



Universidad de Guayaquil

**FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

INGENIERO CIVIL

HIDRÁULICA

**BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LA
SUBCUENCA DEL RÍO DAULE**

AUTORA: RAQUEL ANGÉLICA GÓMEZ FERRÍN

TUTOR: ING. GUSTAVO RAMIREZ ZAMBRANO, MS.c.

GUAYAQUIL, OCTUBRE 2022

Agradecimiento

Agradezco a Dios por ayudarme y acompañarme en todo el proceso de este proyecto, y por colocar a las personas correctas y en el momento exacto que me guiaron con sus conocimientos y motivación para que la realización de este trabajo fuera posible.

Agradezco a mi padre Eduardo Gómez y mi madre Estrella Ferrín quienes con sus consejos, amor y apoyo incondicional me alentaron a terminar esta etapa universitaria.

Agradezco a los docentes de mis años de estudio que a más de sus conocimientos nos brindaron valores, y aún a los que ya no se encuentran en esta vida, sus consejos los mantengo presente y me impulsan a seguir adelante.

Raquel Angélica Gómez Ferrín

Dedicatoria

Dedico este trabajo a Dios por su amor, fortaleza y sabiduría brindada en toda esta etapa de estudios, y a mis padres por su paciencia, valores y principios inculcados, quienes fueron mi motivación para seguir adelante y les agradezco que estén conmigo a mi lado.

Raquel Angélica Gómez Ferrín

Declaración Expresa

Artículo XI.- del Reglamento Interno de Graduación de la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad de Guayaquil.

La responsabilidad de los hechos, ideas y doctrinas expuestas en este trabajo de titulación corresponden exclusivamente al autor y al Patrimonio Intelectual de la Universidad de Guayaquil.



Raquel Angélica Gómez Ferrín

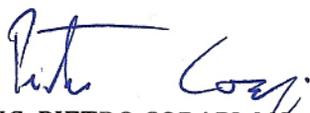
C.I. 0954622015

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

A handwritten signature in blue ink, enclosed in a hand-drawn oval. The signature appears to be "Josue Rodriguez Santos".

ING. JOSUE RODRIGUEZ SANTOS, MSc

Presidente de Tribunal

A handwritten signature in blue ink, consisting of two parts: "Pietro" and "Corapi".

ING. PIETRO CORAPI, MSc.

Miembro de Tribunal

A handwritten signature in blue ink, consisting of two large, stylized letters "M" and "G".

ING. MANUEL GOMEZ DE LA TORRE, MSc.

Miembro de Tribunal



ANEXO VI. - CERTIFICADO DEL DOCENTE- TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

FACULTAD: CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS
CARRERA: INGENIERÍA CIVIL

Guayaquil, 16 de septiembre de 2022

Ingeniero

Guillermo Pacheco Q, MSc.

DIRECTOR DE LA CARRERA CIVIL

FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

Ciudad. -

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la tutoría realizada al Trabajo de Titulación: "**BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LA SUBCUENCA DEL RÍO DAULE**". De la estudiante **RAQUEL ANGÉLICA GÓMEZ FERRÍN** quien ha cumplido con todos los parámetros establecidos en la normativa vigente:

- El trabajo es el resultado de una investigación.
- El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.
- El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.
- El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se adjunta el certificado de porcentaje de similitud y la valoración del trabajo de titulación con la respectiva calificación.

Dando por concluida esta tutoría de trabajo de titulación, **CERTIFICO**, para los fines pertinentes, que la estudiante está apta para continuar con el proceso de revisión final.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
**GUSTAVO XAVIER
RAMÍREZ
ZAMBRANO**

ING. GUSTAVO XAVIER RAMÍREZ ZAMBRANO

TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

C.C.: 0915024434

FECHA: 16 DE SEPTIEMBRE DEL 2022



Universidad de Guayaquil

ANEXO VII.- CERTIFICADO PORCENTAJE DE SIMILITUD

FACULTAD: CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS
 ESCUELA/CARRERA: INGENIERÍA CIVIL

Habiendo sido nombrado **GUSTAVO XAVIER RAMÍREZ ZAMBRANO**, tutor del trabajo de titulación, certifico que el presente trabajo de titulación ha sido elaborado por **RAQUEL ANGÉLICA GÓMEZ FERRÍN** con CI: **0954622015**, con mi respectiva supervisión, como requerimiento parcial para la obtención del título de: INGENIERO CIVIL.

Se informa que el trabajo de titulación: "**BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LA SUBCUENCA DEL RÍO DAULE**", ha sido orientado durante todo el periodo de ejecución en el programa anti plagio (Turnitin) quedando el 7% de coincidencia.

Reporte

BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LA SUBCUENCA DEL RÍO DAULE

ORIGINALITY REPORT

7%

SIMILARITY INDEX

7%

INTERNET SOURCES

1%

PUBLICATIONS

2%

STUDENT PAPERS



Firmado electrónicamente por:
**GUSTAVO XAVIER
 RAMIREZ
 ZAMBRANO**

ING. GUSTAVO XAVIER RAMÍREZ ZAMBRANO
 C.C.: 0915024434
 FECHA: 16 DE SEPTIEMBRE EL 2022



Universidad de Guayaquil

**ANEXO VIII.- INFORME DEL DOCENTE REVISOR
FACULTAD: CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS
CARRERA: INGENIERÍA CIVIL**

Guayaquil, 21 de septiembre de 2022

Ingeniero

Guillermo Pacheco Quintana, MSc.

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

FACULTAD CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

Ciudad. -

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la **REVISIÓN FINAL** del trabajo de Titulación **“BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LA SUBCUENCA DEL RÍO DAULE”** de la estudiante **RAQUEL ANGÉLICA GÓMEZ FERRÍN**. Las gestiones realizadas me permiten indicar que el trabajo fue revisado considerando todos los parámetros establecidos en las normativas vigentes, en el cumplimiento de los siguientes aspectos:

Cumplimiento de requisitos de forma:

- El título tiene un máximo de **9** palabras.
- La memoria escrita se ajusta a la estructura establecida.
- El documento se ajusta a las normas de escritura científica seleccionadas por la Facultad.
- La investigación es pertinente con la línea y sublíneas de investigación de la carrera.
- Los soportes teóricos son de máximo 8 años.
- La propuesta presentada es pertinente.

Cumplimiento con el Reglamento de Régimen Académico:

- El trabajo es el resultado de una investigación.
- El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.
- El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.
- El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se indica que fue revisado, el certificado de porcentaje de similitud, la valoración del tutor, así como de las páginas preliminares solicitadas, lo cual indica el que el trabajo de investigación cumple con los requisitos exigidos.

Una vez concluida esta revisión, considero que la estudiante **RAQUEL ANGÉLICA GÓMEZ FERRÍN** está apta para continuar el proceso de titulación. Particular que comunicamos a usted para los fines pertinentes.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
PIETRO CORAPI

Ing. Pietro Corapi, M.Sc.

C.C. 0962440715

FECHA:21/09/2022



**DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y DE AUTORIZACIÓN DE LICENCIA GRATUITA
INTRANSFERIBLE Y NO EXCLUSIVA PARA EL USO NO COMERCIAL DE LA
OBRA CON FINES NO ACADÉMICOS
FACULTAD: CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS
CARRERA: INGENIERÍA CIVIL**

LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO COMERCIAL DE LA OBRA CON
FINES NO ACADÉMICOS

Yo, Gómez Ferrín Raquel Angélica, con C.I. No. 0954622015, certifico que los contenidos desarrollados en este trabajo de titulación, cuyo título es “BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LA SUBCUENCA DEL RÍO DAULE”, es de mi absoluta propiedad y responsabilidad, en conformidad al Artículo 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, autorizo la utilización de una licencia gratuita intransferible, para el uso no comercial de la presente obra a favor de la universidad de Guayaquil.



Raquel Angélica Gómez Ferrín

C.I. 0954622015

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

Generalidades

1.1. Introducción.....	1
1.2. Situación Problemática.....	2
1.3. Objetivos.....	2
1.3.1. Objetivo General.....	2
1.3.2. Objetivos Específicos.....	2
1.4. Delimitación del Tema.....	3
1.5. Justificación.....	4
1.6. Ubicación del Proyecto.....	4

CAPÍTULO II

Marco Teórico

2.1. Antecedentes.....	6
2.2. Bases Teórico-Científicas.....	10
2.2.1. Hidrología.....	10
2.2.2. Hidrografía.....	11
2.2.3. Cuenca Hidrográfica.....	11
2.2.4. Tipos de Cuencas según el Destino de los Escurrimientos.....	12

2.2.5.	Características Geomorfológicas.....	13
2.2.5.1.	Área y Perímetro.	13
2.2.5.2.	Longitud Axial.....	14
2.2.5.3.	Forma.....	14
2.2.5.4.	Relieve.	18
2.2.5.5.	Sistema de Drenaje.....	20
2.2.6.	Ciclo Hidrológico.....	22
2.2.7.	Precipitación.	23
2.2.7.1.	Evaluación de la Precipitación Media Espacial.	24
2.2.8.	Temperatura.	25
2.2.9.	Evaporación.....	26
2.2.10.	Transpiración.....	27
2.2.11.	Evapotranspiración.....	27
2.2.11.1.	Evapotranspiración Potencial (ETP).....	30
2.2.11.2.	Evapotranspiración Real (ETR).....	30
2.2.12.	Escorrentía.	31
2.2.13.	Balance Hídrico.	31
2.2.14.	Consistencia y Relleno de los Registros Meteorológicos.	32
2.2.14.1.	Estimación de Datos Faltantes.....	32
2.2.14.2.	Análisis de Consistencia y Ajuste de las Estadísticas.	33

2.3. Definición de Términos Básicos	33
---	----

CAPÍTULO III

Marco Metodológico

3.1. Tipo de Estudio	35
3.1.1. Enfoque de la Investigación.....	35
3.1.2. Diseño de Investigación.....	35
3.2. Población, Muestra y Muestreo.....	36
3.3. Métodos, Técnicas e Instrumentos	38
3.4. Plan de Procesamiento y Análisis	40

CAPÍTULO IV

Desarrollo del Tema

4.1. Características Geomorfológicas de la Subcuenca del Río Daule	41
4.1.1. Área y Perímetro.	41
4.1.2. Forma de la Subcuenca.....	42
4.1.3. Relieve de la Subcuenca.....	44
4.1.4. Sistema de Drenaje.	47
4.1.5. Resumen de Características Geomorfológicas.	49
4.2. Estudio de Parámetros que Intervienen en el Balance Hídrico Superficial.	50
4.2.1. Precipitación.....	53
4.2.1.1. Estimación de Datos Faltantes de Precipitación.	53

4.2.1.2.	Análisis de Consistencia de la Información Pluviométrica.....	63
4.2.1.3.	Evaluación de la Precipitación en la Subcuenca del Río Daule.	65
4.2.2.	Temperatura.....	73
4.2.2.1.	Estimación de Datos Faltantes de Temperatura.	73
4.2.2.2.	Evaluación de la Temperatura Media en la Subcuenca del Río Daule...	80
4.2.3.	Evaporación.....	83
4.2.3.1.	Estimación de Datos Faltantes de Evaporación.....	84
4.2.3.2.	Análisis de Consistencia de los Registros de Evaporación.	88
4.2.3.3.	Evaluación de la Evaporación en el Embalse.	89
4.2.4.	Evapotranspiración.....	91
4.2.5.	Escorrentía Superficial.....	95
4.2.5.1.	Evaluación de Escorrentía Superficial en la Subcuenca.	101
4.3.	Balance Hídrico Superficial.	102

CAPÍTULO V

Conclusiones y Recomendaciones

5.1.	Conclusiones	105
5.2.	Recomendaciones	107

Bibliografía

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Mapa de ubicación de la Subcuenca del río Daule	5
Ilustración 2: Tipos de cuencas según la descarga de sus aguas	13
Ilustración 3: Transformación de una cuenca en un rectángulo	17
Ilustración 4: Modelos de curvas hipsométricas	19
Ilustración 5: Orden de las corrientes de una cuenca	21
Ilustración 6: Representación cualitativa del ciclo hidrológico	23
Ilustración 7: Delimitación del área y perímetro de la subcuenca del río Daule	41
Ilustración 8: Distribución de alturas representado en el rectángulo equivalente	44
Ilustración 9: Curva Hipsométrica y Elevación Media de la subcuenca.....	46
Ilustración 10: Polígono de Frecuencia de Altitudes de la subcuenca.....	46
Ilustración 11: Orden de corrientes de la subcuenca del río Daule	47
Ilustración 12: Ubicación de estaciones hidrometeorológicas	52
Ilustración 13: Ejemplo de diagrama para estimación de dato faltante	56
Ilustración 14: Análisis de consistencia del registro de precipitación	65
Ilustración 15: Variación de precipitación total mensual.....	66
Ilustración 16: Variación de precipitación mensual - Estación "Puerto Ila"	67
Ilustración 17: Variación de precipitación mensual - Estación "Camposano #2"	67
Ilustración 18: Variación de precipitación mensual - Estación "Olmedo-Manabí.....	68
Ilustración 19: Variación de precipitación mensual - Estación "Vinces"	68
Ilustración 20: Variación de precipitación mensual - Estación "Pichilingue"	69
Ilustración 21: Variación de precipitación mensual - Estación "Chone-U.Católica"	69
Ilustración 22: Precipitación total anual de estaciones en estudio.....	70

Ilustración 23: Determinación de áreas de influencia de estaciones	71
Ilustración 24: Variación de Temperatura media mensual en °C.....	81
Ilustración 25: Temperatura media anual en °C	82
Ilustración 26: Promedio de temperatura mensual en °C	82
Ilustración 27: Embalse Daule-Peripa y áreas de influencia de estaciones	84
Ilustración 28: Análisis de consistencia del registro de evaporación	89
Ilustración 29: Variación de la evaporación total mensual.....	91
Ilustración 30: Evaporación total promedio anual.....	91
Ilustración 31: Clasificación de cultivos en áreas de influencia de estaciones	94
Ilustración 32: Promedio de escorrentía total anual del periodo 1997-2016.....	101
Ilustración 33: Escorrentía promedio mensual de la subcuenca del río Daule	102

Índice de Tablas

Tabla 1: Rangos aproximados del Factor de Forma.....	15
Tabla 2: Rangos aproximados del Coeficiente de Compacidad	16
Tabla 3: Valores interpretativos de la densidad de drenaje	22
Tabla 4: Coeficiente anual de embalse para tipos de evaporímetros	26
Tabla 5: Porcentaje medio diario "p" de las horas anuales de luz diurna	29
Tabla 6: Coeficientes de cultivo estacional "K" de Blaney y Criddle.....	30
Tabla 7: Estaciones hidrometeorológicas determinadas como la Población	36
Tabla 8: Estaciones hidrometeorológicas determinadas como la Muestra	37
Tabla 9: Cálculo de los segmentos del lado mayor del rectángulo equivalente (L)	43
Tabla 10: Cuadro de distribución altimétrica de la subcuenca del río Daule	45
Tabla 11: Orden y longitud de las corrientes de la subcuenca del río Daule	48
Tabla 12: Parámetros geomorfológicos de la subcuenca del río Daule.....	49
Tabla 13: Información general de estaciones hidrometeorológicas.....	51
Tabla 14: Ejemplo de cálculo para estimación de datos faltantes	55
Tabla 15: Relleno de datos precipitación total mensual: estación "Olmedo-Manabí" ...	57
Tabla 16: Relleno de datos precipitación total mensual: estación "Camposano #2".....	58
Tabla 17: Relleno de datos precipitación total mensual: estación "Vinces"	59
Tabla 18: Relleno de datos precipitación total mensual: estación "Chone-U.Católica".	60
Tabla 19: Precipitación total mensual de estación "Puerto Ila"	61
Tabla 20: Precipitación total mensual de estación "Pichilingue"	62
Tabla 21: Cálculo para Análisis de consistencia en registros de precipitación.....	64

Tabla 22: Promedio de precipitación total mensual	66
Tabla 23: Áreas de influencia parcial correspondientes a las estaciones en estudio ...	72
Tabla 24: Área de influencia parcial del suelo no inundado y del embalse.....	72
Tabla 25: Relleno de datos Temperatura media mensual: estación "Camposano #2" .	74
Tabla 26: Relleno de datos Temperatura media mensual: estación "Olmedo-Manabí"	75
Tabla 27: Relleno de datos Temperatura media mensual: estación "Vinces".....	76
Tabla 28: Relleno de datos Temperatura mensual: estación "Chone-U.Católica"	77
Tabla 29: Temperatura media mensual de estación "Puerto Ila"	78
Tabla 30: Temperatura media mensual de estación "Pichilingue"	79
Tabla 31: Temperatura media mensual y anual en °C.....	80
Tabla 32: Relleno de datos Evaporación total mensual: estación "Puerto Ila"	85
Tabla 33: Relleno de datos Evaporación total mensual: estación "Pichilingue"	86
Tabla 34: Relleno de datos Evaporación total mensual: estación "Chone-U.Católica" .	87
Tabla 35: Cálculo de Análisis de consistencia en registros de evaporación.....	88
Tabla 36: Promedio de evaporación total mensual y anual	90
Tabla 37: Evaporación media mensual corregida con el coeficiente de embalse.....	90
Tabla 38: Porcentaje medio diario (p) de las horas de luz diurna	93
Tabla 39: Cálculo del factor mensual de uso consuntivo del agua (f).....	93
Tabla 40: Áreas de cultivos en la subcuenca del río Daule	95
Tabla 41: Evapotranspiración Real Total en cultivos de la subcuenca del río Daule....	95
Tabla 42: Caudal medio mensual (m ³ /s) de estación hidrológica "Daule en la Capilla"	96
Tabla 43: Precipitación total media mensual de estaciones meteorológicas	98
Tabla 44: Valores de T	99

Tabla 45: Relleno de datos de esorrentía en estación "Daule en la Capilla" 100

Tabla 46: Promedio total anual de parámetros para el cálculo del balance hídrico.... 104



RESUMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN (ESPAÑOL)

FACULTAD: CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS
CARRERA: INGENIERÍA CIVIL

**Título Del Trabajo De
Titulación:**

**BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LA
SUBCUENCA DEL RÍO DAULE**

Autora: Raquel Angélica Gómez Ferrín

Tutor: Ing. Gustavo Xavier Ramírez Zambrano, M.Sc.

RESUMEN

El presente estudio consiste en la determinación del balance hídrico superficial de la subcuenca del río Daule con la finalidad de conocer su disponibilidad hídrica ya que su desconocimiento genera inconvenientes al momento de realizar una correcta repartición de este recurso. Para su realización se siguió la Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur elaborada por la UNESCO, por lo que se contó con información hidrometeorológica para un periodo de 20 años desde 1997 a 2016, donde sus datos fueron analizados estadísticamente. Los parámetros de precipitación, evaporación, evapotranspiración y escorrentía superficial fueron evaluados individualmente donde sus valores promedios anuales se consideraron en el cálculo del balance hídrico, y se pudo conocer que la subcuenca del río Daule presenta un superávit hídrico promedio anual de 280.7 m³/s.

PALABRAS CLAVES: PRECIPITACIÓN – EVAPORACIÓN –
EVAPOTRANSPIRACIÓN – ESCORRENTÍA.



RESUMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN (INGLÉS)

FACULTAD: CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS
CARRERA: INGENIERÍA CIVIL

Title Of The Degree Project: SURFACE WATER BALANCE OF THE DAULE RIVER SUB-BASIN

Authors: Raquel Angélica Gómez Ferrín

Advisor: Ing. Gustavo Xavier Ramírez Zambrano, M.Sc.

ABSTRACT

The present study consists of determining the surface water balance of the Daule River sub-basin in order to know its water availability, since its lack of knowledge generates inconveniences when making a correct distribution of this resource. For its realization, the Methodological Guide for the preparation of the water balance of South America prepared by UNESCO was followed, for which hydrometeorological information was available for a period of 20 years from 1997 to 2016, where its data were analyzed statistically. The parameters of precipitation, evaporation, evapotranspiration and surface runoff were evaluated individually where their annual average values were considered in the calculation of the water balance, and it was found that the Daule River sub-basin has an average annual water surplus of 280.7 m³/s.

KEY WORDS: PRECIPITATION – EVAPORATION –
EVAPOTRANSPIRATION – RUNOFF.

CAPÍTULO I

Generalidades

1.1. Introducción

Para mantener un correcto control y distribución del recurso agua se realiza un estudio de balance hídrico, esto permite conocer la cantidad de agua existente en una cuenca obteniendo información indispensable para su utilización racional.

La subcuenca del río Daule abarca una superficie territorial de 11567.088 kilómetros cuadrados. En su influencia se hallan las provincias de Guayas, Manabí, Santo Domingo de los Tsáchilas, Los Ríos y Santa Elena, por lo que alrededor de 4 millones de habitantes reciben el agua potable de esta cuenca, asimismo es uno de los territorios que posee gran concentración de producción agrícola tanto para productos de exportación como para consumo interno. Otros de los usos que tiene este recurso hídrico dentro de la subcuenca es la generación hidroeléctrica, pesca, y espacios de recreación.

