

Simulación matemática de dos subcuencas del Río Ambi y Tahuando, ubicadas en Imbabura-Ecuador, usando el modelo qswat para la determinación de parámetros hidrográficos



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i4>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de investigación

Simulación matemática de dos subcuencas del Río Ambi y Tahuando, ubicadas en Imbabura-Ecuador, usando el modelo qswat para la determinación de parámetros hidrográficos

Mathematical simulation of two subways of the Ambi and Tahuando River, located in Imbabura-Ecuador, using the qswat model for the determination of hydrographic parameters

Simulação matemática de dois metrô do rio ambi e tahuando, localizados no imbabura-equador, utilizando o modelo qswat para a determinação de parâmetros hidrográficos

Luis Miguel Santillán-Quiroga ^I
luismiguel.santillanquirola@unito.it
<https://orcid.org/0000-0003-3215-9369>

Marlon Moscoso-Martínez ^{II}
marlon.moscoso@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-5182-3099>

Pablo Flores-Sigüenza ^{III}
pablo.floressi@anahuac.mx
<https://orcid.org/0000-0002-8038-2912>

Correspondencia: luismiguel.santillanquirola@unito.it

***Recibido:** 25 junio de 2021 ***Aceptado:** 31 de julio de 2021 * **Publicado:** 17 de agosto de 2021

- I. University of Turin, Turin, Italia.
- II. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
- III. Universidad Anáhuac, Juarez, Mexico

Simulación matemática de dos subcuencas del Río Ambi y Tahuando, ubicadas en Imbabura-Ecuador, usando el modelo qswat para la determinación de parámetros hidrográficos

Resumen

El presente proyecto se realizó con la finalidad de evaluar la eficiencia del software QSWAT a través de la simulación del comportamiento ciertos parámetros como precipitación, escorrentía, oxígeno disuelto, entre otros, y su posterior comparación con datos consultados de estudios en la zona de interés. También se busca evaluar el estado ambiental de las zonas estudiadas debido a que dentro de la misma se realizan actividades que puedan comprometer la salud ambiental del sistema. Para realizar el objetivo del proyecto se tomó datos meteorológicos de estaciones cercanas a la zona de estudio, una red de ríos proporcionada por SENAGUA y un sistema de información geográfica que en este caso fue el software QGIS.

Palabras Clave: Parámetros hidrográficos; Ambi; Tahuando; Mira; simulación matemática; QSWAT; Moriasi; remediación.

Summary

The present project was carried out with the purpose of evaluating the efficiency of the QSWAT software through the simulation of the behavior of certain parameters such as precipitation, runoff, dissolved oxygen, among others, and its subsequent comparison with data consulted of studies in the area of interest. It also seeks to assess the environmental status of the areas studied because within it are carried out activities that may compromise the environmental health of the system.

To carry out the project's objective, meteorological data were taken from stations near the study area, a river network provided by SENAGUA and a geographic information system, which in this case was the QGIS software.

Keywords: Hydrographic parameters; Ambi; Tahuando; Mira; QSWAT; mathematical simulation; Moriasi; remediation.

Resumo

Este projeto foi realizado com o objetivo de avaliar a eficiência do software QSWAT através da simulação do comportamento de determinados parâmetros como precipitação, escoamento, oxigênio dissolvido, entre outros, e sua posterior comparação com dados consultados em estudos na área de Interesse. Também busca avaliar o estado ambiental das áreas estudadas, pois dentro delas são realizadas atividades que podem comprometer a saúde ambiental do sistema.

Simulación matemática de dos subcuencas del Río Ambi y Tahuando, ubicadas en Imbabura-Ecuador, usando el modelo qswat para la determinación de parámetros hidrográficos

Para cumprir o objetivo do projeto, foram retirados dados meteorológicos de estações próximas à área de estudo, uma rede de rios fornecida pelo SENÁGUA e um sistema de informações geográficas, que neste caso era o software QGIS.

