



Modelación cartográfica e hidrológica del área de influencia de la acequia Rosas Pamba mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica

Yarima Recalde*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: yari@hotmail.es

RESUMEN

Los problemas dentro del área de influencia de la acequia Rosas Pamba han aumentado considerablemente debido a una inadecuada gestión del recurso y a la falta de información hidrológica. Con la finalidad de generar ésta información se realizó una caracterización hídrica en campo durante las épocas lluviosa y seca mostrando una disminución del caudal de 125.07 l/s a 18 l/s respectivamente, a la vez se determinó que las pérdidas por infiltración predominan en suelos de textura gruesa. Además se analizó los principales componentes del balance hídrico aplicando Sistemas de Información Geográfica (Ruiz, Arteaga, Vázquez, Capurata & López, 2012) para generar modelos de precipitación, temperatura y evapotranspiración a partir de datos meteorológicos de un período de 30 años (1969 a 1999). Se estimó una precipitación media anual de 800 a 1400 mm, una temperatura media anual de 13 a 15°C y una evapotranspiración media anual de 790 a 870 mm. El cálculo de los índices de humedad indicó que la época lluviosa presenta un déficit hídrico muy bajo, la época seca un déficit hídrico alto y el modelo anual indicó un déficit hídrico bajo, es decir se dispone de agua durante todo el año. Los modelos hidráulicos se generaron utilizando el software HEC-RAS; de esta forma se encontró que el aporte promedio de agua del río Tahuando a la acequia debe ser de 75 l/s para disponer de flujo de agua en todo el trazado. Los resultados obtenidos se validaron con los datos de aforos tomados en campo, sustentando los modelos cartográfico-hidrológicos.

Palabras clave: Balance hídrico, Sistemas de Información Geográfica, Modelo cartográfico hidrológico

SUMMARY

The problems within the area of influence of the ditch Rosas Pamba have increased considerably, due to inadequate resource management and lack of hydrological information. In order to generate this information a water characterization was performed in the field during the rainy and dry season sand showing a decreased rate of 125.07 l / s to 18 l / s respectively, also it was determined that losses of infiltration dominated in coarse textured soils. Besides the main water balance components were analyzed using Geographic Information Systems (Ruiz, Arteaga, Vazquez, Capurata & Lopez, 2012) to generate models

of precipitation, temperature and evapotranspiration from meteorological data for a period of 30 years (1969 - 1999). An average annual rainfall of 800-1400 mm, a medium annual temperature of 13-15 ° C and medium annual evapotranspiration of 790-870 mm was estimated. The calculation of the moisture content indicated that the rainy season has a low water deficit during, the dry season has a high water deficit and the annual model indicated a water shortage under, water is available throughout the year. The hydraulic models were generated using the HEC-RAS software; of this form found that the contribution water of Tahuando river to the canal must be 75 l/s to provide water flow in throughout the course. The results were validated with data from stream gauging taken in the field, supporting the mapping and hydrological models.

Keywords: Water balance, Geographic Information Systems, mapping and hydrological models.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, los estudios hidrológicos, constituyen la herramienta de planificación de cualquier tipo de proyecto, ya que el principal factor ambiental es el recurso agua. Sin embargo, debido al aumento de la población, la falta de conciencia ecológica (Worster, 2008) y la ausencia de información en cuanto al balance hidrológico en cuencas (Célleri, De Bièvre & Ochoa, 2012), no se ha podido diseñar correctamente las obras hidráulicas en base a la disponibilidad de agua y por ende no se ha manejado adecuadamente el recurso.

El avance de la frontera agrícola, los desvíos de agua, la falta de mantenimiento del canal son problemas que ocasionan una disminución del caudal en el trazado de la acequia Rosas Pamba, la cual es utilizada principalmente para el riego de los cultivos que mantienen las comunidades. Estos problemas pueden derivar en conflictos sociales relacionados con el uso del agua entre las comunidades asentadas en el área de influencia de la acequia, ya que el caudal de 28,6 l/s concesionado por SENAGUA para el área de riego en la Esperanza no ha sido otorgado tomando en cuenta la cantidad de agua en las épocas seca y lluviosa y tampoco se ha realizado un diseño adecuado del canal

que permita su flujo continuo desde la bocatoma hasta el área de riego. El aprovechamiento del agua principalmente en la parte alta y media del área de estudio, destinada para actividades productivas como ganadería y agricultura supone un riesgo para la disponibilidad del recurso en la parte baja de la acequia, lo que podría ocasionar conflictos internos difíciles de manejar.

