



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**Y AMBIENTALES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES**  
**RENOVABLES**

**MODELAMIENTO DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE SUMINISTRO  
HÍDRICO ANTE UN ESCENARIO PROSPECTIVO DE MINERÍA EN LA  
MICROCUENCA DEL RÍO CHALGUAYACU, COTACACHI-IMBABURA**

**AUTOR:**

Gabriel Andrés Meneses Yépez

**DIRECTOR:**

Ing. Paúl Arias Msc.

**COMITÉ LECTOR:**

PhD. James Rodriguez

Ing. Oscar Rosales MSc

Ing. Daniel Sono MSc.

**AÑO:**

2017

**LUGAR DE INVESTIGACIÓN:**

Provincia de Imbabura-Ecuador

**BENEFICIARIOS:**

Comunidades inmersas dentro de la cuenca del río Chalguyacu.

## **HOJA DE VIDA**



**APELLIDOS:** Meneses Yépez

**NOMBRES:** Gabriel Andrés

**C. CIUDADANÍA:** 0401590575

**TELÉFONO CONVENCIONAL:** 06 2658-245

**TELÉFONO CELULAR:** 0990083556

**CORREO ELECTRÓNICO:** gabomnss@gmail.com

**DIRECCIÓN:** Imbabura, Ibarra, Sagrario, Ciudadela Zoila Galarraga, Bayardo Tobar  
2-19 y Jorge Subía.

**AÑO:** Octubre, 2017

## REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

**GABRIEL ANDRÉS MENESES YÉPEZ.** Modelamiento del servicio ecosistémico de suministro hídrico ante un escenario prospectivo de minería en la microcuenca del río Chaguayacu, Cotacachi-Imbabura/  
TRABAJO DE GRADO. Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables. Ibarra, EC. Octubre 2017.

**DIRECTOR:** *Ing. Paúl Arias MSc.*

La minería a gran escala genera grandes afectaciones sobre el recurso hídrico, debido principalmente al cambio de uso de suelo. La remoción de cobertura vegetal repercute en la disponibilidad hídrica de una cuenca. Para evaluar estas afectaciones se aplicó el modelo hidrológico Soil water assessment tool (SWAT) en la microcuenca del río Chaguayacu, a partir del cual se generaron dos escenarios comparativos, el primero para el período 2010-2014, en el que no se evidencia intervención minera y el segundo escenario de explotación minera proyectado para el año 2030.

26 Octubre, 2017



Ing. Paúl Arias MSc.

**Director de Trabajo de Grado**



Gabriel Andrés Meneses Yépez

**Autor**

## RESUMEN

El presente estudio se realizó en la microcuenca hidrográfica de Chalguyacu, ubicada en el Cantón de Cotacachi, dentro de la provincia de Imbabura; el río Chalguyacu es uno de los afluentes pertenecientes a la subcuenca del río Guayllabamba. En la parte alta de la cuenca se desarrolla un proyecto minero, el cual no ha comenzado aún labores de explotación minera. Por lo tanto, se desconoce el grado de afectación en el territorio. En este sentido, se propuso la aplicación del modelo hidrológico SWAT, para simular el balance hídrico actual y su afectación con un escenario prospectivo de explotación minera. La metodología aplicada generó dos escenarios: uno para determinar el estado actual de la cuenca en el período 2010-2014; y otro para simular el cambio de uso de la tierra producto de la minería, durante 2030 años. Para el período 2010-2014 se obtuvo un déficit anual del caudal de la microcuenca de 799.74 mm. El escenario proyectado para el año 2030, prevé que las actividades de minería generarían un cambio en la cobertura vegetal de alrededor de un 15.15% del área total. En consecuencia, la escorrentía del río aumentaría en un 20,11% hasta ese año, pero también se produciría una reducción en los valores de percolación. El modelo fue calibrado con datos históricos de la cuenca de Guayllabamba. Los resultados mostraron un coeficiente de correlación  $R^2 = 0,79$  y el índice de eficiencia Nash-Sutcliffe = 0,96, lo que indica que la simulación es aceptable.

