

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**INFLUENCIA DE LOS CAMBIOS DE USO DEL SUELO SOBRE LA
DISPONIBILIDAD DE AGUA: EL CASO DE LA CUENCA ALTA DEL
RÍO GUAYLLABAMBA**

**ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LAS VARIACIONES DEL CLIMA EN LA
CONDICIÓN DE USO DE SUELO MÁS RECIENTE EN LA CUENCA
ALTA DEL RÍO GUAYLLABAMBA**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO REQUISITO
PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL**

SARA KATHERINE SALAZAR BARRERA

sarasalazar3a@gmail.com

DIRECTOR: Dr. MARCOS JOSHUA VILLACÍS ERAZO

marcos.villacis@epn.edu.ec

Quito, septiembre 2022

CERTIFICACIONES

Yo, Sara Katherine Salazar Barrera, declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



SARA KATHERINE SALAZAR BARRERA

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Sara Katherine Salazar Barrera, bajo mi supervisión.

Dr. MARCOS JOSHUA VILLACÍS ERAZO
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

ESTUDIANTE: SARA KATHERINE SALAZAR BARRERA

DIRECTOR: Dr. MARCOS JOSHUA VILLACÍS ERAZO

DEDICATORIA

A Dios por darme la oportunidad de cumplir mis metas, por darme la fuerza, salud y conocimiento para poder concretar esta etapa de mi vida.

A mis padres, Edmundo y Edith por ser mi apoyo incondicional y llenarme de amor en cada paso que he dado y por presionarme para siempre dar lo mejor de mí.

A mis hermanas, Karla y Lucía por estar ahí para mí y enseñarme a perseverar.

A mi madrina, Gloria, para que desde donde esté sepa que yo pude y siempre podré tal y como ella me lo dijo antes de dejar este mundo.

Por favor, sígueme recordando cuando mires un árbol...

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por darme la oportunidad de entrar a la EPN y por darme las fuerzas necesarias para culminar esta etapa universitaria.

Al director del proyecto, Dr. Marcos Villacís por la paciencia y comprensión ante las adversidades afrontadas a lo largo del desarrollo de este proyecto, gracias por transmitir su inmenso conocimiento.

A mi madre, Edith, por siempre estar ahí para mí con su caluroso amor y comprensión, por aguantar las malas noches hasta que yo llegue de la universidad, por siempre acompañarme y entender mis aventuras y por levantarme siempre en las caídas que he tenido.

A mi padre, Edmundo, por permitirme cumplir mis sueños y no oponerse, por mostrarme su apoyo y presionarme para dar todo mi esfuerzo, por el apoyo y la paciencia.

A mi hermana Karla, por guiarme y saber que palabras decirme para no rendirme en la EPN, como buena expolitécnica, me ha guiado por el difícil camino de la universidad y me ha sostenido cuando lo he necesitado, sobre todo cuando más quise rendirme.

A mi hermana Lucía, por ser mi apoyo incondicional y siempre estar conmigo, por darme tanto amor y estar siempre orgullosa de mí así falle, por las risas y lloradas, por ayudarme en los proyectos y siempre estar dispuesta a hacer todo lo posible para que yo esté bien.

A mis amigos Paola y Dennis por aguantarme en todo el trayecto universitario, por las risas, enojos y largas pláticas, por no dejarme sola en la facultad y brindarme ese cariño y amistad únicos y característicos, por cuidarme, por las peleas en los trabajos en grupo y por las maravillosas giras que pasamos juntos.

A mis queridos amigos de otras universidades o carreras que son tantos que no me alcanzaría el espacio para escribir, por siempre darme la amistad y apoyo, las fuerzas y las ganas de perseverar.

A mi Pablito David, por darme ese amor tan profundo y apoyarme siempre, por acompañarme en las malas noches hasta acabar los deberes, por enseñarme a resolver las situaciones que yo no podía. Gracias por ser ese soporte en los momentos de tristeza y enojo, por enseñarme a tener paciencia y a ser una mejor persona, sigamos creciendo juntos.

A la Escuela Politécnica Nacional, por exigirme a dar lo mejor de mí y abrirme las puertas para cumplir mi gran sueño de ser una ingeniera ambiental.

A mis enanos preciosos de 4 patas, especialmente Molly, Guismo, Puchis, Pelusa y Valentín por acompañarme cada noche de desvelo y hacerme reír para que no me duerma.

INDICE DE CONTENIDO

| | |
|---|------|
| CERTIFICACIONES..... | I |
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA..... | II |
| DEDICATORIA..... | III |
| AGRADECIMIENTO..... | IV |
| INDICE DE CONTENIDO | V |
| RESUMEN..... | VII |
| ABSTRACT | VIII |
| 1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO..... | 1 |
| 1.1 Objetivo general..... | 2 |
| 1.2 Objetivos específicos..... | 2 |
| 1.3 Alcance | 3 |
| 1.4 Marco teórico | 3 |
| 1.4.1 Ciclo Hidrológico | 3 |
| 1.4.2 Cuencas hidrográficas | 4 |
| 1.4.3 Suelo..... | 5 |
| 1.4.4 Modelación hidrológica | 6 |
| 1.4.5 Modelo HEC – HMS..... | 7 |
| 1.4.6 Calibración de un modelo hidrológico..... | 9 |
| 1.4.7 Régimen climático de la CARG | 9 |
| 2. METODOLOGÍA | 10 |
| 2.1 Área de estudio..... | 10 |
| 2.1.1 Localización..... | 10 |
| 2.1.2 Uso de suelo..... | 11 |
| 2.1.3 Uso de los recursos hídricos..... | 12 |
| 2.2 Tratamiento de datos..... | 13 |
| 2.2.1 Selección del periodo de referencia | 13 |
| 2.2.2 Uso de suelo del año 2014 | 14 |
| 2.2.3 Precipitación..... | 16 |
| 2.2.4 Evapotranspiración..... | 19 |
| 2.3 Descripción del modelo HEC – HMS | 21 |
| 2.3.1 Modelo de cuenca | 21 |
| 2.3.2 Modelo meteorológico | 22 |
| 2.3.3 Especificaciones de control..... | 23 |
| 2.3.4 Datos de series de tiempo | 23 |
| 2.4 Calibración del modelo hidrológico | 23 |

| | | |
|-------|--|----|
| 2.4.1 | Obtención de parámetros..... | 24 |
| 3. | RESULTADOS, ANÁLISIS DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 30 |
| 3.1 | Resultados..... | 30 |
| 3.1.1 | Uso de suelo..... | 30 |
| 3.1.2 | Selección de los subperiodos seco y húmedo | 32 |
| 3.1.3 | Modelación y calibración..... | 32 |
| 3.2 | Análisis de resultados..... | 38 |
| 3.2.1 | Uso de suelo..... | 38 |
| 3.2.2 | Modelación y calibración..... | 39 |
| 3.2.3 | Análisis de variabilidad climática | 40 |
| 3.3 | Conclusiones | 45 |
| 3.3.1 | Conclusión referente al objetivo general | 45 |
| 3.3.2 | Conclusiones referentes al primer objetivo específico | 45 |
| 3.3.3 | Conclusiones referentes al segundo objetivo específico | 45 |
| 3.3.4 | Conclusiones referentes al tercer objetivo específico | 46 |
| 3.4 | Recomendaciones..... | 47 |
| 4. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 48 |
| 5. | ANEXOS | 53 |

RESUMEN

La Cuenca Alta del Río Guayllabamba (CARG) ha sido expuesta a cambios por la alta actividad humana. Al perder vegetación nativa y ganar impermeabilidad por los asentamientos urbanos, los suelos se ven expuestos a perder su capacidad de infiltración, situación que incide en la escorrentía y consiguientemente en los caudales. Este proyecto busca determinar la incidencia que tiene la variabilidad climática en la CARG con el uso de suelo más reciente, a través de la aplicación del modelo hidrológico HEC – HMS. Para esto, se han seleccionado dos subperiodos, uno húmedo que corresponde a los años 1983 – 1984 y uno seco compuesto por los años 2014 – 2015. La calibración se ha realizado en base al periodo de referencia (2010 – 2015) y como indicador de eficiencia se ha evaluado el coeficiente Nash – Sutcliffe. El modelo mostró una eficiencia de 56% significando que es una representación buena del comportamiento que tiene la cuenca. También, a través del cálculo de la correlación entre la precipitación y el caudal de las subcuencas, se determinó que la precipitación registrada en la subcuenca H-146 es la que controla la variabilidad del modelo. De igual manera, luego del tratamiento de los caudales resultantes de las 3 épocas analizadas, se obtuvo la premisa de que los eventos extremos de precipitación que se suscitaron en el pasado aumentan la variabilidad de los caudales de referencia, este hecho es importante ya que estos eventos pueden desarrollarse en el futuro y así mismo acarrear la influencia del cambio climático.

PALABRAS CLAVE: Modelación hidrológica, variación climática, parametrización, precipitación, caudales, escorrentía, infiltración, impermeabilidad.

ABSTRACT

The Upper Guayllabamba River Basin (CARG) has been exposed to changes due to high human activity. As native vegetation is lost and urban settlements gain impermeability, soils are exposed to a loss of infiltration capacity, a situation that affects runoff and consequently water flow. This project seeks to determine the incidence of climate variability in the CARG with the most recent land use, through the application of the HEC - HMS hydrological model. For this purpose, two subperiods have been selected, a wet one corresponding to the years 1983 - 1984 and a dry one composed of the years 2014 - 2015. The calibration was performed based on the reference period (2010 - 2015) and the Nash - Sutcliffe coefficient was evaluated as an efficiency indicator. The model showed an efficiency of 56% meaning that it is a good representation of the basin's behavior. Also, through the calculation of the correlation between precipitation and flow in the sub-basins, it was determined that the precipitation recorded in sub-basin H-146 is the one that controls the variability of the model. Similarly, after the treatment of the resulting flows of the 3 analyzed periods, the premise was obtained that the extreme precipitation events that occurred in the past increase the variability of the reference flows, this fact is important because these events may develop in the future and also bring the influence of climate change.

KEYWORDS: Hydrological modeling, climatic variation, parameterization, precipitation, flow, runoff, infiltration, impermeability.

INTRODUCCIÓN

1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

A lo largo del Ecuador, los cuerpos hídricos se han visto afectados por los grandes asentamientos humanos. La cuenca del río Guayllabamba ha sufrido estragos notables que están asociados con el incremento poblacional y las actividades productivas que esta situación trae consigo (González, 2016). La zona alta de esta cuenca consta como una de las áreas más pobladas de Ecuador, principalmente por la presencia de la capital Quito, cuya demanda de agua ha mostrado un crecimiento exponencial proveniente, en su mayoría, de los sectores de riego, agua potable e industria (Oficina Internacional del Agua, 2009; Tucci, 2009). En las últimas décadas, se ha presentado un constante deterioro de esta cuenca, mismo que está relacionado a la contaminación por descargas sin previo tratamiento y la incorrecta disposición de desechos lo que disminuye considerablemente la calidad y por tanto la disponibilidad del agua (Metzger & Bermúdez, 1996). Así mismo, el uso de suelo juega un papel importante para este análisis ya que la zona de la Cuenca Alta del Río Guayllabamba, CARG como se le abreviará en el presente trabajo, ha perdido áreas considerables de vegetación natural por motivo de agricultura y urbanismo (Tucci, 2009). Las modificaciones en el uso del suelo se desenvuelven conjuntamente por los cambios de vegetación de un tipo a otro o por la impermeabilización de zonas verdes asociadas a la acelerada expansión urbana, lo que desencadena cambios en el comportamiento hidrológico de las cuencas (Espinosa, 2019).

Por otro lado, se sabe que los recursos hídricos juegan un papel muy importante para el desarrollo y supervivencia de la vida en el planeta, en este marco es imperante destacar que las cuencas hidrográficas son espacios naturales que sirven como grandes ecosistemas y son las principales fuentes de abastecimiento del líquido vital para los asentamientos humanos (Rodríguez, 2006). Estos recursos se han visto fuertemente afectados por la actividad humana cuyas consecuencias, en algunos casos, resultan irreversibles. Sin embargo, es importante destacar que no todo el deterioro observado en los espacios naturales es causado por la acción del hombre (González, 2016). En la actualidad, la variación climática es un tema muy tratado alrededor de todo el mundo y si bien es relacionado estrechamente con la actividad antropogénica se debe tomar en cuenta que esta clase de fenómenos existen en nuestro planeta desde hace mucho tiempo (Badillo, 2018). En términos de variabilidad climática, los ecosistemas dependen de factores abióticos, condiciones climáticas – meteorológicas, tipos de suelos y vegetación. Por ejemplo, la variación de la precipitación en el tiempo afecta directamente la cantidad de escurrimiento superficial, lo que se traduce en disponibilidad de agua para el sistema de abastecimiento (Ontaneda, 2020).

Por lo mencionado, desde hace tiempo se han utilizado herramientas de modelación para identificar como ha sido la tendencia y variación de fenómenos climáticos, hidrológicos, etc. Con respecto a esta investigación, se toma en cuenta a la modelación hidrológica misma que es definida por (Estrada & Pacheco, 2012) como una herramienta de gran importancia para el estudio de cuerpos hídricos que se han extendido por todo el mundo. Con estos modelos es posible manejar hipótesis suficientemente cercanas a la realidad que ofrezcan un cierto grado de confianza para la toma de decisiones (Dueñas, 1997). Existe una amplia variedad de modelos hidrológicos, siendo el Sistema de Modelación Hidrológico del Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE. UU. (HEC-HMS por sus siglas en inglés) el utilizado para el presente proyecto de investigación, debido a que es un programa computacional gratuito y de amplia utilización internacional (Feldman, 2000). Las herramientas de modelación otorgan resultados que están más ligados a la realidad. No obstante, para realizar una correcta modelación hidrológica es imperante obtener una base de datos confiable y representativa ya que de no ser así los resultados no se consideran representativos (Ortega, 2018).

En general, se han realizado investigaciones en la CARG, no obstante, se destaca la necesidad de complementar estudios que permitan discernir las alteraciones provocadas por la intervención del ser humano (cambio del uso del suelo) y la variabilidad climática tal como mencionan (Espinosa, 2019; González, 2016). Al determinar la disponibilidad de agua en la CARG ante variaciones del clima y con el uso de suelo más reciente registrado como sugiere (Ortega, 2018), se busca promover la gestión integral de recursos hídricos de áreas deterioradas (Chávez, 2012).

1.1 Objetivo general

Determinar, por medio de modelación hidrológica, el impacto de las variaciones del clima en la Cuenca Alta del Río Guayllabamba (CARG) ante la condición de uso de suelo más reciente para generar escenarios de disponibilidad hídrica.

1.2 Objetivos específicos

1. Definir un periodo de referencia considerando el uso de suelo más reciente reportado en la CARG y la disponibilidad de datos hidrometeorológicos de acuerdo con inventarios realizados en trabajos similares.
2. Desarrollar un modelo hidrológico calibrado y validado en la estación Guayllabamba DJ Alambi - H0146, perteneciente a la CARG, en HEC-HMS para el periodo de referencia.

3. Determinar el impacto acarreado por la variabilidad climática a través de la comparación de datos de subperiodos más secos y húmedos.

1.3 Alcance

El presente proyecto de investigación proporcionará información sobre la disponibilidad de agua ante la variación climática en la CARG a través de la actualización del modelo hidrológico, elaborado por (Ortega, 2018), donde se toma como referencia el uso de suelo del año 2014 mismo que es el más reciente presentado por fuentes oficiales. Para ello, se ha tomado como referencia el periodo desde el año 2010 hasta el 2015 con la finalidad de obtener una base de datos representativa, además de ser el periodo con menos datos faltantes. En el desarrollo del proyecto intervienen datos hidrometeorológicos obtenidos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y también datos de uso del suelo reciente recuperados del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE).

Para la implementación del modelo, se busca calibrar este en el periodo de referencia mencionado y, asimismo, realizar el análisis con el subperiodo más seco y húmedo encontrado desde el año 1982 hasta el 2015 con la finalidad de obtener los hidrogramas correspondientes para su próximo análisis. Con esto se espera conseguir un modelo más próximo a la realidad que proporcione información sobre el impacto que puede llegar a tener la CARG ante variaciones de clima.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Ciclo Hidrológico

El agua tiene una gran relevancia en la Tierra y en todos los componentes con los que interactúa a lo largo de su camino a través del sistema climático del planeta. Cualquiera que sea el estado o condición en el que el agua se encuentre, este influye en el balance energético de la Tierra, tal como lo menciona (Pagano & Sorooshian, 2002). Este objetivo es cumplido cuando el líquido vital circula por diferentes etapas conocido como ciclo hidrológico.

El ciclo hidrológico es un término que, según (Campos, 1998), refiere al proceso de circulación del agua de la tierra a la atmósfera y de la atmósfera de vuelta a la tierra. Es considerado como un proceso de transporte recirculatorio del agua indefinido o permanente, ya que el sol actúa como fuente de energía para generar la evaporación, mientras que la gravedad de la Tierra produce la caída del agua condensada en forma de precipitación.

Este concepto va de la mano con el de (Pagano & Sorooshian, 2002) debido a que este lo define como el movimiento perpetuo del agua a través de los componentes del sistema

climático. El ciclo hidrológico puede ser definido en varias etapas, las cuales se definen a continuación:

1. Evaporación del agua en la superficie terrestre, es decir, océanos y suelo.
2. Transporte del vapor de agua hacia los continentes por medio del movimiento del aire.
3. Condensación del vapor de agua para formación de nubes.
4. Precipitación proveniente del agua de las nubes.
5. Reevaporación del agua en la superficie.

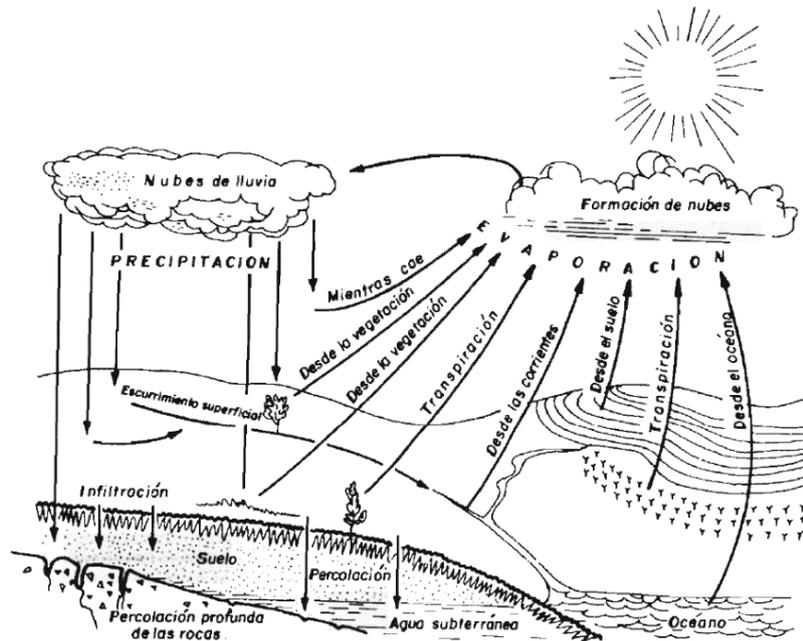


Figura 1. Etapas del ciclo hidrológico

Fuente: (Campos, 1998)

Es importante notar que durante el proceso de precipitación no toda el agua llega a la superficie terrestre, ya que una gran cantidad de esta es retenida por elementos como vegetación, construcciones urbanísticas como edificios o carreteras, etc., sin embargo, esta parte del agua regresará a la atmósfera posteriormente (Campos, 1998).

1.4.2 Cuencas hidrográficas

Citando a (Departamento de Agricultura, 2016; Vásconez et al., 2019), una cuenca hidrográfica es una zona o área delimitada por su topografía, que cuenta con una salida o drenaje ubicado en la parte más baja de este espacio donde un caudal final es descargado tras la captación de varios cuerpos o sistemas hídricos.

1.4.3 Suelo

Se define como la capa más externa de la corteza terrestre, misma que alberga una amplia cantidad de minerales, materiales orgánicos e inorgánicos y también es conocido como uno de los ecosistemas más grandes del planeta ya que alberga una infinita cantidad de organismos además de que cumple con un sin número de funciones que benefician al ser humano y al ambiente en general (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, 2009).

1.4.3.1 Uso y cobertura

Se entiende por uso de suelo a la ocupación que se puede apreciar en cierto terreno o área, cuyo funcionamiento y actividades a realizar son definidas por los actores a los que pertenece cada lugar, es decir, el uso de un suelo está estrechamente ligado con la actividad humana (Bozzano et al., 2008).

El término cobertura del suelo está relacionado con el material físico que se puede encontrar en la superficie terrestre más no al uso que se le va a dar a este material (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2020)

1.4.3.2 Textura

Esta propiedad de los suelos busca identificar el contenido relativo de partículas cuyo tamaño no es el mismo, es así como, está ligado a la capacidad de retención de agua y aire de un suelo (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2008)

1.4.3.3 Grupos hidrológicos

Ante la premisa de que las respuestas similares de escorrentía pueden darse debido a las condiciones climáticas de cierta región que involucre lo referente a nivel freático, textura, estructura, entre otras condiciones, se han definido grupos hidrológicos que mantengan relación con el potencial de escorrentía y la capacidad de infiltración de un suelo cuando la vegetación no ha ejercido intercepción lo que lo convierte en un suelo completamente húmedo (Ortega, 2018). Se han establecido cuatro grupos hidrológicos de relevancia:

Grupo A: se refiere a los suelos que presentan un índice de infiltración alto y un bajo potencial de escorrentía cuando están completamente húmedos. Su formación se caracteriza esencialmente por la presencia de arenas profundas que están bien o excesivamente drenadas, o también arenas de textura gruesa (Natural Resources Conservation Service, 2009).

Grupo B: está ligado a los suelos que poseen un índice de infiltración moderado al momento de presentar una humedad alta. Son generalmente los suelos moderadamente profundos o

profundos, drenados con una textura de moderadamente fina a moderadamente gruesa(Natural Resources Conservation Service, 2009).

Grupo C: son los suelos que tienen un índice de infiltración de baja velocidad al momento de estar completamente húmedos. Por lo general presentan una capa que logra impedir el movimiento descendente del agua o suelos de textura moderadamente fina o fina (Natural Resources Conservation Service, 2009).

Grupo D: pertenece a los suelos que han presentado índices de infiltración muy lentos con un alto potencial de escorrentía cuando se encuentran húmedos por completo. Compuesto por arcillas con alta capacidad para expandirse y contraerse, además de, suelos que tengan un elevado nivel freático y formen una capa de arcilla cerca de la superficie (Natural Resources Conservation Service, 2009).

Tabla 1. Tasa de infiltración por grupo hidrológico

| Grupo hidrológico | Descripción | Rango de tasa de pérdida (mm/h) |
|--------------------------|---|--|
| A | Arenas profundas, loes profundo, limo agregado | 7,62 – 11,43 |
| B | Loes superficial, marga arenosa | 3,81 7,62 |
| C | Franco arcilloso, marga arenosa superficial, suelos con bajo contenido orgánico y suelos altos en arcilla | 1,27 3,81 |
| D | Suelos que se hinchan mojados. Arcillas plásticas y suelos salinos (algunos) | 0,00 – 1,27 |

Fuente: (Feldman, 2000)

Elaboración: Autor

1.4.4 Modelación hidrológica

Existen muchas herramientas que buscan realizar análisis hidrológicos para determinar los distintos comportamientos que puede llegar a tener un cuerpo hídrico, entre estas tenemos a la modelación que es de gran importancia ya que busca desarrollar representaciones simplificadas de un sistema o cuerpo hídrico de tal manera que se alcance un parecido muy alto con la realidad del espacio a analizar (Estrada & Pacheco, 2012). Se menciona también que la modelación hidrológica tiene como objetivo simular los procesos que puedan desarrollarse en la distribución de la lluvia y también en la generación de caudales de cierta cuenca que se desee analizar (Weber et al., 2010).

1.4.5 Modelo HEC – HMS

El Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos desarrolló una herramienta para la modelación hidrológica que se ha convertido en una de las más utilizadas en varias partes del mundo, este es llamado HEC – HMS por sus siglas en inglés Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System cuyo objetivo radica en la creación de modelos que representen los procesos de precipitación - escorrentía, es decir, se trata de simular un hidrograma de la escorrentía producida en cierto punto de la red fluvial a raíz del suceso de un evento de lluvia (Duque-Sarango et al., 2019; López et al., 2012).

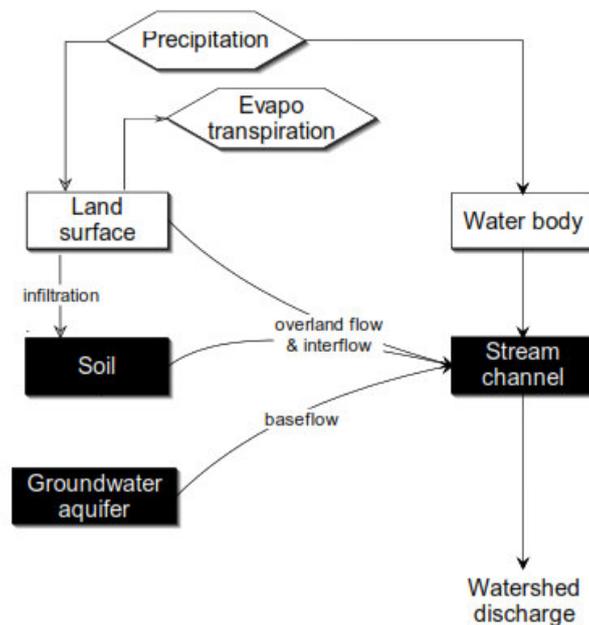


Figura 2. Representación típica de la escorrentía de la cuenca

Fuente: (Feldman, 2000)

HEC – HMS cuenta con una serie de elementos con los que se desarrolla la respectiva modelación ya que estos elementos buscan representar la cuenca física. Por lo que es importante colocar todos los elementos necesarios con la finalidad de que el modelo se asemeje a la realidad mediante la utilización de factores matemáticos que puedan llegar a describir los procesos físicos que se desarrollan en la cuenca (Feldman, 2000; Nania, 2007).

Subcuenca (Subbasin): su función principal es representar a la cuenca físicamente.

Tramo (Reach): es utilizado para representar el transporte del agua que se genera en algún punto de la cuenca con dirección aguas abajo hasta que llega a otro punto.

Unión (Junction): busca concentrar los flujos del agua que vienen desde los elementos hidrológicos ubicados aguas arriba de la misma a través de una sumatoria.

Fuente (Source): trata sobre la introducción del agua al modelo de la cuenca.

Sumidero (Sink): este elemento es el encargado de representar al punto de salida que tiene una cuenca.

Depósito (Reservoir): modela la retención y atenuación que puede causar un embalse o depósito sobre el hidrograma a formar.

Derivación (Diversion): representa el abandono de algún flujo de agua con respecto al cauce.

Tras conocer cuáles son los elementos hidrológicos que intervienen en la modelación, es importante destacar que HEC – HMS cuenta con un amplio grupo de métodos que sirven para la modelación, estos han de ser elegidos según el objetivo, los datos existentes, el tipo de modelo y el conocimiento del investigador. Ante esto se exponen los métodos en la **Tabla 2**, acotando que se ahonda en los que se utilizan para el desarrollo del presente proyecto en apartado de Metodología.

Tabla 2. Métodos de cálculo para subcuencas

| Tipo de modelo | Método |
|--------------------------------|--|
| Pérdidas | Déficit y tasa constante Inicial y tasa constante Exponencial Número de curva CN SCS Green y Ampt Consideración de la humedad del suelo (HMA) DC por celdas CN SCS por celdas SMA por celdas |
| Transformación lluvia – caudal | Hidrograma Unitario de Clark Onda cinemática ModClark Hidrograma Unitario SCS Hidrograma Unitario Snyder Hidrograma Unitario especificado por el usuario Hidrograma en S del usuario |
| Flujo Base | Recesión restringida Constante mensual Depósito lineal Recesión |

Fuente: (Nania, 2007)

Elaboración: Autor

1.4.6 Calibración de un modelo hidrológico

Calibrar un modelo significa identificar los valores de los parámetros a implementar más idóneos y así mismo que permitan que el modelo a desarrollar sea a lo más parecido a la realidad, es decir, al calibrar se busca un ajuste óptimo con respecto a los datos observados (Cabrera, 2010).

El método más utilizado y recomendado al momento de calibrar un modelo es el de “Prueba y error” que básicamente trata sobre el ajuste manual de los valores de los parámetros en base a bibliografía o conocimiento previo del investigador. Por otro lado, existe también la calibración automática u “Optimización” que consiste en el ajuste de los parámetros a través de métodos numéricos que otorgan valores mucho más exactos (Cabrera, 2010).

1.4.6.1 Función objetivo

La función objetivo de un modelo está referida a la función que evalúa la calidad y bondad de ajuste de los resultados obtenidos en la modelación, esta función es la que debe optimizarse para obtener valores más concretos y semejantes a los observados (Ruz, 2015).

1.4.6.2 Nash Sutcliffe (NSE)

Es una medida de la bondad de ajuste de un modelo, también conocido como un criterio que evalúa la eficiencia del modelo hidrográfico por medio de la comparación del caudal simulado con la variación de los datos de medición mejor conocido como caudal observado. Este criterio es uno de los más utilizados en análisis hidrológicos ya que emite valores de eficiencia relacionados a los referenciales y además porque puede ser optimizado para alcanzar mejores resultados del modelo (Coy, 2012).

1.4.7 Régimen climático de la CARG

La CARG, al abarcar un área amplia, posee una notable variación de relieve, factor que da paso a la formación de tres tipos de climas. El primero es el *tropical semiárido temperado* que podemos encontrar en la zona de Pomasqui y San Antonio de Pichincha (rango altitudinal de 1000 a 2000 m.s.n.m.), este tipo de clima expone una precipitación ubicada en el rango de 400 y 700 mm/año, y una temperatura variable entre 16 y 24 °C. El segundo tipo de clima es el *mesotérmico semi-húmedo y seco* encontrado en la meseta de Quito (rango altitudinal de 2000 a 3000 m.s.n.m.), en este clima se han registrado precipitaciones que oscilan los 700 a 1500 mm/año que han sido divididos en dos estaciones de lluvia, la temperatura media diaria va desde 12 a 20 °C. Y el último clima conocido como *ecuatorial de alta montaña* se percibe en las cordilleras circundantes a la cuenca (rango

altitudinal mayor a 3000 m.s.n.m.) donde se presencian las precipitaciones más altas con valores de 1000 a 1600 mm/año y con temperaturas menores a 8 °C (de Bievre & Coello, 2008b; Tucci, 2009).

2. METODOLOGÍA

El proyecto tiene un enfoque correlacional - explicativo ya que busca establecer relaciones entre las variables analizadas. Al mismo tiempo, trata de describir causales que intervengan en la obtención de los posibles caudales en la CARG por medio de la modelación hidrológica con HEC-HMS.

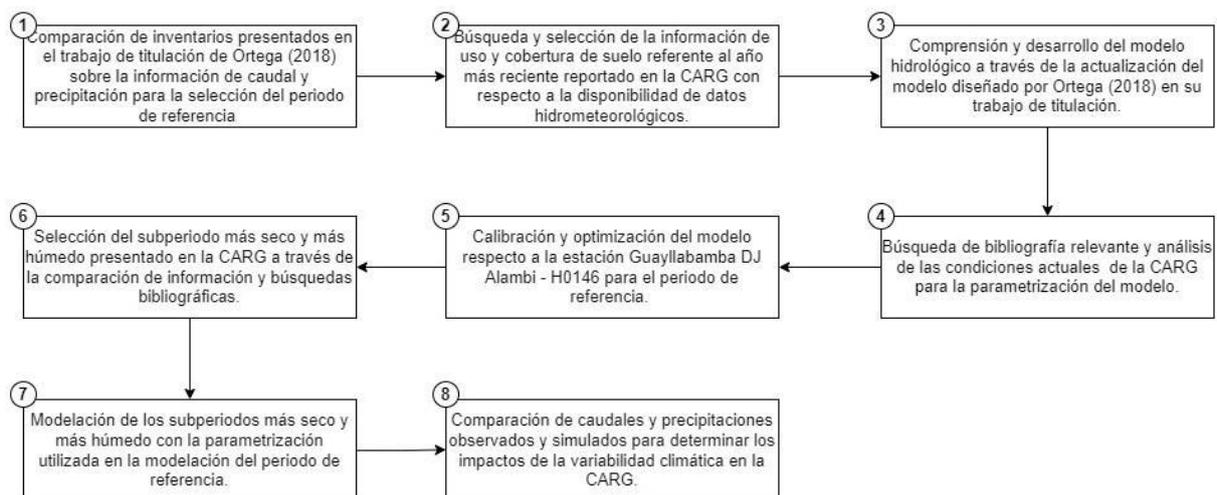


Figura 3. Esquema de la metodología seguida para la obtención de resultados del proyecto

Elaboración: Autor

En la **Figura 3** se ejemplifica la metodología seguida para el desarrollo del proyecto, son básicamente 8 pasos que han ayudado a realizar el trabajo de manera menos dificultosa y que se detallan a profundidad desde el acápite 2.2.

2.1 Área de estudio

2.1.1 Localización

El proyecto se lleva a cabo en la cuenca alta del río Guayllabamba cuya ubicación se centra en la zona Norte de la región Sierra perteneciente al territorio ecuatoriano (Tucci, 2009). Esta cuenca se encuentra distribuida entre 3 provincias: mayormente en Pichincha con aproximadamente 82,6% de su área, seguida por Imbabura con 16,8% y finalmente en Cotopaxi con 0,6%. De igual manera, la CARG ocupa siete cantones, en Pichincha se encuentran Cayambe, Mejía, Pedro Moncayo, Rumiñahui y el Distrito Metropolitano de Quito, en Imbabura se tiene los cantones Cotacachi y Otavalo, y en Cotopaxi, con una mínima área, el cantón Latacunga. Se ha detectado que la CARG abarca un área de aproximadamente

6.427,3 km² que ronda los 5.830 m.s.n.m. en la inmediación del volcán Cotopaxi y baja hasta los 640 m.s.n.m., altura que responde a la estación H-0146 tomada como punto de cierre de la cuenca, misma que está ubicada en la parroquia Gulea perteneciente al cantón Quito (Ortega, 2018).



Figura 4. Ubicación de la Cuenca Alta del Río Guayllabamba

Fuente: (Ortega, 2018)

Elaboración: Autor

2.1.2 Uso de suelo

En las zonas altas de la CARG se pueden encontrar áreas con páramo, este ecosistema frágil está en alto peligro ya que la intervención humana aumenta cada día. La urbanización, agricultura y ganadería han desplazado a estos espacios naturales que sirven como reservorio y fuente del agua para varios puntos de consumo. Como menciona la (Oficina Internacional del Agua, 2009), la CARG es una de las áreas con más población debido a que, como ya se mencionó, abarca al Distrito Metropolitano de Quito cuya demanda de agua ha mostrado un crecimiento exponencial proveniente de los sectores de agricultura, agua potable y la industria. De igual manera, las actividades antropogénicas han acarreado alteraciones al escurrimiento natural debido al aumento de la superficie impermeable y al cambio de espacios naturales a cultivos o urbanismo (Tucci, 2009). Adicionalmente, aún se han logrado identificar

zonas de menor área referentes a vegetación natural, misma que puede estar ubicada en las cercanías de la red hídrica perteneciente a la cuenca (de Bievre & Coello, 2008a).