Por lo anteriormente señalado, surge la necesidad de generar información hidrológica que hasta la actualidad ha sido inexistente en el trazado de la acequia Rosas Pamba, utilizando datos hidrometeorológicos, Sistemas de Información Geográfica y el software libre HEC-RAS para crear modelos cartográfico-hidrológicos con el fin de determinar los procesos que forman parte del ciclo hidrológico y que de manera directa afectan al área de influencia, así como simular los caudales potenciales de ingreso a la acequia y seleccionar el caudal promedio que permita obtener el volumen concesionado para el área de riego en la Esperanza.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del área de estudio

El área de influencia de la acequia Rosas Pamba políticamente se encuentra en la provincia de Imbabura, cantón Ibarra, parroquias La Esperanza y Angochagua, comunidad Rumipamba (Figura 1), en las

coordenadas x: 823811, y: 10028509. El trazado de la acequia tiene una longitud de 6,9 km dividido en dos tramos sin revestimiento y uno revestido de 5,40 km y 1.51 km, respectivamente, y altitudinalmente se encuentra en el rango de 2580 a 2640 msnm.

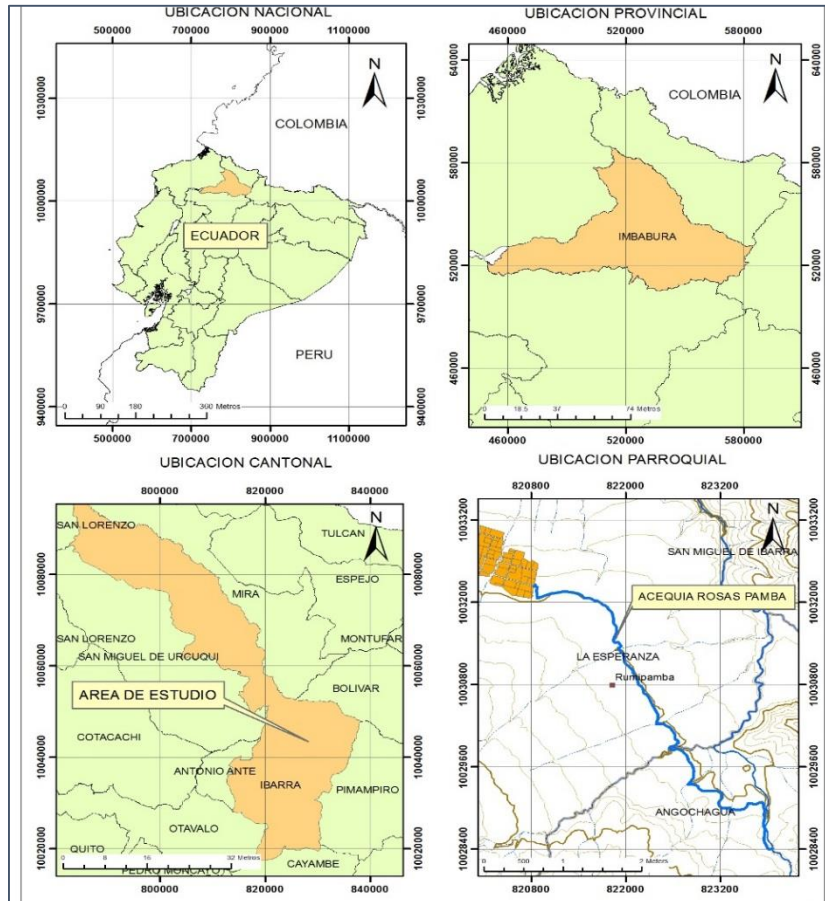


Figura 1. Ubicación acequia Rosas Pamba

El río Tahuando constituye la fuente de alimentación de agua para la acequia, y en las zonas más bajas se presenta descargas mínimas de aguas residuales. El tipo de vegetación predominante, corresponde en su mayoría a cultivos de ciclo corto como maíz, papas, cereales y

pastos. En cuanto a la edafología, los tipos de suelo predominantes son de tipo Mollisol e Inceptisol (MAGAP, 2003) en un relieve plano en su mayoría. El clima es temperado-subhúmedo a temperado-húmedo.