**Palabras clave:** Microcuenca, Minería, escenarios, afectación, Balance hídrico.

## SUMMARY

The present study was carried out in Chalguyacu's watershed, which is located in Cotacachi Canton inside Imbabura province; besides belongs to Guayllabamba's basin. In the upper part of watershed a mining project is being developed, which has not yet started with mineral exploitation work. Therefore, it still is unknown the affectation degree on territory. In this sense, it was proposed the application of the SWAT hydrological model, in order to simulate the current water balance and its affectation with a prospective mining exploitation scenario. The applied methodology was generating two scenarios: one to determine the current state of the watershed in the period 2010-2014; and another one to simulate the land use change product by mining. The applied methodology was generating two scenarios: one to determine the current state of the watershed in the period 2010-2014; and another one to simulate the land use change product by mining for 2030 year. For period 2010-2014 it was obtained an annual deficit of flow of the watershed of 799.74 mm. In 2030 with mining would be a change a vegetation cover around of 15.15%. Consequently, it would be a change on river runoff. The river runoff would increase by 20.11% untill that year, but it would reduce the percolations values. The model was calibrated with runoff historical data of Guayllabamba's basin. The results showed a correlation coefficient  $R^2 = 0.79$  and efficiency index Nash- Sutcliffe= 0,96, which indicates that model is acceptable.

**Keywords:** Watershed, mining, scenario, affectation, water balance.

## INTRODUCCIÓN

Ecuador presenta un patrimonio hídrico importante, según Campos, et. al, (2014) en la vertiente pacífica del país el agua dulce disponible por habitante sería de 4.863,41 m<sup>3</sup>/habitante/año y en la vertiente amazónica de 172.786,36 m<sup>3</sup>/habitante/año. Una de las zonas con mayor abundancia del recurso hídrico es la región de Intag, caracterizada por ser una zona cuya actividad productiva predominante es la agropecuaria, lo que conlleva a una alta dependencia por parte de la población inmersa en el área, hacia el recurso hídrico. A pesar de su importancia para la región, esta no está exenta de amenazas, puesto que en su subsuelo se han detectado yacimientos minerales importantes, los cuales han despertado el interés de las industrias extractivas durante décadas. En este sentido, existen grandes implicaciones sobre el impacto que esta actividad provoca al ambiente. Según estudios previos la microcuenca más afectada sería la del río Chalguayacu debido a que gran parte del yacimiento se ubica bajo su suelo.

La minería es una actividad que utiliza grandes cantidades de agua en muchos de sus procesos, Solamente para producir una tonelada de cobre puro se usa decenas de miles de litros de agua diariamente (Zorilla, 2012). Además los cambios del uso del suelo, podrían alterar la capacidad de almacenamiento de agua. Otro problema sería la disminución de los caudales cercanos a la concesión minera, podría convertirse en una grave amenaza para los

requerimientos hídricos de las poblaciones cercanas (Machado Aráoz, 2010), desencadenando posibles conflictos ya que generalmente compiten con otras actividades que requieren de agua, como es el caso la agricultura y la ganadería.

Es importante mencionar que actualmente, el proyecto minero no ha realizado trabajos de explotación, por lo que no se conoce con exactitud los impactos que esta actividad desencadenaría en el recurso hídrico. El presente estudio, propone simular un escenario prospectivo de cambio de uso de suelo generado por la explotación minera, mediante el uso del modelo hidrológico Soil Water Assessment Tool, con la finalidad de evaluar dichas afectaciones.

