



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

"MODELACIÓN CARTOGRÁFICO - HIDROLÓGICA DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO TAHUANDO PARA EL MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO MEDIANTE HERRAMIENTAS SIG"

AUTORA

TATIANA LIZETH RUIZ REYES

DIRECTOR

Ing. Oscar Rosales, M.Sc.

ASESORES

PHD Xavier Zapata
Ing. Mónica León, M.Sc
Ing. Jorge Granja

**Ibarra – Ecuador
2016**

Lugar de investigación: Parroquia Angochagua, cuenca alta del río Tahuando
Imbabura - Ecuador

HOJA DE VIDA



APELLIDOS: RUIZ REYES

NOMBRES: TATIANA LIZETH

C. CIUDADANIA: 100386597-7

TELÉFONO CONVENCIONAL: 062927845

TELÉFONO CELULAR: 0987365772

E-mail: tattysliz.ruiz.r@gmail.com

DIRECCIÓN:

Imbabura, Otavalo, Barrio San Eloy, Clda. Otavalo.

FECHA DE DEFENSA DE TRABAJO DE GRADO: 14 de julio de 2016

Formato de Registro Bibliográfico

RUIZ REYES TATIANA LIZETH "Modelación cartográfico - hidrológica de la cuenca alta del río Tahuando para el manejo del recurso hídrico mediante herramientas SIG"

TRABAJO DE GRADO

Ingeniera en Recursos Naturales Renovables, Universidad Técnica del Norte, Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, Ibarra. E.C. Julio de 2016

DIRECTOR: Ing. Oscar Rosals Ms. C.

Mediante la aplicación de herramientas SIG se identificaron las áreas de recarga hídrica y se determinó el balance hídrico en la cuenca alta del río Tahuando, para conocer la cantidad del recurso hídrico con fines de aprovechamiento usando el software ArcGIS 10.2. En base a los resultados obtenidos se realizó la propuesta de estrategias de manejo, determinando dos estrategias: la primera es la implementación y socialización de planes de manejo y la segunda la implementación de un programa de educación ambiental, estas estrategias se plantearon con el fin de alcanzar un manejo adecuado del recurso hídrico de la cuenca.

Fecha: 14 de julio de 2016



Ing. Oscar Rosales Mc. S
Director de Trabajo de Grado



Tatiana Lizeth Ruiz Reyes
Autora

"MODELACIÓN CARTOGRÁFICO - HIDROLÓGICA DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO TAHUANDO PARA EL MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO MEDIANTE HERRAMIENTAS SIG"

Tatiana Ruiz*¹, Oscar Rosales¹

¹Universidad Técnica del Norte

Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales Av. 17 de julio 5-21 y José Córdova,

Ibarra-Ecuador Teléfono: 00593-6-2997800

*Autor correspondiente: e-mail: tattysliz.ruiz.r@gmail.com

RESUMEN

Se realizó la modelación cartográfica - hidrológico de la cuenca alta del río Tahuando para el manejo del recurso hídrico mediante la aplicación de herramientas SIG. Para esto se identificaron los problemas del área de estudio en base a los reconocimientos de trabajo de campo. Se identificaron las áreas de recarga hídrica y se determinó el balance hídrico para conocer la cantidad del recurso hídrico con fines aprovechamiento, usando los datos del Sistema Nacional de Información, tales como: uso del suelo y cobertura vegetal, modelo digital de elevación, zonas de vida, tipo de suelos, e información meteorológica de los anuarios del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). La identificación de las áreas de recarga hídrica se realizó mediante la metodología elaborada por el Centro Agronómico Tropical de Investigación. Esta consistió en aplicar la técnica de álgebra de mapas con información cartográfica de la pendiente, tipo de suelo, cobertura vegetal, tipo de roca y uso del suelo. En la investigación determinó que la cuenca alta del río Tahuando con un (64,45%) se considera como una buena productora de agua por

las posibilidades de recargas moderadas altas y muy altas presentes en el área de estudio. Además los resultados del balance hídrico determinaron que hay un excedente de agua en todos los meses. Se realizó el coeficiente satisfactorio con los datos simulados y medidos en campo aplicando la fórmula de corrección y regresión lineal, obteniendo un valor de 0,95 demostrando que hubo un buen ajuste entre los datos simulados y medidos. En base a los resultados obtenidos se realizó la propuesta de estrategias de manejo de la cuenca alta del río Tahuando, determinando dos estrategias de manejo, la primera es la elaboración, implementación y socialización de planes de manejo y la segunda la implementación de un programa de educación ambiental, estas estrategias se plantearon con el fin de alcanzar un manejo adecuado de la cuenca.

Palabras clave: áreas de recarga hídrica, Modelo hidrológico, recurso hídrico, balance hídrico.

SUMMARY

It has been made by “Cartographic y Hydrological Modelling for the basin of high place of Taguando’s river” for the use of water resources by means of SIG tools. For the identification of the problem based and recognition by field land study. Were identified water recharge areas and determine an hydrological balance for going to know the amount of usable hydrological resources, using the data information from Information National System such as: land use and land cover, digital elevation model, soil type and weather information from the year books of Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). The identification of areas of hydric recharge was made by the developed methodology by The “Centro Agronómico Tropical de Investigación” This was to apply the technique of algebras’ map with cartographic information of the slope, soil type , vegetation cover and rock type and land use. The investigation determined that the high basin of the Taguando’s river with a 64.45% it’s considered as a good producer of water by the possibilities of high and very high moderate refills present in the study area. In addition the results of the hydric balance determined that there is a surplus of water in every month. Was performed a satisfactory coefficient using simulated data and measured in the field using *correction formula* and *lineal regression* , obtaining value of 0,95 demonstrating that there was a good fit

between simulated and measured data. Based on the results of the proposed management strategies held the high basin of the Taguando’s river, determining management two strategies, the first is the development, implementation and socialization of management plans and the second the implementation of an environmental education program, these strategies were proposed in order to archive an adequate management of the basin.

Keywords: water recharge areas, Hydrological Modelling, water resources, hydrological balance.

INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los elementos más importantes para que la vida en el planeta se desarrolle y mantenga, por lo que a nivel mundial en los últimos años se han realizado varios estudios y se ha puesto un indiscutible interés para la gestión adecuada de este valioso recurso, creando y reformando normativas legales, además de establecer varios convenios para poder controlar el uso y la distribución adecuada del agua. La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2010) menciona que existen más de 400 acuerdos sobre cuencas hidrográficas compartidas, la mayoría de ellos entre los países ribereños.