Metodología

1. Caracterización hídrica

Para determinar las épocas seca y lluviosa se seleccionaron 4 estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio, de las cuales se realizó el diagrama ombrotérmico de las estaciones de Ibarra y Olmedo con los datos mensuales de precipitación y temperatura de un período de 1990 a 2011.

1.1 Caudal de agua

Se determinaron en campo con el uso del GPS, nueve puntos de aforo estratégicos (Figura 2) determinados en base a los parámetros propuestos por Monroy (2010) quien señala que la sección transversal debe ser de fácil acceso, en un sitio recto y que en lo posible no presente degradación del lecho. Los aforos se realizaron en las épocas seca y lluviosa con la ayuda del molinete electrónico y del método del flotador.

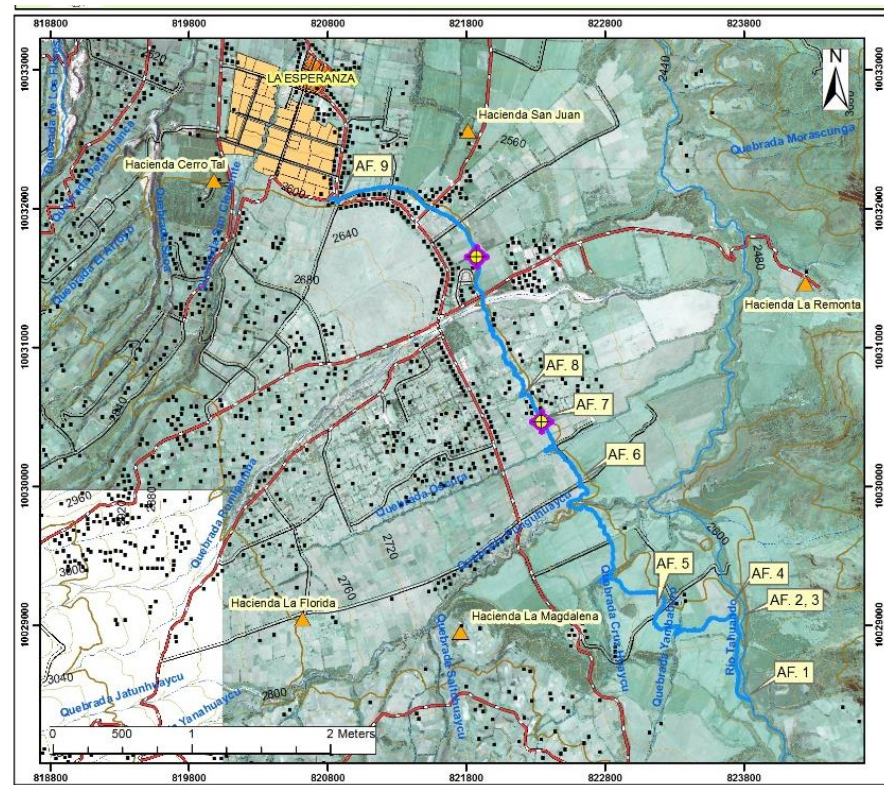


Figura 2. Ubicación de sitios de aforo

1.2 Pérdidas por infiltración

Se ubicó los puntos para la realización de las pruebas de infiltración en cada textura del suelo presente el área de estudio, la metodología usada corresponde a la de los cilindros infiltrómetros (Musgrave 1935). Las mediciones se realizaron en las épocas seca y lluviosa y el tiempo de prueba fue de 40 minutos.