Debido a la gran importancia que representa la subcuenca del río Daule para el crecimiento social y económico del país por los múltiples usos que se desarrollan en ella y el incremento de la población que aumenta la demanda de agua, la presente investigación se orienta al estudio del balance hídrico de la subcuenca del río Daule y conocer así la oferta hídrica que existe en la zona de estudio.

Para la realización de este estudio se cuenta con información hidrometeorológica de las estaciones que se encuentran dentro y cercanas al área de estudio de la cual se obtuvieron datos desde el año 1997 al 2016. Analizando la información requerida de los

componentes de precipitación, temperatura, evaporación y caudal, se determina la evapotranspiración y escorrentía y, aplicando modelos matemáticos se obtiene el balance hídrico para la subcuenca del río Daule.

1.2. Situación Problemática

El agua dulce disponible a nivel global es muy escasa en comparación a la cantidad total del agua en el mundo, esta oferta natural es prácticamente constante y finita ya que agregando el cambio climático y el excesivo crecimiento demográfico que conlleva a crecientes demandas de agua, en un futuro se estima que la población mundial podría sufrir estrés hídrico y regiones con escasez total de agua, por lo cual es necesario efectuar la gestión del agua de forma sostenible, un modo es efectuando estudios de balance hídrico que permitan conocer la realidad del recurso hídrico.

En Ecuador existen pocos estudios con respecto al balance hídrico, y al no disponer de estos estudios se generan inconvenientes de que como país o provincia se desconozca la disponibilidad hídrica para la repartición de este recurso o emprender algún proyecto. Es por ello que se plantea realizar el análisis de balance hídrico superficial en la subcuenca del río Daule.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General.

Determinar el balance hídrico superficial de la subcuenca del río Daule.

1.3.2. Objetivos Específicos.

A continuación, se detallan los objetivos específicos de este trabajo:

- Determinar las características geomorfológicas de la subcuenca del río Daule.
- Verificar mediante modelos estadísticos los registros meteorológicos correspondientes a precipitación, temperatura y evaporación, que aseguren la fiabilidad de los datos generados en las estaciones cercanas al área de estudio.
 - Determinar los parámetros característicos del ciclo hidrológico, tal como precipitación, evaporación, evapotranspiración y escorrentía superficial.
 - Aplicar modelos que permitan la determinación del balance hídrico.

1.4. Delimitación del Tema

El desarrollo de esta investigación para la estimación del balance hídrico superficial de la subcuenca del río Daule se realizará dentro de un periodo de 20 años, desde 1997 a 2016, utilizando información hidrometeorológica como precipitación, temperatura, evaporación y caudal de las estaciones en funcionamiento que se encuentran dentro y alrededor de la subcuenca del río Daule, dichos datos fueron suministrados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

Este estudio se limitará principalmente al cálculo del balance hídrico superficial sin la intervención de las escorrentías subterráneas, infiltraciones o regulaciones. Además, se realizará la cuantificación de las entradas y salidas de agua en la subcuenca para determinar su disponibilidad hídrica sin considerar la demanda hídrica de la población a este recurso.

1.5. Justificación

Aumentando cada vez más la demanda de agua por el crecimiento demográfico y disponiendo de un recurso hídrico finito, se da la importancia de conocer con cuánto recurso hídrico dispone una cuenca hidrográfica para satisfacer las demandas presentes y futuras; por lo que el actual estudio pretende conocer la realidad hídrica de la subcuenca del río Daule y se intenta que esta investigación sea un documento de ayuda para la ejecución de futuros proyectos que se realicen en la zona y para próximas investigaciones.

A partir del análisis de balance hídrico es posible realizar la evaluación cuantitativa de los recursos hídricos y sus alteraciones producto de los diferentes fenómenos, por lo que se ve necesario definir mediante criterio técnico la disponibilidad hídrica de la subcuenca del río Daule, para una correcta planificación en la gestión del recurso hídrico.

1.6. Ubicación del Proyecto

La subcuenca del río Daule se ubica en la parte occidental superior de la cuenca del río Guayas. Geográficamente se encuentra entre los paralelos $0^{\circ}14'$ y $2^{\circ}7'$ de latitud sur y entre los meridianos $79^{\circ}10'$ y $80^{\circ}36'$ de longitud oeste. Posee un área de 11567.088 Km², y en ella se desarrollan 28 municipios, atravesando las provincias: Guayas, Manabí, Santo Domingo de los Tsáchilas, Los Ríos y Santa Elena.

El río Daule, siendo el río principal de esta subcuenca, nace al sur del embalse Daule - Peripa, riega grandes áreas agrícolas de la provincia del Guayas, hasta finalmente juntarse al río Babahoyo y formar el río Guayas, para luego desembocar en el golfo de Guayaquil.

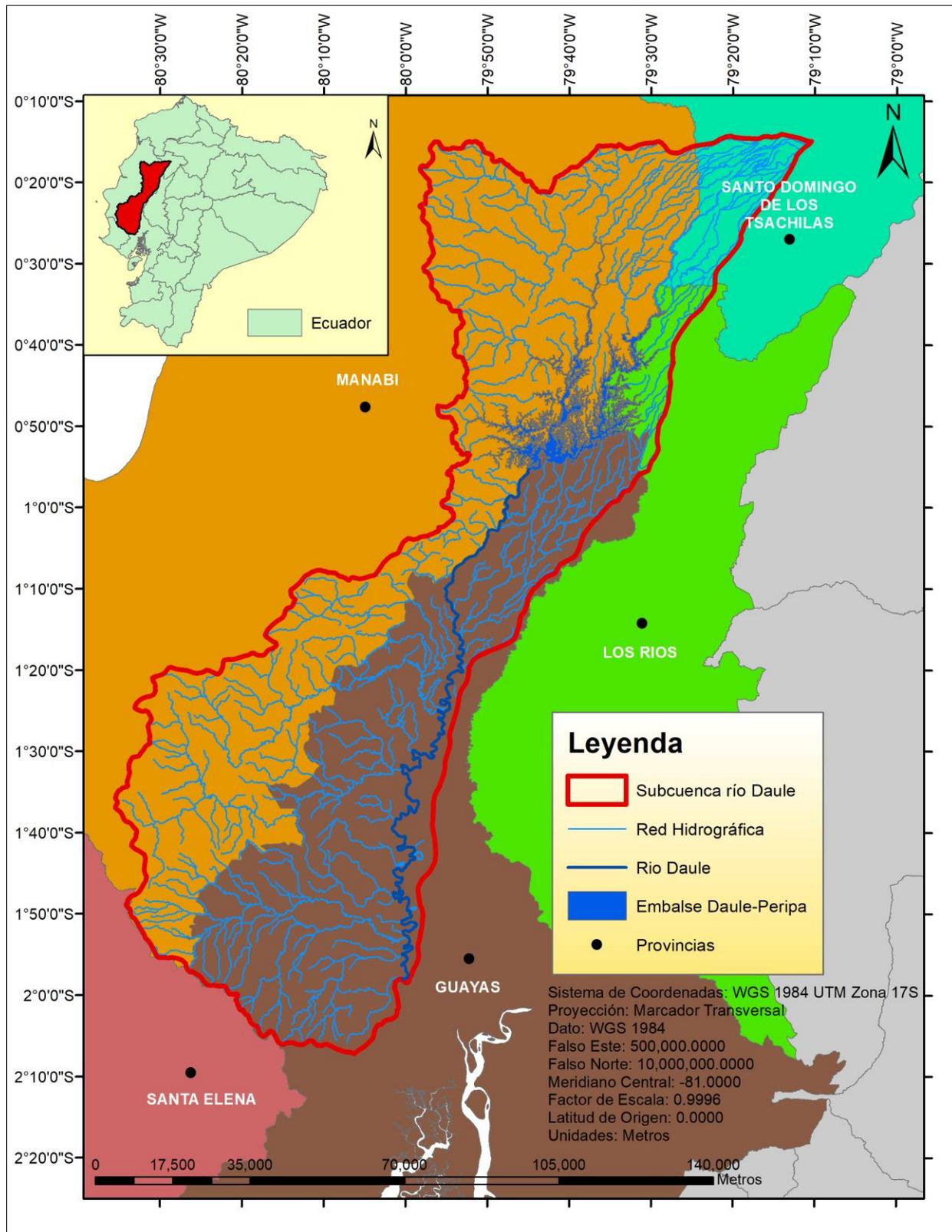


Ilustración 1: Mapa de ubicación de la Subcuenca del río Daule
Elaborado por: Gómez, Raquel

CAPÍTULO II

Marco Teórico

2.1. Antecedentes

Oliva, Olcina, y Baños (2022) en su artículo científico “Los efectos del cambio climático en el Trasvase Tajo-Segura: Diagnóstico del Balance Hídrico en la Vega Baja del Segura (Alicante, España)” mencionaron que, la cuenca del Tajo ha sufrido una reducción significativa de las precipitaciones, de los escurrimientos superficiales y de los volúmenes de agua ocasionando el grave problema de que se irán disminuyendo los recursos disponibles para transferir. Los resultados del balance hídrico revelan el impacto ocasionado por el cambio climático en las cabeceras de la cuenca del Tajo en relación con las precipitaciones que, si bien en algunos meses hay un aumento, la tendencia mensual general corresponde a una disminución considerable, por lo tanto, esto afectará directamente a la escorrentía superficial y a los volúmenes de agua almacenados en los embalses.

Portocarrero, Blandón, y Rueda (2017) en su monografía “Balance hídrico superficial de la cuenca río Ciudad antigua” elaborada en Nicaragua para obtener el título de Ingeniero Civil, tuvieron como propósito brindar un resultado estimado del comportamiento de las entradas y salidas (recarga y descarga) del recurso hídrico en la cuenca. La estimación del balance hídrico superficial lo realizaron con la herramienta hidrológica de Cálculo Hidrometeorológico de Aportaciones y Crecidas (CHAC), obteniendo resultados donde el clima está marcado por una estación seca de seis

meses, a partir de noviembre hasta abril y un periodo lluvioso que comienza en mayo y termina en octubre, también se logró conocer que la cuenca no tiende a concentrar volúmenes de agua elevados de escurrimiento por ser una cuenca oblonga rectangular; por ultimo recomendaron realizar estudios y diagnósticos periódicamente a la cuenca de estudio con el objetivo de contar con información actualizada de los recursos hídricos y las prácticas agropecuarias.

Cárdenas, Jácome, y Vergel (2021) en su artículo científico realizado en Colombia y titulado “Cálculo del balance hídrico en la quebrada Tesqua” mencionaron que, es de suprema importancia el conocimiento de los valores del balance hídrico en una cuenca hidrográfica, debido a que es posible comprender el comportamiento de este recurso y sus posibles cambios, logrando determinar los periodos más húmedos o las épocas más secas. En el desarrollo de la investigación determinaron el valor de la precipitación promedio anual utilizando datos de las estaciones pluviométricas cercanas desde los años 1990 hasta 2020, calcularon la evapotranspiración real por medio de la ecuación de Budyko, y posteriormente determinaron el caudal por segundos, indicando que conocer este valor abre camino para la realización de distintos tipos de estudios como el diseño de infraestructuras de contención a lo largo del cauce de la quebrada, como también permitirá al gobierno realizar una correcta repartición y uso del recurso hídrico.

Velásquez y Poveda (2019) en su artículo científico “Estimación del balance hídrico de la región Pacífica Colombiana” estimaron la escorrentía media anual para los ríos de la región del Pacífico Colombiano: Atrato, Baudó, Patía, San Juan, y Mira; mediante la

ecuación del balance hídrico superficial la cual es la ecuación diferencial de conservación de masa para un volumen de control definido por una cuenca hidrográfica. Sus resultados concluyeron que sobre la región de estudio se presentó un cierre casi perfecto en la ecuación de balance hídrico en los ríos de Baudó y Atrato, con errores del 10 a 20 por ciento, a diferencia de la cuenca del río Mira que presentó errores del 40 por ciento.

Díaz y Alarcon (2018) en su tesis “Estudio hidrológico y balance hídrico para determinar la oferta y la demanda de agua de la cuenca de la quebrada Niscota para un acueducto interveredal en Nunchia, Casanare” realizada en Colombia para la obtención del título de especialista en recursos hídricos, el cual tuvo como fin estimar la oferta hídrica de la cuenca en estudio para prever su uso potencial como fuente de suministro de agua para un acueducto del municipio de Nunchia, Casanare, de acuerdo con los resultados se determinó que el mes de enero presenta un mayor índice de escasez y mayo con menor índice, y se pudo concluir que inclusive en la época más seca presentada en el año, con el agua que escurre por el cauce principal es posible abastecer el proyecto del acueducto interveredal.

Marin (2020) en su tesis “Determinación del balance hídrico superficial de la cuenca del río Santa para satisfacción de la demanda existente, 2020” realizada en Perú previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, tuvo como objetivo la determinación de la disponibilidad del recurso hídrico que existe en la cuenca para fines poblacionales y de irrigación para establecer información sobre su ciclo hidrológico y así poder conseguir el valor de la esorrentía que permita estimar la oferta hídrica de la cuenca. Se concluyó que el caudal provee los diferentes requerimientos que existen en la zona pero que en

los llamados “meses secos” que se dan dentro de junio a agosto surge un déficit del recurso hídrico que se compensa con las cantidades de excedentes promedios de los meses de septiembre a mayo que pertenecen a los “meses húmedos”, de este modo la escorrentía superficial promedio anual compensa los requerimientos de agua.

Poma y Usca (2020) en su artículo científico realizado en Ecuador y denominado “Estimación del balance hídrico climático (BHC) de las microcuencas del cantón Joya de los Sacha, Orellana” teniendo como objetivo definir las épocas húmedas y secas, así como evaluar los excedentes de agua y los escurrimiento que drenan a los ríos y arroyos que drenan en la cuenca del río Napo; utilizaron el método de Thorntwaite y Mather y herramientas de información geográfica para estimar el balance hídrico para un periodo de análisis desde el año 2018 a 2019, concluyendo que el área de estudio mostró condiciones de exceso hídrico durante todo el año, teniendo presente que hay un exceso de humedad en los meses de mayo a julio que aumentan progresivamente hasta febrero.

Duque, Cajamarca, Wemple, y Delgado (2019) en su artículo científico “Estimación del balance hídrico de una cuenca Andina Tropical” estimaron el balance hídrico en la microcuenca Chaquilcay ubicada en los Andes de Ecuador para inspeccionar la variación en el tiempo de la temperatura y precipitación durante el periodo 1982 a 2015, concluyendo que durante el periodo seco los déficits hídricos acontecen en enero, junio, julio, agosto y septiembre, mientras que el resto de meses satisfacen las demandas de la evapotranspiración, donde abril es el mes que posee mayor precipitación; indicaron además que la estimación del balance hídrico proporcionará información fundamental para la gestión y planificación del recurso agua.

Montalvan y Yanqui (2019) en su tesis “Incidencia del balance hídrico de la cuenca del río Olon en el desarrollo de la comunidad” realizada en Ecuador previo a la obtención al título de Ingeniero Civil mencionaron que, debido a que la población de estudio se abastece exclusivamente de agua subterránea, al aumentar la población también aumentará la explotación de los acuíferos por lo que la determinación del balance hídrico ayudará para el abastecimiento doméstico de las comunidades y su desarrollo. Al realizar los cálculos se determinó que la cuenca posee un balance hídrico positivo y que los acuíferos del río Olon son recargados en gran parte por las precipitaciones que son excesivas en la parte alta de la cuenca.

Alvarado (2020) en su tesis “Estimación del balance hídrico de la cuenca del río Milagro mediante un sistema de información geográfica” elaborada en Ecuador para la obtención al título de ingeniero agrónomo, concluyó que, alrededor del 76 por ciento del área total de la cuenca en estudio presentó un déficit hídrico lo que significa que existe mayor consumo de agua por parte de las distintas actividades que se realizan en el sector, y un 20 por ciento que presenta estabilidad y exceso hídrico.

2.2. Bases Teórico-Científicas

2.2.1. Hidrología.

Según Villón (2002) la hidrología es quien se encargada del estudio del agua, su origen, circulación y distribución temporal y espacial sobre la superficie terrestre, así como su relación con el medio ambiente en general. Dentro de este estudio se abarca

las precipitaciones, escorrentía, la evapotranspiración y humedad del suelo, así como el equilibrio de las masas glaciales. La hidrología proporciona métodos para la solución de problemas prácticos como el de conocer si el volumen de la corriente de un cauce es conveniente para proveer de agua potable a una localidad o industria, o para satisfacer la demanda de distintos proyectos hidráulicos.

2.2.2. Hidrografía.

La hidrografía identifica, estudia y describe las masas de agua tal como mares, lagos y corrientes hídricas existentes en el planeta, es decir el agua que se halla en contacto con la superficie terrestre; relacionándose con otras ciencias tales como la geología, hidrología, climatología y meteorología. Esta disciplina constituye una base sólida para la aplicación de geopolíticas territoriales para el aprovechamiento, administración y gestión de los recursos hidrográficos existentes para una mejor calidad de vida de la población (Marin, 2020).

2.2.3. Cuenca Hidrográfica.

Una cuenca hidrográfica corresponde al área de un territorio delimitado por un parteaguas en el cual de manera natural se forma un curso superficial de agua que proviene de precipitaciones, deshielos o acuíferos, estas aguas discurren hacia una desembocadura que comúnmente es un cuerpo de agua significativo como un río, lago u océano (M. Aguirre, 2011).

Las cuencas como unidades hidrográficas están estructuradas jerárquicamente subdividiéndose en subcuencas y microcuencas:

Subcuenca

Una subcuenca es una superficie por la cual fluye un curso de agua que drena en un río principal y contiene un conjunto de microcuencas dentro de ella (Ordoñez, 2011a).

Microcuenca

Una microcuenca es una superficie donde su flujo de agua desemboca en el cauce principal de una subcuenca (Ordoñez, 2011a).

2.2.4. Tipos de Cuencas según el Destino de los Esgurrimientos.

Existen tres diferentes tipos de cuencas visto desde el enfoque del drenaje o descarga de sus esgurrimientos:

Cuenca Exorreica: Su drenaje se encuentra en los límites de la cuenca cuya corriente principal descarga a otra corriente fuera de la cuenca o al mar (Breña & Jacobo, 2006).

Cuenca Endorreica: Es aquella cuya corriente principal descarga hacia depresiones interiores como en lagos o lagunas ubicadas dentro de la cuenca, este tipo de cuenca es llamada cuenca cerrada (UNESCO, 1982).

Cuenca Arreica: Este tipo de cuenca no posee un drenaje superficial ya que sus aguas no descargan al océano o a depresiones interiores, más bien desaparecen al evaporarse o infiltrarse sin generar una esgorrentía permanente (UNESCO, 1982).

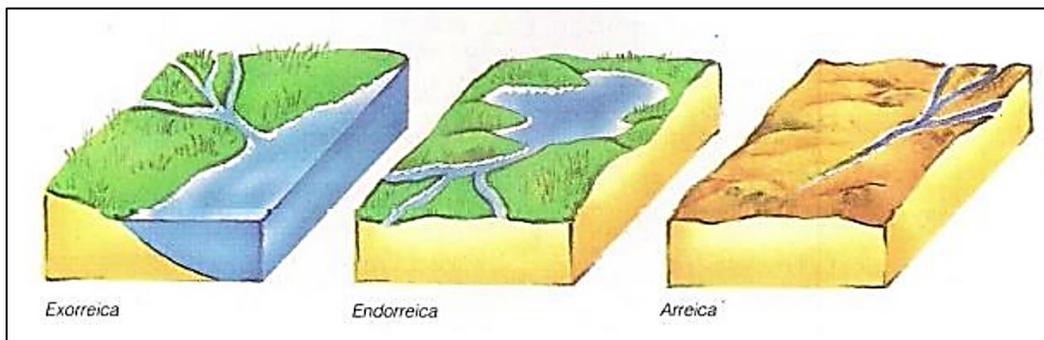


Ilustración 2: Tipos de cuencas según la descarga de sus aguas
Fuente: (Torrent, Aguilar, Zúñiga, & Oviedo, s.f.)

2.2.5. Características Geomorfológicas.

Al empezar un estudio hidrológico con el objetivo del aprovechamiento o control de una cuenca es necesario evaluar sus parámetros geomorfológicos ya que permite conocer las características físicas de la cuenca y comprender su funcionalidad hidrológica.

A continuación, se presentan algunos parámetros característicos:

2.2.5.1. Área y Perímetro.

El área es la representación proyectada a un plano horizontal de toda la zona de drenaje generada por el parteaguas de la cuenca (Breña & Jacobo, 2006); la unidad de esta variable se expresa en kilómetros cuadrados o en hectáreas si se trata de cuencas pequeñas. Este parámetro es de gran importancia ya que permite el cálculo de otras características físicas de la cuenca.

