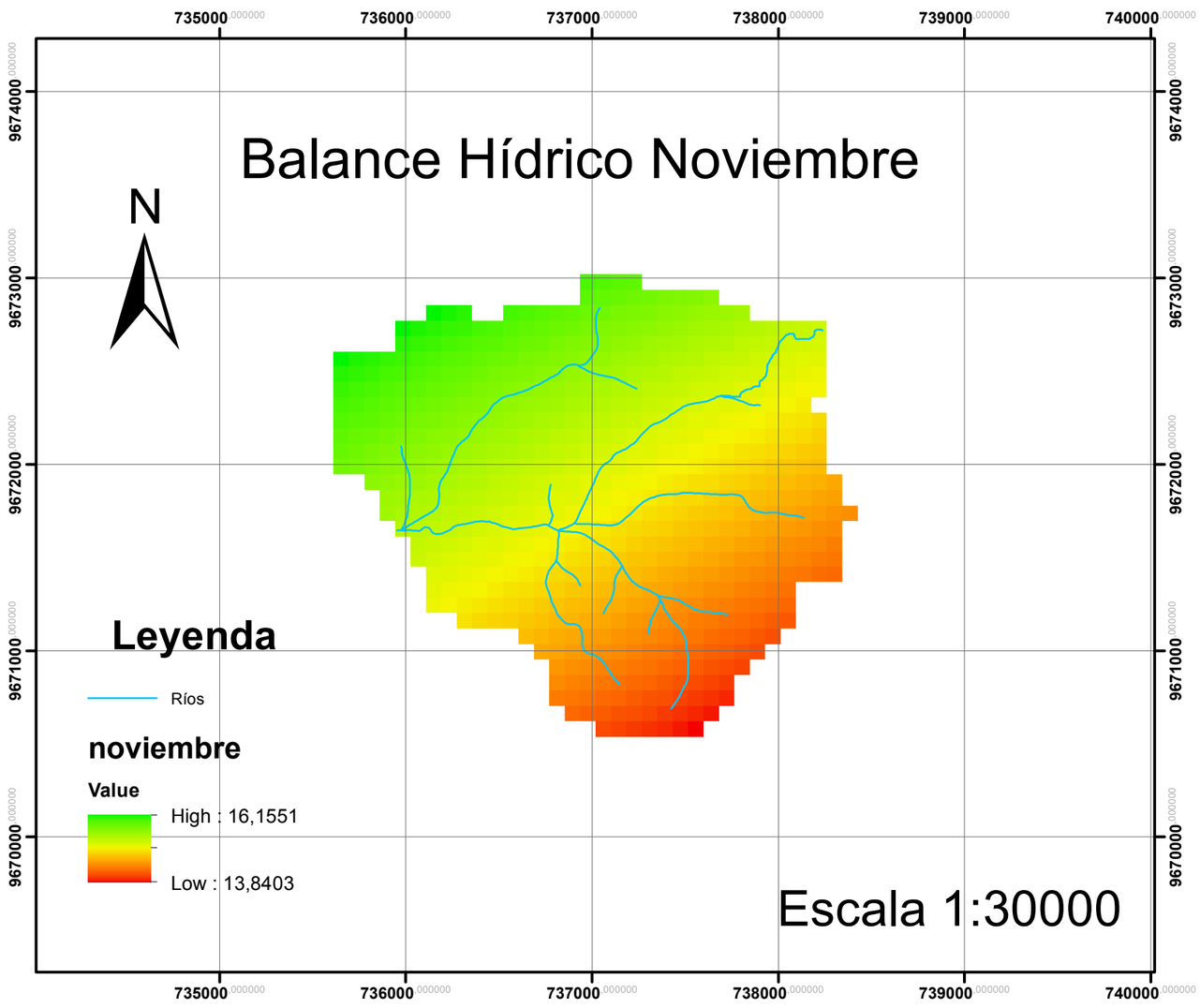


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA					
"ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO".					
MAPA: BALANCE HÍDRICO MES DE OCTUBRE HUAYRAPUNGU					
FUENTE:	SNI. IGM.	SISTEMA DE COORDENADAS:	WGS_1984_UTM_Zone_17S	TUTORA:	MSC. PAOLA DUQUE
ELABORADO POR:	YULIO LOOR BARREZUETA	PROYECCIÓN:	Transverse_Mercator	ESCALA:	1:30000

BALANCE HÍDRICO MES DE NOVIEMBRE HUAYRAPUNGU

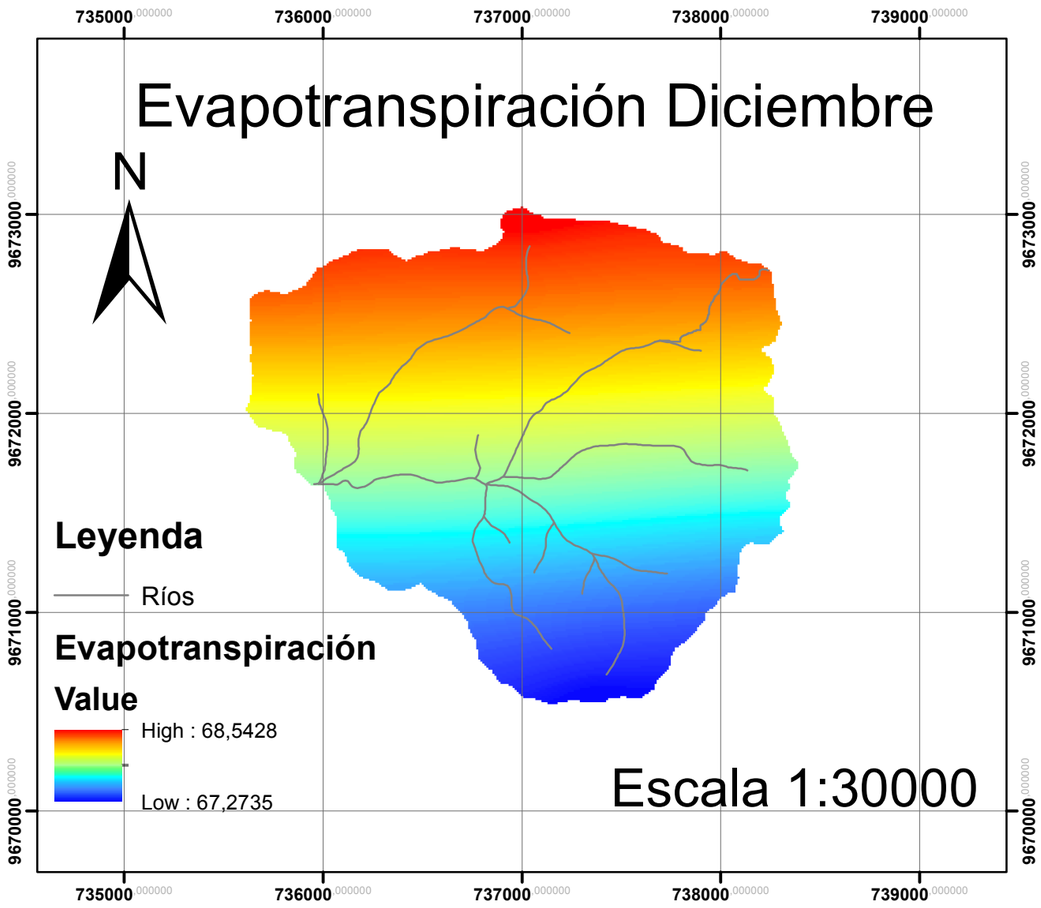


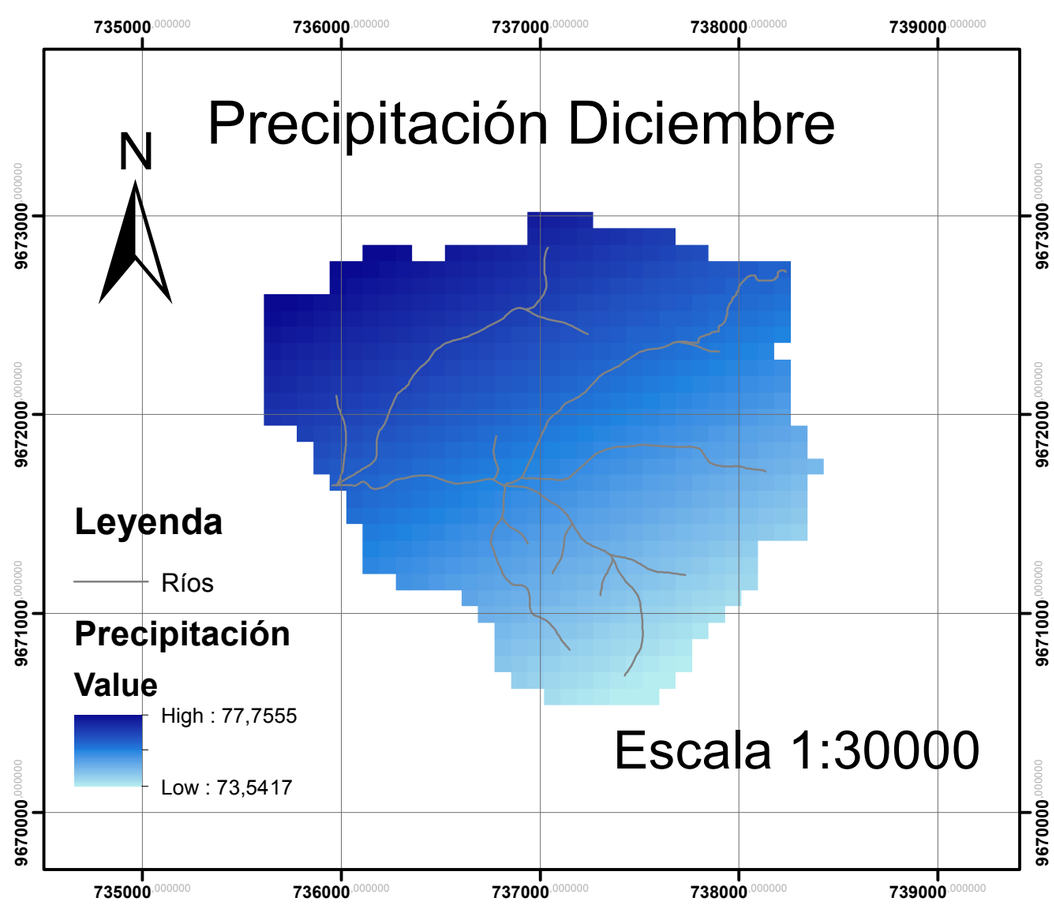


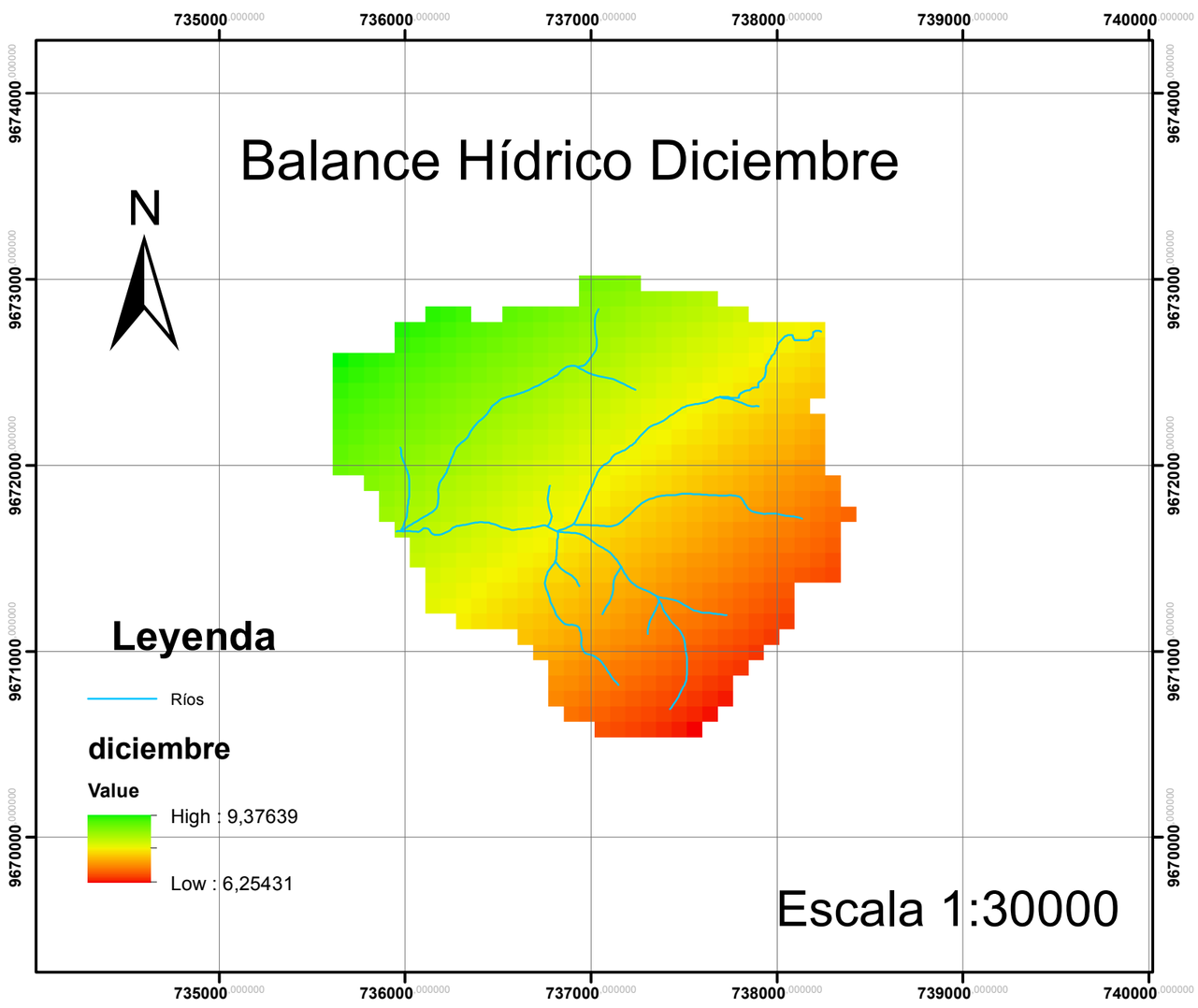


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA					
"ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO".					
MAPA: BALANCE HÍDRICO MES DE NOVIEMBRE HUAYRAPUNGU					
FUENTE:	SNI. IGM.	SISTEMA DE COORDENADAS:	WGS_1984_UTM_Zone_17S	TUTORA:	MSC. PAOLA DUQUE
ELABORADO POR:	YULIO LOOR BARREZUETA	PROYECCIÓN:	Transverse_Mercator	ESCALA:	1:30000