## MATERIALES Y MÉTODOS.

El microcuenca del río Chalguayacu se ubica en las estribaciones de la cordillera occidental del Ecuador. En la Parroquia de García Moreno, Cantón Cotacachi,

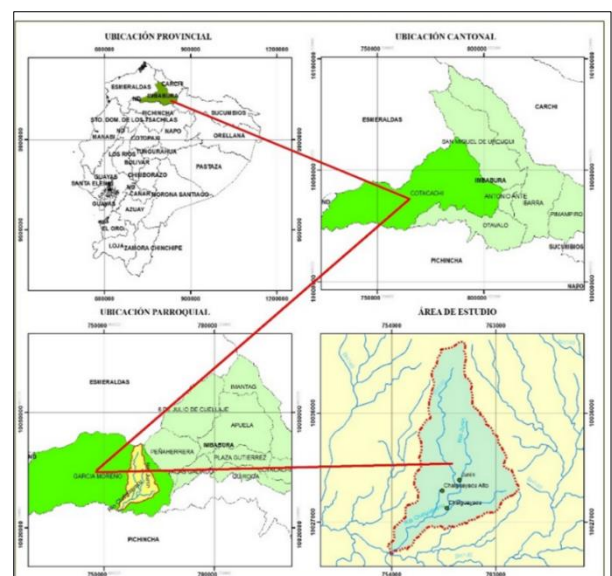


Figura.1. Ubicación geográfica de la microcuenca del río Chalguayacu.

Provincia de Imbabura (ver Figura 1.). Sus coordenadas UTM son X: 758546 y Y: 10032068 en el sistema DATUM WGS 84, zona 17S.

### **Cálculo del Balance Hídrico de la microcuenca del río Chalguyacu**

El balance hídrico del área de estudio fue determinado mediante la herramienta SWAT. Los pasos metodológicos que siguió esta etapa son: a) ingreso de variables al modelo, b) cálculo de parámetros del balance hídrico c) calibración y d) validación del modelo.

### **Ingreso de parámetros: edafológicos, cobertura vegetal, relieve y climáticos.**

El ingreso de variables al modelo empieza con la delimitación de la cuenca, a partir del Modelo de Elevación Digital (DEM) Posteriormente se ingresó archivos geográficos en formato "Raster" de tipo de texturas, cobertura vegetal y relieve de la microcuenca a escala 1:50000. Finalmente se ingresó al modelo la información climática correspondiente al período de análisis. La información climática se generó mediante la aplicación del método de interpolación Inverse Distance Weighting (IDW), para las estaciones **M0318, M0325, M0326 y M0327.**

### **Calibración y validación de resultados.**

Los datos de mayor sensibilidad del modelo se calibraron con los datos simulados con la subcuenca del río Guayllabamba. Esto

debido a que en esta subcuenca hidrográfica, se encuentra ubicación de la estación hidrométrica Guayllabamba DJ Alambí, de donde se dispone los datos diarios y mensuales de caudales.

Posteriormente se realizó la validación de resultados mediante el índice de Nash-Sutcliffe (1970).

### **Cambio de uso de suelo para el año 2030.**

Para este escenario prospectivo se buscó determinar el área deforestada por las actividades mineras. Esta área se dividió en dos categorías para el proceso de simulación mediante SWAT. Árido Y Zona Industrial.

Posteriormente se ingresaron al modelo el mapa de cobertura vegetal modificado con las categorías antes mencionadas, conjuntamente con las variables edafológicas y climatológicas. Finalmente se generó la simulación del escenario prospectivo.

### **Análisis de variación de caudales bajo un escenario hipotético de minería**

Para determinar las afectaciones de la actividad minera sobre el recurso hídrico se aplicó la ecuación de variación porcentual aplicada por (Arias, 2015), que se explica a continuación:

$$\text{Variación} = \frac{Q_{\text{modificado}} - Q_{\text{base}}}{Q_{\text{base}}} * 100$$

Dónde: Variación = valor de la variación de caudal en el período simulado, Qmodificado= es el caudal mensual total obtenido del escenario prospectivo, Qbase=

es el caudal mensual total obtenido del escenario base.