2.1.3 Uso de los recursos hídricos

En la actualidad, los recursos hídricos se han visto afectados por las distintas actividades desarrolladas por el ser humano, así es el caso de la CARG, cuya red hídrica presenta estragos por la continua expansión urbana, las industrias y aumento de la frontera agrícola. Como es de conocimiento, los ríos más próximos a los centros urbanos presentan más contaminación por lo que la facilidad de obtención del líquido vital para el resto de los pobladores de la CARG cada vez disminuye (Tucci, 2009). A raíz de esta problemática, se ha detectado un aumento de la demanda de agua, dentro del mismo Distrito Metropolitano de Quito y en general de la cuenca, referente al consumo humano, riego y ganadería, generación de electricidad, industrias, recreación entre otros (Cabrera, 2011; González, 2016).

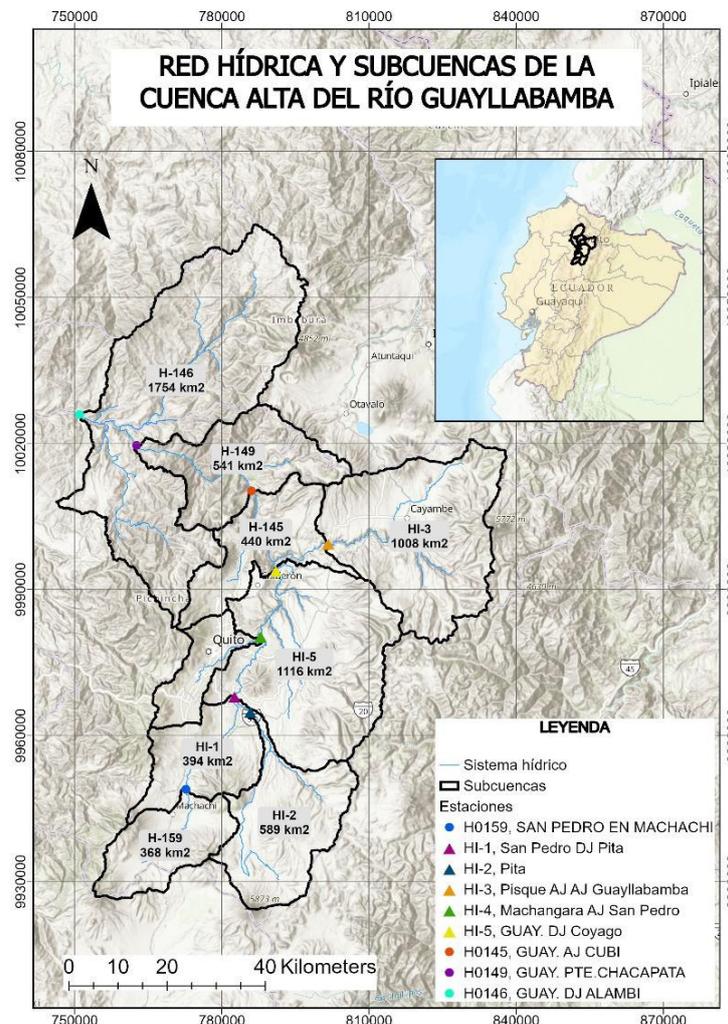


Figura 5. Red Hídrica y Subcuencas pertenecientes a la CARG

Fuente: (Ortega, 2018)

Elaboración: Autor

2.2 Tratamiento de datos

Como se ha mencionado anteriormente, el proyecto descrito en este documento está ligado al trabajo de titulación de Miguel Ortega realizado en el año 2018, donde se plantea la importancia de replicar su estudio para épocas actuales, motivo por el cual se procede a trabajar con las series de datos correspondiente a precipitación, evaporación potencial y caudales a nivel diario para el periodo 1982 al 2015, misma que fue previamente tratada y rellenada por el autor ya citado. De igual manera, para comparación, el autor también ha proporcionado la información geográfica sobre el uso y cobertura de suelo que reportaba la CARG para el año 1982.

Tabla 3. Subcuencas de la CARG

| Subcuenca | Área [km²] |
|------------------|------------------------------|
| H-146 | 1754,21 |
| H-149 | 540,95 |
| H-159 | 367,68 |
| HI-1 | 394,488 |
| HI-2 | 588,84 |
| HI-3 | 1007,67 |
| H-145 | 440,01 |
| HI-4 | 217,48 |
| HI-5 | 1116,03 |

Fuente: (Ortega, 2018)

Elaboración: Autor

2.2.1 Selección del periodo de referencia

Para obtener un periodo válido de análisis, que sea lo más actualizado posible, se ha ejecutado la comparación de inventarios presentes en el trabajo de titulación de (Ortega, 2018) referentes a los datos disponibles en las estaciones hidrológicas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) sobre precipitación y caudal pertenecientes a la CARG. De tal manera, se ha determinado que el periodo de referencia más prudente y útil para este análisis es desde el año 2010 hasta el año 2015, es así como se obtiene una base de datos representativa que facilite la modelación.

Con respecto a la selección de los subperiodos húmedo y seco, se procede a verificar los años que han presentado más y menos lluvia respectivamente dentro del periodo 1982 a 2015 mismo que fue tratado por (Ortega, 2018). A partir de bibliografía referente a estudios dirigidos a la CARG (Orellana, 2015; Tenelema, 2022) se han tomado los años 1983 – 1984 como el subperiodo húmedo y los años 2014 – 2015 como el subperiodo seco. Es así como,

para verificar esta premisa se procede a realizar una comparación con el periodo de referencia 2010 – 2015 obtenido anteriormente mismo que se puede visualizar en la **Figura 10** del acápite 3.1.2.

2.2.2 Uso de suelo del año 2014

Este proyecto radica en el análisis de la CARG en condiciones de uso de suelo más reciente, para lo cual se obtuvieron los archivos cartográficos del mapa interactivo brindado por el (Ministerio del Ambiente, 2016) a escala 1:100000, estos fueron tratados en el software ArcGIS Pro con la finalidad de obtener y observar los cambios que ha tenido la CARG con respecto al uso y cobertura de suelo entre el año 1982 y el año 2014.

En el año 1982 se detectaron ocho usos y coberturas del suelo, no obstante, en el año 2014 se han podido apreciar quince por lo que se procede a hacer una reclasificación con la finalidad de obtener nuevamente los reportados en 1982 ya que se debe realizar una comparación entre ambas épocas para determinar el cambio ocurrido en la CARG, estos cambios son muy importantes ya que más adelante son utilizados para la actualización de los parámetros a implementar en el modelo.

Tabla 4. Reclasificación de los diferentes usos de suelo reportados en la CARG

| # | Clasificación inicial | Usos que engloba |
|---|-------------------------------|---|
| 1 | Cuerpos de agua | Espejos de agua natural, Glaciar |
| 2 | Cultivos de ciclo corto | Cultivo anual natural, Mosaico agropecuario |
| 3 | Cultivos permanentes | Cultivo permanente, Cultivo semipermanente, Plantación forestal |
| 4 | Mosaico de vegetación natural | Vegetación arbustiva, Vegetación herbáceas |
| 5 | Paisajes minerales | Área sin cobertura vegetal |
| 6 | Pastos | Pastizal |
| 7 | Vegetación natural | Páramo, Bosque nativo |
| 8 | Zona urbana o sin determinar | Infraestructura, Área poblada |

Nota:

- (1) *La clasificación inicial detallada de la cobertura y usos de suelo reportados en la CARG del año 2014 se adjunta en el Anexo I.*

La reclasificación descrita en la **Tabla 4** se ha determinado mediante revisión bibliográfica, donde (Vaillant et al., 2007) indica que el uso y cobertura reportado como Mosaico agropecuario puede ser considerado como cultivo de ciclo corto ya que dentro de este mosaico se encuentran los sembríos de fréjol, tomate y maíz cuyo tiempo de cosecha es corto. Para el caso de la vegetación arbustiva y herbácea se menciona según (de la Rosa &

Monroy, 2006) que estos grupos representan a una agrupación de plantas que coexisten formando ecosistemas maduros que carecen de competencia por recursos que permiten su subsistencia, motivo por el cual son considerados como Mosaico de vegetación natural. Es importante acotar que para el resto de los grupos reclasificados se ha procedido a realizarlos según la similitud que presenten sus características.

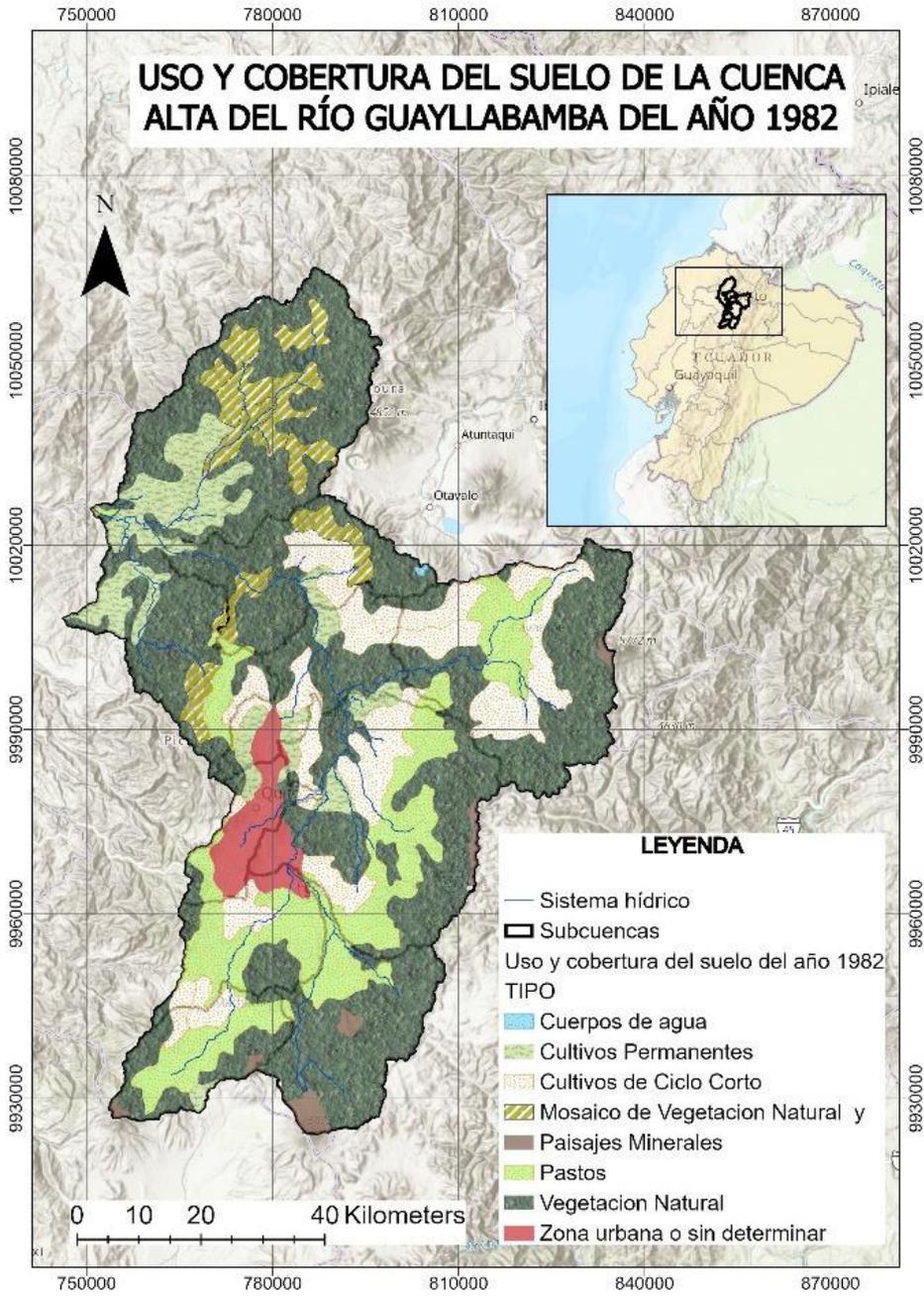


Figura 6. Uso y cobertura del suelo para el año 1982

Fuente: (Ortega, 2018)

Elaboración: Autor

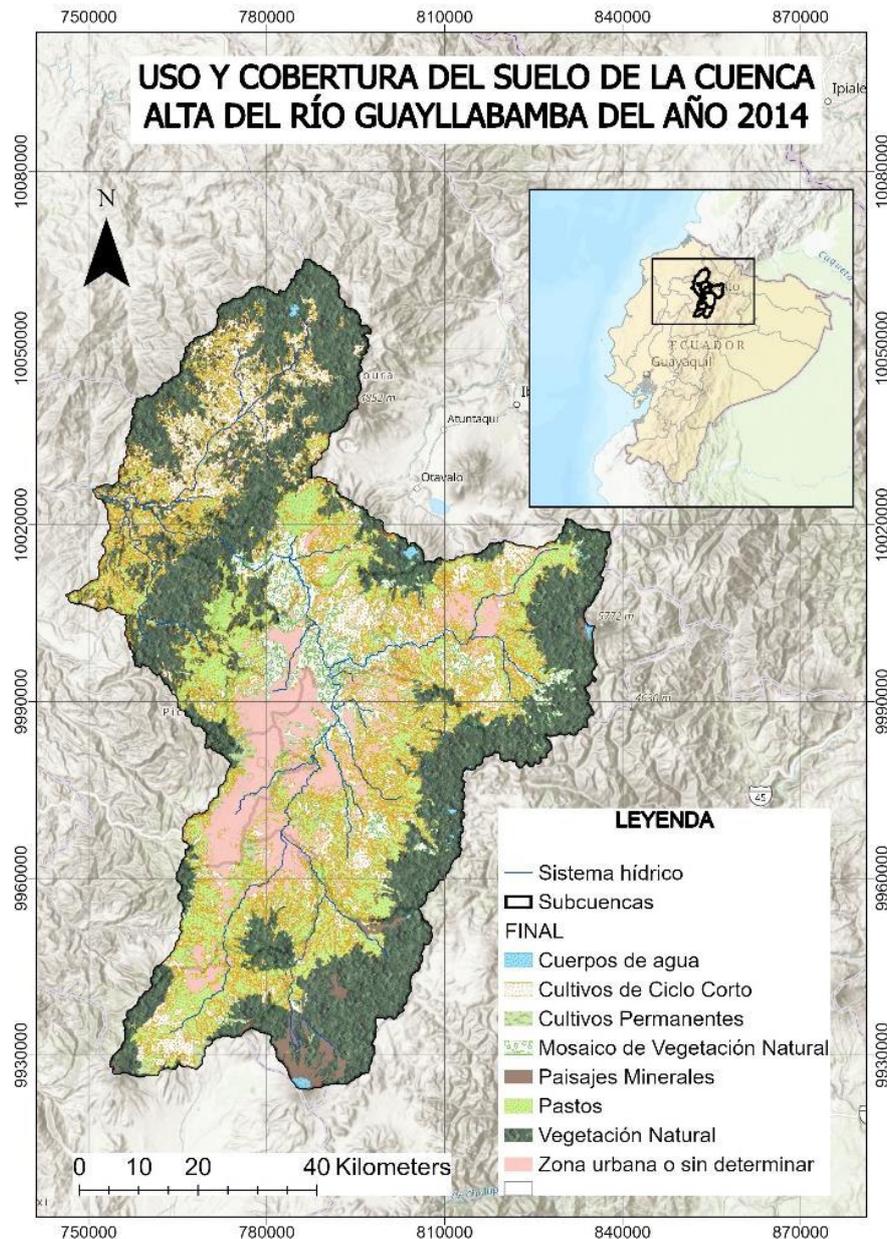


Figura 7. Uso y cobertura del suelo para el año 2014

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2016)

Elaboración: Autor

2.2.3 Precipitación

Con la finalidad de obtener una representación idónea de las precipitaciones en las distintas subcuencas que componen la CARG, (Ortega, 2018) ha utilizado el método del Vector Regional, que trata sobre la elaboración de estaciones ficticias que reflejen el comportamiento de la precipitación en un espacio a través de promedios (Luna & Lavado, 2015).

En adición, para distribuir la precipitación en las distintas subcuencas se aplica el método de los polígonos de Thiessen que consiste en dar ponderaciones a un grupo de puntos

(ver **Tabla 6**), en este caso la red de estaciones, según el área de influencia que detecte para cada uno de ellos (Villegas, 2011). Luego de aplicar las ponderaciones, se procede a aplicar la definición dada por (López et al., 2012) donde se obtienen finalmente los valores de precipitación en cada subcuenca para su distinto intervalo de tiempo con la suposición de que son uniformes a lo largo de la superficie de la cuenca.

$$P_{sb}(i) = \frac{\sum_{j=1}^n P_{em}(i, j) \times w(j)}{\sum_{j=1}^n w(j)}$$

Fuente: (López et al., 2012)

Donde:

$P_{sb}(i)$ = Precipitación media uniforme de una cuenca para un intervalo de tiempo i

$P_{em}(i, j)$ = Precipitación registrada en el intervalo i y la estación j

$w(j)$ = Área de influencia de la estación j para cada subcuenca

n = Número de estaciones meteorológicas con influencia en la subcuenca

En total se han detectado 27 estaciones pertenecientes a la red del INAMHI que proveen información necesaria para el análisis de la CARG respecto a precipitación, estas se detallan a continuación:

Tabla 5. Estaciones de la red meteorológica pertenecientes al INAMHI

| Cód. | Nombre | Tipo | Latitud [°dec] | Longitud [°dec] | Altitud [m.s.n.m.] | Ubicación |
|-------|--------------------------|--------|----------------|-----------------|--------------------|-----------|
| M0001 | Inguincho | CP | 0.2583 | -78.4008 | 3140 | Otavaló |
| M0002 | La Tola | AU, CP | -0.2294 | -78.3667 | 2480 | Quito |
| M0003 | Izobamba | RS | -0.3667 | -78.5500 | 3058 | Mejía |
| M0009 | La Victoria (INERHI) | CO | -0.0600 | -78.2006 | 2262 | Cayambe |
| M0023 | Olmedo - Pichincha | CO | 0.1481 | -78.0478 | 3120 | Cayambe |
| M0024 | Iñaquito | AU, CP | -0.1667 | -78.4833 | 2789 | Quito |
| M0113 | Uyumbicho | PV | -0.3883 | -78.5253 | 2740 | Mejía |
| M0117 | Machachi | CO | -0.5242 | -78.5406 | 2944 | Mejía |
| M0120 | Cotopaxi (CLIRSEN – IEE) | CO | -0.6233 | -78.5814 | 3510 | Latacunga |
| M0318 | Apuela – Intag | PV | 0.3550 | -78.5136 | 1620 | Cotacachi |
| M0325 | García Moreno | PV | 0.2347 | -78.9272 | 1950 | Cotacachi |
| M0326 | Selva Alegre (Imbabura) | PV | 0.2464 | -78.5769 | 1800 | Otavaló |

| | | | | | | |
|-------|--------------------------------------|--------|---------|----------|------|------------------|
| M0327 | Chontal Bajo (Guay. DJ Alambi) | PV | 0.2372 | -78.7492 | 675 | Quito |
| M0337 | San José de Minas | PV | 0.1689 | -78.3931 | 2440 | Quito |
| M0339 | Nanegalito | PV | 0.0667 | -78.6764 | 1580 | Quito |
| M0343 | El Quinche | PV | -0.1022 | -78.3033 | 2605 | Quito |
| M0344 | Cangahua | PV | -0.0572 | -78.1672 | 3140 | Cayambe |
| M0345 | Calderón | PV | -0.0983 | -78.4208 | 2645 | Quito |
| M0346 | Yaruquí | PV | -0.1597 | -78.3153 | 2600 | Quito |
| M0353 | Rumipamba | PV | -0.4275 | -78.4158 | 2940 | Rumiñahui |
| M0354 | San Juan | PV | -0.2847 | -78.6325 | 3440 | Quito |
| M0359 | Cayambe | PV | 0.0539 | -78.1394 | 2840 | Cayambe |
| M0364 | Loreto Pedregal | PV | -0.5614 | -78.4264 | 3620 | Quito |
| M0730 | Llulluchis | PV | -0.6025 | -78.6325 | 3500 | Mejía |
| M0909 | Gualsaqui | PV | 0.3208 | -78.4083 | 2710 | Cotacachi |
| M1094 | Tomalón - Tabacundo | AU, AG | 0.0333 | -78.2333 | 2790 | Pedro Moncayo |
| M1231 | Illiniza - Bigroses | CP | -0.6228 | -78.6594 | 3461 | Mejía |

Notas:

- (1) Simbología: **CP:** Climatológica Principal; **AU, CP:** Automática, Climatológica Principal; **AU, AG:** Automáticas, Agrometeorológicas; **RS:** Radio Sonda; **CO:** Climatológica.
- (2) La estación Machachi (M0117) y Llulluchis (M0730) se encuentran actualmente inactivas.

Fuente: (INAMHI, 2017)

Elaboración: Autor

Se debe tomar a consideración que cuando el centroide perteneciente a los distintos polígonos de Thiessen no se ubica dentro del área de cada subcuenca, se puede realizar un ajuste de la distribución temporal entre 5 a 10% como máximo (Ortega, 2018).

Tabla 6. Ponderaciones de cada estación del INAMHI por subcuenca obtenidas por el método Thiessen

| Estación | Subcuencas de CARG (% Thiessen) | | | | | | | | |
|----------|---------------------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| | H-145 | H-146 | H-149 | H-159 | HI-1 | HI-2 | HI-3 | HI-4 | HI-5 |
| M0001 | | 7,9 | 8,0 | | | | | | |
| M0002 | | | | | | | | | 33,9 |
| M0003 | | | | | 24,9 | | | 21,1 | 1,2 |
| M0023 | | | | | | | 18,2 | | |
| M0024 | 13,2 | | | | | | | 57,5 | 5,1 |
| M0113 | | | | | 38,5 | | | | |

| | | | | | | | | | |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| M0117 | | | | 47,7 | 13,4 | | | | |
| M0120 | | | | 11,8 | | | | | |
| M0318 | | 39,2 | | | | | | | |
| M0325 | | 14,2 | 5,4 | | | | | | |
| M0326 | | 9,2 | 13,7 | | | | | | |
| M0337 | 27,6 | | 72,9 | | | | | | |
| M0339 | | 29,5 | | | | | | | |
| M0343 | 16,6 | | | | | | | | 11,4 |
| M0344 | | | | | | 44,3 | | | 7,7 |
| M0345 | 42,5 | | | | | | | | 9,6 |
| M0346 | | | | | | | | | 20,5 |
| M0353 | | | | | 23,1 | 39,7 | | | 10,7 |
| M0354 | | | | | | | | 21,4 | |
| M0359 | | | | | | | 37,6 | | |
| M0364 | | | | | | 60,3 | | | |
| M0730 | | | | 40,4 | | | | | |

Fuente: (Ortega, 2018)

Elaboración: Autor

2.2.4 Evapotranspiración

La evapotranspiración se da a partir de la simultaneidad de los procesos de evaporación y transpiración (Allen et al., 2006), es importante acotar que la cobertura del suelo que predomina en cierto espacio influye en la interrelación existente entre estas dos variables. Está medida en milímetros y para obtener su magnitud se ha implementado el método de los tanques, el cual consiste en la utilización de un evaporímetro conocido como Tanque de Evaporación Tipo A que tiene una profundidad aproximada de 25 cm y un diámetro de 120,7 cm y debe ser ubicado en una base de madera a 10 cm sobre la superficie del suelo. El valor de la evaporación se obtiene a través de la diferencia calculada entre esta evaporación potencial registrada en el tanque y el valor de la precipitación, se debe tomar a consideración las diferencias cuya magnitud sea significativa (INAMHI, 2011).

Es así como se utiliza la ecuación descrita a continuación para transformar la evaporación en evapotranspiración:

$$ET_o = Kp \times Epan$$

Fuente: (Allen et al., 2006)

Donde:

ET_o = Evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹).

Kp = Coeficiente del tanque evaporímetro.

$Epan$ = Evaporación del tanque evaporímetro (mm día⁻¹).

Es importante acotar que para el coeficiente K_p influye la velocidad del viento, la presencia de cultivos y su altura, vegetación o zonas descubiertas y características del tanque como lo es el color.

El INAMHI realiza el análisis de ciertos criterios, en este caso contando con la distancia de la vegetación cercana a 10 m, la humedad relativa mayor al 70% y la velocidad del viento que esté en un rango entre 2 y 5 m/s se da un porcentaje de corrección de 70% a los datos.

Luego de este procesamiento, se ha calculado el promedio mensual multianual de los datos de las siete estaciones del INAMHI que han sido previamente corregidos por (Ortega, 2018), la ventaja de este procesamiento radica en la no dependencia de una serie de variables que no están disponibles para todo el periodo de tiempo seleccionado para realizar la modelación.

Las características de las siete estaciones han sido expresadas en la **Tabla 5**, sin embargo, se mencionan nuevamente para mayor comprensión.

Tabla 7. Estaciones del INAMHI que proveen de información para la obtención de la evapotranspiración.

| Estación | Código |
|--------------------------|---------------|
| Inguincho | M0001 |
| La Tola | M0002 |
| Izobamba | M0003 |
| Olmedo - Pichincha | M0023 |
| Iñaquito | M0024 |
| Cotopaxi (CLIRSEN – IEE) | M0120 |
| Tomalón - Tabacundo | M1094 |

Fuente: (INAMHI, 2017)

Elaboración: Autor

En adición, es importante indicar la distribución que mantiene la evapotranspiración dentro de la CARG, ya que cada subcuenca debe tener sus respectivos valores mensuales multianuales.

Tabla 8. Distribución de la evapotranspiración dentro de la CARG

| Subcuenca | M0001 | M0002 | M0003 | M0023 | M0024 | M0120 |
|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| H-145 | | X | | | | |
| H-146 | X | | | | | |
| H-149 | X | | | | | |
| H-159 | | | | | | X |
| HI-1 | | | X | | | |

| | | | | | | |
|-------------|--|---|--|---|---|---|
| HI-2 | | | | | | X |
| HI-3 | | | | X | | |
| HI-4 | | | | | X | |
| HI-5 | | X | | | | |

Fuente: (Ortega, 2018)

Elaboración: Autor

2.3 Descripción del modelo HEC – HMS

Para realizar una modelación con HEC – HMS se debe disponer de 4 elementos importantes que albergan toda la información sobre precipitación, evapotranspiración y caudal.

2.3.1 Modelo de cuenca

Inicialmente se debe construir un “Modelo de cuenca”, que básicamente sirve para representar la cuenca hidrológica mediante la definición de las subcuencas, tramos, uniones, desagües, entre otros elementos que van ligados a la previa delimitación de la cuenca (Estrada & Pacheco, 2012); en este caso (Ortega, 2018) ha proporcionado el modelo de cuenca utilizado por su persona en su proyecto de titulación de tal manera que se pueda actualizar al periodo actual, con respecto al uso de suelo, por medio de la calibración como se ha establecido en el objetivo de este proyecto.

El modelo de la CARG utilizado para el análisis se puede observar en la **Figura 8**, en esta se visualizan los distintos elementos que van a intervenir en la modelación, así como las subcuencas formadas.

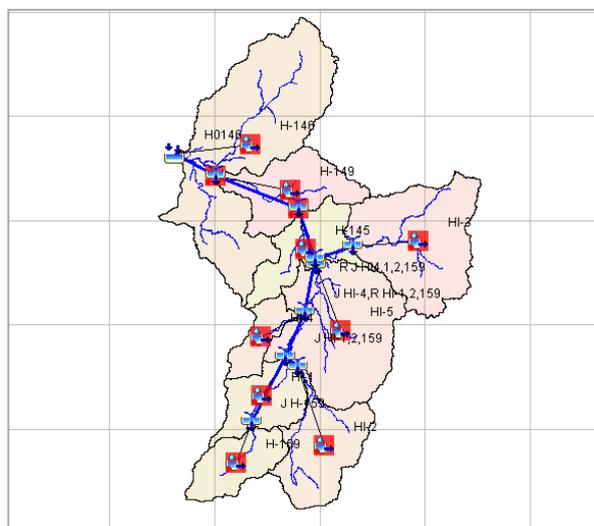


Figura 8. Modelo de cuenca utilizado para representar a la CARG

Fuente: (Ortega, 2018)

Elaboración: Autor

En el modelo de la cuenca también deben ser definidos los métodos y los distintos parámetros que se van a calibrar para actualizar el modelo. Estos métodos pueden variar por subcuenca (Departamento de Ingeniería Hidráulica Marítima y Ambiental, 2005), sin embargo, para la CARG se han utilizado los mismos métodos en cada subcuenca.

Tabla 9. Métodos y parámetros aplicados para la modelación

| Componente del proceso de escurrimiento | Método | Parámetros | Unidad |
|---|-----------------------------|--------------------|-------------------|
| Intercepción (Canopy) | Simple Canopy | Initial Storage | % |
| | | Max Storage | mm |
| | | Crop coefficient | - |
| Volumen de escorrentía (Loss) | Deficit and constant loss | Initial Deficit | mm |
| | | Maximum Deficit | mm |
| | | Constant Rate | mm/h |
| | | Impervious | % |
| Escorrentía directa (Transform) | SCS Unit Hydrograph Model | Lag Time | Min |
| Flujo Base (Baseflow) | Exponential Recession Model | Initial Discharge | m ³ /s |
| | | Recession Constant | - |
| | | Ratio | - |

Notas:

(1) *Se ha colocado los nombres en inglés debido a que este es el idioma principal de HEC – HMS y de esta manera será más fácil recrear este procedimiento.*

Fuente: (Ortega, 2018)

Elaboración: Autor

2.3.2 Modelo meteorológico

El segundo elemento necesario para la modelación es llamado “Modelo meteorológico” donde, de igual manera que el Modelo de cuenca, inicialmente se debe escoger el método a utilizar, en este caso para la precipitación se ha indicado que debe trabajarse asignando peso a las estaciones por lo que se selecciona “Gage Weights” y se procede a registrar los diferentes “Weights” que básicamente son las ponderaciones obtenidas a través de los polígonos de Thiessen (ver **Tabla 6**) y para el apartado de evapotranspiración se procede a seleccionar el método “Monthly Average” donde existe un espacio para adjuntar los datos previamente calculados de esta variable (ver **Tabla 28** del **ANEXO III**). En este espacio es importante ligar al Modelo meteorológico con el o los Modelos de cuenca que se vayan a analizar ya que sin este paso no sería posible continuar con la modelación.

2.3.3 Especificaciones de control

En este apartado se debe indicar el periodo de tiempo en el que se va a trabajar, considerando el día y la hora en el que se inicia y en el que se finaliza la modelación, además, se debe especificar el intervalo de tiempo (Nania, 2007).

Para este caso, la fecha y hora de inicio responde al 01 de enero del 2010 a las 00:00 y la de finalización es el 31 de diciembre de 2015 a las 23:00 y se busca una modelación para el intervalo de tiempo equivalente a 1 hora. Es importante acotar que el tiempo final debe ser más extenso que el tiempo en el que se registra el final de la lluvia debido a que de esta forma el hidrograma salga completo (Departamento de Ingeniería Hidráulica Marítima y Ambiental, 2005).

2.3.4 Datos de series de tiempo

El último elemento de la modelación es el que alberga los datos de precipitación, caudal y evapotranspiración (en este caso no aplica ya que estos datos fueron introducidos en el modelo meteorológico como valores medios mensuales multianuales) que fueron definidos anteriormente. Esto lo hace a través de espacios llamados “Gages” que son definidos para cada variable, en este espacio también se debe definir el periodo de modelación. Para el desarrollo de este modelo, se tienen los “Precipitation Gages” donde ingresan los datos de precipitación por estación meteorológica que combinados con las ponderaciones registradas en el modelo meteorológico dan como resultado la precipitación de cada subcuenca. De igual manera, se tienen los “Discharge Gages” donde se registran los valores de caudales de cada subcuenca. Para colocar las respectivas bases de datos en cada uno de los espacios solamente es necesario importarlas desde el software Excel.

2.4 Calibración del modelo hidrológico

Esta etapa es la más importante del modelo ya que con una correcta calibración el modelo a desarrollar se acercará más a la realidad de la cuenca (Cunderlik & Simonovic, 2004). En este caso, para la calibración se han considerado los parámetros cuya incidencia está dada por el uso y cobertura del suelo. Es importante destacar que se han tomado los valores de (Ortega, 2018) como datos base de la calibración. Además, la calibración de este modelo se va a hacer en función del punto de cierre de la CARG referente a la estación Guayllabamba DJ Alambi – H0146 perteneciente a la red de estaciones del INAMHI ya que esta puede llegar a representar a la cuenca en su totalidad.

2.4.1 Obtención de parámetros

Para el cambio de los valores en cada método ha sido importante primero conocer cómo trabajan estos y que papel desempeñan en nuestro modelo, de tal manera que la calibración de los parámetros se ha desarrollado a raíz de lo indicado por el manual de referencias técnicas dadas por HEC – HMS además de bibliografía extra que ha sido específica del tema y también la recolección de información de trabajos similares sobre la cuenca a analizar o alguna que tenga las características parecidas.

2.4.1.1 Intercepción (Canopy)

Al momento de simular una cuenca se debe tomar en cuenta la cantidad de vegetación que tiene ya que esta actúa como una capa que retiene el agua proveniente de la lluvia, es así como, con el método de Intercepción se busca representar a la cantidad de precipitación que llega a ser capturada en las hojas de los árboles, arbustos, entre otros tipos de vegetación y que no alcanza a llegar a la superficie del suelo (Feldman, 2000).

a. Simple Canopy

Es determinado como el porcentaje de la intercepción de la precipitación en la distinta vegetación que exista en una cuenca y puede ser deducido mediante el análisis de los datos presentes de evapotranspiración (Ortega, 2018).

Para el cálculo del valor inicial de almacenamiento conocido como “Initial Storage” y la máxima capacidad de almacenamiento “Max Storage” se ha establecido una relación entre los valores de calibración base y el cambio registrado en la cantidad de vegetación reportada en cada subcuenca para el año 2014 (ver **Figura 9**). Además, se ha tomado el valor de uno para el coeficiente de cultivo debido a recomendaciones de (Gómez et al., 2014; Ortega, 2018) en trabajos similares.

2.4.1.2 Volumen de escorrentía (Loss)

Para la estimación de este volumen es importante tomar a consideración la cantidad de infiltración e impermeabilidad que tiene un suelo, de esta manera se puede definir la cantidad de agua que pasa a ser escorrentía en una cuenca (Feldman, 2000; Mozo et al., 2020). De tal manera, para la obtención de los parámetros a describir a continuación, se ha tomado en cuenta la textura del suelo, su uso y cobertura y también los distintos grupos hidrológicos que puedan apreciarse en la CARG.

a. Deficit and constant loss

En este método se busca registrar los cambios de humedad y la capacidad de infiltrar de un suelo cuando este se encuentra saturado. Se dice que, durante los eventos de precipitación, puede llegar a desarrollarse la máxima tasa potencial de pérdida y que esta ocurre previo al inicio de la escorrentía superficial; de tal manera que hasta que no se satisfaga el déficit inicial no se podrá visualizar eventos de escorrentía (Garrido, 2017).

Incluye 4 parámetros, el valor del déficit inicial “Initial Deficit” y el máximo déficit “Maximun Deficit” que puede presentarse en la CARG no han cambiado con respecto a lo estipulado por (Ortega, 2018) ya que las variaciones del uso y cobertura del suelo no han sido tan notables, además, es importante acotar que la textura no ha cambiado con respecto a lo indicado en el año 1982 esto debido a que es una de las propiedades del suelo que no muestran cambios representativos con el paso del tiempo (Soil Science Society of American, 2012). Referente a lo explicado con respecto a la textura, se ha tomado como referencia el análisis realizado por (Ortega, 2018) donde se han relacionado las diferentes texturas con los grupos hidrológicos tras la comparación de características y revisión bibliográfica (**Tabla 10**), esto para mayor facilidad al momento de encontrar los valores de tasa de infiltración que se utilizan para asignar los valores a los siguientes parámetros referentes a la capacidad de infiltración “Constant Rate” y el porcentaje de impermeabilidad “Impervious”, mismos que han sido los primordiales para reflejar el cambio del uso y cobertura de suelo en el modelo. Para el porcentaje de impermeabilidad se ha establecido una relación entre los valores base obtenidos mediante la calibración del modelo para el año 1982 y el área urbanizada en cada subcuenca para el año 2014. Mientras que, para la capacidad de infiltración se ha realizado la calibración automática en el mismo HEC – HMS con la finalidad de obtener los valores más exactos.