BALANCE HÍDRICO MES DE DICIEMBRE HUAYRAPUNGU

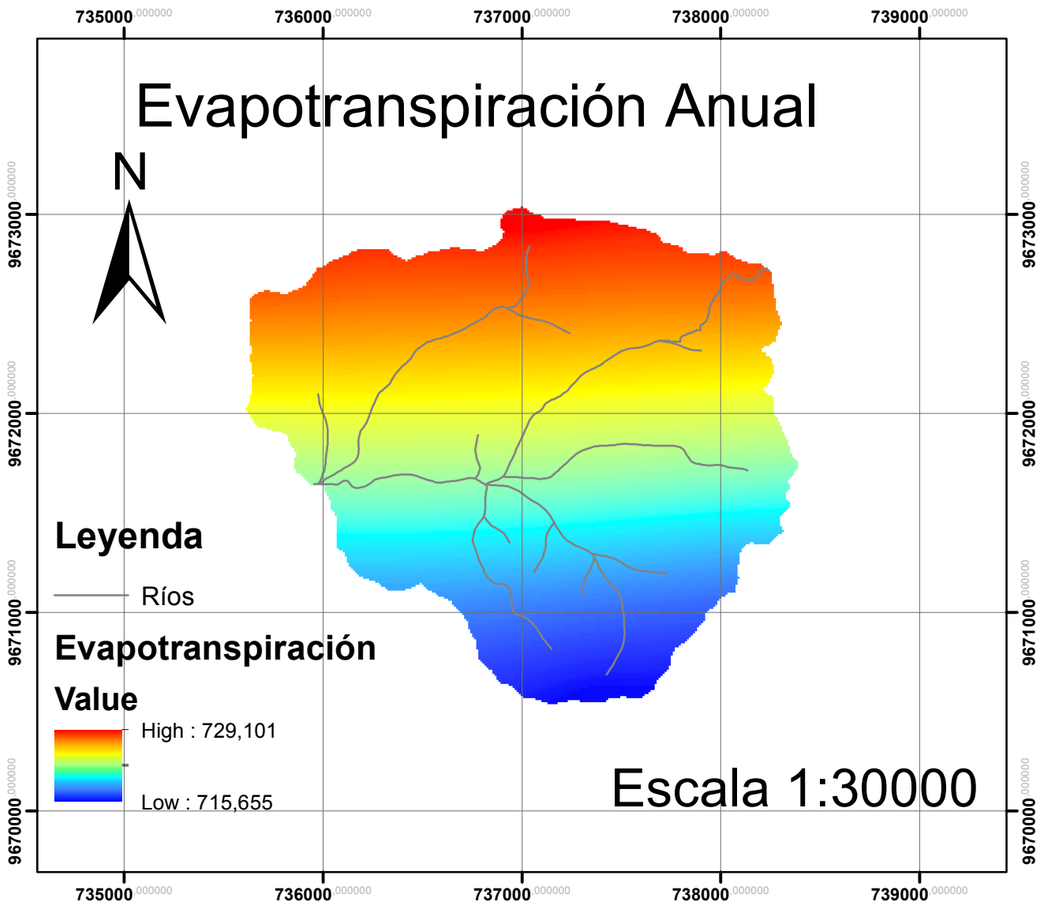


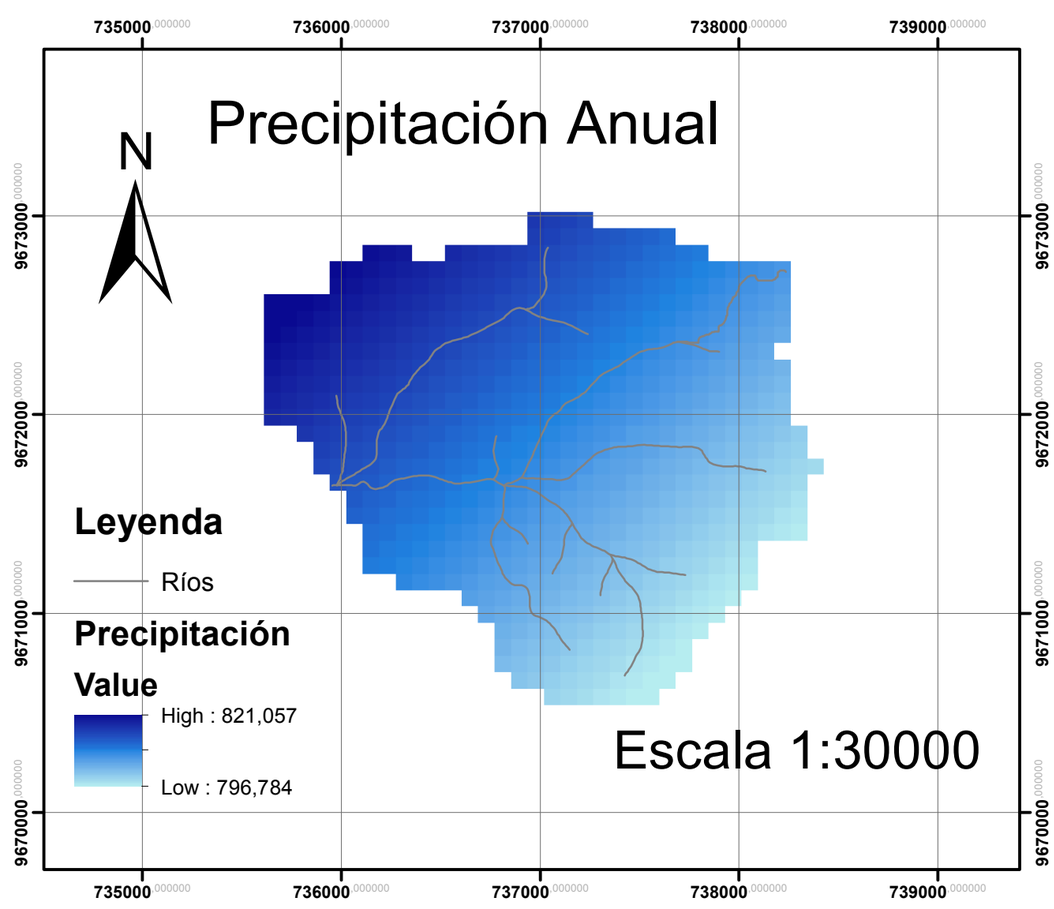


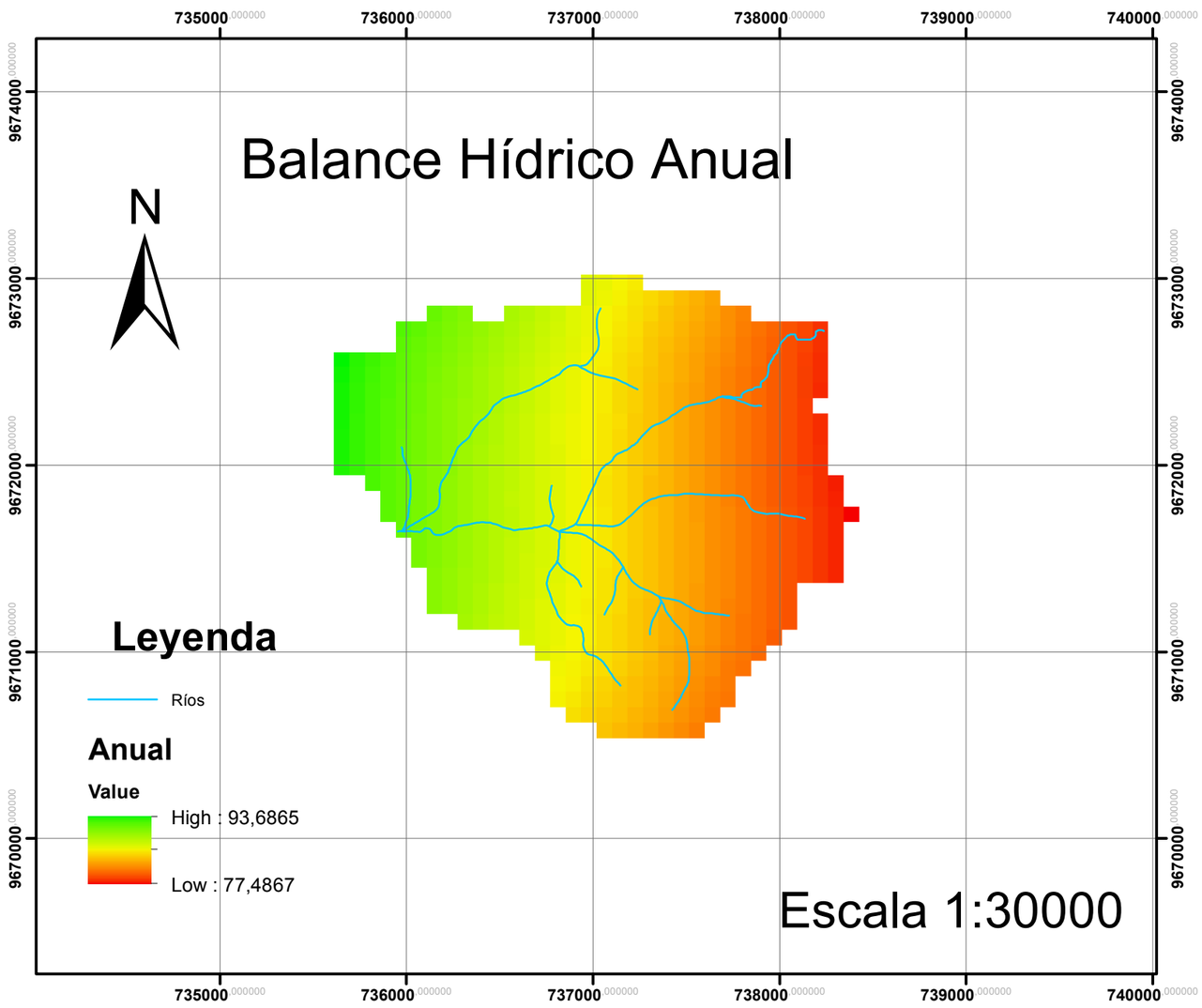


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA					
"ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO".					
MAPA: BALANCE HÍDRICO MES DE DICIEMBRE HUAYRAPUNGU					
FUENTE:	SNI. IGM.	SISTEMA DE COORDENADAS:	WGS_1984_UTM_Zone_17S	TUTORA:	MSC. PAOLA DUQUE
ELABORADO POR:	YULIO LOOR BARREZUETA	PROYECCIÓN:	Transverse_Mercator	ESCALA:	1:30000

BALANCE HÍDRICO ANUAL HUAYRAPUNGU

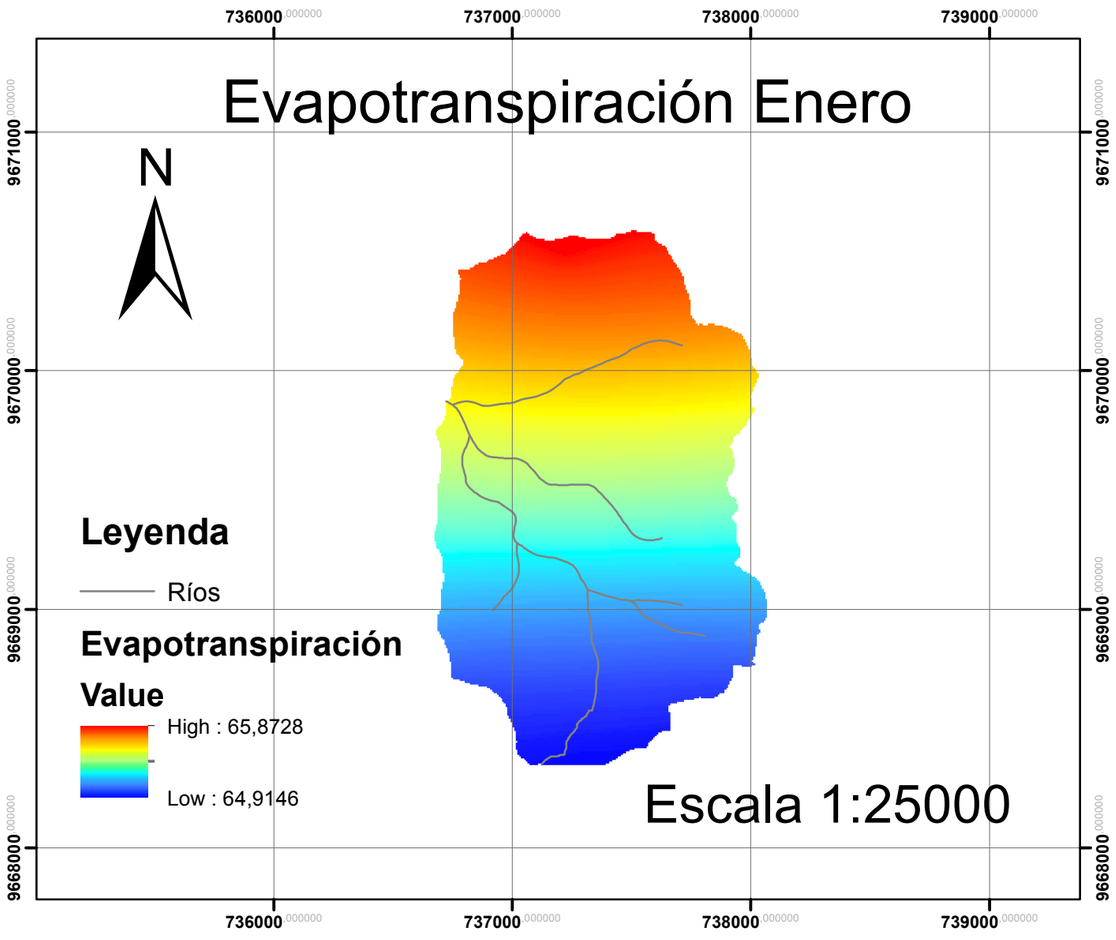


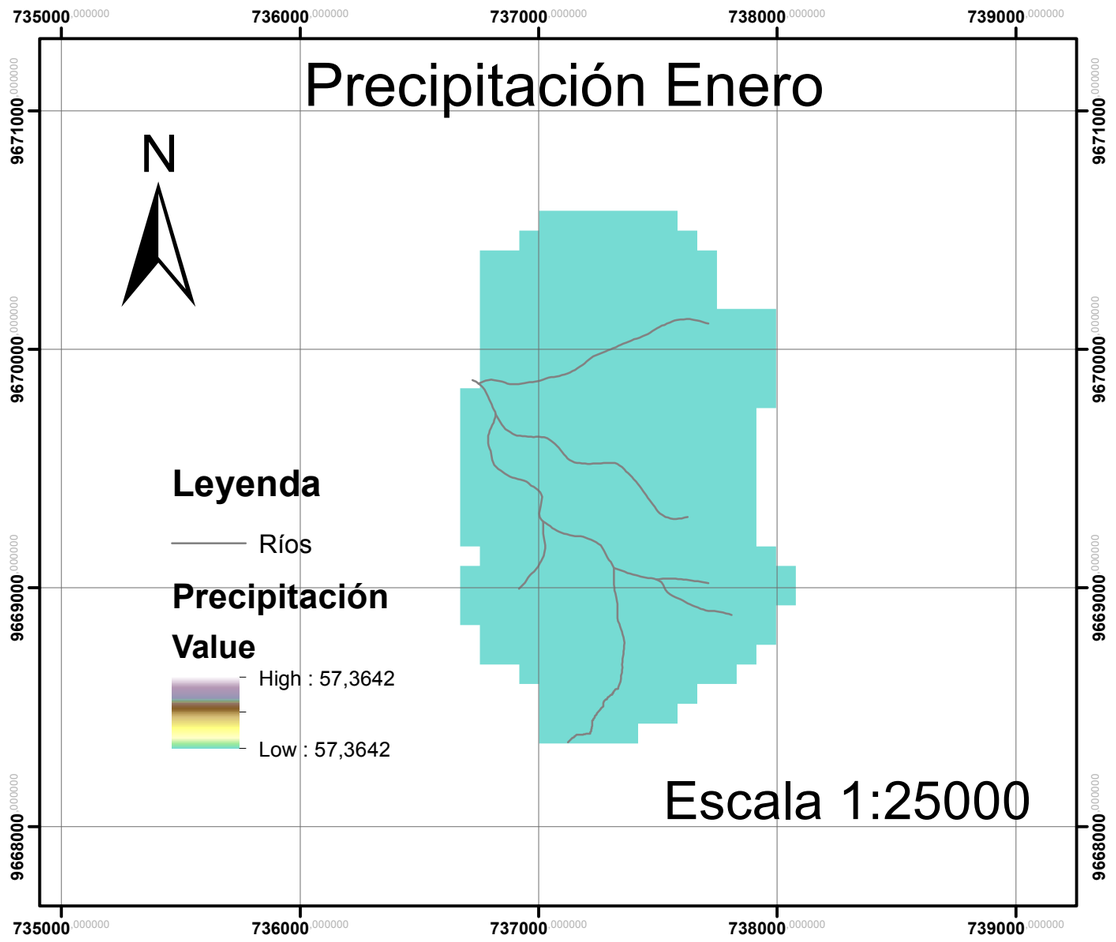


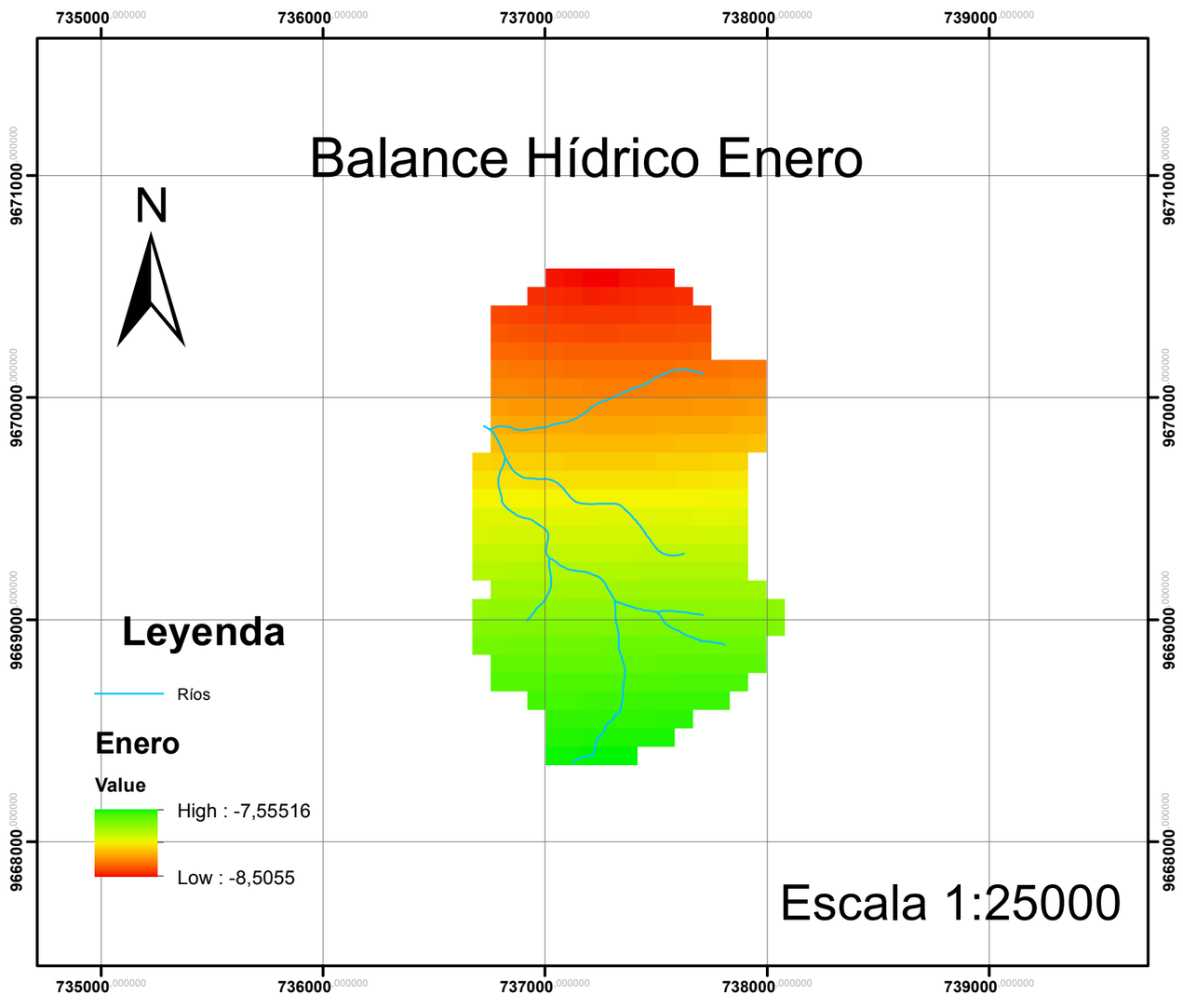


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA					
"ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO".					
MAPA: BALANCE HÍDRICO ANUAL HUAYRAPUNGU					
FUENTE:	SNI. IGM.	SISTEMA DE COORDENADAS:	WGS_1984_UTM_Zone_17S	TUTORA:	MSC. PAOLA DUQUE
ELABORADO POR:	YULIO LOOR BARREZUETA	PROYECCIÓN:	Transverse_Mercator	ESCALA:	1:30000