2. Uso y distribución del recurso hídrico en el área de influencia de la acequia Rosas Pamba

Para el análisis del uso y distribución de la acequia se usó fichas de evaluación hidrológica, conversaciones con los beneficiarios de la acequia e información de la junta de agua de riego La Magdalena

3. Balance hídrico anual y mensual del suelo en función de la evapotranspiración y precipitación

La información recopilada de las 4 estaciones meteorológicas seleccionadas, se transformados en archivos Raster, con el fin de analizar los componentes del balance hídricos tales como precipitación, temperatura y evapotranspiración. Para el estudio de la precipitación se interpolaron datos de un periodo de 30 años para cada estación. La temperatura se obtuvo mediante la fórmula de correlación y regresión entre temperatura y altitud (Pozo & Beltrán, 2012) que se expresa como:

$$T = 26.860 - 0.00504 * h$$

Donde T= temperatura, y h= altura a la que se encuentra la estación meteorológica.

La evapotranspiración media anual se estimó mediante la fórmula de Holdridge (1959) para lo cual se utilizó la ecuación:

$$ETP = T * 58.93$$

Donde ETP= Evapotranspiración, T= temperatura

La Metodología de Thornthwaite (1995) se utilizó para el cálculo de la evapotranspiración mensual, la cual utiliza factores como temperatura media mensual, duración astronómica del día y número de días del mes. La fórmula empleada es:

$$ETP = 16 * \left(10 * \frac{tm}{l}\right)^a$$

Donde: tm= temperatura media mensual en °C, l= índice de calor anual, a=parámetro calculado en función de l

4. Modelación Hidrológica utilizando el Model Builder de ArcGis

Los valores de ETP en conjunto con los datos de precipitación ya obtenidos se utilizaron para calcular el índice de humedad mensual empleando la siguiente fórmula propuesta por la UNESCO (1979):

$$IH = \frac{P}{ETP}$$

Los raster obtenidos se reclasificaron en tres clases que son:

- Humedad alta = valores mayores a 1
- Humedad media= valores entre 0.5 y 1
- Humedad baja= valores menores a 0.5

Los polígonos de humedad de las épocas seca, lluviosa y anual se unieron con el polígono de texturas del suelo con el fin de determinar el déficit o superávit de agua.

5. Modelación hidráulica

Se utilizó el software HEC RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System), en donde se ingresaron datos geométricos de las secciones transversales, caudales potenciales de ingreso (18 l/s, 50 l/s, 100 l/s y 125 l/s), ejecución y observación de resultados del modelo, con el fin de determinar el volumen apropiado de ingreso a la acequia para obtener 28,6 l/s en la zona de riego en La Esperanza el cual ha sido concesionado por SENAGUA (Secretaría Nacional del Agua). Los caudales en las secciones aguas debajo de cada tramo se calcularon mediante la Ecuación de Manning:

$$V = \frac{R^{2/3} * S^{1/2}}{n}$$

$$Q = A * V$$

Dónde: V = velocidad, R = Radio hidráulico, S = pendiente, A = Área mojada, Q = Caudal

Para validar el modelo cartográfico hidrológico se utilizó el coeficiente de correlación lineal de Pearson, r , (1989) para relacionar los caudales medidos y simulados. Los resultados obtenidos de socializaron con los actores clave en la parroquia La Esperanza.

RESULTADOS

Los resultados de los aforos realizados en las épocas lluviosa (marzo, abril) y seca (julio, agosto), muestran un caudal de 125, 07 l/s de aporte del río Tahuando a la acequia durante la época lluviosa y de 18,05 l/s en la época seca. Además se comprobó un flujo de agua nulo para la zona de riego en la Esperanza para las dos épocas.

Las pérdidas por infiltración en un mayor porcentaje se presentan en la parte media y baja del área de estudio en suelos de textura medianamente gruesa, gruesa y arenosa, con una infiltración en época seca de 720 mm/h, 780 mm/h y 790 mm/h respectivamente. La infiltración en la zona alta es más baja debido a la textura media del suelo, siendo ésta de 600 mm/h. Los resultados de las pruebas de infiltración obtenidos no corresponden a la infiltración básica estabilizada en el tiempo según

