

DOI: <https://doi.org/10.23857/fipcaec.v5i5.183>

Estimación del balance hídrico climático (BHC) de las microcuencas del cantón Joya de los Sacha, Orellana

Estimation of the climatic water balance (BHC) of the micro basins of the canton Joya de los Sacha, Orellana

Estimativa do balanço hídrico climático (BHC) das microbacias do cantão Joya de los Sacha, Orellana

María Paulina Poma-Copa^I
paulina.poma@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-7841-6709>

Marco Ramiro Usca-Tiuquina^{II}
mcares@uce.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-6303-1942>

Correspondencia: paulina.poma@epoch.edu.ec

* **Recepción:** 25/ 01/ 2020 * **Aceptación:** 27/02/ 2020 * **Publicación:** 16 /03/ 2020

- I. Ingeniería Química, Magíster en Calidad, Seguridad y Ambiente, Cursando el Programa de Doctorado de Ingeniería Química y Ambiental, Profesora en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Sede Orellana, Ecuador.
- II. Ingeniero en Sistemas Informáticos, Cursa la Geographic Information Science and Systems (UNIGIS MSc) en la Universidad de Salzburg, Desarrollo de Aplicaciones Web Basado en Software Libre, Universidad de Salzburgo, Austria.

Resumen

El comportamiento del balance hídrico climático (BHC) de las microcuencas del cantón Joya de los Sacha que abastecen de agua a la cuenca del Río Napo depende de la variación temporal y espacial de las variables climáticas datos obtenidos de las bases de datos de Worldclim, Giovanni.gsfc.nasa.gov y geoportal de agricultura del MAGAP. Con el objetivo de definir los períodos húmedos y secos, así como estimar los excesos de agua y la parte de escurrimiento que drenan hacia los ríos y arroyos que desembocan en la cuenca del río Napo. Mediante la aplicación de dos métodos eficaces para los cálculos de equilibrio realizados por Thornthwaite y J. R. Mather Y para calcular el equilibrio de la distribución espacial de toda el área de estudio a través de herramientas SIG del período septiembre 2018 a septiembre 2019. Como resultado de la aplicación de esta estimación mediante el método de Thornthwaite y J. R. Mather, se obtuvo la cantidad de escurrimiento de agua de 800,55 mm la precipitación anual 4534 mm, evapotranspiración potencial anual 1475.23 mm, y un exceso de agua anual 747.697. De los datos obtenidos del análisis SIG se obtuvo la temperatura 30.2 °C y precipitación 234 mm información que permitió definir los períodos húmedos agosto y secos mayo durante un ciclo anual para los monitoreos biológicos del agua.

Palabras Clave: Variables, precipitación, temperatura, balance de agua, microcuenca, SIG.

1 Introducción

Las variables climáticas a nivel espacial, temporal y los cambios derivados de los procesos terrestres incluyendo las actividades humanas que afectan al medio ambiente como el cambio climático, cambio en el uso del suelo que ha sido identificado en numerosos estudios [1]. Al mismo tiempo el cambio climático aporta un nivel de incertidumbre en los suministros de agua dulce en los principales sectores del uso de agua como la agricultura, y la energía. En Ecuador existen 9 cuencas hídricas Puyando, Jubones, Guayas, Manabí, Esmeraldas, Mira, Napo, Pastaza y Santiago por lo que es considerado como el país de mayor concentración de ríos en el mundo muchos de ellos desembocan en el Pacífico y otros en la región Oriental [2]. De acuerdo con su ubicación geográfica la provincia de Orellana está ubicada en la vertiente del Amazonas dentro del sistema hidrográfico de la cuenca del Río Napo, conformado por las subcuencas hidrográficas



Estimación del balance hídrico climático (BHC) de las microcuencas del cantón Joya de los Sacha, Orellana

de los ríos Aguarico, Cononaco, Nashiño, Curaray, Coca, Yasuní, Tiputini, Payamino, Indillama, Bueno y los drenajes menores [3].

La Amazonía ecuatoriana comprende el 2% de la cuenca del Río Amazonas, se extiende sobre un área de 115.745 Km² de exuberante vegetación propia de los bosques húmedos tropicales, representando el 45% del territorio nacional. Se caracteriza por tener una connotación especial, sus bosques con un comportamiento tropical húmedo, es considerada como hábitats de vegetales y animales más ricos y complejos del mundo, así como la existencia de flora y fauna junto con extraordinarias variaciones de macro y microclima. La Amazonia, por su condición es muy diversa y al mismo tiempo presenta una enorme fragilidad, tanto desde la perspectiva ecológica como, por sus particularidades socioculturales de la población. En sus ecosistemas habitan e interactúan poblaciones de indígenas-nativos, de colonos y urbanas, empresas, instituciones públicas y privadas, con diversas motivaciones y procesos productivos, la mayoría de los cuales conduce a alteraciones degradantes de los recursos naturales [4].

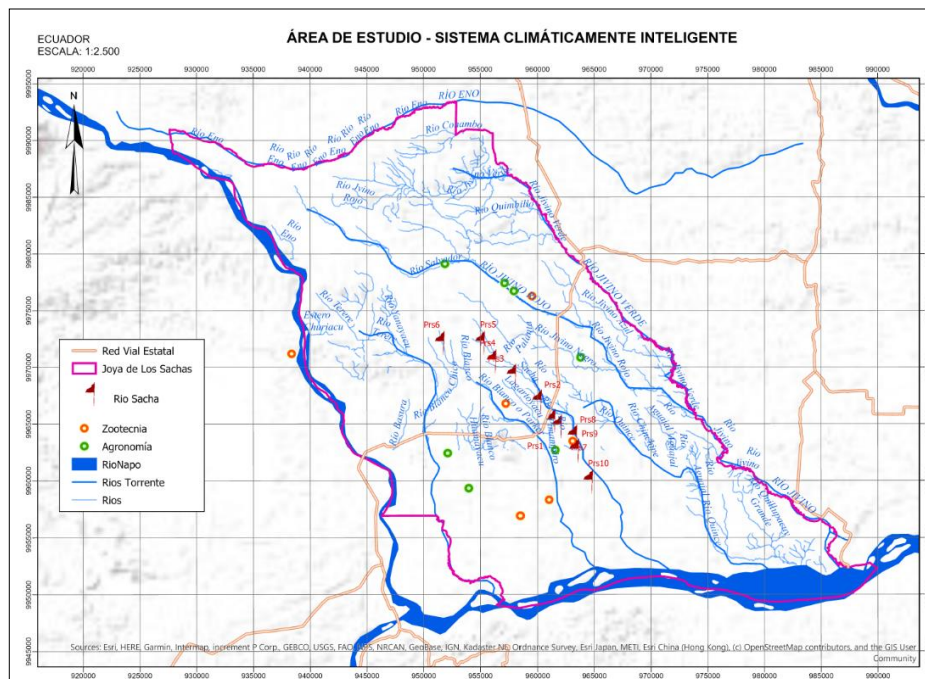
Por otra parte, se prevé que los efectos del cambio climático en los recursos hídricos serán extensos, por lo que es necesario realizar el cálculo del balance hídrico climático (BHC) propuesto por Thorntwaite y Mather (1955) donde el suelo es visto como un reservorio de agua a través de la precipitación (P) y en respuesta a las condiciones atmosféricas existe una pérdida de agua que es representada por la evapotranspiración potencial (ETP). Además, el BHC utiliza como datos de entrada valores de precipitación y temperatura evapotranspiración y escurrimiento [5]. En base a lo expuesto el presente trabajo se plantea estimar el balance hídrico climático (BHC) para las microcuencas del canton Joya de los Sacha área donde se encuentra ubicadas las fincas experimentales de los componentes de agronomía y zotecnia del proyecto sistema climáticamente inteligente de adaptación y seguridad alimentaria, utilizando el método directo Thorntwaite y Mather y herramientas SIG con el objetivo de definir los períodos húmedos y secos, así como estimar los excesos de agua y la parte de escurrimiento que drenan hacia los ríos y arroyos que desembocan en la cuenca del río Napo.