Palavras-chave: Parâmetros hidrográficos; Ambi; Tahuando; Veja; simulação matemática; QSWAT; Moriasi; remediação.

Introducción

La provincia de Imbabura posee diversos ecosistemas como por ejemplo el páramo que se encuentra desde 5000 a 3600 msnm, el cual es importante para la biodiversidad, y es desde ahí que canales transportan agua hacia áreas bajas donde se encuentra la población (Altamirano, 2013). Es importante conocer que la actividad agrícola y agropecuaria es la base de la economía de muchas personas y por tanto el mantener una buena calidad en el ambiente y más aún en la calidad del agua de las subcuencas Ambi y Tahuando es crítico, ya que de estas es que se alimenta la cuenca del río Mira. El no mantener un cuidado de las aguas podría causar, además de pérdidas económicas, serios problemas de contaminación debido al uso de fertilizantes y por tanto terminar en problemas de salud para las poblaciones que utilizan el agua de la cuenca para su sustento.

El caso de la cuenca del río Mira permite evaluar el modelo de simulación hidrológica de QSWAT ya que debido a los posibles problemas de contaminación esta posee múltiples estudios por lo que la vuelve el sujeto perfecto para la comparación de datos como la cantidad de nitrógeno, fósforo o sedimentos provenientes del uso de fertilizantes y posibles causantes de contaminación, además de otros datos como la precipitación, escorrentía y oxígeno disuelto.

El presente proyecto se encuentra localizado en la provincia de Imbabura (Latitud: 0°21'00"N y Longitud: 78°08'00"O) la cual limita al norte con las provincias de Carchi y de Esmeraldas, al sur con la provincia de Pichincha, al este con las provincias de Sucumbíos y Napo y al oeste con la provincia de Esmeraldas (Flores, 2010). Dentro de esta provincia se encuentran dos cuencas hidrográficas, el estudio se realizará en la cuenca del río Mira, más específicamente en las subcuenca del río Ambi y del río Tahuando las cuales poseen microcuencas importantes como las del río Blanco, Cariyacú, Tejar, Yahuarcocha (Lucio, 2014).

En la Figura 1 se muestran los puntos de muestreo de las estaciones consideradas en el estudio.

Simulación matemática de dos subcuencas del Río Ambi y Tahuando, ubicadas en Imbabura-Ecuador, usando el modelo qswat para la determinación de parámetros hidrográficos

Figura 1. Puntos de muestreo de las estaciones consideradas en el estudio

Estación	Coordenadas	
	Norte	Este
Ambi DJ Cariyacú	10041283	810388
Inguicho	10028583	789319
Río Tahuando	10035232	822859
Laguna de Yahuarcocha	10041684	822571
Lago San Pablo	10023348	810272
Tahuando zona alta	10016792	817670

Fuente: Elaboración propia.

Metodología

En el presente proyecto se realizó la simulación del comportamiento de ciertos parámetros en el software QGIS a partir del complemento QSWAT el cual es un modelo diseñado para predecir en cuencas sin mediciones, el impacto que tienen las actividades de manejo en la producción de agua, sedimentos y químicos de la agricultura (Barrios & Urribari, 2009). La simulación requirió una serie de datos iniciales los cuales fueron: una red de ríos de la zona de estudio proporcionada por el SENAGUA, un modelo de elevación digital obtenido de la página web Earth Data Search. También se requirieron datos de tipo y uso de suelo encontrados en el sitio web Water Base y por último una serie de datos meteorológicos descargados de una Global Weather Data.