El perímetro de la cuenca describe la línea formada por el parteaguas proyectada en un plano horizontal; su unidad se expresa normalmente en kilómetros al tratarse de una longitud.

El área y el perímetro de una cuenca es posible determinarlos por medio de innumerables herramientas informáticas como programas SIG (ArcGIS, QGIS, etc.) o software de dibujo asistido por ordenador como AutoCAD.

2.2.5.2. Longitud Axial.

La longitud axial de una cuenca (L_c) es la máxima longitud que se mide en línea recta desde la salida o desembocadura de la cuenca hasta el término de la divisoria paralela al cauce principal, la unidad para su medición será en kilómetros (N. Aguirre, 2007).

2.2.5.3. Forma.

La forma de una cuenca determina su comportamiento hidrológico ya que afecta de manera diferente al tiempo de concentración de sus escurrimientos y permite conocer la tendencia de crecidas al presentarse precipitaciones intensas (Ibáñez, Moreno, & Gisbert, 2011).

Factor de forma (K_f)

El factor de forma (K_f) sugerido por Horton es la relación entre el ancho medio de la cuenca y su longitud axial, donde el ancho medio se consigue dividiendo el área de la cuenca por su longitud:

$$K_f = \frac{B}{L_c} \dots (1)$$

$$B = \frac{A}{L_c} \dots (2)$$

Sustituyendo (2) en (1), el factor de forma resulta expresado de la siguiente manera:

$$K_f = \frac{A}{L_c^2} \dots (3)$$

Donde:

B = Ancho medio de la cuenca (Km)

A = Área de la cuenca (Km²)

L_c = Longitud axial de la cuenca (Km)

Lux (2012) menciona que una cuenca con un bajo factor de forma presentará menos crecientes que una cuenca que contiene la misma superficie y posee un factor de forma mayor ya que su grado de achatamiento tiende a concentrar el escurrimiento formando fácilmente grandes crecidas.

Tabla 1: Rangos aproximados del Factor de Forma

Valor K_f	Forma de la Cuenca
< 0.22	Muy alargada
0.22 - 0.30	Alargada
0.30 - 0.37	Ligeramente alargada
0.37 - 0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45 - 0.60	Ligeramente ensanchada
0.60 - 0.80	Ensanchada
0.80 - 1.20	Muy ensanchada
> 1.20	Rodeando el desagüe

Fuente: (Pérez, 1979), como se citó en (Montalvan & Yanqui, 2019)

Coeficiente de compacidad (Kc)

Fue determinado por H. Gravelius como la relación adimensional entre el perímetro de la cuenca y la circunferencia de un círculo donde el área es igual a la superficie real de la cuenca.

$$K_c = \frac{P}{2\pi r} \dots (4)$$

$$A = \pi r^2 \quad \dots (5)$$

$$r = \left(\frac{A}{\pi}\right)^{1/2} \quad \dots (6)$$

Reemplazando (6) en (4) se obtiene una ecuación más simplificada de K_c :

$$K_c = 0.2821 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \dots (7)$$

Donde:

P = Perímetro de la cuenca (Km)

A = Área de la cuenca (Km²)

N. Aguirre (2007) indica que valores cercanos a 1 revelan que la cuenca tiende a una forma circular y con mayor facilidad para concentrar las escorrentías, mientras los que son mayores a la unidad se trata de cuencas alargadas o asimétricas que presentan mayor tiempo de concentración.

Tabla 2: Rangos aproximados del Coeficiente de Compacidad

Valor K_c	Forma de la Cuenca
1 - 1.25	Casi redonda a oval-redonda
1.25 - 1.5	Oval redonda a oval-oblonga
1.5 - 1.75	Oval oblonga a rectangular oblonga
> 1.75	Rectangular o alargada

Fuente: (Gaspari, 2012)

Rectángulo equivalente

El rectángulo equivalente es un parámetro que permite transformar la cuenca en una superficie rectangular (**Ilustración 3**), de manera que las curvas de nivel se vuelven rectas paralelas al lado menor del rectángulo (l), la forma del rectángulo mantendrá la misma área y perímetro de la cuenca real, así como el mismo coeficiente de compacidad;

obteniendo el cálculo de los lados del rectángulo con las siguientes ecuaciones (Villón, 2002):

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right] \dots (8)$$

$$I = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right] \dots (9)$$

Donde:

L = Altura del rectángulo (Km)

I = Base del rectángulo (Km)

K_c = Coeficiente de compacidad

A = Área de la cuenca (Km²)

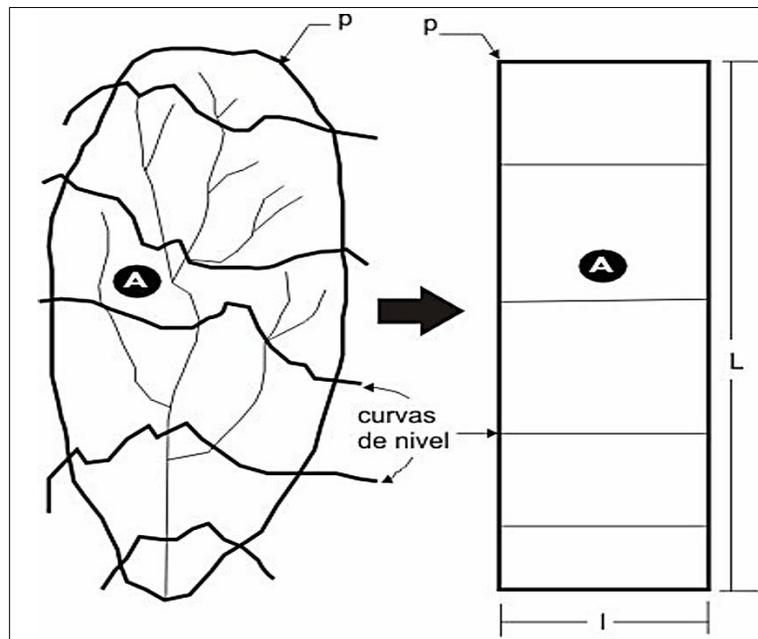


Ilustración 3: Transformación de una cuenca en un rectángulo
Fuente: (Villón, 2002)

2.2.5.4. Relieve.

El relieve de una cuenca afecta en su respuesta hidrológica ya que en una cuenca con mayor relieve la velocidad de escorrentía superficial se presentará con un menor tiempo de concentración; por lo que es de gran importancia conocer los parámetros principales de relieve que inciden en la subcuenca.

Curva hipsométrica

La curva hipsométrica permite caracterizar el relieve de una cuenca por medio de una gráfica que muestra en la ordenada, las cotas de altitud de la cuenca y en la abscisa, sus porcentajes de área acumulada.

Breña & Jacobo (2006) indican que la distribución espacial altitudinal en una cuenca es esencial para poder identificar su condición morfológica, en otras palabras, conocer el porcentaje de área de la cuenca correspondiente a zonas montañosas o zonas de planicie, a la vez determinar el ciclo erosivo y la etapa evolutiva en el que se halla la cuenca, como se observa en la **Ilustración 4**:

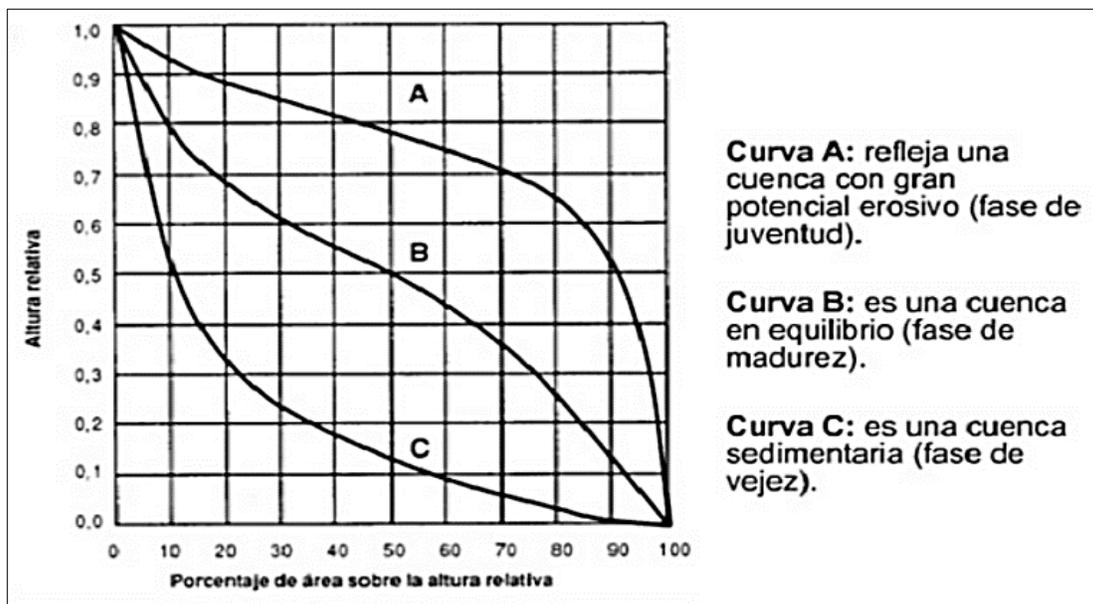


Ilustración 4: Modelos de curvas hipsométricas
Fuente: (Rojas, 2015)

Elevación media

La elevación media es una variación altitudinal de una cuenca y es de gran importancia ya que influye sobre su clima, por consiguiente, en su régimen hidrológico como en las precipitaciones o pérdidas de agua por evaporación y transpiración.

Este valor puede ser determinado a partir de la curva hipsométrica, y se calcula con la cota que corresponde al 50 por ciento del área de la cuenca (N. Aguirre, 2007).

Polígono de frecuencia de altitudes

El polígono de frecuencia altitudinal es una representación gráfica donde se detalla la colocación en porcentajes de las superficies representadas por determinadas altitudes, y por medio de él se puede conocer la altitud que más se repite que es el máximo valor en el polígono de frecuencia (Villón, 2002).

Pendiente media

Como expresa Villón (2002) la pendiente media es un parámetro significativo al realizar el análisis de una cuenca ya que tiene una importante relación con la escorrentía superficial, la infiltración, y la humedad del suelo, controlando el tiempo de escurrimiento y la concentración de las lluvias en los canales de desagüe.

En el anuario hidrológico 2014-2016 del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) se menciona que la subcuenca del río Daule presenta una pendiente media del 0.24 % por lo que su relieve es plano (García & Carvajal, n.d.).

2.2.5.5. Sistema de Drenaje.

El sistema de drenaje de una cuenca hidrográfica está conformado por el cauce principal y sus respectivos tributarios, su estudio es importante ya que permite conocer la rapidez con la que son desalojadas las aguas que recibe. Dentro de sus principales características se presentan las siguientes:

Orden de las corrientes

De acuerdo con Villón (2002), el orden de las corrientes es una clasificación que permite conocer el grado de bifurcación dentro de una cuenca, donde las corrientes de orden uno son las que no poseen ningún tributario o afluente, de orden dos se consideran a las que tienen tributarios de orden uno, y las corrientes de orden tres son las que contienen dos o más tributarios de orden dos, y así sucesivamente; un ejemplo de esta clasificación es mostrado en la **Ilustración 5**.

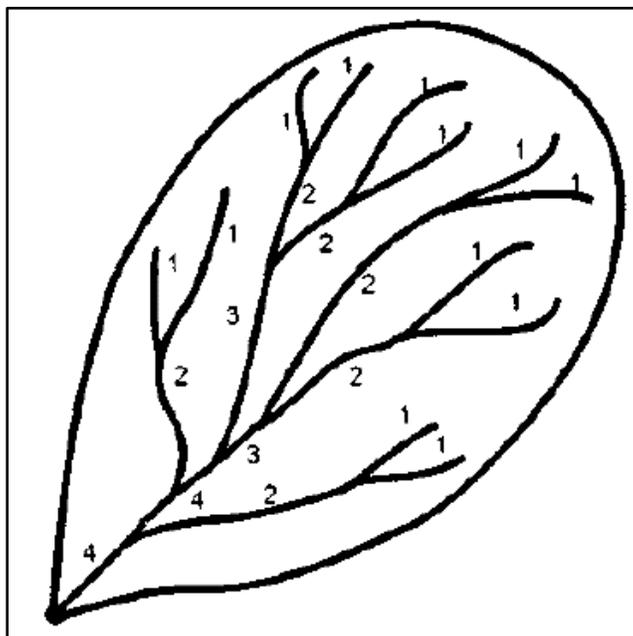


Ilustración 5: Orden de las corrientes de una cuenca
Fuente: (Villón, 2002)

Longitud del cauce principal

La longitud del cauce principal es la distancia existente entre la desembocadura del río y su nacimiento (Portocarrero et al., 2017).

Densidad de drenaje

La densidad de drenaje permite conocer la posible naturaleza de los suelos de una cuenca, donde valores altos de densidad indican zonas con poca cobertura vegetal, suelos fácilmente erosionables o impermeables y con tiempos de concentración cortos. Valores bajos representan suelos duros poco erosionables o muy permeables, con cobertura vegetal densa y respuesta hidrológica lenta. Este parámetro se calcula dividiendo la longitud total de las corrientes por el área total de la cuenca (Villón, 2002), es decir:

$$D_d = \frac{L}{A} \dots (10)$$

Donde:

D_d = Densidad de drenaje

L= Longitud total de las corrientes (Km)

A = Área total de la cuenca (Km²)

Tabla 3: Valores interpretativos de la densidad de drenaje

Densidad de drenaje (Km/Km ²)	Categoría
< 1	Baja
1 a 2	Moderada
2 a 3	Alta
> 3	Muy alta

Fuente: (Delgadillo & Páez, 2008), como se citó en (Camino, y otros, 2018)

2.2.6. Ciclo Hidrológico.

Villón (2002) define el ciclo hidrológico como la sucesión de variaciones experimentados por el agua en la naturaleza, es decir, cambiando su estado de sólido, líquido y gaseoso, como su forma de agua superficial a agua subterránea. En el siguiente esquema (**Ilustración 6**) se muestra los distintos estados y formas en la que se puede presentar el agua.

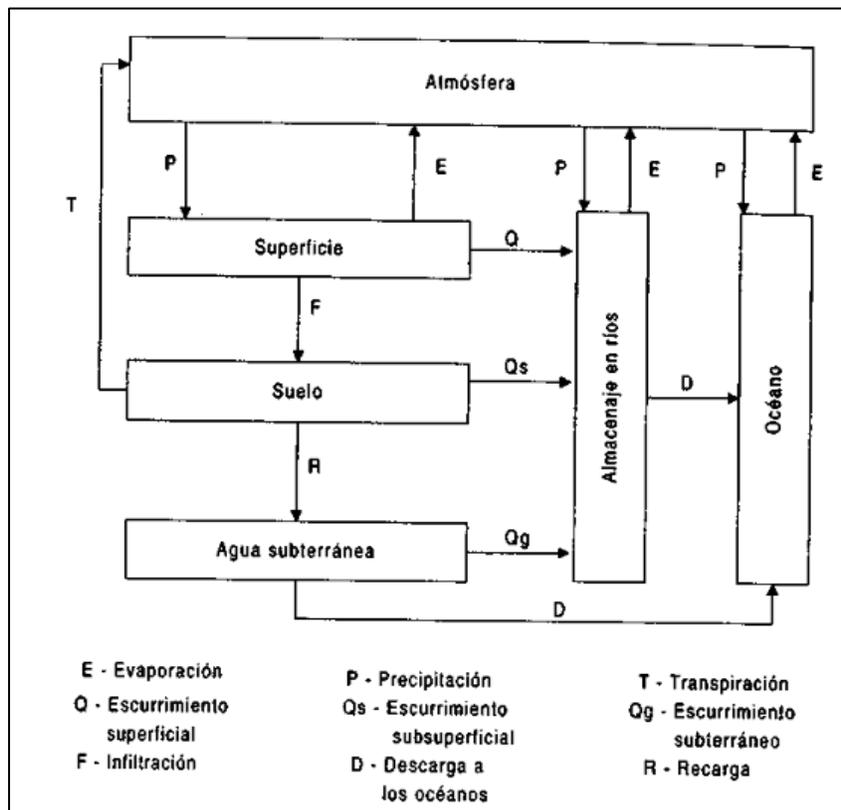


Ilustración 6: Representación cualitativa del ciclo hidrológico
Fuente: (Villón, 2002)

El ciclo hidrológico comprende un proceso de transporte circulatorio permanente debido principalmente al sol que provee la energía para que se eleve el agua produciendo la evaporación; y luego está la gravedad terrestre que ocasiona que el agua condensada descienda como precipitación o escurrimiento (Ordoñez, 2011b).

2.2.7. Precipitación.

La UNESCO (1982) denomina a la precipitación como el agua que desciende a la superficie terrestre, dicha agua es proveniente de la humedad atmosférica que puede estar principalmente en estado líquido como lluvia o llovizna, o en estado sólido a manera de nieve o granizo.

Para la medición de la precipitación se realiza conociendo la altura de la lámina de agua acumulada en una superficie horizontal, calculándola con varios aparatos colocados en la intemperie, dos de ellos son el pluviómetro y el pluviógrafo.

Pluviómetro: Se trata de un recipiente cilíndrico de entre 20 centímetros de diámetro y 60 centímetros de alto, donde su tapa es un embudo que recepta el agua y se conecta a una probeta con sección menor a la tapa, permitiendo medir la altura de la precipitación en milímetros realizando lecturas cada 24 horas (Villón, 2002).

Pluviógrafo: Este instrumento tiene forma cilíndrica, contiene un embudo receptor que se conecta a un sistema de flotadores, permitiendo la movilidad de una aguja sobre un papel registrador realizando un gráfico llamado pluviograma permitiendo conocer la altura de la precipitación en función del tiempo (Villón, 2002).

2.2.7.1. Evaluación de la Precipitación Media Espacial.

La altura de precipitación que desciende en un lugar será diferente a la que cae en sus alrededores por lo que los aparatos de medición permiten registrar la lluvia puntual de cada zona donde se encuentran instalados (Villón, 2002).

Si se necesita conocer la cantidad promedio de precipitación que se distribuye sobre una superficie específica de una cuenca se utilizan distintos métodos como el del promedio aritmético, Thiessen e isoyetas. En este estudio la distribución de las estaciones dentro del área de la subcuenca no es uniforme por lo tanto no es posible estimar la precipitación media por los métodos del promedio aritmético o isoyetas, en consecuencia, se utilizará el método del polígono de Thiessen.

Método del Polígono de Thiessen

Este método permite determinar la precipitación media en una zona donde su topografía es suave o plana, y es empleado cuando los pluviómetros no están distribuidos uniformemente en el área en consideración (Forero & Rodríguez, 2016)

Villón (2002) describe que en este modelo es importante conocer la ubicación de las estaciones en el lugar de estudio para así poder delimitar el área de influencia de cada una de ellas, posteriormente se unen dichas estaciones formando triángulos y se trazan mediatrices donde se forman polígonos, cada estación que quede rodeada por polígonos corresponderá al área de influencia de la estación correspondiente. Luego de que se conoce el área de cada estación, se calcula la precipitación media utilizando la siguiente

Ecuación 11:

$$P_{med} = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n A_i P_i \dots (11)$$

Donde:

P_{med} = Precipitación media

A_T = Área total de la cuenca

A_i = Área de influencia parcial del polígono de Thiessen referente a la estación i

P_i = Precipitación de la estación i

n = Número de estaciones tomadas en cuenta

2.2.8. Temperatura.

De acuerdo con Ordoñez (2011b) la temperatura es la cantidad de energía solar que se acumula en la atmósfera en un momento determinado, para medir dicha energía se

utiliza el termómetro y el resultado que se obtiene es expresado en escala centígrada, grados Celsius o Fahrenheit.

2.2.9. Evaporación.

La evaporación es un fenómeno físico atmosférico parte del ciclo hidrológico que mediante un proceso se convierte en vapor y se integra al aire (Ordoñez, 2011b).

La UNESCO (1982) menciona que, si en una región la superficie de lagos o embalses son lo suficientemente grandes como para influir en su balance hídrico, será necesario estimar la evaporación que se produce desde su superficie, esta se puede evaluar de forma instrumental (evaporímetros) o teórica (fórmulas empíricas). Al medir la evaporación con evaporímetros, sus condiciones tienden a ser diferente a las situaciones naturales de un lago o embalse, por lo que es necesario aplicar a la evaporación medida en un evaporímetro un coeficiente de corrección llamado “coeficiente de embalse”, que es la relación entre la evaporación real y la medida. En la **Tabla 4** se indican los evaporímetros usados generalmente en América del Sur y sus coeficientes anuales de embalse.