2 Materiales y Métodos

2.1 Área de estudio

El área de investigación comprende de las microcuencas de los ríos Jivino verde, azul, negro, rojo, Quince, Chinchipe, Blanco, Lagartococha, Sacha, Basura, Yanayacu, Quimbillo, Quillupacuy, Aguajal, Terere, Eno, que se encuentran dentro del área de influencia directa de las fincas experimentales de Agronomía, Zootecnia y los puntos de monitoreo de control de agua que abastecen a la cuenca del río Napo, que corresponden a un área de 1205.6 Km².

Mapa 1. Área de estudio -proyecto sistema climáticamente inteligente Sede rellana.



Fuente: Elaboracion Propia

Tabla 1. Fincas experimentales de Agronomía

| No | Propietario | X | Y |
|----|--------------------------|--------|---------|
| 1 | Luz Cusangua | 293480 | 9962764 |
| 2 | Luis García | 284062 | 9962495 |
| 3 | Eduardo Andache | 295701 | 9970927 |
| 4 | Rita Calero | 289884 | 9976766 |
| 5 | Juan Antonio Aldaz | 283816 | 9979159 |
| 6 | Fabián Guamán Cabrera | 289063 | 9977470 |
| 7 | Sra. María Toro | 285919 | 9959405 |

Fuente: Elaboracion Propia

Tabla 2. Fincas experimentales de Zootecnia

| No | Propietario | X | Y |
|----|-------------------|--------|---------|
| 1 | Francisco Armijos | 295010 | 9963562 |
| 2 | Ismael Gaviria | 292941 | 9958391 |
| 3 | Antonio Sarango | 290435 | 9957027 |
| 4 | Vilma Mesa | 291435 | 9976319 |
| 5 | Marlon Zambrano | 270332 | 9971236 |
| 6 | Vicente Báez | 289171 | 9966858 |

Fuente: Elaboracion Propia

Tabla 3. Puntos de muestreo del río Basura

| Puntos | X | Y |
|--------|--------|---------|
| P2 | 279467 | 9966897 |
| P3 | 279793 | 9965089 |
| P5 | 279657 | 9963215 |
| P1 | 278626 | 9967851 |
| P7 | 279322 | 9961382 |
| P8 | 279691 | 9960014 |
| P9 | 279703 | 9959600 |
| P6 | 279141 | 9962754 |
| P4 | 279844 | 9963722 |
| P10 | 277501 | 9968825 |

Fuente: Elaboracion Propia

Tabla 4. Puntos de muestreo Río Sacha

| Puntos | X | Y |
|--------|--------|---------|
| RS1 | 293105 | 9966452 |
| RS2 | 293046 | 9967013 |
| RS3 | 292315 | 9967575 |
| RS4 | 291880 | 9968231 |
| RS5 | 293374 | 9966242 |
| RS6 | 293643 | 9966035 |
| RS7 | 294766 | 9965657 |
| RS8 | 295005 | 9965170 |
| RS9 | 295077 | 9964048 |
| RS10 | 296377 | 9961179 |

Fuente: Elaboracion Propia

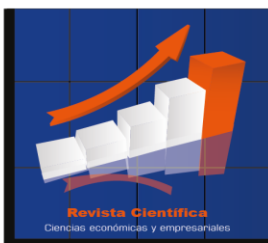
2.2 Metodología

Para realizar el balance hídrico climático (BHC) utilizaremos los cálculos de equilibrio realizados por Thorntwaite y J. R. Mather (Thorntwaite y Mather, 1955) este modelo se basa en la temperatura media del aire, se ha desarrollado para condiciones de clima húmedo con vegetación abundante las variables que se necesitan son los datos mensuales de temperatura media. Y para calcular el equilibrio de la distribución espacial de toda el área de estudio a través de herramientas SIG.

En base a lo expuesto la metodología se ha dividido en dos fases:

2.2.1 Primera Fase: Cálculos de balance hídrico climático (BHC) para un punto aplicando la metodología de Thornthwaite y Mather.

1. Recopilación de información de las variables climáticas
2. Obtención de datos de variables climáticas
3. Precipitación media mensual (P).
4. Determinación de Evapotranspiración Potencial (ETP).
5. Diferencia entre P- ETP.



6. Reserva del suelo (R).
7. Variación de la reserva (VR).
8. Evapotranspiración real (ETR).
9. Déficit de agua (DEF).
10. Exceso de agua (EX).
11. Drenaje (D)
12. Balance hídrico Climático (BHC).

1. Obtención de datos de variables climáticas

Para la obtención de las variables climática, se utilizó las variables bioclimáticas que existen en [ecoClimate.org](http://www.ecoclimate.org) (www.ecoclimate.org), es una base de datos con variables climáticas tanto para el presente, como para el pasado y para el futuro cuentan con 11 variables de temperatura (BIO1-BIO 11) y 8 variables de precipitación (BIO 12- BIO 19) y otras 48 variables mensuales de temperatura (media, máxima y mínima) que existen en la siguiente web del Worldclim (<http://www.worldclim.org/bioclimyenecoClimate.org>) definidas por Busby (Busby 1991) [6].