#### **Tasa de deforestación anual.**

Este indicador mide la variación anual del área boscosa de una región en dos épocas diferentes (Puyravaud, 2003).

$$q = \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^{1/(t_2-t_1)} - 1$$

Donde: Q: Tasa de deforestación en el Ecuador continental (%), A<sub>1</sub>: Área de bosque inicial (ha), A<sub>2</sub>: Área de bosque final (ha), t<sub>1</sub>: Año inicial, t<sub>2</sub>: Año final

#### **Análisis de oferta y demanda del recurso hídrico en la microcuenca para cada escenario propuesto.**

La oferta del recurso hídrico para el año 2014 fue obtenido de la simulación del escenario base, el cual fue dividido para el número de habitantes de la microcuenca. El total de población fue obtenido del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2010).

La oferta del recurso hídrico para el año 2030, se determinó con base en los caudales mensuales promedio generados en el proceso de simulación del escenario prospectivo y las proyecciones demográficas del INEC. Finalmente se analiza conjuntamente los resultados para cada escenario.

Finalmente se consideró el volumen de caudal total y caudal ecológico en época seca y época lluviosa. El caudal ecológico tomándose el 10% del caudal medio anual (Cuyo, 2016).

#### **Elaboración de estrategias de gestión hídrica considerando un escenario prospectivo de explotación minera.**

Además se aplicaron los criterios de la “Guía para la elaboración de planes de manejo de microcuencas” UICN, (2009); CEPAL (2003). A continuación se presentan datos generales de la propuesta: a) Identificación de los factores externos (oportunidades y amenazas) e internos (fortalezas, debilidades) que conforman la situación actual de la microcuenca, b) Revisión de la normativa legal vigente. c) Identificación de los diferentes actores involucrados en la preservación y manejo, control y uso del recurso hídrico. d) planteamiento de Objetivos estratégicos y específicos. e) definición de estrategias y f) elaboración de proyectos y determinación de metas acordes a cada estrategia.

### **RESULTADOS**

#### **Resultados de la simulación inicial de la microcuenca del río Chalguayacu**

Una vez realizado la simulación del período 2010-2014 de la microcuenca del río Chalguayacu, se obtuvieron datos mensuales de precipitación (PREC), caudal superficial (SURQ), caudal lateral (LATQ), caudal subterráneo (GWQ), percolación (PERCOLATE), contenido inicial de agua en el suelo (SW), evapotranspiración real (ET), evapotranspiración potencial (ETP), y caudal total mensual (WATER YIELD). La simulación inicial mostró un caudal total mensual exagerado para la microcuenca por lo que procedió a calibrar el modelo.

## Calibración de Datos.

### Calibración de datos en la subcuenca del río Guayllabamba.

La simulación de producción de caudales mostró ser excesivos en comparación de los caudales registrados por la estación hidrométrica Guayllabamba DJ Alambí.

En la tabla 2., se muestra los valores iniciales de caudal mensual total simulados por el modelo SWAT y los valores modificados resultantes del proceso de calibración ambos expresados en  $m^3/s$ . Posteriormente se realizó la validación del modelo.

Tabla.2. Cuadro comparativo de caudal mensual total simulado por SWAT y el caudal mensual observado, expresados en  $m^3/s$ .

MES	CAUDAL SIMULADO	CAUDAL CALIBRADO
	$m^3/s$	$m^3/s$
Enero	5.77	3.89
Febrero	6.09	4.93
Marzo	7.35	6.64
Abril	6.81	5.96
Mayo	5.21	5.09
Junio	3.32	3.89
Julio	1.73	2.95
Agosto	0.84	1.91
Septiembre	0.97	1.30
Octubre	0.69	1.09
Noviembre	2.23	1.63
Diciembre	2.7	1.75

### Resultados de excedente o déficit de agua en la microcuenca del río Chalguayacu.

Para el año 2014 se determinó un déficit anual de agua en la microcuenca del río Chalguayacu de 799.74 mm, con excedente para los meses de Febrero, Marzo, Abril y Diciembre, mientras que para el resto de

meses se evidencia un déficit de agua. Los resultados se muestran en la figura 2.