BALANCE HÍDRICO MES DE ENERO QUILLOSISA

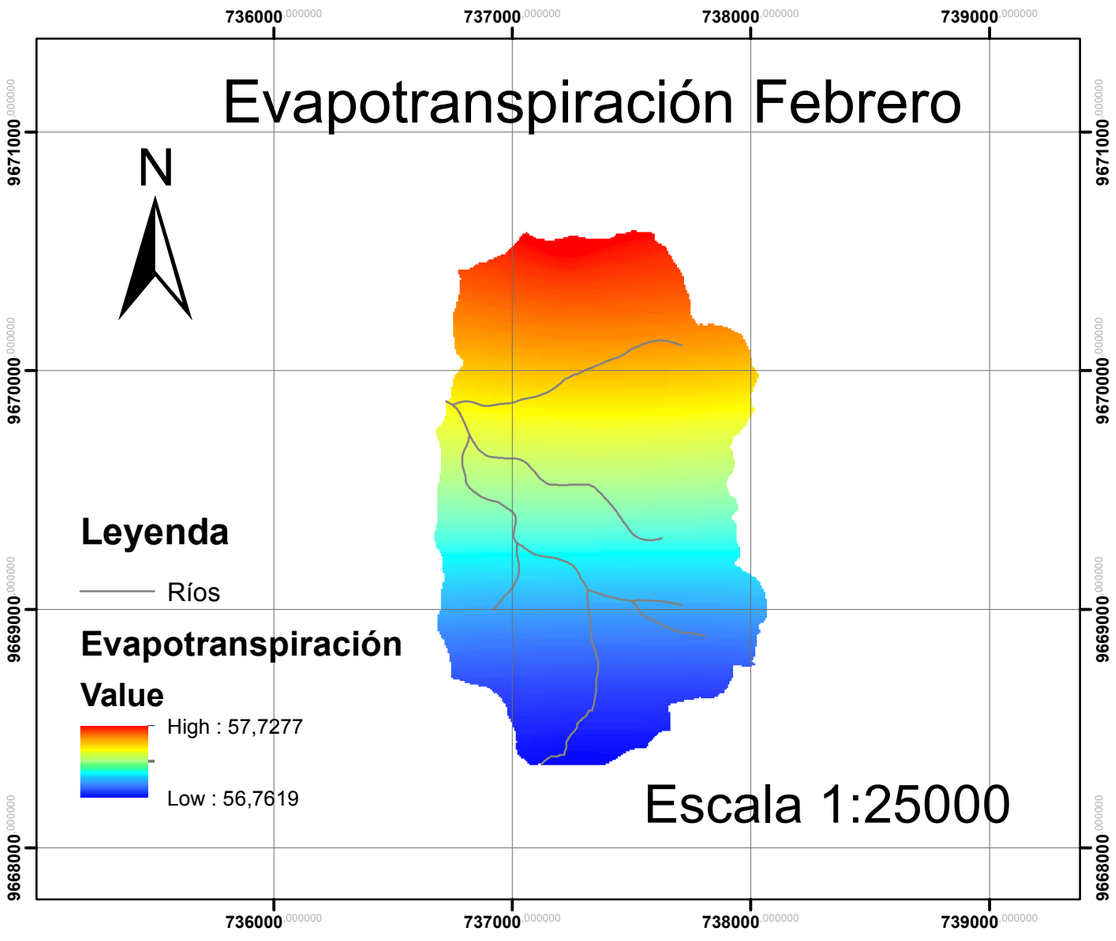


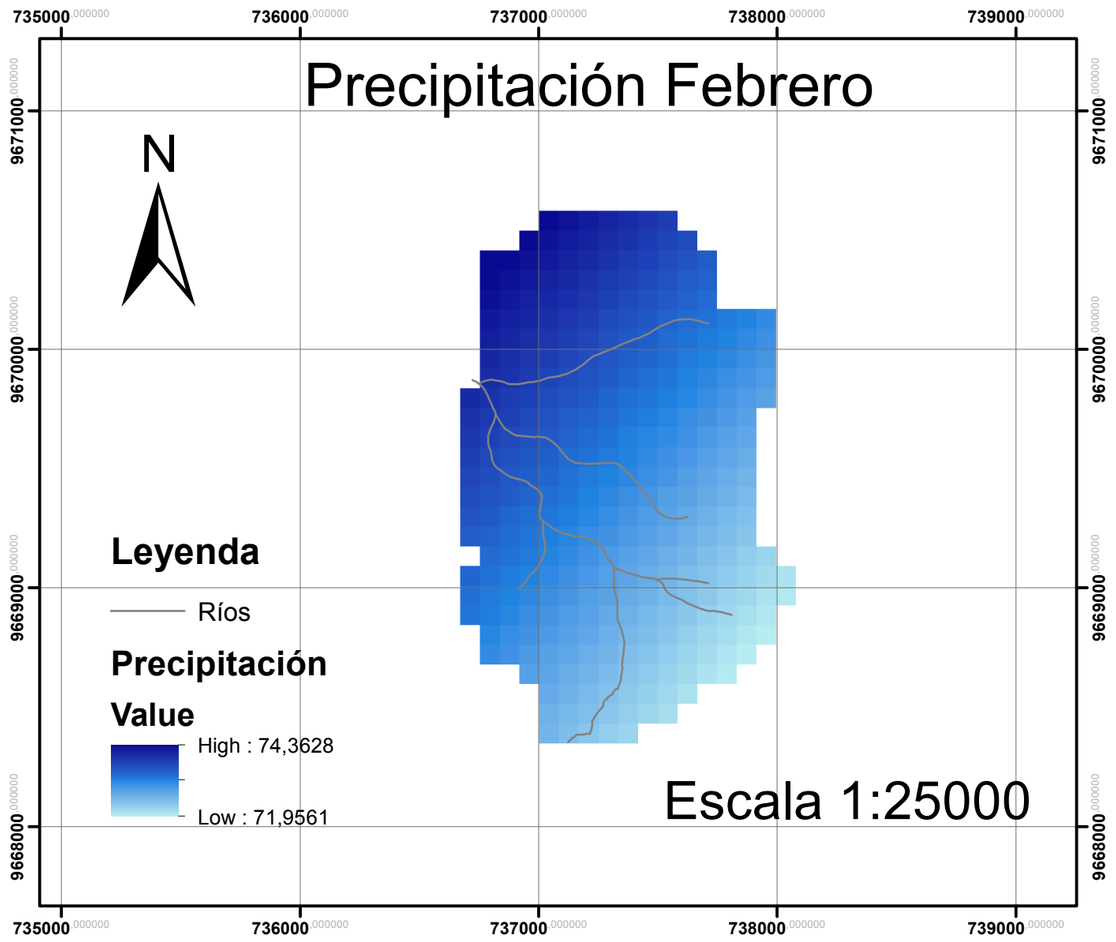


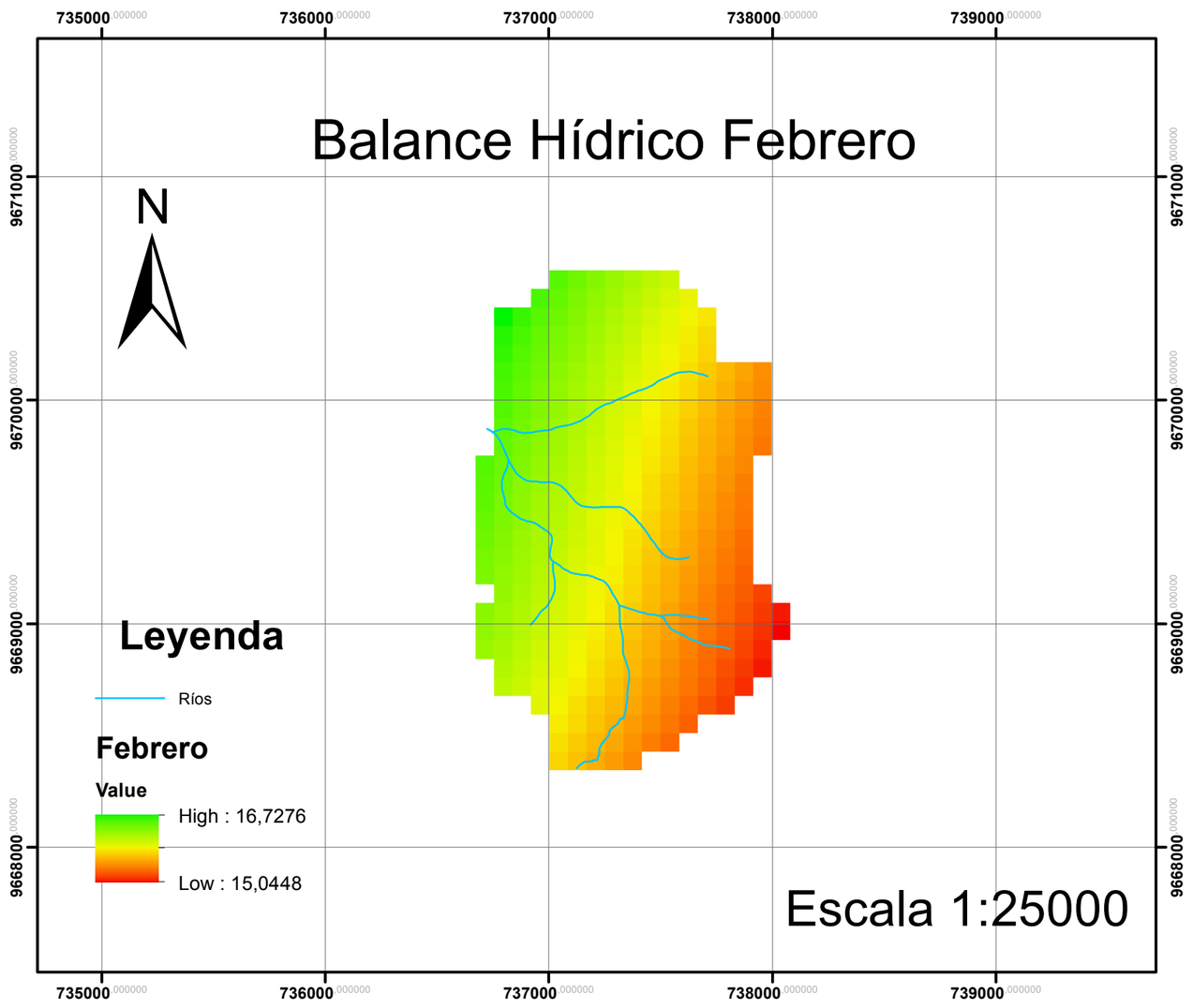


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA					
"ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO".					
MAPA: BALANCE HÍDRICO MES DE ENERO QUILLOSISA					
FUENTE:	SNI. IGM.	SISTEMA DE COORDENADAS:	WGS_1984_UTM_Zone_17S	TUTORA:	MSC. PAOLA DUQUE
ELABORADO POR:	YULIO LOOR BARREZUETA	PROYECCIÓN:	Transverse_Mercator	ESCALA:	1:25000

BALANCE HÍDRICO MES DE FEBRERO QUILLOSISA

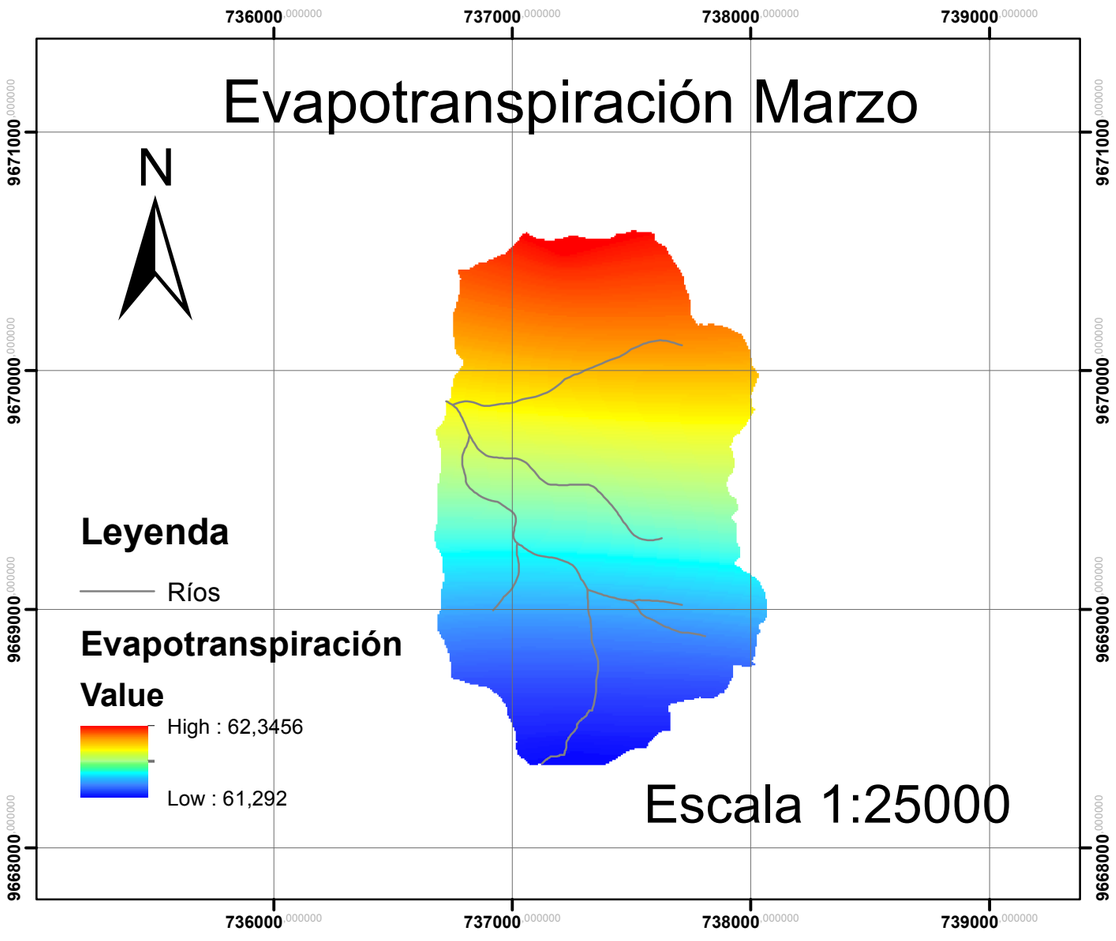


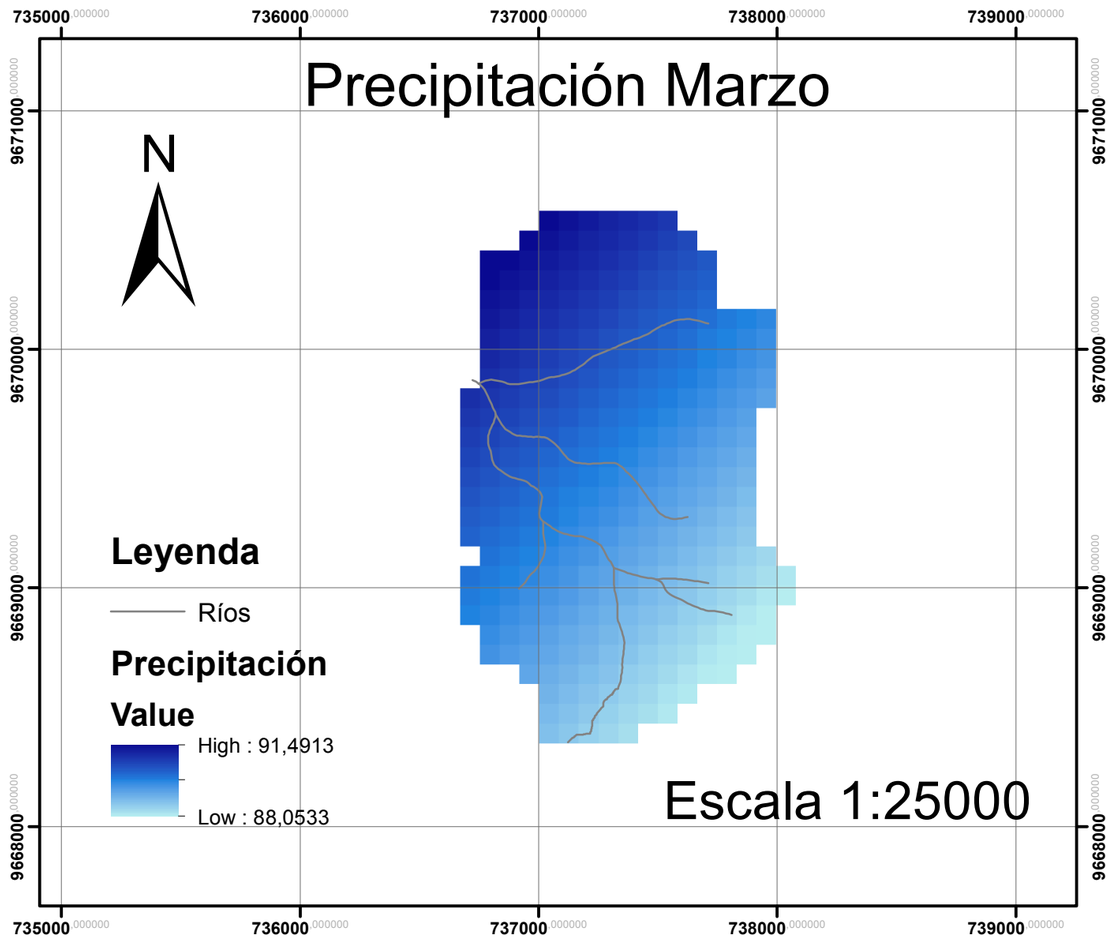


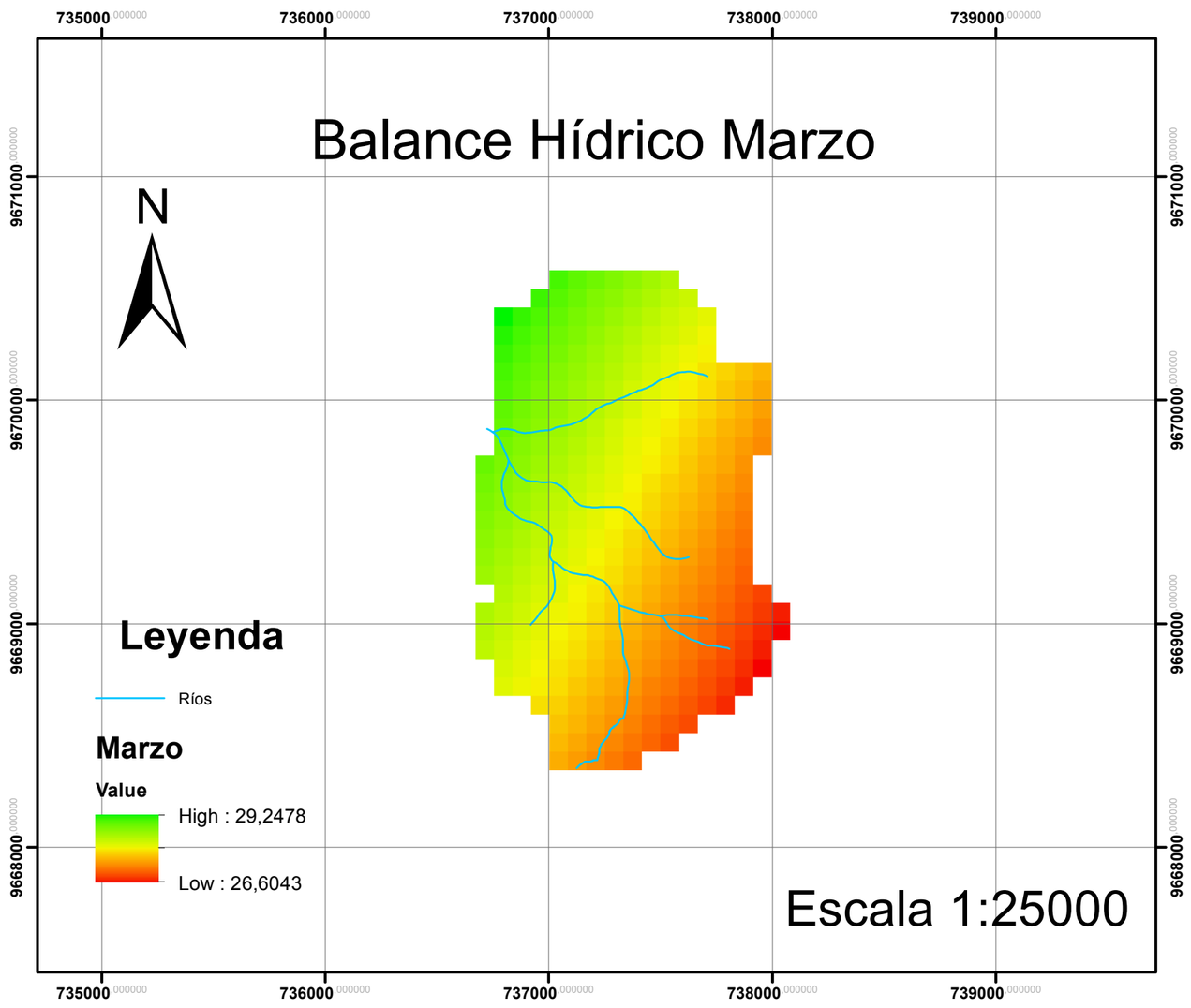


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA					
"ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO".					
MAPA: BALANCE HÍDRICO MES DE FEBRERO QUILLOSISA					
FUENTE:	SNI. IGM.	SISTEMA DE COORDENADAS:	WGS_1984_UTM_Zone_17S	TUTORA:	MSC. PAOLA DUQUE
ELABORADO POR:	YULIO LOOR BARREZUETA	PROYECCIÓN:	Transverse_Mercator	ESCALA:	1:25000