2. Determinación de la evapotranspiración potencial (ETP).

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial, se definió el método de Thornthwaite Mather (1955), el cual está basado en la determinación de la evapotranspiración en función de la temperatura y de la latitud de la zona de estudio y del mes (obtención de número de horas-sol por día). El método supone una región húmeda con vegetación verde, donde nunca falta aporte de agua (Aparicio, 2008) [5]. En el área de estudio existe una cobertura vegetal verde y presenta precipitación durante todo el año, presentándose en los

meses de estiaje precipitaciones mayores a 450 mm y menores de 100 mm que se muestran en los resultados.

Los valores de temperatura mensual se utilizan para calcular evapotranspiración potencial (ETP) mediante la siguiente ecuación.

$$t = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514} \quad \text{Ecu. 1}$$

$$I = \sum i \quad \text{Ecu. 2}$$

$$ETP \text{ sin corrección} = 16 \left(10 \times \frac{t}{I}\right)^a \quad \text{Ecu. 3}$$

$$a = 6.75 \times 10^{-7} \times I^3 - 7.71 \times 10^{-5} \times I^2 + 1.792 \times 10^{-2} \times I + 0.49239$$

$$ETP = ETP \text{ sin corr.} \cdot \left(\frac{N}{12} \times \frac{d}{30}\right) \quad \text{Ecu. 4}$$

Donde:

i = es el índice de calor mensual

t = es la temperatura media mensual

I = es el índice de calor anual

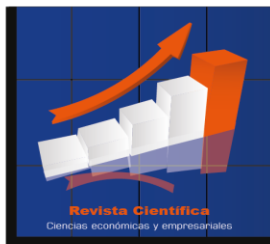
a = es un factor en función del índice de calor anual

ETP = sin corrección es la evapotranspiración potencial sin ajuste

N = es el número máximo de horas de sol dependiendo de la latitud y del mes

d = el número de días del mes, y por ultimo

ETP = es la evapotranspiración potencial final.



Estimación del balance hídrico climático (BHC) de las microcuencas del cantón Joya de los Sacha, Orellana

Para el cálculo de i y I se utiliza la variable BIO3 que se obtuvieron del programa Worldclim.

3. Balance hídrico Climático (BHC).

Para el cálculo se consideró la precipitación única entrada de agua y la evapotranspiración potencial como la salida de agua a la cuenca con una precipitación mensual de 400 mm mediante software R de Worldclim, la capacidad de retención de agua fue calculado mediante el análisis granulométrico realizado a 13 muestras de suelo de las fincas experimentales de zootecnia realizado en el laboratorio del Instituto nacional de investigación agropecuaria (INIAP) con los códigos 15679 al 16025 no se identificó el tipo de textura de suelo y la vegetación pasto Dallis, Saboya para la capacidad de retención se utilizó la tabla de balance Dunne y Leopold detallados a continuación en la siguiente tabla. 5.

Tabla 5. Tipo de textura de suelo y vegetación predominante

| Textura del suelo INIAP | Tipo de vegetación | Tipo de vegetación | CC (mm) | Profundidad radicular de la vegetación (m) |
|-------------------------|---|--------------------------|---------|--|
| Franco arenoso | Pastizal inducido y selva alta perennifolia | Cultivo raíces profundas | 150 | 1,00 |

Fuente: Estimación del Balance hídrico mediante variables climáticas.

$$CC = CR * PR \quad \text{Ecu. 5}$$

Donde:

CC = Capacidad de campo

CR= Capacidad de retención

PR= Profundidad radicular de cierto tipo de vegetación.

Para realizar el cálculo de la ETP se asume que después del periodo seco la reserva de agua es nula por consiguiente las consideraciones de $P-ETP < 0$ y $P-ETP > 0$, permiten identificar los meses secos y los meses más lluviosos. Lo que significa que para la comprobación del cálculo correcto del BHC se debe calcular los valores anuales ETP según lo establecido en la siguiente ecuación.

$$ETP + EX = P + DEF \quad \text{Ecu. 6}$$

2.2.2 Segunda Fase: Calculo del equilibrio de la distribución espacial de toda el área de estudio a través de las variables de Worldclin, R R versión 3.6.2 y SIG.

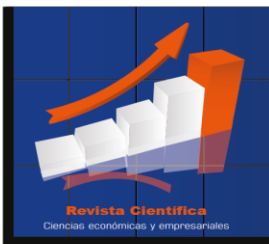
Para cálculo del equilibrio de la distribución espacial de toda el área de estudio a través de las variables de Worldclin, R versión 3.6.2 y SIG, se utilizó los datos mensuales del año 2019 de precipitación y temperatura y para la obtención de los datos, se utilizó la interfaz RStuio versión 1.2.05 que se conecta con el servidor de [Worldclim](#).

Descargue directamente desde R.

biblioteca (ráster)

```
w = getData ('worldclim', var = 'tmin', res = 0.5, lon = 5, lat = 45)
```

1. Elaboración de capas ráster Isotermalidad (BIO2/BIO7) x (100).
2. Elaboración de capas ráster Temperatura máxima del mes más cálido BIO5.
3. Elaboración de capas ráster Temperatura máxima del mes más frio BIO 6.
4. Elaboración de capas ráster Precipitación del mes más lluvioso BIO 13.
5. Elaboración de capas ráster Precipitación del mes más seco BIO 14.
6. Elaboración de capas ráster de textura de suelo.



3 Resultados

3.1.1 Cálculos de balance hídrico climático (BHC) para un punto aplicando la metodología de Thornthwaite y Mather.

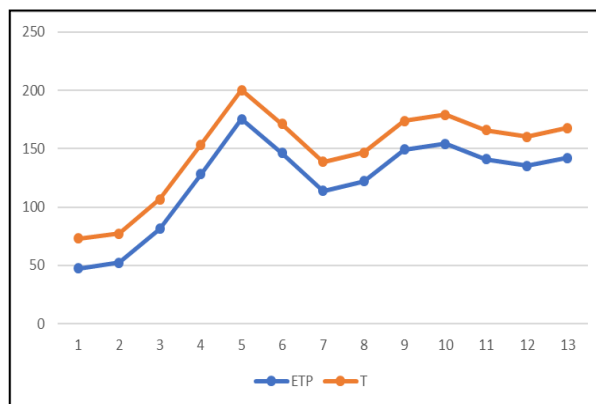
Posterior a la validación del registro de datos de las variables climáticas, se determinó el período de análisis desde el año septiembre 2018 a septiembre 2019, es el seleccionado para la realización del estudio dado que contiene la mayor parte de registros completos. La información se obtuvo del servidor Giovanni The Bridge Between Data and Science [v 4.32](#) accediendo al siguiente sitio web <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni>. Se procesó las variables climáticas de importancia y relevancia para el cálculo del Balance Hídrico Climático, las cuales se presentan en la tabla 6.