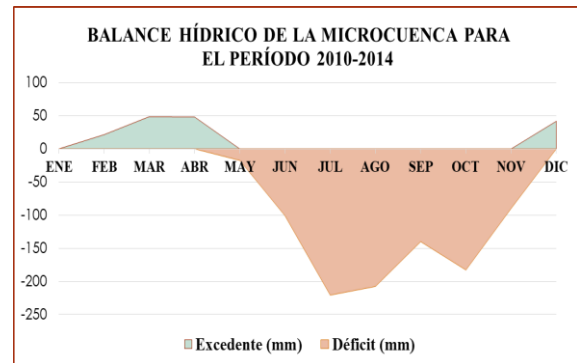


Figura.2. Excedente y déficit de agua de la microcuenca del río Chalguayacu para el año 2014.

### Simulación de un escenario prospectivo de explotación minera para el año 2030.

El modelo SWAT simuló una respuesta hidrológica diferente para cada una de los componentes del ciclo hidrológico, en especial para el caso de caudal total mensual (WATER YIELD).

### Análisis de variación de caudal.

En donde se observó un aumento en la escorrentía para los meses establecidos como de época lluviosa, en especial en el mes de Mayo, mientras que en los meses de época seca el caudal sufre una disminución leve. La disminución de caudal más significativa se presencia en el mes de Agosto. Los resultados detallados anteriormente se presentan en la figura 3.



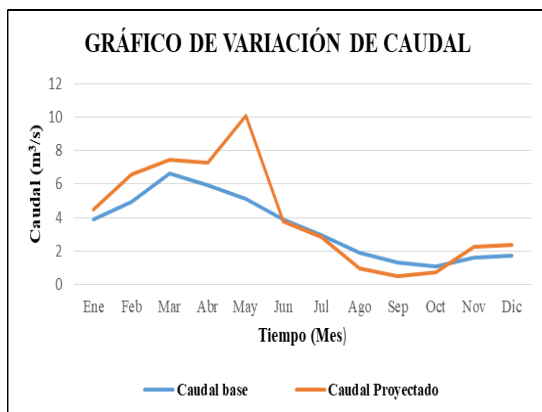


Figura.3. Variación de caudales promedio mensual para los escenarios base y proyectados.

Se estimó la tasa anual de pérdida de área para bosque, pastizal y cultivo para los periodos 2014-2015, 2020-2021 y 2029-2030 (ver tabla 3).y se determinó su relación con la variación en la producción de caudales

Tabla.4. Tasa anual de variación de cobertura vegetal y caudal para los periodos 2014-2015, 2020-2021 y 2029-2030.

AÑO	BOSQUE	PASTIZAL	CULTIVO	CAUDAL
2014-2015	-1.5	-0.079476	-0.281277	1.1
2020-2021	-10.5	-0.553476	-1.961277	7.7
2029-2030	-24	-1.185476	-4.481277	17.6

#### Oferta y demanda del recurso hídrico.

Se obtuvo un caudal aprovechable de 4.63 m<sup>3</sup>/s y 1.33 m<sup>3</sup>/s para época lluviosa y seca respectivamente. La demanda hídrica per cápita para este período es de 6L/s para época de altas precipitaciones y de 1.20 L/s para época de estiaje para el escenario prospectivo correspondiente al año 2030 se estimó un caudal proyectado de 6.61 m<sup>3</sup>/s en época lluviosa, mientras que en época

seca se prevé un caudal promedio de 1.6 m<sup>3</sup>/s.

La demanda hídrica para este período sería de 6.34 L/s y 1.20 L/s para época lluviosa y seca respectivamente.

#### DISCUSIÓN

Al comparar el escenario base y al escenario prospectivo, se observó un incremento leve de caudal en época lluviosa, mientras que en época seca el caudal tiende a disminuir. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Urrutia (2016), en donde el autor concluyó que para su área de estudio la disminución del área forestal, conlleva a un aumento gradual en el caudal de escorrentía superficial. Uribe (2010), explica que aunque existe un aumento de escorrentía, también existe disminución en la capacidad de recarga de los acuíferos, reduciendo los flujos de retorno en época de estiaje. Pero la modificación de caudales no solo se debe al área, sino también al tipo de cobertura vegetal perdida (Hurtado *et. al*, 2014). Sánchez (2015), expone similares criterios, el autor resalta que este comportamiento se debe a que el agua que ingresa al sistema no se almacena adecuadamente cuando se reemplaza la cobertura vegetal original, ocasionando posibles inundaciones y escasez del recurso hídrico en época lluviosa y seca respectivamente.