Tabla 4: Coeficiente anual de embalse para tipos de evaporímetros

Tipo de evaporímetro	Coeficiente anual de embalse
Tanque Tipo A	0.6 a 0.8
Piche con superficie de papel	0.5
De balanza, Wild	0.7

Fuente: (UNESCO, 1982)

El dispositivo usado por el INAMHI para medir la evaporación es el tanque de evaporación Tipo A (Granda, 2017), por lo que para este estudio se utilizará un coeficiente anual de embalse entre 0.6 a 0.8. Como resultado de experiencias realizadas en Estados Unidos, el valor más conveniente adoptado para el coeficiente anual del tanque de Tipo A es de 0.7 (Juan Molina, Martínez, & Baille, 2006).

2.2.10. Transpiración.

Es la pérdida de agua formada por el vapor de la vegetación producto de sus procesos biológicos (N. Aguirre, 2007).

2.2.11. Evapotranspiración.

La evapotranspiración es el conjunto de agua que asciende a la atmósfera ocasionada por la evaporación que se intercepta desde la superficie y por la transpiración de las plantas (UNESCO, 1982).

Ordoñez (2011b) indica que la evapotranspiración al ser la combinación de los procesos de transpiración y evaporación y al ocurrir simultáneamente, es difícil de distinguirlos por lo que su cuantificación se la realiza por métodos semi-empíricos y se escoge el método de acuerdo con la cantidad de información que se posea y con el tipo de superficie.

Dependiendo el tipo de superficie si es natural o de riego se emplean distintos modelos para el cálculo de la evapotranspiración, algunos métodos son los siguientes (UNESCO, 1982):

Superficies naturales: Para este tipo de superficie se puede usar los métodos de Turc, Thornthwaite y Mather, o Penman.

Superficies regadas: Se recomienda usar el método de Blaney y Criddle o el modelo de Grassi y Christiansen.

Método de Blaney y Criddle

El método de Blaney y Criddle es una fórmula indirecta el cual usa los factores de temperatura media mensual y los porcentajes de horas luz para distintas latitudes, de modo que permita la estimación de la evapotranspiración de cultivos (Sánchez, 1999).

La estimación de la evapotranspiración para la subcuenca del río Daule se lo realizará por este método ya que es considerado para zonas con cultivos agrícolas y vegetación natural (UNESCO, 1982):

$$ETR_m = k f \quad \dots (12)$$

Donde:

ETR_m = Evapotranspiración real mensual en mm

k = Coeficiente empírico que depende principalmente del tipo de cultivo

f = Factor mensual de uso consuntivo del agua, calculado con la siguiente expresión:

$$f = p (0.46 \theta + 8.13) \quad \dots (13)$$

donde:

p = Porcentaje medio diario de las horas de luz diurna. Depende de la latitud y del mes del año según la **Tabla 5**.

θ = Temperatura media mensual (°C)

La evapotranspiración total del periodo de riego o cultivo es:

$$ETR = K \sum f \dots (14)$$

siendo:

K = Coeficiente empírico general o de evapotranspiración estacional para todo el periodo de riego (**Tabla 6**). El clima predominante sobre la cuenca del río Daule es el Tropical Megatérmico Semi-Húmedo, que se distribuye por casi toda la cuenca (EMAPAG-EP, 2017), por lo que se utilizará los coeficientes estacionales para áreas húmedas y semihúmedas.

Tabla 5: Porcentaje medio diario "p" de las horas anuales de luz diurna

LAT. N	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
LAT. S	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J
60°	0,15	0,20	0,26	0,32	0,38	0,41	0,40	0,34	0,28	0,22	0,17	0,13
58°	0,16	0,21	0,26	0,32	0,37	0,40	0,39	0,34	0,28	0,23	0,18	0,15
56°	0,17	0,21	0,26	0,32	0,36	0,39	0,38	0,33	0,28	0,23	0,18	0,16
54°	0,18	0,22	0,26	0,31	0,36	0,38	0,37	0,33	0,28	0,23	0,19	0,17
52°	0,19	0,22	0,27	0,31	0,35	0,37	0,36	0,33	0,28	0,24	0,20	0,17
50°	0,19	0,23	0,27	0,31	0,34	0,36	0,35	0,32	0,28	0,24	0,20	0,18
48°	0,20	0,23	0,27	0,31	0,34	0,36	0,35	0,32	0,28	0,24	0,21	0,19
46°	0,20	0,23	0,27	0,30	0,34	0,35	0,34	0,32	0,28	0,24	0,21	0,20
44°	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,35	0,34	0,31	0,28	0,25	0,22	0,20
42°	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,34	0,33	0,31	0,28	0,25	0,22	0,21
40°	0,22	0,24	0,27	0,30	0,32	0,34	0,33	0,31	0,28	0,25	0,22	0,21
35°	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,32	0,30	0,28	0,25	0,23	0,22
30°	0,24	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,31	0,30	0,28	0,26	0,24	0,23
25°	0,24	0,26	0,27	0,29	0,30	0,31	0,31	0,29	0,28	0,26	0,25	0,24
20°	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,30	0,29	0,28	0,26	0,25	0,25
15°	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,25
10°	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,29	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,26
5°	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27
0°	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27

Fuente: (UNESCO, 1982)

Tabla 6: Coeficientes de cultivo estacional "K" de Blaney y Criddle

Cultivo	Periodo Considerado (1)	Coeficiente Estacional K	
		Areas húmedas y semihúmedas	Areas áridas y semiáridas
Alfalfa	Entre heladas	0,80	0,90
Porotos	3 meses	0,60	0,70
Mafz	4 meses	0,75	0,85
Granos pequeños	3 meses	0,75	0,85
Semillas de aceite	3 a 5 meses	0,65	0,75
Paltos	Todo el año	0,50	0,55
Cítricos	Todo el año	0,45	0,55
Nogales	Entre heladas	0,60	0,70
Arboles caducos	Entre heladas	0,60	0,70
Pastos	Entre heladas	0,75	0,85
Trébol	Entre heladas	0,80	0,85
Papas	3 a 5 meses	0,65	0,75
Arroz	3 a 5 meses	1,00	1,10
Remolacha	6 meses	0,65	0,75
Tabaco	4 meses	0,70	0,80
Tomates	4 meses	0,65	0,70
Chacras	2 a 4 meses	0,60	0,70
Víñas	5 a 7 meses	0,50	0,60
Vegetación Natural	Entre heladas	Poco densa 0,90	Muy densa 1,25

Fuente: (UNESCO, 1982)

2.2.11.1. Evapotranspiración Potencial (ETP).

Para la UNESCO (1982) la evapotranspiración potencial se refiere a la máxima cantidad de agua posible que pudiera ser evapotranspirada a través de una superficie dada. Es decir, al suponer que la humedad del suelo y la cobertura vegetal se encuentra en condiciones óptimas.

2.2.11.2. Evapotranspiración Real (ETR).

La evapotranspiración real es el agua que asciende realmente a la atmósfera producido por la evapotranspiración, y es el componente que se utilizará para calcular el balance hídrico en una cuenca (UNESCO, 1982).

Ordoñez (2011b) menciona que la evapotranspiración real será inferior a la evapotranspiración potencial y existen varios factores que conllevan a que esto sea cierto

como son la falta de agua en distintos periodos, el desarrollo de la planta o la variación de la humedad y temperatura.

2.2.12. Escorrentía.

Esta investigación al ser realizada con la Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur de la UNESCO (1982), ella menciona que la escorrentía se basará solamente en el escurrimiento superficial de régimen natural. Por lo tanto, el escurrimiento superficial es el proveniente de precipitaciones no infiltradas, que escurren sobre la superficie del suelo (Villón, 2002).

2.2.13. Balance Hídrico.

El balance hídrico es la estimación de la cantidad de agua que podría manifestar una región en un determinado periodo de tiempo, donde se comparan las entradas hídricas (precipitación) con las salidas (evapotranspiración y escorrentía), (Díaz y Alarcon, 2018).

El balance hídrico se origina en el principio de conservación de masa y se representa en una ecuación simplificada del balance, donde la precipitación corresponde al equivalente de la escorrentía más la evapotranspiración real, sumado con un término de discrepancia (**Ecuación 15**), donde el símbolo $\langle P \rangle$ representa el promedio espacial horizontal y la barra el promedio temporal, el término de discrepancia η es un factor que indica la calidad con que cada uno de los componentes del balance hídrico son ajustados en la ecuación, ya que se originan errores sistemáticos al ejecutar tales componentes de forma separada y con distintos medios de observación (Jorge Molina y Espinoza, 2006):

$$\langle \bar{P} \rangle = \langle \bar{Q} \rangle + \langle \overline{ET} \rangle + \eta \dots (15)$$

Donde:

$\langle \bar{P} \rangle$ = Precipitación media del periodo y área

$\langle \bar{Q} \rangle$ = Caudal medio del periodo y área

$\langle \overline{ET} \rangle$ = Evapotranspiración media del periodo y área

η = Término de discrepancia

Como el balance hídrico será realizado para un periodo extenso, se puede considerar que los parámetros de escorrentía subterránea, infiltración y regulaciones son despreciables con respecto a los otros términos de su ecuación (UNESCO, 1982).

2.2.14. Consistencia y Relleno de los Registros Meteorológicos.

2.2.14.1. Estimación de Datos Faltantes.

Para que en un balance hídrico intervengan el máximo número de registros, es esencial utilizar métodos que permitan estimar los datos incompletos que presentan las estaciones en estudio (UNESCO, 1982).

Uno de los métodos estadísticos recomendados es el de regresión lineal simple, este modelo permite especificar una ecuación de regresión con la cual se podrá conocer la relación que existe entre dos variables y prever los valores de una variable en función de la información que le proporcione la otra. La variable X es la variable observada que sirve de base para la predicción y es denominada variable independiente, la variable Y llamada variable dependiente es la cual deseamos predecir sus valores. En una nube de puntos o diagrama de dispersión entre ambas variables se determina la recta lineal y su ecuación, los valores faltantes de Y se determinan con tal ecuación (Camacho, 2006).

2.2.14.2. Análisis de Consistencia y Ajuste de las Estadísticas.

Breña & Jacobo (2006) describen que para averiguar si un registro de datos es inconsistente, en otras palabras, cuando ha habido cambios o relocalización del instrumento de medición o de su funcionamiento en algún momento de su historia, se utiliza el método estadístico de la curva de doble masa. La curva se obtiene a partir de valores anuales acumulados del parámetro de análisis, como es el caso de la precipitación; en el eje vertical se colocan los datos anuales acumulados de la estación en la que se sospecha inconsistencia en alguna parte de su registro, y en el eje horizontal los valores promedios anuales acumulados de las estaciones cercanas. Si existe inconsistencia habrá un cambio de pendiente en alguna parte de la curva por lo que se tendrá que corregir calculando un factor de ajuste (K) con la siguiente expresión:

$$K = \frac{\text{Pendiente del tramo posterior al cambio}}{\text{Pendiente del tramo anterior al cambio}} \dots (16)$$

Los valores que se encuentran fuera de la línea de consistencia se multiplican por el factor de ajuste.

El cambio de pendiente debe estar bien definido por lo menos por un periodo consecutivo de cinco años, ya que usualmente los puntos contienen leves ondulaciones en relación a la tendencia media, debido a las dispersiones lógicas que se producen en este tipo de observaciones (UNESCO, 1982).

2.3. Definición de Términos Básicos

Parteaguas: Línea imaginaria formada por las más altas zonas de las montañas que divide a las cuencas y distribuye el escurrimiento que se genera por la precipitación

hasta fluir hacia el punto de descarga de la cuenca (Cotler, Galindo, González, Pineda, & Ríos, 2013).

Tiempo de concentración: Tiempo que tarda la gota más alejada de la sección de salida de la cuenca en llegar hasta dicha sección. (N. Aguirre, 2007)

Caudal: Volumen de agua que transcurre por una sección transversal específica en unidad de tiempo, y es expresado generalmente en metros cúbicos por segundos (m^3/s). (Ordoñez, 2011a)

Hidrograma: Gráfica o tabla que muestra la tasa de flujo en función del tiempo para un lugar determinado de la corriente. (Ordoñez, 2011b)

Tanque de evaporación: Evaporímetro compuesto por un tanque o depósito de mediana profundidad, con una superficie relativamente grande, que mide el descenso del nivel del agua contenido, debido a la evaporación. (Granda, 2017)

Modelo digital de elevación: Estructura numérica de datos tipo ráster que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno mediante un conjunto de cotas. (Felicísimo, n.d.)

Uso consuntivo: Cantidad de agua usadas por las plantas para crecer, desarrollarse y producir económicamente, siendo común mencionar el término “evapotranspiración real” cuando se hace referencia al uso consuntivo. (Sánchez, 1999)

Disponibilidad hídrica: Cantidad de agua existente en una cuenca después de cruzar los factores naturales. (Carchi, 2015)

Demanda hídrica: Cantidad de agua prevista para su uso y distribución a los usuarios en periodos de tiempo determinados. (Frisancho & Luna, 2020)

CAPÍTULO III

Marco Metodológico

3.1. Tipo de Estudio

3.1.1. Enfoque de la Investigación.

La presente investigación posee un enfoque cuantitativo ya que se realizará la recolección de datos hidrometeorológicos del área de estudio, los cuales serán analizados y corregidos por medio de métodos estadísticos y así, al realizar los cálculos correspondientes se conocerá la realidad del balance hídrico de la subcuenca del río Daule.

Para Borja (2016) el enfoque de investigación cuantitativo es una manera confiable de conocer con exactitud el comportamiento de un fenómeno para probar una hipótesis basándose en la recolección de datos y su análisis con el uso de la estadística.

3.1.2. Diseño de Investigación.

Esta investigación es un diseño no experimental de tipo descriptiva puesto que permitirá conocer las características específicas y el estado hídrico de la subcuenca del río Daule.

En la investigación no experimental de tipo descriptiva se busca determinar las propiedades y características del objeto de estudio recogiendo información de las variables de interés sin manipularlas o influir en ellas, y con los resultados obtenidos conocer cómo se manifiesta el fenómeno (Hernández, 2014).

3.2. Población, Muestra y Muestreo

Población

Para este estudio, la población está compuesta por estaciones hidrometeorológicas cercanas y dentro del área analizada, con las cuales se recopilará datos de precipitación, temperatura, evaporación y caudal medio. En la **Tabla 7** se mencionan las estaciones seleccionadas como población para esta investigación.

Tabla 7: Estaciones hidrometeorológicas determinadas como la Población

Proximidad a la zona	Código	Nombre
Estaciones dentro de la subcuenca del río Daule	M1207	Nobol
	M0476	Daule en la Capilla
	M0475	Colimes de Balzar
	M0160	El Carmen
	M0026	Puerto Ila
	M0171	Camposano #2
	M0458	Colimes de Pajan
	M0166	Olmedo-Manabí
	H0365	Daule en la Capilla
	H359	Pajan en Aua Fria
	H363	Daule en Balzar
	H352	Macul en Pte. Carretera Pan.
Estaciones cercanas a la subcuenca del río Daule	H327	Cajones en Km. 18 1/2
	M0348	Santa Anita
	M0466	Vinces
	M0459	San Pablo-Manabí
	M0451	El Anegado
	M0447	24 de Mayo (Jaboncillo)
	MA34	Rio Grande
	MA33	Rio Santo
	M0470	Mocache
	M0006	Pichilingue
	M283	Inmoriec-El-Vergel
M0162	Chone-U.Catolica	
M0452	Zapote	

Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI))

Muestra

La muestra para esta investigación son las estaciones hidrometeorológicas cercanas y dentro del área de estudio que se encuentran con datos disponibles completos de precipitación, temperatura, evaporación y caudal, durante el periodo de 1997 a 2016. En la **Tabla 8** se presentan las estaciones que dispone de información completa para realizar el estudio de Balance hídrico superficial.

Tabla 8: Estaciones hidrometeorológicas determinadas como la Muestra

Proximidad a la zona	Código	Nombre
Estaciones dentro de la subcuenca del río Daule	M0026	Puerto Ila
	M0171	Camposano #2
	M0166	Olmedo-Manabí
	H0365	Daule en la Capilla
Estaciones cercanas a la subcuenca del río Daule	M0466	Vinces
	M0006	Pichilingue
	M0162	Chone-U.Catolica

Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI))

Muestreo

El muestreo de esta investigación consistió en un método no probabilístico intencional, ya que se seleccionaron solamente las estaciones convenientes que estén ubicadas dentro y alrededor de la subcuenca en estudio, luego se realizó un inventario donde se clasificó dichas estaciones y se eligieron solamente las que posean datos disponibles y prolongados de precipitación, temperatura, evaporación y caudal, dentro del periodo de 1997-2016. Una vez realizado esto, se procedió a solicitar la información hidrometeorológica a la entidad técnica correspondiente.

3.3. Métodos, Técnicas e Instrumentos

Métodos

El modelo utilizado para el desarrollo de este estudio es la Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur, realizada por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).

Al realizar un balance hídrico en América del Sur se puede emplear los siguientes métodos básicos (UNESCO, 1982):

- Balance hídrico superficial
- Balance hídrico aerológico
- Balance hídrico isotópico

El balance hídrico superficial permite conocer la cantidad hídrica en un área y tiempo determinado donde solamente es medido el escurrimiento de tipo superficial, el balance hídrico aerológico consiste en estimar el contenido total de agua en la atmósfera y su dinámica, mientras que el balance hídrico isotópico utiliza el comportamiento isotópico del vapor de agua al moverse a través de las diversas fases del ciclo hidrológico.

El método utilizado para el presente estudio corresponde al balance hídrico superficial y según los antecedentes existentes se calculará para cuencas con parte importante de su área cubierta por las aguas ya que la subcuenca del río Daule presenta un 2.27 % de su superficie inundada por el embalse Daule-Peripa, esto es 262.2 km² del área, por lo cual se usará la siguiente expresión expuesta por la (UNESCO, 1982):

$$\frac{P_S A_S + P_L A_L}{A_T} = R + \frac{ETR_S A_S + E_L A_L}{A_T} \dots (17)$$

Donde:

P_S = Precipitación media del suelo no inundado

P_L = Precipitación media del embalse

R = Escorrentía superficial

ETR_S = Evapotranspiración media del suelo no inundado

E_L = Evaporación media desde el espejo de agua

A_S = Área del suelo no inundada

A_L = Área del embalse

A_T = Área total de la subcuenca

Técnicas

Las técnicas utilizadas para la recolección de datos son fuentes de información bibliográfica, bases de datos proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), el Geoportal del Instituto Geográfico Militar (IGM) y el Servicio Geológico de los estados Unidos (USGS) a través de Earth Explorer.

Instrumentos

Para la recolección de información los instrumentos que se utilizaron fueron artículos, revistas científicas, investigaciones de grado, libros, modelos de elevación digital (DEM), información cartográfica e hidrometeorológica, mientras que para el análisis y desarrollo del proyecto se empleó los programas de Excel y ArcGIS.

3.4. Plan de Procesamiento y Análisis

Para la elaboración de este proyecto se realizó el siguiente procedimiento:

1. Recolección de información: El registro de los datos de precipitación, temperatura, evaporación y caudal durante el periodo de 1997 a 2016 de las estaciones cercanas y dentro de la subcuenca del río Daule fueron suministrados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Por otra parte, tanto la información geográfica como la delimitación de la subcuenca, siendo esta subcuenca una de las más importantes del país, fue obtenida mediante el Geoportal del Instituto Geográfico Militar (IGM); y las curvas de nivel se realizaron con la ayuda del programa ArGIS a partir de modelos de elevación digital de la zona de estudio, sustraídos de la página USGS Earth Explorer donde fueron corregidos por datos obtenidos del IGM.
2. Se determinan las características geomorfológicas básicas de la subcuenca del río Daule mediante el cálculo de los parámetros y la aplicación de la herramienta ArcGIS.
3. En base a los datos hidrometeorológicos de las estaciones seleccionadas, obtenidos por el INAMHI se realiza un análisis estadístico de consistencia y estimación de datos faltantes.
4. Se construye un mapa de distribución de las áreas de influencia de las estaciones analizadas, por el método de Thiessen y haciendo uso del programa ArcGIS.
5. Se evalúan cada uno de los parámetros que conforman el balance hídrico.
6. Se estima la evapotranspiración por medio de una fórmula empírica adecuada a las características de la subcuenca.
7. Se aplica el método más conveniente para la correcta estimación del balance hídrico dependiendo de los antecedentes existentes en la subcuenca.

CAPÍTULO IV

Desarrollo del Tema

4.1. Características Geomorfológicas de la Subcuenca del Río Daule

El panorama de estudio de la presente investigación concierne a la subcuenca del río Daule, dentro de sus características geomorfológicas se tiene:

4.1.1. Área y Perímetro.

El área y el perímetro de la subcuenca fue tomado desde el IGM donde se pudo conocer de forma directa un área de 11567.088 Km² y un perímetro de 704.607 Km.