Para la comparación de los datos obtenidos a través de la simulación en QSWAT y los datos observados en publicaciones previas se utilizaron varios parámetros de calificación tales como: el coeficiente de correlación de Pearson el cual es una medida de la relación lineal que poseen dos variables aleatorias es decir, si para valores más bajos o más altos de una variable, los valores de la otra variable tienden a ser igualmente más bajos o más altos, teniendo una calificación de -1 a 1 (Riquelme, 2019). El otro criterio de evaluación es el esquema de valoración de Moriasi que se basa en el uso de tres estadísticos basados en las medidas adimensionales de los errores los cuales son: el PBIAS, que mide la tendencia promedio de que los valores simulados sean mayores o menores que los observados; el RSR, que es la tasa de la desviación estándar de las observaciones y por último el NSE el cual mide la relación entre la varianza de los residuales y la varianza de los valores observados (Barrios & Urribari, 2009).

Simulación matemática de dos subcuencas del Río Ambi y Tahuando, ubicadas en Imbabura-Ecuador, usando el modelo qswat para la determinación de parámetros hidrográficos

Una vez obtenidos los datos de la simulación se procedió a la comparación con datos obtenidos de estudios previos cercanos o en el mismo punto de la zona de estudio. Estos resultados son mostrados en las Tablas 1-6.

Tabla 1. Precipitación anual (1991-2000) de la estación Inguicho.

Años	SWAT	Observada
1991	1317	1250
1992	1084	800
1993	1951	1700
1994	2264	1800
1995	1456	1100
1996	2189	1150
1997	1722	1450
1998	1647	1050
1999	2817	1300
2000	1706	1250

Los datos observados en la Tabla 1 se obtuvieron de una simulación corregida en el software ArcMap. En la zona de estudio se encontró un coeficiente de correlación de Pearson de 0.52 y para los parámetros del esquema de valoración Moriasi se calculó un PBIAS (%) de -31.02, un RSR de 2.36 y un NSE de -4.57, lo que indica que el modelo SWAT es insatisfactorio en este caso.

Tabla 2. Precipitación mensual (2005) de la estación Ambi DJ. Cariyacú.

Año 2005	SWAT	Observada
Enero	206.1	176.1
Febrero	143	210.7
Marzo	262.2	264.8
Abril	200	282.5
Mayo	215.9	208.9
Junio	21.3	87.4
Julio	1.6	51.6
Agosto	7.6	45.8
Septiembre	16.5	118.6
Octubre	381.4	205.2
Noviembre	361	240.6
Diciembre	487.8	195.7

Simulación matemática de dos subcuencas del Río Ambi y Tahuando, ubicadas en Imbabura-Ecuador, usando el modelo qswat para la determinación de parámetros hidrográficos

Los datos observados en la Tabla 2 se recogieron de estudios realizados en la cuenca del río Mira, obteniéndose un coeficiente de correlación de Pearson de 0.71, un PBIAS (%) de -10.37, un RSR de 1.52 y un NSE de -1,30, por lo que el modelo SWAT sería insatisfactorio.

Tabla 3. Oxígeno disuelto (mg/L) durante el periodo 2010/2013 en los puntos de muestreo situados en el río Tahuando, laguna de Yahuarcocha y laguna de San Pablo.

Lugar	SWAT	Observada
Yahuarcocha	9.85	9
San Pablo	7.78	8.31
Tahuando	4.4	4.84

Para el caso del oxígeno disuelto, conforme se muestra en la Tabla 3, no se realizó un estudio a través del tiempo; se trata de un promedio final tomado en 3 puntos distintos teniendo un coeficiente de correlación de Pearson de 0.97, un PBIAS (%) de 0.54%, un RSR de 0.35 y un NSE de 0.88, obteniéndose un modelo muy bueno al analizar este parámetro.

Tabla 4. Nitratos (mg/L) en el año 2009 en los puntos de muestreo situados en el río Blanco, laguna de San Pablo y laguna de Yahuarcocha

Punto	SWAT	Observados
Blanco	4.13	2
Yahuarcocha	6.1	4
San Antonio	4.1	6.24

Los datos mostrados en la Tabla 4, para el caso de los nitratos, corresponden a un promedio anual del 2009 en 3 puntos diferentes, teniendo un coeficiente de Pearson de -0.1, un PBIAS (%) de -16.72, un RSR de 1.2 y un NSE de -0.51, obteniéndose un modelo deficiente para este parámetro.