Actualmente el problema de las inundaciones es percibido por los habitantes de las comunidades, en los meses de mayor precipitación. Este problema podría acrecentarse, debido a que SWAT prevé un

incremento de caudal del 20.11% para el año 2030.

Desde un punto de vista general se observa que los resultados de caudal total anual simulados para el escenario futuro, contrastan con los resultados expuestos por la (JICA, 1996) en su estudio de impacto ambiental, en donde menciona que el proyecto Junín; ahora Llurimagua, provocaría secamiento de las fuentes hídricas cercanas al proyecto. Pero un análisis más detallado muestra que los resultados de la empresa japonesa podría evidenciarse en la época de baja precipitación, ya que el modelo denota una disminución considerable de caudal, explicada de mejor manera en el análisis de demanda hídrica presentada anteriormente, en donde se destaca la disminución de volumen de agua aprovechable correspondiente para cada habitante, lo que representaría una seria amenaza a la seguridad hídrica de la población.

#### **Estrategias de gestión hídrica encaminadas a prevenir, mitigar y conservar el recurso hídrico de la microcuenca del río Chalguayacu ante un escenario prospectivo de explotación minera.**

A continuación se describe la situación actual de la microcuenca de la que se partió para plantear las estrategias.

- a) Prevención y mitigación que busca detener procesos degenerativos en áreas intervenidas por actividades antrópicas.
- b) Educación ambiental: esta estrategia busca fomentar en la población inmersa en el área de

estudio una cultura de preservación del recurso hídrico.

- c) Monitoreo y seguimiento: Esta estrategia está encaminada a promover la participación de los habitantes de las comunidades en los procesos de desarrollo de mecanismos y acciones orientadas a la gestión del recurso hídrico.

#### **CONCLUSIONES.**

1. El análisis de balance hídrico aplicado a la microcuenca del río Chalguayacu para el año 2014, mostró un excedente de agua para los meses de Febrero, Marzo, Abril y Diciembre, mientras que para el resto de meses se evidencia déficit del recurso hídrico.
2. Para el escenario base se determinó un caudal aprovechable de 4.63 m<sup>3</sup>/s en época lluviosa y de 1.33 m<sup>3</sup>/s en época seca. Relacionando estos valores con el número total de habitantes de la microcuenca se obtuvo una demanda del recurso hídrico per cápita de 6 L/s y 1.72 L/s para época lluviosa y época seca respectivamente.
3. Una vez culminado el proceso de calibración, los resultados de la simulación mostraron un coeficiente de regresión y correlación de  $R^2 = 0.876$ , y de 0.96 según los criterios de Nash-Sutcliffe. Estos valores indican que el modelo representó de manera precisa el comportamiento hidrológico de la subcuenca del río

- Guayllabamba, y posteriormente a la microcuenca en estudio.
4. Bajo un escenario prospectivo de explotación minera en el área de estudio, se determinó que un 14.69% de la cobertura vegetal original sería sustituida por suelo desnudo y un 0.46% por la categoría de zona industrial, dando un total de 15.15% de cobertura vegetal reemplazada lo cual ocasionaría que la producción anual de caudales aumente en un 20.11%, y que la percolación disminuya en un 18.33% para este año.
  5. La demanda hídrica per cápita para el escenario prospectivo sería de 6.34 L/s para época lluviosa y de 1.20 L/s para época seca. Estos valores exponen la variación de caudal con respecto al escenario base. Evidenciándose un incremento en época de mayor precipitación y por el contrario disminución en época de estiaje.
  6. Se determinó una relación inversamente proporcional entre la tasa de cambio de deforestación y producción de caudales para los períodos 2014-2015, 2020-2021, 2029-2030 ya que la disminución en la cobertura vegetal genera un aumento de escorrentía, pero decrecimiento en la capacidad de retención del ecosistema, detallado en el análisis de variación de la percolación.
  7. Se plantearon tres estrategias enfocadas en preservar el recurso