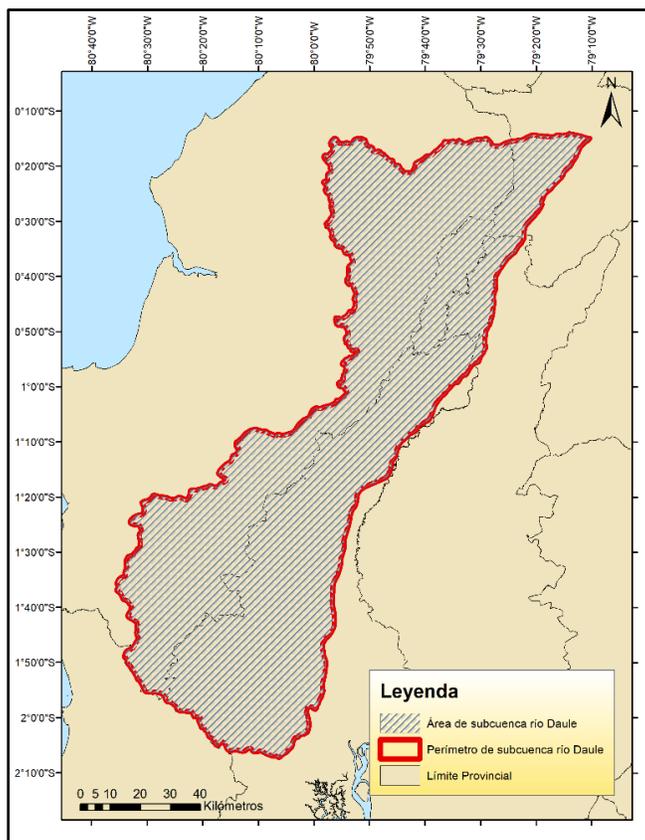


Ilustración 7: Delimitación del área y perímetro de la subcuenca del río Daule

Elaborado por: Gómez, Raquel

4.1.2. Forma de la Subcuenca.

Factor de forma (K_f)

Por medio del programa ArcGIS se determinó que la subcuenca tiene una longitud axial (L_c) de 211.396 Km, y haciendo uso de la **Ecuación 3** se calcula el factor de forma:

$$K_f = \frac{11567.088}{(211.396)^2} = 0.26$$

Para la subcuenca del río Daule el factor de forma es de 0.26 lo cual según la **Tabla 1** indica que su forma es alargada por lo que presenta flujos más veloces y tiende a menos probabilidades de inundación ante la ocurrencia de una tormenta.

Coeficiente de compacidad (K_c)

El coeficiente de compacidad se obtiene reemplazando el perímetro y el área de la cuenca en la **Ecuación 7**:

$$K_c = 0.2821 \frac{704.607}{\sqrt{11567.088}} = 1.85$$

El coeficiente de compacidad de la subcuenca es de 1.85, por lo que la **Tabla 2** muestra que su forma es rectangular o alargada ya que se encuentra en un valor mayor a 1.75. Al ser la subcuenca alargada se indica que los riesgos de inundación ante tormentas son menores.

Rectángulo equivalente

Utilizando las **Ecuaciones 8 y 9** se obtiene los lados del rectángulo equivalente:

$$L = \frac{1.85 \sqrt{11567.088}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{1.85} \right)^2} \right] = 318.64 \text{ Km}$$

$$I = \frac{1.85 \sqrt{11567.088}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{1.85} \right)^2} \right] = 36.30 \text{ Km}$$

El rectángulo equivalente de la Subcuenca del río Daule tiene una altura (L) que es de 318.64 Km y su base (I) de 36.30 Km.

Para calcular los segmentos del lado mayor del rectángulo o las alturas parciales, se divide cada área parcial de la subcuenca entre el lado menor del rectángulo (I), con los resultados obtenidos mostrados en la **Tabla 9** se grafica el rectángulo equivalente de la subcuenca del río Daule observado en la **Ilustración 8**.

Tabla 9: Cálculo de los segmentos del lado mayor del rectángulo equivalente (L)

Altitud min (m.s.n.m.)	Altitud max (m.s.n.m.)	Áreas Parciales (Km ²)	Alturas Parciales (Km)
10	95	4395.425	121.083
95	180	3010.049	82.919
180	265	2121.725	58.448
265	350	994.900	27.407
350	435	537.383	14.804
435	520	285.773	7.872
520	605	127.862	3.522
605	690	73.377	2.021
690	775	19.314	0.532
775	860	1.281	0.035
Total		11567.088	318.64

Elaborado por: Gómez, Raquel

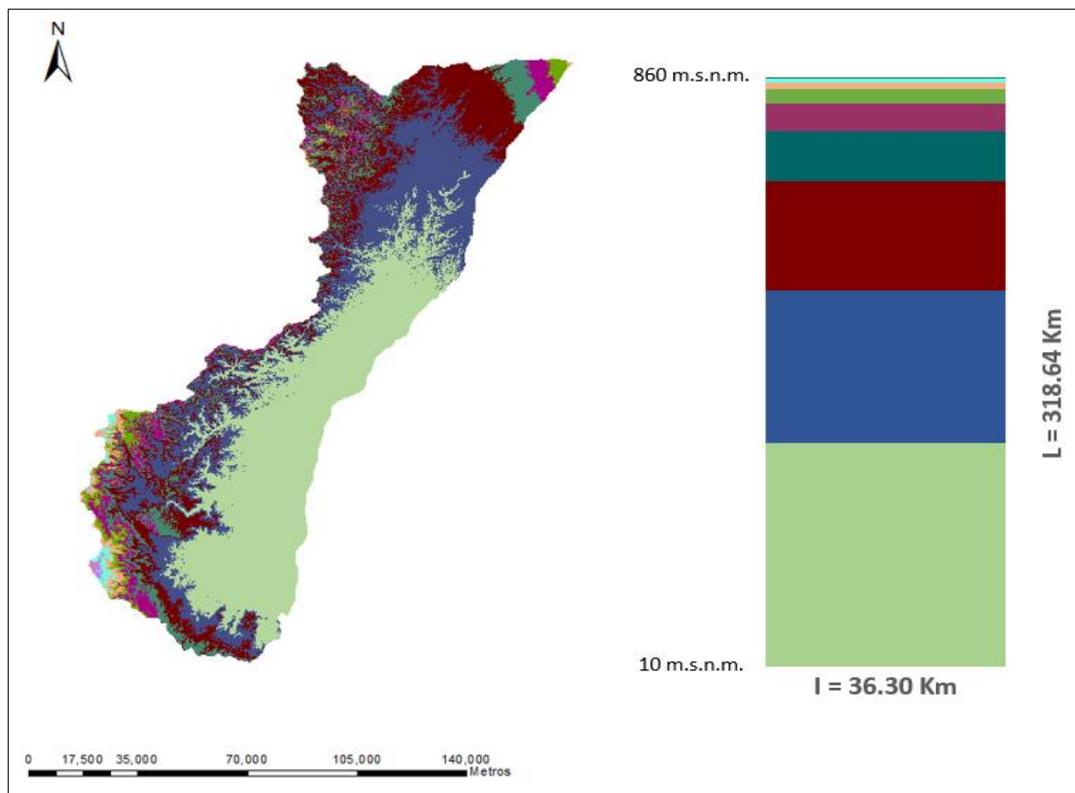


Ilustración 8: Distribución de alturas representado en el rectángulo equivalente

Elaborado por: Gómez, Raquel

4.1.3. Relieve de la Subcuenca.

Curva hipsométrica

Para construir la curva hipsométrica de la subcuenca en estudio, se tomaron distancias entre curvas de nivel cada 85 m. Con la ayuda del programa ArcGIS se determinaron las áreas parciales entre cada curva de nivel para así conocer el porcentaje de área acumulada. En la **Tabla 10** se muestra el cálculo del porcentaje de áreas sobre altitud para la obtención de la curva hipsométrica de la subcuenca del río Daule:

Tabla 10: Cuadro de distribución altimétrica de la subcuenca del río Daule

Nro	Altitud min (m.s.n.m.)	Altitud max (m.s.n.m.)	Altitud Media	Área Parcial (Km ²)	% Área	Área Acumulada (Km ²)	% Área Acumulada
		10					
1	10	95	52.5	4395.425	37.999	11567.088	100.000
2	95	180	137.5	3010.049	26.023	7171.664	62.001
3	180	265	222.5	2121.725	18.343	4161.614	35.978
4	265	350	307.5	994.900	8.601	2039.890	17.635
5	350	435	392.5	537.383	4.646	1044.990	9.034
6	435	520	477.5	285.773	2.471	507.607	4.388
7	520	605	562.5	127.862	1.105	221.834	1.918
8	605	690	647.5	73.377	0.634	93.972	0.812
9	690	775	732.5	19.314	0.167	20.595	0.178
10	775	860	817.5	1.281	0.011	1.281	0.011
Total				11567.088	100.000		

Elaborado por: Gómez, Raquel

A partir de la **Tabla 10** se grafica la curva hipsométrica representada en la **Ilustración 9**, donde se puede apreciar siguiendo los modelos de curvas hipsométricas de la **Ilustración 4** que la curva es del tipo C, esto quiere decir que se trata de una cuenca erosionada caracterizada por la acumulación de sedimentos, lo que ocasiona que se encuentre en zonas deprimidas por lo que son llamadas también cuencas de valle, además es una cuenca donde sus ríos se encuentran en fase de vejez.

En la **Ilustración 9** también se observa la elevación media de la subcuenca, obteniéndose un valor de 215 m.s.n.m.

Mediante el polígono de frecuencia de altitudes representado en la **Ilustración 10**, se puede conocer que la altitud más frecuente en la subcuenca del río Daule es la comprendida entre 10 y 95 m.s.n.m. con 37.99 % del área total de la subcuenca.

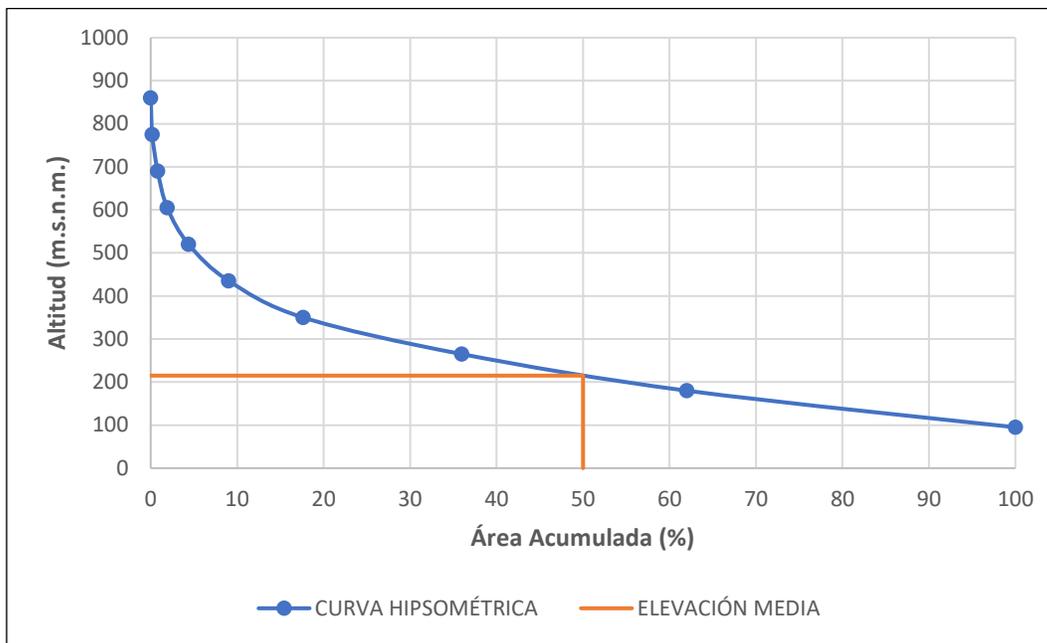


Ilustración 9: Curva Hipsométrica y Elevación Media de la subcuenca
Elaborado por: Gómez, Raquel

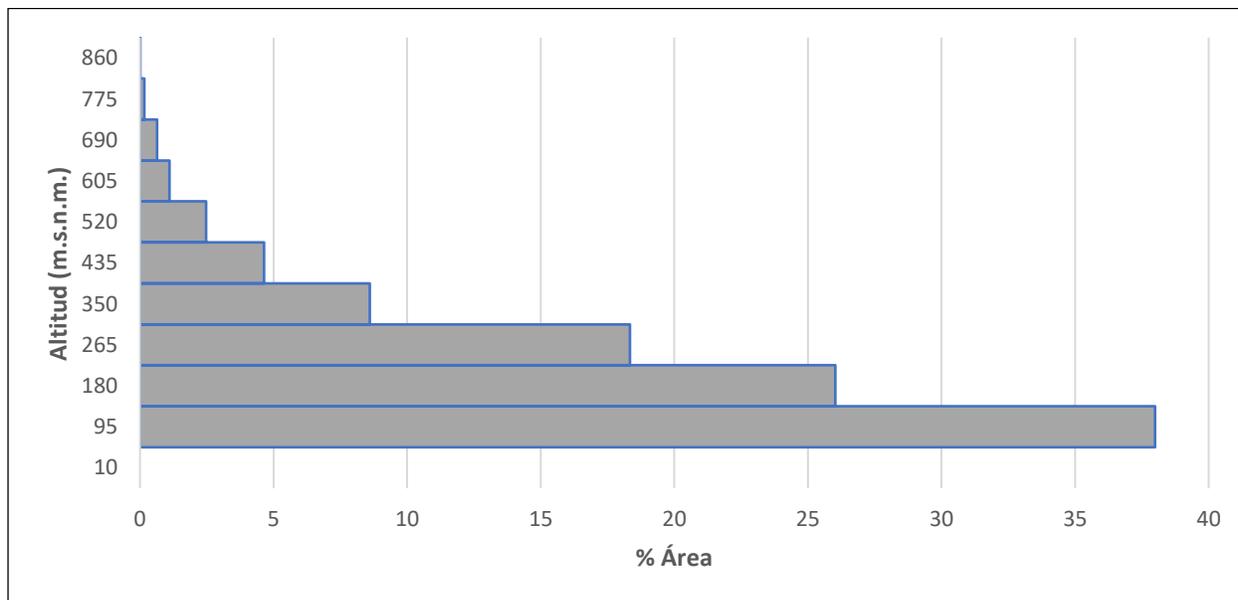


Ilustración 10: Polígono de Frecuencia de Altitudes de la subcuenca
Elaborado por: Gómez, Raquel

4.1.4. Sistema de Drenaje.

Los resultados de las características principales del sistema de drenaje de la subcuenca del río Daule que se mencionarán a continuación, fueron obtenidos de información del Instituto Geográfico Militar (IGM).

Orden de las corrientes

El grado de bifurcaciones que tiene la subcuenca del río Daule es del orden 4 y se aprecia gráficamente en la **Ilustración 11**.

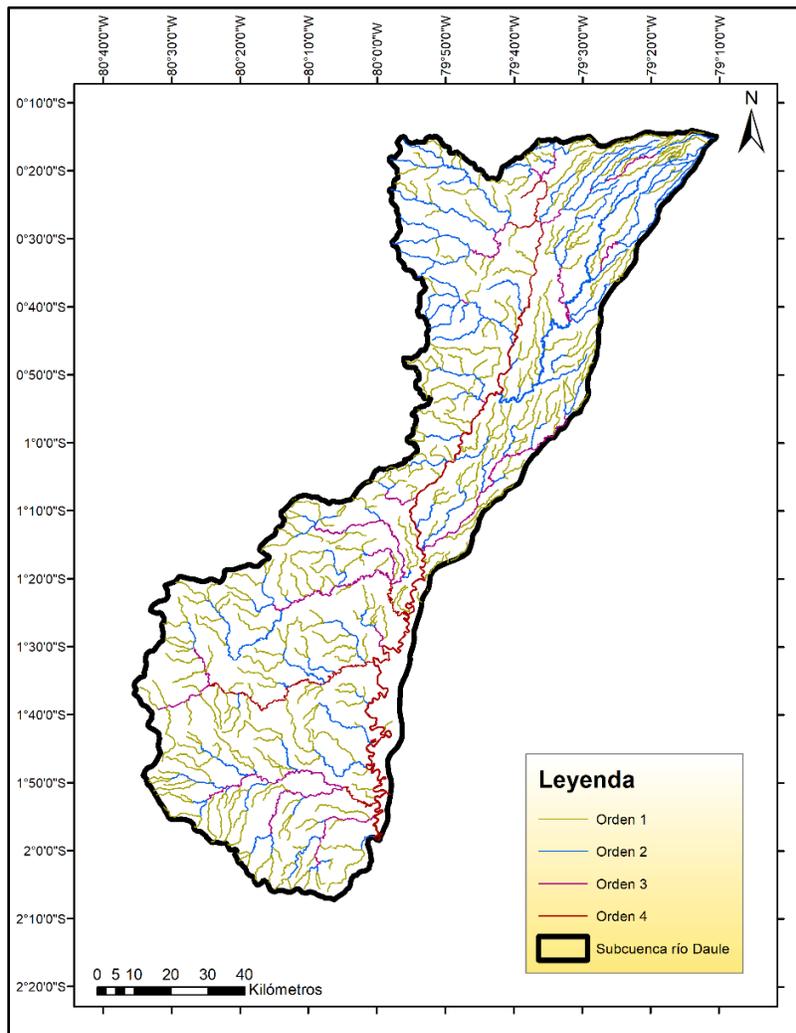


Ilustración 11: Orden de corrientes de la subcuenca del río Daule

Fuente: (Instituto Geográfico Militar (IGM), 2013)

Longitud del cauce principal

El cauce principal de la subcuenca en estudio es el río Daule y posee una longitud de 230 Km, este río nace en el embalse Daule–Peripa donde al juntarse con el río Babahoyo desemboca al río Guayas.

Densidad de drenaje

Utilizando la expresión de la **Ecuación 10** se calcula la densidad de drenaje de la subcuenca con la longitud total de las corrientes presentadas en la **Tabla 11**, obteniéndose un valor de 0.443 Km/Km², por lo que de acuerdo con la **Tabla 3** se interpreta que la subcuenca del río Daule posee una densidad de drenaje baja.

$$D_d = \frac{5129.497 \text{ Km}}{11567.088 \text{ Km}^2}$$

$$D_d = 0.443 \text{ Km/Km}^2$$

Tabla 11: Orden y longitud de las corrientes de la subcuenca del río Daule

Nro de Orden	Longitud de ríos (Km)
1	2676.336
2	1456.248
3	533.258
4	463.655
Total	5129.497

Fuente: (Instituto Geográfico Militar (IGM), 2013)

4.1.5. Resumen de Características Geomorfológicas.

En la **Tabla 12** se presenta un resumen de los parámetros geomorfológicos de la subcuenca del río Daule.

Tabla 12: Parámetros geomorfológicos de la subcuenca del río Daule

PARÁMETROS	SIMBOLO	VALOR	UNIDAD
Área	A	11567.088	Km ²
Perímetro	P	704.607	Km
Longitud axial	L _c	211.396	Km
Factor de forma	K _f	0.26	
Coefficiente de compacidad	K _c	1.85	
Rectángulo equivalente	L	318.645	Km
	I	36.301	Km
Distancia entre curvas de nivel	D	0.085	Km
Altitud máxima		860	m.s.n.m.
Altitud media		215	m.s.n.m.
Altitud mínima		10	m.s.n.m.
Pendiente media de la cuenca (INAMHI)	S	0.24	%
Longitud del cauce principal	L _{cp}	230	Km
Densidad de drenaje	D _d	0.443	Km/Km ²

Elaborado por: Gómez, Raquel

4.2. Estudio de Parámetros que Intervienen en el Balance Hídrico Superficial.

Para realizar el estudio de los parámetros tal como precipitación, evaporación, evapotranspiración y escorrentía superficial, que intervendrán en la estimación del balance hídrico superficial de la subcuenca del río Daule se dispondrá de un periodo de cálculo de 20 años.

La UNESCO (1982) indica que el periodo para el cálculo de balance de agua en América del Sur está influenciado por su superficie y topografía, los parámetros hídricos a analizar, así como que la información que posean las redes de estaciones se encuentre disponible de manera simultánea y fácil de obtener; por estos motivos se puede considerar un periodo más corto que el recomendado de 30 años.

Al realizar el análisis de los datos de las estaciones hidrometeorológicas y comprobar que se encuentren disponibles en un tiempo prolongado, se hizo factible realizar el cálculo en un periodo de 20 años comprendido entre 1997 a 2016.

En la **Tabla 13** se presenta la información general de aquellas estaciones que se seleccionaron para el cálculo del balance hídrico superficial, tal como la ubicación y los parámetros que se utilizarán para realizar el estudio, y en la **Ilustración 12** se muestra su distribución donde cuatro de las estaciones se encuentran dentro de la subcuenca del río Daule y tres alrededores de ella.