El World Resources Institute (como citó Echavarría, 1999), menciona que el 26% del volumen de agua dulce mundial está en Centro y Sur América, a pesar de ser sólo el 16% del área terrestre mundial, pero no es aprovechado por todos sus ciudadanos y el recurso está siendo amenazado en su calidad y en la capacidad regeneradora de sus fuentes. Mientras que la Secretaria General de la Comunidad Andina (Comunidad Andina, 2010) menciona que “en la región andina se estima que el 78% de la extracción de aguas de fuentes naturales, superficiales y subterráneas se destina para el riego en el sector agrícola, el 13% para el uso doméstico y el 9% restante para el uso industrial”.

Debido a los problemas existentes que no solo se dan en Ecuador, sino también a nivel mundial sobre el uso, la calidad, cantidad y distribución del agua se ha planteado el manejo del recurso hídrico considerándolo de suma importancia, como menciona la Red internacional para el desarrollo de capacidades en la Gestión Integrada de

Recursos Hídricos (CAP-NET, 2008) donde expresa que “la gestión sostenible de los recursos hídricos es una meta importante que se está adoptando a nivel nacional e internacional en un intento por tratar la escasez de agua, la inequidad, la polución y muchos otros problemas hídricos”.

En Ecuador se ha utilizado los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramienta de apoyo, ya que estos ayudan a manejar grandes volúmenes de datos para realizar diferentes análisis espaciales, dando como resultado modelos integrados que han ayudado a perfeccionar el manejo de las cuencas hidrográficas. Por esto se consideró trabajos que se han hecho dentro y fuera del país para realizar el presente estudio, con el fin de generar modelos digitales del terreno de la cuenca y a partir de estos derivar las características del relieve y características hidrológicas sobre la función de la cuenca alta del río Tahuando, considerando como herramienta de apoyo el software ArcGIS 10.2.

Además de esto también se consideró importante saber las áreas de recarga hídrica que influyen en la cuenca alta del río Tahuando para ver la cantidad de agua disponible con fines de aprovechamiento, esto se basó en la metodología explicada en la Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica (Matus, Faustino y Jiménez, 2009) siendo la información obtenida posteriormente procesada en el software ArcGIS 10.2. Además se realizó el modelo hidrológico con fines de simulación de escorrentía superficial de la cuenca usando capas de información vectorial basándose en el estudio de Determinación de balances

hídricos en micro cuencas y subcuencas (Torrinco, 2011).

En la cuenca alta del río Tahuando se han identificado diversos problemas entre ellos está la escasa información hidrológica y meteorológica, limitando investigaciones y actividades que contribuyan al desarrollo de proyectos importantes para los involucrados de esta zona. Esta también el conflicto por el uso del suelo, la Consultora Aguas del Ecuador (2008) menciona que hay avance de frontera agrícola en la cuenca del río Tahuando por el establecimiento de cultivos y sobrepastoreo en áreas de páramo.

La presencia de plantaciones con especies introducidas es otro de los problemas, se encontró plantaciones de eucalipto - *Eucalyptus sp*, ciprés - *Cupressuss empervirens* y pino - *Pinus radiata* (fotografía aérea, 1999) que en conjunto con la reducción de la cobertura vegetal que en su mayor parte es degradada y la intervención humana es muy notoria como mencionó la Consultora Aguas del Ecuador (2008) pueden provocar importantes alteraciones que intervendrían en las funciones propias de la cuenca. Echavarría (1999) dice que la cobertura vegetal y el suelo cumplen la función de retener la lluvia y la humedad del aire, acumulando el líquido para disponerlo por intermedio de la vegetación al aire y/o alimentar cuerpos de agua como los acuíferos, nacimientos, quebradas, lagos y ríos.

Las aplicación de la metodología para la identificación de áreas de recarga hídrica y la determinación del balance hídrico son relevantes para la generación de información base que permite establecer estrategias aptas para el manejo adecuado de la cuenca. La información generada en la investigación contribuye a los usuarios directos e indirectos,

especialmente a la Junta de Regantes de Angochagua y Rosas Pamba, así como también al GAD parroquial de Angochagua como aporte al mejoramiento del Plan de Ordenamiento Territorial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del área de estudio

La cuenca alta del río Tahuando políticamente se encuentra en la provincia de Imbabura, cantón Ibarra, parroquia Angochagua, (Figura 4.1). La microcuenca tiene una superficie de 13,508 ha, altitudinalmente se encuentra

en el rango de 2640 – 3920 msnm. (Cartas topográficas de Ibarra, 1985; San Pablo del Lago, 1985). En la figura 1 se observa la ubicación del área de estudio.