Tabla 10. Grupo hidrológico asignado por textura de suelo

| SIM | Categoría | Subcategoría | Grupo Hidrológico | Tasa de infiltración (mm/h) |
|------------|----------------------|------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| g | Gruesa arenosa | fina, media, gruesa | A | 7,62 |
| | | arenoso franco | A | 7,62 |
| mg | Moderadamente gruesa | franco arenoso fino a grueso | B | 3,81 |
| | | franco limoso | B | 3,81 |
| m | Media | franco | B | 3,81 |
| | | limoso | C | 0,127 |
| | | franco arcilloso (<35% de arcilla) | C | 0,127 |
| | | franco arcilloso arenoso | C | 0,127 |
| | | franco arcillo limoso | C | 0,127 |

| | | | | |
|----|----------|-------------------------|---|-------|
| f | Fina | franco arcilloso (>35%) | C | 0,127 |
| | | arcilloso | D | 0,005 |
| | | arcillo arenoso | D | 0,005 |
| | | arcillo limoso | D | 0,005 |
| mf | Muy fina | arcilloso (>60%) | D | 0,005 |

Fuente: (Feldman, 2000; Ortega, 2018)

Elaboración: Autor

De igual manera, en la **Tabla 29** del **ANEXO IV** se reflejan los distintos porcentajes por grupo hidrológico que se han registrado en todas las subcuencas pertenecientes a la CARG, es así como se obtienen valores ponderados que pueden sugerir el cambio idóneo en la magnitud de los parámetros. No obstante, se recuerda que el uso y cobertura del suelo también toman valor en estos cambios por lo que no se puede considerar únicamente el análisis de textura. Los resultados de uso y cobertura pueden ser observados más adelante en el apartado de Resultados en la **Tabla 14**.

Para reflejar valores representativos y confiables de “Constant Rate” se establecieron rangos de tasa de infiltración, mismos que albergan las consideraciones mencionadas sobre textura, uso y cobertura del suelo reportados en la CARG, de tal manera que, cada valor quede plenamente justificado. Estos rangos han sido recomendados bibliográficamente por (Arias-Hidalgo et al., 2013; J. J. Cabrera, 2017; Feldman, 2000; Ortega, 2018) en estudios similares al presente.

Tabla 11. Rangos de tasa de infiltración considerando textura, uso y cobertura del suelo

| Subcuenca | Rango de tasa de infiltración (mm/h) |
|-----------|--------------------------------------|
| H-145 | 1,00 – 1,30 |
| H-146 | 1,50 – 3,00 |
| H-149 | 1,50 – 3,00 |
| H-159 | 1,00 – 1,80 |
| HI-1 | 1,00 – 1,80 |
| HI-2 | 0,40 – 1,00 |
| HI-3 | 1,00 – 1,80 |
| HI-4 | 1,00 – 1,80 |
| H-5 | 1,00 – 1,80 |

Fuente: (Arias-Hidalgo et al., 2013; J. J. Cabrera, 2017; Feldman, 2000; Ortega, 2018)

Elaboración: Autor

2.4.1.3 Escorrentía directa (Transform)

En este proceso se busca modelar el proceso de transformación ocurrida entre el exceso de precipitación y la escorrentía superficial de una cuenca (Feldman, 2000).

a. Modelo de hidrograma unitario SCS (SCS Unit Hydrograph Model)

Un hidrograma unitario asume que la descarga presenciada en una cuenca en cierto tiempo resulta proporcional al volumen de escorrentía y que los factores de tiempo que afectan a la figura del hidrograma se mantienen constantes, (Natural Resources Conservation Service, 2007). El Servicio de Conservación del Suelo (SCS) ha propuesto el Modelo de Hidrograma Unitario SCS en el que se consideran los promedios de distintos hidrogramas unitarios que han sido derivados de precipitaciones y escorrentías tomados en distintas cuencas, por este motivo se menciona a este método como versátil al momento de tratar cada subcuenca a raíz del conocimiento de las distintas características fisiográficas (Feldman, 2000). Para la implementación de este método, se tiene al parámetro conocido como “Lag Time” que se define como el tiempo de demora que existe entre el inicio de la escorrentía, acarreado por un evento de lluvia en una cuenca hidrográfica, hasta que este alcance el pico máximo (Natural Resources Conservation Service, 2010). Se conoce que, para este método, el parámetro Lag Time está estrechamente ligado con la pendiente de la cuenca motivo por el cual se han mantenido el valor calculado por (Ortega, 2018) ya que el valor porcentual de la pendiente registrada en la CARG (31,1%), calculado por medio de la herramienta ArcMap, no ha presentado cambios desde el año 1982. Para mayor entendimiento se dice que el Lag Time es el tiempo de viaje que presenta una “gota de agua” al recorrer la cuenca desde el límite más lejano hasta el punto de salida de la cuenca considerando el recorrido más largo (Gericke & Smithers, 2014).

2.4.1.4 Flujo Base (Baseflow)

Se conoce como flujo base a la escorrentía que se ha almacenado temporalmente en la cuenca proveniente de un evento de precipitación anterior más la escorrentía subsuperficial retardada de una tormenta actual (Feldman, 2000).

a. Exponential Recession Model

El método de recesión involucra la tasa en la que el caudal base cambia ante la presencia de eventos de precipitación (Chow et al., 1994).

Para el manejo de este método, se cuenta con la presencia de 3 parámetros (Initial Discharge, Recession Constant, Ratio) que describen el flujo base y su cambio. De estos, se ha actualizado el valor de la descarga inicial ya que las condiciones de la CARG han presentado algunos cambios con el paso del tiempo, es así como, se han obtenido los hidrogramas comprendidos a nivel diario para el caudal de cada subcuenca en el periodo mencionado (Ver **ANEXO V**) con la finalidad de definir los valores tentativos de descarga inicial. Por lo que, se ha tomado como referencia a lo estipulado por (Linsley et al., 1977;

Morales, 2014) donde se sugiere un análisis visual de los hidrogramas y la identificación de la recesión presentada antes de una crecida.

Los valores de “Recession Constant” y “Ratio” se han mantenido en lo estipulado en la calibración de (Ortega, 2018) ya que estos se han visto ligados a la fuente de la que proviene el flujo base (Feldman, 2000). Adicionalmente, los valores han sido referenciados por (Pilgrim & Cordery, 1992) por lo que se consideran como representativos para este método.

2.4.1.5 Calibración automática (Optimización)

Luego de la respectiva calibración manual, donde se han incluido las distintas puntuaciones que relacionan el uso de suelo más reciente reportado en la CARG a través de un proceso de prueba y error, se procede a realizar la optimización del modelo donde se busca obtener datos mucho más exactos que mejoren la calibración. Se menciona que la optimización debe aplicarse a los parámetros que presenten sensibilidad, es decir, los que produzcan más cambios en el modelo previamente calibrado. De esta manera, el trabajo de (Ortega, 2018) sugiere un listado de los parámetros (Ver **Tabla 12**) que ayudan a representar de mejor manera la realidad a través del modelo, es así como, se procedió a crear distintas optimizaciones en las que se ha evaluado el valor de Nash-Sutcliffe, donde se procede a tomar los valores del parámetro que más eleve la función objetivo. Como método de búsqueda para la optimización se ha implementados el algoritmo de “Nelder and Mead” ya que no utiliza funciones que resulten derivadas de la función objetivo y en su lugar realiza búsquedas directas que toman en cuenta los resultados de las iteraciones anteriores, de igual forma, este algoritmo ayuda en la identificación de la mejor combinación de parámetros que mejore la función objetivo. Todo esto para un intervalo de tiempo de una hora y con un número máximo de iteraciones que responde a 100 según lo sugerido por (Ortega, 2018).

Tabla 12. Parámetros que han mostrado mayor sensibilidad para el modelo

| Proceso | Parámetro |
|------------------------|--------------------|
| Caudal Base (Recesión) | Ratio to peak |
| | Recession Constant |
| | Initial Discharge |
| Canopy | Max Storage |
| Volumen de escorrentía | Constant Rate |
| | Maximum Deficit |

Fuente: (Ortega, 2018)

Elaboración: Autor

Con respecto a la función objetivo, Nash-Sutcliffe, se menciona que este criterio es uno de los más utilizados en el campo hidrológico ya que expresa la eficiencia que puede llegar a tener un modelo hidrológico (Seiller et al., 2017), cuya definición está representada en la siguiente expresión:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Obs_i - Sim_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Obs_i - \overline{Obs})^2}$$

Donde:

NSE = Eficiencia de Nash-Sutcliffe

n = Número de ordenadas del hidrograma

Obs_i = Datos observados

Sim_i = Datos simulados

\overline{Obs} = Valor promedio de los datos observados

Es así como varios autores han expuesto una serie de rangos que los modeladores pueden seguir para evaluar la eficiencia de su modelo, la **Tabla 13.** expone estos rangos, de los cuales si un modelo obtiene un valor inferior a 0,2 se demuestra un desempeño bajo, por otro lado, si el valor es mayor a 0,8 se llega a comprobar un modelo muy cercano a lo que expresa la realidad.

Tabla 13. Rangos de eficiencia de un modelo en base al coeficiente NSE.

| Valor NSE | Ajuste |
|-----------|---------------|
| < 0,2 | Insuficiente |
| 0,2 – 0,4 | Satisfactorio |
| 0,4 – 0,6 | Bueno |
| 0,6 – 0,8 | Muy bueno |
| > 0,8 | Excelente |

Fuente: (Cruz & Romero, 2018; Molnar, 2011)

Elaboración: Autor

2.4.1.6 Variación climática

Para el análisis principal de este proyecto se toma los subperiodos seco y húmedo, mencionados en el acápite 3.1.2., con los cuales se procede a realizar la respectiva modelación hidrológica utilizando los parámetros de calibración explicados anteriormente. De esta manera se busca obtener la influencia que llega a tener la variabilidad climática en la CARG ante el uso de suelo más reciente.

Así mismo, se realiza una comparación entre los caudales de los subperiodos seco y húmedo con el caudal obtenido en el periodo de referencia, esto se aplica tanto para los datos observados como para los obtenidos luego de la modelación en HEC – HMS, esto con la finalidad de calcular el porcentaje promedio de variación existente entre los caudales.

Además, se ha desarrollado un análisis de correlación entre el caudal modelado con las precipitaciones de cada subcuenca de la CARG para determinar la zona de mayor influencia en el caudal modelado. Es importante acotar que todos estos análisis se los ha realizado a nivel diario para mayor apreciación.

3. RESULTADOS, ANÁLISIS DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Resultados

Con la finalidad de determinar cuáles serían los impactos de las variaciones climáticas en la CARG ligadas al uso de suelo más reciente reportado, se ha desarrollado una serie de modelaciones con la finalidad de representar a la realidad de la cuenca lo máximo posible. A continuación, se exponen los resultados obtenidos según se fue desarrollando este proyecto.

3.1.1 Uso de suelo

Como se ha mencionado, se realizó el análisis de disponibilidad de datos tanto de caudal como de precipitación dando como resultado el periodo de referencia desde el año 2010 al 2015 que mantendría cierta representatividad de los datos para mayor eficiencia del modelo. De esta manera se ha seleccionado que el año de uso y cobertura del suelo más reciente presentado en la CARG corresponde al 2014 de modo que todas las variables a intervenir en la modelación se mantengan ligadas.

Al obtener estos datos de uso y cobertura del suelo para el año 2014 del (Ministerio del Ambiente, 2016), se ha realizado una comparativa entre estos resultados con los presentados en el año 1982 con la finalidad de apreciar el cambio que se ha dado en la CARG.

Tabla 14. Variación presentada en la CARG respecto al uso y cobertura de los suelos para los años 1982 y 2014

| | Uso | Área | 1982 (%) | 2014 (%) | Var (%) |
|---|-------------------------------|---------|----------|----------|---------|
| 1 | Cuerpos de agua | 21,71 | 0,04 | 0,34 | 0,30 |
| 2 | Cultivos de ciclo corto | 1002,59 | 13,93 | 15,60 | 1,67 |
| 3 | Cultivos permanentes | 213,11 | 8 | 3,32 | -4,68 |
| 4 | Mosaico de vegetación natural | 805,33 | 6,7 | 12,53 | 5,83 |
| 5 | Paisajes minerales | 81,55 | 1,1 | 1,27 | 0,17 |
| 6 | Pastos | 1366,43 | 15,49 | 21,26 | 5,77 |
| 7 | Vegetación natural | 2386,54 | 51,17 | 37,13 | -14,04 |
| 8 | Zona urbana o sin determinar | 550,04 | 3,57 | 8,56 | 4,99 |

Elaboración: Autor

La **Tabla 14** presenta los datos resultantes de la comparativa entre el año 1982 y en año 2014, esto luego de realizar la subcategorización mencionada en el acápite 2.2.2. Además, se ha calculado la tasa de cambio entre ambos años para poder utilizar estos resultados y obtener los valores de los parámetros a implementar en el modelo. En la **Tabla 18** del **ANEXO I** se pueden apreciar las categorías obtenidas inicialmente para el año 2014 con su respectiva definición.

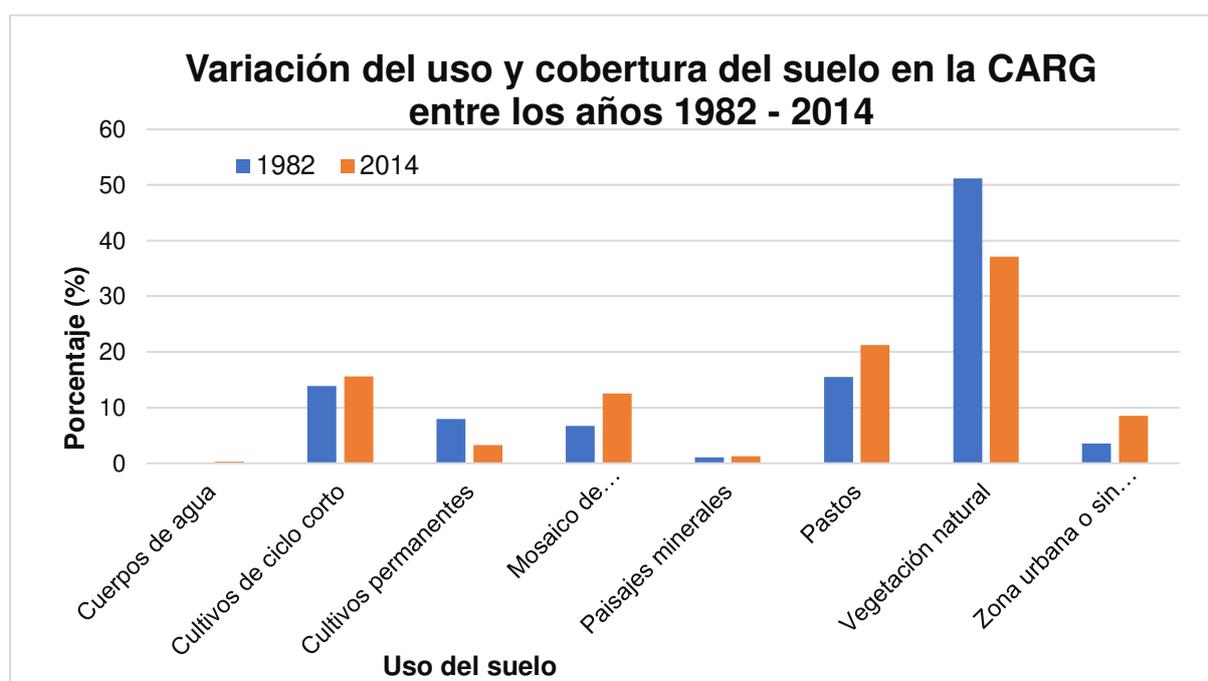


Figura 9. Variación del uso y cobertura del suelo en la CARG entre los años 1982 - 2014.

Elaboración: Autor

La **Figura 9** representa el cambio de uso y cobertura de suelo registrado en toda la CARG con respecto a lo analizado por (Ortega, 2018) en el año 1982. Se realizó un análisis

a nivel de subcuenca con la finalidad de observar de mejor manera el cambio ocurrido en cada espacio de la cuenca, estos datos comparativos se pueden visualizar en las **Tablas y Figuras** expuestas en el **ANEXO II**.

3.1.2 Selección de los subperiodos seco y húmedo

Tras comparar los subperiodos seleccionados por bibliografía con el periodo de referencia, se observa que efectivamente el subperiodo húmedo (línea de tonalidad azul) ha presentado precipitaciones superiores a las registradas en el periodo de referencia, así mismo, el subperiodo seco (línea de tonalidad naranja) está por debajo de este, es decir, ha presentado precipitaciones menores. De esta manera se verifica que los subperiodos están bien escogidos y se procede a la modelación de estos.

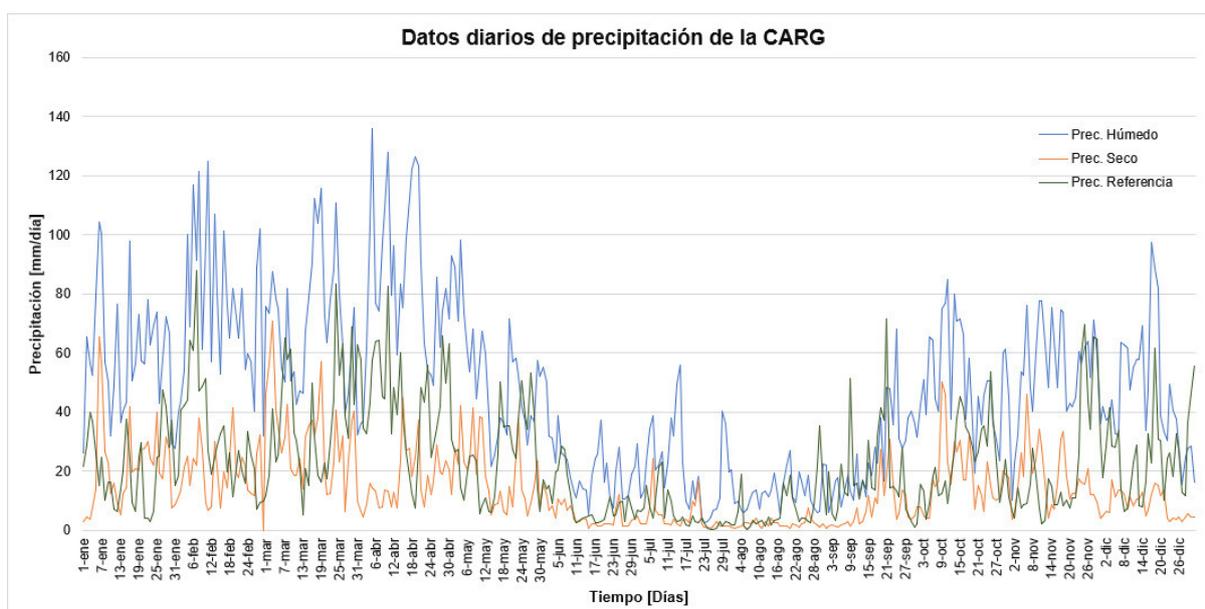


Figura 10. Comparativa entre posibles subperiodos húmedo (1983 – 1984) y seco (2014 – 2015) con respecto al periodo de referencia a nivel diario.

Fuente: (INAMHI, 2017)

Elaboración: Autor

3.1.3 Modelación y calibración

Tras el tratamiento de datos referentes al uso y cobertura del suelo, se continúa con la modelación en HEC-HMS para obtener una representación de caudal que responda a las circunstancias que presenta la CARG. Ante esto, como se mencionó, para este trabajo se realiza una sola calibración en el periodo de referencia para poder observar la incidencia del uso del suelo en la climatología de la cuenca.

Tras la calibración tanto manual como automática del modelo, se han obtenido los siguientes valores para los parámetros:

Tabla 15. Valores de los parámetros obtenidos luego de la calibración en la CARG a nivel de subcuenca.

| Subcuenca H-146 | | |
|---------------------------------------|----------------------|-------------------------|
| Parámetros | Valor inicial | Valor optimizado |
| Inicial Storage (%) | 45 | 42,69 |
| Max Storage (mm) | 1,35 | 1,28 |
| Crop coefficient | 1 | 1 |
| Initial Deficit (mm) | 0,3 | 0,3 |
| Maximum Deficit (mm) | 0,8 | 0,8 |
| Constant Rate (mm/h) | 2,62 | 2,9314 |
| Impervious (%) | 10 | 0,32 |
| Lag Time (min) | 329 | 329 |
| Initial Discharge (m ³ /s) | 50 | 30,02 |
| Recession Constant | 0,94062 | 0,94062 |
| Ratio | 0,8967 | 0,8967 |
| Subcuenca H-145 | | |
| Inicial Storage (%) | 40 | 4,42 |
| Max Storage (mm) | 0,6 | 0,07 |
| Crop coefficient | 1 | 1 |
| Initial Deficit (mm) | 0,1 | 0,1 |
| Maximum Deficit (mm) | 0,33 | 0,33 |
| Constant Rate (mm/h) | 1,3474 | 1,2916 |
| Impervious (%) | 7,5 | 23,02 |
| Lag Time (min) | 191 | 191 |
| Initial Discharge (m ³ /s) | 5 | 2,05 |
| Recession Constant | 0,96905 | 0,96905 |
| Ratio | 0,55582 | 0,55582 |
| Subcuenca H-149 | | |
| Inicial Storage (%) | 50 | 30,72 |
| Max Storage (mm) | 1,2 | 0,74 |
| Crop coefficient | 1 | 1 |
| Initial Deficit (mm) | 0,33 | 0,33 |
| Maximum Deficit (mm) | 0,69 | 0,69 |
| Constant Rate (mm/h) | 2,55 | 2,55 |
| Impervious (%) | 3,5 | 1,01 |
| Lag Time (min) | 260 | 260 |
| Initial Discharge (m ³ /s) | 14,5 | 7,57 |
| Recession Constant | 0,98898 | 0,98898 |
| Ratio | 0,83019 | 0,83019 |
| Subcuenca H-159 | | |
| Inicial Storage (%) | 75 | 51,23 |
| Max Storage (mm) | 1,2 | 0,82 |
| Crop coefficient | 1 | 1 |
| Initial Deficit (mm) | 0,3 | 0,3 |
| Maximum Deficit (mm) | 1,9 | 1,9 |

| | | |
|---------------------------------------|---------|---------|
| Constant Rate (mm/h) | 0,86948 | 2,7187 |
| Impervious (%) | 7 | 5,31 |
| Lag Time (min) | 191 | 191 |
| Initial Discharge (m ³ /s) | 5,7 | 1,14 |
| Recession Constant | 0,96639 | 0,96639 |
| Ratio | 0,83706 | 0,83706 |
| Subcuenca HI-1 | | |
| Inicial Storage (%) | 45 | 31,09 |
| Max Storage (mm) | 1 | 0,69 |
| Crop coefficient | 1 | 1 |
| Initial Deficit (mm) | 0,3 | 0,3 |
| Maximum Deficit (mm) | 0,81 | 0,81 |
| Constant Rate (mm/h) | 1,36 | 1,1256 |
| Impervious (%) | 6,5 | 16,01 |
| Lag Time (min) | 194 | 194 |
| Initial Discharge (m ³ /s) | 6 | 3,07 |
| Recession Constant | 0,971 | 0,971 |
| Ratio | 0,755 | 0,755 |
| Subcuenca HI-2 | | |
| Inicial Storage (%) | 65 | 55,08 |
| Max Storage (mm) | 1 | 0,85 |
| Crop coefficient | 1 | 1 |
| Initial Deficit (mm) | 0,1 | 0,1 |
| Maximum Deficit (mm) | 0,29 | 0,29 |
| Constant Rate (mm/h) | 1,398 | 0,46574 |
| Impervious (%) | 3,5 | 3,79 |
| Lag Time (min) | 296 | 296 |
| Initial Discharge (m ³ /s) | 6 | 3,11 |
| Recession Constant | 0,98674 | 0,98674 |
| Ratio | 0,75242 | 0,75242 |
| Subcuenca HI-3 | | |
| Inicial Storage (%) | 55 | 40,32 |
| Max Storage (mm) | 1 | 0,73 |
| Crop coefficient | 1 | 1 |
| Initial Deficit (mm) | 0,3 | 0,3 |
| Maximum Deficit (mm) | 0,75 | 0,75 |
| Constant Rate (mm/h) | 1,22 | 1,4772 |
| Impervious (%) | 8 | 5,84 |
| Lag Time (min) | 290 | 290 |
| Initial Discharge (m ³ /s) | 12 | 7,84 |
| Recession Constant | 0,97949 | 0,97949 |
| Ratio | 0,5407 | 0,5407 |
| Subcuenca HI-4 | | |
| Inicial Storage (%) | 50 | 17,69 |
| Max Storage (mm) | 0,7 | 0,25 |
| Crop coefficient | 1 | 1 |
| Initial Deficit (mm) | 0,5 | 0,5 |
| Maximum Deficit (mm) | 1,5 | 1,5 |
| Constant Rate (mm/h) | 1,482 | 1,3784 |
| Impervious (%) | 32 | 35,18 |

| | | |
|---------------------------------------|---------|---------|
| Lag Time (min) | 188 | 188 |
| Initial Discharge (m ³ /s) | 5 | 1,69 |
| Recession Constant | 0,95064 | 0,95064 |
| Ratio | 0,41 | 0,41 |
| Subcuenca HI-5 | | |
| Inicial Storage (%) | 55 | 28,7 |
| Max Storage (mm) | 0,6 | 0,31 |
| Crop coefficient | 1 | 1 |
| Initial Deficit (mm) | 0,1 | 0,1 |
| Maximum Deficit (mm) | 0,81 | 0,81 |
| Constant Rate (mm/h) | 1,3696 | 1,363 |
| Impervious (%) | 7 | 22,95 |
| Lag Time (min) | 305 | 305 |
| Initial Discharge (m ³ /s) | 7 | 3,47 |
| Recession Constant | 0,96021 | 0,96021 |
| Ratio | 0,54706 | 0,54706 |
| VALOR NSE | 0,415 | 0,557 |

En la **Tabla 15** se visualizan todos los parámetros implementados para la modelación, se han añadido los valores iniciales para mostrar el contraste existente entre ambas épocas de trabajo. El valor inicial responde a la calibración obtenida por (Ortega, 2018) mientras que la columna titulada como Valor Optimizado muestra los valores obtenidos para el periodo de referencia 2010 – 2015.

Con los parámetros calibrados se ha obtenido la modelación de la CARG en función del punto de cierre (Estación Guayllabamba DJ Alambi – H0146), resultando lo mostrado a continuación:

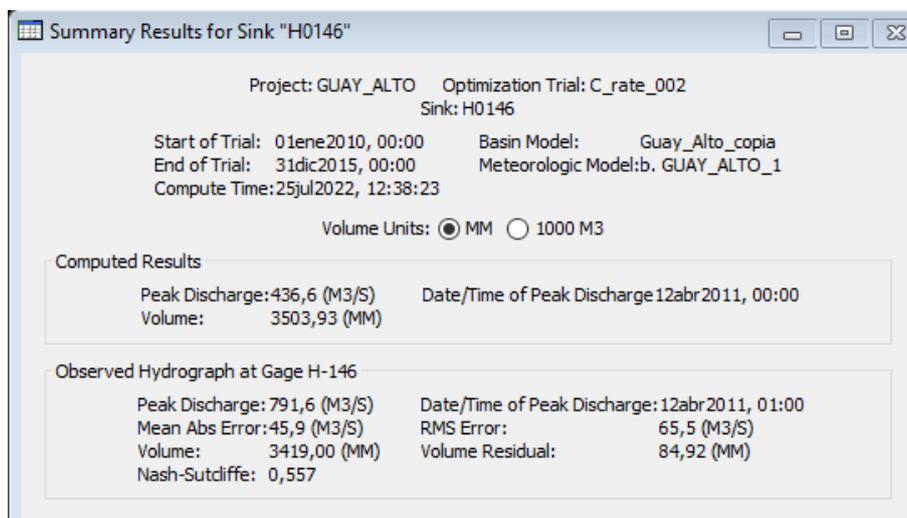


Figura 11. Tabla de resumen sobre los resultados obtenidos en HEC-HMS luego de aplicar los parámetros calibrados.

Elaboración: Autor

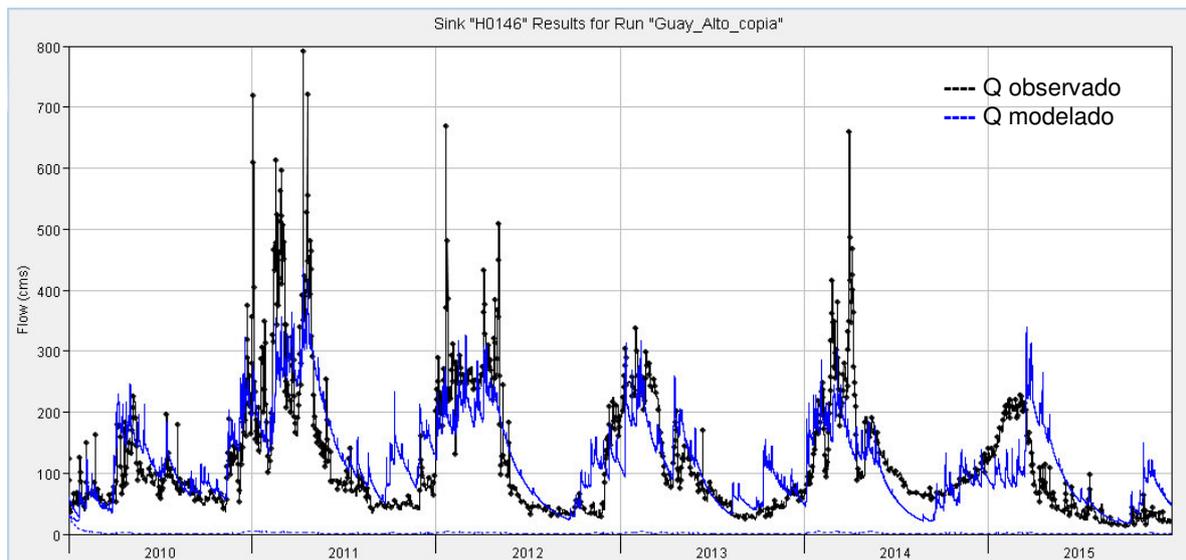


Figura 12. Hidrogramas obtenidos tras la modelación en HEC-HMS.

Elaboración: Autor

La **Figura 12** representa a los hidrogramas resultantes de la modelación, en tonalidad negro se presenta el caudal observado, mientras que, en color azul se puede visualizar el caudal modelado. Estos resultados del periodo de referencia son los esenciales para realizar la comparación con los subperiodos seco y húmedo.

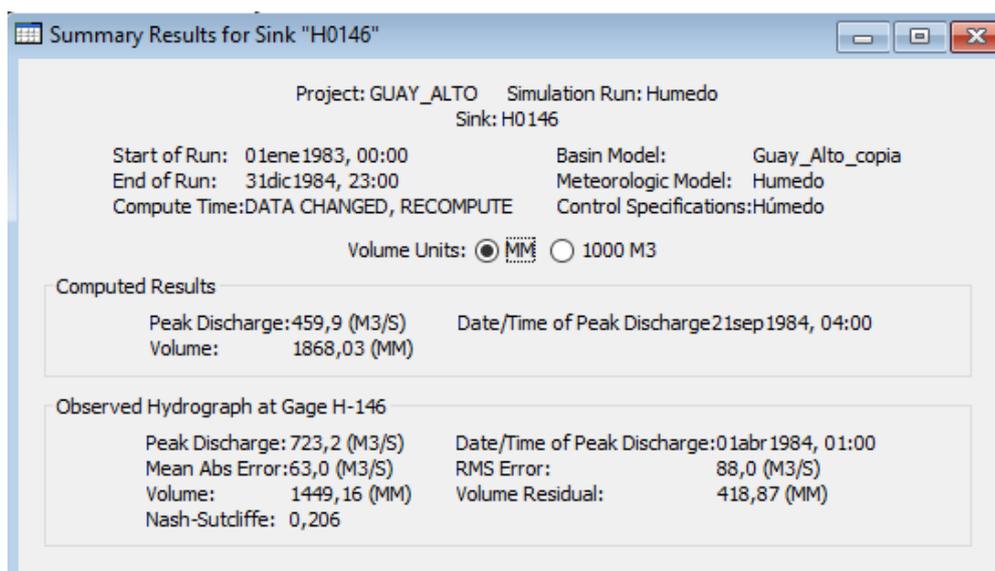


Figura 13. Tabla de resumen sobre los resultados obtenidos en HEC-HMS luego de aplicar los parámetros calibrados para el subperiodo húmedo 1983 - 1984.

Elaboración: Autor

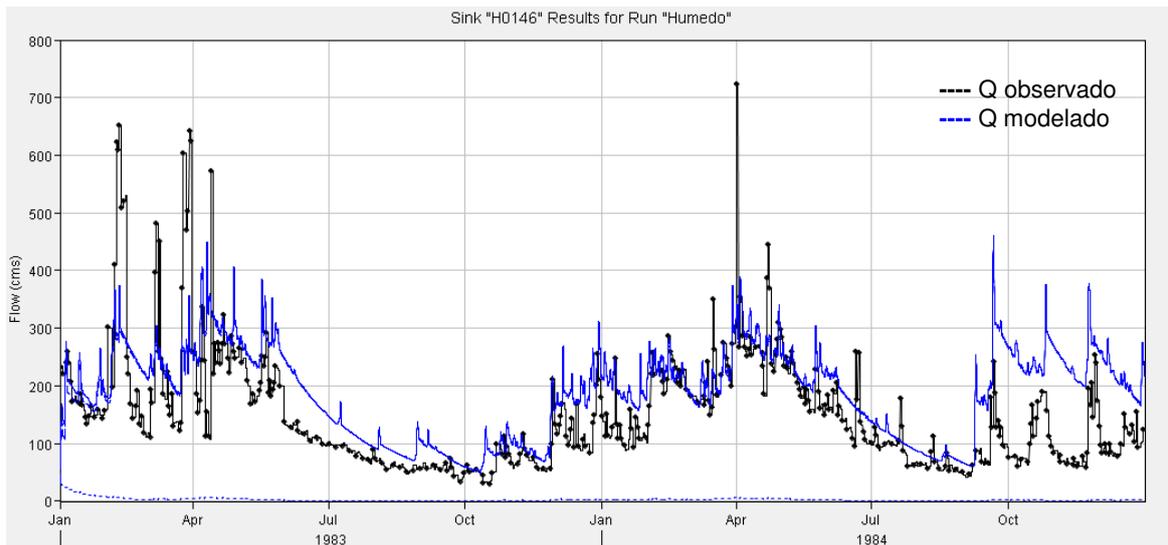


Figura 14. Hidrogramas obtenidos tras la modelación en HEC-HMS para el subperiodo húmedo 1983 – 1984.

Elaboración: Autor

Se realizó la modelación hidrológica del subperiodo húmedo, sin cambiar los datos de los parámetros calibrados ya que así se puede identificar la influencia del uso de suelo para este caso, obteniéndose lo mostrado en la **Figura 14**.