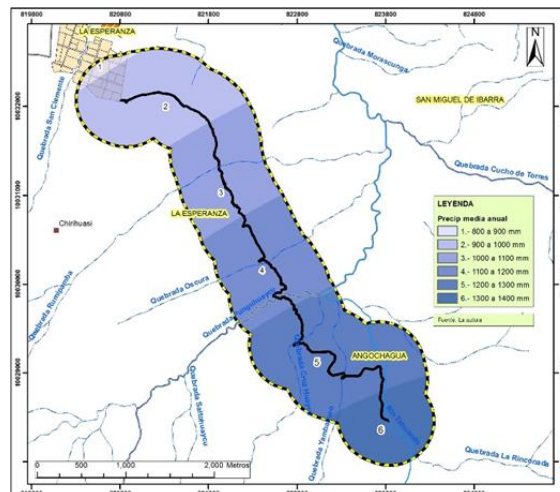
Cadena (2012), debido al tiempo de prueba realizado.

En sí, el recurso agua de la acequia Rosas Pamba es utilizado para actividades económicas como la agricultura y ganadería, en donde el aprovechamiento principalmente se da en las zona alta y en menor medida en la parte baja, por lo que las pérdidas por desvíos artificiales o por infiltración ponen en peligro la disponibilidad del agua para riego.

Balance hídrico

Se determinó una precipitación para la época lluviosa de 120mm a 190mm, para la época seca de 10mm a 30 mm una precipitación media anual de 800 mm a 1400 mm desde la parte baja a la parte alta del área de influencia de la acequia. La temperatura media anual se encuentra en el rango de 13 a 15°C en la parte más baja, es decir existe una relación inversamente proporcional con la precipitación, ya que a mayor precipitación menor temperatura.

Para el caso de la evapotranspiración los valores son directamente proporcionales a los de temperatura. Así, para el área de estudio se presentan 4 rangos con valores desde 790 mm en la parte más alta, hasta 870 mm en la parte más baja (Figura 3)



a)

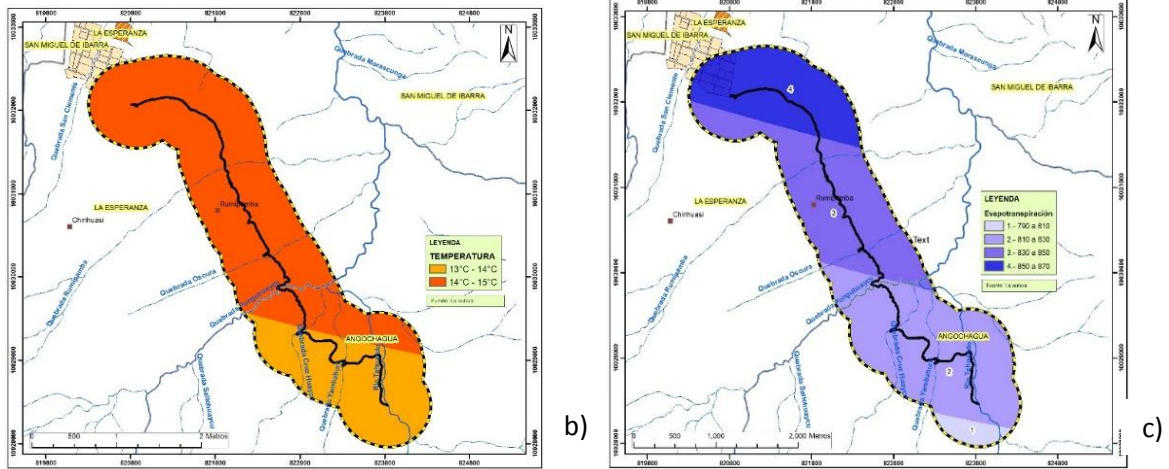
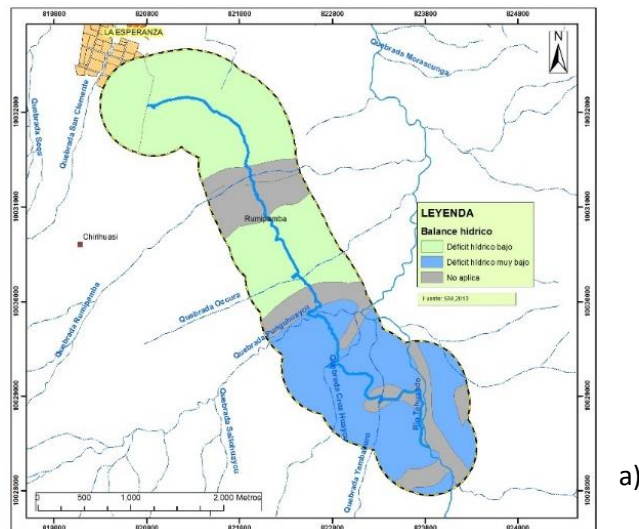