BALANCE HÍDRICO MES DE MARZO QUILLOSISA

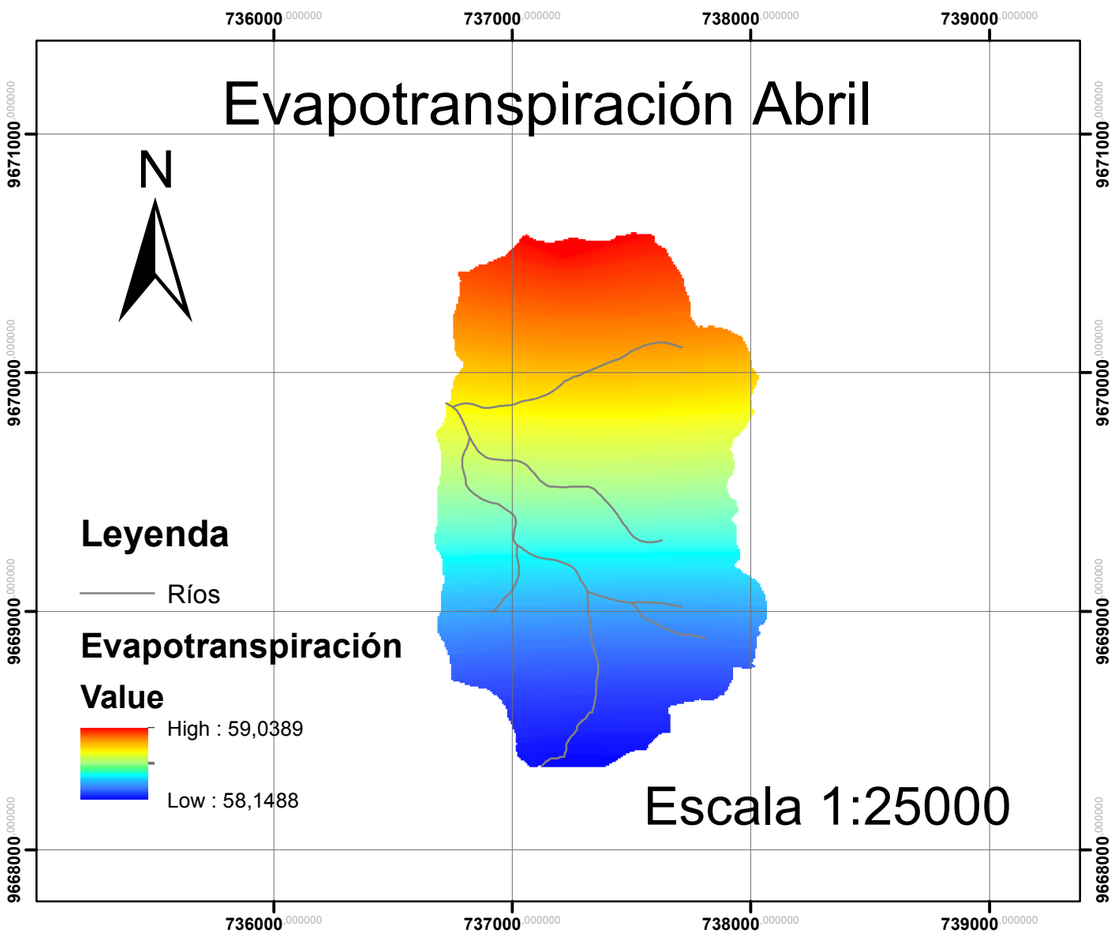


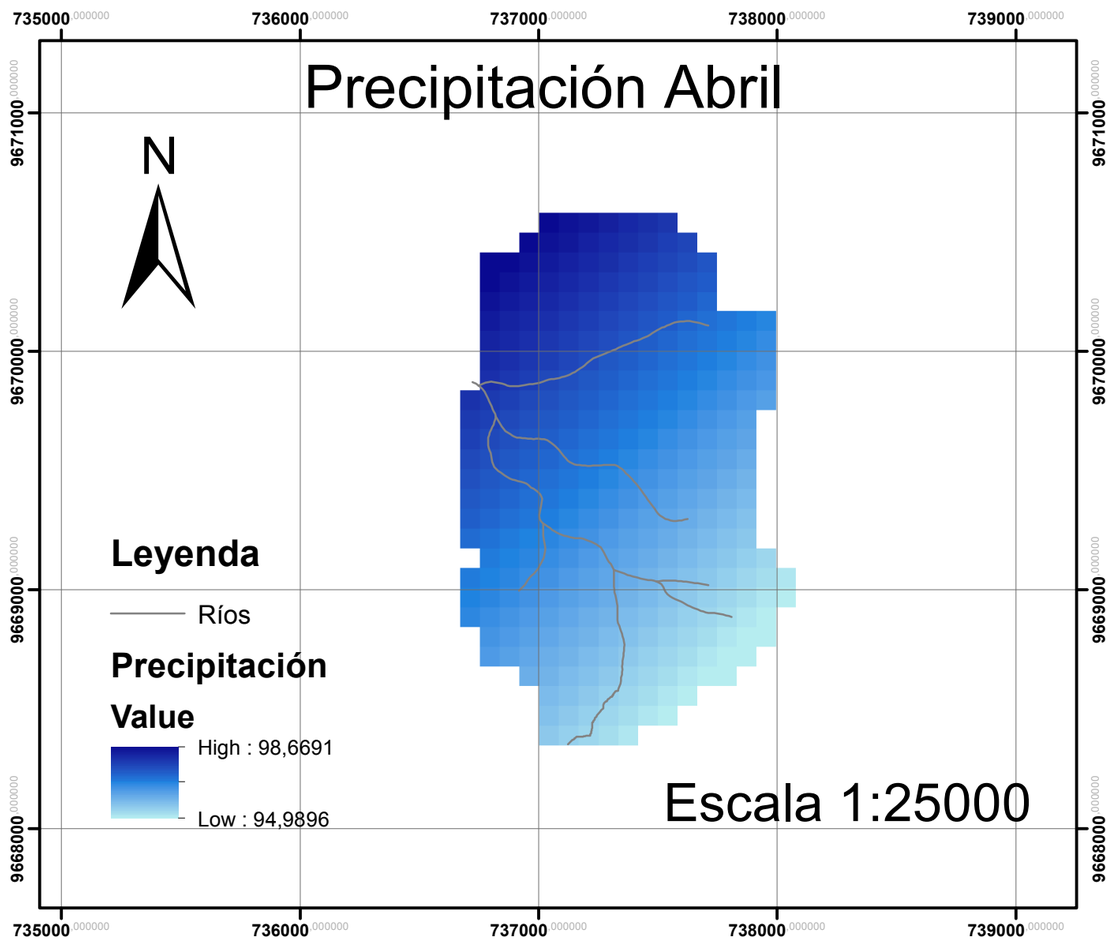


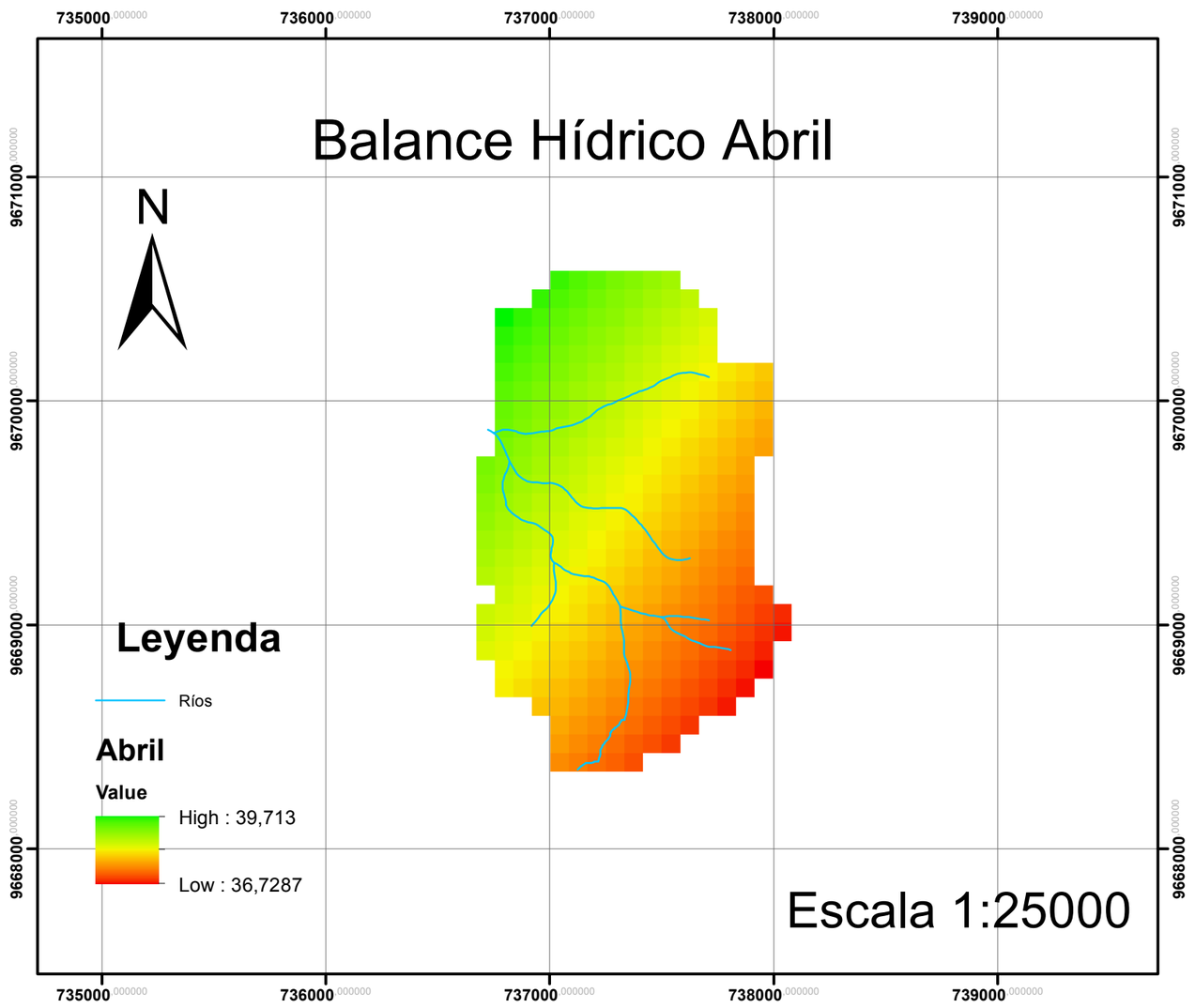


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA					
"ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO".					
MAPA: BALANCE HÍDRICO MES DE MARZO QUILLOSISA					
FUENTE:	SNI. IGM.	SISTEMA DE COORDENADAS:	WGS_1984_UTM_Zone_17S	TUTORA:	MSC. PAOLA DUQUE
ELABORADO POR:	YULIO LOOR BARREZUETA	PROYECCIÓN:	Transverse_Mercator	ESCALA:	1:25000

BALANCE HÍDRICO MES DE ABRIL QUILLOSISA

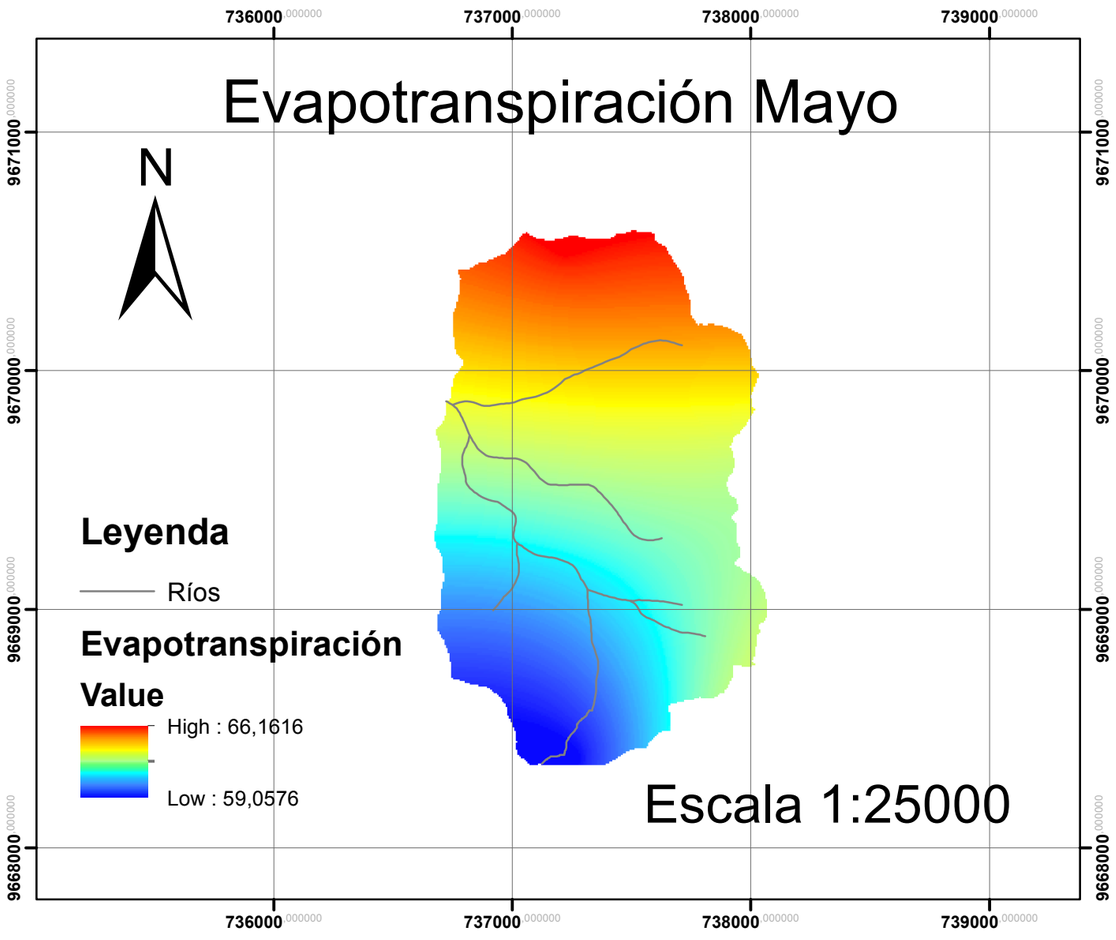


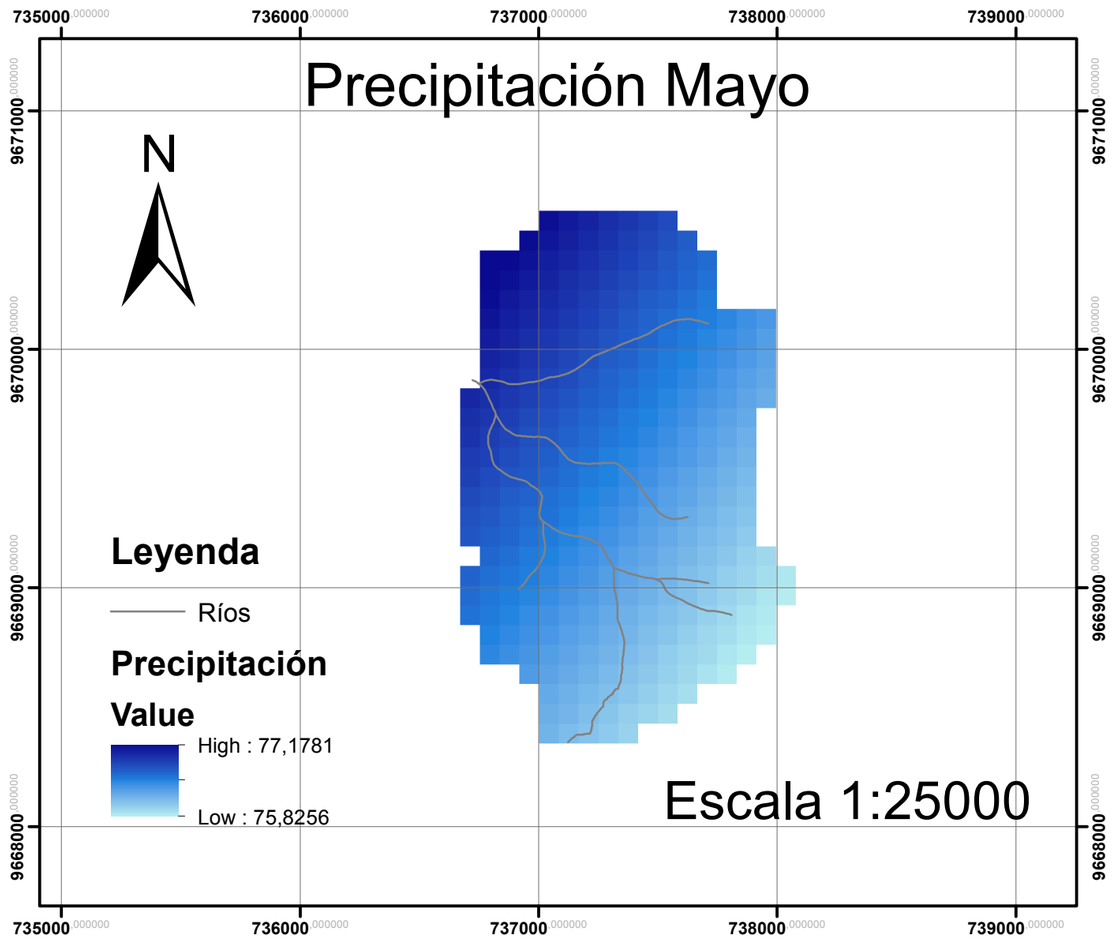


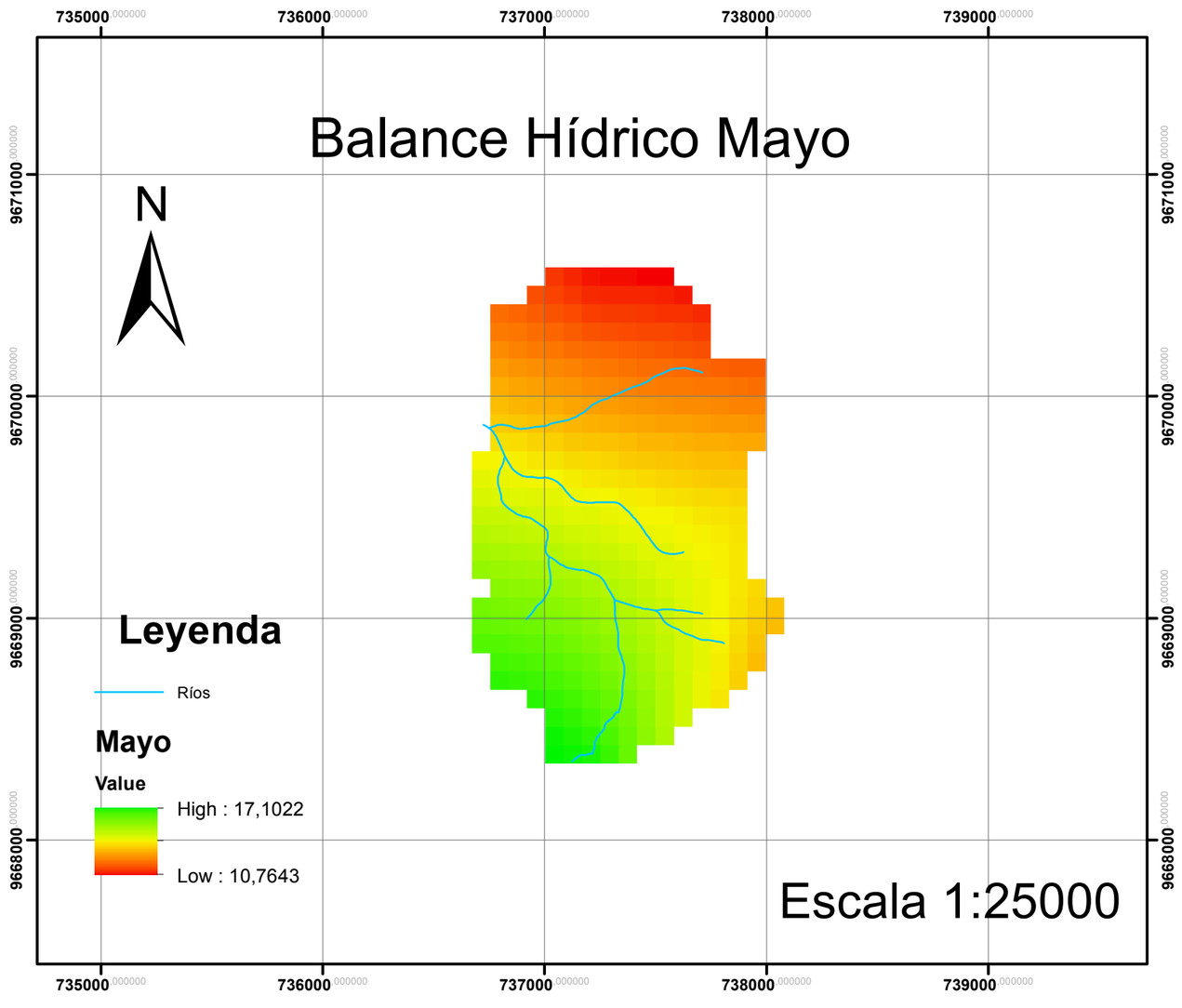


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA					
"ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO".					
MAPA: BALANCE HÍDRICO MES DE ABRIL QUILLOSISA					
FUENTE:	SNI. IGM.	SISTEMA DE COORDENADAS:	WGS_1984_UTM_Zone_17S	TUTORA:	MSC. PAOLA DUQUE
ELABORADO POR:	YULIO LOOR BARREZUETA	PROYECCIÓN:	Transverse_Mercator	ESCALA:	1:25000