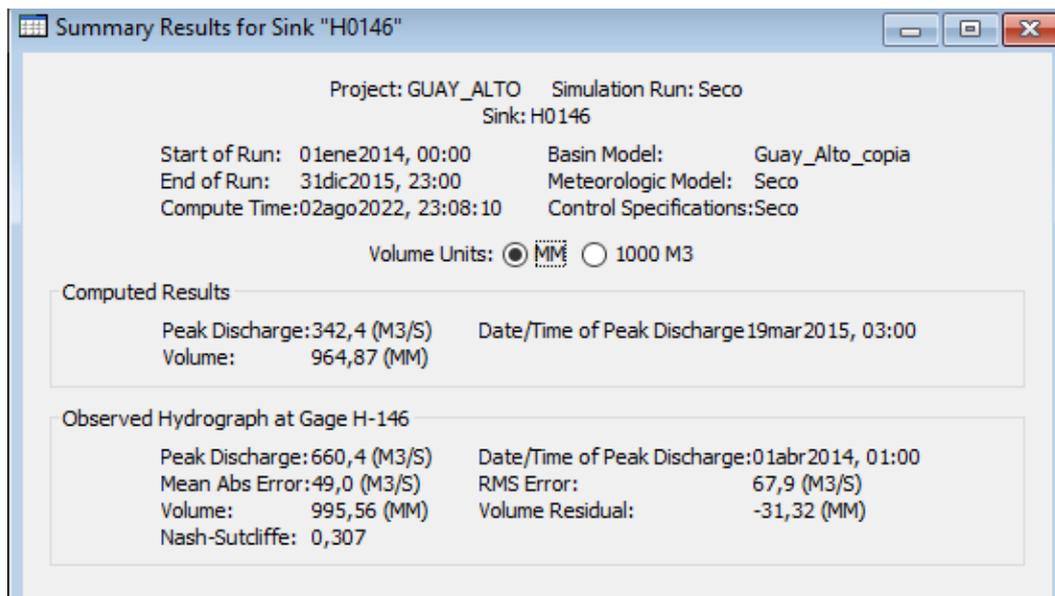


Figura 15. Tabla de resumen sobre los resultados obtenidos en HEC-HMS luego de aplicar los parámetros calibrados para el subperiodo seco 2014 – 2015.

Elaboración: Autor

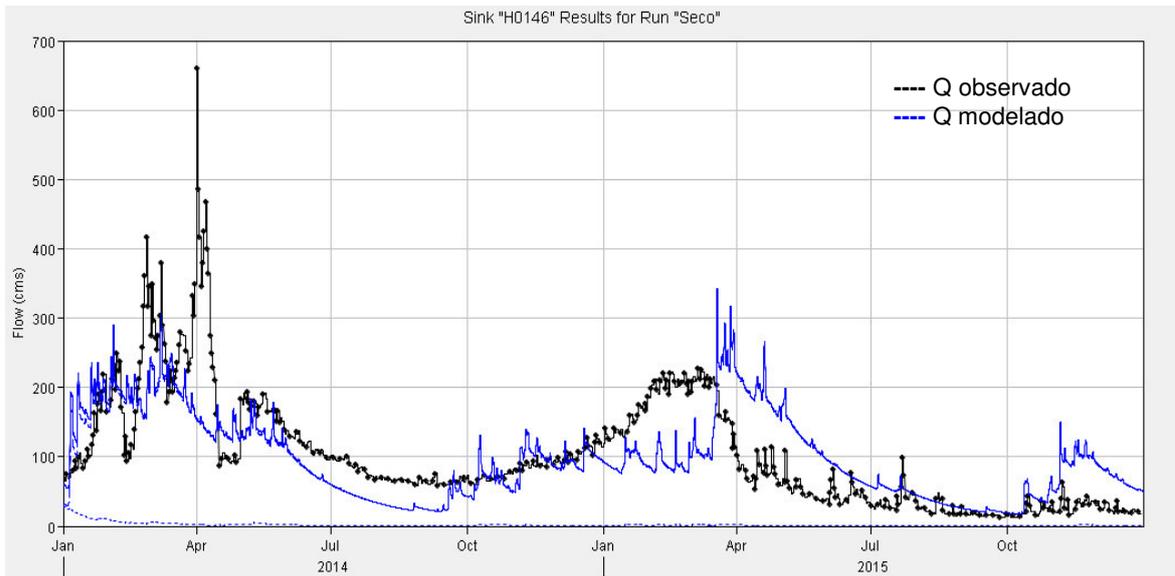


Figura 16. Hidrogramas obtenidos tras la modelación en HEC-HMS para el subperiodo seco 2014 – 2015.

Elaboración: Autor

De igual manera, se realizó la modelación hidrológica del subperiodo seco, nuevamente sin cambiar los datos de los parámetros calibrados en función del uso y cobertura del suelo, obteniéndose lo mostrado en la **Figura 16**.

3.2 Análisis de resultados

3.2.1 Uso de suelo

Según el análisis realizado a la información registrada por el (Ministerio del Ambiente, 2016) para el año 2014 sobre el uso y cobertura del suelo, a nivel de toda la CARG, se perciben cambios relativamente cortos, lo que permite que las diferentes parametrizaciones dadas en el trabajo de (Ortega, 2018) puedan mantenerse para este proyecto. En este análisis se destaca la reducción de la vegetación natural propia de la CARG en aproximadamente un 14% lo que supondría un cambio en los parámetros de modelación referentes a la interceptación, infiltración e impermeabilidad, sin embargo, es importante analizar el resto de las condiciones de uso y cobertura de suelo, por tanto, se logra observar un incremento de aproximadamente 6% con respecto a mosaicos de vegetación natural y pastos, también un incremento de cultivos de ciclo corto con 1,67% y una disminución de 4,68% de los cultivos permanentes. Para la zona urbana, como era de esperarse, se ha obtenido un incremento aproximado a 5%, esto quiere indicar que las actividades agrícolas y el aumento demográfico han reducido la cantidad de vegetación endémica de la CARG.

De igual manera, si se analiza a nivel de subcuencas (ver **ANEXO II**) se logran obtener cambios más significativos, en la subcuenca H-145 existe una reducción importante de vegetación natural que se ha convertido a mosaico vegetal natural, zona urbana y pastos, en esta subcuenca también se percibe una reducción de cultivos tanto de ciclo corto como permanentes. Para la subcuenca H-146 los cambios no han sido muy notorios, la reducción de vegetación natural es mínima, así como el incremento de zona urbana y frontera agrícola, lo que determina la poca influencia de la población. Con respecto a la subcuenca H-149, es notoria la reducción de espacios vegetales endémicos que en algún punto fueron reemplazados por áreas cultivables y en el 2014 se muestran como pastos reduciendo la zona agrícola. Ante esto, se menciona que la mayoría de los pastizales y mosaicos, se generan a partir del abandono de las actividades agropecuarias (Gillespie et al., 2000; Velásquez, 2005). Los cambios para la subcuenca H-159 son similares a los ya mencionados, la tendencia de reducción de la vegetación natural es constante entre subcuencas, lo que se evidenció en el análisis general de la CARG. Estos cambios han sido muy relevantes para la modelación, ya que, como se ha mencionado la finalidad de este proyecto es considerar el cambio de uso y cobertura de suelo.

Además, es importante acotar que, al presenciar un declive en la cantidad de vegetación natural de la CARG y la extensión de zonas urbanas y pastos, se puede decir que el área impermeable ha aumentado, lo que acarrea la disminución de agua que infiltra el suelo y a su vez la cantidad de precipitación que se convierte en escorrentía superficial y llega a unirse al caudal también ha aumentado lo que ocasiona una crecida en el caudal modelado. El estudio de (Henríquez et al., 2006) sobre la relación entre el cambio de uso de suelo y la escorrentía superficial, validado por la información de (Goudie, 1990; Weng, 2001), menciona que uno de los impactos ambientales más evidentes a raíz de la impermeabilización de las coberturas naturales es el aumento de la cantidad de escorrentía superficial.

3.2.2 Modelación y calibración

Para el análisis, en el modelo se procede a trabajar con el subperiodo húmedo que expresa los años más lluviosos 1983-1984 y el subperiodo seco que considera los años más secos 2014-2015, ambos subperiodos se han seleccionado mediante el análisis del periodo 1982 a 2015.

Como se explicó en el apartado de metodología, no todos los parámetros han sido actualizados ya que existe cierta similitud en el comportamiento de caudales y precipitaciones con respecto a lo obtenido por (Ortega, 2018) y a lo tratado en este trabajo. No obstante, los parámetros que cambiaron han tomado en consideración las alteraciones presenciadas en el uso y cobertura de suelo, por lo que su cambio en algunos casos ha sido más extremo que

en otros, pero es importante acotar que estos han otorgado valores que permanecen en los rangos establecidos en bibliografías similares (Arias-Hidalgo et al., 2013; J. J. Cabrera, 2017; Feldman, 2000) por lo que estos valores de Descarga Inicial del método de Caudal Base, los valores de Almacenamiento Inicial y Capacidad de almacenamiento del método Canopy (Intercepción) por vegetación y los valores de Impermeabilidad e Infiltración del método de Pérdidas son aprobados para realizar la modelación. Al observar la Tabla de Resumen de la calibración en el periodo de referencia presenciada en la **Figura 11** se destaca la función objetivo Nash-Sutcliffe con un valor de 0,557 que según (Cruz & Romero, 2018; Molnar, 2011) resulta un modelo con una eficiencia “buena”. Así mismo, la fecha del pico de la descarga difiere con apenas una hora lo que es un buen indicador de la ubicación correcta de los picos del modelo. Visualmente, se aprecia la alta similitud entre el caudal observado y el modelado, lo que también podría ser utilizado como un indicador de eficiencia del modelo.

3.2.3 Análisis de variabilidad climática

A continuación, se muestran las gráficas realizadas con la finalidad de determinar el impacto que ha presentado la CARG ante variaciones climáticas, todo esto previo a la modelación del periodo de referencia 2010 – 2015, el subperiodo húmedo (1983 – 1984) y el seco (2014 – 2015).

3.2.3.1 Correlación entre caudal modelado en H0146 y precipitación de las diferentes subcuencas

Se ha determinado el coeficiente de correlación existente entre el caudal modelado y las precipitaciones de las distintas subcuencas que componen la CARG con la finalidad de verificar que espacio de esta cuenca han influido más en la modelación del caudal referente a variabilidad para el periodo de referencia, es decir, desde el año 2010 al 2015.

En la **Figura 17** se puede observar la comparación gráfica del caudal modelado y las precipitaciones a nivel diario, a simple vista se denota que la línea de tonalidad azul, referente a la precipitación de la subcuenca H-146 es la que más se asemeja al caudal resultante de la modelación. No obstante, para determinar de manera más clara se procede a determinar los coeficientes de correlación (**Tabla 16**), cuyo objetivo es ayudar a determinar la variabilidad de un evento en específico. Es decir, que al realizar esta correlación se facilita el entendimiento sobre cierta explicación, referida a variación, del caudal modelado.

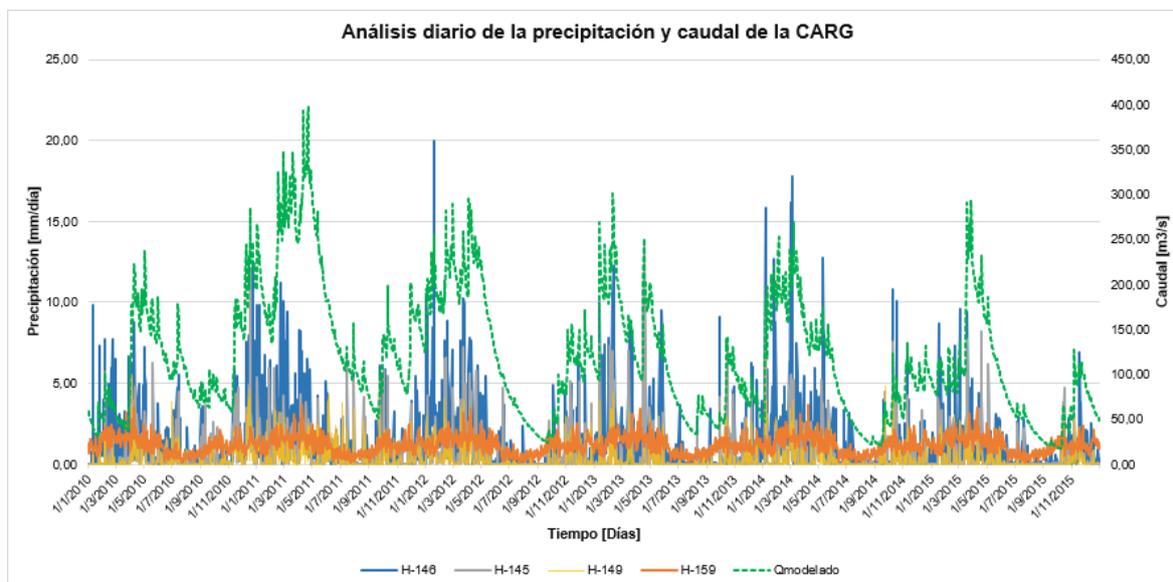


Figura 17. Valores diarios del caudal modelado y las precipitaciones de las distintas subcuencas pertenecientes a la CARG.

Elaboración: Autor

Tabla 16. Coeficientes de correlación obtenidos entre la precipitación de las subcuencas y el caudal modelado.

| Subcuenca | Valor del coeficiente de correlación |
|-----------|--------------------------------------|
| H-146 | 0,445 |
| H-145 | 0,388 |
| H-149 | 0,379 |
| H-159 | 0,434 |

Elaboración: Autor

Los valores de correlación obtenidos se muestran en la **Tabla 16**, mismos que han resultado considerablemente bajos, lo que significa que la similitud entre las variables no es tan apreciable, es decir, pueden existir intervalos en los que la variabilidad entre precipitación y caudal es el mismo, de tal manera que, al no ser la mayoría los que coinciden se obtiene una correlación baja. Sin embargo, se evidencia que efectivamente la precipitación asignada a la subcuenca H-146 referente a la zona baja de la CARG mantiene la correlación más alta con el caudal modelado situación que empata con la alta precipitación mostrada en esa zona lo que significa que los eventos de precipitación desarrollados en la subcuenca H-146 han intervenido de mayor manera en el control de la variabilidad de los caudales.

La similitud entre la precipitación de la subcuenca H-146 y el caudal modelado, al mantener la correlación más fuerte de entre las 4 subcuencas analizadas, indica que ante un

posible cambio en la climatología de la zona baja de la CARG se obtendrán caudales mucho más elevados en el futuro. Adicionalmente, si la precipitación disminuye en este punto la similitud entre ambas variables también lo hará lo que dificultaría la correlación, pero comprobaría la incidencia de este espacio en el modelo.

Con respecto a la relación con el cambio climático, es importante acotar que la precipitación neta del sitio no es la única fuente de entrada de agua para el caudal en la zona baja de la CARG. Al ser una cuenca con un área considerable, la parte baja se llega a ver afectada por los fenómenos climáticos de la región costanera del país ya que, aunque sea de conocimiento que las aguas de la CARG drenan hacia el Océano Pacífico también existe un efecto inverso en el que se presencian vientos húmedos provenientes de los anticiclones existentes en este océano mismos que se elevan al momento de encontrarse con la Cordillera de los Andes y como resultado de este proceso descargan su humedad sobre las estribaciones montañosas en forma de lluvia (Pointo, 2014). Además, la parte baja de la cuenca guarda similitud con la zona costanera por lo que al aumentar la lluvia en las costas aumenta intensidad de lluvia en parte baja (Ortega, 2018).

Así mismo, aunque el cambio de uso y cobertura de suelo presenciado en la subcuenca H-146 no ha sido extremo (ver **Tabla 20** y **Figura 21** del **ANEXO II**) la disminución de vegetación natural puede influir en el incremento de los caudales ya que como es de conocimiento, esta reducción provoca menos cantidad de intercepción por parte de las plantas lo que ocasiona que más precipitación llegue al suelo acompañado de la formación de suelos más impermeables que aumentan la cantidad de escorrentía que contribuye al aumento del caudal aguas abajo (Henríquez et al., 2006).

3.2.3.2 Análisis de la magnitud de los caudales modelados en los subperiodos seco y húmedo con relación al periodo de referencia

Se ha obtenido el porcentaje de variación entre los caudales modelados, el periodo de referencia abarca los años 2010 al 2015, el subperiodo de mayor precipitación refiere a los años 1983 a 1984 y el subperiodo que ha registrado el mínimo de precipitación corresponde a los años 2014 – 2015, en la **Figura 18** y **19** se puede observar la variación existente entre los caudales para los datos observados y para los modelados a nivel diario.

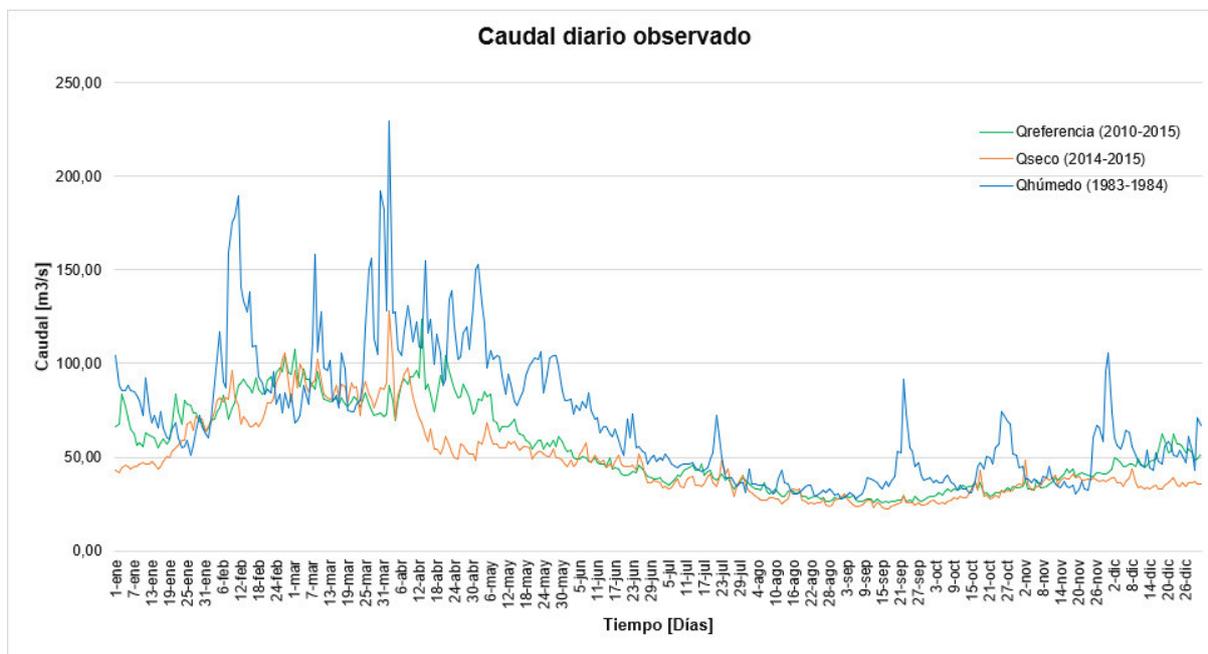


Figura 18. Comparativa entre caudales observados para el periodo de referencia, el subperiodo seco y el húmedo a nivel diario.

Elaboración: Autor

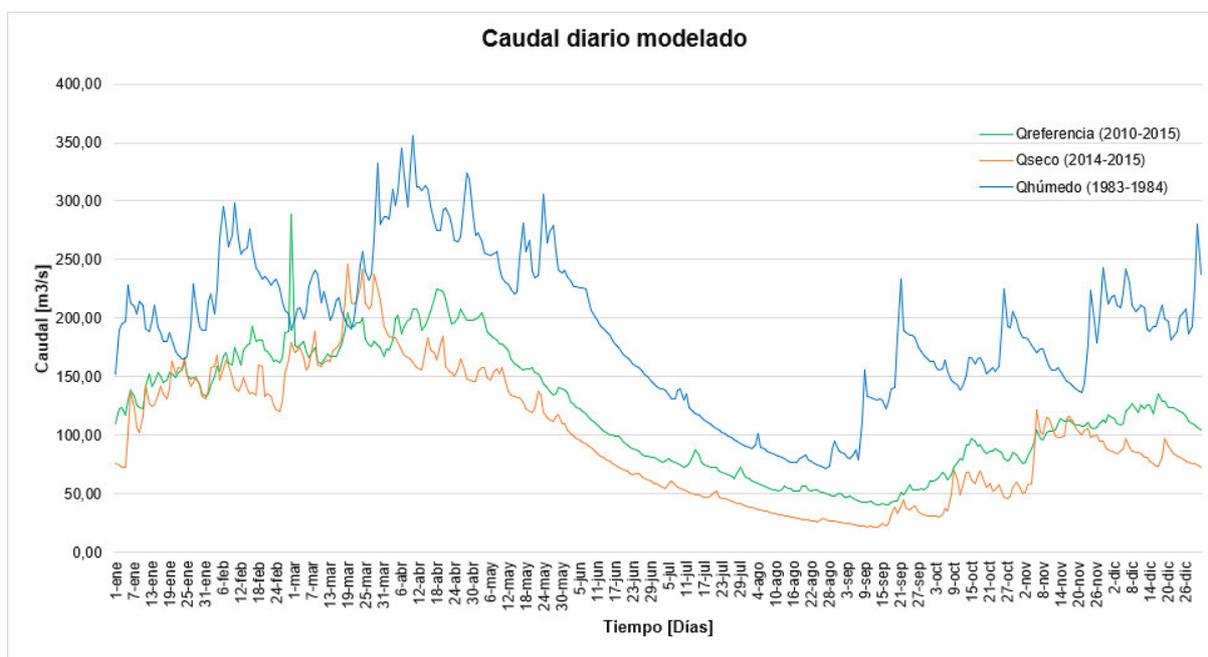


Figura 19. Comparativa entre caudales modelados con HEC-HMS para el periodo de referencia, el subperiodo seco y el húmedo a nivel diario.

Elaboración: Autor

Para ambos casos presentados en las **Figuras 18** y **19** se aprecia que los caudales obtenidos para el subperiodo húmedo, mismos que están representados con la línea de

tonalidad azul, sobrepasan a los caudales del periodo de referencia. Así mismo, los caudales del subperiodo seco (línea de tonalidad naranja) han resultado inferiores a los presenciados en el periodo de referencia.

Sin embargo, para obtener el cambio a nivel de indicador cuantitativo se han determinado los valores promedio de los porcentajes de variación entre caudales de cada época analizada, lo que se registra en la **Tabla 17**. Como se mencionó, el análisis se realizó a nivel diario por lo que se obtuvieron valores porcentuales de variación diarios, estos pueden ser observados a mayor detalle en el **ANEXO VI**.

Tabla 17. Valores promedio de los porcentajes de variación obtenidos con respecto a la comparación entre los diferentes subperiodos y el periodo de referencia.

| DATOS OBSERVADOS | |
|---|----------------------------------|
| Época | ΔQ [%] |
| Subperiodo seco | -13,78 |
| Subperiodo húmedo | 16,34 |
| DATOS MODELADOS | |
| Época | ΔQ [%] |
| Subperiodo seco | -34,26 |
| Subperiodo húmedo | 37,62 |
| VARIACIÓN ENTRE OBSERVADOS Y MODELADOS | |
| Subperiodo seco | 20,48 |
| Subperiodo húmedo | 21,28 |

Elaboración: Autor

Con respecto a los datos observados, se tiene que a nivel diario la variación de caudal para un año húmedo representa aproximadamente el 16,34%, mientras que para un año seco se ha obtenido una variación de -13,78% en el caudal con respecto al año de referencia. Esto se visualiza en la **Figura 18** donde los hidrogramas se encuentran relativamente cercanos, sobre todo en relación con el subperiodo seco y el periodo de referencia.

Caso contrario ocurre en la **Figura 19**, donde la primera apreciación que se tiene, referente a los datos modelados, es que los valores de variación incrementaron en relación con lo mostrado en los datos observados, es decir, existe más porcentaje de variación entre los caudales de los subperiodos y los de referencia. Es aquí como, para el subperiodo seco se tiene un incremento de 20,48% ya que el valor de variación a nivel diario es de -34,26% y para el subperiodo húmedo un valor de aumento aproximado a 21,28% por el resultado de variación equivalente a 37,62% lo que indica que el modelo hace que el caudal resultante tienda a húmedo.

3.3 Conclusiones

3.3.1 Conclusión referente al objetivo general

La modelación hidrológica de la CARG con el software HEC – HMS fue posible en los escenarios planteados. Este análisis ha permitido el reconocimiento del impacto que llega a tener la variabilidad climática en esta cuenca en conjunto con la intervención del cambio de uso y cobertura de suelo más reciente, de esta manera se han podido identificar los escenarios de mayor disponibilidad de agua.

3.3.2 Conclusiones referentes al primer objetivo específico

La influencia antropogénica dentro de la CARG ha sido identificada a través del análisis referente al cambio del uso y cobertura del suelo entre el año 1982 y el periodo más actual que corresponde al año 2014, es así como se ha observado la disminución de las áreas con vegetación natural a lo largo de la cuenca a la vez que las zonas urbanas y la frontera agrícola incrementa, esto es un factor importante ya que influye en la disponibilidad de agua lo que efectivamente va a llegar a afectar al mismo ser humano en periodos futuros. Aunque hay zonas de la CARG en las que el cambio no ha sido notable, como es el caso de la subcuenca correspondiente a la estación H-146, en esta el cambio es bajo lo que evidencia una baja intervención humana. En contraste se tiene a la subcuenca H-145 que muestra una disminución alarmante de la vegetación natural acompañada del incremento de las zonas urbanas.

El método de comparación de inventarios de información hidrometeorológica disponible fue clave para la identificación del periodo de referencia 2010 – 2015, que fue el más idóneo para poder representar a la CARG a través de la modelación y también al uso de suelo más reciente registrado en este espacio. Adicionalmente, los subperiodos extremos considerados para representar las precipitaciones muy altas y bajas, el húmedo 1983 – 1984 y el seco 2014 – 2015, han servido para dar una idea de que como sería el comportamiento del modelo ante futuras condiciones extremas.

3.3.3 Conclusiones referentes al segundo objetivo específico

El método de prueba y error es muy útil para obtener una parametrización idónea que logre representar en un nivel alto a la realidad de una cuenca, en este caso se tiene una calibración base de (Ortega, 2018) que ha servido para tener una idea de la manera en la que se debe proceder para hallar los valores más certeros, es así como al analizar los factores de intercepción, infiltración e impermeabilidad a raíz del cambio de uso y cobertura de suelo se

ha logrado manifestar los mismos dentro del modelo, siendo los parámetros Constant Rate e Impervious los que más mostraron influencia en la modelación realizada.

Al fijar una función objetivo se asegura la eficiencia del modelo, es por esto que los valores del coeficiente Nash – Sutcliffe son muy importantes y recomendados al momento de modelar hidrológicamente. Luego de la etapa de prueba – error y optimización del parámetro Constant Rate, referente a la capacidad de infiltración del suelo, se obtuvo un valor del 56% de eficiencia lo que evidencia una representación buena de las condiciones de la CARG, de tal manera que se evalúa la capacidad del modelo para poder representar situaciones en las que se tengan precipitaciones muy altas o bajas.

El modelo HEC – HMS resulta muy útil y confiable para realizar análisis hidrológicos, si se realiza de manera correcta puede ser capaz de colaborar en el análisis y prevención de eventos climáticos extremos como son las inundaciones y sequías (Estrada & Pacheco, 2012), todo es cuestión de representar bien el espacio que deseamos analizar y hallar los valores más idóneos de parámetros según los métodos que se elijan.

3.3.4 Conclusiones referentes al tercer objetivo específico

La correlación entre el caudal y la precipitación ayuda a determinar la variabilidad de un evento más no el cambio en la magnitud, es decir, cuando existe una correlación fuerte entre dos variables, las variaciones de una son explicadas por las variaciones de la otra. Ante esta premisa, mediante el cálculo de los coeficientes de correlación para las distintas subcuencas que componen la CARG, se ha determinado que la subcuenca H-146, parte baja de la cuenca, influyó de manera significativa en la generación de caudales del modelo ya que presentó el coeficiente de correlación más alto de las 4 subcuencas analizadas y también ha sido la que mayor precipitación registró en el periodo analizado. Esto puede explicarse por la influencia de la zona costera del Ecuador en esta parte de la cuenca, además de la humedad proveniente de fenómenos climáticos presentes en el Océano Pacífico, misma que puede llegar a la zona andina de la cuenca y contribuir a la cantidad de agua que ingresa en este espacio.

Los caudales observados para las tres épocas tratadas mostraron una variación cercana al 13% lo que indica cierta cercanía, no obstante, la variación porcentual de los caudales incrementa si al modelo, previamente calibrado, se le somete a condiciones extremas de precipitación que se han dado en el pasado pero que pueden repetirse en el futuro aún más reforzadas en el marco del cambio climático. Es decir, cuando se tienen condiciones de precipitaciones altas los caudales aumentan y si se tienen precipitaciones

bajas los caudales disminuyen, todo esto en mayor cantidad con respecto a los caudales de referencia.

3.4 Recomendaciones

La selección del periodo de referencia es sumamente importante y debe analizarse a profundidad ya que, para poder realizar una modelación hidrológica es necesario tener una base de datos representativa y robusta que pueda abarcar eventos radicales para observar los diferentes cambios que puedan ocurrir dentro de una cuenca. Si no se obtiene un periodo lo suficientemente extenso es posible que el modelo no llegue a representar la realidad de la cuenca.

La modelación hidrológica es una herramienta muy útil para comprender los procesos que se desarrollan en una cuenca, por este motivo se sugiere que se amplíe el desarrollo de este proyecto de tal manera que también se puedan predecir escenarios futuros de la disponibilidad de agua en la CARG.

Como ya se explicó, HEC – HMS maneja muchos métodos para realizar las modelaciones, de acuerdo con esto se recomienda realizar la modelación hidrológica de la CARG con otros métodos que sean más confiables y conocidos para que puedan reflejar aún más la realidad de los procesos hidrológicos desarrollados en esta cuenca, de esta manera se pueden realizar comparaciones entre métodos y así verificar cuales serían los que se ajusten más a la cuenca.

La selección de los valores de parametrización es uno de los pasos más importantes en la modelación ya que de estos dependerá la similitud entre caudal modelado y observado, es recomendable realizar una calibración más exhaustiva con métodos computacionales que agilicen la modelación sin afectar los resultados.

El modelo desarrollado en este proyecto no tuvo su etapa de validación, motivo por el cual se propone realizar esta actividad para que el modelo pueda llegar a ser más confiable y de esta manera podría utilizarse para otros análisis similares en la CARG.

De ser posible, se propone obtener las bases de datos hidrometeorológicos más recientes detectadas en la CARG ya que esto mostraría la realidad actual de la cuenca, así mismo es importante conseguir cartografía con buena resolución que permita representar lo que más se pueda el uso de suelo en la cuenca.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo*.
- Arias-Hidalgo, M., Bhattacharya, B., Mynett, A. E., & van Griensven, A. (2013). Experiences in using the TMPA-3B42R satellite data to complement rain gauge measurements in the Ecuadorian coastal foothills. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(7), 2905–2915. <https://doi.org/10.5194/hess-17-2905-2013>
- Badillo, M. (2018). *ANÁLISIS DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y SU INCIDENCIA EN EL SECTOR AGRÍCOLA EN EL ECUADOR EN EL AÑO 2017*.
- Bozzano, H., Carut, C., Barbetti, C., Cirio, G., & Arrivillaga, N. (2008). Usos del suelo y lugares: Criterios teórico-metodológicos. Aplicación a un caso en Guatemala. *Revista Universitaria de Geografía*.
- Cabrera, J. (2010). *Calibración de Modelos Hidrológicos*.
- Cabrera, J. J. (2017). *Evaluación del modelo HEC-HMS para la simulación hidrológica de una cuenca de páramo. Cuenca-Ecuador*.
- Cabrera, P. (2011). *GOBERNANZA INTERESCALAS PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS: El caso de la Cuenca Alta del Río Guayllabamba*. www.flla.net
- Campos, D. F. (1998). *Procesos del ciclo hidrológico* (Vol. 3). Editorial Universitaria Potosina.
- Chávez, T. (2012). *Análisis hidrológico ante impactos del cambio climático y cambios de uso del suelo en la cuenca del río Compasagua, Nicaragua*.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología Aplicada*.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2020). *Monitoreo de la cobertura de suelo*. Monitoreo. <https://www.biodiversidad.gob.mx/monitoreo/cobertura-suelo>
- Coy, L. (2012). *AJUSTE Y VALIDACIÓN DEL MODELO PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA GR2M APLICADO A LA SUBCUENCA NEVADO*.
- Cruz, E., & Romero, J. (2018). *Análisis comparativo de los modelos lluvia - escorrentía: GR2M, TEMEZ y LUTZ-SCHOLZ aplicados en la subcuenca del río Callazas*.
- Cunderlik, J., & Simonovic, S. P. (2004). *Selection of calibration and verification data for the HEC-HMS hydrologic model*.
- de Bievre, B., & Coello, X. (2008a). *Caracterización de la Demanda Hídrica*.

- de Bievre, B., & Coello, X. (2008b). *Diagnóstico del Balance entre Oferta y Demanda Hídrica*.
- de la Rosa, C., & Monroy, A. (2006). Mosaicos de vegetación para la restauración ecológica en una zona semiárida. In *Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* (Vol. 9, Issue 2).
- Departamento de Agricultura. (2016). *El agua y las cuencas hidrográficas*. https://www.fs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb5338930.pdf
- Departamento de Ingeniería Hidráulica Marítima y Ambiental. (2005). *Manual de utilización del programa HEC - HMS*.
- Dueñas, C. (1997). *Marco normativo vigente ante el riesgo de inundaciones*. En *VI- La protección civil ante el riesgo de inundaciones*. (Cámara del Senado, Ed.).
- Duque-Sarango, P., Patiño, D. M., & López, X. E. (2019). Evaluación del Sistema de Modelamiento Hidrológico HEC-HMS para la Simulación Hidrológica de una Microcuenca Andina Tropical. *Información Tecnológica*, 30(6), 351–362. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642019000600351>
- Espinosa, J. (2019). *Impacto del cambio climático y de los cambios del uso del suelo en los caudales de la cuenca del río Frío*.
- Estrada, V., & Pacheco, R. (2012). *Modelación hidrológica con HEC-HMS en cuencas montañosas de la región oriental de Cuba Hydrological modeling with HEC-HMS in mountainous basins of Cuban eastern region*. XXXIII(1), 94–105.
- Feldman, A. (2000). *Hydrologic Modelling System HEC–HMS, Technical reference manual* (U. S. Army Corps of Engineers & Hydrologic Engineering Center, Eds.).
- Garrido, M. (2017). *Cálculo de la transformación lluvia-escorrentía mediante un modelo Saint Venant 2D*.
- Gericke, O. J., & Smithers, J. C. (2014). Review of methods used to estimate catchment response time for the purpose of peak discharge estimation. *Hydrological Sciences Journal*, 59(11), 1935–1971. <https://doi.org/10.1080/02626667.2013.866712>
- Gillespie, T. W., Grijalva, A., & Farris, C. N. (2000). Diversity, composition, and structure of tropical dry forests in Central America. In *Plant ecology* (pp. 37–47).
- Gómez, G., Munive, R., Mallma, T., & Orihuela, C. (2014). *Evaluación de la tasa de infiltración en tierras agrícolas, forestales y de pastoreo en la subcuenca del río Shullcas*.