Figura 3 Balance Hídrico, a) Precipitación media anual, b) Temperatura media anual, c) Evapotranspiración media anual

Los cálculos de índice de humedad mostraron que los meses de Enero, Febrero, Marzo, Abril, Mayo, Octubre, Noviembre y Diciembre presentan valores mayores a uno es decir la precipitación supera a la evapotranspiración, lo que significa que existe superávit de agua en toda el área de estudio. Los meses de julio y agosto presentan valores menores a uno que representa déficit de agua, mientras que los meses de junio y septiembre son meses semihúmedos. Ruiz et al (2012) señalan que los lugares

en donde existe mayor precipitación se presenta un índice de humedad más alto, mientras que los lugares con menos lluvia y mayor evapotranspiración presentan valores de humedad más bajos, como se demuestra en la presente investigación. El balance hídrico del suelo según los índices de humedad y las texturas muestran déficit de agua muy bajo a bajo en la época lluviosa, déficit moderado a alto en la época seca, mientras que el modelo anual se muestra con un déficit bajo, es decir se dispone de agua en el suelo durante todo el año (Figura 4).



a)

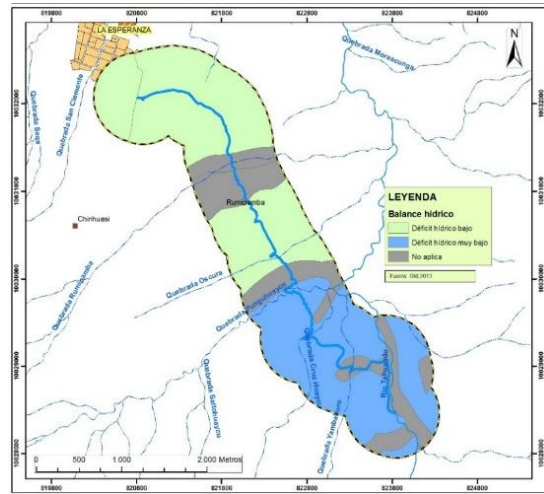
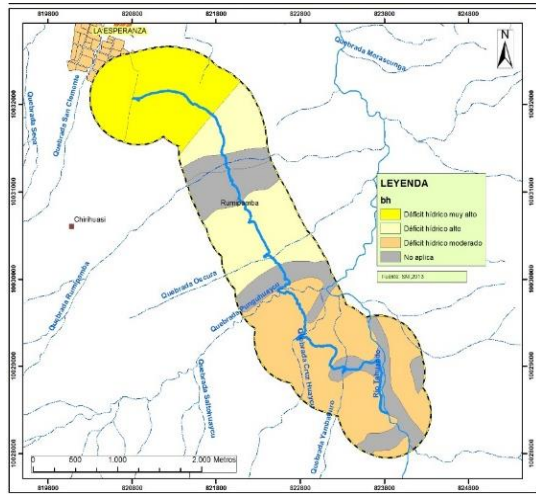


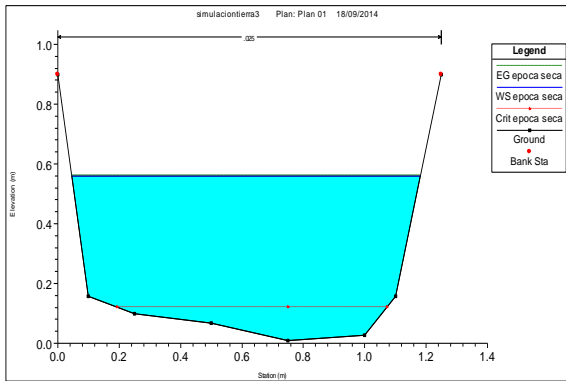
Figura 4. Modelos de humedad, a) Época lluviosa, b) Época seca, c) Anual