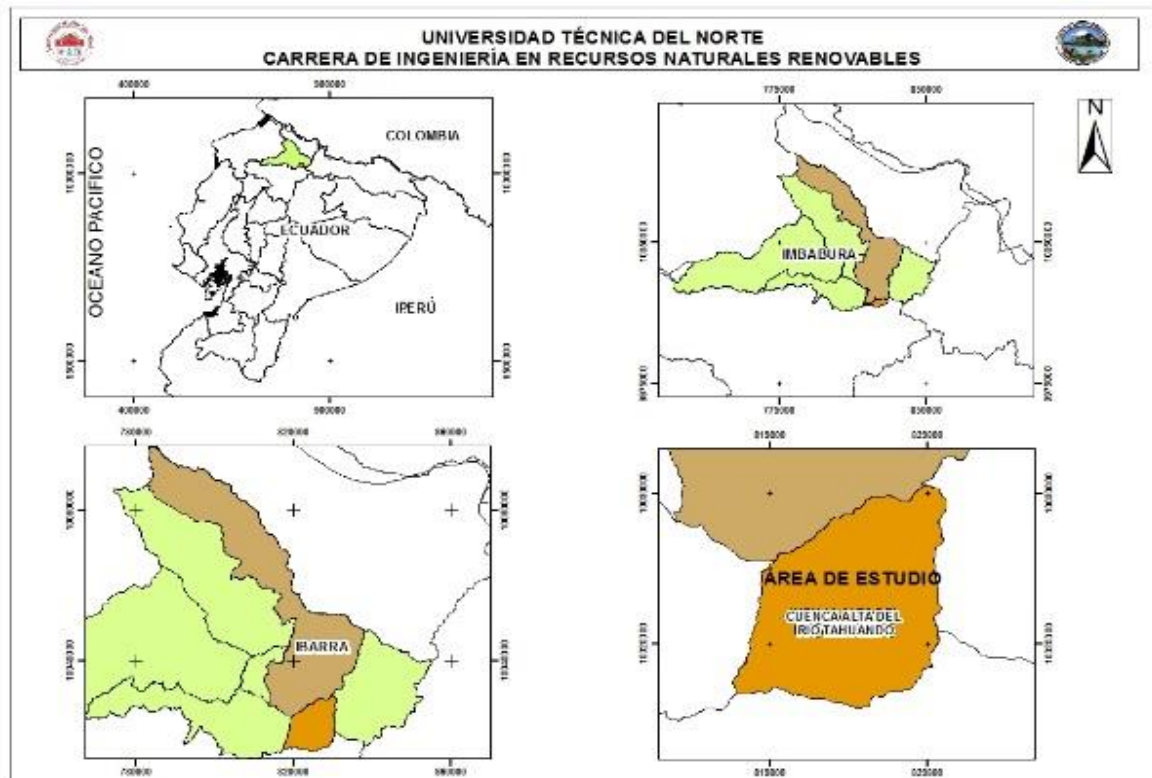


Figura 1. Ubicación del área de estudio

Metodología

Se recopiló información del Sistema Nacional de Información (SNI 2013), estudios e investigaciones realizadas en el área de estudio sobre los aspectos que influyen en la microcuenca como: clima, hidrología y cobertura vegetal. Para el clima se obtuvo datos de las Estaciones Meteorológicas de Otavalo, Inguincho, San Gabriel e Isobamba.; del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI 2013).

Se realizó la identificación de las áreas de recarga hídrica en la cuenca alta del río Tahuando para determinar la cantidad del recurso hídrico con fines de aprovechamiento, para esto se utilizó la Guía práctica para identificar las zonas potenciales de recarga hídrica elaborada por el Centro Agronómico Tropical de Investigación (Matus, Faustino y Jiménez, 2009). Esta metodología consiste en hacer un análisis utilizando variables ambientales definidas, sobreponiendo capas de información en formato shapefile y comparando la información obtenida con tablas de parámetros establecidos sobre: la pendiente del suelo, el tipo de suelo, la cobertura vegetal, la litología y el uso de suelo. Finalmente se aplica ecuación 1 de recarga hídrica (ZR), el resultado se compara con los parámetros para la identificación. El proceso se realiza mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica.

Ecuación 1. Áreas de recarga hídrica

$$ZR = [0,27(Pend) + 0,23 (Ts) + 0,12 (Tr) + 0,25 (Cve) + 0,13 (Us)] \text{ (Matus, 2007)}$$

Donde:

Pend: Pendiente y microrrelieve

Ts: Tipo de suelo

Tr: Tipo de roca

Cve: Cobertura vegetal permanente

Us: Uso del suelo

Realización del modelo hidrológico

Se realizó el modelo hidrológico de la cuenca alta del río Tahuando con fines de simulación de escorrentía superficial, para esto se utilizó la metodología del estudio "Determinación de balance hídrico en cuencas y micro cuencas" (Torrico, 2011). El proceso consistió en la interpretación de elementos del balance hídrico, se usó la precipitación, precipitación efectiva, escurrimiento, almacenamiento de humedad en el suelo, evapotranspiración actual y evapotranspiración potencial.

El proceso consistió en preparar una base de datos con información disponible tanto meteorológica como vectorial, interpolación para tener un estimado de la precipitación y evapotranspiración del área de estudio. Para el cálculo del escurrimiento superficial, precipitación efectiva, almacenamiento de humedad en el suelo, el déficit y excedente de agua se usó la ecuación 2 del balance hídrico.

Ecuación 2. Balance hídrico

$$P = ETa + D + R + \Delta S \text{ (Torrico, 2011)}$$

Donde:

P = precipitación

ETa = evapotranspiración real

R = escurrimiento superficial

ΔS = variación en la retención de

almacenamiento de agua en el suelo

D = drenaje (infiltración profunda o percolación)

Validación del modelo hidrológico

El modelo hidrológico se validó con datos obtenidos en campo mediante salidas de campo realizadas en los meses

de marzo, abril y septiembre a la cuenca alta del río Tahuando, las pruebas realizadas fueron la cobertura y uso de suelo, infiltración del suelo con el uso de Infiltrómetro Tec, textura del suelo, pendiente del suelo y el aforo de caudales con molinete electrónico Rickly Hydrological. Además se usó la fórmula de correlación y regresión lineal en una hoja de Excel para obtener el R^2 , considerando que el valor debe acercarse a la unidad para mostrar mayor efectividad. Este proceso sirvió para verificar si los resultados obtenidos en el modelo son confiables.

Propuesta de estrategias de manejo

La propuesta de estrategias de manejo se realizó en base a la información obtenida en la investigación. Para esto se usó la metodología de la “Guía para la elaboración de planes de manejo de microcuencas” (UICN, 2009). El proceso consistió en hacer un análisis de los datos generales de la propuesta, la delimitación y definición del área de estudio y el diagnóstico y problemática de la cuenca, identificando y describiendo cada uno de ellos.

Se aplicó la matriz FODA para identificar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas con fin de encontrar los elementos más relevantes para plantear la propuesta de estrategias de manejo de la cuenca alta del río Tahuando. Una vez obtenida la información se comparó las fortalezas con las oportunidades y las debilidades con las amenazas, determinado así las propuestas de estrategias de manejo de la cuenca.

RESULTADOS

Identificación de Áreas de Recarga Hídrica

Se identificaron las áreas de recarga hídrica en la cuenca alta del río Tahuando, obteniendo como resultado un 42,73% de recargas moderadas dominando estas el área de estudio, mientras que, apenas un 3,46% de la zona presenta áreas con recarga muy alta y muy baja siendo estas las que menor dominancia tienen. En la figura 2 se observa el porcentaje de áreas de recarga hídrica identificadas en la cuenca alta del río Tahuando.