- González, W. (2016). *ANÁLISIS DE LA OFERTA Y DEMANDA DE AGUA PARA LA CUENCA DEL GUAYLLABAMBA, BAJO CONDICIONES DE SEQUÍA*.
- Goudie, A. (1990). *The human impact on the natural environment*.
- Henríquez, C., Azócar, G., & Aguayo, M. (2006). Cambio de uso del suelo y escorrentía superficial: Aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles, VIII Región del Biobío, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 36, 61–74. <https://doi.org/10.4067/s0718-34022006000200004>
- INAMHI. (2011). *Instrumentos Meteorológicos*. https://issuu.com/inamhi/docs/instrumentos_met/21
- INAMHI. (2017). *Geoinformación Hidrometeorológica*. <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/geoinformacion-hidrometeorologica/>
- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. (2009). *Concepto suelo*. Suelos. <https://www.icgc.cat/es/Administracion-y-empresa/Servicios/Suelos/Concepto-suelo>
- Linsley, R. K., Kohler, M. A., & Paulus, J. L. (1977). *Hidrología para Ingenieros*.
- López, J., González, M., Scaini, A., Goñi, M., Valdenebro, J., & Gimena, F. (2012). *Caracterización del modelo HEC-HMS en la cuenca de río Arga en Pamplona y su aplicación a cinco avenidas significativas*.
- Luna, E., & Lavado, W. (2015). Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes de precipitación en estaciones de la cuenca Jetepeque, Perú. *Revista Tecnológica ESPOL*, 42–52.
- Metzger, P., & Bermúdez, N. (1996). *El medio ambiente urbano en Quito*.
- Ministerio del Ambiente, A. y T. E. (2016). *Mapa Interactivo - Cobertura de la tierra 2014. Análisis de La Deforestación En El Ecuador Continental 1990 - 2014*. Quito - Ecuador. <http://ide.ambiente.gob.ec/mapainteractivo/>
- Molnar, P. (2011). Calibration. Watershed Modelling. In *Watershed Modelling*.
- Morales, C. (2014). *Determinación del comportamiento del flujo base y su relación con variables de estado hidrológicas en la cuenca del río Diguillín, Región del Biobío, Chile*. Universidad de Concepción.
- Mozo, J., Varni, M., Ares, M., & Chagas, C. (2020). *MODELADO HIDROLÓGICO DE LA PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA EN UNA MICROCUENCA AGRÍCOLA DEL PARTIDO DE AZUL, BUENOS AIRES*.

- Nania, L. (2007). *Manual básico de HEC-HMS 3.0.0 y HEC-GeoHMS 1.1.*
- Natural Resources Conservation Service. (2007). *National Engineering Handbook, Hydrology: Chapter 16 Hydrographs.*
- Natural Resources Conservation Service. (2009). *National Engineering Handbook, Hydrology: Chapter 7 Hydrologic Soil Groups.*
- Natural Resources Conservation Service. (2010). *National Engineering Handbook, Hydrology: Chapter 15 Time of Concentration.*
- Oficina Internacional del Agua. (2009). *FONAG : CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS.*
- Ontaneda, D. (2020). *Efectos de la variabilidad climática sobre los caudales aportantes al embalse Salve Faccha perteneciente a la red de agua potable Papallacta.*
- Orellana, C. (2015). *ESCENARIOS HIDROLÓGICOS EN LA CUENCA DEL RÍO GUAYLLABAMBA: MODELACIÓN DE CAUDALES MÍNIMOS.*
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2008). *Textura del Suelo.* FAO Training: Cáp. 6. https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm
- Ortega, M. (2018). *EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE DATOS DE PRECIPITACIÓN SATELITAL (TMPA-3B42R) SOBRE LA SIMULACIÓN HIDROLÓGICA A ESCALA DIARIA EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO GUAYLLABAMBA.*
- Pagano, T., & Sorooshian, S. (2002). *Encyclopedia of Global Environmental Change: Hydrologic Cycle* (T. Munn, M. MacCracken, & J. Perry, Eds.). John Wiley & Sons.
- Pilgrim, D. H., & Cordery, I. (1992). *Flood runoff.* D. R. Madment, ed., *Handbook of hydrology.*
- Pointo, S. (2014). *La influencia de la cordillera de los Andes en el clima de Bariloche.* <https://barilocheparabrasileiros.com.br/es/2014/02/11/cordilheira-dos-andes-fator-determinante-do-clima-em-bariloche/>
- Rodríguez, F. (2006). Cuencas Hidrográficas, Descentralización y Desarrollo Regional Participativo. *Revista de Las Sedes Regionales*, VII(12), 113–125.
- Ruz, J. (2015). *Introducción a la programación matemática. Tema 1: Modelos lineales de optimización con variables continuas.*

- Seiller, G., Roy, R., & Anctil, F. (2017). Influence of three common calibration metrics on the diagnosis of climate change impacts on water resources. *Journal of Hydrology*, 547, 280–295. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.02.004>
- Soil Science Society of American. (2012). *Physical Properties of Soil*. <https://www.soils4teachers.org/physical-properties/>
- Tenelema, A. (2022). *MODELIZACIÓN HIDROLÓGICA DEL TIPO GLOBAL CONCEPTUAL A FUTURO DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO GUAYLLABAMBA*.
- Tucci, C. (2009). *PLAN DE MANEJO INTEGRADO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO GUAYLLABAMBA*.
- Vaillant, M., Cepeda, D., Gondard, P., Zapatta, A., & Meunier, A. (2007). *MOSAICO AGRARIO: Diversidades y antagonismos socio-económicos en el campo ecuatoriano*.
- Vásconez, M., Mancheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, C., & Ortiz, L. (2019). *Cuencas Hidrográficas* (1st ed.). Universidad Politécnica Salesiana.
- Velásquez, R. A. (2005). *Selectividad animal de forrajes herbáceos y leñosos en pasturas naturalizadas en función de épocas, manejo y condición de paisaje en Muy Muy, Nicaragua*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Villegas, P. (2011). *Polígonos de Thiessen*. <https://aguaysig.com/poligonos-de-thiessen-en-arcgis/#:~:text=El%20m%C3%A9todo%20de%20los%20pol%C3%ADgonos,distribuci%C3%B3n%20de%20los%20puntos%20originales>.
- Weber, J., Dasso, C., & Jorquera, E. (2010). *DESARROLLO Y CALIBRACIÓN DE UN MODELO HIDROLÓGICO DE SIMULACIÓN MIXTA*. <http://www.frc.utn.edu.ar><http://www.ina.gov.ar><http://www.amcaonline.org.ar>
- Weng, Q. (2001). Modeling Urban Growth Effects on Surface Runoff with the Integration of Remote Sensing and GIS. In *Environmental Management* (Vol. 6, pp. 737–748).

5. ANEXOS

ANEXO I

**COBERTURA Y USO DE LA TIERRA OBTENIDA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE,
AGUA Y TRANSICIÓN ECOLÓGICA PARA EL AÑO 2014**

Tabla 18. Usos y coberturas desagregados

| Nivel I | Nivel II | Definición Operativa |
|--|-----------------------------------|---|
| Bosque | Bosque Nativo | Ecosistema arbóreo, primario o secundario, regenerado por sucesión natural; se caracteriza por la presencia de árboles de diferentes especies nativas, edades y portes variados, con uno o más estratos. |
| | Plantación Forestal | Masa arbórea establecida antrópicamente con una o más especies forestales. |
| Vegetación Arbustiva y Herbácea | Vegetación Arbustiva | Áreas con un componente substancial de especies leñosas nativas no arbóreas. Incluye áreas degradadas en transición a una cobertura densa del dosel. |
| | Páramo | Vegetación tropical altoandino-caracterizada por especies dominantes no arbóreas que incluyen fragmentos de bosque nativo propios de la zona. |
| | Vegetación Herbácea | Áreas constituidas por especies herbáceas nativas con un crecimiento espontáneo, que no reciben cuidados especiales, utilizados con fines de pastoreo esporádico, vida silvestre o protección. |
| Tierra Agropecuaria | Cultivo Anual | Comprende aquellas tierras dedicadas a cultivos agrícolas, cuyo ciclo vegetativo es estacional, pudiendo ser cosechados una o más veces al año. |
| | Cultivo Semipermanente | Comprenden aquellas tierras dedicadas a cultivos agrícolas cuyo ciclo vegetativo dura entre uno y tres años. |
| | Cultivo Permanente | Comprenden aquellas tierras dedicadas a cultivos agrícolas cuyo ciclo vegetativo es mayor a tres años, y ofrece durante este periodo varias cosechas. |
| Tierra Agropecuaria | Pastizal | Vegetaciones herbáceas dominadas por especies de gramíneas y leguminosas introducidas, utilizadas con fines pecuarios, que, para su establecimiento y conservación, requieren de labores de cultivo y manejo. |
| | Mosaico Agropecuario (Asociación) | Son agrupaciones de especies cultivadas que se encuentran mezcladas entre sí y que no pueden ser individualizados; y excepcionalmente pueden estar asociadas con vegetación natural. |
| Cuerpo de Agua | Natural | Superficie y volumen asociado de agua estática o en movimiento. |
| | Artificial | Superficie y volumen asociado de agua estática o en movimiento asociadas con las actividades antrópicas y el manejo del recurso hídrico. |
| Zona Antrópica | Área Poblada | Áreas principalmente ocupadas por viviendas y edificios destinados a colectividades o servicios públicos. |
| | Infraestructura | Obra civil de transporte, comunicación, agroindustrial y social. |
| Otras Tierras | Área sin cobertura vegetal | Áreas generalmente desprovistas de vegetación, que, por sus limitaciones edáficas, climáticas, topográficas o antrópicas, no son aprovechadas para uso agropecuario o forestal, sin embargo, pueden tener otros usos. |
| | Glaciar | Nieve y hielo localizados en las cumbres de las elevaciones andinas. |

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2016)

ANEXO II

**CAMBIO DE USO Y COBERTURA DE SUELO POR SUBCUENCA PERTENECIENTE A
LA CUENCA ALTA DEL RÍO GUAYLLABAMBA**

Tabla 19. Uso y cobertura del suelo reportado en la subcuenca H-145.

| Uso agrupado | | Área | 1982 | 2014 | Tasa de cambio |
|--------------|-------------------------------|---|--------|-------|----------------|
| 1 | Cuerpos de agua | Espejo de agua natural, glaciar | 1,26 | 0,00 | 0,29 |
| 2 | Cultivos de ciclo corto | Cultivo anual, mosaico agropecuario | 72,46 | 27,93 | 16,47 |
| 3 | Cultivos permanentes | Cultivo permanente, semipermanente, plantación forestal | 17,06 | 17,91 | 3,88 |
| 4 | Mosaico de vegetación natural | Vegetación arbustiva, vegetación herbácea | 181,16 | 0,07 | 41,17 |
| 5 | Paisajes minerales | Área sin cobertura vegetal | 1,73 | 0,00 | 0,39 |
| 6 | Pastos | Pastizal | 51,44 | 1,96 | 11,69 |
| 7 | Vegetación natural | Páramo, Bosque nativo | 21,98 | 45,25 | 5,00 |
| 8 | Zona urbana o sin determinar | Infraestructura, área poblada | 92,91 | 6,88 | 21,12 |

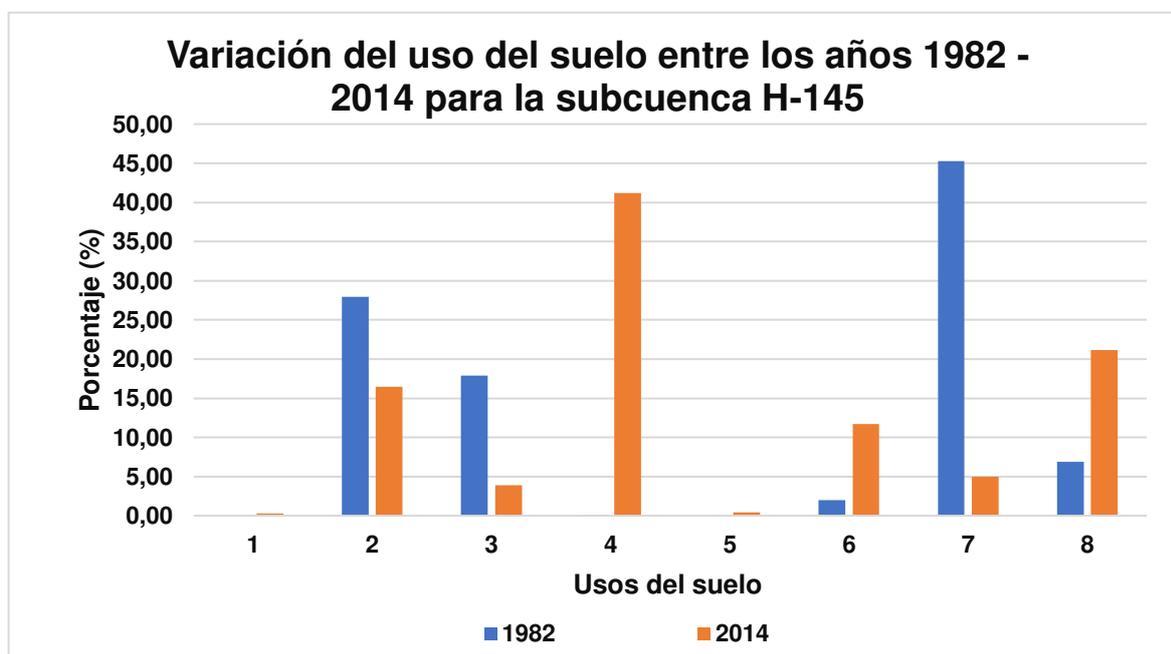


Figura 20. Variación del uso del suelo entre los años 1982 - 2014 para la subcuenca H-145.

Tabla 20. Uso y cobertura del suelo reportado en la subcuenca H-146.

| Uso agrupado | | Área | 1982 | 2014 | Tasa de cambio |
|--------------|-------------------------------|---|--------|-------|----------------|
| 1 | Cuerpos de agua | Espejo de agua natural, glaciar | 4,56 | 0,00 | 0,26 |
| 2 | Cultivos de ciclo corto | Cultivo anual, mosaico agropecuario | 407,31 | 13,93 | 23,22 |
| 3 | Cultivos permanentes | Cultivo permanente, semipermanente, plantación forestal | 49,18 | 8,00 | 2,80 |
| 4 | Mosaico de vegetación natural | Vegetación arbustiva, vegetación herbácea | 34,80 | 6,70 | 1,98 |
| 5 | Paisajes minerales | Área sin cobertura vegetal | 1,05 | 1,10 | 0,06 |
| 6 | Pastos | Pastizal | 292,18 | 15,49 | 16,66 |
| 7 | Vegetación natural | Páramo, Bosque nativo | 959,52 | 57,66 | 54,70 |
| 8 | Zona urbana o sin determinar | Infraestructura, área poblada | 5,61 | 0,00 | 0,32 |

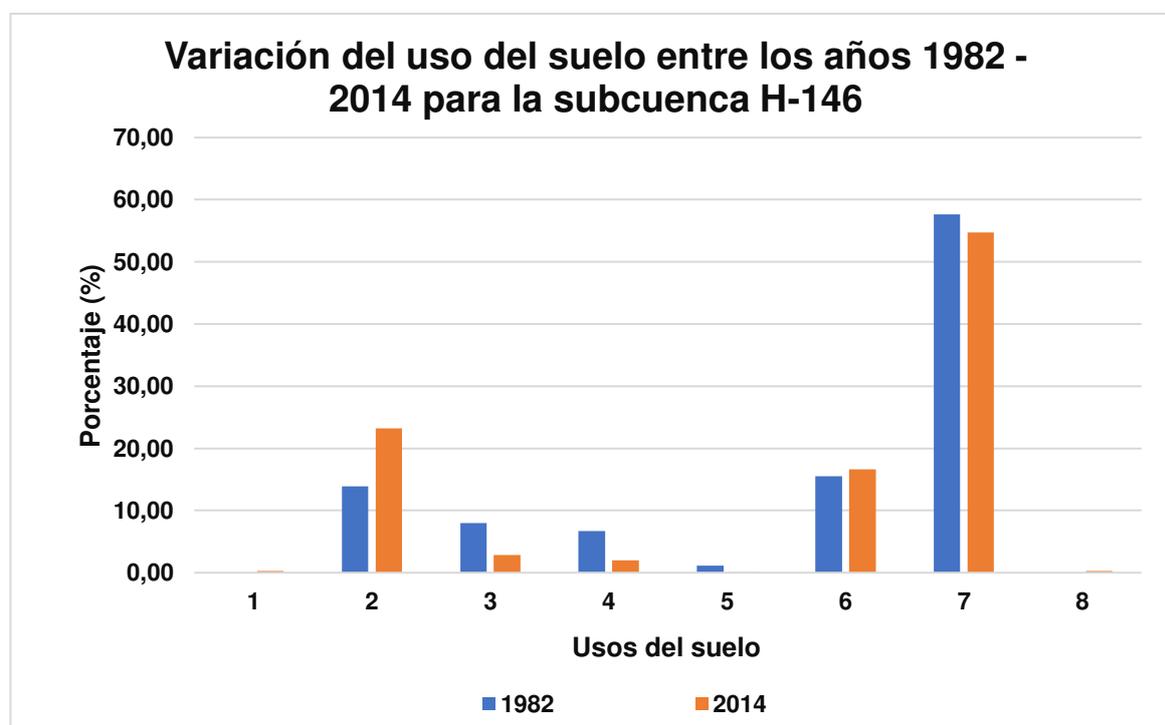


Figura 21. Variación del uso del suelo entre los años 1982 - 2014 para la subcuenca H-146.

Tabla 21. Uso y cobertura del suelo reportado en la subcuenca H-149.

| Uso agrupado | | Área | 1982 | 2014 | Tasa de cambio | |
|--------------|-------------------------------|---|--------|-------|----------------|--------|
| 1 | Cuerpos de agua | Espejo de agua natural, glaciar | 4,82 | 0,45 | 0,89 | 0,44 |
| 2 | Cultivos de ciclo corto | Cultivo anual, mosaico agropecuario | 44,52 | 15,23 | 8,23 | -7,00 |
| 3 | Cultivos permanentes | Cultivo permanente, semipermanente, plantación forestal | 5,99 | 4,93 | 1,11 | -3,82 |
| 4 | Mosaico de vegetación natural | Vegetación arbustiva, vegetación herbácea | 118,14 | 17,48 | 21,84 | 4,36 |
| 5 | Paisajes minerales | Área sin cobertura vegetal | 0,33 | 0,00 | 0,06 | 0,06 |
| 6 | Pastos | Pastizal | 160,05 | 1,24 | 29,59 | 28,35 |
| 7 | Vegetación natural | Páramo, Bosque nativo | 201,67 | 60,68 | 37,28 | -23,40 |
| 8 | Zona urbana o sin determinar | Infraestructura, área poblada | 5,44 | 0,00 | 1,01 | 1,01 |

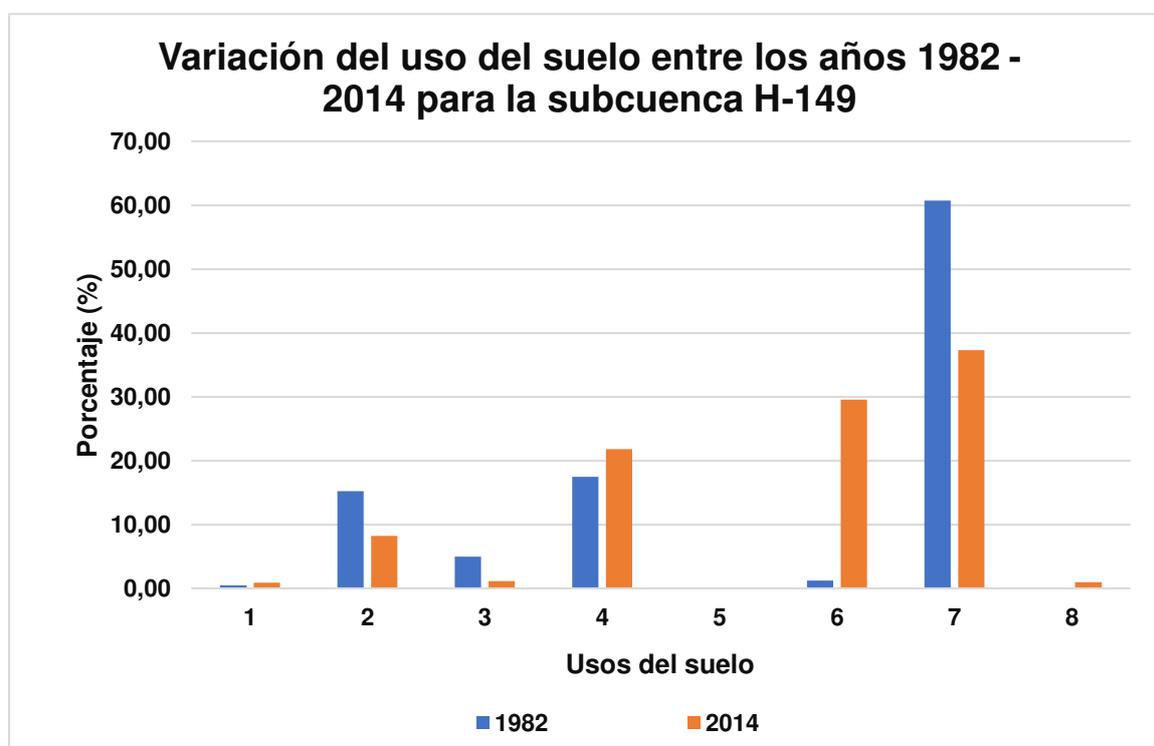


Figura 22. Variación del uso del suelo entre los años 1982 - 2014 para la subcuenca H-149.

Tabla 22. Uso y cobertura del suelo reportado en la subcuenca H-159.

| Uso agrupado | | Área | 1982 | 2014 | Tasa de cambio | |
|--------------|-------------------------------|---|--------|-------|----------------|--------|
| 1 | Cuerpos de agua | Espejo de agua natural, glaciar | 0,08 | 0,00 | 0,02 | 0,02 |
| 2 | Cultivos de ciclo corto | Cultivo anual, mosaico agropecuario | 78,10 | 12,74 | 21,24 | 8,50 |
| 3 | Cultivos permanentes | Cultivo permanente, semipermanente, plantación forestal | 16,42 | 2,80 | 4,47 | 1,67 |
| 4 | Mosaico de vegetación natural | Vegetación arbustiva, vegetación herbácea | 19,28 | 0,00 | 5,24 | 5,24 |
| 5 | Paisajes minerales | Área sin cobertura vegetal | 3,42 | 2,90 | 0,93 | -1,97 |
| 6 | Pastos | Pastizal | 130,32 | 41,53 | 35,44 | -6,09 |
| 7 | Vegetación natural | Páramo, Bosque nativo | 100,53 | 40,03 | 27,34 | -12,69 |
| 8 | Zona urbana o sin determinar | Infraestructura, área poblada | 19,52 | 0,00 | 5,31 | 5,31 |

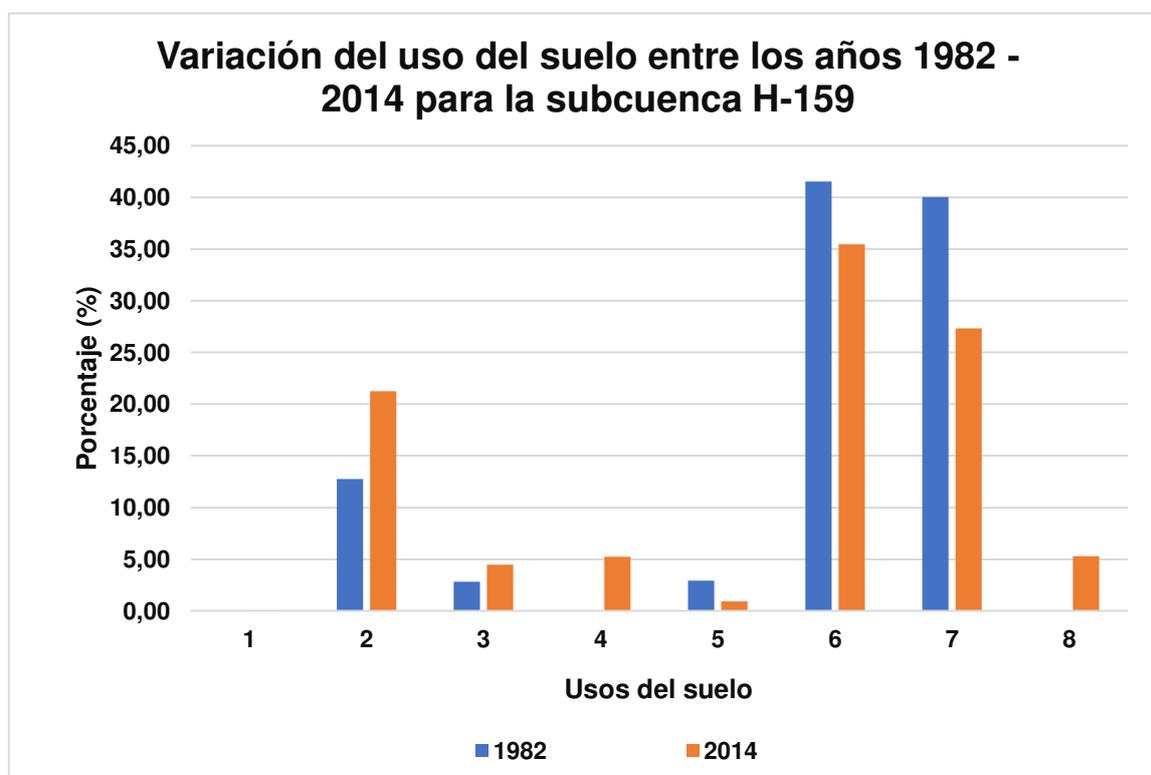


Figura 23. Variación del uso del suelo entre los años 1982 - 2014 para la subcuenca H-159.

Tabla 23. Uso y cobertura del suelo reportado en la subcuenca HI-1.

| Uso agrupado | | Área | 1982 | 2014 | Tasa de cambio |
|--------------|-------------------------------|---|--------|-------|----------------|
| 1 | Cuerpos de agua | Espejo de agua natural, glaciar | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | Cultivos de ciclo corto | Cultivo anual, mosaico agropecuario | 54,00 | 18,46 | -4,77 |
| 3 | Cultivos permanentes | Cultivo permanente, semipermanente, plantación forestal | 21,74 | 0,00 | 5,51 |
| 4 | Mosaico de vegetación natural | Vegetación arbustiva, vegetación herbácea | 42,71 | 0,00 | 10,83 |
| 5 | Paisajes minerales | Área sin cobertura vegetal | 0,03 | 0,00 | 0,01 |
| 6 | Pastos | Pastizal | 147,89 | 53,34 | -15,85 |
| 7 | Vegetación natural | Páramo, Bosque nativo | 56,87 | 20,87 | -6,45 |
| 8 | Zona urbana o sin determinar | Infraestructura, área poblada | 71,24 | 7,33 | 18,06 |

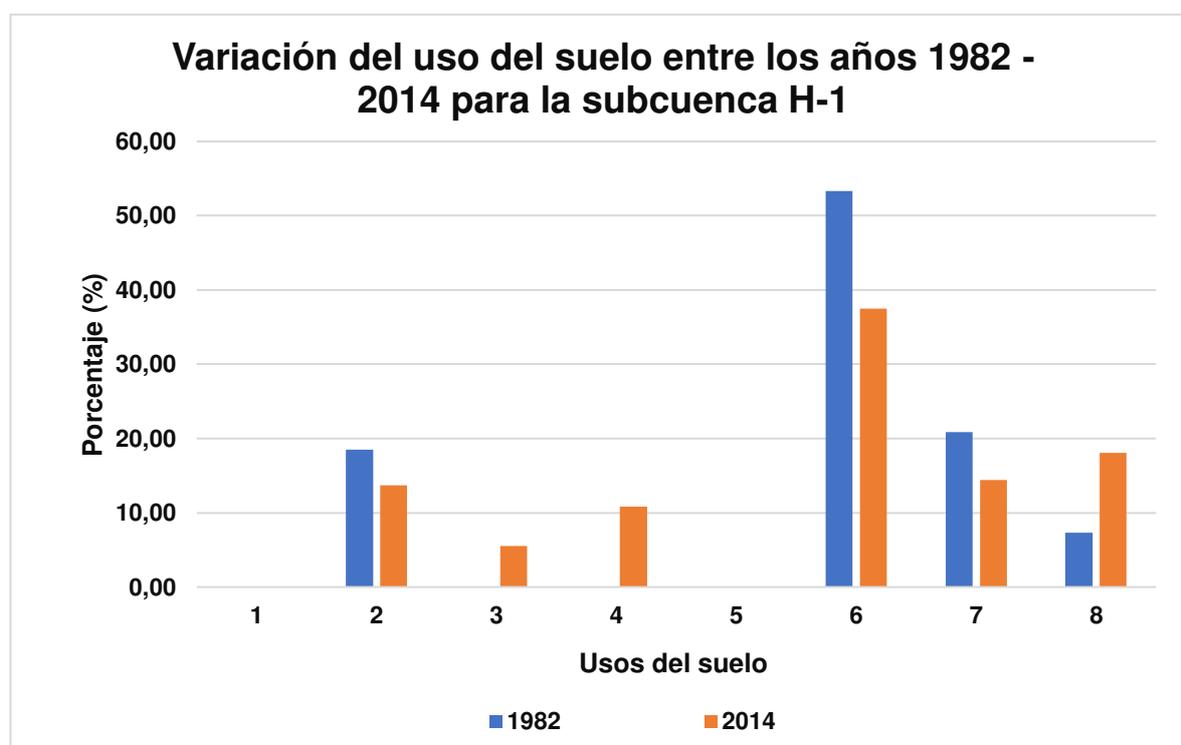


Figura 24. Variación del uso del suelo entre los años 1982 - 2014 para la subcuenca HI-1.

Tabla 24. Uso y cobertura del suelo reportado en la subcuenca HI-2.

| Uso agrupado | | Área | 1982 | 2014 | Tasa de cambio |
|--------------|-------------------------------|---|--------|-------|----------------|
| 1 | Cuerpos de agua | Espejo de agua natural, glaciario | 5,33 | 0,00 | 0,91 |
| 2 | Cultivos de ciclo corto | Cultivo anual, mosaico agropecuario | 20,14 | 0,20 | 3,42 |
| 3 | Cultivos permanentes | Cultivo permanente, semipermanente, plantación forestal | 3,34 | 0,00 | 0,57 |
| 4 | Mosaico de vegetación natural | Vegetación arbustiva, vegetación herbácea | 31,63 | 0,00 | 5,37 |
| 5 | Paisajes minerales | Área sin cobertura vegetal | 69,95 | 6,90 | 11,88 |
| 6 | Pastos | Pastizal | 81,16 | 17,57 | 13,78 |
| 7 | Vegetación natural | Páramo, Bosque nativo | 375,59 | 75,27 | 63,78 |
| 8 | Zona urbana o sin determinar | Infraestructura, área poblada | 1,71 | 0,05 | 0,29 |

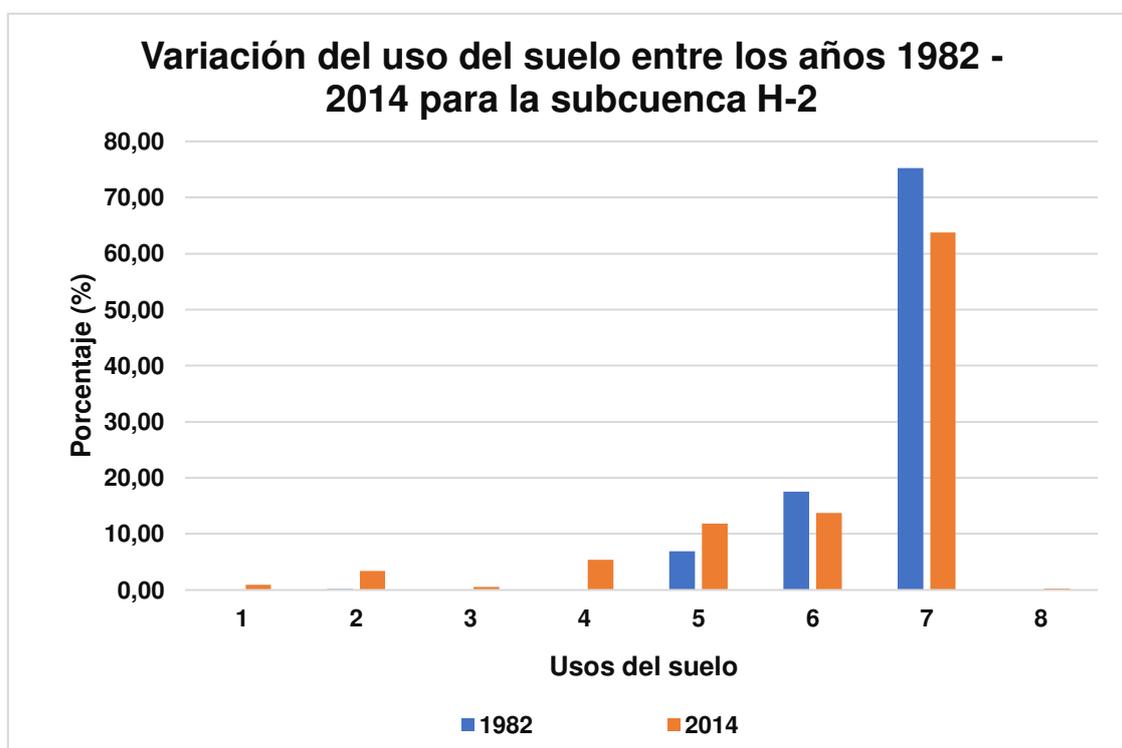


Figura 25. Variación del uso del suelo entre los años 1982 - 2014 para la subcuenca HI-2

Tabla 25. Uso y cobertura del suelo reportado en la subcuenca HI-3

| Uso agrupado | | Área | 1982 | 2014 | Tasa de cambio |
|--------------|-------------------------------|---|--------|-------|----------------|
| 1 | Cuerpos de agua | Espejo de agua natural, glaciar | 2,95 | 0,00 | 0,29 |
| 2 | Cultivos de ciclo corto | Cultivo anual, mosaico agropecuario | 169,63 | 29,84 | -13,01 |
| 3 | Cultivos permanentes | Cultivo permanente, semipermanente, plantación forestal | 26,32 | 0,00 | 2,61 |
| 4 | Mosaico de vegetación natural | Vegetación arbustiva, vegetación herbácea | 140,76 | 0,00 | 13,97 |
| 5 | Paisajes minerales | Área sin cobertura vegetal | 3,43 | 0,65 | -0,31 |
| 6 | Pastos | Pastizal | 210,66 | 16,02 | 20,91 |
| 7 | Vegetación natural | Páramo, Bosque nativo | 372,64 | 53,49 | -14,28 |
| 8 | Zona urbana o sin determinar | Infraestructura, área poblada | 58,81 | 0,00 | 5,84 |