Simulación matemática de dos subcuencas del Río Ambi y Tahuando, ubicadas en Imbabura-Ecuador, usando el modelo qswat para la determinación de parámetros hidrográficos

Tabla 5. Escorrentía superficial mensual (mm) durante el año 2011 en la zona alta de la subcuenca del río Tahuando.

Año 2011	SWAT	Observada
Enero	12.84	50.11
Febrero	12.52	81.14
Marzo	14.13	39.06
Abril	27.50	119.91
Mayo	12.06	40
Junio	12.30	28.2
Julio	12.54	35.24
Agosto	12.94	28.56
Septiembre	20.68	29.23
Octubre	10.48	39.36
Noviembre	5.29	36.71
Diciembre	15.06	79.61

Los datos observados en la Tabla 5, para el parámetro de escorrentía, se calcularon a través del software corregido de ArcMap para la zona de estudio, y se encontró un coeficiente de correlación de Pearson de 0.61, un PBIAS (%) de 72.28, un RSR de 0.79 y un NSE de 0.38, concluyendo que el modelo sería insatisfactorio para este parámetro.

Tabla 6. Evapotranspiración potencial mensual (mm) durante el año 2010 en la zona alta de la subcuenca del río Tahuando

Año 2010	SWAT	Observada
Enero	129	83.07
Febrero	84.2	66.37
Marzo	103	74.83
Abril	62	66.54
Mayo	73.6	74.75
Junio	84.1	62.47
Julio	96.5	70.61
Agosto	120	75.72
Septiembre	93.7	77.44
Octubre	73.2	81.47
Noviembre	40.3	69.32
Diciembre	40.5	69.79

Simulación matemática de dos subcuencas del Río Ambi y Tahuando, ubicadas en Imbabura-Ecuador, usando el modelo qswat para la determinación de parámetros hidrográficos

Los datos observados en la Tabla 6, para el parámetro de evapotranspiración, se obtuvieron de una simulación corregida en el software ArcMap y se encontró un coeficiente de correlación de Pearson de 0.49, un PBIAS (%) de -14.64%, un RSR de 0.11 y un NSE de 0.99, obteniéndose un modelo muy bueno en el estudio de este parámetro.

Resultados

Al implementar el microorganismo *Pseudomonas* para la remediación del suelo y agua de las subcuencas del río Ambi y Tahuando se espera que en un lapso de tiempo se reduzca la concentración de nitratos presente en el sistema, así como la contaminación por hidrocarburos si es que esta estuviera presente. Por otra parte, se espera que se reduzca la contaminación biológica debido a que los altos niveles de oxígeno disueltos permitirían la autodepuración de los canales.

Un tiempo después debería realizarse un nuevo análisis para observar que los parámetros estén por debajo de los límites permisibles para el uso agrícola agropecuario. En caso de que persista la contaminación, se procedería a utilizar técnicas mucho más eficaces.

Conclusiones

- Se determinaron una serie parámetros de las subcuencas del río Ambi y Tahuando a partir de estudios anteriores, encontrando datos de precipitación, evapotranspiración, escorrentía que permiten observar el movimiento que tiene el agua por todo el sistema con lo que se puede conocer el movimiento que podría tener un contaminante por el ambiente. Otros parámetros medidos fueron el oxígeno disuelto, el cual permitió conocer la capacidad que tiene los ríos para sostener la vida y por último se estudió el caso de los nitratos, los cuales se sospechó estaban en exceso al ser una zona agrícola.
- Se calificó la relación entre datos simulados en QSWAT y datos encontrados en estudios mediante el esquema de valoración Moriasi, obteniendo que el modelo QSWAT es deficiente en ciertos parámetros pero en otros se cuenta con una alta eficiencia. Algo importante a tomarse en cuenta para tener una simulación correcta en QSWAT u otro software es corregir el modelo para la zona de estudio, ya que de no realizarse esa etapa, los valores que se obtengan serían muy variables con respecto a otros valores de referencia.