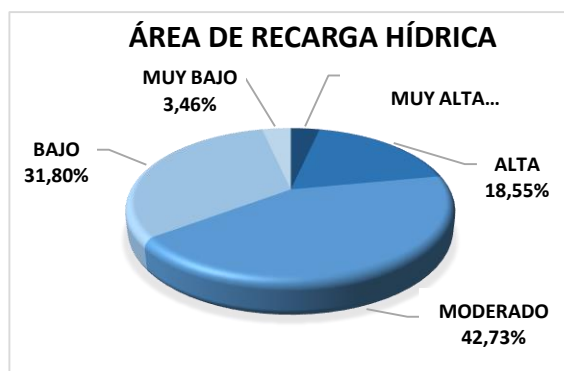


Figura 2. Porcentaje de Áreas de Recarga Hídrica identificadas en la cuenca alta del río Tahuando

➤ Recarga hídrica muy alta

Las zonas de recarga hídrica muy alta cubren un 3,46%, siendo uno de los de menor dominancia en la zona de estudio, con un área de 483,25 Ha, estas se encuentran en un rango de pendiente entre 6 – 15%, en suelos de orden mollisol con textura gruesa, la geología que presentan son volcánicos de Angochagua, con vegetación de paramo, donde el uso asignado del suelo es para protección y conservación.

➤ Recarga hídrica alta

Las zonas de recarga hídrica alta cubren un 18,55% de la zona de estudio, con un área de 2589,00 Ha, estas se encuentran en un rango de pendiente entre 6 – 15%, en su mayoría en suelos de orden inceptisol, aunque en una mínima cantidad están en suelos de orden mollisol, con textura gruesa a moderadamente gruesa, la geología que presentan son volcánicos de Angochagua en su mayoría, aunque también están en los volcánicos de Imbabura y en menor cantidad en los volcánicos de Cayambe, con vegetación arbustiva y herbácea, pasto cultivado y cultivos de ciclo corto, donde el uso de suelo asignado es pecuario, agrícola - protección y conservación en una mínima cantidad, agrícola - protección y conservación, pecuario y agrícola mixto en su mayoría.

➤ Recarga hídrica moderada

Las zonas de recarga hídrica moderada cubren un 42,73%, siendo estas de mayor dominancia en la zona de estudio con un área de 5964,90 Ha, estas se encuentran en un rango de pendiente entre 6 – 15%, en su mayoría en suelos de orden inceptisol, aunque en una mínima cantidad están los suelos de orden mollisol, con textura gruesa y media, la geología que presentan son de depósito coluviales, se encuentran en zonas con cultivos de ciclo corto, cultivos de ciclo corto en áreas erosionadas, pasto cultivado, siendo su uso agrícola y agropecuario mixto.

➤ Recarga hídrica baja

Las zonas de recarga hídrica baja cubren un 31,80% de la zona de estudio con un área de 4438,65 Ha, estas se encuentran en un rango de pendiente entre 6 – 15%, en su mayoría en suelos de orden mollisol, aunque en una mínima cantidad están en suelos de orden entisol, con textura media, la geología que presentan son depósito fluvio glacial y derrubios, con vegetación arbustiva y herbácea.

➤ Recarga hídrica muy baja

Las zonas de recarga hídrica muy baja cubren un 3,46% de la zona de estudio con un área de 483,25 Ha, estas se encuentran en un rango de pendiente entre 6 – 15%, en su mayoría en suelos de orden mollisol, la geología que presentan son Volcánicos del Imbabura, Volcánicos de Angochagua, Volcánicos del Cayambe y cangahua, se encuentran en suelos erosionados y tierras improductivas.

En la cuenca alta del río Tahuando se obtuvo una posibilidad de recarga moderada con 42,73% del total de la superficie, seguida por la recarga baja con 31,80%, recarga alta con 18,55%, mientras que las áreas de menor porcentaje son: recarga muy alta y muy baja con 3,46%; por estas razones se clasificó a la cuenca con categoría “Buena”, ya que tiene 64,45% de posibilidad de recargas moderadas, altas y muy altas.

Modelo hidrológico de la cuenca alta con fines de simulación de escorrentía superficial

Los datos de precipitación alcanzaron valores mensuales promedios de 80,06 mm/año, mientras que la precipitación efectiva fue inferior a 50 mm/año, encontrando una diferencia mínima 40 mm/año entre los dos componentes, el escurrimiento muestra valores próximos a 40 mm/año, mientras que la evapotranspiración potencial alcanzó valores de 75 mm/año. Encontrando una diferencia considerable en la retención de humedad en el suelo que alcanzó un valor máximo de 408 mm/año, en este resultado hay que considerar que la cuenca alta del río Tahuando tiene una capacidad máxima de retención del suelo de 150 mm y el promedio de 77,45 mm, entendiendo que el sobrante es exceso de agua en la cuenca. En la figura 3. Se detalla las variables analizadas en el balance hídrico.

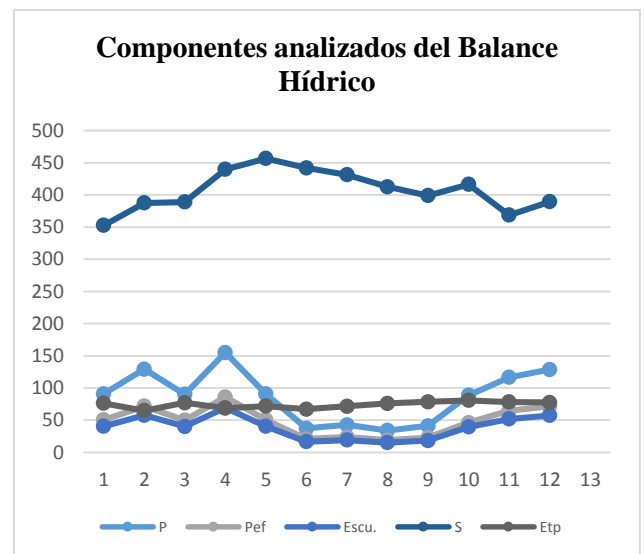


Figura 3. Variables analizadas en el balance hídrico

Validación del modelo hidrológico con datos obtenidos en campo

La validación del modelo hidrológico se realizó con salidas de campo al área de estudio. Las variables comprobadas fueron: aforo de caudales, infiltración del suelo, textura del suelo, uso y cobertura del suelo.

➤ Aforo de caudal

El aforo de caudal se realizó mediante salidas de campo, se usó el molinete electrónico Rickly Hidrological para medir en número de revoluciones en un tiempo de 40 segundos, la información levantada fue procesada en el Software Microsoft Excel. El aforo de caudales se realizó en cuatro puntos de la cuenca alta del río Tahuando, en el cuadro 1 se detalla las coordenadas, el lugar, la fecha de medición y los caudales calculados.