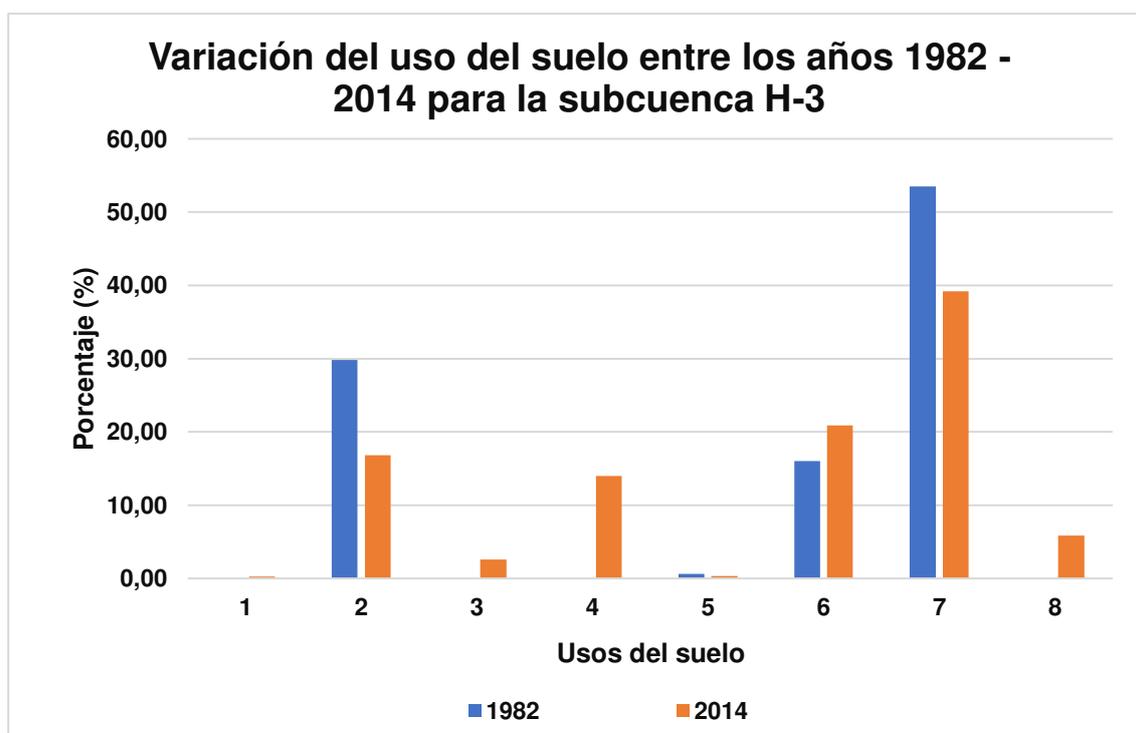


Figura 26. Variación del uso del suelo entre los años 1982 - 2014 para la subcuenca HI-3

Tabla 26. Uso y cobertura del suelo reportado en la subcuenca HI-4

| Uso agrupado | | Área | 1982 | 2014 | Tasa de cambio |
|--------------|---|--------|-------|-------|----------------|
| 1 | Cuerpos de agua Espejo de agua natural, glaciario | 0,45 | 0,00 | 0,21 | 0,21 |
| 2 | Cultivos de ciclo corto Cultivo anual, mosaico agropecuario | 5,63 | 7,35 | 2,59 | -4,76 |
| 3 | Cultivos permanentes Cultivo permanente, semipermanente, plantación forestal | 20,46 | 7,39 | 9,41 | 2,02 |
| 4 | Mosaico de vegetación natural Vegetación arbustiva, vegetación herbácea | 14,27 | 0,00 | 6,56 | 6,56 |
| 5 | Paisajes minerales Área sin cobertura vegetal | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 6 | Pastos Pastizal | 31,85 | 13,68 | 14,65 | 0,97 |
| 7 | Vegetación natural Páramo, Bosque nativo | 12,48 | 16,22 | 5,74 | -10,48 |
| 8 | Zona urbana o sin determinar Infraestructura, área poblada | 132,32 | 55,35 | 60,84 | 5,49 |

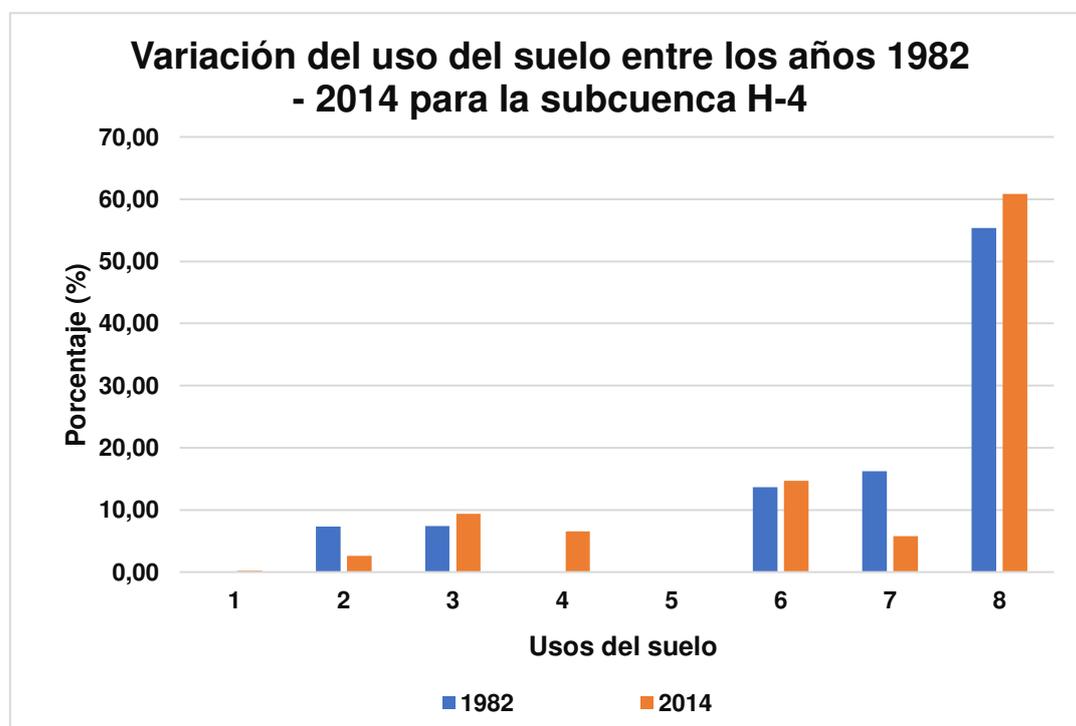


Figura 27. Variación del uso del suelo entre los años 1982 - 2014 para la subcuenca HI-4

Tabla 27. Uso y cobertura del suelo reportado en la subcuenca HI-5

| Uso agrupado | | Área | 1982 | 2014 | Tasa de cambio |
|--------------|---|--------|-------|-------|----------------|
| 1 | Cuerpos de agua Espejo de agua natural, glaciar | 2,27 | 0,00 | 0,20 | 0,20 |
| 2 | Cultivos de ciclo corto Cultivo anual, mosaico agropecuario | 150,81 | 20,15 | 13,51 | -6,64 |
| 3 | Cultivos permanentes Cultivo permanente, semipermanente, plantación forestal | 52,60 | 5,33 | 4,71 | -0,62 |
| 4 | Mosaico de vegetación natural Vegetación arbustiva, vegetación herbácea | 222,58 | 0,00 | 19,94 | 19,94 |
| 5 | Paisajes minerales Área sin cobertura vegetal | 1,62 | 1,16 | 0,15 | -1,01 |
| 6 | Pastos Pastizal | 260,88 | 23,80 | 23,38 | -0,42 |
| 7 | Vegetación natural Páramo, Bosque nativo | 262,78 | 45,12 | 23,55 | -21,57 |
| 8 | Zona urbana o sin determinar Infraestructura, área poblada | 162,48 | 4,44 | 14,56 | 10,12 |

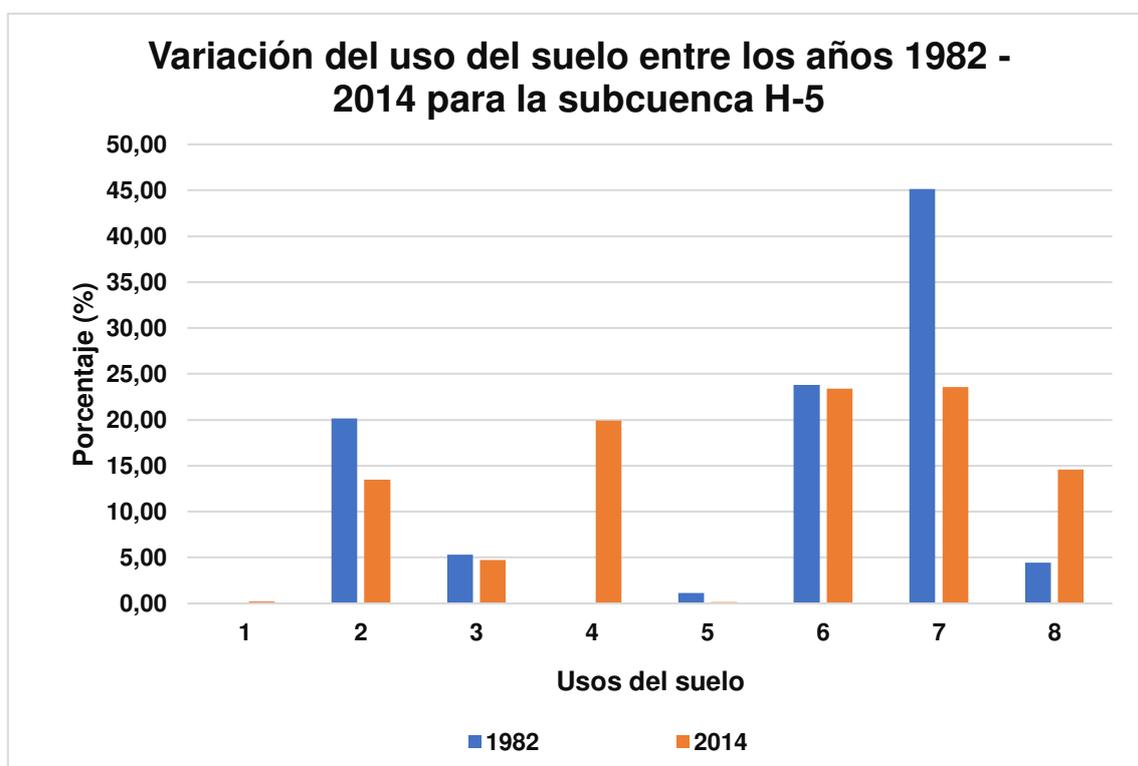


Figura 28. Variación del uso del suelo entre los años 1982 - 2014 para la subcuenca HI-5

ANEXO III

**DATOS DE LOS PROMEDIOS MENSUALES MULTIANUALES OBTENIDOS PARA LA
EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL PERIODO DE REFERENCIA 2010 - 2015**

Tabla 28. Valores medios mensuales multianuales de la evapotranspiración del periodo 2010 – 2015.

| Subcuencas | H-146 | HI-5 | HI-1 | HI-3 | HI-4 | H-159 |
|---------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | H-149 | H-145 | | | | HI-2 |
| Periodo: 2010-2015 | | | | | | |
| MESES | M0001 | M0002 | M0003 | M0023 | M0024 | M0120 |
| Enero | 74,169 | 83,545 | 75,367 | 68,479 | 78,239 | 28,490 |
| Febrero | 62,160 | 72,276 | 58,544 | 63,956 | 61,882 | 47,315 |
| Marzo | 72,754 | 72,071 | 66,920 | 55,020 | 64,786 | 39,550 |
| Abril | 69,767 | 66,840 | 64,793 | 59,033 | 61,793 | 46,130 |
| Mayo | 70,454 | 75,868 | 64,322 | 54,577 | 70,154 | 16,380 |
| Junio | 73,618 | 91,910 | 76,638 | 61,214 | 81,369 | 18,713 |
| Julio | 75,263 | 102,877 | 92,108 | 67,221 | 86,824 | 22,575 |
| Agosto | 82,351 | 117,623 | 96,740 | 71,610 | 97,698 | 24,010 |
| Septiembre | 86,293 | 109,165 | 93,503 | 70,083 | 90,848 | 24,640 |
| Octubre | 76,246 | 89,521 | 76,078 | 69,090 | 75,460 | 23,463 |
| Noviembre | 69,517 | 73,893 | 70,373 | 60,025 | 65,077 | 17,430 |
| Diciembre | 75,514 | 82,578 | 76,498 | 66,15 | 72,436 | 35,187 |

Fuente: (INAMHI, 2017)

ANEXO IV

DATOS DE LAS PROPORCIONES, EN PORCENTAJE, OBTENIDAS PARA LA DISTRIBUCIÓN DE GRUPOS HIDROLÓGICOS EN LAS DISTINTAS SUBCUENCAS PERTENECIENTES A LA CARG.

Tabla 29. Proporción en porcentaje asignada de los grupos hidrológicos para las subcuencas de la CARG.

| | H-145 | H-146 | H-149 | H-159 | HI-1 | HI-2 | HI-3 | HI-4 | HI-5 |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| A | 46,64 | 3,51 | 8,95 | 7,55 | - | 2,70 | 4,84 | - | 6,87 |
| B | 11,81 | 92,51 | 76,93 | 85,34 | 81,75 | 74,95 | 41,50 | 39,30 | 48,58 |
| C | 4,22 | 2,18 | - | - | - | 2,01 | 24,85 | 2,71 | 10,83 |
| D | 31,64 | 1,16 | 13,57 | - | 10,38 | 1,50 | 21,21 | 8,49 | 32,50 |
| Nieve | - | 0,04 | - | 0,18 | - | 7,70 | 0,57 | - | - |
| Urbano | 5,58 | - | - | - | 0,23 | - | 0,24 | 49,50 | 1,05 |
| Res_agua | - | 0,13 | 0,54 | - | - | 0,10 | - | - | 0,16 |
| S/Suelo | 0,11 | 0,46 | - | 6,93 | 7,64 | 11,04 | 6,79 | - | - |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

Fuente: (Ortega, 2018)

ANEXO V

**HIDROGRAMAS DE CAUDALES DE LAS SUBCUENCAS DE LA CARG UTILIZADOS
PARA LA OBTENCIÓN DEL PARÁMETRO DE DESCARGA INICIAL NECESARIO EN LA
MODELACIÓN CON HEC - HMS.**

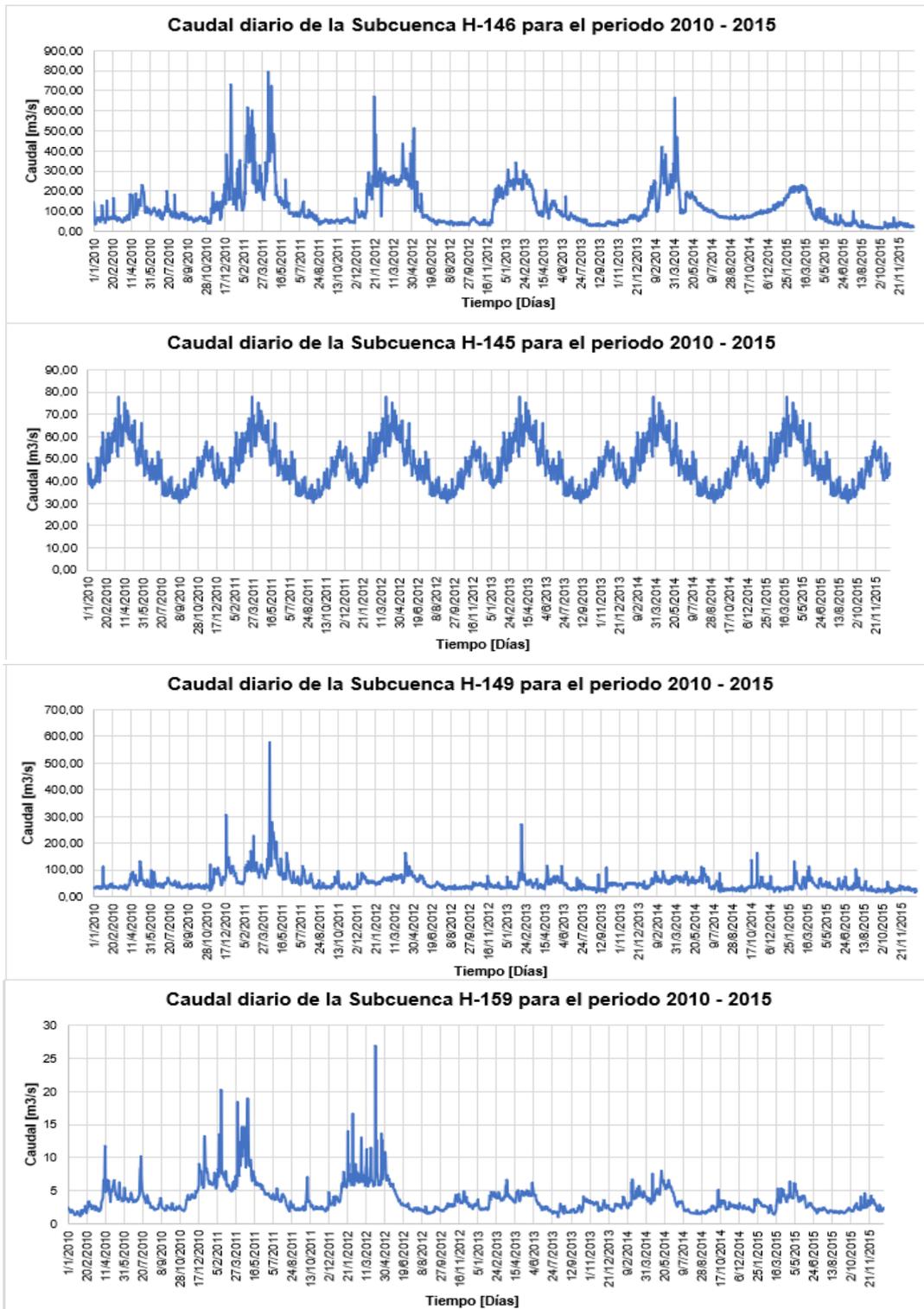


Figura 29. Hidrogramas de caudal diario de las subcuencas de la CARG para el periodo 2010 – 2015.

Fuente: (INAMHI, 2017)

Elaboración: Autor

ANEXO VI

**VARIACIONES PORCENTUALES DIARIAS DE LOS CAUDALES OBSERVADOS Y
MODELADOS PARA EL PERIODO DE REFERENCIA, SUBPERIODO SECO Y HÚMEDO.**

Tabla 30. Valores porcentuales diarios de la variación de los caudales observados para el periodo de referencia y subperiodos seco y húmedo.

| | Q. Referencia | Q. Seco | Q. Húmedo | Var. Seco | % | Var. Húmedo | % |
|---------------|--------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------|------------------------|----------|
| 1-ene | 66,12 | 42,85 | 103,97 | -23,26 | -54,29 | 37,86 | 36,41 |
| 2-ene | 67,96 | 41,54 | 88,52 | -26,42 | -63,59 | 20,57 | 23,24 |
| 3-ene | 83,31 | 44,08 | 85,67 | -39,23 | -88,98 | 2,36 | 2,76 |
| 4-ene | 77,30 | 45,38 | 85,52 | -31,92 | -70,33 | 8,22 | 9,61 |
| 5-ene | 71,31 | 45,03 | 88,16 | -26,27 | -58,34 | 16,85 | 19,11 |
| 6-ene | 65,18 | 43,44 | 85,50 | -21,74 | -50,03 | 20,32 | 23,77 |
| 7-ene | 62,09 | 45,27 | 85,08 | -16,83 | -37,17 | 22,98 | 27,01 |
| 8-ene | 56,02 | 44,93 | 83,16 | -11,09 | -24,67 | 27,14 | 32,63 |
| 9-ene | 57,83 | 46,02 | 80,06 | -11,81 | -25,67 | 22,23 | 27,76 |
| 10-ene | 55,99 | 47,03 | 72,33 | -8,97 | -19,07 | 16,34 | 22,59 |
| 11-ene | 62,86 | 46,37 | 92,52 | -16,49 | -35,56 | 29,66 | 32,06 |
| 12-ene | 61,70 | 46,37 | 74,96 | -15,33 | -33,05 | 13,26 | 17,69 |
| 13-ene | 61,03 | 47,53 | 68,49 | -13,50 | -28,40 | 7,46 | 10,90 |
| 14-ene | 60,03 | 46,54 | 72,46 | -13,49 | -28,98 | 12,43 | 17,15 |
| 15-ene | 54,74 | 43,37 | 65,90 | -11,37 | -26,21 | 11,17 | 16,94 |
| 16-ene | 57,85 | 44,85 | 73,98 | -12,99 | -28,97 | 16,14 | 21,81 |
| 17-ene | 59,61 | 47,75 | 65,67 | -11,86 | -24,84 | 6,06 | 9,22 |
| 18-ene | 56,82 | 50,06 | 60,36 | -6,76 | -13,50 | 3,54 | 5,86 |
| 19-ene | 59,17 | 49,72 | 59,82 | -9,45 | -19,00 | 0,65 | 1,09 |
| 20-ene | 67,13 | 52,98 | 65,26 | -14,14 | -26,70 | -1,87 | -2,87 |
| 21-ene | 83,90 | 55,27 | 68,61 | -28,63 | -51,79 | -15,29 | -22,28 |
| 22-ene | 74,46 | 56,58 | 60,03 | -17,88 | -31,61 | -14,43 | -24,04 |
| 23-ene | 67,96 | 59,17 | 55,15 | -8,79 | -14,85 | -12,82 | -23,24 |
| 24-ene | 80,13 | 59,15 | 55,66 | -20,98 | -35,47 | -24,47 | -43,96 |
| 25-ene | 78,35 | 67,93 | 58,84 | -10,42 | -15,34 | -19,51 | -33,17 |
| 26-ene | 77,83 | 68,96 | 51,19 | -8,86 | -12,85 | -26,64 | -52,03 |
| 27-ene | 73,56 | 64,58 | 56,26 | -8,98 | -13,91 | -17,30 | -30,75 |
| 28-ene | 73,97 | 71,38 | 63,89 | -2,59 | -3,63 | -10,08 | -15,77 |
| 29-ene | 68,85 | 70,21 | 72,20 | 1,36 | 1,94 | 3,35 | 4,63 |
| 30-ene | 68,10 | 70,61 | 66,55 | 2,50 | 3,54 | -1,55 | -2,34 |
| 31-ene | 63,38 | 63,48 | 62,30 | 0,10 | 0,16 | -1,08 | -1,73 |
| 1-feb | 65,95 | 66,50 | 60,11 | 0,55 | 0,83 | -5,83 | -9,70 |
| 2-feb | 69,60 | 68,21 | 68,72 | -1,39 | -2,03 | -0,88 | -1,28 |
| 3-feb | 70,07 | 74,53 | 89,88 | 4,46 | 5,98 | 19,81 | 22,04 |
| 4-feb | 74,47 | 80,57 | 102,83 | 6,11 | 7,58 | 28,36 | 27,58 |
| 5-feb | 76,36 | 81,30 | 116,69 | 4,94 | 6,08 | 40,33 | 34,56 |
| 6-feb | 82,99 | 79,69 | 90,41 | -3,30 | -4,15 | 7,42 | 8,21 |
| 7-feb | 77,59 | 81,65 | 87,12 | 4,07 | 4,98 | 9,53 | 10,94 |
| 8-feb | 70,00 | 80,90 | 158,73 | 10,90 | 13,48 | 88,73 | 55,90 |
| 9-feb | 76,46 | 96,03 | 175,45 | 19,57 | 20,38 | 98,99 | 56,42 |

| | | | | | | | |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 10-feb | 79,07 | 82,37 | 178,16 | 3,29 | 4,00 | 99,09 | 55,62 |
| 11-feb | 88,03 | 77,44 | 189,18 | -10,59 | -13,68 | 101,14 | 53,46 |
| 12-feb | 89,36 | 67,50 | 140,80 | -21,86 | -32,38 | 51,45 | 36,54 |
| 13-feb | 91,94 | 71,52 | 133,56 | -20,41 | -28,54 | 41,62 | 31,16 |
| 14-feb | 87,97 | 69,00 | 127,84 | -18,97 | -27,49 | 39,87 | 31,19 |
| 15-feb | 86,63 | 66,01 | 138,15 | -20,61 | -31,23 | 51,53 | 37,30 |
| 16-feb | 84,51 | 66,28 | 109,26 | -18,23 | -27,50 | 24,75 | 22,65 |
| 17-feb | 92,38 | 68,29 | 109,41 | -24,09 | -35,28 | 17,03 | 15,56 |
| 18-feb | 86,32 | 66,56 | 92,66 | -19,76 | -29,68 | 6,35 | 6,85 |
| 19-feb | 83,36 | 69,53 | 89,32 | -13,83 | -19,90 | 5,96 | 6,67 |
| 20-feb | 84,06 | 73,74 | 83,53 | -10,32 | -13,99 | -0,53 | -0,63 |
| 21-feb | 91,08 | 79,27 | 86,48 | -11,81 | -14,90 | -4,60 | -5,32 |
| 22-feb | 92,91 | 79,12 | 84,29 | -13,79 | -17,42 | -8,62 | -10,22 |
| 23-feb | 87,59 | 81,62 | 95,56 | -5,97 | -7,31 | 7,98 | 8,35 |
| 24-feb | 95,27 | 89,36 | 78,48 | -5,92 | -6,62 | -16,79 | -21,40 |
| 25-feb | 97,68 | 94,27 | 83,78 | -3,41 | -3,62 | -13,91 | -16,60 |
| 26-feb | 95,81 | 102,37 | 73,88 | 6,56 | 6,41 | -21,94 | -29,69 |
| 27-feb | 103,50 | 105,68 | 84,06 | 2,18 | 2,06 | -19,45 | -23,14 |
| 28-feb | 95,15 | 89,00 | 76,25 | -6,15 | -6,91 | -18,91 | -24,80 |
| 29-feb | 94,59 | 79,58 | 83,65 | -15,01 | -18,86 | -10,94 | -13,08 |
| 1-mar | 107,54 | 96,22 | 68,55 | -11,32 | -11,77 | -38,99 | -56,88 |
| 2-mar | 92,06 | 87,20 | 69,71 | -4,86 | -5,58 | -22,35 | -32,07 |
| 3-mar | 87,39 | 99,75 | 72,16 | 12,36 | 12,39 | -15,24 | -21,12 |
| 4-mar | 97,27 | 95,42 | 88,33 | -1,85 | -1,94 | -8,95 | -10,13 |
| 5-mar | 91,56 | 87,40 | 82,66 | -4,16 | -4,76 | -8,90 | -10,77 |
| 6-mar | 91,41 | 84,83 | 78,36 | -6,58 | -7,75 | -13,05 | -16,66 |
| 7-mar | 88,40 | 89,86 | 110,81 | 1,46 | 1,63 | 22,41 | 20,22 |
| 8-mar | 86,09 | 91,26 | 158,05 | 5,17 | 5,66 | 71,95 | 45,53 |
| 9-mar | 95,51 | 102,36 | 106,11 | 6,85 | 6,70 | 10,60 | 9,99 |
| 10-mar | 85,49 | 90,70 | 127,77 | 5,20 | 5,74 | 42,28 | 33,09 |
| 11-mar | 81,01 | 83,89 | 97,81 | 2,89 | 3,44 | 16,80 | 17,18 |
| 12-mar | 79,99 | 81,61 | 96,12 | 1,62 | 1,98 | 16,13 | 16,78 |
| 13-mar | 79,74 | 81,06 | 101,43 | 1,32 | 1,62 | 21,68 | 21,38 |
| 14-mar | 80,22 | 81,55 | 79,34 | 1,33 | 1,63 | -0,89 | -1,12 |
| 15-mar | 81,75 | 88,25 | 82,78 | 6,50 | 7,37 | 1,03 | 1,24 |
| 16-mar | 78,05 | 81,90 | 76,18 | 3,85 | 4,70 | -1,87 | -2,46 |
| 17-mar | 81,92 | 89,20 | 105,40 | 7,28 | 8,16 | 23,48 | 22,27 |
| 18-mar | 78,56 | 87,59 | 96,92 | 9,03 | 10,31 | 18,36 | 18,95 |
| 19-mar | 76,79 | 78,72 | 74,78 | 1,93 | 2,45 | -2,01 | -2,69 |
| 20-mar | 79,95 | 89,76 | 74,23 | 9,81 | 10,93 | -5,71 | -7,70 |
| 21-mar | 82,13 | 86,79 | 74,18 | 4,66 | 5,36 | -7,95 | -10,72 |
| 22-mar | 81,27 | 87,90 | 78,48 | 6,62 | 7,54 | -2,79 | -3,55 |
| 23-mar | 76,78 | 72,44 | 80,57 | -4,33 | -5,98 | 3,80 | 4,71 |
| 24-mar | 80,27 | 85,71 | 90,40 | 5,44 | 6,35 | 10,12 | 11,20 |
| 25-mar | 84,62 | 90,19 | 118,09 | 5,58 | 6,18 | 33,48 | 28,35 |

| | | | | | | | |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 26-mar | 78,01 | 83,38 | 149,92 | 5,37 | 6,43 | 71,90 | 47,96 |
| 27-mar | 74,98 | 81,18 | 156,20 | 6,21 | 7,64 | 81,22 | 52,00 |
| 28-mar | 72,20 | 76,41 | 113,71 | 4,22 | 5,52 | 41,51 | 36,51 |
| 29-mar | 73,27 | 82,50 | 105,09 | 9,24 | 11,20 | 31,83 | 30,29 |
| 30-mar | 73,94 | 87,26 | 192,48 | 13,32 | 15,27 | 118,54 | 61,59 |
| 31-mar | 71,34 | 86,10 | 182,30 | 14,76 | 17,15 | 110,96 | 60,87 |
| 1-abr | 72,64 | 89,33 | 128,06 | 16,68 | 18,68 | 55,42 | 43,28 |
| 2-abr | 88,56 | 128,03 | 229,41 | 39,47 | 30,83 | 140,85 | 61,40 |
| 3-abr | 80,39 | 102,23 | 126,57 | 21,83 | 21,36 | 46,18 | 36,49 |
| 4-abr | 69,52 | 70,04 | 127,79 | 0,52 | 0,74 | 58,27 | 45,60 |
| 5-abr | 79,52 | 82,92 | 107,76 | 3,39 | 4,09 | 28,24 | 26,20 |
| 6-abr | 89,66 | 88,78 | 104,31 | -0,88 | -0,99 | 14,65 | 14,05 |
| 7-abr | 91,54 | 94,17 | 117,10 | 2,64 | 2,80 | 25,56 | 21,83 |
| 8-abr | 88,96 | 97,92 | 130,68 | 8,96 | 9,15 | 41,73 | 31,93 |
| 9-abr | 93,09 | 89,63 | 122,53 | -3,46 | -3,86 | 29,44 | 24,03 |
| 10-abr | 92,85 | 82,57 | 111,55 | -10,28 | -12,45 | 18,71 | 16,77 |
| 11-abr | 96,26 | 74,75 | 122,09 | -21,51 | -28,77 | 25,83 | 21,16 |
| 12-abr | 92,06 | 71,23 | 108,61 | -20,83 | -29,24 | 16,55 | 15,24 |
| 13-abr | 123,88 | 68,09 | 108,32 | -55,79 | -81,94 | -15,56 | -14,37 |
| 14-abr | 86,44 | 61,70 | 154,61 | -24,73 | -40,08 | 68,17 | 44,09 |
| 15-abr | 89,07 | 58,18 | 115,95 | -30,89 | -53,10 | 26,88 | 23,18 |
| 16-abr | 83,80 | 65,16 | 123,70 | -18,64 | -28,60 | 39,90 | 32,25 |
| 17-abr | 74,52 | 54,16 | 99,83 | -20,36 | -37,60 | 25,30 | 25,35 |
| 18-abr | 81,68 | 54,23 | 115,39 | -27,45 | -50,63 | 33,72 | 29,22 |
| 19-abr | 93,52 | 51,52 | 105,28 | -42,01 | -81,54 | 11,75 | 11,17 |
| 20-abr | 88,86 | 55,05 | 88,18 | -33,81 | -61,42 | -0,69 | -0,78 |
| 21-abr | 104,33 | 61,13 | 91,36 | -43,20 | -70,66 | -12,96 | -14,19 |
| 22-abr | 95,29 | 56,57 | 134,30 | -38,72 | -68,46 | 39,01 | 29,05 |
| 23-abr | 91,18 | 52,60 | 139,02 | -38,58 | -73,34 | 47,84 | 34,41 |
| 24-abr | 86,18 | 49,46 | 120,29 | -36,71 | -74,22 | 34,11 | 28,36 |
| 25-abr | 81,43 | 49,19 | 101,95 | -32,24 | -65,53 | 20,52 | 20,13 |
| 26-abr | 82,38 | 56,71 | 103,34 | -25,67 | -45,26 | 20,97 | 20,29 |
| 27-abr | 89,14 | 56,58 | 115,92 | -32,56 | -57,54 | 26,78 | 23,10 |
| 28-abr | 85,25 | 53,20 | 119,80 | -32,05 | -60,25 | 34,55 | 28,84 |
| 29-abr | 81,69 | 51,62 | 107,43 | -30,08 | -58,27 | 25,73 | 23,95 |
| 30-abr | 73,26 | 51,38 | 130,49 | -21,88 | -42,60 | 57,23 | 43,86 |
| 1-may | 75,27 | 48,44 | 149,94 | -26,84 | -55,40 | 74,66 | 49,80 |
| 2-may | 81,10 | 58,30 | 153,13 | -22,80 | -39,11 | 72,03 | 47,04 |
| 3-may | 80,16 | 57,25 | 131,98 | -22,91 | -40,02 | 51,82 | 39,26 |
| 4-may | 85,16 | 61,97 | 121,64 | -23,19 | -37,42 | 36,49 | 30,00 |
| 5-may | 82,10 | 68,06 | 97,56 | -14,04 | -20,64 | 15,46 | 15,84 |
| 6-may | 83,79 | 60,28 | 106,78 | -23,51 | -39,00 | 23,00 | 21,54 |
| 7-may | 69,51 | 57,06 | 102,43 | -12,45 | -21,82 | 32,92 | 32,14 |
| 8-may | 68,64 | 57,18 | 104,11 | -11,46 | -20,05 | 35,46 | 34,06 |
| 9-may | 63,84 | 55,09 | 103,27 | -8,75 | -15,88 | 39,43 | 38,19 |