Simulación matemática de dos subcuencas del Río Ambi y Tahuando, ubicadas en Imbabura-Ecuador, usando el modelo qswat para la determinación de parámetros hidrográficos

- Se citaron alternativas para el control de parámetros que se encuentren fuera de norma dentro de los estudios consultados con el fin de continuar con la investigación, este fue el caso del oxígeno disuelto, del cual se encontraron valores que rondan los 10ppm, aunque se sospecha que estos niveles se deben a la autodepuración que tiene el canal debido a la contaminación biológica. Una alternativa para el caso de los nitratos, los cuales se sospecha sean posibles causantes de contaminación, es el uso de biorremediación utilizando *Pseudomonas*, las cuales han demostrado gran efectividad en estos casos.

Referencias

1. Altamirano, M. (22 de Mayo de 2013). Estudio Hidroquímico y de Calidad Del Agua Superficial en la Cuenca del Río Mira. Obtenido de Universidad Central del Ecuador: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1711/1/T-UCE-0017-45.pdf>
2. Barrios, A., & Urribari, L. (Septiembre de 2009). Aplicación del modelo swaT en los Andes venezolanos:. Obtenido de Sistema de Información Científica Redalyc: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=347730384002>
3. CISPDR. (Febrero de 2016). Plan Hidráulico Regional de la Demarcación Hidrográfica Mira. Obtenido de <http://rpa.senagua.gob.ec/index.php/planes-de-girh/regional/memorias-por-demarcacion?download=31:memoria-dh-mira>
4. Ferrera, R. (Junio de 2006). Procesos de biorremediación de suelo y agua. Obtenido de Medigraphic: <https://www.medigraphic.com/pdfs/lamicro/mi-2006/mi062s.pdf>
5. Flores, F. (2010). Manejo Integral de la Cuenca Hidrográfica del Río Ambi ubicado en la provincia de Imbabura . Obtenido de Universidad San Francisco de Quito: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1005/1/96293.pdf>
6. Garzón, O. (2017). Valoración de Lugares de Interés Hidrológico en la Cuenca del Río Ambi. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7699>
7. Lucio, A. (Enero de 2014). Una revisión de la evaluación de la calidad de agua de los ríos de la provincia de Imbabura. Obtenido de Universidad Técnica Particular de Loja: http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/8370/1/Almeida_Betancourt_Lucio_Antonio.pdf

Simulación matemática de dos subcuencas del Río Ambi y Tahuando, ubicadas en Imbabura-Ecuador, usando el modelo qswat para la determinación de parámetros hidrográficos

8. Muñoz, S. (Julio de 2016). Evaluación de la Eficacia de Trichoderma sp Y Pseudomona sp. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13228/1/UPS-QT10474.pdf>
9. Riquelme, M. (11 de Mayo de 2019). ¿Qué Es Y Cómo Se Interpreta El Coeficiente De Correlación De Pearson? Obtenido de Web y Empresas: <https://www.webyempresas.com/coeficiente-de-correlacion-de-pearson/>
10. Sepúlveda, A. (2011). Remediación de la Contaminación por Nitratos en el Suelo. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/280579834_REMEDIACION_DE_LA_CONTAMINACION_POR_NITRATOS_EN_EL_SUELO_ANTECEDENTES_GENERALES_Y_PERTINENCIA_EN_ZONA_SUR_DE_CHILE
11. TULSMA. (2015). Revisión y Actualización de la Norma de Calidad Ambiental. Obtenido de <http://www.cip.org.ec/attachments/article/1579/PROPUESTA%20ANEXO%201.pdf>