Tabla 6. Balance hídrico climático microcuencas Joya de los Sachas

| Var. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. | Ene. | Feb. | Mar | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Anual |
|--------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| P | 236 | 233,2 | 381,1 | 410,3 | 519,2 | 504,6 | 400,7 | 180,1 | 302,9 | 420,3 | 498,7 | 266,7 | 180,1 | 4534 |
| T | 25,4 | 24,76 | 25,2 | 25,2 | 25,04 | 25,07 | 24,9 | 24,71 | 24,63 | 24,81 | 25,14 | 25,01 | 25,67 | |
| ETP | 47,6 | 52,39 | 81,28 | 128,22 | 175,33 | 146,3 | 113,85 | 122,08 | 149,25 | 154,26 | 140,84 | 135,45 | 142,33 | 1475,23 |
| P-ETP | 10,11 | 180,81 | 299,82 | 282,08 | 343,87 | 358,35 | 286,85 | 58,02 | 153,65 | 266,04 | 357,86 | 131,3 | 37,77 | |
| EX | 3,33 | 0,08 | 0,022 | 0,885 | 0,758 | 0,654 | 112,36 | 125,8 | 200,55 | 128,42 | 152,33 | 15,33 | 7,55 | 747,967 |
| D | 24,7 | 11,22 | 5,27 | 7,88 | 2,54 | 0,22 | 61,25 | 159,48 | 139,3 | 80,99 | 144,22 | 88,22 | 75,25 | 800,55 |

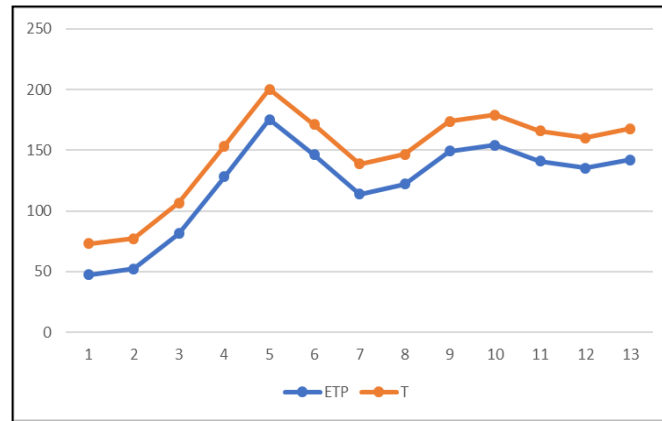
T= Temperatura; P=Precipitación; ETP= Evapotranspiración Potencial; P-ETP=Diferencia P-ETP; EX=Exceso de agua; D= Escurrimiento

Figura 1. Precipitación y Exceso de agua



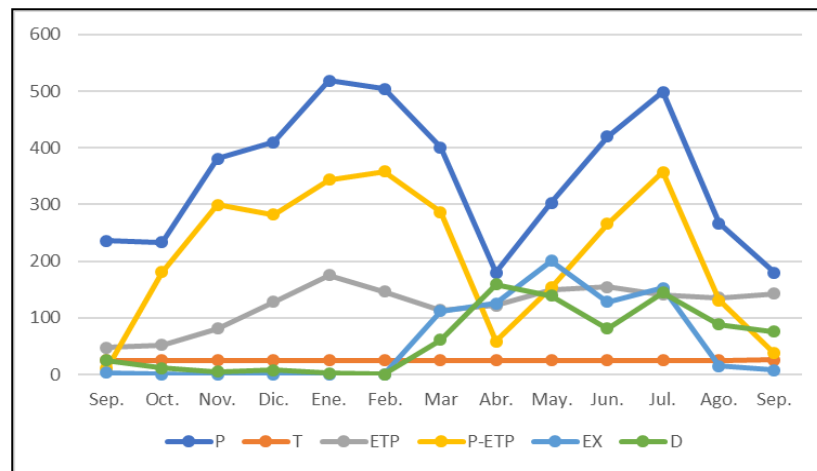
Fuente: Elaboracion Propia

Figura 2. Evapotranspiración y Temperatura



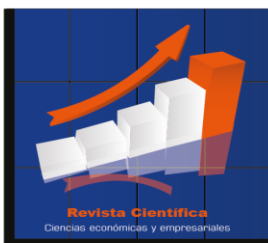
Fuente: Elaboracion Propia

Figura 3. Balance hídrico climático microcuencas Joya de los Sacha



Fuente: Elaboracion Propia

De la información obtenida se puede observar dos periodos seco y húmedo. El periodo húmedo inicia desde el mes de septiembre hasta marzo y el período seco en abril. El comportamiento del exceso de agua en los meses de mayo a julio el suelo presenta una característica franco arenoso donde toda el agua es escurrida en la cuenca del Rio Napo.



Estimación del balance hídrico climático (BHC) de las microcuencas del cantón Joya de los Sacha, Orellana

El escurrimiento bajo durante los meses de febrero a abril es debido a cambios en la precipitación (escasa lluvia o entrada de agua), y los de la temperatura y la evapotranspiración (aumento en los valores) que provocan una disminución de la humedad del suelo (Figura 1).