BALANCE HÍDRICO MES DE MAYO QUILLOSISA

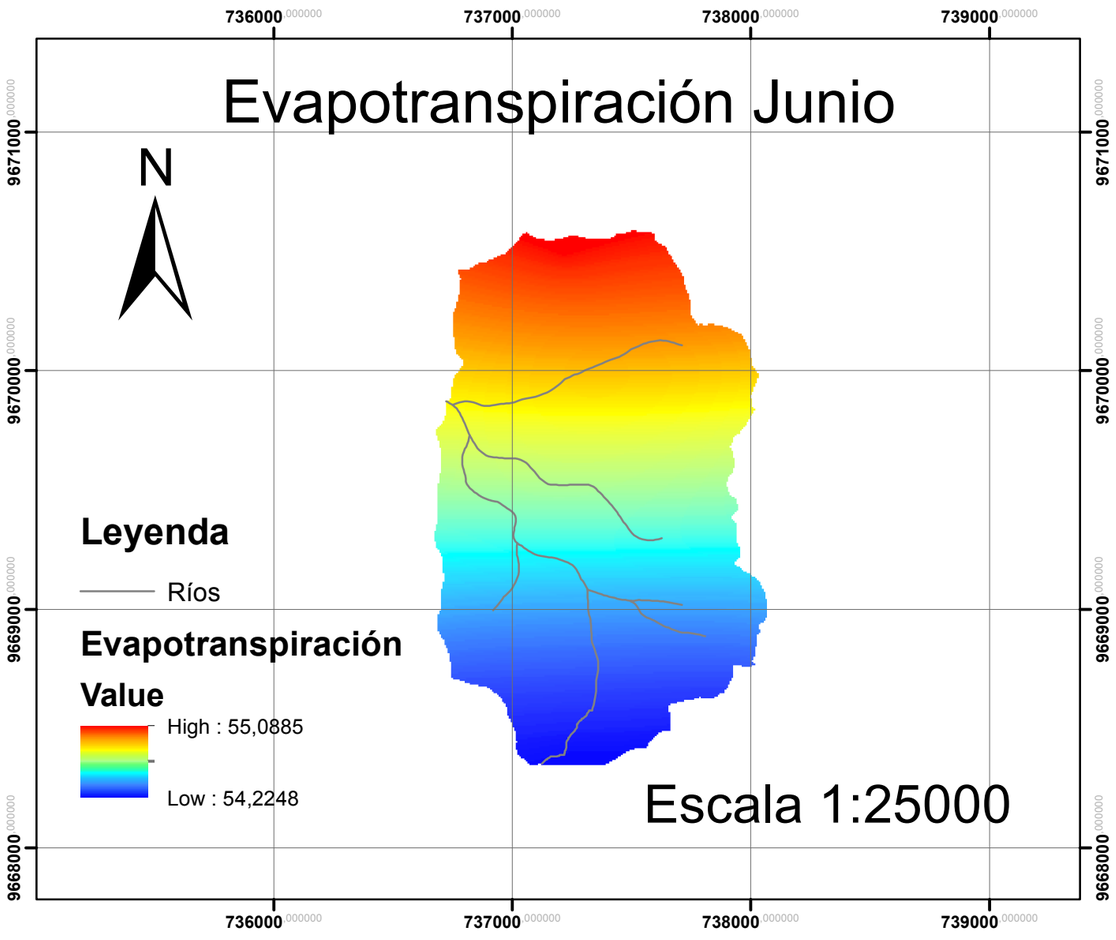


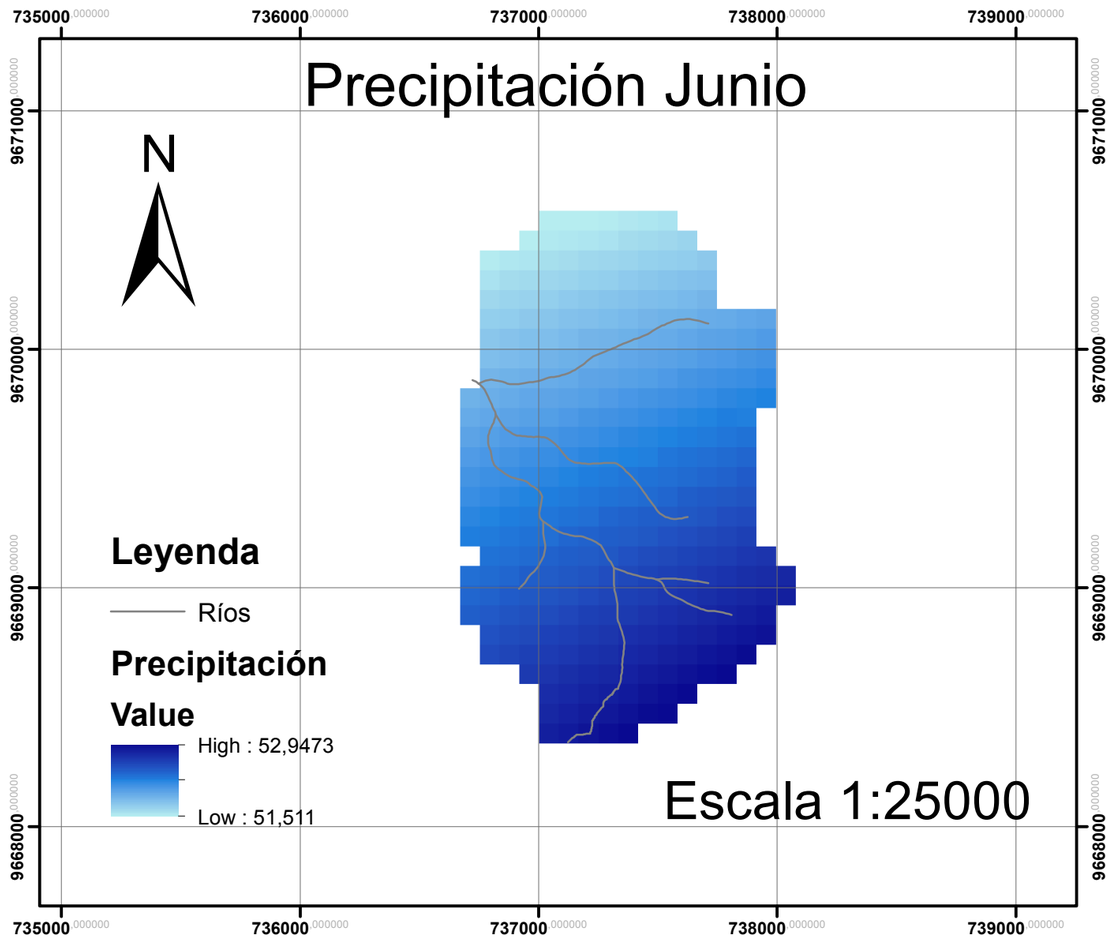


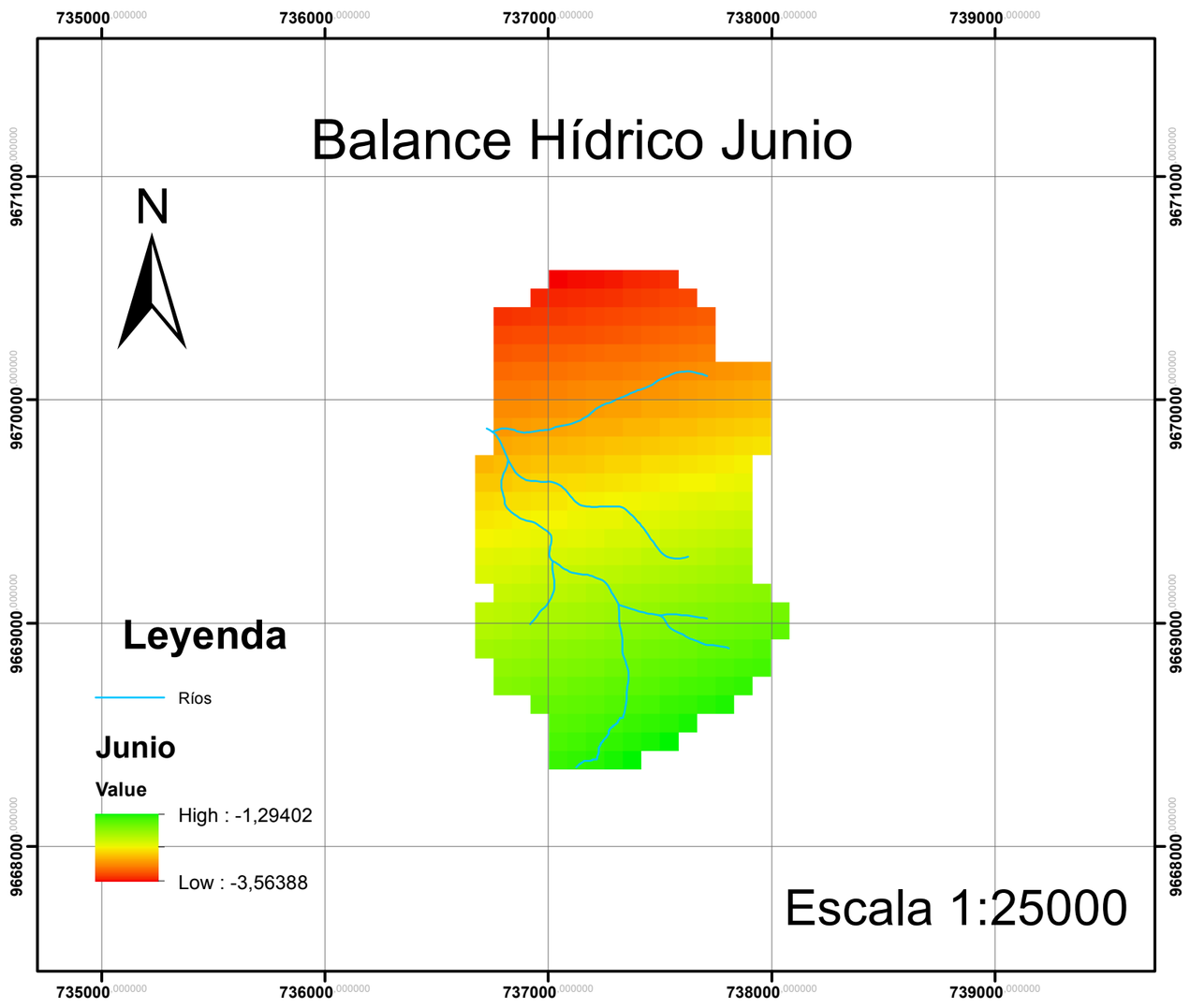


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA					
"ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO".					
MAPA: BALANCE HÍDRICO MES DE MAYO QUILLOSISA					
FUENTE:	SNI. IGM.	SISTEMA DE COORDENADAS:	WGS_1984_UTM_Zone_17S	TUTORA:	MSC. PAOLA DUQUE
ELABORADO POR:	YULIO LOOR BARREZUETA	PROYECCIÓN:	Transverse_Mercator	ESCALA:	1:25000

BALANCE HÍDRICO MES DE JUNIO QUILLOSISA

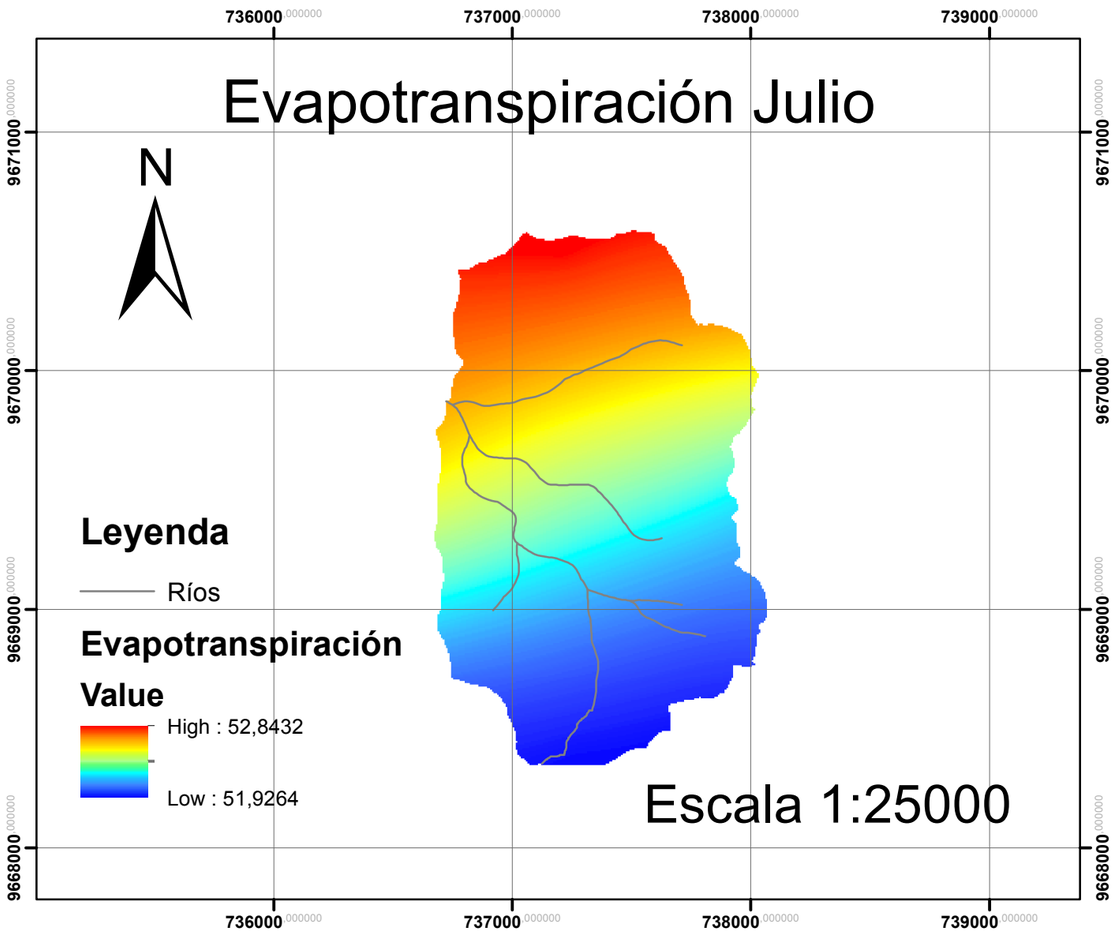


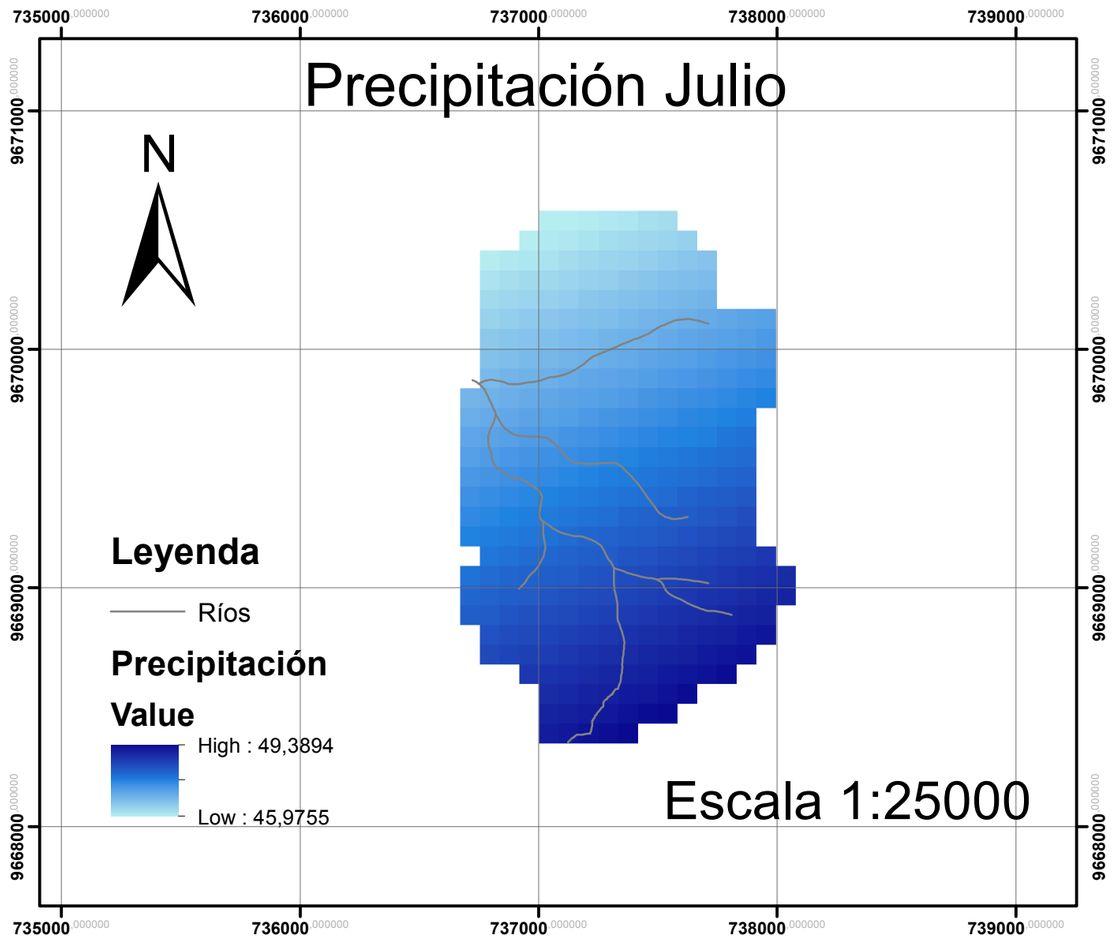


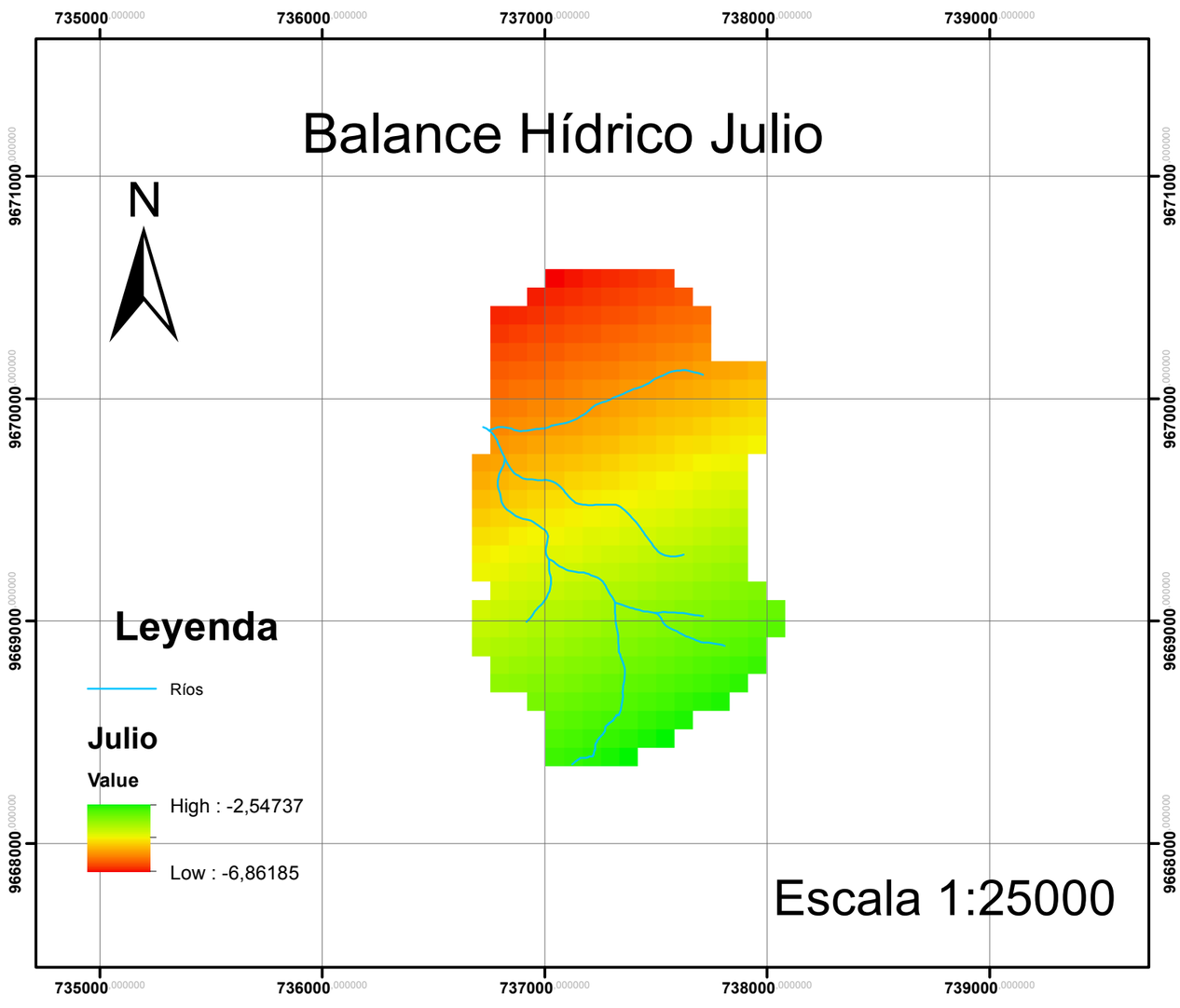


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA					
"ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO".					
MAPA: BALANCE HÍDRICO MES DE JUNIO QUILLOSISA					
FUENTE:	SNI. IGM.	SISTEMA DE COORDENADAS:	WGS_1984_UTM_Zone_17S	TUTORA:	MSC. PAOLA DUQUE
ELABORADO POR:	YULIO LOOR BARREZUETA	PROYECCIÓN:	Transverse_Mercator	ESCALA:	1:25000