Modelación hidráulica

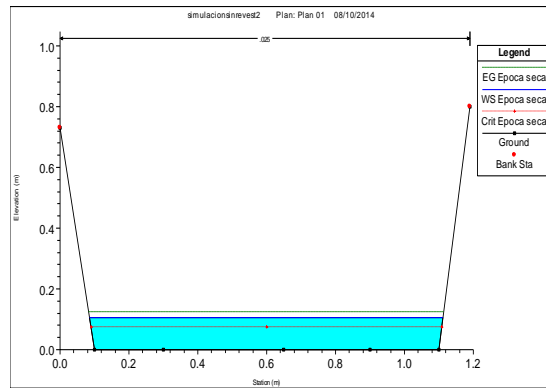
Varios softwares de modelación son utilizados para simular flujos en canales, Solarte et al (2009) aplicaron el programa de simulación EPANETE en el análisis hidráulico que se basó en modelar y simular las redes de conducción y distribución de un acueducto subterráneo, motivo por el cual se descarta para ser usado en la presente investigación, ya que el objetivo es modelar un canal abierto

La simulación realizada en HEC-RAS con los caudales potenciales de ingreso

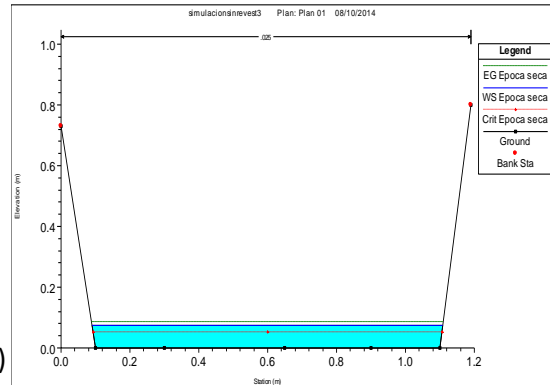
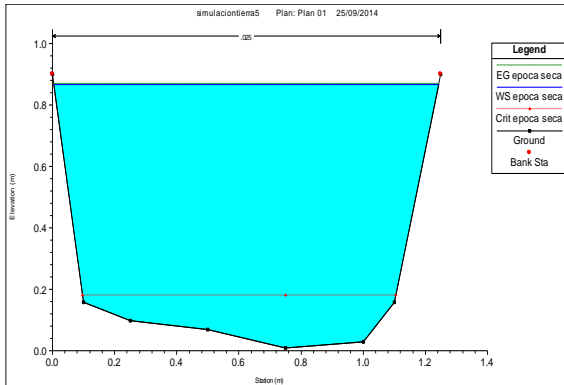
determinados, indica que con el volumen de 100 l/s de aporte del río Tahuando a la acequia se obtendría un caudal de 55.22 l/s en la zona de riego y con el caudal de 50 l/s de ingreso, se contaría con 30.46 l/s, es decir entre 50 l/s y 100 l/s es el rango óptimo para conseguir el volumen concesionado por SENAGUA para el área de riego (Figura 5). Los caudales restantes considerados para la simulación mostraron desbordes o niveles muy bajos de la lámina de agua en el canal por lo que quedaron descartados.



a.1)



a.2)



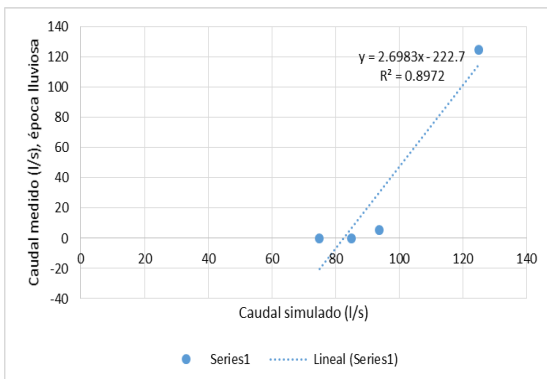
b.1)

b.2)