| | | | | | | | |
|---------------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|
| 10-may | 66,22 | 54,79 | 93,60 | -11,43 | -20,86 | 27,38 | 29,25 |
| 11-may | 66,15 | 54,72 | 83,72 | -11,42 | -20,87 | 17,57 | 20,99 |
| 12-may | 66,47 | 58,18 | 94,35 | -8,29 | -14,25 | 27,88 | 29,55 |
| 13-may | 67,58 | 57,27 | 88,97 | -10,31 | -18,01 | 21,39 | 24,04 |
| 14-may | 70,21 | 58,24 | 79,37 | -11,97 | -20,55 | 9,17 | 11,55 |
| 15-may | 64,43 | 55,72 | 77,56 | -8,71 | -15,62 | 13,13 | 16,93 |
| 16-may | 62,63 | 53,49 | 81,18 | -9,14 | -17,09 | 18,55 | 22,85 |
| 17-may | 61,67 | 55,69 | 85,35 | -5,98 | -10,74 | 23,68 | 27,75 |
| 18-may | 59,18 | 55,46 | 93,63 | -3,72 | -6,71 | 34,44 | 36,79 |
| 19-may | 57,48 | 54,75 | 99,17 | -2,73 | -4,99 | 41,69 | 42,04 |
| 20-may | 54,60 | 48,75 | 100,76 | -5,86 | -12,01 | 46,16 | 45,81 |
| 21-may | 56,66 | 51,20 | 103,26 | -5,46 | -10,66 | 46,59 | 45,12 |
| 22-may | 59,31 | 52,98 | 102,55 | -6,33 | -11,95 | 43,23 | 42,16 |
| 23-may | 58,87 | 52,89 | 106,07 | -5,98 | -11,31 | 47,20 | 44,50 |
| 24-may | 54,61 | 51,34 | 83,99 | -3,27 | -6,36 | 29,38 | 34,98 |
| 25-may | 57,37 | 50,27 | 94,16 | -7,10 | -14,13 | 36,79 | 39,07 |
| 26-may | 55,68 | 50,18 | 102,94 | -5,50 | -10,95 | 47,27 | 45,92 |
| 27-may | 58,87 | 54,51 | 104,28 | -4,36 | -8,00 | 45,42 | 43,55 |
| 28-may | 55,65 | 49,37 | 104,01 | -6,28 | -12,71 | 48,36 | 46,49 |
| 29-may | 60,66 | 49,72 | 98,32 | -10,94 | -22,01 | 37,65 | 38,30 |
| 30-may | 58,36 | 48,43 | 85,76 | -9,93 | -20,51 | 27,40 | 31,95 |
| 31-may | 54,94 | 46,19 | 80,20 | -8,75 | -18,94 | 25,25 | 31,49 |
| 1-jun | 52,99 | 44,79 | 80,09 | -8,20 | -18,30 | 27,11 | 33,84 |
| 2-jun | 53,85 | 48,48 | 80,93 | -5,37 | -11,07 | 27,08 | 33,46 |
| 3-jun | 49,87 | 45,07 | 73,12 | -4,81 | -10,66 | 23,25 | 31,80 |
| 4-jun | 49,14 | 46,03 | 77,94 | -3,11 | -6,76 | 28,80 | 36,95 |
| 5-jun | 49,17 | 51,34 | 74,74 | 2,17 | 4,23 | 25,57 | 34,22 |
| 6-jun | 50,31 | 53,81 | 79,35 | 3,50 | 6,50 | 29,04 | 36,59 |
| 7-jun | 49,51 | 57,75 | 76,47 | 8,24 | 14,27 | 26,96 | 35,25 |
| 8-jun | 47,55 | 48,29 | 84,35 | 0,74 | 1,52 | 36,80 | 43,63 |
| 9-jun | 47,85 | 47,22 | 74,96 | -0,63 | -1,34 | 27,11 | 36,17 |
| 10-jun | 49,55 | 51,19 | 69,99 | 1,64 | 3,21 | 20,44 | 29,20 |
| 11-jun | 47,23 | 49,03 | 71,09 | 1,80 | 3,67 | 23,86 | 33,56 |
| 12-jun | 46,45 | 46,99 | 62,70 | 0,54 | 1,15 | 16,24 | 25,91 |
| 13-jun | 46,65 | 48,60 | 66,02 | 1,95 | 4,01 | 19,37 | 29,34 |
| 14-jun | 44,94 | 44,31 | 66,37 | -0,63 | -1,42 | 21,43 | 32,28 |
| 15-jun | 49,58 | 46,30 | 62,46 | -3,28 | -7,08 | 12,88 | 20,62 |
| 16-jun | 43,90 | 44,29 | 61,10 | 0,39 | 0,88 | 17,20 | 28,15 |
| 17-jun | 44,29 | 47,79 | 65,00 | 3,50 | 7,32 | 20,71 | 31,87 |
| 18-jun | 43,95 | 50,83 | 58,66 | 6,88 | 13,54 | 14,71 | 25,08 |
| 19-jun | 40,72 | 46,36 | 54,53 | 5,64 | 12,16 | 13,81 | 25,33 |
| 20-jun | 40,17 | 44,95 | 51,16 | 4,78 | 10,64 | 10,99 | 21,49 |
| 21-jun | 40,66 | 45,01 | 70,03 | 4,35 | 9,68 | 29,38 | 41,95 |
| 22-jun | 41,13 | 45,12 | 60,27 | 3,99 | 8,83 | 19,14 | 31,75 |
| 23-jun | 42,21 | 45,98 | 73,21 | 3,77 | 8,21 | 31,01 | 42,35 |

| | | | | | | | |
|---------------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|
| 24-jun | 41,53 | 43,07 | 54,99 | 1,53 | 3,56 | 13,45 | 24,46 |
| 25-jun | 45,41 | 51,39 | 55,75 | 5,99 | 11,65 | 10,34 | 18,56 |
| 26-jun | 43,45 | 46,67 | 53,29 | 3,22 | 6,91 | 9,84 | 18,47 |
| 27-jun | 41,55 | 40,41 | 52,60 | -1,14 | -2,81 | 11,05 | 21,01 |
| 28-jun | 39,86 | 36,63 | 46,67 | -3,23 | -8,83 | 6,81 | 14,58 |
| 29-jun | 38,70 | 36,32 | 49,93 | -2,38 | -6,55 | 11,23 | 22,49 |
| 30-jun | 38,29 | 37,44 | 50,99 | -0,84 | -2,25 | 12,70 | 24,91 |
| 1-jul | 38,53 | 37,18 | 47,87 | -1,35 | -3,63 | 9,34 | 19,50 |
| 2-jul | 39,04 | 36,05 | 49,83 | -2,99 | -8,29 | 10,79 | 21,66 |
| 3-jul | 36,70 | 33,89 | 48,14 | -2,81 | -8,28 | 11,45 | 23,77 |
| 4-jul | 36,32 | 34,42 | 51,78 | -1,90 | -5,53 | 15,45 | 29,85 |
| 5-jul | 35,02 | 33,34 | 48,82 | -1,68 | -5,04 | 13,79 | 28,26 |
| 6-jul | 36,21 | 33,50 | 46,17 | -2,70 | -8,07 | 9,96 | 21,58 |
| 7-jul | 38,18 | 36,85 | 44,75 | -1,33 | -3,60 | 6,57 | 14,69 |
| 8-jul | 40,19 | 38,38 | 44,27 | -1,81 | -4,71 | 4,08 | 9,21 |
| 9-jul | 39,63 | 34,31 | 45,81 | -5,32 | -15,51 | 6,18 | 13,48 |
| 10-jul | 42,75 | 33,82 | 46,65 | -8,93 | -26,39 | 3,91 | 8,37 |
| 11-jul | 43,59 | 37,39 | 46,09 | -6,21 | -16,61 | 2,50 | 5,42 |
| 12-jul | 44,64 | 39,28 | 46,29 | -5,36 | -13,65 | 1,65 | 3,56 |
| 13-jul | 45,87 | 39,77 | 47,15 | -6,09 | -15,32 | 1,29 | 2,73 |
| 14-jul | 43,29 | 35,19 | 44,48 | -8,10 | -23,02 | 1,18 | 2,66 |
| 15-jul | 43,14 | 35,23 | 42,87 | -7,91 | -22,45 | -0,27 | -0,64 |
| 16-jul | 46,65 | 34,57 | 42,07 | -12,09 | -34,97 | -4,58 | -10,89 |
| 17-jul | 40,05 | 35,50 | 42,80 | -4,56 | -12,83 | 2,74 | 6,41 |
| 18-jul | 42,41 | 39,53 | 44,54 | -2,88 | -7,30 | 2,13 | 4,78 |
| 19-jul | 43,07 | 41,27 | 48,83 | -1,80 | -4,37 | 5,77 | 11,81 |
| 20-jul | 38,71 | 36,31 | 52,47 | -2,40 | -6,61 | 13,76 | 26,22 |
| 21-jul | 37,67 | 34,65 | 72,13 | -3,03 | -8,73 | 34,45 | 47,77 |
| 22-jul | 38,93 | 38,28 | 61,47 | -0,65 | -1,69 | 22,54 | 36,67 |
| 23-jul | 40,87 | 48,42 | 50,35 | 7,54 | 15,58 | 9,48 | 18,82 |
| 24-jul | 37,64 | 40,90 | 39,06 | 3,26 | 7,98 | 1,42 | 3,64 |
| 25-jul | 38,92 | 43,98 | 39,03 | 5,06 | 11,50 | 0,11 | 0,27 |
| 26-jul | 34,93 | 33,91 | 38,85 | -1,02 | -3,01 | 3,92 | 10,10 |
| 27-jul | 33,31 | 29,01 | 36,63 | -4,30 | -14,82 | 3,32 | 9,07 |
| 28-jul | 35,22 | 34,38 | 34,68 | -0,85 | -2,47 | -0,54 | -1,56 |
| 29-jul | 36,88 | 38,21 | 36,35 | 1,32 | 3,46 | -0,53 | -1,46 |
| 30-jul | 39,28 | 40,10 | 36,51 | 0,81 | 2,03 | -2,77 | -7,59 |
| 31-jul | 37,88 | 35,25 | 30,91 | -2,63 | -7,47 | -6,97 | -22,56 |
| 1-ago | 35,53 | 31,51 | 44,00 | -4,02 | -12,74 | 8,47 | 19,26 |
| 2-ago | 34,55 | 30,81 | 35,89 | -3,74 | -12,14 | 1,34 | 3,73 |
| 3-ago | 33,19 | 29,18 | 35,39 | -4,01 | -13,73 | 2,20 | 6,23 |
| 4-ago | 33,33 | 28,04 | 35,24 | -5,29 | -18,87 | 1,91 | 5,42 |
| 5-ago | 32,22 | 27,07 | 35,27 | -5,15 | -19,01 | 3,05 | 8,66 |
| 6-ago | 36,58 | 27,13 | 35,14 | -9,45 | -34,85 | -1,44 | -4,10 |
| 7-ago | 31,50 | 27,15 | 33,77 | -4,36 | -16,04 | 2,26 | 6,70 |

| | | | | | | | |
|---------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| 8-ago | 30,49 | 28,07 | 33,16 | -2,42 | -8,61 | 2,67 | 8,06 |
| 9-ago | 31,97 | 28,18 | 30,63 | -3,79 | -13,43 | -1,33 | -4,35 |
| 10-ago | 32,75 | 27,89 | 31,77 | -4,86 | -17,42 | -0,98 | -3,08 |
| 11-ago | 30,95 | 27,70 | 38,38 | -3,25 | -11,73 | 7,43 | 19,36 |
| 12-ago | 28,91 | 25,26 | 42,77 | -3,66 | -14,48 | 13,86 | 32,40 |
| 13-ago | 29,28 | 26,11 | 36,34 | -3,17 | -12,15 | 7,06 | 19,43 |
| 14-ago | 31,52 | 27,97 | 35,43 | -3,55 | -12,70 | 3,91 | 11,02 |
| 15-ago | 32,64 | 32,43 | 32,44 | -0,22 | -0,67 | -0,21 | -0,63 |
| 16-ago | 31,93 | 33,06 | 30,47 | 1,12 | 3,39 | -1,47 | -4,82 |
| 17-ago | 30,30 | 32,67 | 30,33 | 2,37 | 7,25 | 0,03 | 0,11 |
| 18-ago | 31,77 | 33,36 | 31,24 | 1,59 | 4,78 | -0,53 | -1,69 |
| 19-ago | 29,32 | 26,93 | 32,08 | -2,39 | -8,89 | 2,76 | 8,60 |
| 20-ago | 28,72 | 26,30 | 34,15 | -2,42 | -9,21 | 5,43 | 15,90 |
| 21-ago | 27,85 | 25,37 | 35,20 | -2,48 | -9,77 | 7,35 | 20,88 |
| 22-ago | 28,51 | 25,37 | 35,03 | -3,14 | -12,38 | 6,51 | 18,60 |
| 23-ago | 28,96 | 25,05 | 28,73 | -3,91 | -15,61 | -0,23 | -0,80 |
| 24-ago | 29,02 | 25,52 | 29,44 | -3,50 | -13,71 | 0,42 | 1,44 |
| 25-ago | 28,00 | 25,67 | 31,24 | -2,33 | -9,06 | 3,24 | 10,38 |
| 26-ago | 28,40 | 27,74 | 32,19 | -0,66 | -2,39 | 3,78 | 11,76 |
| 27-ago | 26,21 | 24,47 | 30,76 | -1,74 | -7,11 | 4,55 | 14,79 |
| 28-ago | 26,38 | 23,96 | 33,08 | -2,43 | -10,12 | 6,70 | 20,24 |
| 29-ago | 27,13 | 24,16 | 31,64 | -2,97 | -12,29 | 4,51 | 14,26 |
| 30-ago | 28,13 | 26,79 | 29,58 | -1,35 | -5,04 | 1,45 | 4,90 |
| 31-ago | 27,65 | 27,65 | 30,26 | 0,00 | -0,01 | 2,61 | 8,61 |
| 1-sep | 27,96 | 28,35 | 27,73 | 0,39 | 1,36 | -0,23 | -0,81 |
| 2-sep | 28,83 | 30,17 | 28,33 | 1,35 | 4,46 | -0,50 | -1,76 |
| 3-sep | 28,86 | 27,69 | 29,53 | -1,17 | -4,21 | 0,68 | 2,29 |
| 4-sep | 28,55 | 26,42 | 30,73 | -2,13 | -8,05 | 2,18 | 7,10 |
| 5-sep | 29,50 | 24,59 | 29,70 | -4,91 | -19,95 | 0,20 | 0,67 |
| 6-sep | 27,12 | 23,52 | 27,47 | -3,60 | -15,32 | 0,35 | 1,26 |
| 7-sep | 26,09 | 23,66 | 28,96 | -2,43 | -10,27 | 2,87 | 9,91 |
| 8-sep | 26,39 | 24,26 | 30,55 | -2,12 | -8,74 | 4,16 | 13,63 |
| 9-sep | 27,15 | 25,86 | 33,87 | -1,29 | -5,01 | 6,72 | 19,85 |
| 10-sep | 27,66 | 27,02 | 38,78 | -0,64 | -2,37 | 11,11 | 28,66 |
| 11-sep | 27,61 | 26,98 | 38,42 | -0,62 | -2,30 | 10,81 | 28,14 |
| 12-sep | 26,03 | 23,18 | 37,40 | -2,84 | -12,27 | 11,38 | 30,42 |
| 13-sep | 27,83 | 25,55 | 36,32 | -2,28 | -8,92 | 8,49 | 23,38 |
| 14-sep | 26,55 | 25,15 | 34,32 | -1,40 | -5,55 | 7,78 | 22,66 |
| 15-sep | 25,57 | 22,99 | 32,90 | -2,58 | -11,24 | 7,33 | 22,27 |
| 16-sep | 26,59 | 22,68 | 37,23 | -3,91 | -17,25 | 10,64 | 28,58 |
| 17-sep | 26,01 | 22,55 | 34,57 | -3,46 | -15,35 | 8,55 | 24,74 |
| 18-sep | 26,50 | 23,97 | 37,03 | -2,53 | -10,57 | 10,52 | 28,42 |
| 19-sep | 26,61 | 24,17 | 39,52 | -2,44 | -10,10 | 12,92 | 32,69 |
| 20-sep | 26,80 | 25,32 | 52,67 | -1,49 | -5,88 | 25,87 | 49,11 |
| 21-sep | 27,16 | 25,94 | 52,19 | -1,22 | -4,69 | 25,03 | 47,95 |

| | | | | | | | |
|---------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|
| 22-sep | 28,81 | 29,67 | 91,68 | 0,86 | 2,89 | 62,86 | 68,57 |
| 23-sep | 26,52 | 25,99 | 73,36 | -0,53 | -2,02 | 46,85 | 63,86 |
| 24-sep | 27,02 | 25,84 | 54,92 | -1,18 | -4,55 | 27,90 | 50,81 |
| 25-sep | 26,27 | 25,61 | 53,05 | -0,66 | -2,58 | 26,77 | 50,47 |
| 26-sep | 29,02 | 24,15 | 45,26 | -4,87 | -20,18 | 16,24 | 35,88 |
| 27-sep | 27,32 | 25,60 | 47,34 | -1,72 | -6,73 | 20,02 | 42,29 |
| 28-sep | 26,64 | 24,09 | 40,05 | -2,55 | -10,58 | 13,41 | 33,49 |
| 29-sep | 26,79 | 24,42 | 37,92 | -2,37 | -9,69 | 11,13 | 29,36 |
| 30-sep | 28,05 | 24,92 | 38,12 | -3,13 | -12,55 | 10,07 | 26,41 |
| 1-oct | 29,00 | 26,25 | 38,91 | -2,75 | -10,48 | 9,91 | 25,47 |
| 2-oct | 29,19 | 27,12 | 36,14 | -2,07 | -7,64 | 6,94 | 19,22 |
| 3-oct | 29,70 | 25,85 | 37,50 | -3,85 | -14,90 | 7,80 | 20,81 |
| 4-oct | 31,01 | 25,34 | 36,63 | -5,67 | -22,39 | 5,62 | 15,35 |
| 5-oct | 29,77 | 25,59 | 36,22 | -4,18 | -16,35 | 6,45 | 17,81 |
| 6-oct | 31,61 | 25,37 | 39,32 | -6,24 | -24,61 | 7,71 | 19,60 |
| 7-oct | 33,13 | 26,56 | 40,48 | -6,57 | -24,73 | 7,35 | 18,16 |
| 8-oct | 31,50 | 27,26 | 36,08 | -4,24 | -15,54 | 4,59 | 12,71 |
| 9-oct | 32,86 | 28,28 | 35,96 | -4,58 | -16,20 | 3,09 | 8,60 |
| 10-oct | 32,58 | 27,97 | 32,25 | -4,61 | -16,48 | -0,33 | -1,03 |
| 11-oct | 32,82 | 29,26 | 35,05 | -3,56 | -12,17 | 2,22 | 6,35 |
| 12-oct | 34,91 | 28,62 | 33,24 | -6,28 | -21,96 | -1,66 | -5,00 |
| 13-oct | 33,98 | 28,68 | 33,18 | -5,30 | -18,49 | -0,81 | -2,43 |
| 14-oct | 34,12 | 30,56 | 31,00 | -3,57 | -11,67 | -3,13 | -10,08 |
| 15-oct | 34,12 | 33,29 | 31,02 | -0,82 | -2,47 | -3,09 | -9,98 |
| 16-oct | 36,42 | 36,83 | 37,15 | 0,41 | 1,11 | 0,72 | 1,94 |
| 17-oct | 32,91 | 32,40 | 44,74 | -0,51 | -1,59 | 11,82 | 26,43 |
| 18-oct | 36,24 | 43,11 | 47,16 | 6,86 | 15,92 | 10,92 | 23,15 |
| 19-oct | 30,64 | 29,00 | 43,64 | -1,64 | -5,66 | 13,00 | 29,80 |
| 20-oct | 30,76 | 29,68 | 50,28 | -1,08 | -3,65 | 19,51 | 38,81 |
| 21-oct | 29,16 | 27,46 | 49,71 | -1,71 | -6,22 | 20,55 | 41,33 |
| 22-oct | 29,52 | 28,53 | 46,01 | -0,99 | -3,46 | 16,49 | 35,85 |
| 23-oct | 31,03 | 29,72 | 55,20 | -1,32 | -4,43 | 24,17 | 43,78 |
| 24-oct | 31,11 | 28,26 | 57,21 | -2,85 | -10,08 | 26,10 | 45,62 |
| 25-oct | 31,81 | 32,54 | 74,21 | 0,73 | 2,23 | 42,40 | 57,13 |
| 26-oct | 31,76 | 31,07 | 72,58 | -0,69 | -2,24 | 40,82 | 56,24 |
| 27-oct | 33,75 | 32,58 | 69,17 | -1,17 | -3,60 | 35,42 | 51,20 |
| 28-oct | 32,64 | 31,85 | 67,87 | -0,79 | -2,47 | 35,23 | 51,91 |
| 29-oct | 34,16 | 32,26 | 51,60 | -1,90 | -5,88 | 17,44 | 33,80 |
| 30-oct | 33,79 | 34,72 | 50,83 | 0,93 | 2,67 | 17,04 | 33,52 |
| 31-oct | 33,89 | 35,70 | 44,19 | 1,81 | 5,07 | 10,30 | 23,32 |
| 1-nov | 34,21 | 34,99 | 45,18 | 0,79 | 2,24 | 10,98 | 24,30 |
| 2-nov | 37,53 | 48,14 | 38,13 | 10,61 | 22,05 | 0,60 | 1,58 |
| 3-nov | 33,35 | 35,52 | 38,20 | 2,17 | 6,12 | 4,85 | 12,71 |
| 4-nov | 33,17 | 32,13 | 36,15 | -1,04 | -3,23 | 2,98 | 8,25 |
| 5-nov | 32,45 | 33,08 | 38,39 | 0,63 | 1,90 | 5,93 | 15,45 |

| | | | | | | | |
|---------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 6-nov | 37,48 | 34,65 | 37,14 | -2,83 | -8,17 | -0,34 | -0,91 |
| 7-nov | 33,80 | 34,62 | 35,92 | 0,82 | 2,38 | 2,12 | 5,91 |
| 8-nov | 33,92 | 36,73 | 39,64 | 2,82 | 7,67 | 5,72 | 14,43 |
| 9-nov | 34,49 | 38,75 | 39,34 | 4,26 | 11,00 | 4,86 | 12,35 |
| 10-nov | 35,44 | 37,63 | 44,95 | 2,19 | 5,81 | 9,51 | 21,15 |
| 11-nov | 36,49 | 38,65 | 39,13 | 2,15 | 5,58 | 2,64 | 6,75 |
| 12-nov | 38,90 | 40,51 | 35,93 | 1,61 | 3,97 | -2,96 | -8,24 |
| 13-nov | 37,85 | 35,13 | 34,42 | -2,72 | -7,75 | -3,43 | -9,95 |
| 14-nov | 39,15 | 37,74 | 33,97 | -1,40 | -3,72 | -5,18 | -15,24 |
| 15-nov | 41,00 | 39,02 | 37,17 | -1,97 | -5,06 | -3,82 | -10,29 |
| 16-nov | 43,53 | 38,22 | 34,24 | -5,31 | -13,88 | -9,29 | -27,12 |
| 17-nov | 41,67 | 38,67 | 33,90 | -3,00 | -7,77 | -7,77 | -22,90 |
| 18-nov | 43,51 | 40,74 | 35,12 | -2,78 | -6,82 | -8,39 | -23,89 |
| 19-nov | 39,82 | 38,73 | 30,14 | -1,09 | -2,81 | -9,68 | -32,11 |
| 20-nov | 40,91 | 39,77 | 33,02 | -1,14 | -2,86 | -7,89 | -23,90 |
| 21-nov | 41,59 | 37,79 | 37,06 | -3,80 | -10,06 | -4,53 | -12,23 |
| 22-nov | 41,13 | 37,70 | 33,27 | -3,43 | -9,11 | -7,86 | -23,63 |
| 23-nov | 40,36 | 38,56 | 32,26 | -1,80 | -4,67 | -8,10 | -25,12 |
| 24-nov | 39,36 | 37,55 | 39,13 | -1,81 | -4,83 | -0,23 | -0,58 |
| 25-nov | 39,95 | 39,19 | 60,16 | -0,76 | -1,94 | 20,21 | 33,60 |
| 26-nov | 41,98 | 37,70 | 66,75 | -4,28 | -11,34 | 24,77 | 37,11 |
| 27-nov | 41,64 | 36,82 | 65,63 | -4,82 | -13,10 | 23,99 | 36,55 |
| 28-nov | 41,35 | 37,38 | 58,11 | -3,98 | -10,64 | 16,76 | 28,84 |
| 29-nov | 40,96 | 37,06 | 95,72 | -3,90 | -10,52 | 54,75 | 57,21 |
| 30-nov | 41,90 | 37,50 | 105,66 | -4,40 | -11,73 | 63,76 | 60,35 |
| 1-dic | 43,70 | 39,19 | 74,35 | -4,51 | -11,50 | 30,65 | 41,23 |
| 2-dic | 49,61 | 38,78 | 60,13 | -10,84 | -27,95 | 10,52 | 17,49 |
| 3-dic | 49,08 | 36,22 | 56,13 | -12,86 | -35,50 | 7,05 | 12,56 |
| 4-dic | 46,77 | 36,15 | 54,22 | -10,62 | -29,38 | 7,45 | 13,74 |
| 5-dic | 45,13 | 34,30 | 58,18 | -10,83 | -31,58 | 13,04 | 22,42 |
| 6-dic | 45,24 | 37,32 | 64,00 | -7,92 | -21,23 | 18,77 | 29,32 |
| 7-dic | 46,02 | 39,02 | 63,26 | -7,00 | -17,93 | 17,24 | 27,26 |
| 8-dic | 46,28 | 43,49 | 55,50 | -2,79 | -6,41 | 9,22 | 16,61 |
| 9-dic | 45,07 | 36,55 | 51,22 | -8,52 | -23,31 | 6,15 | 12,00 |
| 10-dic | 48,72 | 33,62 | 47,64 | -15,10 | -44,92 | -1,07 | -2,25 |
| 11-dic | 46,05 | 34,37 | 45,38 | -11,68 | -33,99 | -0,67 | -1,48 |
| 12-dic | 44,10 | 33,34 | 45,12 | -10,77 | -32,31 | 1,01 | 2,24 |
| 13-dic | 45,92 | 33,52 | 53,51 | -12,40 | -37,00 | 7,58 | 14,17 |
| 14-dic | 47,76 | 33,29 | 44,30 | -14,47 | -43,46 | -3,46 | -7,80 |
| 15-dic | 48,37 | 34,32 | 43,24 | -14,05 | -40,95 | -5,13 | -11,87 |
| 16-dic | 49,26 | 34,96 | 52,48 | -14,31 | -40,93 | 3,22 | 6,14 |
| 17-dic | 53,41 | 32,80 | 47,62 | -20,61 | -62,85 | -5,79 | -12,17 |
| 18-dic | 62,57 | 32,86 | 46,46 | -29,71 | -90,41 | -16,12 | -34,69 |
| 19-dic | 58,90 | 35,08 | 55,84 | -23,82 | -67,89 | -3,06 | -5,48 |
| 20-dic | 52,34 | 36,05 | 58,14 | -16,29 | -45,19 | 5,79 | 9,97 |

| | | | | | | | |
|---------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 21-dic | 52,92 | 37,71 | 56,65 | -15,22 | -40,36 | 3,73 | 6,58 |
| 22-dic | 62,23 | 39,10 | 51,04 | -23,13 | -59,17 | -11,18 | -21,91 |
| 23-dic | 56,71 | 35,01 | 50,61 | -21,70 | -61,98 | -6,10 | -12,05 |
| 24-dic | 56,67 | 34,06 | 53,86 | -22,61 | -66,38 | -2,80 | -5,20 |
| 25-dic | 55,59 | 36,09 | 51,34 | -19,50 | -54,03 | -4,25 | -8,28 |
| 26-dic | 52,02 | 34,24 | 47,29 | -17,78 | -51,94 | -4,73 | -10,00 |
| 27-dic | 54,57 | 36,52 | 61,14 | -18,05 | -49,41 | 6,56 | 10,73 |
| 28-dic | 52,05 | 36,34 | 52,95 | -15,71 | -43,23 | 0,90 | 1,70 |
| 29-dic | 48,46 | 36,81 | 43,25 | -11,65 | -31,65 | -5,21 | -12,05 |
| 30-dic | 49,05 | 35,48 | 71,13 | -13,56 | -38,23 | 22,08 | 31,05 |
| 31-dic | 51,44 | 35,68 | 67,02 | -15,77 | | 15,57 | 23,23 |

Elaboración: Autor

Tabla 31. Valores porcentuales diarios de la variación de los caudales modelados para el periodo de referencia y subperiodos seco y húmedo.

| | Q. Referencia | Q. Seco | Q. Húmedo | Var. Seco | % | Var. Húmedo | % |
|---------------|--------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------|------------------------|----------|
| 1-ene | 110,12 | 75,91 | 152,69 | -34,21 | -45,06 | 42,57 | 27,88 |
| 2-ene | 122,56 | 74,80 | 189,81 | -47,76 | -63,84 | 67,25 | 35,43 |
| 3-ene | 124,03 | 72,41 | 194,77 | -51,63 | -71,30 | 70,74 | 36,32 |
| 4-ene | 117,82 | 72,08 | 196,76 | -45,74 | -63,46 | 78,93 | 40,12 |
| 5-ene | 130,25 | 101,12 | 227,84 | -29,13 | -28,80 | 97,60 | 42,83 |
| 6-ene | 138,74 | 137,73 | 213,51 | -1,01 | -0,74 | 74,76 | 35,02 |
| 7-ene | 132,99 | 123,21 | 210,24 | -9,78 | -7,94 | 77,25 | 36,75 |
| 8-ene | 125,29 | 106,31 | 203,86 | -18,98 | -17,85 | 78,57 | 38,54 |
| 9-ene | 123,86 | 102,89 | 214,68 | -20,96 | -20,37 | 90,82 | 42,31 |
| 10-ene | 122,80 | 116,46 | 211,45 | -6,35 | -5,45 | 88,65 | 41,92 |
| 11-ene | 142,26 | 142,35 | 190,63 | 0,09 | 0,06 | 48,36 | 25,37 |
| 12-ene | 152,44 | 126,65 | 188,58 | -25,79 | -20,36 | 36,14 | 19,16 |
| 13-ene | 142,20 | 124,32 | 197,57 | -17,88 | -14,38 | 55,38 | 28,03 |
| 14-ene | 144,97 | 125,96 | 211,18 | -19,02 | -15,10 | 66,21 | 31,35 |
| 15-ene | 153,92 | 134,51 | 191,77 | -19,41 | -14,43 | 37,85 | 19,74 |
| 16-ene | 150,78 | 141,58 | 187,27 | -9,20 | -6,50 | 36,49 | 19,48 |
| 17-ene | 145,11 | 134,98 | 179,86 | -10,13 | -7,50 | 34,75 | 19,32 |
| 18-ene | 146,77 | 130,86 | 180,63 | -15,91 | -12,16 | 33,85 | 18,74 |
| 19-ene | 153,54 | 140,13 | 188,09 | -13,42 | -9,58 | 34,54 | 18,37 |
| 20-ene | 152,06 | 162,80 | 181,31 | 10,75 | 6,60 | 29,25 | 16,13 |
| 21-ene | 149,54 | 152,80 | 171,93 | 3,26 | 2,14 | 22,39 | 13,02 |
| 22-ene | 153,51 | 157,86 | 168,35 | 4,34 | 2,75 | 14,84 | 8,81 |
| 23-ene | 155,68 | 156,23 | 165,31 | 0,55 | 0,35 | 9,63 | 5,82 |
| 24-ene | 163,24 | 165,98 | 164,74 | 2,74 | 1,65 | 1,50 | 0,91 |
| 25-ene | 151,26 | 151,57 | 167,27 | 0,31 | 0,20 | 16,01 | 9,57 |
| 26-ene | 147,67 | 142,00 | 193,42 | -5,67 | -3,99 | 45,75 | 23,65 |
| 27-ene | 148,78 | 144,47 | 229,33 | -4,31 | -2,99 | 80,54 | 35,12 |

| | | | | | | | |
|---------------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| 28-ene | 148,04 | 150,20 | 212,56 | 2,16 | 1,44 | 64,52 | 30,35 |
| 29-ene | 143,61 | 142,96 | 193,32 | -0,65 | -0,46 | 49,71 | 25,71 |
| 30-ene | 135,70 | 132,90 | 189,49 | -2,80 | -2,11 | 53,78 | 28,38 |
| 31-ene | 133,54 | 131,21 | 189,75 | -2,34 | -1,78 | 56,21 | 29,62 |
| 1-feb | 135,40 | 138,36 | 214,43 | 2,96 | 2,14 | 79,03 | 36,85 |
| 2-feb | 142,54 | 157,83 | 220,43 | 15,29 | 9,69 | 77,89 | 35,34 |
| 3-feb | 150,09 | 158,56 | 203,71 | 8,47 | 5,34 | 53,62 | 26,32 |
| 4-feb | 159,13 | 168,69 | 224,54 | 9,56 | 5,67 | 65,41 | 29,13 |
| 5-feb | 154,26 | 147,50 | 267,04 | -6,75 | -4,58 | 112,79 | 42,24 |
| 6-feb | 167,42 | 156,91 | 294,80 | -10,50 | -6,69 | 127,38 | 43,21 |
| 7-feb | 170,06 | 164,16 | 280,04 | -5,90 | -3,59 | 109,98 | 39,27 |
| 8-feb | 161,67 | 159,85 | 261,38 | -1,81 | -1,13 | 99,72 | 38,15 |
| 9-feb | 160,08 | 149,35 | 270,66 | -10,73 | -7,19 | 110,58 | 40,86 |
| 10-feb | 174,51 | 140,29 | 298,45 | -34,22 | -24,39 | 123,94 | 41,53 |
| 11-feb | 166,47 | 137,24 | 267,34 | -29,23 | -21,30 | 100,87 | 37,73 |
| 12-feb | 159,45 | 142,05 | 254,25 | -17,40 | -12,25 | 94,79 | 37,28 |
| 13-feb | 172,74 | 149,08 | 258,38 | -23,66 | -15,87 | 85,64 | 33,14 |
| 14-feb | 176,46 | 139,55 | 260,53 | -36,90 | -26,44 | 84,07 | 32,27 |
| 15-feb | 177,80 | 135,40 | 276,20 | -42,40 | -31,31 | 98,39 | 35,62 |
| 16-feb | 192,53 | 136,07 | 260,04 | -56,47 | -41,50 | 67,50 | 25,96 |
| 17-feb | 180,62 | 134,36 | 243,00 | -46,27 | -34,44 | 62,38 | 25,67 |
| 18-feb | 180,83 | 159,57 | 240,32 | -21,25 | -13,32 | 59,50 | 24,76 |
| 19-feb | 181,04 | 158,81 | 233,11 | -22,23 | -14,00 | 52,07 | 22,34 |
| 20-feb | 172,72 | 132,93 | 235,22 | -39,79 | -29,94 | 62,50 | 26,57 |
| 21-feb | 171,13 | 135,54 | 233,25 | -35,59 | -26,26 | 62,12 | 26,63 |
| 22-feb | 167,50 | 133,42 | 228,08 | -34,08 | -25,54 | 60,57 | 26,56 |
| 23-feb | 163,10 | 126,23 | 231,27 | -36,87 | -29,21 | 68,17 | 29,47 |
| 24-feb | 163,64 | 121,32 | 233,70 | -42,32 | -34,88 | 70,06 | 29,98 |
| 25-feb | 161,84 | 120,04 | 224,91 | -41,79 | -34,81 | 63,07 | 28,04 |
| 26-feb | 166,46 | 128,75 | 214,21 | -37,70 | -29,28 | 47,75 | 22,29 |
| 27-feb | 187,41 | 152,29 | 207,15 | -35,12 | -23,06 | 19,74 | 9,53 |
| 28-feb | 188,66 | 164,52 | 203,49 | -24,14 | -14,67 | 14,83 | 7,29 |
| 29-feb | 289,14 | 179,25 | 189,85 | -109,89 | -61,30 | -99,28 | -52,29 |
| 1-mar | 177,07 | 170,23 | 199,84 | -6,84 | -4,02 | 22,78 | 11,40 |
| 2-mar | 174,90 | 172,88 | 208,10 | -2,02 | -1,17 | 33,20 | 15,95 |
| 3-mar | 177,46 | 175,23 | 209,16 | -2,24 | -1,28 | 31,70 | 15,16 |
| 4-mar | 180,31 | 165,93 | 199,12 | -14,38 | -8,67 | 18,81 | 9,44 |
| 5-mar | 172,08 | 155,76 | 205,79 | -16,32 | -10,48 | 33,70 | 16,38 |
| 6-mar | 166,72 | 159,30 | 226,86 | -7,42 | -4,66 | 60,14 | 26,51 |
| 7-mar | 171,12 | 175,38 | 237,04 | 4,26 | 2,43 | 65,92 | 27,81 |
| 8-mar | 174,42 | 188,16 | 240,40 | 13,75 | 7,31 | 65,99 | 27,45 |
| 9-mar | 162,76 | 160,00 | 237,85 | -2,76 | -1,72 | 75,10 | 31,57 |
| 10-mar | 161,37 | 158,42 | 213,65 | -2,95 | -1,86 | 52,28 | 24,47 |
| 11-mar | 164,09 | 162,54 | 222,81 | -1,55 | -0,95 | 58,72 | 26,35 |
| 12-mar | 169,50 | 163,98 | 210,26 | -5,52 | -3,37 | 40,76 | 19,38 |

| | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 13-mar | 167,06 | 163,21 | 198,48 | -3,85 | -2,36 | 31,43 | 15,83 |
| 14-mar | 167,50 | 171,15 | 202,05 | 3,65 | 2,13 | 34,55 | 17,10 |
| 15-mar | 166,85 | 174,82 | 215,29 | 7,97 | 4,56 | 48,44 | 22,50 |
| 16-mar | 173,21 | 176,74 | 217,93 | 3,54 | 2,00 | 44,73 | 20,52 |
| 17-mar | 177,07 | 180,96 | 207,09 | 3,89 | 2,15 | 30,03 | 14,50 |
| 18-mar | 189,87 | 215,88 | 197,99 | 26,01 | 12,05 | 8,12 | 4,10 |
| 19-mar | 204,63 | 245,73 | 194,29 | 41,10 | 16,73 | -10,34 | -5,32 |
| 20-mar | 192,76 | 212,92 | 191,26 | 20,16 | 9,47 | -1,50 | -0,78 |
| 21-mar | 193,01 | 211,70 | 197,92 | 18,68 | 8,83 | 4,90 | 2,48 |
| 22-mar | 196,18 | 214,54 | 215,36 | 18,36 | 8,56 | 19,18 | 8,91 |
| 23-mar | 196,24 | 226,78 | 245,45 | 30,54 | 13,47 | 49,20 | 20,05 |
| 24-mar | 200,26 | 242,10 | 256,85 | 41,84 | 17,28 | 56,59 | 22,03 |
| 25-mar | 181,82 | 212,83 | 239,38 | 31,01 | 14,57 | 57,56 | 24,05 |
| 26-mar | 176,54 | 207,61 | 231,97 | 31,07 | 14,97 | 55,43 | 23,89 |
| 27-mar | 176,09 | 210,53 | 237,26 | 34,44 | 16,36 | 61,16 | 25,78 |
| 28-mar | 180,44 | 237,46 | 266,76 | 57,02 | 24,01 | 86,31 | 32,36 |
| 29-mar | 176,61 | 224,41 | 332,02 | 47,80 | 21,30 | 155,41 | 46,81 |
| 30-mar | 174,78 | 215,64 | 279,81 | 40,86 | 18,95 | 105,03 | 37,54 |
| 31-mar | 167,78 | 193,03 | 286,36 | 25,25 | 13,08 | 118,58 | 41,41 |
| 1-abr | 173,52 | 188,43 | 287,05 | 14,92 | 7,92 | 113,53 | 39,55 |
| 2-abr | 172,79 | 184,66 | 285,04 | 11,87 | 6,43 | 112,25 | 39,38 |
| 3-abr | 181,19 | 182,99 | 310,22 | 1,80 | 0,98 | 129,03 | 41,59 |
| 4-abr | 199,80 | 183,17 | 295,93 | -16,63 | -9,08 | 96,13 | 32,48 |
| 5-abr | 202,78 | 178,63 | 308,31 | -24,15 | -13,52 | 105,53 | 34,23 |
| 6-abr | 186,17 | 172,20 | 344,97 | -13,97 | -8,11 | 158,80 | 46,03 |
| 7-abr | 193,14 | 168,82 | 323,05 | -24,32 | -14,41 | 129,91 | 40,21 |
| 8-abr | 198,05 | 166,02 | 294,98 | -32,03 | -19,29 | 96,93 | 32,86 |
| 9-abr | 199,31 | 165,43 | 328,95 | -33,88 | -20,48 | 129,64 | 39,41 |
| 10-abr | 207,39 | 161,83 | 355,79 | -45,56 | -28,15 | 148,40 | 41,71 |
| 11-abr | 207,90 | 157,67 | 311,90 | -50,24 | -31,86 | 104,00 | 33,34 |
| 12-abr | 202,27 | 156,26 | 312,69 | -46,01 | -29,44 | 110,42 | 35,31 |
| 13-abr | 189,66 | 155,15 | 309,01 | -34,51 | -22,25 | 119,34 | 38,62 |
| 14-abr | 194,27 | 172,71 | 312,78 | -21,56 | -12,48 | 118,51 | 37,89 |
| 15-abr | 199,62 | 183,84 | 310,41 | -15,78 | -8,58 | 110,79 | 35,69 |
| 16-abr | 205,41 | 173,06 | 296,24 | -32,35 | -18,69 | 90,83 | 30,66 |
| 17-abr | 216,51 | 170,50 | 282,48 | -46,01 | -26,98 | 65,98 | 23,36 |
| 18-abr | 224,82 | 163,88 | 274,63 | -60,93 | -37,18 | 49,81 | 18,14 |
| 19-abr | 224,06 | 177,75 | 274,65 | -46,31 | -26,05 | 50,60 | 18,42 |
| 20-abr | 223,22 | 184,44 | 291,74 | -38,78 | -21,02 | 68,52 | 23,49 |
| 21-abr | 216,70 | 159,26 | 294,01 | -57,44 | -36,07 | 77,32 | 26,30 |
| 22-abr | 202,83 | 154,74 | 288,03 | -48,09 | -31,08 | 85,20 | 29,58 |
| 23-abr | 195,55 | 153,36 | 279,12 | -42,19 | -27,51 | 83,57 | 29,94 |
| 24-abr | 195,70 | 150,56 | 265,97 | -45,14 | -29,98 | 70,28 | 26,42 |
| 25-abr | 200,32 | 156,20 | 265,78 | -44,13 | -28,25 | 65,45 | 24,63 |
| 26-abr | 207,69 | 164,73 | 269,98 | -42,97 | -26,08 | 62,29 | 23,07 |

| | | | | | | | |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 27-abr | 203,79 | 159,65 | 290,96 | -44,14 | -27,64 | 87,17 | 29,96 |
| 28-abr | 198,30 | 148,10 | 324,30 | -50,20 | -33,90 | 126,00 | 38,85 |
| 29-abr | 197,91 | 147,30 | 318,10 | -50,61 | -34,36 | 120,19 | 37,78 |
| 30-abr | 198,47 | 146,18 | 288,22 | -52,29 | -35,77 | 89,75 | 31,14 |
| 1-may | 199,41 | 145,60 | 270,39 | -53,80 | -36,95 | 70,98 | 26,25 |
| 2-may | 200,86 | 154,49 | 273,02 | -46,37 | -30,01 | 72,16 | 26,43 |
| 3-may | 205,10 | 157,42 | 264,87 | -47,68 | -30,29 | 59,77 | 22,56 |
| 4-may | 198,55 | 157,29 | 256,17 | -41,25 | -26,23 | 57,62 | 22,49 |
| 5-may | 189,20 | 149,09 | 254,90 | -40,11 | -26,90 | 65,70 | 25,77 |
| 6-may | 185,20 | 146,63 | 253,35 | -38,57 | -26,31 | 68,15 | 26,90 |
| 7-may | 183,52 | 153,01 | 254,91 | -30,51 | -19,94 | 71,39 | 28,01 |
| 8-may | 181,40 | 156,69 | 256,82 | -24,71 | -15,77 | 75,42 | 29,37 |
| 9-may | 178,17 | 152,46 | 243,32 | -25,71 | -16,86 | 65,15 | 26,78 |
| 10-may | 178,02 | 157,53 | 234,35 | -20,49 | -13,01 | 56,34 | 24,04 |
| 11-may | 174,98 | 144,80 | 230,66 | -30,18 | -20,84 | 55,68 | 24,14 |
| 12-may | 172,48 | 137,30 | 229,00 | -35,18 | -25,62 | 56,52 | 24,68 |
| 13-may | 165,25 | 134,60 | 224,66 | -30,66 | -22,78 | 59,41 | 26,44 |
| 14-may | 161,01 | 133,14 | 220,71 | -27,87 | -20,93 | 59,70 | 27,05 |
| 15-may | 159,43 | 131,71 | 222,51 | -27,72 | -21,05 | 63,08 | 28,35 |
| 16-may | 158,04 | 131,76 | 251,39 | -26,28 | -19,94 | 93,36 | 37,14 |
| 17-may | 156,09 | 128,24 | 281,36 | -27,85 | -21,71 | 125,27 | 44,52 |
| 18-may | 156,26 | 122,37 | 256,92 | -33,89 | -27,70 | 100,66 | 39,18 |
| 19-may | 156,54 | 120,40 | 266,43 | -36,14 | -30,02 | 109,89 | 41,24 |
| 20-may | 157,57 | 119,15 | 240,83 | -38,42 | -32,24 | 83,25 | 34,57 |
| 21-may | 153,82 | 123,06 | 234,25 | -30,76 | -25,00 | 80,43 | 34,34 |
| 22-may | 152,58 | 137,29 | 236,95 | -15,29 | -11,14 | 84,37 | 35,61 |
| 23-may | 148,81 | 134,79 | 267,43 | -14,02 | -10,40 | 118,62 | 44,36 |
| 24-may | 143,86 | 119,70 | 305,31 | -24,15 | -20,18 | 161,46 | 52,88 |
| 25-may | 140,44 | 115,63 | 264,54 | -24,81 | -21,46 | 124,10 | 46,91 |
| 26-may | 137,03 | 112,82 | 273,68 | -24,21 | -21,46 | 136,65 | 49,93 |
| 27-may | 134,45 | 112,35 | 279,35 | -22,10 | -19,67 | 144,90 | 51,87 |
| 28-may | 135,87 | 116,36 | 257,13 | -19,51 | -16,77 | 121,26 | 47,16 |
| 29-may | 140,62 | 117,16 | 241,40 | -23,46 | -20,02 | 100,77 | 41,75 |
| 30-may | 140,05 | 109,42 | 238,50 | -30,63 | -27,99 | 98,46 | 41,28 |
| 31-may | 138,77 | 109,93 | 241,14 | -28,84 | -26,24 | 102,36 | 42,45 |
| 1-jun | 136,61 | 104,70 | 235,91 | -31,90 | -30,47 | 99,30 | 42,09 |
| 2-jun | 128,20 | 101,38 | 231,11 | -26,82 | -26,46 | 102,91 | 44,53 |
| 3-jun | 126,57 | 99,43 | 227,33 | -27,14 | -27,29 | 100,76 | 44,32 |
| 4-jun | 124,13 | 97,30 | 227,33 | -26,82 | -27,57 | 103,21 | 45,40 |
| 5-jun | 122,37 | 96,03 | 226,15 | -26,34 | -27,43 | 103,77 | 45,89 |
| 6-jun | 120,36 | 94,35 | 225,66 | -26,02 | -27,58 | 105,30 | 46,66 |
| 7-jun | 117,96 | 92,31 | 224,66 | -25,65 | -27,79 | 106,69 | 47,49 |
| 8-jun | 115,66 | 90,92 | 215,05 | -24,73 | -27,20 | 99,39 | 46,22 |
| 9-jun | 112,81 | 89,09 | 206,57 | -23,72 | -26,63 | 93,75 | 45,39 |
| 10-jun | 110,66 | 86,16 | 201,48 | -24,50 | -28,43 | 90,81 | 45,07 |

| | | | | | | | |
|--------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|
| 11-jun | 108,48 | 83,95 | 197,92 | -24,53 | -29,22 | 89,44 | 45,19 |
| 12-jun | 106,33 | 82,26 | 194,28 | -24,07 | -29,27 | 87,95 | 45,27 |
| 13-jun | 103,91 | 80,62 | 191,18 | -23,28 | -28,88 | 87,27 | 45,65 |
| 14-jun | 101,96 | 78,97 | 188,19 | -22,99 | -29,11 | 86,23 | 45,82 |
| 15-jun | 100,44 | 77,43 | 185,07 | -23,01 | -29,71 | 84,63 | 45,73 |
| 16-jun | 99,74 | 76,05 | 181,60 | -23,70 | -31,16 | 81,86 | 45,08 |
| 17-jun | 98,78 | 74,52 | 178,02 | -24,26 | -32,56 | 79,25 | 44,51 |
| 18-jun | 98,65 | 73,03 | 174,92 | -25,63 | -35,09 | 76,27 | 43,60 |
| 19-jun | 96,95 | 71,63 | 172,05 | -25,32 | -35,35 | 75,11 | 43,65 |
| 20-jun | 93,58 | 70,35 | 168,73 | -23,22 | -33,01 | 75,16 | 44,54 |
| 21-jun | 91,88 | 68,98 | 166,77 | -22,90 | -33,19 | 74,90 | 44,91 |
| 22-jun | 89,34 | 67,64 | 164,69 | -21,70 | -32,08 | 75,34 | 45,75 |
| 23-jun | 88,23 | 66,60 | 160,59 | -21,63 | -32,48 | 72,36 | 45,06 |
| 24-jun | 87,64 | 67,51 | 159,34 | -20,13 | -29,81 | 71,69 | 45,00 |
| 25-jun | 86,11 | 66,86 | 157,25 | -19,25 | -28,80 | 71,14 | 45,24 |
| 26-jun | 83,63 | 63,75 | 154,64 | -19,88 | -31,18 | 71,01 | 45,92 |
| 27-jun | 82,07 | 62,54 | 151,14 | -19,53 | -31,23 | 69,07 | 45,70 |
| 28-jun | 81,74 | 61,44 | 150,26 | -20,30 | -33,05 | 68,52 | 45,60 |
| 29-jun | 81,36 | 60,33 | 146,16 | -21,03 | -34,86 | 64,81 | 44,34 |
| 30-jun | 80,89 | 59,24 | 143,78 | -21,65 | -36,56 | 62,89 | 43,74 |
| 1-jul | 80,10 | 58,30 | 142,03 | -21,79 | -37,38 | 61,93 | 43,61 |
| 2-jul | 77,52 | 57,00 | 139,40 | -20,52 | -36,01 | 61,88 | 44,39 |
| 3-jul | 76,30 | 56,00 | 139,93 | -20,30 | -36,26 | 63,63 | 45,47 |
| 4-jul | 77,91 | 54,97 | 138,49 | -22,93 | -41,72 | 60,58 | 43,75 |
| 5-jul | 80,22 | 58,92 | 134,08 | -21,31 | -36,16 | 53,86 | 40,17 |
| 6-jul | 77,86 | 60,85 | 130,89 | -17,01 | -27,96 | 53,04 | 40,52 |
| 7-jul | 76,51 | 57,21 | 131,18 | -19,30 | -33,74 | 54,67 | 41,67 |
| 8-jul | 76,01 | 55,50 | 138,19 | -20,51 | -36,95 | 62,18 | 45,00 |
| 9-jul | 74,48 | 54,52 | 140,14 | -19,97 | -36,62 | 65,66 | 46,85 |
| 10-jul | 72,15 | 53,48 | 130,15 | -18,67 | -34,91 | 58,00 | 44,56 |
| 11-jul | 73,18 | 52,53 | 135,67 | -20,66 | -39,33 | 62,49 | 46,06 |
| 12-jul | 75,27 | 51,50 | 123,15 | -23,77 | -46,16 | 47,89 | 38,88 |
| 13-jul | 81,63 | 50,50 | 120,71 | -31,13 | -61,64 | 39,09 | 32,38 |
| 14-jul | 87,45 | 49,57 | 118,81 | -37,89 | -76,43 | 31,36 | 26,40 |
| 15-jul | 83,03 | 48,68 | 117,11 | -34,35 | -70,56 | 34,08 | 29,10 |
| 16-jul | 77,22 | 47,87 | 115,22 | -29,35 | -61,32 | 38,00 | 32,98 |
| 17-jul | 75,17 | 47,32 | 113,05 | -27,85 | -58,86 | 37,88 | 33,51 |
| 18-jul | 73,82 | 46,82 | 111,20 | -27,01 | -57,69 | 37,37 | 33,61 |
| 19-jul | 73,05 | 47,66 | 109,75 | -25,39 | -53,27 | 36,69 | 33,44 |
| 20-jul | 72,96 | 50,38 | 108,13 | -22,58 | -44,83 | 35,17 | 32,53 |
| 21-jul | 72,67 | 52,60 | 105,91 | -20,08 | -38,17 | 33,23 | 31,38 |
| 22-jul | 69,74 | 47,41 | 104,20 | -22,33 | -47,11 | 34,46 | 33,07 |
| 23-jul | 68,35 | 46,40 | 102,51 | -21,95 | -47,32 | 34,16 | 33,32 |
| 24-jul | 67,06 | 45,48 | 100,94 | -21,58 | -47,44 | 33,88 | 33,57 |
| 25-jul | 66,02 | 44,58 | 99,26 | -21,44 | -48,08 | 33,25 | 33,49 |

| | | | | | | | |
|---------------|-------|-------|--------|--------|---------|-------|-------|
| 26-jul | 64,65 | 43,79 | 97,69 | -20,86 | -47,65 | 33,04 | 33,82 |
| 27-jul | 63,39 | 42,80 | 96,15 | -20,59 | -48,11 | 32,76 | 34,07 |
| 28-jul | 67,27 | 41,99 | 94,64 | -25,28 | -60,19 | 27,37 | 28,92 |
| 29-jul | 72,21 | 41,25 | 93,28 | -30,96 | -75,05 | 21,07 | 22,59 |
| 30-jul | 67,77 | 40,45 | 92,14 | -27,32 | -67,54 | 24,37 | 26,45 |
| 31-jul | 64,54 | 39,69 | 90,61 | -24,86 | -62,63 | 26,06 | 28,76 |
| 1-ago | 62,74 | 38,92 | 89,38 | -23,82 | -61,20 | 26,64 | 29,81 |
| 2-ago | 60,88 | 38,17 | 88,23 | -22,72 | -59,51 | 27,34 | 30,99 |
| 3-ago | 59,74 | 37,43 | 92,00 | -22,31 | -59,62 | 32,26 | 35,06 |
| 4-ago | 58,53 | 36,79 | 100,88 | -21,74 | -59,10 | 42,34 | 41,98 |
| 5-ago | 57,35 | 36,12 | 89,53 | -21,23 | -58,77 | 32,18 | 35,94 |
| 6-ago | 56,39 | 35,43 | 88,11 | -20,96 | -59,17 | 31,72 | 36,00 |
| 7-ago | 55,31 | 34,85 | 86,91 | -20,47 | -58,73 | 31,60 | 36,36 |
| 8-ago | 54,48 | 34,22 | 85,61 | -20,27 | -59,23 | 31,12 | 36,36 |
| 9-ago | 53,75 | 33,57 | 84,35 | -20,18 | -60,11 | 30,59 | 36,27 |
| 10-ago | 52,90 | 32,90 | 83,05 | -20,00 | -60,80 | 30,15 | 36,30 |
| 11-ago | 51,80 | 32,33 | 81,65 | -19,47 | -60,23 | 29,85 | 36,56 |
| 12-ago | 53,03 | 31,85 | 80,61 | -21,18 | -66,51 | 27,58 | 34,21 |
| 13-ago | 56,96 | 31,23 | 79,84 | -25,73 | -82,41 | 22,88 | 28,66 |
| 14-ago | 54,77 | 30,79 | 78,29 | -23,98 | -77,87 | 23,52 | 30,04 |
| 15-ago | 54,05 | 30,28 | 77,33 | -23,77 | -78,50 | 23,28 | 30,10 |
| 16-ago | 52,62 | 29,69 | 76,39 | -22,93 | -77,20 | 23,78 | 31,12 |
| 17-ago | 51,99 | 29,08 | 77,21 | -22,92 | -78,81 | 25,22 | 32,66 |
| 18-ago | 52,76 | 28,58 | 79,53 | -24,18 | -84,63 | 26,77 | 33,66 |
| 19-ago | 56,56 | 28,10 | 81,44 | -28,46 | -101,30 | 24,88 | 30,55 |
| 20-ago | 56,70 | 27,66 | 83,56 | -29,05 | -105,03 | 26,86 | 32,14 |
| 21-ago | 52,90 | 27,29 | 78,61 | -25,60 | -93,80 | 25,71 | 32,71 |
| 22-ago | 52,72 | 26,76 | 77,84 | -25,96 | -97,02 | 25,12 | 32,27 |
| 23-ago | 53,07 | 26,36 | 75,96 | -26,71 | -101,34 | 22,89 | 30,14 |
| 24-ago | 53,68 | 26,08 | 74,87 | -27,60 | -105,80 | 21,19 | 28,31 |
| 25-ago | 51,35 | 27,45 | 73,56 | -23,91 | -87,11 | 22,21 | 30,19 |
| 26-ago | 51,30 | 29,38 | 72,16 | -21,92 | -74,59 | 20,86 | 28,91 |
| 27-ago | 49,82 | 27,82 | 71,18 | -22,00 | -79,06 | 21,37 | 30,02 |
| 28-ago | 48,80 | 27,24 | 73,70 | -21,56 | -79,14 | 24,89 | 33,78 |
| 29-ago | 47,85 | 26,69 | 87,92 | -21,16 | -79,26 | 40,07 | 45,57 |
| 30-ago | 48,02 | 26,26 | 95,40 | -21,76 | -82,89 | 47,38 | 49,67 |
| 31-ago | 50,35 | 25,88 | 87,69 | -24,47 | -94,56 | 37,34 | 42,59 |
| 1-sep | 50,45 | 25,31 | 85,30 | -25,13 | -99,29 | 34,85 | 40,86 |
| 2-sep | 46,67 | 24,94 | 83,90 | -21,73 | -87,15 | 37,23 | 44,37 |
| 3-sep | 47,07 | 24,62 | 81,24 | -22,45 | -91,17 | 34,17 | 42,06 |
| 4-sep | 48,15 | 24,11 | 79,65 | -24,04 | -99,73 | 31,50 | 39,55 |
| 5-sep | 46,28 | 23,60 | 82,85 | -22,69 | -96,14 | 36,57 | 44,14 |
| 6-sep | 44,41 | 23,23 | 87,03 | -21,18 | -91,14 | 42,62 | 48,97 |
| 7-sep | 43,62 | 22,90 | 79,47 | -20,72 | -90,47 | 35,85 | 45,11 |
| 8-sep | 42,89 | 22,59 | 112,11 | -20,30 | -89,87 | 69,22 | 61,74 |

| | | | | | | | |
|---------------|-------|-------|--------|--------|---------|--------|-------|
| 9-sep | 42,22 | 22,12 | 155,34 | -20,10 | -90,87 | 113,12 | 72,82 |
| 10-sep | 43,04 | 21,88 | 133,21 | -21,16 | -96,69 | 90,18 | 67,69 |
| 11-sep | 43,68 | 22,32 | 132,23 | -21,36 | -95,69 | 88,55 | 66,97 |
| 12-sep | 41,57 | 21,35 | 130,96 | -20,22 | -94,68 | 89,39 | 68,26 |
| 13-sep | 41,06 | 21,24 | 129,95 | -19,82 | -93,29 | 88,89 | 68,41 |
| 14-sep | 40,80 | 22,72 | 130,85 | -18,08 | -79,59 | 90,05 | 68,82 |
| 15-sep | 41,43 | 24,15 | 130,44 | -17,29 | -71,59 | 89,00 | 68,23 |
| 16-sep | 40,86 | 22,79 | 123,09 | -18,08 | -79,32 | 82,22 | 66,80 |
| 17-sep | 40,73 | 24,93 | 128,55 | -15,81 | -63,40 | 87,81 | 68,31 |
| 18-sep | 42,23 | 32,04 | 140,04 | -10,19 | -31,80 | 97,82 | 69,85 |
| 19-sep | 43,82 | 38,75 | 140,93 | -5,07 | -13,09 | 97,11 | 68,91 |
| 20-sep | 43,36 | 33,03 | 183,14 | -10,32 | -31,25 | 139,79 | 76,33 |
| 21-sep | 50,76 | 39,72 | 233,41 | -11,04 | -27,78 | 182,65 | 78,25 |
| 22-sep | 49,42 | 44,60 | 189,97 | -4,83 | -10,82 | 140,54 | 73,98 |
| 23-sep | 52,54 | 37,85 | 187,33 | -14,69 | -38,81 | 134,79 | 71,95 |
| 24-sep | 57,44 | 35,92 | 185,34 | -21,52 | -59,90 | 127,90 | 69,01 |
| 25-sep | 53,22 | 37,99 | 185,79 | -15,23 | -40,08 | 132,57 | 71,35 |
| 26-sep | 52,91 | 39,44 | 183,17 | -13,47 | -34,15 | 130,26 | 71,11 |
| 27-sep | 53,03 | 34,64 | 175,02 | -18,39 | -53,11 | 121,98 | 69,70 |
| 28-sep | 54,69 | 32,76 | 171,89 | -21,93 | -66,96 | 117,19 | 68,18 |
| 29-sep | 53,41 | 31,98 | 168,41 | -21,43 | -67,00 | 115,00 | 68,29 |
| 30-sep | 54,99 | 31,23 | 165,13 | -23,76 | -76,08 | 110,14 | 66,70 |
| 1-oct | 61,18 | 31,00 | 163,24 | -30,18 | -97,36 | 102,06 | 62,52 |
| 2-oct | 61,32 | 30,77 | 163,11 | -30,55 | -99,30 | 101,79 | 62,40 |
| 3-oct | 62,40 | 30,86 | 158,26 | -31,54 | -102,21 | 95,87 | 60,57 |
| 4-oct | 63,60 | 29,66 | 155,13 | -33,93 | -114,38 | 91,53 | 59,00 |
| 5-oct | 68,35 | 31,79 | 157,00 | -36,56 | -115,02 | 88,65 | 56,46 |
| 6-oct | 66,03 | 37,06 | 164,27 | -28,98 | -78,20 | 98,24 | 59,80 |
| 7-oct | 61,43 | 35,55 | 155,06 | -25,88 | -72,78 | 93,62 | 60,38 |
| 8-oct | 65,63 | 49,33 | 146,61 | -16,30 | -33,04 | 80,97 | 55,23 |
| 9-oct | 72,65 | 70,10 | 145,51 | -2,54 | -3,63 | 72,86 | 50,07 |
| 10-oct | 76,97 | 62,37 | 142,38 | -14,60 | -23,42 | 65,40 | 45,94 |
| 11-oct | 80,13 | 49,63 | 138,87 | -30,50 | -61,46 | 58,73 | 42,30 |
| 12-oct | 79,39 | 56,53 | 141,58 | -22,86 | -40,45 | 62,19 | 43,93 |
| 13-oct | 91,62 | 68,74 | 151,56 | -22,88 | -33,29 | 59,94 | 39,55 |
| 14-oct | 91,46 | 68,18 | 166,25 | -23,28 | -34,15 | 74,79 | 44,99 |
| 15-oct | 96,74 | 61,87 | 166,76 | -34,86 | -56,35 | 70,03 | 41,99 |
| 16-oct | 94,60 | 59,12 | 160,47 | -35,48 | -60,01 | 65,87 | 41,05 |
| 17-oct | 90,90 | 64,66 | 165,62 | -26,24 | -40,58 | 74,73 | 45,12 |
| 18-oct | 92,02 | 69,41 | 165,97 | -22,61 | -32,58 | 73,95 | 44,55 |
| 19-oct | 86,39 | 60,68 | 159,66 | -25,72 | -42,38 | 73,27 | 45,89 |
| 20-oct | 84,59 | 55,40 | 152,11 | -29,19 | -52,70 | 67,51 | 44,38 |
| 21-oct | 86,78 | 58,68 | 155,91 | -28,10 | -47,88 | 69,14 | 44,34 |
| 22-oct | 86,02 | 52,17 | 158,19 | -33,85 | -64,88 | 72,16 | 45,62 |
| 23-oct | 88,02 | 53,15 | 154,46 | -34,87 | -65,61 | 66,44 | 43,02 |

| | | | | | | | |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 24-oct | 85,89 | 58,13 | 159,12 | -27,76 | -47,75 | 73,23 | 46,02 |
| 25-oct | 85,35 | 52,37 | 188,29 | -32,98 | -62,97 | 102,94 | 54,67 |
| 26-oct | 79,97 | 47,01 | 225,06 | -32,96 | -70,10 | 145,09 | 64,47 |
| 27-oct | 77,94 | 46,21 | 193,33 | -31,73 | -68,67 | 115,38 | 59,68 |
| 28-oct | 79,71 | 48,35 | 191,70 | -31,37 | -64,88 | 111,99 | 58,42 |
| 29-oct | 85,37 | 55,33 | 206,16 | -30,05 | -54,31 | 120,79 | 58,59 |
| 30-oct | 83,52 | 59,24 | 198,76 | -24,28 | -40,98 | 115,24 | 57,98 |
| 31-oct | 79,78 | 56,61 | 189,33 | -23,16 | -40,92 | 109,55 | 57,86 |
| 1-nov | 75,87 | 50,62 | 183,25 | -25,25 | -49,87 | 107,38 | 58,60 |
| 2-nov | 76,50 | 51,73 | 182,84 | -24,77 | -47,89 | 106,34 | 58,16 |
| 3-nov | 82,40 | 57,59 | 181,98 | -24,81 | -43,09 | 99,58 | 54,72 |
| 4-nov | 88,53 | 58,90 | 176,43 | -29,63 | -50,30 | 87,90 | 49,82 |
| 5-nov | 94,06 | 82,91 | 174,15 | -11,15 | -13,45 | 80,09 | 45,99 |
| 6-nov | 104,83 | 121,43 | 170,47 | 16,60 | 13,67 | 65,64 | 38,50 |
| 7-nov | 96,92 | 102,64 | 173,38 | 5,71 | 5,57 | 76,45 | 44,10 |
| 8-nov | 95,74 | 101,56 | 173,99 | 5,82 | 5,73 | 78,25 | 44,98 |
| 9-nov | 102,20 | 114,64 | 164,52 | 12,44 | 10,85 | 62,32 | 37,88 |
| 10-nov | 103,22 | 114,62 | 159,03 | 11,40 | 9,95 | 55,81 | 35,10 |
| 11-nov | 103,87 | 108,14 | 155,64 | 4,27 | 3,95 | 51,78 | 33,27 |
| 12-nov | 104,15 | 99,54 | 155,39 | -4,61 | -4,64 | 51,24 | 32,98 |
| 13-nov | 110,33 | 98,05 | 157,43 | -12,28 | -12,53 | 47,10 | 29,92 |
| 14-nov | 113,65 | 98,46 | 154,64 | -15,19 | -15,43 | 40,99 | 26,51 |
| 15-nov | 111,68 | 99,46 | 149,21 | -12,22 | -12,29 | 37,53 | 25,15 |
| 16-nov | 111,58 | 113,58 | 146,41 | 2,00 | 1,77 | 34,83 | 23,79 |
| 17-nov | 112,98 | 116,68 | 144,81 | 3,70 | 3,17 | 31,82 | 21,98 |
| 18-nov | 109,94 | 112,50 | 141,84 | 2,56 | 2,27 | 31,90 | 22,49 |
| 19-nov | 108,74 | 106,58 | 139,68 | -2,16 | -2,02 | 30,94 | 22,15 |
| 20-nov | 108,87 | 101,91 | 137,13 | -6,96 | -6,83 | 28,26 | 20,61 |
| 21-nov | 107,57 | 100,46 | 136,28 | -7,11 | -7,07 | 28,71 | 21,07 |
| 22-nov | 107,44 | 104,29 | 143,74 | -3,15 | -3,02 | 36,30 | 25,26 |
| 23-nov | 111,19 | 105,49 | 178,21 | -5,69 | -5,40 | 67,02 | 37,61 |
| 24-nov | 106,12 | 98,05 | 224,17 | -8,06 | -8,22 | 118,05 | 52,66 |
| 25-nov | 105,45 | 99,14 | 206,73 | -6,31 | -6,37 | 101,27 | 48,99 |
| 26-nov | 106,66 | 99,86 | 179,47 | -6,81 | -6,82 | 72,81 | 40,57 |
| 27-nov | 109,83 | 95,40 | 197,79 | -14,43 | -15,12 | 87,96 | 44,47 |
| 28-nov | 113,21 | 95,00 | 243,52 | -18,21 | -19,17 | 130,31 | 53,51 |
| 29-nov | 110,91 | 90,13 | 227,47 | -20,78 | -23,06 | 116,56 | 51,24 |
| 30-nov | 117,11 | 87,69 | 212,00 | -29,42 | -33,54 | 94,89 | 44,76 |
| 1-dic | 115,20 | 86,04 | 218,15 | -29,16 | -33,89 | 102,95 | 47,19 |
| 2-dic | 114,05 | 85,16 | 219,80 | -28,90 | -33,94 | 105,75 | 48,11 |
| 3-dic | 110,28 | 84,74 | 211,40 | -25,54 | -30,14 | 101,12 | 47,83 |
| 4-dic | 108,57 | 86,49 | 208,47 | -22,08 | -25,53 | 99,90 | 47,92 |
| 5-dic | 109,72 | 88,21 | 221,60 | -21,51 | -24,38 | 111,89 | 50,49 |
| 6-dic | 120,50 | 97,53 | 242,27 | -22,97 | -23,55 | 121,78 | 50,26 |
| 7-dic | 124,20 | 89,92 | 229,81 | -34,28 | -38,12 | 105,61 | 45,95 |

| | | | | | | | |
|---------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 8-dic | 127,05 | 86,91 | 211,55 | -40,14 | -46,18 | 84,50 | 39,94 |
| 9-dic | 123,09 | 85,11 | 205,50 | -37,98 | -44,62 | 82,41 | 40,10 |
| 10-dic | 119,43 | 85,08 | 208,06 | -34,35 | -40,38 | 88,63 | 42,60 |
| 11-dic | 125,75 | 84,06 | 211,50 | -41,68 | -49,59 | 85,75 | 40,55 |
| 12-dic | 122,51 | 81,45 | 208,40 | -41,05 | -50,40 | 85,89 | 41,22 |
| 13-dic | 126,08 | 81,44 | 190,85 | -44,64 | -54,81 | 64,77 | 33,94 |
| 14-dic | 125,87 | 78,37 | 188,92 | -47,50 | -60,60 | 63,05 | 33,37 |
| 15-dic | 118,47 | 75,30 | 193,13 | -43,18 | -57,34 | 74,66 | 38,66 |
| 16-dic | 128,13 | 74,03 | 193,37 | -54,10 | -73,08 | 65,24 | 33,74 |
| 17-dic | 135,74 | 73,55 | 200,88 | -62,19 | -84,55 | 65,14 | 32,43 |
| 18-dic | 128,94 | 81,35 | 211,46 | -47,59 | -58,50 | 82,52 | 39,02 |
| 19-dic | 129,14 | 97,40 | 199,03 | -31,75 | -32,59 | 69,89 | 35,11 |
| 20-dic | 123,55 | 90,36 | 197,47 | -33,19 | -36,73 | 73,92 | 37,43 |
| 21-dic | 123,49 | 87,59 | 180,95 | -35,89 | -40,98 | 57,47 | 31,76 |
| 22-dic | 123,37 | 84,23 | 184,80 | -39,13 | -46,46 | 61,43 | 33,24 |
| 23-dic | 121,72 | 82,64 | 189,04 | -39,08 | -47,29 | 67,33 | 35,61 |
| 24-dic | 120,83 | 81,28 | 201,09 | -39,55 | -48,66 | 80,26 | 39,91 |
| 25-dic | 119,76 | 79,85 | 203,65 | -39,91 | -49,98 | 83,89 | 41,19 |
| 26-dic | 115,85 | 78,35 | 207,96 | -37,50 | -47,86 | 92,11 | 44,29 |
| 27-dic | 112,02 | 76,91 | 186,49 | -35,11 | -45,65 | 74,47 | 39,93 |
| 28-dic | 109,90 | 75,94 | 192,89 | -33,96 | -44,72 | 82,99 | 43,02 |
| 29-dic | 108,49 | 75,66 | 228,41 | -32,83 | -43,39 | 119,92 | 52,50 |
| 30-dic | 106,20 | 74,39 | 279,89 | -31,81 | -42,77 | 173,69 | 62,06 |
| 31-dic | 104,03 | 72,40 | 237,20 | -33,59 | | 133,17 | 56,14 |

Elaboración: Autor