Cuadro 1 caudales aforados en la cuenca alta del río Tahuando

Coordenadas		Lugar	Fecha	Caudal (l/s)
X	Y			
823859	10028400	Antes de captación	09/16/14	693,93
			04/24/16	524,93
			04/18/15	1450,00
		Estimación de caudal	09/03/14	1087,29
823842	10028467	Después de captación	09/16/14	618,18
			04/24/16	345,06
			04/18/15	1330
824990	10025821	Puente Angochagua	03/09/14	848,79
			09/16/14	1561,01
			04/18/15	730,57
			04/24/16	483,68
823630	10022067	Puente Zuleta	03/09/14	355,98
			09/16/14	515,63
			04/18/15	430,19
			04/24/16	18,28

Elaboración: Autora

Aitken (1973) menciona que los modelos hidrológicos están sujetos a errores, los

cuales pueden ser aleatorios o sistemáticos, y que los análisis de la media, desviación estándar y coeficiente de determinación no son suficientes para poder detectarlos. Para definir la eficiencia del modelo se utilizó la fórmula de regresión y correlación R^2 que muestra que tan eficaces pueden llegar a ser los resultados de un modelamiento, comparando los datos de caudales aforados en el área de estudio y los datos de escorrentía calculados en laboratorio del año 2013.

En el cuadro 2 se detalla los caudales aforados en campo y los datos calculados de escorrentía del año 2013.

Cuadro 2 comparación de datos aforados en campo y datos calculados en laboratorio

Mes	Caudal calculado (lt/s)	Caudal aforado (lt/s)
Enero	676,81	Sin dato
Febrero	3420,56	Sin dato
Marzo	1188,20	1087,29
Abril	2044,44	1500
Mayo	3590,84	Sin dato
Junio	203,76	150
Julio	624,86	Sin dato
Agosto	628,39	Sin dato
Septiembre	632,66	693,93
Octubre	2617,99	Sin dato
Noviembre	2409,69	Sin dato
Diciembre	2331,95	Sin dato
Σ anual	1697,52	Sin dato

Elaboración: Autora

Torres, Mejía, Cortés y otros (2005) menciona que si los resultados de un modelo son altamente correlacionados con los tomados en campo, el coeficiente de eficiencia será estadísticamente cercano a la unidad (1), en este caso el valor calculado del coeficiente de eficiencia es de 0,95; concediendo en el

rango mencionado anteriormente por los autores, validando el modelo hidrológico elaborado.

En la figura 4 se observa el cálculo del coeficiente de caudales aforados en campo en la cuenca alta del río Tahuando y los cálculos hechos en laboratorio del año 2013.

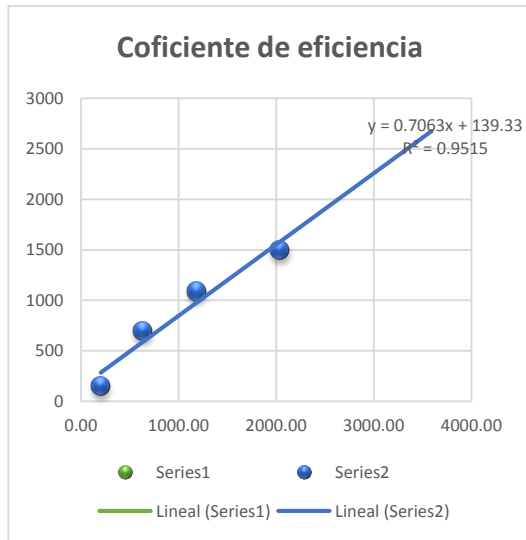


Figura 4 Coeficiente de eficiencia de caudales aforados en campo y calculados en laboratorio
Elaboración: Autora

➤ Infiltración de agua

La comprobación de infiltración de agua se realizó en cuatro puntos del área de estudio, siendo estas recargas: moderada, baja y muy baja. En el cuadro 3 se describe el lugar, las coordenadas, la recarga hídrica, la infiltración y el tiempo.

Cuadro 3 Comprobación de infiltración de agua en la cuenca alta del río Tahuando

Lugar	Recarga Hídrica	Pruebas de infiltración		
		Infiltración (mm)	Tiempo (min)	Observaciones
Zuleta	Moderado	90	7,30	Suelo con cultivos y pastos
Angochagua	Bajo	65	15	Suelo con cultivos y pastos, presencia de animales
Cochas	Bajo	90	4,42	Suelo con cultivos y pastos, presencia de animales
Angochagua (bosque eucalipto)	Muy bajo	88	15	Bosque de eucalipto

Elaboración: Autora

➤ Textura del suelo

La textura del suelo se realizó en conjunto con la prueba de infiltración del suelo en una salida de campo. En el cuadro 4 se muestra los puntos donde se tomó las muestras, las coordenadas y la textura.

Cuadro 4 Textura del suelo

Textura del suelo			
Coordenadas		Lugar	Textura
x	y		
823601	10027477	bosque de eucalipto	franco
8232705	10022020	Zuleta	arenoso
820215	10022000	Cochas	franco
824939	10025837	Angochagua	limoso

Elaboración: Autora



Figura 5 prueba de textura de suelo

Propuesta de estrategias de manejo de la cuenca alta del río Tahuando

La propuesta de estrategias de manejo se realizó con la información de la caracterización del área de estudio, identificación de áreas de recarga hídrica, los de datos obtenidos en el modelo hidrológico y el marco legal e información adicional. Dicha propuesta está orientada al manejo sustentable de la cuenca para un adecuado manejo, conservación y aprovechamiento del recurso hídrico.

➤ Diagnóstico y problema

La cuenca alta del río Tahuando presenta algunos problemas como la pérdida de cobertura vegetal, especies introducidas, ganadería, avance de la frontera agrícola, avance de la zona rural hacia el área de conservación y protección, reducción de caudales en época seca y vertido de aguas residuales directo al río, además de arrastre de sedimentos en época lluviosa.

De acuerdo al mapa de uso de suelo el año 2008, gran parte del uso de suelo de la cuenca alta del río Tahuando está destinada para conservación y protección con un porcentaje de 49,88%, el uso agropecuario, agrícola, tierras improductivas y zona urbana cubren el faltante del porcentaje. Además en el área de estudio se encontró bosque de producción principalmente con plantaciones de eucalipto - *Eucalyptus sp*, ciprés - *Cupressuss empervirens* y pino - *Pinus radiata*, algunos son bosques en edad adulta, mientras que otros están en proceso de crecimiento.

Se presenta también el conflicto por el uso del suelo, ya que actualmente no tienen un adecuado manejo, incentivando

a que se provoque o acreciente problemas como: la erosión, pérdida de cobertura vegetal y pérdida de agua a futuro. El avance de la frontera agrícola ha ido incrementando al igual que el avance de la zona rural hacia las zonas de conservación y protección. El vertido de aguas residuales directas al río es otro problema, ya el agua para riego de algunos cultivos que se producen en el área de estudio se toman directamente del río Tahuando.