Tabla 13: Información general de estaciones hidrometeorológicas

Código de la Estación	Nombre de la Estación	Coordenadas Geográficas		Coordenadas UTM 17		Altitud (m.s.n.m.)	Provincia	Parámetros
		Latitud	Longitud	Este (m)	Norte (m)			
M0026	Puerto Ila	0° 29' 34.80" S	79° 20' 56.10"W	683743	9945486	319	Santo Domingo	Precipitación total mensual Temperatura media mensual Evaporación total mensual
M0171	Camposano #2	1° 35' 34.22" S	80° 24' 04.24"W	566610	9823933	156	Manabí	Precipitación total mensual Temperatura media mensual
M0166	Olmedo-Manabí	1° 23' 40.9" S	80° 12' 25" W	588224	9845829	50	Manabí	Precipitación total mensual Temperatura media mensual
M0466	Vinces	1° 32' 32.48" S	79° 45' 04.82"W	638906	9829482	14	Los Ríos	Precipitación total mensual Temperatura media mensual
M0006	Pichilingue	1° 04' 27.61" S	79° 29' 34.45"W	667692	9881212	120	Los Ríos	Precipitación total mensual Temperatura media mensual Evaporación total mensual
M0162	Chone-U. Católica	0° 39' 50.91" S	80° 02' 11.44"W	607210	9926582	36	Manabí	Precipitación total mensual Temperatura media mensual Evaporación total mensual
H0365	Daule en la Capilla	1° 41' 46" S	79° 59' 43"W	611758	9812499	13	Guayas	Caudal medio mensual

Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI))

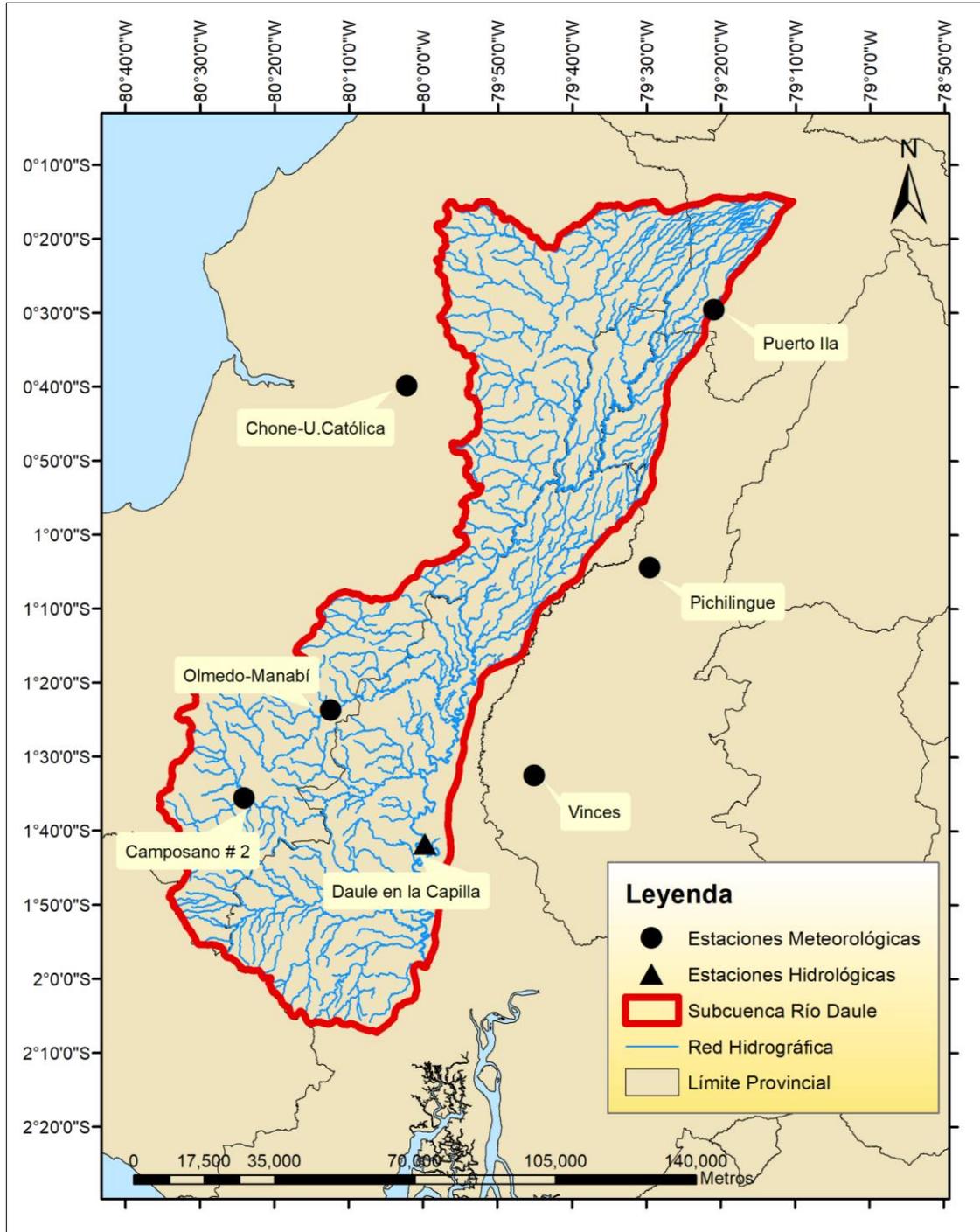


Ilustración 12: Ubicación de estaciones hidrometeorológicas

Elaborado por: Gómez, Raquel

4.2.1. Precipitación.

La exactitud en la medición y evaluación de la precipitación tiene gran importancia al realizar un estudio hídrico puesto que es la única fuente de humedad que llega a la superficie terrestre (UNESCO, 1982), por lo que se necesita realizar análisis estadísticos que permitan corregir y disminuir las variaciones y errores que presentan los datos de las estaciones.

4.2.1.1. Estimación de Datos Faltantes de Precipitación.

Para el análisis del parámetro de precipitación se seleccionaron seis estaciones meteorológicas, de las cuales cuatro de ellas presentan información incompleta en sus meses, estas son Olmedo-Manabí, Camposano #2, Vinces y Chone-U. Católica; por lo que para realizar el relleno estadístico que permita estimar los datos faltantes de las estaciones mencionadas se utiliza el método de regresión lineal.

Para este método se selecciona una estación cercana (X) que cuente con información completa donde se correlacionará con la estación a rellenar (Y). Con la ayuda de Excel los datos se llevan a un plano cartesiano y se grafica la línea de tendencia formada por los puntos obtenidos de la relación entre las dos estaciones, de aquella recta se obtendrá la ecuación de regresión lineal que al reemplazar con el dato (X) permitirá obtener los datos faltantes.

En la **Tabla 14** se presenta un ejemplo del método de regresión lineal para estimar el dato faltante del mes de mayo del año 2016 de la estación Olmedo-Manabí (sombreado en amarillo). La estación que posee datos completos y se encuentra más cercana a la estación a rellenar es Pichilingue.

Y = Estación a rellenar: Olmedo-Manabí.

X = Estación completa: Pichilingue.

Se sustraen los datos por años del mes a analizar de ambas estaciones y se grafica la línea de tendencia mostrada en la **Ilustración 13**, donde también se puede observar la ecuación obtenida por medio de Excel. Al reemplazar la ecuación con el dato de la estación completa (X) se obtiene una estimación del dato faltante.

$$Y = 0.4327X + 37.394$$

$$Y = 0.4327(115.7) + 37.394$$

$$Y = 87.5 \text{ mm}$$

De la **Tabla 15** a la **Tabla 18** se muestran los datos completos de precipitación total mensual de las cuatro estaciones que poseían datos faltantes, y en la **Tabla 19** y **Tabla 20** se observan los datos de las estaciones Puerto Ila y Pichilingue que sirvieron como variable independiente para el relleno de las estaciones incompletas (variable dependiente).

Tabla 14: Ejemplo de cálculo para estimación de datos faltantes

Años	Estación Pichilingue (mayo)	Estación Olmedo-Manabí (mayo)	Estación Olmedo-Manabí Relleno (mayo)
1997	285	189.2	189.2
1998	713.3	383	383
1999	371.6	133.2	133.2
2000	153.1	191.2	191.2
2001	188.5	109.8	109.8
2002	190	179.7	179.7
2003	170.4	102.2	102.2
2004	240.2	134.6	134.6
2005	6.2	3	3
2006	32.8	72.2	72.2
2007	116.8	43.1	43.1
2008	141.7	122.2	122.2
2009	140	78.1	78.1
2010	231.9	185.3	185.3
2011	9.9	27.4	27.4
2012	409.3	215.7	215.7
2013	64.9	60.4	60.4
2014	184.6	105.1	105.1
2015	420.8	136.8	136.8
2016	115.7		87.5

Fuente: (INAMHI, 1997-2016)

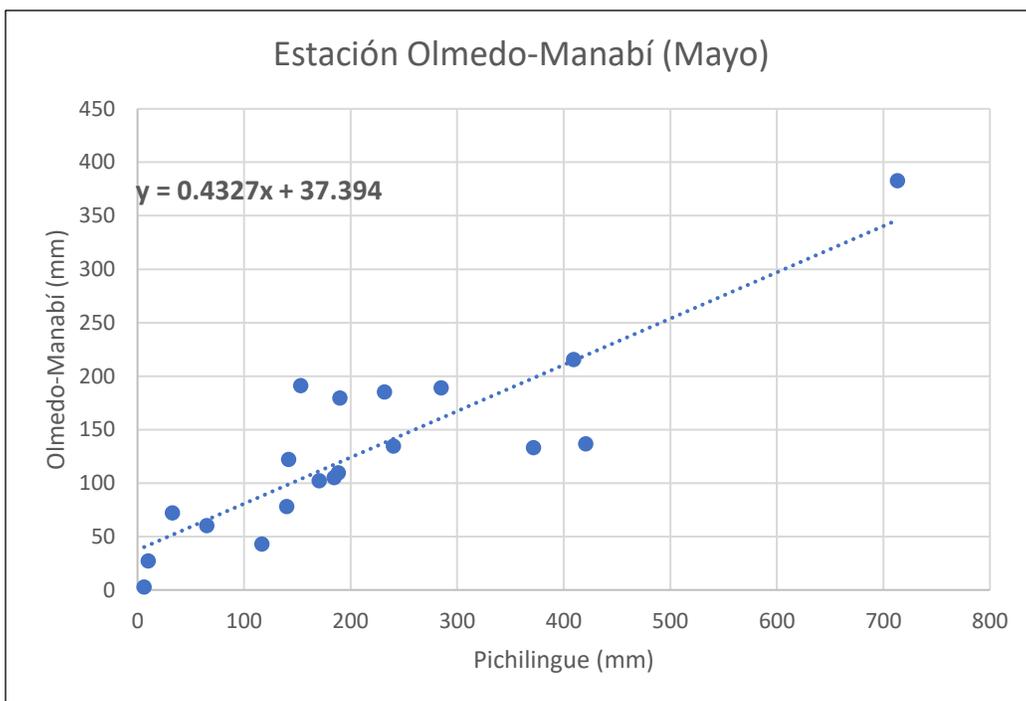


Ilustración 13: Ejemplo de diagrama para estimación de dato faltante
Elaborado por: Gómez, Raquel

Tabla 15: Relleno de datos precipitación total mensual: estación “Olmedo-Manabí”

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1997	271.4	250.0	341.0	546.7	189.2	132.2	53.2	201.0	157.0	86.4	254.6	597.5	3080.2	256.7
1998	475.0	466.0	763.4	713.4	383.0	210.6	34.6	19.6	0.0	0.0	11.6	58.0	3135.2	261.3
1999	134.2	780.0	316.6	308.0	133.2	3.0	2.8	0.0	48.8	11.4	5.8	95.0	1838.8	153.2
2000	93.6	287.1	289.8	235.4	191.2	14.2	0	0	0	0	12.4	8.6	1132.3	94.4
2001	574.2	496.1	446.4	452.4	109.8	0	0	0	1.8	0	4	5.9	2090.6	174.2
2002	222.2	450	556.7	477.2	179.7	1	0	0	0	4	9.4	205.6	2105.8	175.5
2003	290.5	443	204.1	182	102.2	0	9	0	0	16	0	27.4	1274.2	106.2
2004	143.1	331.4	374.4	142.7	134.6	11.8	2.2	0	25.3	45.4	0	4	1214.9	101.2
2005	21.2	340.4	383.4	426.4	3	0	0	0	0	1	0	37	1212.4	101.0
2006	233.5	440.9	423.9	50	72.2	3	50.4	4	3.2	56	39.8	68.4	1445.3	120.4
2007	178.6	140.6	326	389.6	43.1	23	4.2	1	5	2	1.2	15.4	1129.7	94.1
2008	447.3	529.2	347.6	179.7	122.2	9	0	14.8	11.4	24.6	46.6	0.6	1733.0	144.4
2009	504.3	321.8	394.4	91.2	78.1	4.8	3.8	0	24.4	4.6	0	120.8	1548.2	129.0
2010	306.1	488.1	467.6	431.4	185.3	11.2	14	2.7	4.7	0	9.2	316	2236.3	186.4
2011	235.4	267	72	362.6	27.4	27.2	70.3	0	0	0.2	1.4	85.2	1148.7	95.7
2012	537.3	864.3	632	390.1	215.7	12.9	0.5	0	3	0.8	18.3	83.9	2758.8	229.9
2013	263	325.2	645.6	409.4	60.4	4.1	1	1.4	0.3	0	0	7.4	1717.8	143.2
2014	398.4	347.2	251.7	193.1	105.1	34.7	0	0	8.8	23.3	0	42.3	1404.6	117.1
2015	160.5	327.7	348.4	231	136.8	42.6	48.5	0	3	46.6	28.1	340.4	1713.6	142.8
2016	197.6	502.2	428.2	261.5	87.5	2.3	10.3	0.9	14.6	7.8	7.1	1.1	1521.1	126.8

Fuente: (INAMHI, 1997-2016)

Tabla 16: Relleno de datos precipitación total mensual: estación “Camposano #2”

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1997	203.2	295.5	351.7	389.8	198.7	77.6	116.2	68.8	107.0	34.1	394.4	400.7	2637.7	219.8
1998	520.0	580.6	521.4	612.4	357.2	292.3	132.8	6.6	0.0	0.0	0.0	0.0	3023.3	251.9
1999	25.7	437.4	340.9	422.7	157.0	1.2	11.6	3.0	98.2	6.2	0.0	20.7	1524.6	127.1
2000	106.9	226.9	325.4	378.6	226.5	10.4	0	0	0	0	3.4	2.5	1280.6	106.7
2001	414.8	172.7	380.8	480.3	93.6	0	0	0	6	0	1.2	2.3	1551.7	129.3
2002	127.5	444.8	515.2	446.3	50.8	12.2	0	0	1.2	2.1	23.6	35.9	1659.6	138.3
2003	171.4	289.8	109	141	231.7	0	0	1.6	0	1.6	0	2.3	948.4	79.0
2004	105.4	263.2	259.5	155	126.6	13	0	0	9.6	5.5	0	0	937.8	78.2
2005	5.3	268.7	295.6	293.8	3.2	0	0	0	0	0	0	19.3	885.9	73.8
2006	243.2	333	277.4	108	152.5	0	7.5	0	12.4	0	5.8	52.2	1192	99.3
2007	202.5	125	354.9	217.6	32.1	10.2	3.3	0	0	0	2.3	57.9	1005.8	83.8
2008	314.3	442.4	517.9	133	91.4	0	19.7	2.1	0	0	0	0	1520.8	126.7
2009	256.7	310.2	330.3	138	121.9	0	12.5	0	2	0	0	32.7	1204.3	100.4
2010	253.9	301.4	210	254.1	164.3	4.5	0	0	0	0	6.2	225.2	1419.6	118.3
2011	138.4	196.8	89	418.1	40.4	38	6.1	0	0	1.6	0	39.3	967.7	80.6
2012	283.9	533.6	343	238.5	223.3	57.9	7.6	0	3.7	0	8.3	17.8	1717.6	143.1
2013	217.4	341.8	434.8	133.3	120.5	0	0	0	4.2	3.5	0	64	1319.5	110.0
2014	190	234.1	350.3	221.8	99.7	52.3	0	11.7	7.6	16.9	0	41	1225.4	102.1
2015	159.9	257.4	356.3	266.5	562.5	91.3	50.8	0	0	15.9	7.7	115.6	1883.9	157.0
2016	231.5	309.8	301.6	270.1	51.5	0	0	0	12.5	2.1	0.4	4.8	1184.3	98.7

Fuente: (INAMHI, 1997-2016)

Tabla 17: Relleno de datos precipitación total mensual: estación "Vinces"

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1997	288.1	311.7	372.4	393.3	205.4	118.8	146.5	80.3	516.4	105.9	395.0	891.2	3825.0	318.8
1998	656.1	689.3	523.6	806.2	710.4	129.3	41.6	4.1	2.5	0.0	3.0	39.6	3605.7	300.5
1999	93.8	259.2	376.6	479.7	228.3	3.1	3.2	0.0	129.2	3.3	6.0	217.0	1799.4	150.0
2000	110.6	283.3	412.2	186.4	41.5	9.8	0	0	1.7	0	0	29.9	1075.4	89.6
2001	514.2	320.8	404.5	312.5	40.9	0	3.1	0	0	0	0	5.8	1601.8	133.5
2002	157.8	647	848.6	435.2	109.8	2.8	1.6	0	0	4.7	1.8	90.8	2300.1	191.7
2003	206.4	282.8	236.2	113.9	27.3	11.8	4.7	18.6	0	1.6	139.7	72	1115	92.9
2004	207.4	223.1	324.2	45.4	58.5	3.7	2.2	0.5	19.5	2.2	0.8	11.1	898.6	74.9
2005	53.5	116.3	385.6	414.7	0	0	0	0	0	0	0	197.3	1167.4	97.3
2006	425	524.7	258.5	54.1	20.6	10.6	0	1.5	0	0	5	37.7	1337.7	111.5
2007	200.1	123	379.2	246	32.3	4.8	3.4	0	0	0	7.6	54.8	1051.2	87.6
2008	563.6	444.9	371.1	329.8	93.2	1.7	0	11.3	0.4	10.4	1.8	26.9	1855.1	154.6
2009	391.8	238.7	180.7	45.1	51.8	12	0	0	0	4.7	0	111.1	1035.9	86.3
2010	190.8	436.8	329.7	309.3	40.9	9.1	8.6	0.5	1.2	0	1.8	343.2	1671.9	139.3
2011	305.7	302.2	98.1	356.7	1.6	35.8	28.6	0	0.3	1.5	0.4	87.5	1218.4	101.5
2012	393.2	431.4	748.9	247.3	169.3	47.1	2	0	2	1.2	5.4	11.9	2059.7	171.6
2013	278.9	449.8	420.8	250.4	69.3	1	0	0	0	9.1	0	30.4	1509.7	125.8
2014	337.3	384.8	177.2	129.8	153.9	4.4	0	0	23.1	5.1	0	18.4	1234	102.8
2015	319.8	436.6	291.4	310	259.5	112.4	5.6	0	0	6.1	2.2	103.1	1846.7	153.9
2016	258.8	471	376.6	187.8	37.4	1.2	1.8	0.5	33.1	2.1	4.6	23.2	1398.1	116.5

Fuente: (INAMHI, 1997-2016)

Tabla 18: Relleno de datos precipitación total mensual: estación "Chone-U.Católica"

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1997	88.0	285.7	260.2	280.3	54.5	89.3	61.7	159.5	94.8	106.8	346.3	387.8	2214.9	184.6
1998	264.0	381.4	532.2	445.7	269.0	341.9	139.2	8.8	30.1	1.1	14.3	1.1	2428.8	202.4
1999	228.2	542.6	249.1	365.8	49.6	7.5	4.3	5.7	12.1	19.7	11.6	44.0	1540.2	128.4
2000	53.4	174	212.8	118.6	89.9	13.3	1.4	0.7	7.3	2	0.7	16.2	690.3	57.5
2001	504.3	318.6	502.1	199.3	26.2	2.5	2.4	1.4	1.2	1.2	4.5	20.9	1584.6	132.1
2002	146.8	478.9	258.4	240.9	71.5	17.7	8.6	7.1	5.2	25.7	6	121.5	1388.3	115.7
2003	167.8	337.7	111.5	57.4	56.6	15.7	4.9	4.1	0.2	5.7	10.7	74.2	846.5	70.5
2004	81.1	275.2	185.7	30.5	58.8	12.7	3.8	1	5.6	12.7	0.6	44	711.7	59.3
2005	119	189.8	105.5	319	4.7	1.4	0.8	0.2	1.5	2.5	1.1	57.4	802.9	66.9
2006	230.8	326.2	487.7	20.5	15.1	13.7	1.2	35	18.9	0.8	72.4	6.3	1228.6	102.4
2007	118.2	143.7	238.7	255.3	49.5	20.3	17.2	3.6	0.5	7.5	8	34.8	897.3	74.8
2008	354.6	393	202.2	95.1	25.4	10.5	29	12.2	5.4	12	3.3	8.4	1151.1	95.9
2009	201.4	206.7	99.9	94.6	23.3	6.6	0.6	27.3	29.1	2.7	0	41.9	734.1	61.2
2010	169.7	379.9	302.3	188.3	104.6	9.8	20.6	4.7	3.7	1.1	7.5	275.5	1467.7	122.3
2011	147.4	259.7	91.6	265.4	4.2	20.8	66.9	6.9	0.3	13.6	4.1	79.9	960.8	80.1
2012	255.8	429.4	388.3	96	195.7	59	5.8	3.7	0.4	3.9	15.5	19.8	1473.3	122.8
2013	347.2	257.9	467.5	323	18.1	22	7.2	5.3	1.9	26.6	9.7	74.5	1560.9	130.1
2014	177.3	359.7	176.8	175.2	135.7	50.4	11	5.5	13.1	27.4	0.8	25.2	1158.1	96.5
2015	231.2	301	322.3	139.4	165.1	99.8	104.7	5.8	1.6	50.2	8.7	151	1580.8	131.7
2016	305.3	252.7	224.5	197.9	49.7	29.8	9.7	2.3	19.5	2.8	0.6	8.7	1103.5	92.0