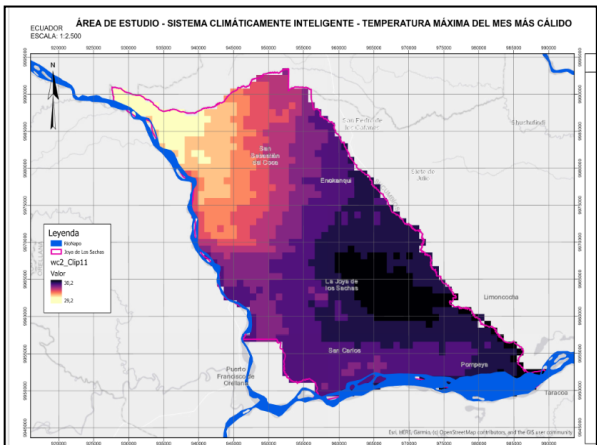
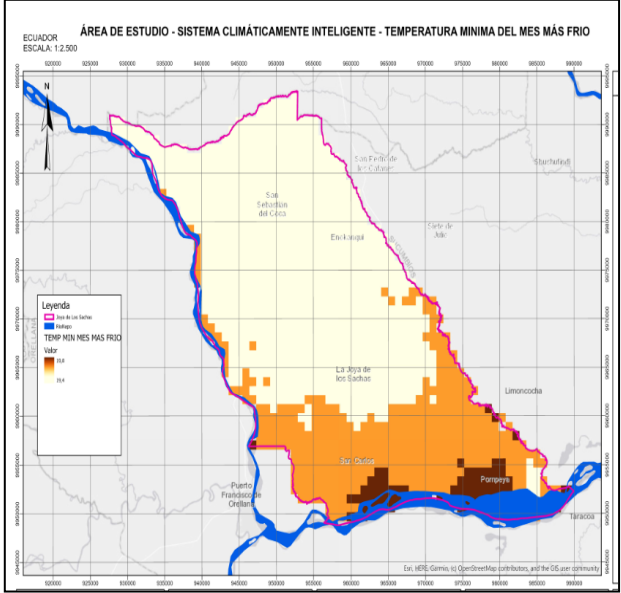
El exceso de agua y la generación del escurrimiento en las microcuencas, es afectado por los cambios en la cubierta vegetal y por el cambio del uso de suelo. Según Eagleson (2002), menciona la cubierta vegetal influye en la humedad del suelo a través de la interceptación de la cubierta y la transpiración. Mientras que los fenómenos meteorológicos afectan la generación del escurrimiento, ya que al generarse mayor cantidad de lluvia se satura el suelo de humedad con mayor facilidad, propiciando escurrimientos extraordinarios que su vez producen inundaciones en la parte baja de las microcuencas [7].

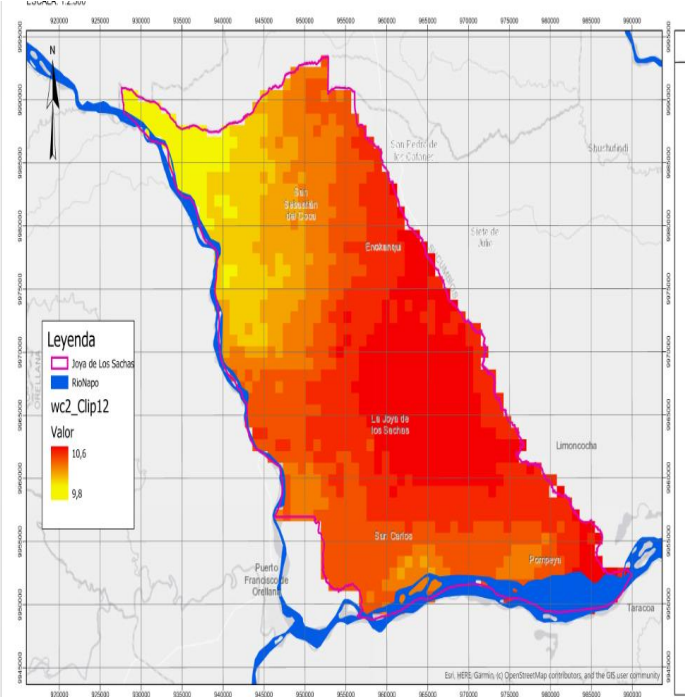
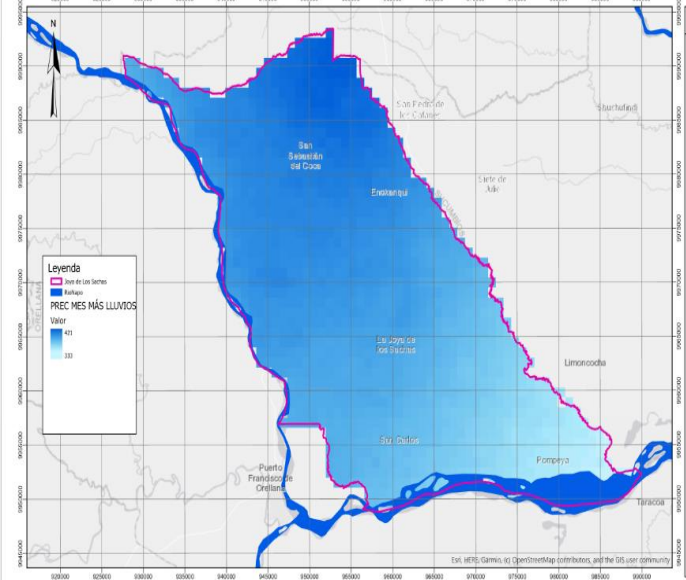
El suelo presenta un cierto grado de exceso de agua cuando la precipitación es principalmente alta y la evapotranspiración baja. Lo anterior confirma que existe un aumento de los excesos de agua conforme aumenta la precipitación en la zona (Figura 2). Doria y Madramootoo (2012), Zhiqiang et al. (2009) y Ruiz et al. (2011) mencionan que la evapotranspiración y la precipitación son fenómenos físicos climáticos independientes, es decir, su presencia a lo largo de un año difícilmente coincide en tiempo y espacio en la misma intensidad (cantidad) [6]. En el caso de las microcuencas, se puede observar que efectivamente la evapotranspiración y la precipitación no suelen coincidir en una misma intensidad en ciertos periodos de tiempo, y esto se refleja principalmente en los periodos secos y húmedos, pues cuando hay alta precipitación suele haber valores bajos de evapotranspiración y viceversa (Figura 3).

3.2 Cálculo del equilibrio de la distribución espacial de toda el área de estudio a través de las variables de Worldclin, R versión 3.6.2 y SIG.