El modelo hidrológico dio como resultado que tanto en la época seca como en la época lluviosa existe excedente de agua con una reducción de caudales de casi de un 50% en época seca, teniendo un excedente escaso para estos meses, además el arrastre de sedimentos en la época lluviosa es muy notoria; es necesario que se dé un adecuado manejo a la cuenca alta del río Tahuando con el fin de que se mejore y mantenga el agua en la cuenca.

➤ Matriz FODA

La matriz FODA se elaboró con el fin de encontrar los elementos más relevantes para iniciar una la propuesta de estrategias de manejo de la cuenca alta del río Tahuando. La utilización de esta herramienta permitió establecer las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas del área de estudio. En el cuadro 5 se detallan los elementos del FODA analizados para la cuenca alta del río Tahuando.

Cuadro 5 Elementos del FODA analizados para la cuenca alta del río Tahuando.

Fortalezas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> El marco legal ecuatoriano promueve la conservación y protección del recurso agua. Existencia de junta de regantes, Gobierno parroquial. Algunos de los usuarios están interesados en el manejo adecuado de la cuenca. El uso del suelo de conservación y protección tiene un porcentaje de 49,88%. El modelo hidrológico dio como resultado un excedente de agua tanto en la época seca como en la lluviosa que pueden ser aprovechados. La cuenca es considerada buena productora de agua con un 64,45% de posibilidad de recargas moderada, alta y muy alta. 	<ul style="list-style-type: none"> Las diferentes entidades como MAE, EMAPA – I, Juntas de regantes, y GADs municipales y parroquiales contarán con información para ejecutar proyectos en beneficio de los actores y el manejo adecuado de la cuenca. Existe un excedente de agua en época seca y lluviosa que puede ser utilizado en diferentes proyectos. Existencia de un área de bosque y vegetación protectora en Zuleta de 4770,00 ha (privada) destinada a protección y conservación.
Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> Inexistencia de control del desvío de agua. Desconocimiento del marco legal existente con respecto al manejo, cuidado y protección del agua por parte de los usuarios. Desconocimiento de buenas prácticas ambientales para la protección, cuidado y mantenimiento del agua por parte de los usuarios. Escasa concienciación ambiental. 	<ul style="list-style-type: none"> Existencia de bosques productores destinados para extracción de madera. Presencia de ganadería en el área de estudio. Avance de la frontera agrícola hacia áreas de conservación y protección. Descarga directa de aguas servidas y basura al río Tahuando. Existencia de incendios forestales en la época seca.

Elaboración: Autora

Se determinó los elementos más relevantes del FODA se analizó cada uno de estos con fin de determinar las propuestas de estrategias para el manejo adecuado el recurso hídrico.

Fortalezas: en la cuenca alta del río Tahuando se determinó que cuenta con un adecuado uso del suelo de

conservación y protección con un porcentaje de 49,88%, además el modelo hidrológico calculó un excedente de agua en todos los meses. Con respecto a las áreas de recarga hídrica con un 64,45% está considerada como buena proveedora de agua.

Además está la existencia de la Junta de regantes, Gobierno Parroquial y usuarios de la cuenca interesados en el manejo adecuado de esta. El marco legal ecuatoriano por su parte puede ser tomado como respaldo con el fin de basarse en las normativas legales para ejecutar proyectos que ayuden al manejo adecuado del área de estudio.

Oportunidades: considerando los aspectos positivos de la cuenca alta del río Tahuando está el excedente de agua en época seca y época lluviosa que pueden ser aprovechado de una mejor manera, la existencia de un área de bosque y vegetación protectora en Zuleta de 4770,00 ha destinada a protección y conservación que a pesar de ser una propiedad privada puede ser usada como modelo para el manejo adecuado de esta. Las diferentes entidades como MAE, EMAPA – I, Juntas de regantes, y GADs municipales y parroquiales contarán con información para ejecutar proyectos en beneficio de los actores y el manejo adecuado de la cuenca.

Debilidades: en las debilidades se menciona la inexistencia de control del desvío de agua, el desconocimiento del marco legal existente, las buenas prácticas ambientales y la escasa concienciación ambiental con respecto al manejo, cuidado y protección de la cuenca por parte de los usuarios que podrían ocasionar diversos problemas a mediano y largo plazo.

Amenazas: en las amenazas detectadas están: la existencia de bosques productores destinados para extracción de madera, la presencia de ganadería y el avance de la frontera agrícola hacia áreas de conservación, protección, los afluentes y el río, la descarga directa de aguas servidas y basura en río Tahuando, además de la existencia de incendios forestales en la época seca, afectando directamente al área de estudio.

Después del análisis FODA se determinó las propuestas de estrategias de manejo basándose en los aspectos positivos (oportunidades y fortalezas) y los aspectos negativos (debilidades y amenazas) a continuación se detallan las siguientes estrategias.

Estrategia 1.- Elaboración, implementación y socialización de planes de manejo.

Estrategia 2.- Implementación de un programa de educación ambiental.

Objetivo general

Elaborar la propuesta de estrategias de manejo del recurso hídrico de la cuenca alta del río Tahuando para el mejoramiento, conservación y aprovechamiento.

Objetivos específicos

- Establecer estrategias que ayuden al manejo, conservación y protección del agua en la cuenca.
- Lograr que los usuarios de la cuenca adquieran conocimientos sobre la

protección, manejo e importancia del ambiente.

➤ Estrategias de ejecución

Estrategia 1.- Elaboración, implementación y socialización de planes de manejo de las áreas de recarga hídrica y caudales dentro de la cuenca.

Es importante elaborar, implementar y socializar un plan de manejo de la cuenca alta del río Tahuando, con el fin que los usuarios conozcan los recursos naturales disponibles que tiene. Además se debe lograr el apoderamiento de estos por parte de los beneficiarios con el fin de tener un manejo adecuado de la cuenca.

Meta: Tener un plan de manejo actualizado cada cierto periodo de tiempo el cual se pueda implementar y socializar con los usuarios de la cuenca, para que se puedan realizar diferentes actividades con el fin de mejorar el manejo de la cuenca.

Beneficiarios: los beneficiarios directos son los usuarios de la parroquia Angochagua, los beneficiarios indirectos los usuarios de la cuenca media y baja del río Tahuando.