BALANCE HÍDRICO MES DE JUNIO QUILLOSISA

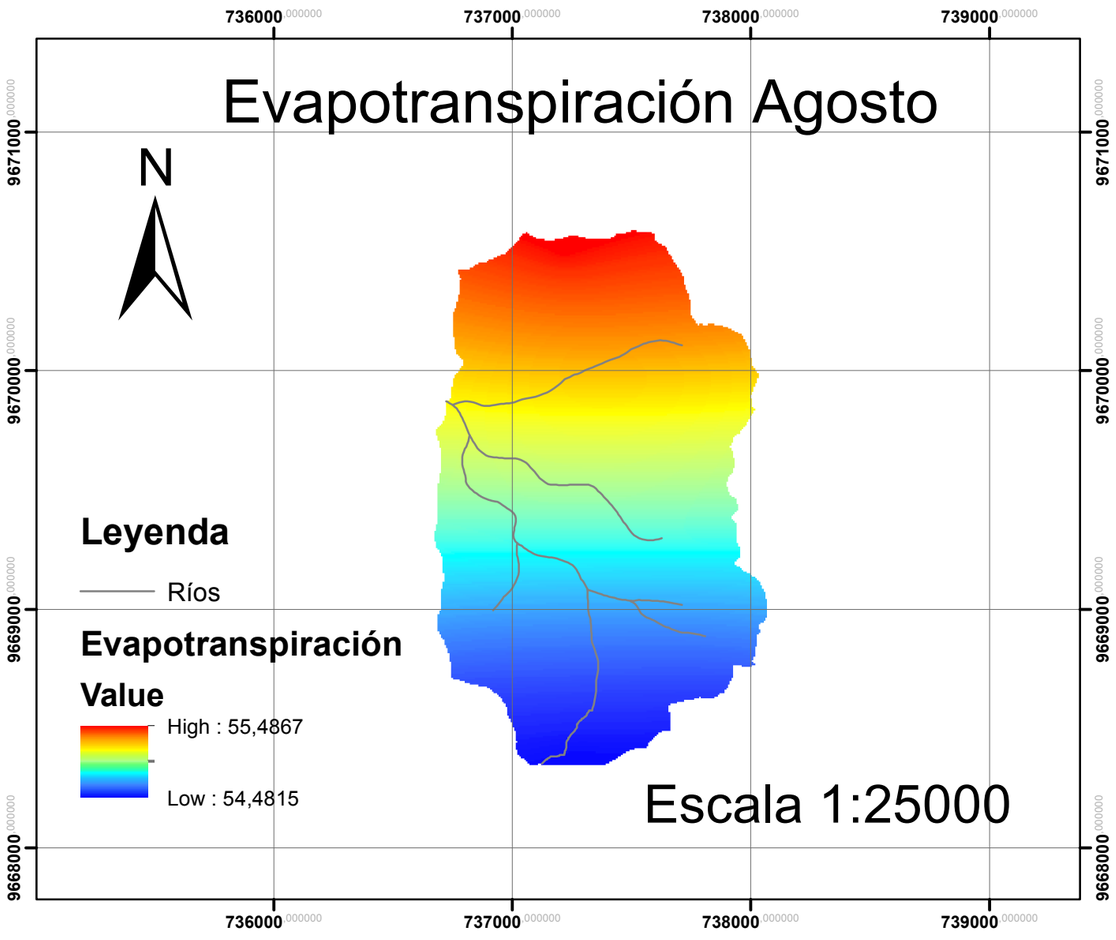


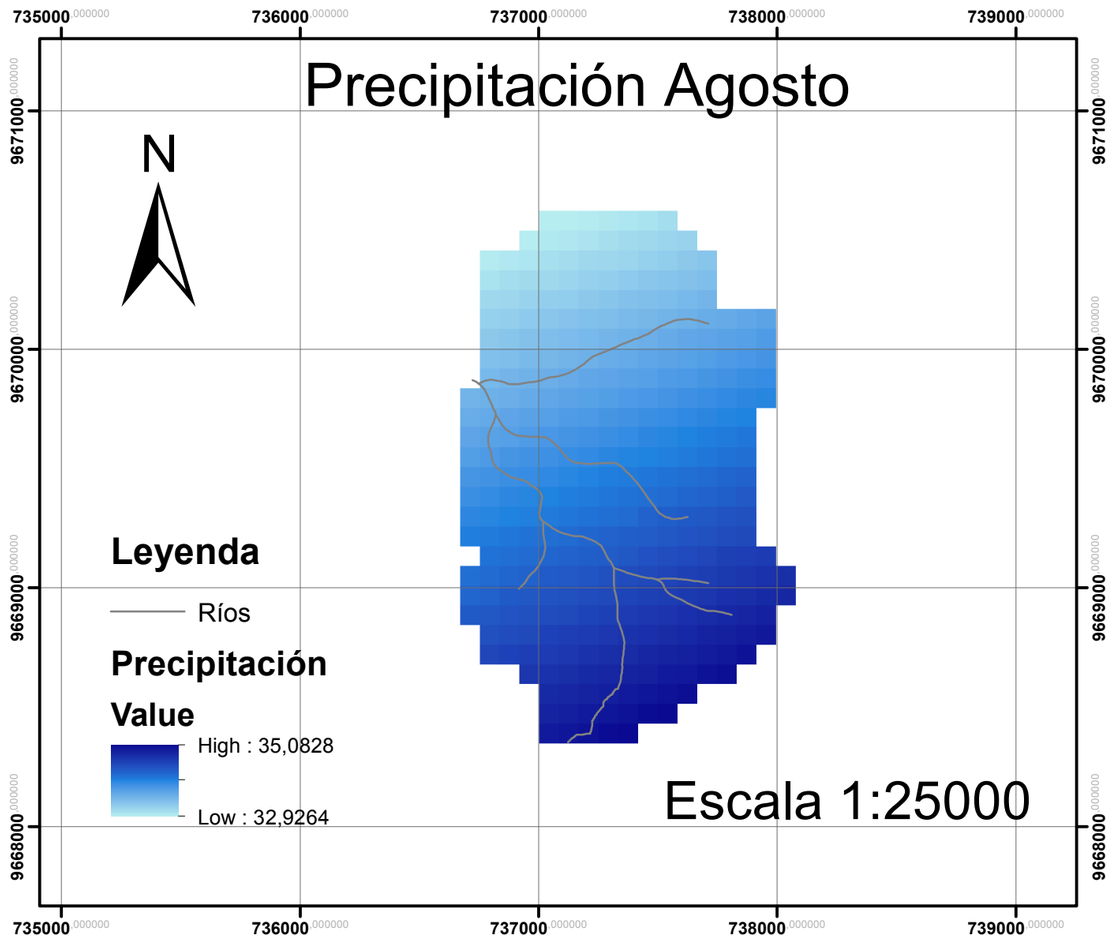


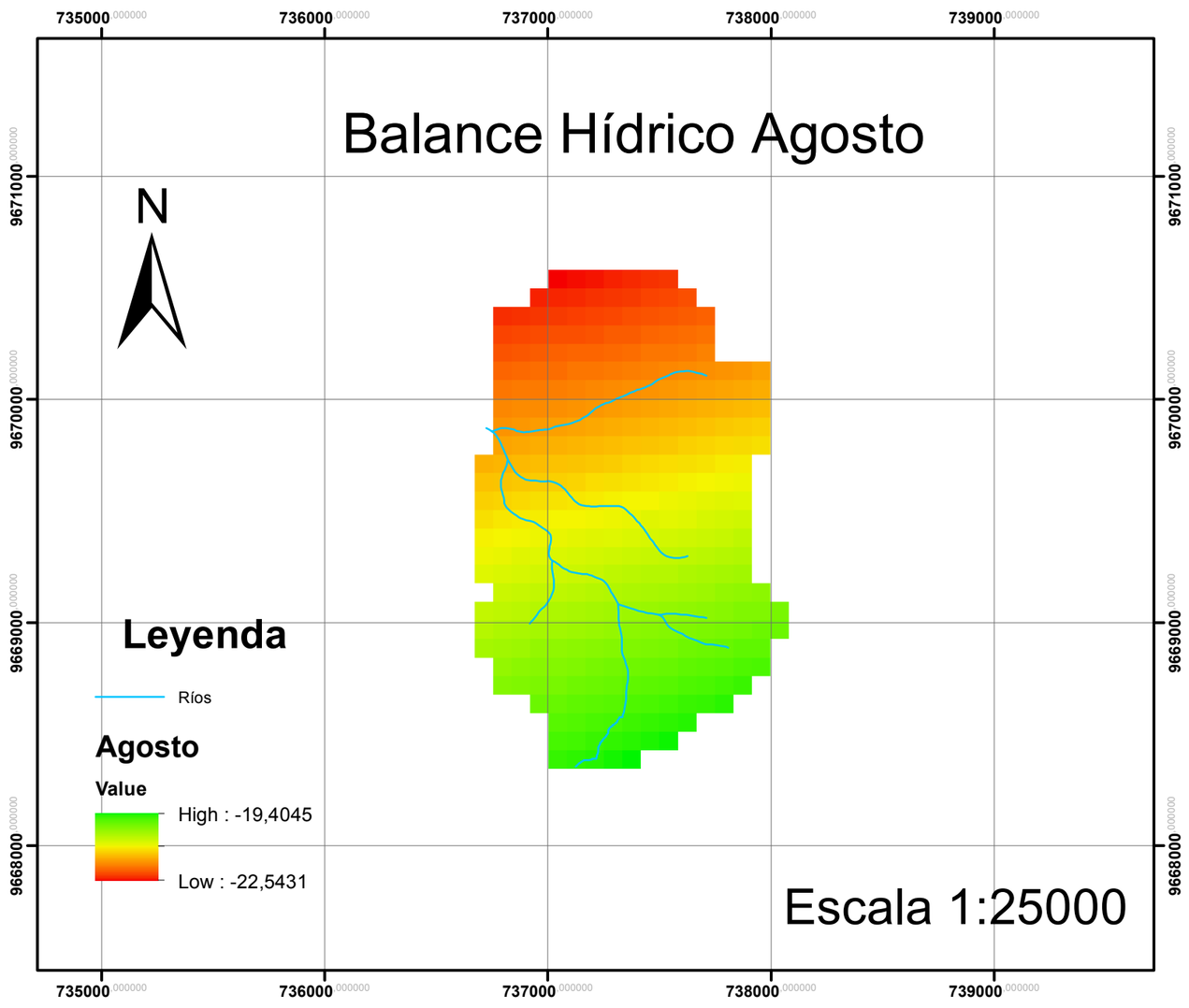


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA					
"ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO".					
MAPA: BALANCE HÍDRICO MES DE JULIO QUILLOSISA					
FUENTE:	SNI. IGM.	SISTEMA DE COORDENADAS:	WGS_1984_UTM_Zone_17S	TUTORA:	MSC. PAOLA DUQUE
ELABORADO POR:	YULIO LOOR BARREZUETA	PROYECCIÓN:	Transverse_Mercator	ESCALA:	1:25000

BALANCE HÍDRICO MES DE AGOSTO QUILLOSISA

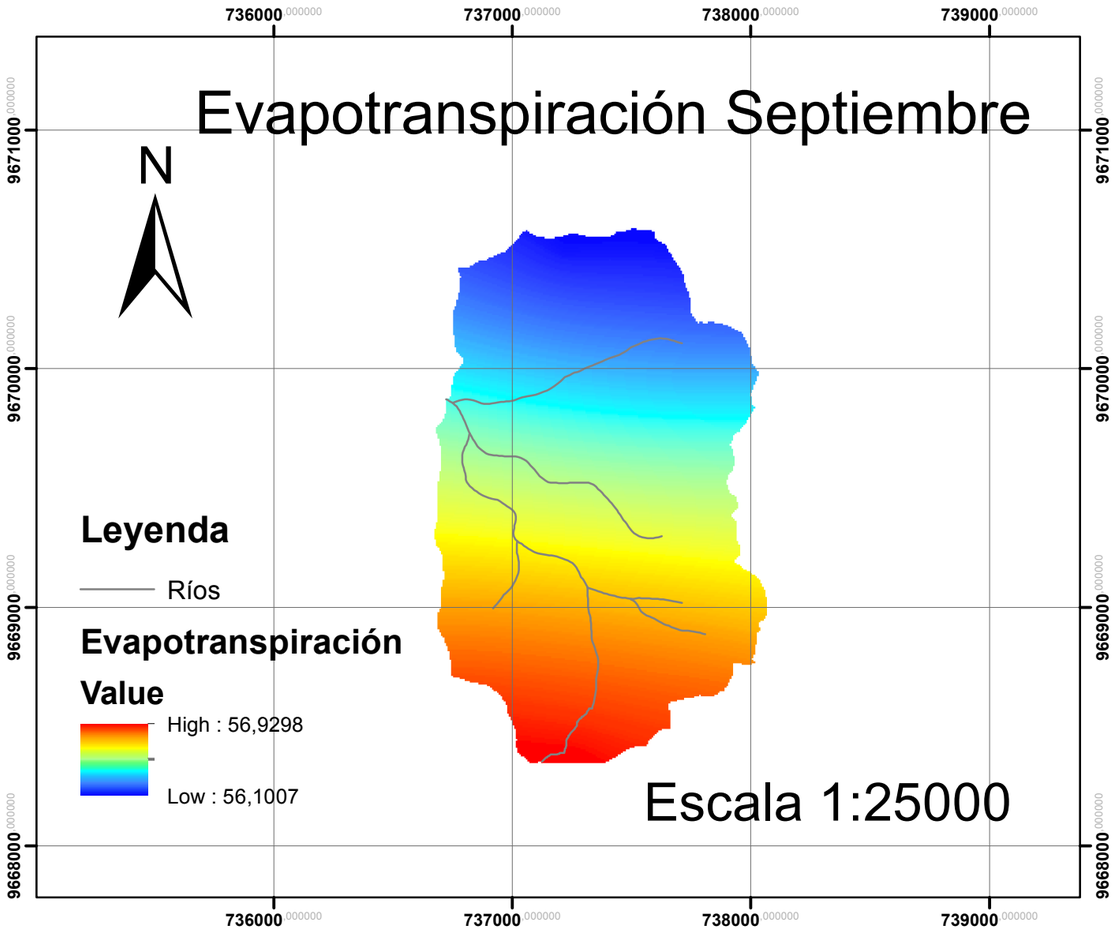


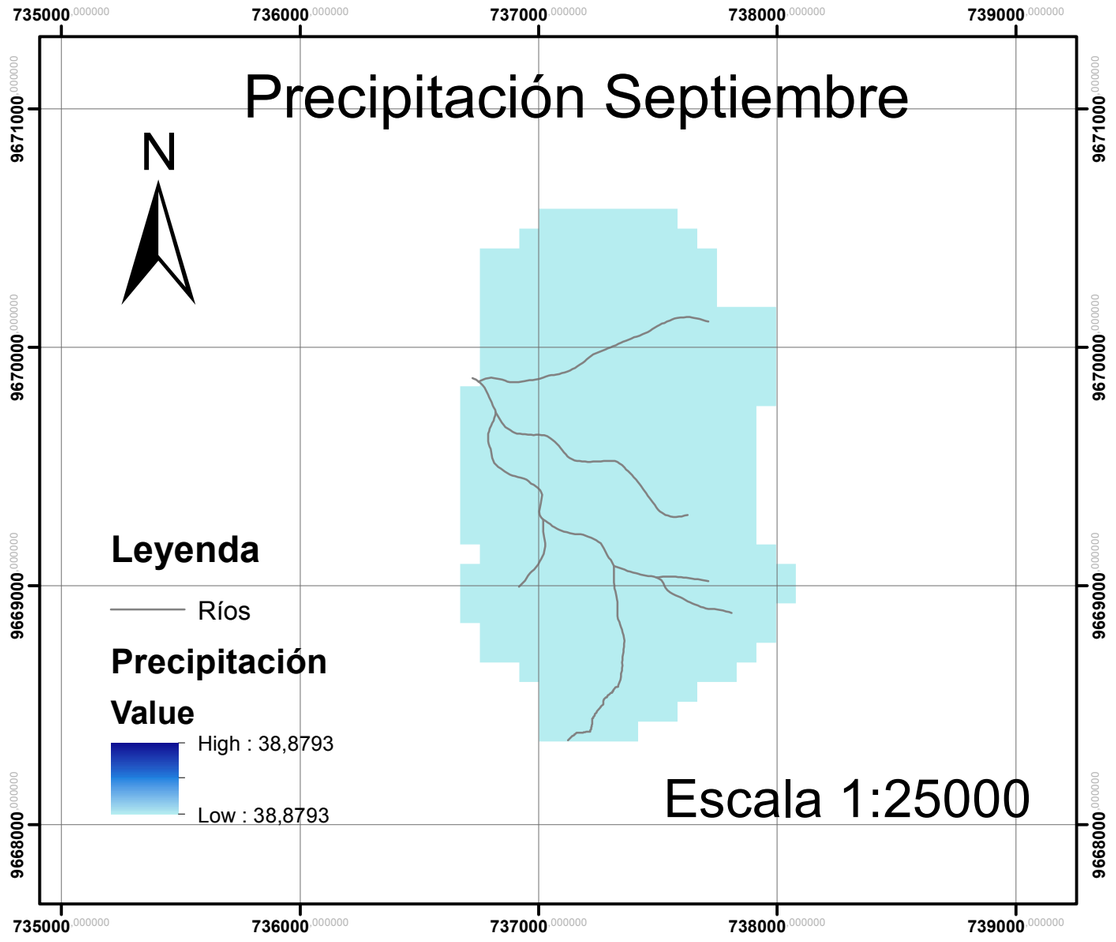


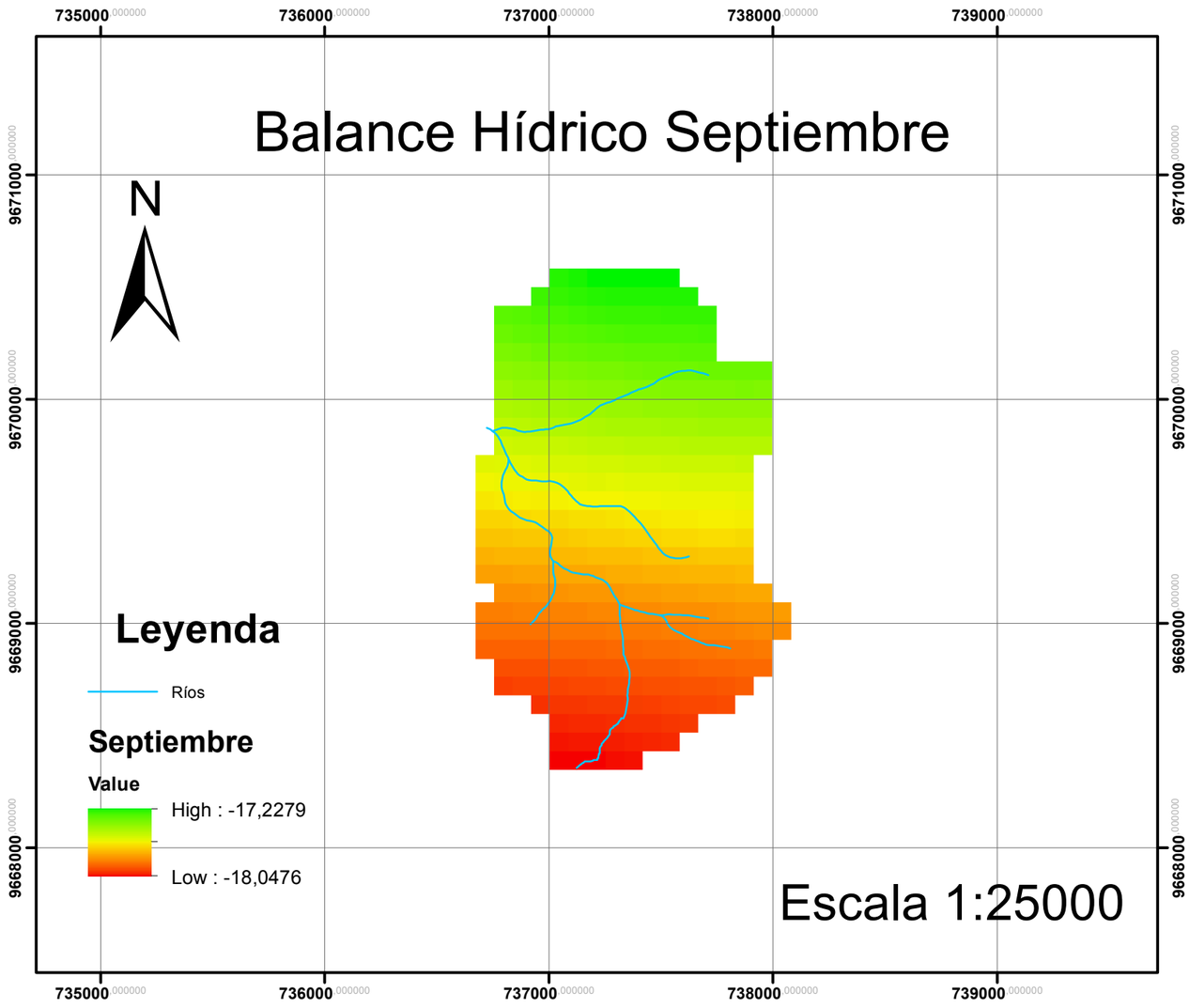


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA					
"ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO".					
MAPA: BALANCE HÍDRICO MES DE AGOSTO QUILLOSISA					
FUENTE:	SNI. IGM.	SISTEMA DE COORDENADAS:	WGS_1984_UTM_Zone_17S	TUTORA:	MSC. PAOLA DUQUE
ELABORADO POR:	YULIO LOOR BARREZUETA	PROYECCIÓN:	Transverse_Mercator	ESCALA:	1:25000