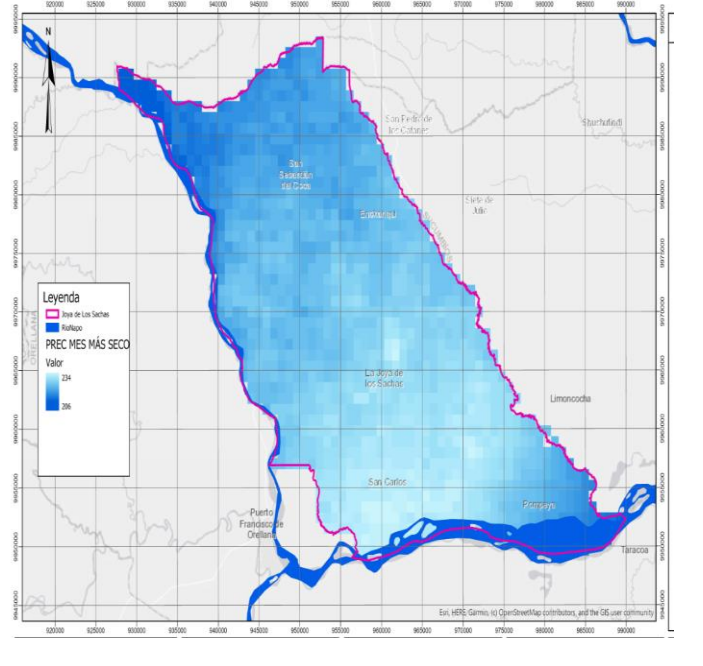
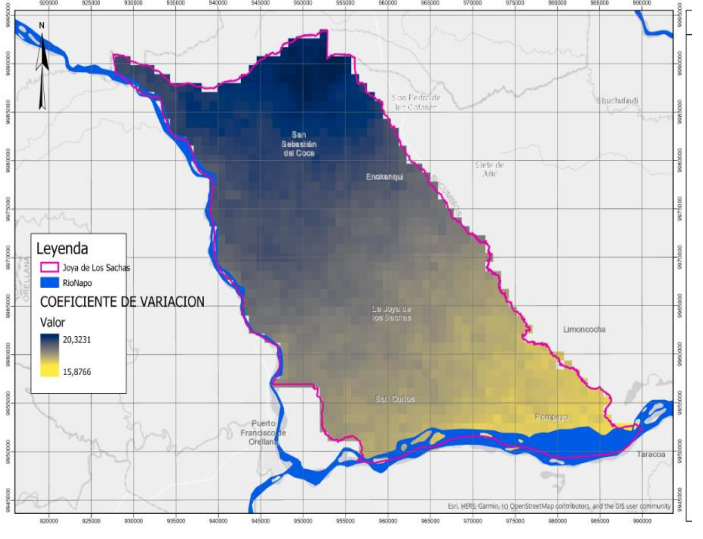
El análisis espacial multivariable que se utilizó para el modelamiento espacial del BHC, se lo representa en formato ráster aplicando el mismo principio del método de BHC de Thornthwaite y Mather (1955). Entendiéndose que el suelo es donde, se dan las entradas y salidas en función de su condición edáfica que se define por la combinación del tipo de textura de agua representadas por la unidad de píxel [5]. Para la representación de los ráster de la

Estimación del balance hídrico climático (BHC) de las microcuencas del cantón Joya de los Sacha, Orellana

| Variables | Descripción |
|---|--|
| <p>Mapa 3. Temperatura mínima del más cálido</p>  | <p>Para el calculo de la temperatura máxima del mes más cálido, se utilizo el rásters BIO5 = Max Temperature of Warmest Month, obteniendo los siguientes rangos de Temperatura 30. 2 °C y 29.2 °C.</p> |
| <p>Mapa 4. Temperatura mínima del mes más frío.</p>  | <p>Los datos calculados de la temperatura mínima del mes más frío se obtubieron del rásters BIO6 = Min Temperature of Coldest Month, el rango de temperatura mínima es de 19.8 °C y 19.4 °C.</p> |

| Variables | Descripción |
|---|---|
| <p>Mapa 5. Rango anual de temperatura</p>  | <p>Para el cálculo rango anual de la temperatura se utilizó la capa ráster BIO7 = Temperature Annual Range (BIO5-BIO6) donde se calculó el rango de temperatura anual 10.6 °C y 9.8 °C.</p> |
| <p>Mapa 6. Precipitación del mes más lluvioso.</p>  | <p>Para la precipitación del mes más lluvioso, se utilizó BIO13 = Precipitation of Wettest Month de donde se obtuvo los siguientes valores 421 mm y 333 mm.</p> |

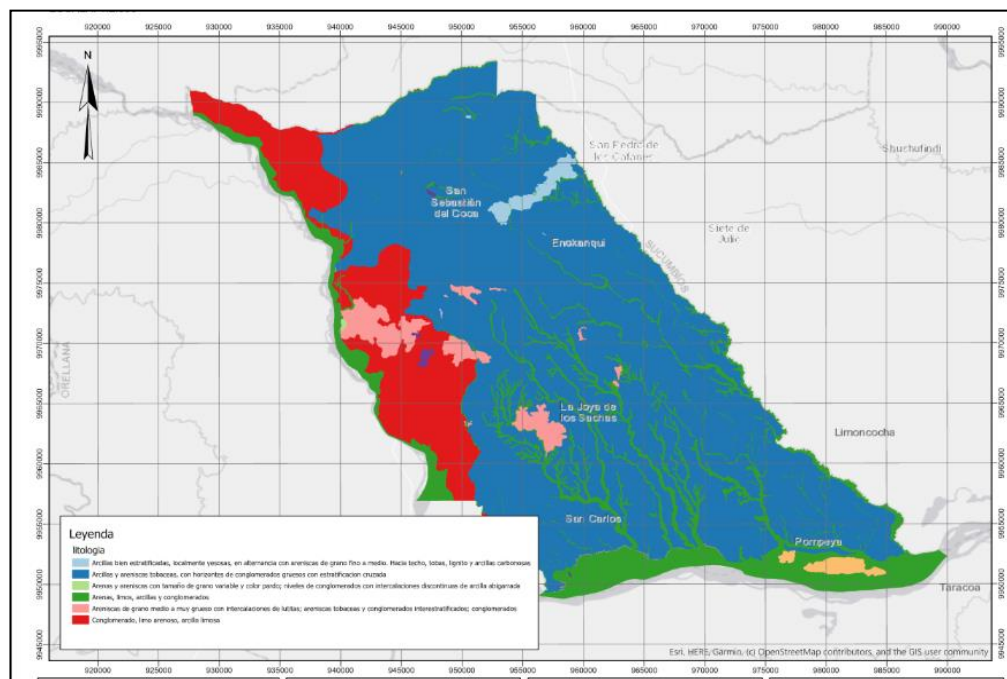
Estimación del balance hídrico climático (BHC) de las microcuencas del cantón Joya de los Sacha, Orellana

| Variables | Descripción |
|--|---|
| <p>Mapa 7. Precipitación del mes más seco.</p>  | <p>Para el cálculo de la precipitación del mes más seco, se utilizó BIO14 = Precipitation of Driest Month de donde se obtuvo los siguientes valores 234 mm y 206 mm.</p> |
| <p>Mapa 8. Estacionalidad en la precipitación</p>  | <p>Para el cálculo de estacionalidad en la precipitación se utilizó BIO15 = Precipitation Seasonality (Coefficient of Variation) de donde se obtuvo los siguientes valores 20.33 mm y 15.87 mm.</p> |

3.2.1.2 Capa raster del tipo de suelo

Para la elaboración de la capa ráster del tipo de suelo, se realizó la consulta a la infraestructura de datos espaciales (ID) del Ministerio de Agricultura y Ganadería MAGAP ascendiendo al siguiente sitio web WFS: <http://geoportal.sigtierras.gob.ec:8080/geoserver/sigtierras/wfs?service=wfs&version=2.0.0&request=GetCapabilities>, donde para la lectura de la información, se utilizó ArcGIS Pro 2.4.3.