Actores claves: Junta de regantes de Angochagua, SENAGUA, MAE - Ibarra

Lugar: Comuna Zuleta, Comuna Angochagua

Actividades: a continuación se detallan las actividades que podrían realizarse para alcanzar la meta establecida.

- **Control de desvió de agua**

Es necesario tener una mejor organización interna por parte de los usuarios para poder controlar el desvío de agua, ya que en algunos lugares donde ocurre el desvío no toda el agua es utilizada. Para esto es necesario la organización y conformación de un grupo líderes que se enfoquen en el manejo del agua y promuevan actividades que ayuden a la organización de los desvíos de este recurso de acuerdo a la necesidad del usuario.

- **Reforestación de áreas de recarga hídrica**

En la cuenca alta de río Tahuando el avance de la frontera agrícola hacia zonas de conservación y protección y la presencia de bosques de producción son problemas que se tienen en la cuenca, por lo que es necesario que se realice una reforestación principalmente en las áreas de recarga hídrica como medida preventiva de conservación y recuperación de la cobertura vegetal propia de la zona. Esta reforestación ayudaría a que en la cuenca se almacene una mayor cantidad de agua, teniendo un excedente mayor para las diferentes actividades que se desarrollan dentro de la cuenca.

- **Promocionar actividades y prácticas agrícolas sustentables**

Las actividades que se desarrollan en la cuenca alta del río Tahuando son la agricultura y ganadería por lo que es necesario que se promuevan actividades y prácticas agrícolas sustentables para la conservación del

recurso suelo, ya que este es un elemento importante en el almacenamiento del agua para la cuenca.

- **Protección de las áreas de recarga hídrica y el río Tahuando**

En los recorridos realizados se observó la presencia de ganado vacuno y caballo en la cercanía del río y áreas de recarga hídrica, por lo que es necesario tener control estricto de los límites de las áreas de pastos para ganado, ya que estos pueden alterar la capacidad de absorción del suelo por el constante pisoteo, provocando que haya cambios en la cantidad de agua infiltrada.

Estrategia 2.- Implementación de un programa de educación ambiental.

Es importante implementar un programa de educación ambiental, con el fin de concienciar a los usuarios de la cuenca alta del río Tahuando y fortalecer sus habilidades y capacidades.

Meta: Los usuarios de la cuenca alta del río Tahuando mejoren su conocimiento acerca de la normativa legal vigente y las buenas prácticas ambientales que ayudarán al correcto manejo de la cuenca.

Beneficiarios: los beneficiarios directos son los usuarios de la parroquia Angochagua, los beneficiarios indirectos los usuarios de la cuenca media y baja del río Tahuando.

Actores claves: Junta de regantes de Angochagua, SENAGUA, MAE – Ibarra

Lugar: Comuna Zuleta, Comuna Angochagua

Actividades: a continuación se detallan las actividades que podrían realizarse para alcanzar la meta establecida.

- Taller sobre normativa legal vigente

Es importante que los usuarios de la cuenca alta el río Tahuando conozcan la normativa legal vigente, los usuarios estarán en la capacidad de relacionar los problemas ambientales con la normativa legal vigente usando esta como apoyo para el manejo adecuado del recurso hídrico. Temática a revisar: Constitución de la República del Ecuador aprobada en el año 2008, el Plan Nacional del Buen Vivir 2013 – 2017, la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua aprobada en agosto de 2014 y la Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre aprobada en septiembre de 2004.

- **Taller sobre buenas prácticas ambientales**

El taller sobre las buenas prácticas ambientales pretende impulsar el desarrollo sostenible en la cuenca alta del río Tahuando, fortaleciendo el conocimiento, las habilidades y capacidades de los usuarios con el fin de disminuir malas prácticas ambientales. Temática a revisar: prácticas agrícolas amigables con el medio ambiente, conservación de suelo, manejo de residuos líquidos y sólidos.

- **Taller sobre prevención de incendios forestal**

Al ser la cuenca alta del río Tahuando proveedora de agua por las características que presenta, es necesario que se promueva la prevención sobre incendios forestales, enfocándose en los problemas que estos pueden causar a corto, mediano y largo plazo.

CONCLUSIONES

- Se identificaron en la cuenca alta del río Tahuando las áreas de recarga hídrica, teniendo una dominancia de recarga moderada (42,73%), seguida por la recarga baja (31,80%), con 18,55% está la recarga alta, las de menor porcentaje son la recarga muy alta y muy baja con 3,46%. Concluyendo que la cuenca es buena proveedora de agua, ya que tiene 64,45% de posibilidad de recargas moderada, alta y muy alta.
- La mayor probabilidad de áreas de recarga hídrica se localizan en zonas con pendientes medias, cobertura vegetal compuesta por bosque nativo y matorral, uso del suelo con presencia de pastos cultivados, textura del suelo gruesa a media e infiltración rápida. Estas zonas se localizan en los sectores de Angochagua, Zuleta y Santa Rosa Baja.
- Los datos de precipitación en el periodo 2009 – 2013 alcanzaron valores anuales de 1044,76 mm, mientras que la precipitación efectiva alcanzó valores de 576,31 mm, el escurrimiento calculado fue de 465,33 mm, la evapotranspiración potencial calculada fue de 88,07 mm. En la retención de humedad en el suelo alcanzó un promedio mensual de 351,95 mm.
- En la cuenca alta del río Tahuando existe un excedente de agua tanto en la época seca como en la época lluviosa estando en un rango de 66,00 – 559,53 mm/año.
- Los datos obtenidos mediante el modelo hidrológico mostró un ajuste del coeficiente de eficiencia satisfactorio para la cuenca alta del río Tahuando, graficando los datos simulados y medidos y aplicando la fórmula de correlación y regresión lineal con un valor de 0,95; concluyendo que se tuvo un buen ajuste entre los datos simulados y medidos en campo, sin presentar errores sistemáticos.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo y Rodríguez . (2012). *Páramo andino como productor y regulador del recurso agua, microcuenca alta de la quebrada Mixteque, Sierra Nevada de Mérida, Venezuela*. Suerra Nevada de Mérida, Venezuela.
- Aguas del Ecuador. (2008). *Caracterización Hidrológica, abiótica, y biótica de la cuenca del río Tahuando ubicada en el cantó Ibarra, provincia de Imbabura*. Ibarra.
- Aitken, A. (s.f.). *Assesing systematic errors in rainfall - runoff*. 1973.
- Cáceres, L. (2015). *Identificación de zonas de recarga hídrica en la microcuenca del río Negro, ciudad de Guatemala la sistematización de práctica profesional*. Guatemala.
- CAP-NET. (2008). *Gestión integrada de recursos hídricos para orgnizaciones de cuencas fluviales*. España.
- Castro, J. (2011). *Plan de manejo y Conservación de zonas con potencial de recarga hídrica, micro cuenca Las Jaguas, Ciudad Antigua*. Nicaragua.
- Chamorro, M. (2016). *Identificación y caracterización de las zonas de recarga hídrica mediante herramientas SIG de los acuíferos La Carbonería, Guaraczapas, Yuyucocha Y Santa Clara para la protección de las fuentes de aprovisionamiento de agua en la zona urbana de Ibarra*. Ecuador-Ibarra.
- Comunidad Andina. (2010). *El agua de los Andes un recurso clave para el desarrollo e integración de la región*. San Isidro, Lima, Perú: Dot Print SAC.
- Desarrollo, S. N. (2013). *Plan Nacional del Buen Vivir 2013 - 2017*. Ecuador-Quito.
- Duque, J. (2008). *Modelación cartográfica hidrológica de la cuenca hidrografica del río La Chimba pra determinar la potencialidad del aprovechamiento del recurso agua mediante herramienta SIG en la cuenca y en el área de influencia del proyecto Riego Cayambe - Tabacundo*. Sangolquí, Ecuador.
- Echaverría. (1999). *Valoración del servicio ambiental que prestan las áreas protegidas*. Quito, Ecuador.
- Ecuador, A. N. (2008). *Constitucion de la Republica del Ecuador*. Ecuador - Quito.
- Ecuador, A. N. (2014). *Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua*. Ecuador - Quito.
- Enzo Martínez . (2013). *Curvas de infiltración*. Costa Rica.
- García, D. (2010). *Propuesta del plan de manejo de la parte alta de la subcuenca del río Juval e el cantón Alausí, provincia del Chimborazo* -