hídrico de la microcuenca ante un escenario de explotación minera a gran escala. Las estrategias y actividades propuestas en la investigación pueden ser ejecutadas de manera conjunta por las instituciones públicas y privadas interesadas en el manejo y conservación del recurso hídrico y los ecosistemas, considerando además a las comunidades inmersas en el área de estudio como beneficiarios y actores importantes en el proceso de ejecución, monitoreo y control.

#### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

Arias, D. (2015). *Vulnerabilidad al cambio climático e inseguridad hídrica: el caso de la cuenca del río Pichaví. (Cotacachi-Ecuador)*. (Tesis de Maestría). Universität Heidelberg. Santiago de Chile, Chile.

Campos, A., Sinichenko, E., Gritsuk, I. (2014). *Disponibilidad del recurso hídrico en el Ecuador*. Recuperado de: [http://www.academia.edu/8618821/Disponibilidad\\_de\\_agua\\_en\\_Ecuador\\_2014](http://www.academia.edu/8618821/Disponibilidad_de_agua_en_Ecuador_2014)

Cuyo, J. (2016). *Propuesta metodológica para el pronóstico de la demanda de agua potable a corto plazo (Días, semanas, meses) en la planta de tratamiento de agua potable de bellavista en el norte de la ciudad de Quito*. (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.

Hurtado, P., Cohen, I., Arriaga, G., Rodríguez, M., y Valle, M. (2014). Impacto del cambio en la vegetación sobre el escurrimiento utilizando el modelo swat. *AGROFAZ*, 14(2).

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS. (2010). *Censo de población y vivienda 2010*. Recuperado de: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/base-de-datos-censo-2010/>

Japan International Cooperation Agency. (1996). *Informe final sobre la exploración mineral de cooperación técnica en las áreas de Junín y Cuellaje, República del Ecuador*. Metal Mining Agency of Japan (MMAJ).

Machado Aráoz, H. (2010). Agua y minería transnacional. Desigualdades hídricas e implicaciones biopolíticas. *Revista Proyección*, (9).

Nash, J.E. and Sutcliffe, J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models. Part 1. A discussion of principles. *J. Hydrology* 10(3) 282-290.

Proyecto Tacaná- UICN (2009). *Guía para la elaboración de planes de manejo de microcuencas*. San Marcos, Guatemala: UICN.

Puyravaud J. (2003). Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management* 177(1-3), 593-596.

Sánchez, H. (2015). *Simulación hidrológica de la Cuenca del río Alambí en Nanegal frente al cambio del uso de suelo y su impacto en el recurso hídrico*. (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Quito.

Silva, I. (2003). *Metodología para la elaboración de estrategias de desarrollo local*. Chile, Santiago de Chile: Naciones Unidas, CEPAL.

Uribe, N. Valencia, J. (2010). *Impacto del uso de la tierra en la generación de caudales y sedimentos: caso cuenca del río Tunjuelo-Cundinamarca*. Informe final. Recuperado de [http://oab.ambientebogota.gov.co/apc-aa-files/57c59a889ca266ee6533c26f970cb14a/Informe\\_Final\\_Tunjuelo\\_Julio.pdf](http://oab.ambientebogota.gov.co/apc-aa-files/57c59a889ca266ee6533c26f970cb14a/Informe_Final_Tunjuelo_Julio.pdf)

Urrutia, M. (2016). *Aplicación del modelo SWAT para la simulación del ciclo hidrológico de la cuenca alta del río San Juan bajo la influencia de la actividad minera*. (Tesis de posgrado). Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá.

Zorrilla, C. (2012). *La minería de cobre y sus impactos en el Ecuador*. Quito: MIMEO.