Mapa 9. Tipos de suelo del cantón Joya de los Sacha



Fuente: Elaboración Propia

Para el cálculo del balance hídrico se utilizó las fórmulas propuestas por Thornthwaite para una muestra seleccionada aleatoriamente. Así mismo los resultados pudo comprobarse la coherencia con los resultados del modelamiento de datos espaciales. Mediante la combinación de los mapas BIO3, BIO5, BIO6, BIO 7 y tipo de suelo con el valor Capacidad de campo CC y D para los 12 meses del año, el resultado de esta

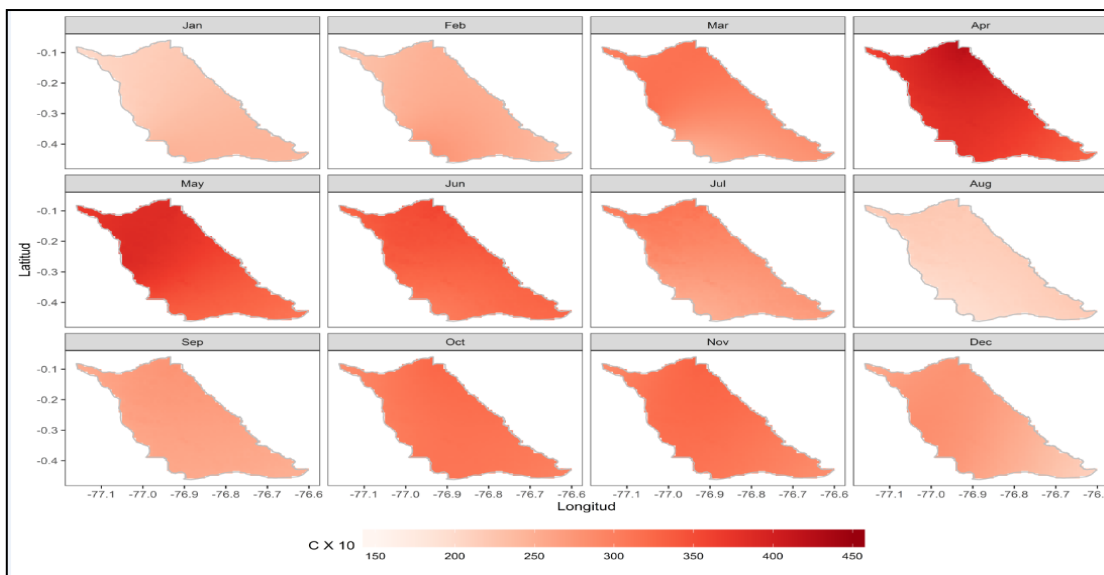
Estimación del balance hídrico climático (BHC) de las microcuencas del cantón Joya de los Sacha, Orellana

combinación muestra la distribución espacial del déficit excedente hídrico en la microcuenca, así como la variabilidad mensual durante el periodo escogido.

El área de estudio presenta condiciones de exceso hídrico durante todo el año. Hay un localizado y puntual exceso de humedad en mayo a julio que se incrementa gradualmente hasta febrero. Los algoritmos de álgebra de mapas generados en este ejercicio permitieron realizar el cálculo del balance hídrico espacialmente distribuido utilizando como entrada las superficies continuas con los datos de precipitación y temperatura media mensual y capacidad de campo. Este procedimiento puede ser replicado en cualquier plataforma SIG con soporte de álgebra de mapas.

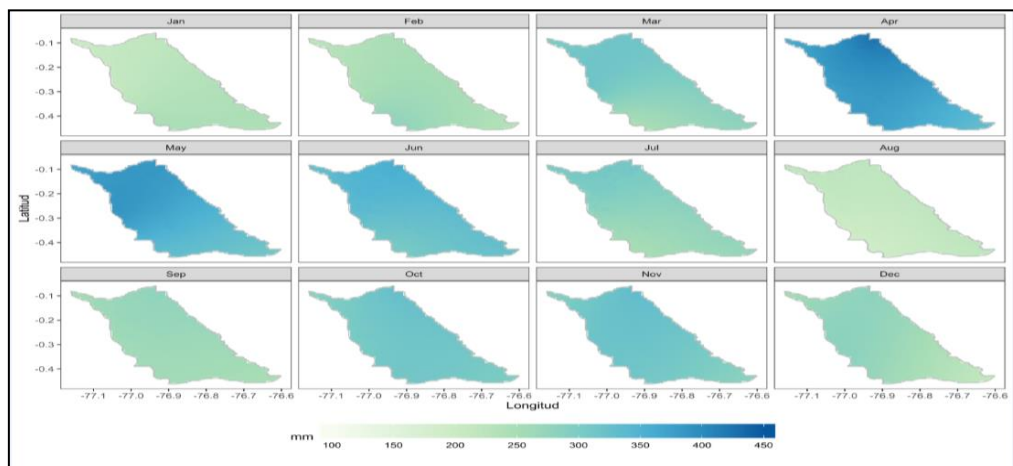
En las Figura 4 y 5, se muestra el resultado final de la corrida del modelo del BHC en el área de estudio y que corresponde a la dinámica espacio temporal de la condición hídrica en el periodo septiembre 2018-septiembre 2019.

Figura 4. Temperatura mensual área de estudio Joya de los Sacha



Fuente: Elaboracion Propia

Figura 5. Precipitación mensual área de estudio Joya de los Sacha



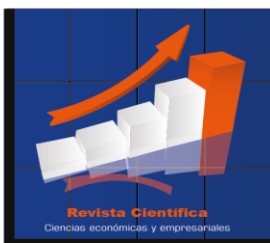
Fuente: Elaboracion Propia

4 Discusión

De los datos obtenidos en el cálculo del balance hídrico climático (BHC) para un punto aplicando la metodología de Thornthwaite y Mather. La cantidad de escurrimiento anual generada en el período sept. 2018 – sept. 2019 fue de 800,55 mm que se descarga de las microcuencas de la Joya de los Sacha a la Cuenca del Río Napo que corresponden a un área de 1205.6 Km². La precipitación anual 4534 mm, evapotranspiración potencial anual 1475.23 mm, y un exceso de agua anual 747.697. De los datos obtenidos del análisis de la distribución espacial de toda el área de estudio a través de las variables de Worldclin, R versión 3.6.2 y SIG se obtuvieron los siguientes datos Precipitación BIO13 de 754, 00 de exceso de agua es decir que el exceso de agua calculado por los métodos es correcto con un margen de 6.303 mm de diferencia calculado con el método de Thornthwaite y Mather.