- Ecuador, con la utilización de un SIG. Quito, Ecuador.
- González, A. (2004). *Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas*. País Vasco.
- Greenfacts, 2012 ; Echavarría. (1999). *Valoración del servicio ambiental que prestan las áreas protegidas*. Quito, Ecuador.
- Gutierrez, C. (2016). *Programa Evaporanspiracion Ptenial PETP V2.0.00*. Ayacucho - Perú .
- GWP. (2000). *Manejo integrado de recursos hídricos*. Estocolmo, Suecia.
- I, E. . (2005). *Proyecto Pago de servicios ambientales para la protección del recurso hídrico que abastece al cantón Ibarra- Diagnóstico Ambiental Rápido Microcuenca del río Tahuando*. Ecuador - Ibarra.
- Maderey y Jiménez. (23 de Junio de 2000). *Investigaciones geográficas*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112001000200003&script=sci_arttext
- Madroñero y Jiménez. (2006). *Manejo del recurso hídrico y estrategias de gestión integral en la microcuenca del río Mijitayo, Colombia*. Colombia.
- Marco, T. (2011). *Determinación de balances hídricos de cuencas y microcuencas*. Chuquisaca - Bolivia.
- Matus, Faustino y Jiménez. (2009). *Guía para la identificación participativa de las zonas con potencial de recarga hídrica, Aplicación práctica en la sub cuenca del río Jucuapa, Nicaragua*. Turrialba, Costa Rica.
- Matus, O. (2007). *Elaboración participativa de una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas, aplicada a la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa Nicaragua*. Turrialba, Costa Rica.
- Mintegui. (2012). *El papel del bosque en la regulación de los ciclos del agua y de los sedimentos en las cuencas de recursos torrenciales, ante la incidencia en ellas de eventos meteorológicos extraordinarios: aspectos prácticos*. Madrid.
- Mintegui y Robredo. (1994). *Caracterización de la cuencas hidrográficas, objeto de restauración hidrológico forestal, mediante modelos hidrológicos* (Vol. uno). Madrid, España.
- Nacional, H. C. (2004). *Ley Forestal y de Conservación de Áreas*. Ecuador - Quito.
- Ordoñez. (2011). *Cartilla Técnica : Ciclo Hidrológico*. Lima, Perú.
- PARTNERSHIP, G. W. (2000). *Manejo integrado de recursos hídricos*. Estocolmo, Suecia.

Pizarro, Flores, Sanguesa y martinez. (2013). *Curvas de Infiltración*.

Reyes y Suazo. (2007). *Caracterización biofísica, socioeconomica y ambiental de Sanguay y río Grande, zonas de concentración del Teocinte*. Honduras.

Rodas, G. (2008). *Manejo y gestión de zonas de recarga hídrica de microcuencas y fuentes de agua para consumo humano en Honduras*. Turrialba, Costa Rica.

Stella, D. A. (2015). *ESTIMAR LA VULNERABILIDAD INTRÍNSECA DE LOS SISTEMAS ACUÍFEROS*. Colombia, Bogota.

Torres, E. M. (2005). *Adaptación de un modelo de ismulación hidrológica a la cuenca del río Loja*. México, Guanajuato.

–UICN–, U. I. (2009). *Guía para la Elaboración de Planes de Manejo de Microcuencas*. Guatemala . San Marcos.

UNESCO. (2010). *Tercer Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo: el agua en el mundo en constante cambio*.

Varas, J. T. (2007). *Evaporación con el método de Penman usando redes*.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Técnica del Norte, que ha sido mi segundo hogar, donde me he formado como profesional y a la cual representare con mucha ética y orgullo.

A mi director de tesis Magíster Óscar Rosales, docente de la FICAYA, quien con su conocimiento, paciencia y dedicación, ayudó a culminar con éxito la investigación.

A mis asesores PhD. Xavier Zapata, Magister Mónica León e ingeniero Jorge Granja, gracias a su guía, consejos, sugerencias, aportes y ayuda brindada he logrado culminar esta investigación de una manera adecuada.

A mis compañeros y amigos de Universidad con quienes compartí momentos inolvidables, gracias por los consejos, el apoyo y la ayuda brindada.

A mi familia, mi madre Silvia, mis hermanos: Jhonni, Cristhoper, Irvin, Carlos y Kevin a mi abuelita y segunda madre Lasteña, a mis tíos y tías, a mis primos y primas y a mi novio Leandro, de quienes nunca faltó una palabra de motivación o un consejo, quienes creyeron en mí y apoyaron mis sueños y mis metas, queriendo siempre mi bienestar y felicidad.