BALANCE HÍDRICO MES DE SEPTIEMBRE QUILLOSISA

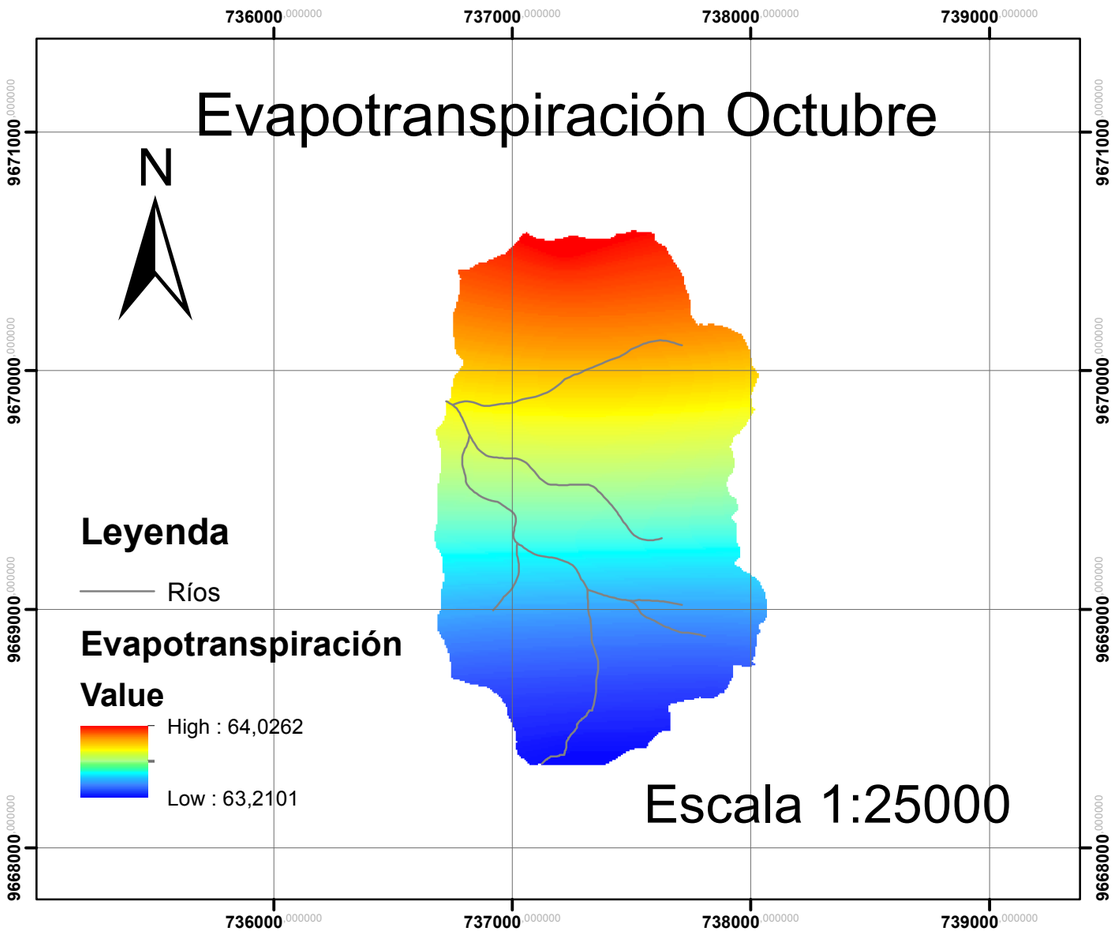


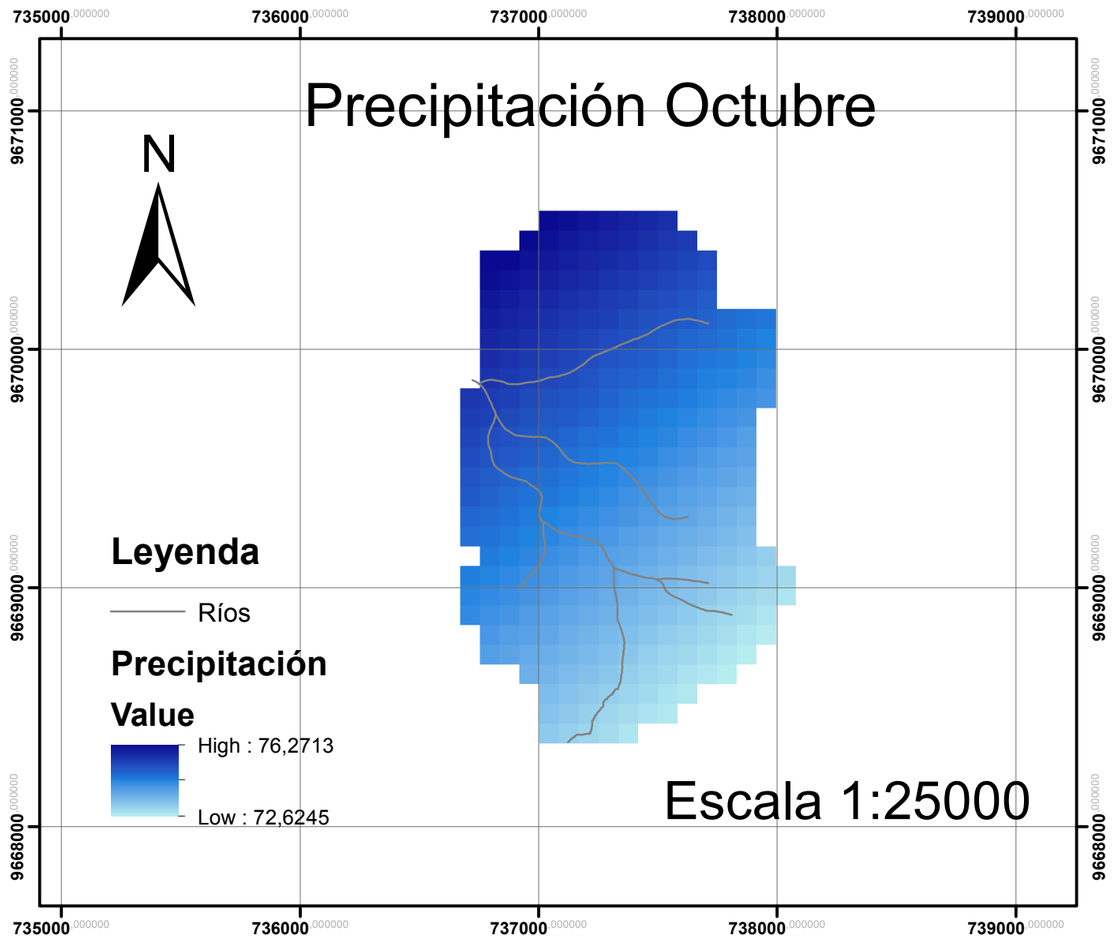


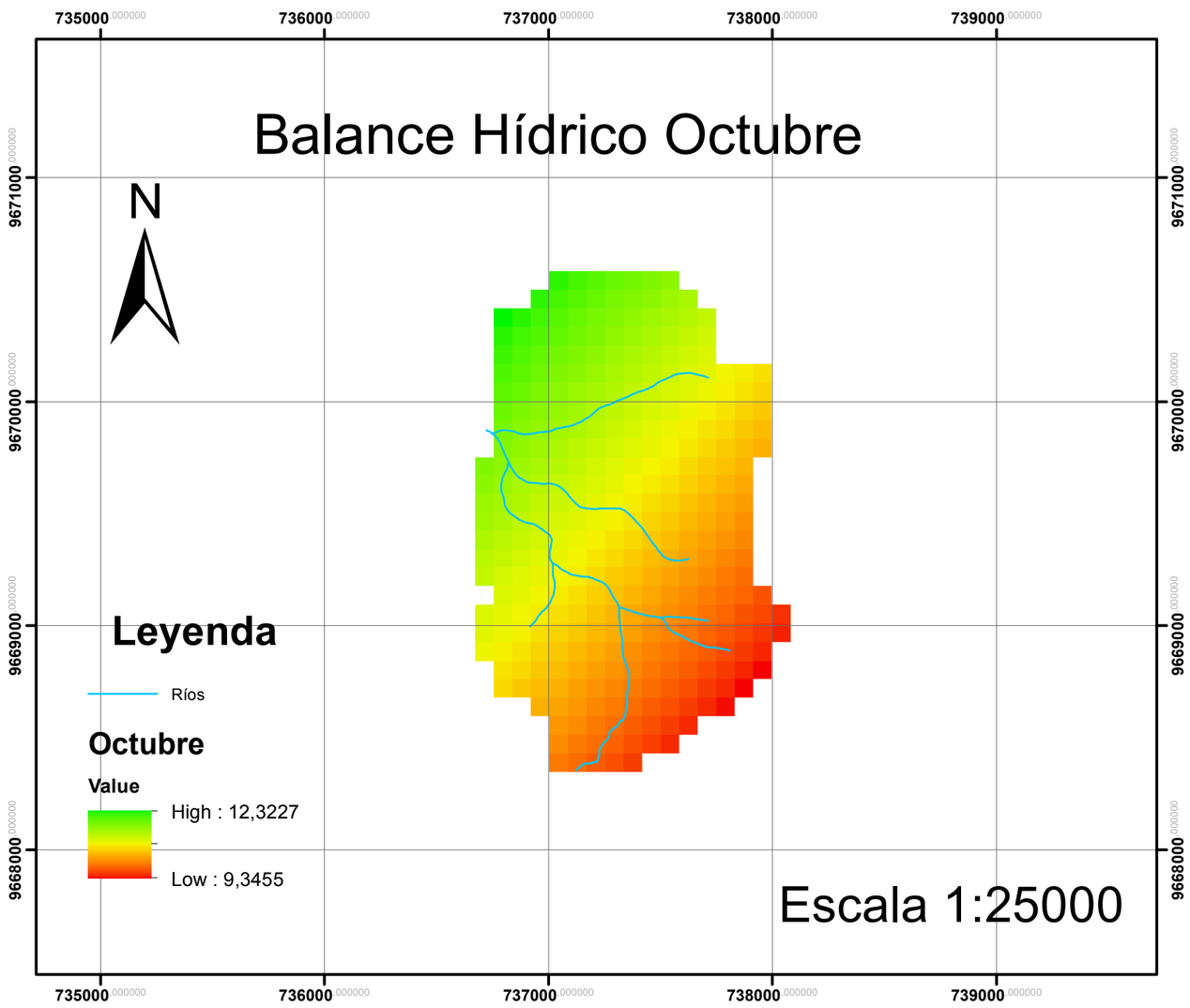


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA					
"ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO".					
MAPA: BALANCE HÍDRICO MES DE SEPTIEMBRE QUILLOSISA					
FUENTE:	SNI. IGM.	SISTEMA DE COORDENADAS:	WGS_1984_UTM_Zone_17S	TUTORA:	MSC. PAOLA DUQUE
ELABORADO POR:	YULIO LOOR BARREZUETA	PROYECCIÓN:	Transverse_Mercator	ESCALA:	1:25000

BALANCE HÍDRICO MES DE OCTUBRE QUILLOSISA

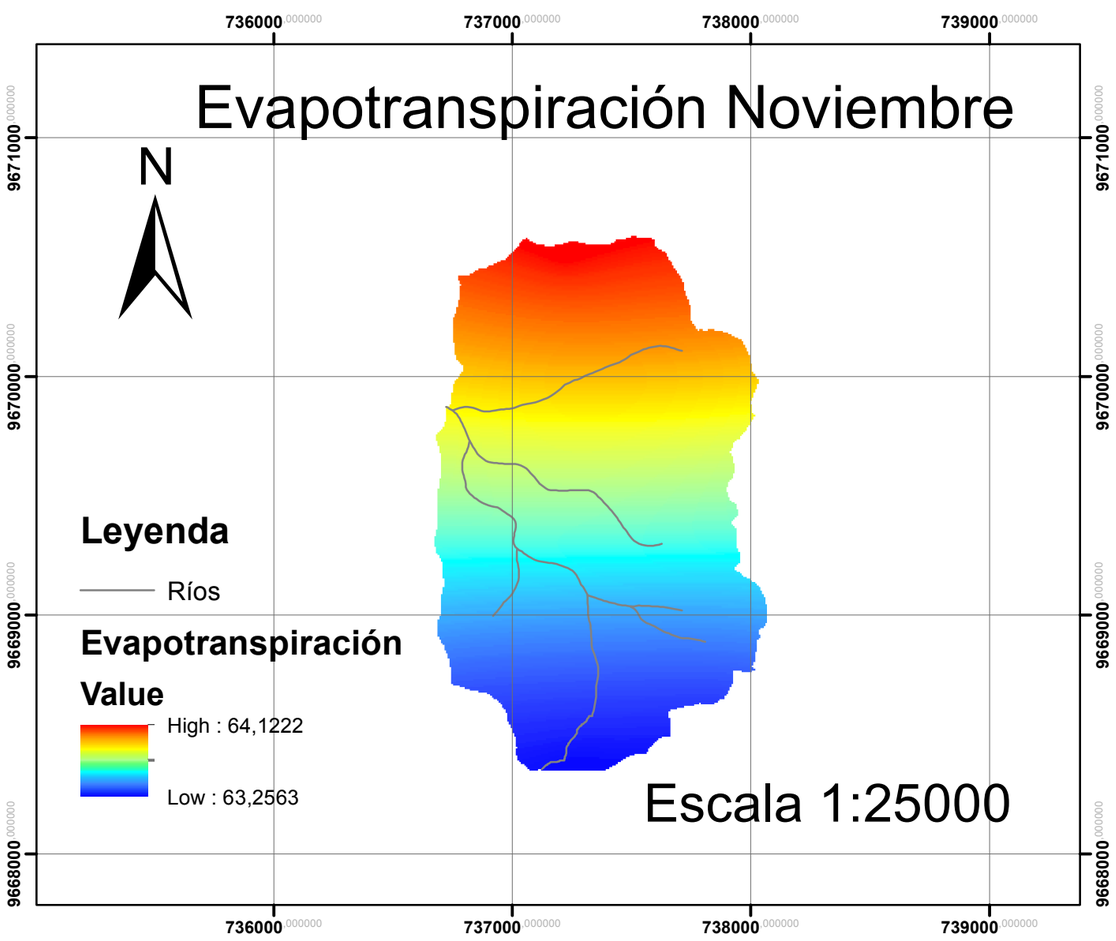


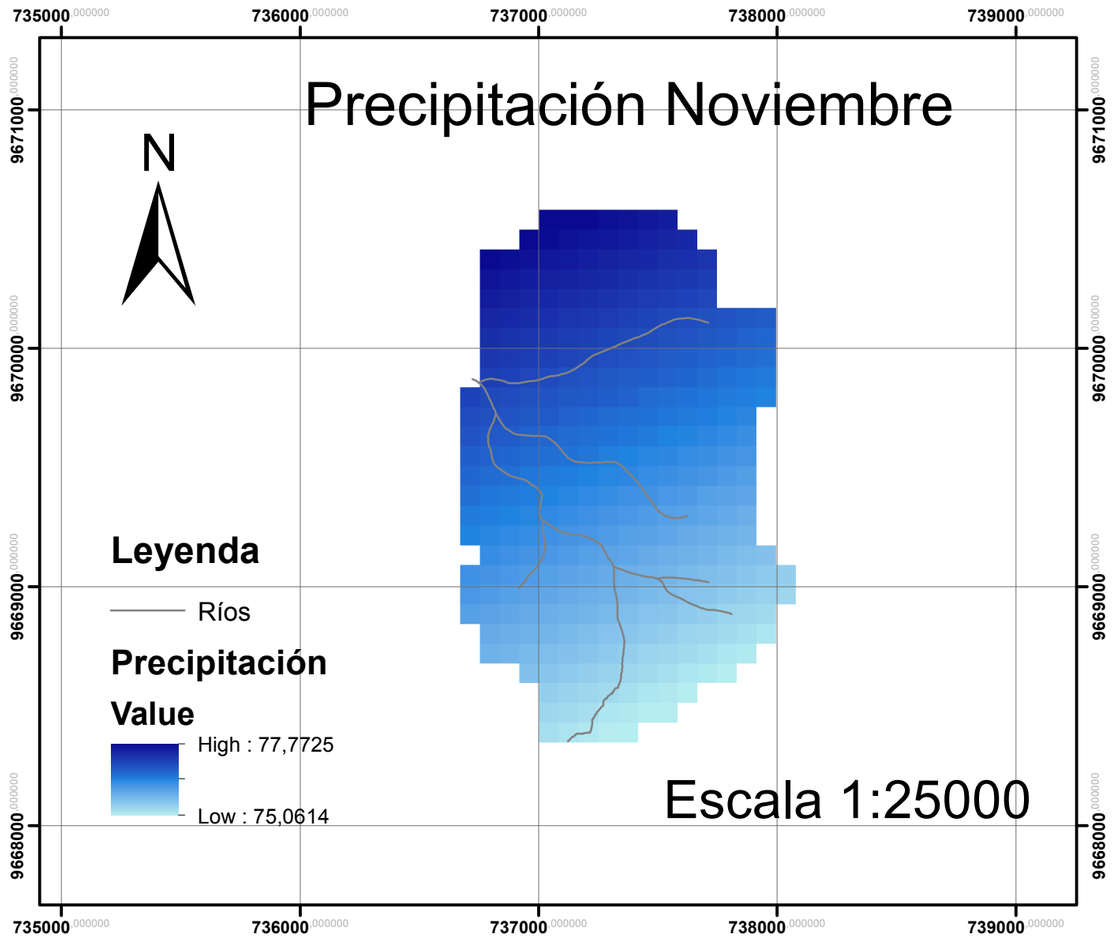


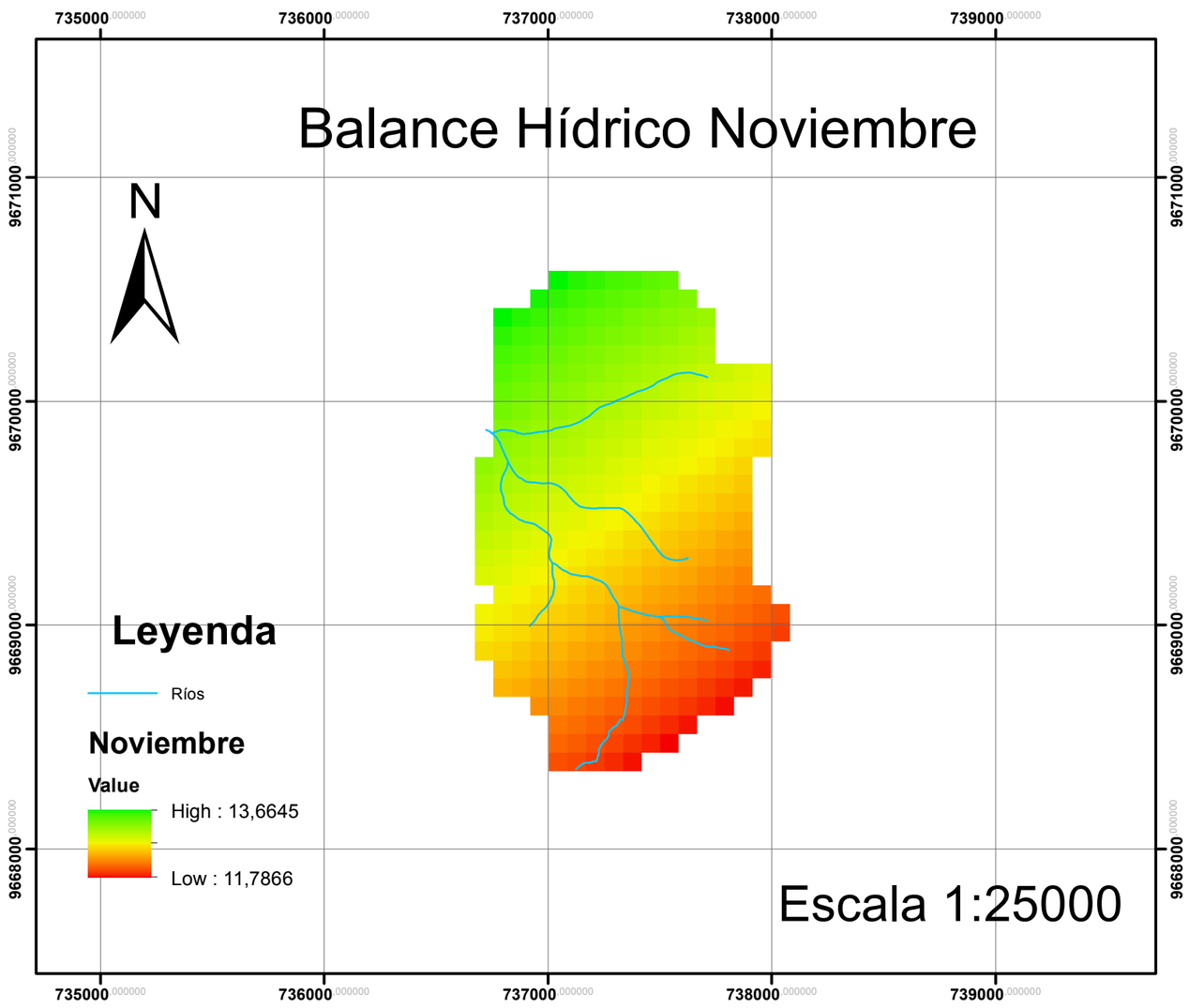


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA					
"ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO".					
MAPA: BALANCE HÍDRICO MES DE OCTUBRE QUILLOSISA					
FUENTE:	SNI. IGM.	SISTEMA DE COORDENADAS:	WGS_1984_UTM_Zone_17S	TUTORA:	MSC. PAOLA DUQUE
ELABORADO POR:	YULIO LOOR BARREZUETA	PROYECCIÓN:	Transverse_Mercator	ESCALA:	1:25000