5 Conclusiones

Las microcuencas que se encuentran dentro del área de investigación del proyectos de investigación de los componentes de agronomía, zootecnia y ambiental de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Orellana, presentan un exceso de agua 747,967 mm y de escurrimiento superficial de agua a la cuenca del Río Napo de 800.55 mm y una evapotranspiración potencial de 1475,23, así mismo el tipo de suelo que predomina es



Estimación del balance hídrico climático (BHC) de las microcuencas del cantón Joya de los Sacha, Orellana

arcillas y areniscas tobaceas, con horizontes de conglomerados gruesos con estratificación cruzada seguido de conglomerado, limo arenoso, arcilla limosa como se muestra en el mapa 9.

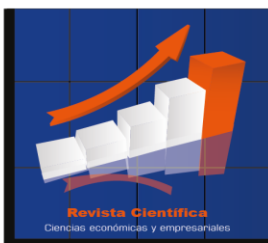
Por otra parte, en base a los datos proporcionados por Worldclin, se calculó las variables climáticas de Temperatura 30. 2 °C y precipitación 234 mm y 206 mm. información que permitió definir los períodos húmedos agosto y secos mayo.

Referencias

- [1] G. A. P. d. Orellana, «www.gporellana.gob.ec,» 2016. [En línea]. Available: https://www.gporellana.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/Plan_de_ordenamiento_2016.pdf. [Último acceso: 20 09 2019].
- [2] Ortiz Torres Julio Cesar, «<http://www.dspace.uce.edu.ec>,» Mayo 2012. [En línea]. Available: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/936/1/T-UCE-0003-15.pdf>. [Último acceso: Viernes Diciembre 2019].
- [3] Bates B., Kundzewicz Z. & Shaohong W., El cambio climático y el agua, Reino Unido: Science Photo Library, 2008.
- [4] Coral.A, García J. & Leal A., «Cálculo del Balance Hídrico Usando Modelamiento de Datos Espaciales,» *Formacao*, vol. 1, n° 22, p. 6, 2015.
- [5] Marco Antonio Torrico Torrico, «Determinación de Balances Hídricas en Microcuencas y Subcuencas,» marzo 2011. [En línea]. [Último acceso: Lunes Diciembre 2019].
- [6] Izquierdo T., Márquez A., «Cálculo de la recarga de la isla de La Gomera (Islas Canarias) en un SIG mediante un balance hídrico mensual.,» *ESCET, URJC c/Tulipán*, p. 3, 2008.
- [7] Rarilyn Romero, «Balance Hídrico de La Subcuenca del Río Quebradas,» *Revista Geográfica de América Central*, vol. I, n° 27, p. 100, 1993.
- [8] Causana Yachay, «Desarrollo de un sistema de producción climáticamente inteligente, para determinar las sinergias entre mitigación, adaptación y seguridad alimentaria en la provincia de Orellana,»

Francisco de Orellana, 2017.

- [9] Ana Cecilia Coral, «Zonificación en cuencas hidrográficas para la implementación de políticas de incentivos a la conservación y restauración de ecosistemas. Caso Cuenca Hidrográfica del Río Bueno Vista, Ecuador.» *Entorno*, nº 12, p. 53, 2016.
- [10] Jodar A., Ruiz V. & Prats D., «<https://rua.ua.es>,» 2019. [En línea]. Available: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/88478/1/Congreso_Nacional_Agua_2019_1361-1374.pdf. [Último acceso: 05 01 2020].
- [11] Santillan E., Davila G. & Sánchez J., «Estimación del balance hídrico mediante variables climáticas, en la cuenca del río Cazones, Veracruz, México,» *Ambiente & Agua- An Interdisciplinaria Journal of Applied Science*, vol. 8, nº 3, p. 106, 2013.
- [12] Valera S., Terribile G., Oliveira G., Diniz J. Gonzáles J. Ribeiro L., «ecoClimate vs. Worldclim: variables climáticas SIG para,» *Revista Científica Ecología y Medio Ambiente*, nº 3, p. 89, 2015.



References

1. [1] G. A. P. d. Orellana, «www.gporellana.gob.ec», 2016. [Online]. Available: https://www.gporellana.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/Plan_de_ordenamiento_2016.pdf. [Last access: 20 09 2019].
2. [2] Ortiz Torres Julio César, «<http://www.dspace.uce.edu.ec>», May 2012. [Online]. Available: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/936/1/T-UCE-0003-15.pdf>. [Last access: Friday December 2019].
3. [3] Bates B., Kundzewicz Z. and Shaohong W., Climate change and water, United Kingdom: Science Photo Library, 2008.
4. [4] Coral.A, García J. and Leal A., «Calculation of Water Balance Using Spatial Data Modeling», Formacao, vol. 1, no. 22, p. 6 of 2015.
5. [5] Marco Antonio Torrico Torrico, «Determination of Water Balances in Microbasins and Sub-basins», March 2011. [Online]. [Last access: Monday December 2019].
6. [6] Izquierdo T., Márquez A., «Calculation of the recharge of the island of La Gomera (Canary Islands) in a GIS using a monthly water balance.» ESCET, URJC c / Tulipán, p. 3 of 2008.
7. [7] Rariesn Romero, «Water Balance of the Quebradas River Sub-basin», Geographic Magazine of Central America, vol. I, No. 27, p. 100, 1993.
8. [8] Causana Yachay, "Development of a climate-smart production system, to determine the synergies between mitigation, adaptation and food security in the province of Orellana", Francisco de Orellana, 2017.
9. [9] Ana Cecilia Coral, «Zoning in river basins for the implementation of incentive policies for the conservation and restoration of ecosystems. Watershed Basin of the Río Vista, Ecuador. », Environment, n° 12, p. 53, 2016.

10. [10] Jodar A., Ruiz V. and Prats D., «<https://rua.ua.es>», 2019. [Online]. Available: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/88478/1/Congreso_Nacional_Agua_2019_1361-1374.pdf. [Last access: 05 01 2020].
11. [11] Santillan E., Davila G. and Sánchez J., «Estimation of water balance through climatic variables, in the Cazonos river basin, Veracruz, Mexico,» *Environment & Water- An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, vol. 8, no. 3, p. 106, 2013.
12. [12] Valera S., Terribile G., Oliveira G., Diniz J. Gonzales J. Ribeiro L., «ecoClimate vs. Worldclim: GIS climatic variables for, »*Scientific Review Ecology and Environment*, No. 3, p. 89, 2015.

©2019 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).