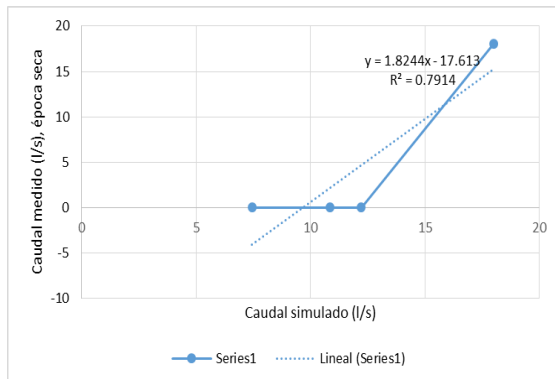
Figura 5. Modelos simulación de caudales, a.1) 100 l/s aguas arriba, a.2) 55.22 l/s aguas abajo, b.1) 50 l/s aguas arriba, b.2) 30.46 l/s aguas abajo

Entre las variables de caudales simulados y medidos en las épocas lluviosa y seca existe una correlación lineal positiva fuerte de 0.89 y 0.79 respectivamente, lo que indica una buena similitud de

caudales (Figura 6), ya que la relación entre las variables es directamente proporcional (mayores valores de x significan mayores valores de y).



a)



b)

Figura 6. Correlación lineal, caudales medidos y simulados, a) Época lluviosa, b) Época seca

CONCLUSIONES

La diferencia de caudales entre las épocas lluviosa y seca es de 107,02 l/s, por consiguiente la disponibilidad del recurso agua para las actividades productivas en la época de menor disponibilidad de precipitaciones es baja; además de las pérdidas de agua debido a los desvíos artificiales y a las pérdidas por

evaporación e infiltración que predominan en la parte baja del área de estudio.

Los modelos de humedad, muestran que para la época lluviosa existe superávit de agua en el suelo, no así en la época seca en donde el déficit es moderado a alto. Además, el modelo de humedad anual determina que para el área de influencia de la acequia Rosas Pamba existe un déficit hídrico bajo, lo que quiere decir que

con un adecuado manejo del recurso agua durante la época seca, la agricultura y actividades ganaderas pueden tener un desarrollo normal. Además los modelos de humedad generados utilizando los SIG (Sistemas de Información Geográfica) presentan similitud con los datos tomados en campo, lo que permite valorar el modelo cartográfico hidrológico de la acequia.

La modelación hidráulica determina que el aporte de agua promedio desde del río Tahuando a la acequia Rosas Pamba durante la época seca debería ser de 75

l/s como mínimo, con el fin de conseguir el caudal de 28,6 l/s concesionado por SENAGUA para el área de riego en La Esperanza

El software de modelamiento HEC-RAS usualmente utilizado en ingeniería es de gran aplicabilidad en el estudio de un recurso natural como es el agua el mismo que tiene gran importancia ecológica y social. El modelo hidrológico de la acequia fue validado con la prueba de correlación lineal que indicó una relación positiva entre las variables de caudales simulados y medidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cadena, V. (2012). *Hablemos de riego*. Gobierno Autónomo Provincial del Carchi. Creadores Gráficos (1).
- Célleri, R., De Bièvre, B., Ochoa, B. (2012). *Guía Metodológica para el monitoreo hidrológico de ecosistemas andinos*. Grupo de Ciencias de la Tierra y del Ambiente, DIUC, Universidad de Cuenca (Ecuador).
- Pozo, G & Beltrán, C. (2012). *Zonificación ecológica-económica y propuestas de gestión integral de los recursos naturales del cantón Ibarra*. Tesis de pregrado. Universidad Técnica del Norte.
- Ruiz-Álvarez, O. O., Arteaga-Ramírez, R. R., Vázquez-Peña, M. A., Capurata, R., & López-López, R. R. (2012). *Balance hídrico y clasificación climática del Estado de Tabasco, México*. (Spanish). *Universidad & Ciencia*, 28(1), 1-14
- Solarte., Y, Trejos., M, Materón., H. (2009). *Caracterización del recurso hídrico de la subcuenca Aguaclara – río bolo para fines de abasto de agua*
- Worster, D. (2008). *Transformaciones de la Tierra*. Montevideo: Coscoroba.