BALANCE HÍDRICO MES DE NOVIEMBRE QUILLOSISA







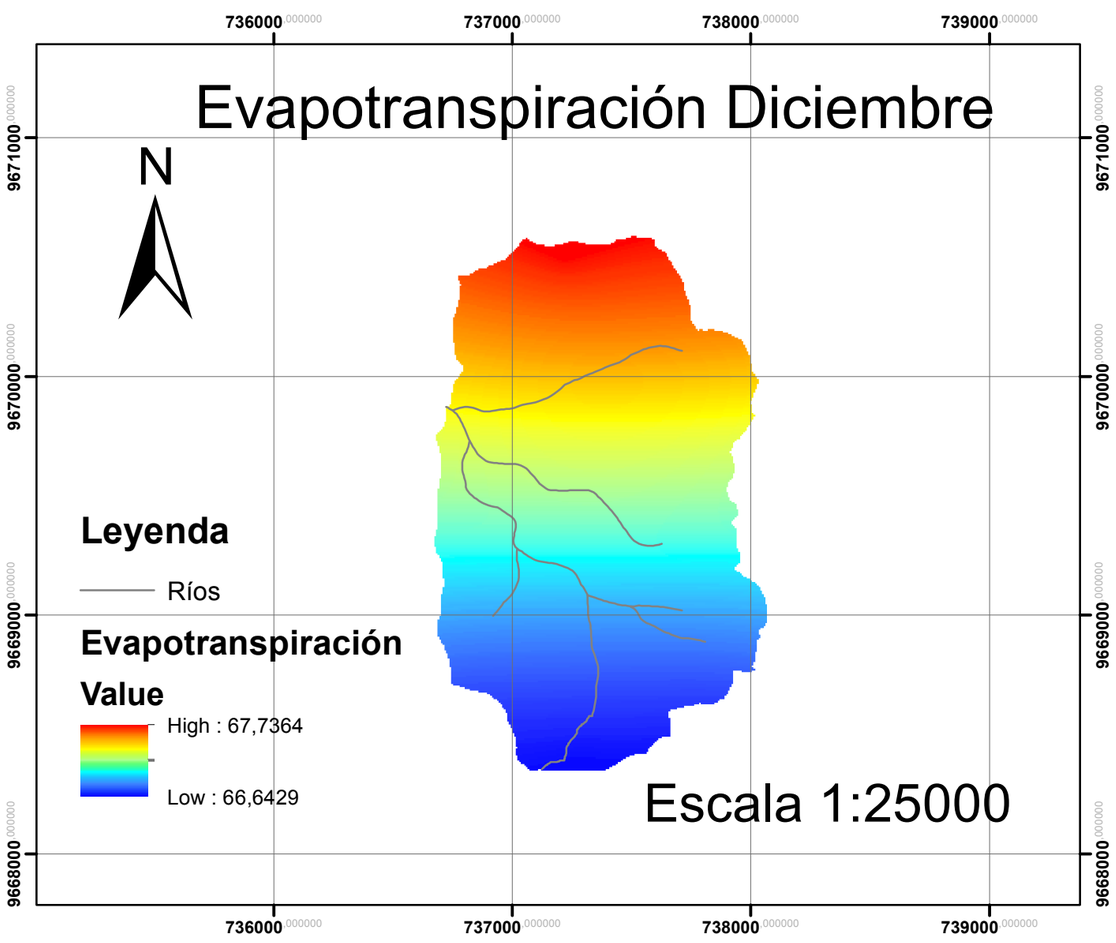
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

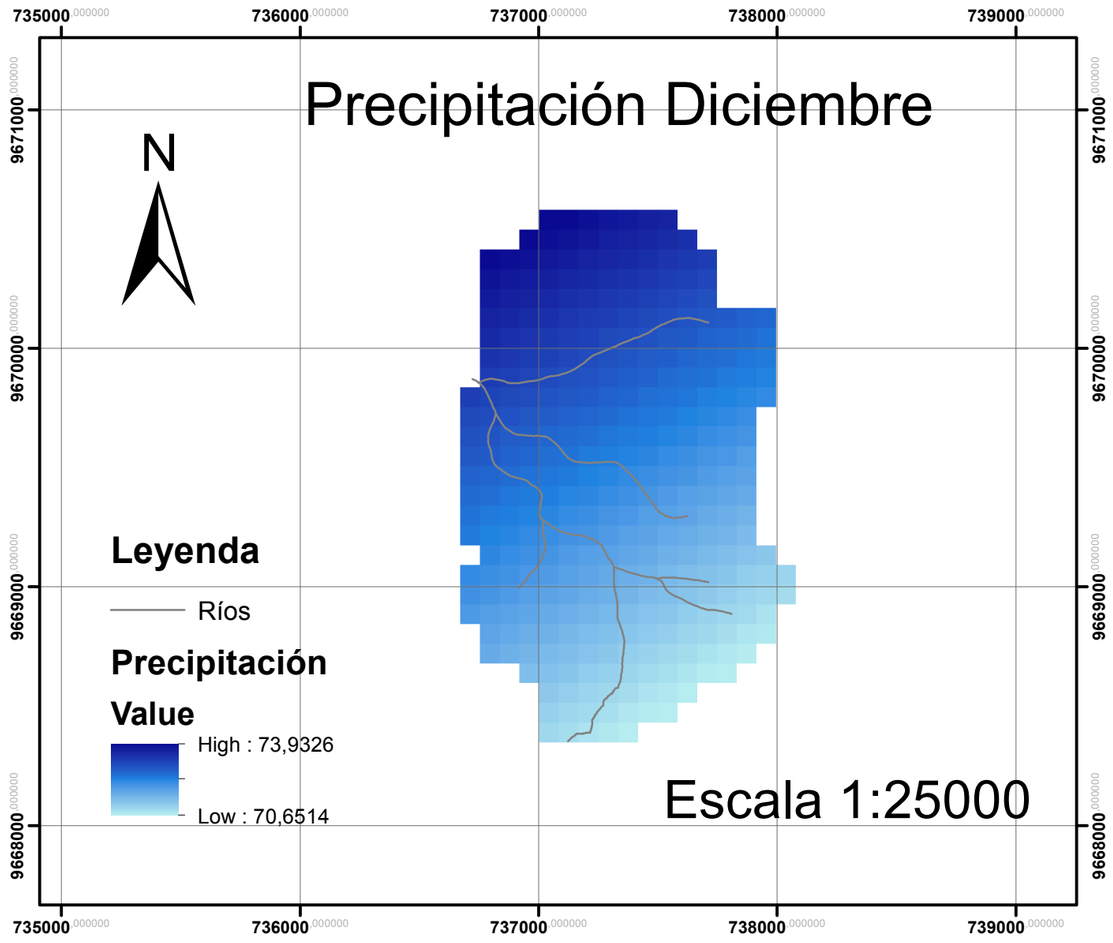
"ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO".

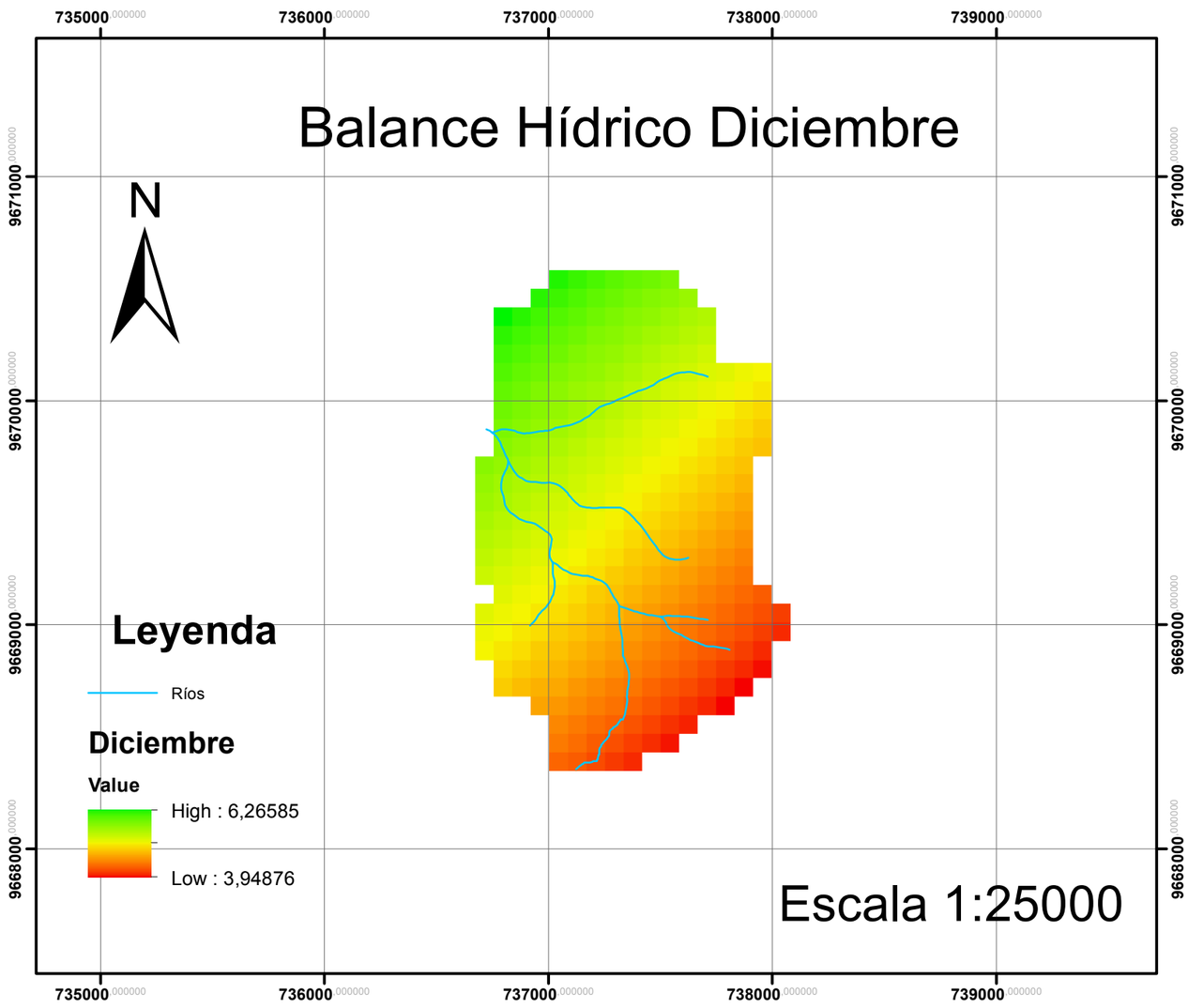
MAPA: BALANCE HÍDRICO MES DE NOVIEMBRE QUILLOSISA

FUENTE:	SNI. IGM.	SISTEMA DE COORDENADAS:	WGS_1984_UTM_Zone_17S	TUTORA:	MSC. PAOLA DUQUE
ELABORADO POR:	YULIO LOOR BARREZUETA	PROYECCIÓN:	Transverse_Mercator	ESCALA:	1:25000

BALANCE HÍDRICO MES DE DICIEMBRE QUILLOSISA

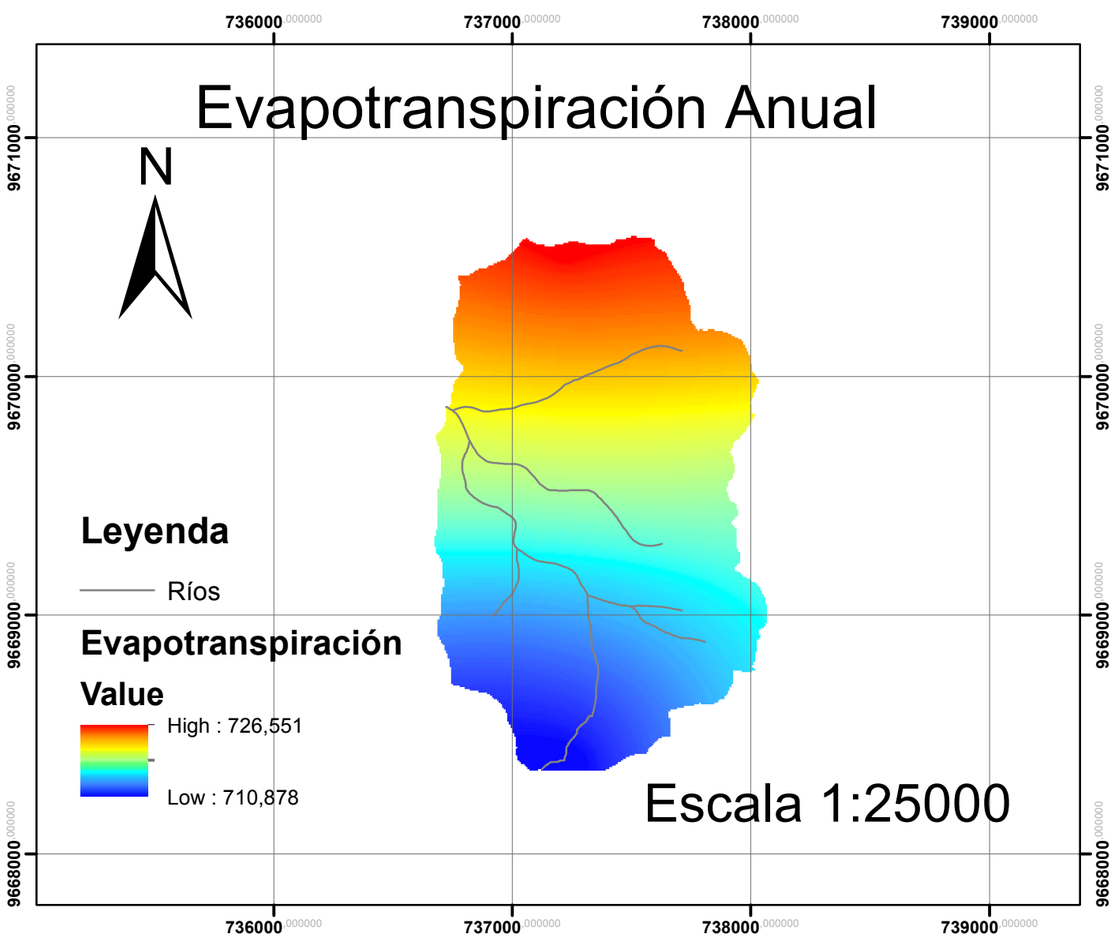


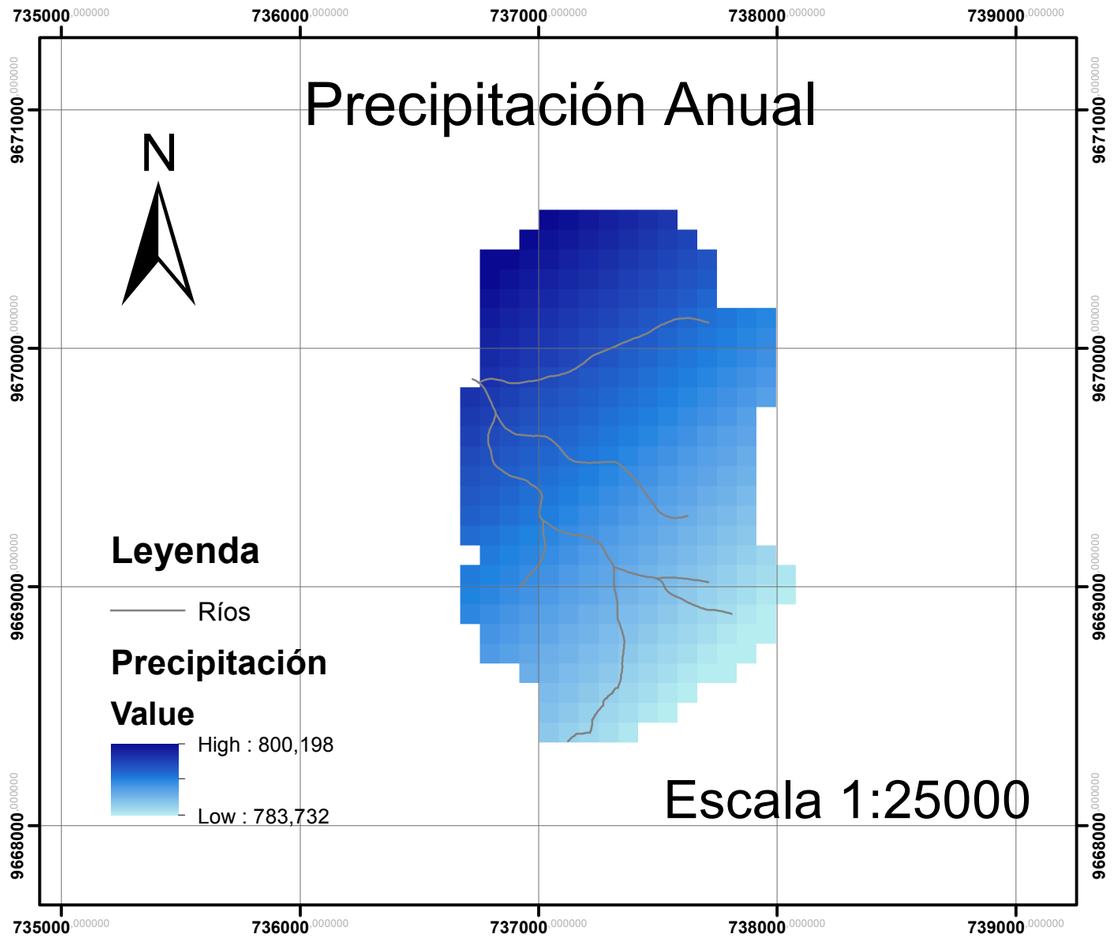


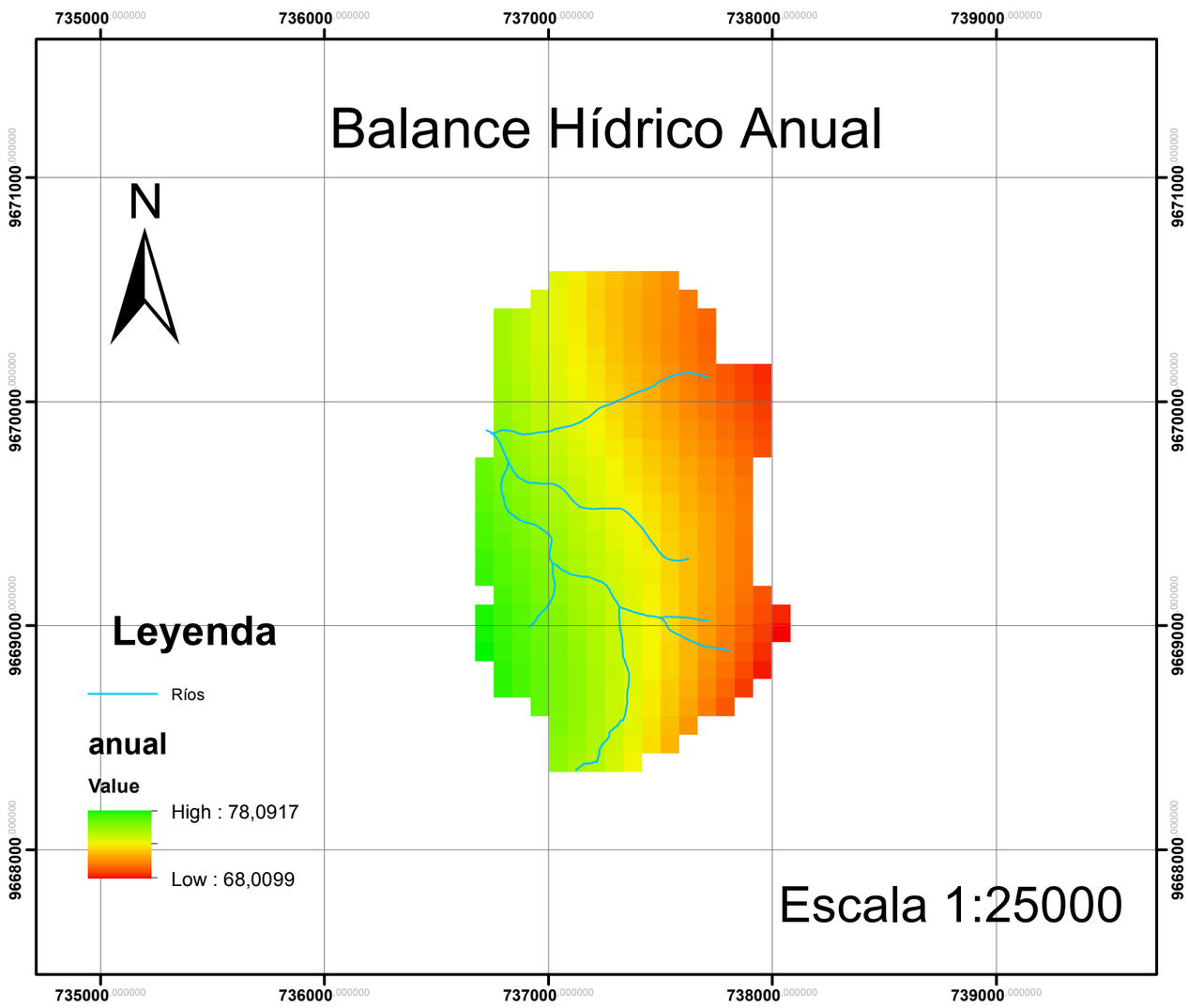


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA					
"ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO".					
MAPA: BALANCE HÍDRICO MES DE DICIEMBRE QUILLOSISA					
FUENTE:	SNI. IGM.	SISTEMA DE COORDENADAS:	WGS_1984_UTM_Zone_17S	TUTORA:	MSC. PAOLA DUQUE
ELABORADO POR:	YULIO LOOR BARREZUETA	PROYECCIÓN:	Transverse_Mercator	ESCALA:	1:25000

BALANCE HÍDRICO ANUAL QUILLOSISA







UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA					
"ESTIMACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS SECTOR SAN JUAN Y SAN BARTOLOMÉ EN EL ÁREA DE INTERCEPTACIÓN CON EL BOSQUE Y VEGETACIÓN PROTECTOR AGUARONGO".					
MAPA: BALANCE HÍDRICO ANUAL QUILLOSISA					
FUENTE:	SNI. IGM.	SISTEMA DE COORDENADAS:	WGS_1984_UTM_Zone_17S	TUTORA:	MSC. PAOLA DUQUE
ELABORADO POR:	YULIO LOOR BARREZUETA	PROYECCIÓN:	Transverse_Mercator	ESCALA:	1:25000