Fuente: (INAMHI, 1997-2016)

Tabla 19: Precipitación total mensual de estación "Puerto Ila"

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1997	596.8	458.0	565.2	500.2	269.6	367.0	233.3	138.8	704.4	466.6	801.3	960.2	6061.4	505.1
1998	894.2	639.1	826.3	772.5	463.3	291.7	216.1	66.9	64.4	27.7	25.7	52.8	4340.7	361.7
1999	211.7	487.6	561.2	614.3	286.7	53.3	23.4	14.8	82.3	57.6	52.7	305.0	2750.6	229.2
2000	252.1	621.5	689	522.3	325.6	48	6.5	24.2	48.1	29.4	20.5	144.7	2731.9	227.7
2001	510.2	242.3	499.9	658.3	193.8	12.4	22.4	4.6	21.2	15.1	32.9	116.6	2329.7	194.1
2002	334.6	563.3	775	599.8	341.3	134.9	23.9	6.4	83.4	61.9	95.1	273.2	3292.8	274.4
2003	441.6	523.3	241.5	590.6	318.6	62.7	27.2	21.1	9.5	96.7	30.7	145.2	2508.7	209.1
2004	263.1	390.3	252.3	474	296.9	38.8	25	16.7	107.5	69.9	34.8	64.2	2033.5	169.5
2005	370.6	402.8	630.6	635.5	33.4	13.1	7.3	2.7	32.8	35.6	67.6	124.3	2356.3	196.4
2006	175.9	720.7	700.5	508	72.2	129.1	24.1	72.7	60.2	23.8	144.5	62.9	2694.6	224.6
2007	222.4	311.6	528.6	577.8	193	93.1	55.1	22.4	47.2	20.6	51.7	129.9	2253.4	187.8
2008	646	513.4	484.6	358.4	185.6	60.1	65.9	125	61	42.2	34.1	43.1	2619.4	218.3
2009	652.2	480.6	547.1	157.9	129.9	19	8.9	24.1	11.2	12.6	15.6	293.2	2352.3	196.0
2010	365.7	528.9	361.6	743.4	179.1	64	176	33.4	49.8	28.5	83.7	296.5	2910.6	242.6
2011	498.9	314.5	260.5	715.7	53.3	69.3	133.4	9.4	30.3	55.4	17.5	213.4	2371.6	197.6
2012	660.3	707.3	649.5	591	252.1	272	44.7	17	11.7	21.1	41	70.2	3337.9	278.2
2013	439.2	442.6	743.7	618.5	129.1	78.4	23.8	118.2	41.5	44.4	9.9	200.6	2889.9	240.8
2014	429.6	450	354.3	572.7	408.7	95.7	17.4	35.9	38.7	98.1	23.9	83	2608	217.3
2015	511.5	518.4	261.8	351.2	474.9	159.2	173.3	14.9	44.2	180.3	98.5	382.7	3170.9	264.2
2016	771.5	475.6	727.6	521.5	216.7	71.2	100.3	9.7	83.8	24.7	24	55.6	3082.2	256.9

Fuente: (INAMHI, 1997-2016)

Tabla 20: *Precipitación total mensual de estación "Pichilingue"*

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1997	256.1	411.5	485.8	378.1	285.0	267.9	345.5	116.8	388.1	206.3	1134.8	666.6	4942.5	411.9
1998	1012.0	669.0	1072.0	775.2	713.3	284.2	130.7	7.3	6.1	11.8	66.8	42.5	4790.9	399.2
1999	135.3	569.3	750.4	395.5	371.6	5.8	5.6	1.0	99.9	13.3	21.9	140.4	2510.0	209.2
2000	239.9	281.2	473.7	430.2	153.1	23.4	0.3	2.5	7.7	7.1	9.1	58.3	1686.5	140.5
2001	618.1	288.2	192.9	507.1	188.5	1.5	2.5	0	1.1	0.3	11.8	56.1	1868.1	155.7
2002	145.3	540.1	691.3	627.3	190	12.9	2.8	0.6	1.9	18.9	72.6	222.5	2526.2	210.5
2003	446.6	386.7	269.1	344.4	170.4	23.6	34.8	8.8	1.1	73.1	53.3	187	1998.9	166.6
2004	236.5	204.2	365.9	284.1	240.2	12.4	5.1	2	18.1	13.8	2.1	27.9	1412.3	117.7
2005	227	245.7	192.5	462	6.2	0.9	3.7	0.5	2	1.3	3.4	108	1253.2	104.4
2006	263.5	629.5	485	144.7	32.8	17.1	5.9	9.2	11.2	4	28.4	49.1	1680.4	140.0
2007	242.9	272.9	371.2	407.6	116.8	29.7	19.8	0.7	0.5	1.4	21.7	55.7	1540.9	128.4
2008	535.3	490.2	592.7	320.5	141.7	8.8	7.8	67.2	10.8	13.6	9.9	31.1	2229.6	185.8
2009	301.5	288.4	381.1	201	140	13.5	1.4	0.6	0.3	6	0.1	65	1398.9	116.6
2010	389	835.3	489.1	694.4	231.9	18.7	31.8	1.5	13.8	1.1	24.8	300.7	3032.1	252.7
2011	369.6	490.5	144.1	725.7	9.9	48.4	47.3	1.1	4.2	4.2	4.8	150.6	2000.4	166.7
2012	636.8	782.6	827.9	440.5	409.3	30.6	1.8	1.3	0.9	6.1	15.7	75.8	3229.3	269.1
2013	424.7	491.6	550.9	435.1	64.9	12.8	0.6	2.2	4.9	6.7	0.3	66.3	2061	171.8
2014	343.7	398.2	147.1	271.3	184.6	50.3	4.9	0.9	12.5	60	2.5	25.1	1501.1	125.1
2015	419.5	553.5	364.6	489	420.8	238.7	32.1	1	1.2	85.3	181.3	232.6	3019.6	251.6
2016	423.2	383.7	625.9	441.1	115.7	6.2	2.4	1.9	28.2	3.4	13.3	18.3	2063.3	171.9

Fuente: (INAMHI, 1997-2016)

4.2.1.2. Análisis de Consistencia de la Información Pluviométrica.

La UNESCO (1982) menciona que al realizar la evaluación de la precipitación es necesario verificar que el periodo de la estadística pluviométrica que se vaya a utilizar sea consistente, es decir, que durante ese periodo la estación haya sido observada de igual modo y con los mismos métodos de inspección y que su instalación no haya sufrido alteraciones de ningún tipo; por lo que para realizar el análisis de consistencia se recomienda el método de las curvas doble acumuladas o curva de doble masa.

Este método se aplicó para las seis estaciones en estudio donde se ordenaron los datos desde el año más reciente al más antiguo y se calculó el promedio acumulado de precipitaciones anuales de dichas estaciones (**Tabla 21**) y se relacionaron en un gráfico con la precipitación anual acumulada de cada estación (**Ilustración 14**), donde se pudo observar ligeras variaciones en las pendientes de las estaciones, pero no presentan quiebres mayores y adoptan una tendencia lineal, por lo que se puede concluir que no existieron cambios en los métodos de observación en las estaciones de estudio.

Tabla 21: Cálculo para Análisis de consistencia en registros de precipitación

Años	Estación Puerto Ila		Estación Camposano #2		Estación Olmedo-Manabí		Estación Vinces		Estación Pichilingue		Estación Chone-U.Católica		Promedio Anual	
	P. Anual	P.A. Acumulado	P. Anual	P.A. Acumulado	P. Anual	P.A. Acumulado	P. Anual	P.A. Acumulado	P. Anual	P.A. Acumulado	P. Anual	P.A. Acumulado	PP. Anual	PP.A. Acumulado
2016	3082.2	3082.2	1184.3	1184.3	1521.1	1521.1	1398.1	1398.1	2063.3	2063.3	1103.5	1103.5	1725.4	1725.4
2015	3170.9	6253.1	1883.9	3068.2	1713.6	3234.7	1846.7	3244.8	3019.6	5082.9	1580.8	2684.3	2202.6	3928.0
2014	2608.0	8861.1	1225.4	4293.6	1404.6	4639.3	1234.0	4478.8	1501.1	6584.0	1158.1	3842.4	1521.9	5449.9
2013	2889.9	11751.0	1319.5	5613.1	1717.8	6357.1	1509.7	5988.5	2061.0	8645.0	1560.9	5403.3	1843.1	7293.0
2012	3337.9	15088.9	1717.6	7330.7	2758.8	9115.9	2059.7	8048.2	3229.3	11874.3	1473.3	6876.6	2429.4	9722.4
2011	2371.6	17460.5	967.7	8298.4	1148.7	10264.6	1218.4	9266.6	2000.4	13874.7	960.8	7837.4	1444.6	11167.0
2010	2910.6	20371.1	1419.6	9718.0	2236.3	12500.9	1671.9	10938.5	3032.1	16906.8	1467.7	9305.1	2123.0	13290.1
2009	2352.3	22723.4	1204.3	10922.3	1548.2	14049.1	1035.9	11974.4	1398.9	18305.7	734.1	10039.2	1379.0	14669.0
2008	2619.4	25342.8	1520.8	12443.1	1733.0	15782.1	1855.1	13829.5	2229.6	20535.3	1151.1	11190.3	1851.5	16520.5
2007	2253.4	27596.2	1005.8	13448.9	1129.7	16911.8	1051.2	14880.7	1540.9	22076.2	897.3	12087.6	1313.1	17833.6
2006	2694.6	30290.8	1192.0	14640.9	1445.3	18357.1	1337.7	16218.4	1680.4	23756.6	1228.6	13316.2	1596.4	19430.0
2005	2356.3	32647.1	885.9	15526.8	1212.4	19569.5	1167.4	17385.8	1253.2	25009.8	802.9	14119.1	1279.7	20709.7
2004	2033.5	34680.6	937.8	16464.6	1214.9	20784.4	898.6	18284.4	1412.3	26422.1	711.7	14830.8	1201.5	21911.2
2003	2508.7	37189.3	948.4	17413.0	1274.2	22058.6	1115.0	19399.4	1998.9	28421.0	846.5	15677.3	1448.6	23359.8
2002	3292.8	40482.1	1659.6	19072.6	2105.8	24164.4	2300.1	21699.5	2526.2	30947.2	1388.3	17065.6	2212.1	25571.9
2001	2329.7	42811.8	1551.7	20624.3	2090.6	26255.0	1601.8	23301.3	1868.1	32815.3	1584.6	18650.2	1837.8	27409.7
2000	2731.9	45543.7	1280.6	21904.9	1132.3	27387.3	1075.4	24376.7	1686.5	34501.8	690.3	19340.5	1432.8	28842.5
1999	2750.6	48294.3	1524.6	23429.5	1838.8	29226.1	1514.5	25891.2	2510.0	37011.8	1540.2	20880.7	1946.4	30788.9
1998	4340.7	52635.0	3023.3	26452.8	3135.2	32361.3	3034.7	28925.9	4790.9	41802.7	2428.8	23309.5	3458.9	34247.9
1997	6061.4	58696.4	2637.7	29090.5	3080.2	35441.5	3219.3	32145.2	4942.5	46745.2	2214.9	25524.4	3692.7	37940.5

Elaborado por: Gómez, Raquel

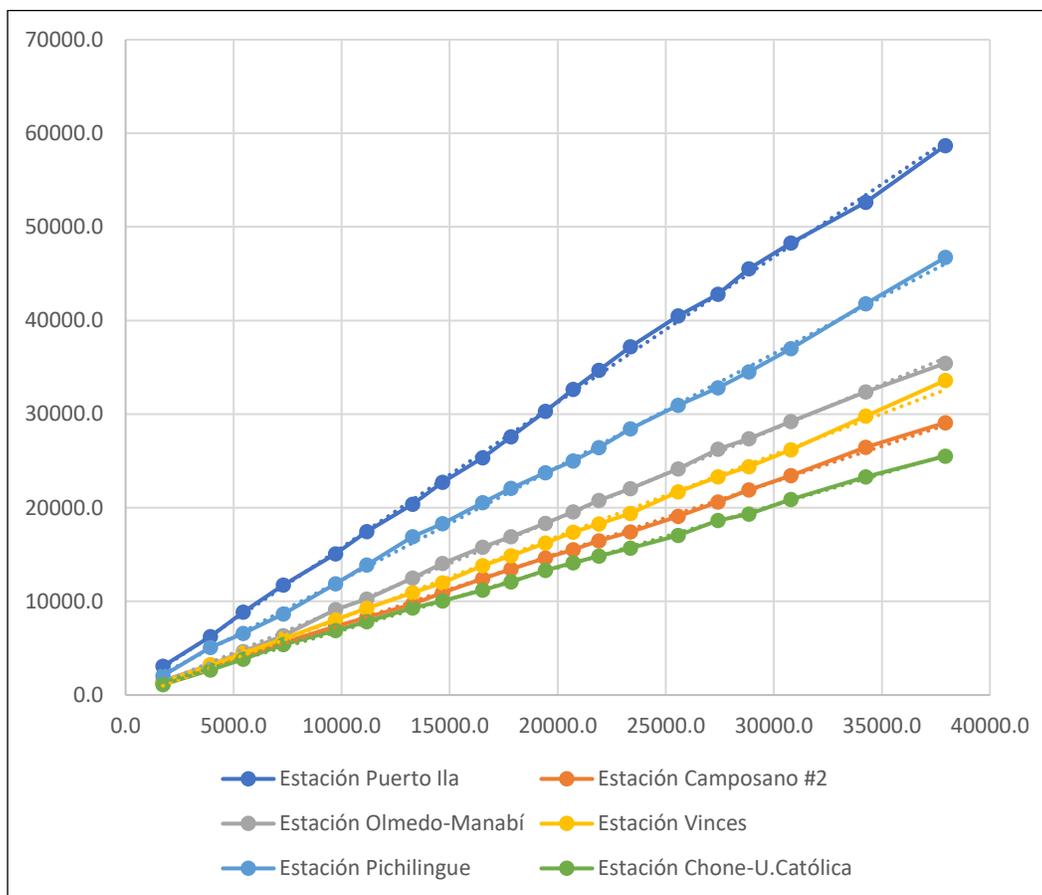


Ilustración 14: Análisis de consistencia del registro de precipitación
Elaborado por: Gómez, Raquel

4.2.1.3. Evaluación de la Precipitación en la Subcuenca del Río Daule.

Las precipitaciones en la subcuenca del río Daule se clasifican en dos periodos, el periodo húmedo que presenta mayor magnitud de lluvias y empieza desde el mes de diciembre hasta abril, con el mes de mayo que es el de transición de un periodo a otro; y el periodo seco con precipitaciones menores que parte en junio hasta octubre, con el mes de noviembre de transición.

En la **Tabla 22** se presenta el promedio de precipitación total mensual y anual que

corresponde al periodo de 1997 a 2016 de las seis estaciones analizadas, así mismo, en la **Ilustración 15** se muestran gráficamente estos valores donde se distingue las variaciones mensuales de las precipitaciones de cada estación.

Tabla 22: Promedio de precipitación total mensual

Estación	Mes												Suma	Media
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
Puerto Ila	462.4	489.6	533.0	554.2	241.2	106.7	70.4	38.9	81.7	70.6	85.3	200.9	2934.8	244.6
Camposano #2	208.6	318.3	333.3	285.9	155.3	33.0	18.4	4.7	13.2	4.5	22.7	56.7	1454.5	121.2
Olmedo-Manabí	284.4	419.9	400.7	323.7	128.0	27.4	15.2	12.3	15.6	16.5	22.5	106.0	1772.1	147.7
Vinces	297.6	368.9	375.8	282.7	117.6	26.0	12.6	5.9	36.5	7.9	28.8	120.1	1680.3	140.0
Pichilingue	383.3	460.6	473.7	438.7	209.3	55.4	34.3	11.4	30.7	26.9	83.9	129.0	2337.3	194.8
Chone-U.Catolica	209.6	314.7	271.0	195.4	73.4	42.2	25.1	15.0	12.6	16.3	26.3	74.7	1276.2	106.4
Media	307.7	395.3	397.9	346.8	154.1	48.4	29.3	14.7	31.7	23.8	44.9	114.6	1909.2	159.1

Fuente: (INAMHI, 1997-2016)

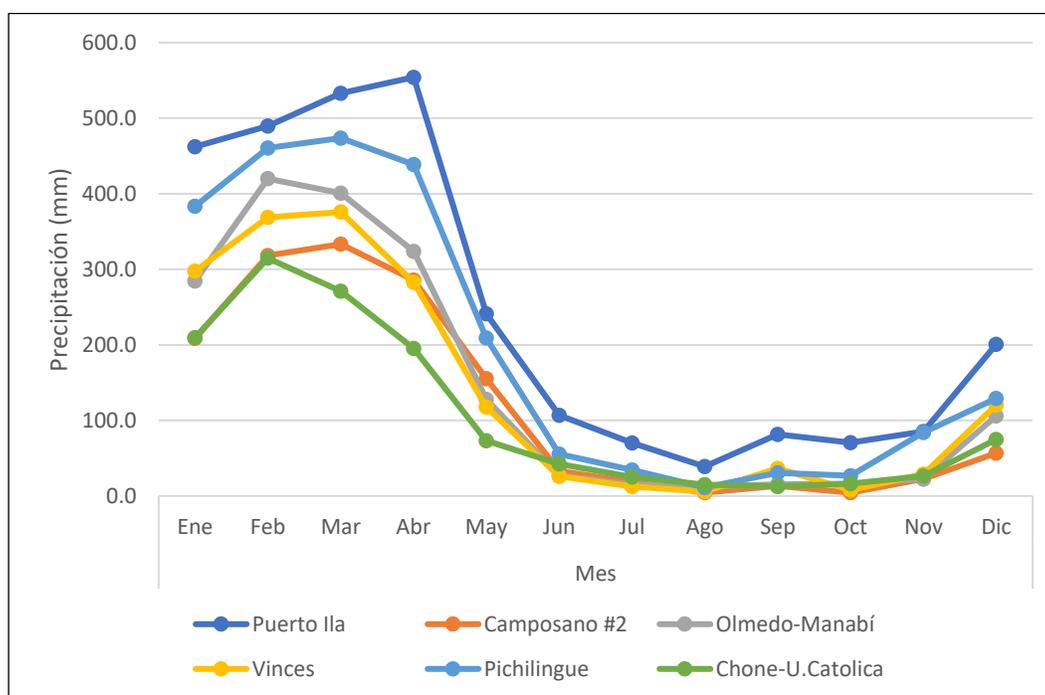


Ilustración 15: Variación de precipitación total mensual
Elaborado por: Gómez, Raquel

De la **Ilustración 16** a la **Ilustración 21** se muestra gráficamente la variación de precipitación promedio mensual durante el periodo de 1997 a 2016 de cada una de las estaciones en estudio.

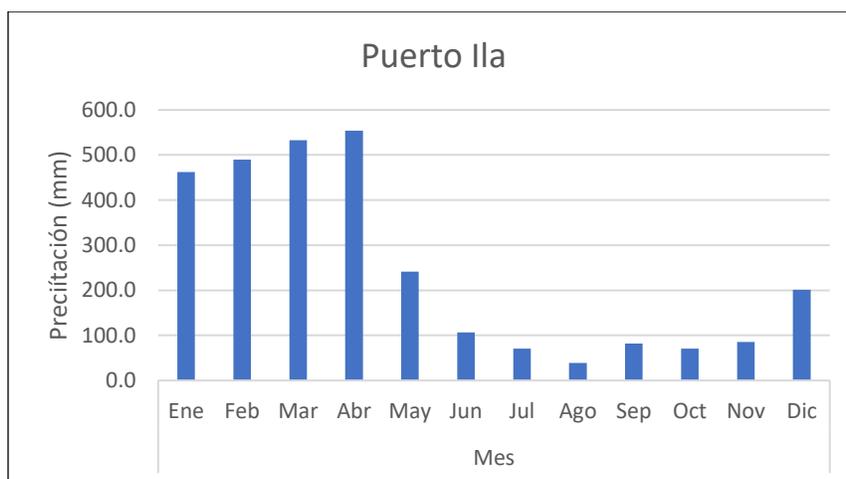


Ilustración 16: Variación de precipitación mensual - Estación "Puerto Ila"
Elaborado por: Gómez, Raquel

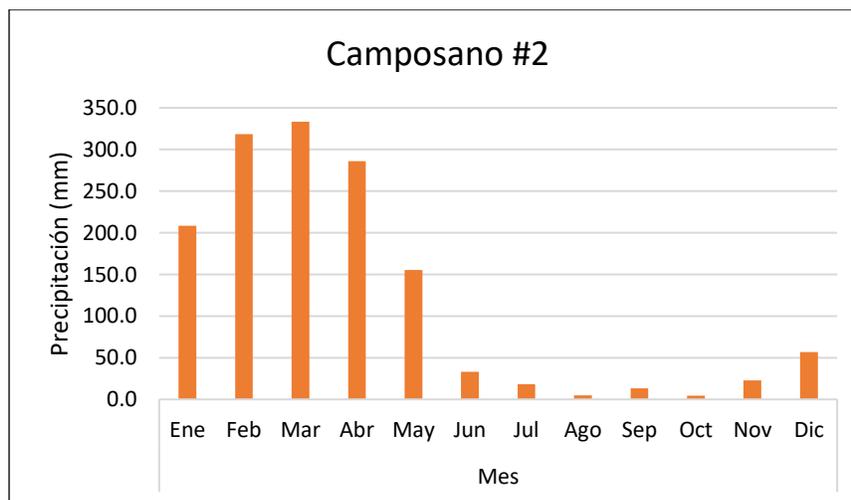


Ilustración 17: Variación de precipitación mensual - Estación "Camposano #2"
Elaborado por: Gómez, Raquel

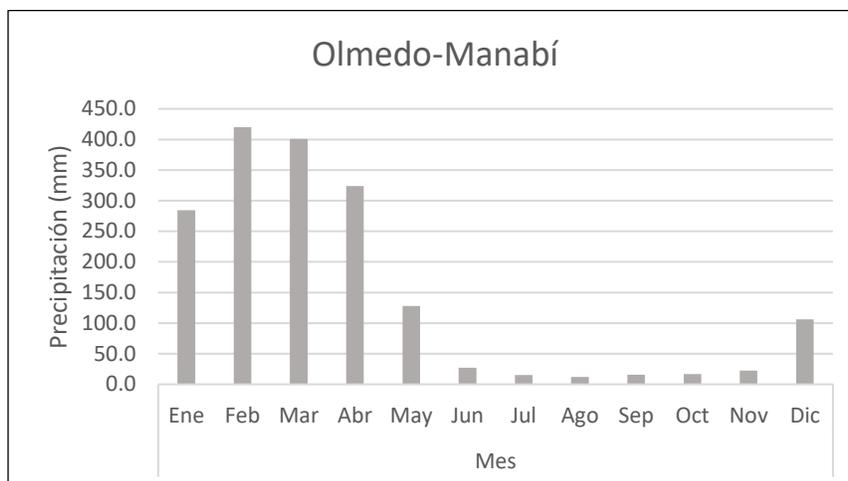


Ilustración 18: Variación de precipitación mensual - Estación "Olmedo-Manabí"
Elaborado por: Gómez, Raquel

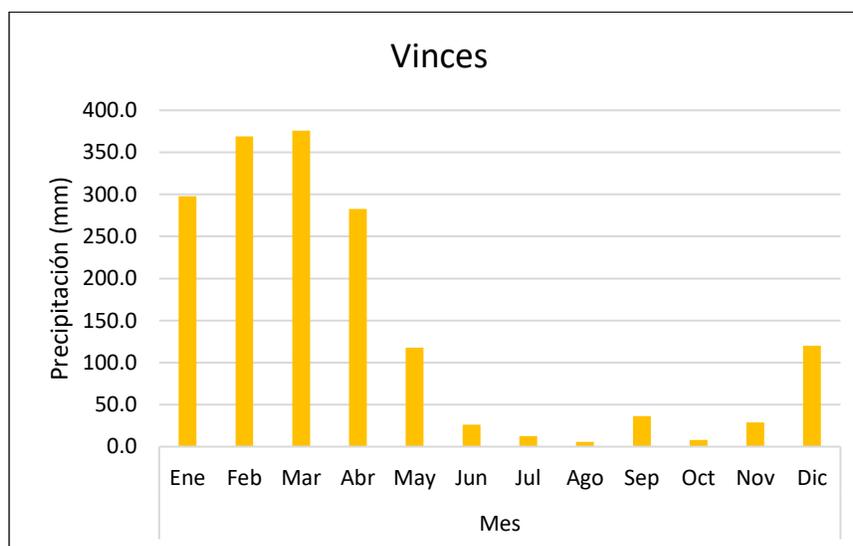


Ilustración 19: Variación de precipitación mensual - Estación "Vinces"
Elaborado por: Gómez, Raquel

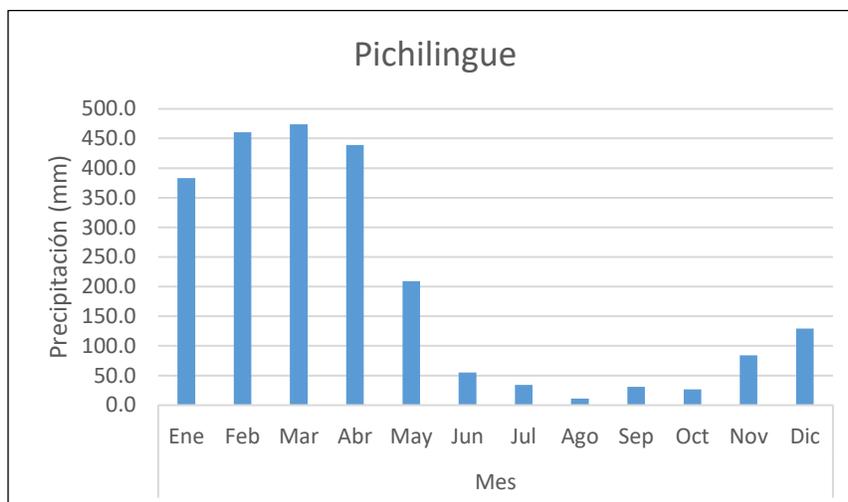


Ilustración 20: Variación de precipitación mensual - Estación "Pichilingue"
Elaborado por: Gómez, Raquel

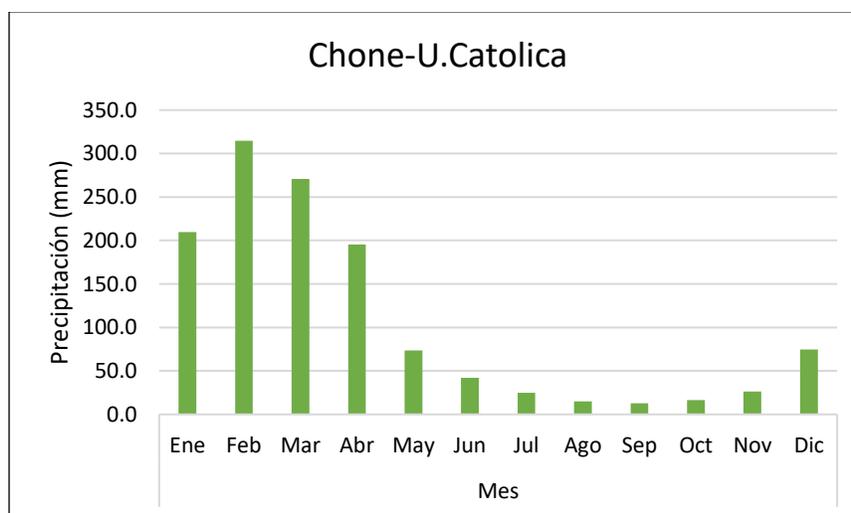
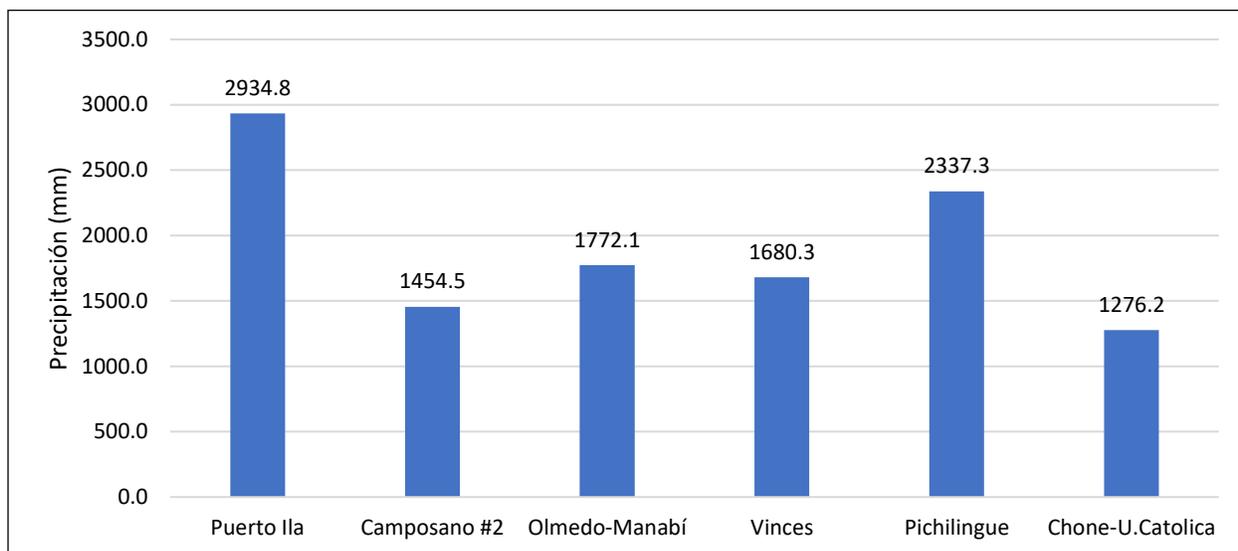


Ilustración 21: Variación de precipitación mensual - Estación "Chone-U.Católica"
Elaborado por: Gómez, Raquel

En la **Ilustración 22** se observa la cantidad total de precipitación promedio anual de cada una de las estaciones analizadas durante el periodo 1997 a 2016, donde la estación Puerto Ila presenta la mayor altura de precipitación.

Ilustración 22: Precipitación total anual de estaciones en estudio

Elaborado por: Gómez, Raquel

Precipitación espacial por el método de Thiessen

Para conocer la cantidad de precipitación media que cae en determinados sitios dentro de la subcuenca del río Daule se utilizará el método del polígono de Thiessen donde los registros de lluvia de cada estación dispondrán de un área de influencia.

En la **Ilustración 23** se presenta la distribución espacial de las estaciones dentro de la subcuenca para la determinación de la precipitación media realizado por el método de Thiessen, ejecutado por medio del software ArcGIS donde se determinó las áreas de influencia parcial de las seis estaciones en estudio observados en la **Tabla 23**.

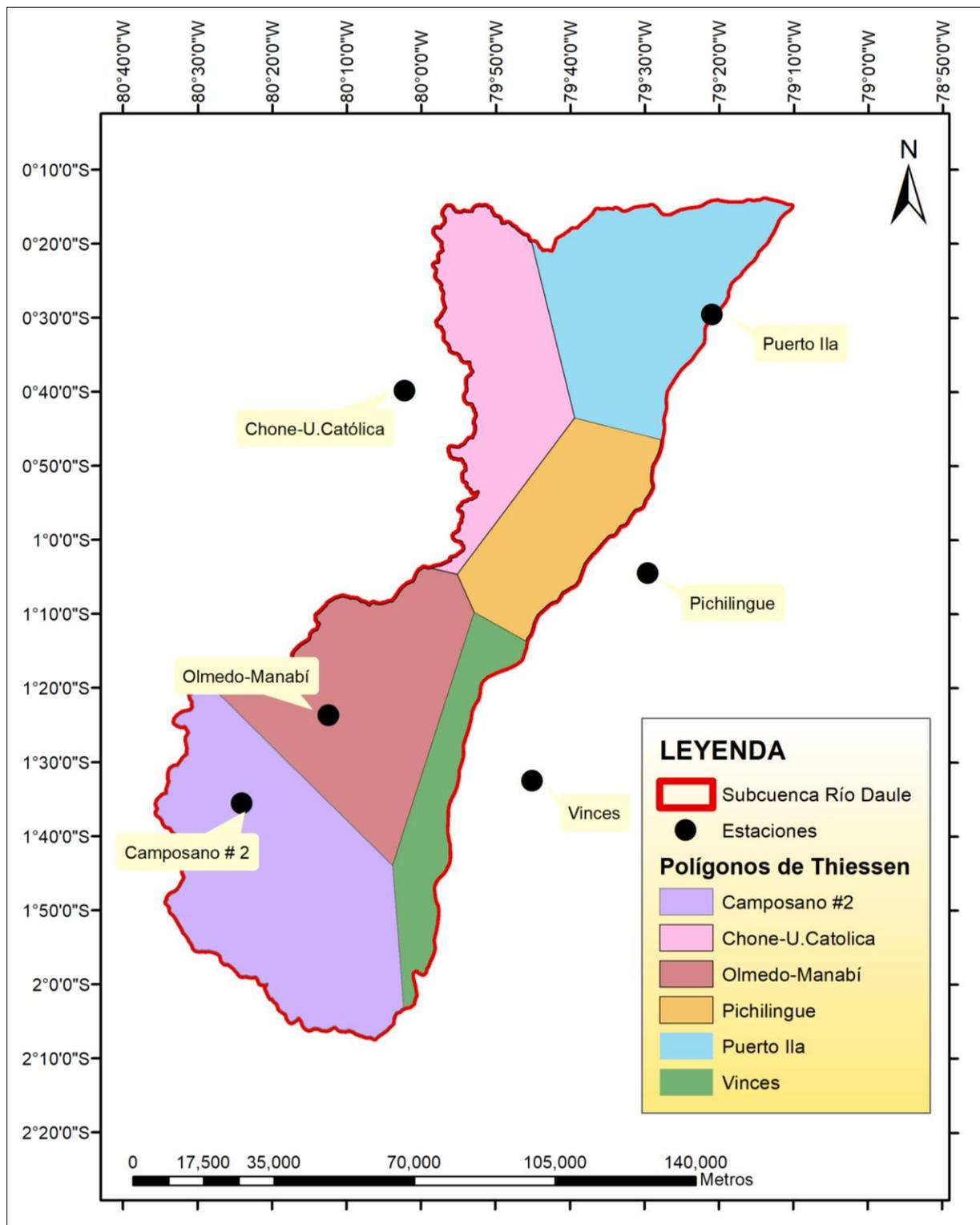


Ilustración 23: Determinación de áreas de influencia de estaciones
Elaborado por: Gómez, Raquel

Tabla 23: Áreas de influencia parcial correspondientes a las estaciones en estudio

Estación	Área Parcial (Km ²)	Área Parcial (%)
Puerto Ila	2136.4	18.5
Camposano #2	3187.3	27.6
Olmedo-Manabí	2272.8	19.6
Vinces	863.1	7.5
Pichilingue	1367.1	11.8
Chone-U.Catolica	1740.4	15.0
Total	11567.1	100.0

Elaborado por: Gómez, Raquel

Dado que la subcuenca del río Daule posee una gran superficie cubierta por las aguas de un embalse como se muestra en la **Ilustración 27**, las áreas de influencia calculadas anteriormente se dividirán en área del suelo no inundado (A_s) y área del embalse (A_L) para más adelante poder calcular el balance hídrico en la subcuenca con la **Ecuación 17**, estos valores están representados en la **Tabla 24**.

Tabla 24: Área de influencia parcial del suelo no inundado y del embalse

Estación	Área Parcial del suelo no inundado A_s (Km ²)	Área Parcial del embalse A_L (Km ²)
Puerto Ila	2083.1	53.3
Camposano #2	3187.3	
Olmedo-Manabí	2272.8	
Vinces	863.1	
Pichilingue	1194.8	172.3
Chone-U.Catolica	1703.8	36.6
Total	11304.9	262.2

Elaborado por: Gómez, Raquel

4.2.2. Temperatura.

4.2.2.1. Estimación de Datos Faltantes de Temperatura.

Los registros de temperatura media mensual de la serie de años de 1997 a 2016 de las seis estaciones en estudio fueron proporcionados por el INAMHI, no obstante, cuatro de estas estaciones presentan datos faltantes que son necesarios rellenar, por lo cual empleamos el método de regresión lineal donde se siguieron los mismos pasos explicados en el apartado 4.2.1.1. referente a precipitación, por lo que de la **Tabla 25** a la **Tabla 28** se presenta la información estadística completa de temperatura media mensual en grados Celsius (°C) de las estaciones que requerían el relleno de datos, y en la **Tabla 29** y **Tabla 30** se muestran los datos de las estaciones Puerto Ila y Pichilingue que sirvieron de ayuda para la estimación de datos faltantes.

Tabla 25: Relleno de datos Temperatura media mensual: estación “Camposano #2”

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1997	25.5	25.8	26.3	26.1	26.2	26.2	26.3	26.2	26.4	26.8	25.7	27.0	314.5	26.2
1998	26.7	27.1	26.8	26.9	26.6	26.2	26.1	25.6	25.7	25.7	25.4	25.5	314.3	26.2
1999	25.7	25.5	26.0	26.0	25.8	25.5	25.5	25.7	25.6	25.9	25.8	25.7	308.7	25.7
2000	25.7	25.6	25.7	25.6	25.5	25.2	25.2	25.3	25.3	25.3	25.2	25.3	304.9	25.4
2001	25.8	25.6	25.8	25.6	25.4	25.4	25.2	25.1	25.3	25.3	25.2	25.4	305.1	25.4
2002	25.4	25.1	25	25.1	25.6	25.3	25.3	25.4	25.4	25.4	25.5	25.5	304	25.3
2003	25.5	25.4	25.8	25.7	25.6	25.3	25.4	25.5	25.5	25.5	25.6	25.6	306.4	25.5
2004	25.7	25.4	25.6	25.5	25.4	25.5	25.7	25.6	25.4	25.6	25.6	25.7	306.7	25.6
2005	25.7	25.6	25.5	25.7	25.9	25.8	25.7	25.7	25.8	25.4	25.7	25.6	308.1	25.7
2006	25.8	25.7	26.2	26.1	25.7	25.7	25.5	25.7	25.6	25.7	25.6	25.7	309	25.8
2007	25.8	25.9	25.8	25.9	25.5	25.6	25.8	25.6	25.8	25.6	25.8	25.5	308.6	25.7
2008	25.4	25.9	26.1	25.9	25.6	25.3	25.6	25.8	25.5	25.6	25.6	25.6	307.9	25.7
2009	25.6	26	25.7	25.8	25.8	25.6	25.7	25.6	25.6	25.7	25.4	25.7	308.2	25.7
2010	25.5	25.7	25.9	26	25.9	25.8	25.6	25.6	25.9	25.8	25.7	25.8	309.2	25.8
2011	26	26	26.2	26	25.8	25.9	26.2	26.2	25.9	26	26	26	312.2	26.0
2012	25.8	25.8	26	26	25.9	25.9	25.7	25.6	25.6	25.5	25.8	26	309.6	25.8
2013	25.7	25.7	25.9	25.9	25.6	25.5	25.3	25.7	25.7	25.8	26	25.9	308.7	25.7
2014	25.7	25.7	26.1	26	26.2	26	25.8	25.8	25.8	25.9	25.8	26.2	311	25.9
2015	26	26.2	26.3	26.5	26.6	26.6	26.1	26.1	26.4	26.2	26.4	26.6	316	26.3
2016	26.5	26.4	26.6	26.6	26.8	26.6	26.1	26.4	25.8	25.7	25.7	26	315.2	26.3

Fuente: (INAMHI, 1997-2016)

Tabla 26: Relleno de datos Temperatura media mensual: estación “Olmedo-Manabí”

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1997	26.3	26.5	26.7	26.8	27.2	26.7	26.9	26.4	26.6	26.8	26.5	26.8	320.2	26.7
1998	27.3	27.5	27.4	27.1	27.1	26.9	26.1	25.1	25.4	25.3	25.6	25.9	316.7	26.4
1999	26.1	25.3	26.5	26.3	25.9	24.7	24.0	24.3	25.3	25.8	25.6	25.9	305.7	25.5
2000	25.7	25.5	25.9	26.1	25.8	24.8	23.9	25.1	25.5	26.3	25.8	26.3	306.7	25.6
2001	26.1	26.1	26.4	26.5	25.7	24.4	24.8	24.9	25.9	26.4	26.7	27.1	311	25.9
2002	27.3	26.1	26.8	26.6	26.5	25.7	25.5	25.4	26.4	26.3	26.5	26.1	315.2	26.3
2003	26.5	26.5	27	27	26.7	25.1	25	25.6	25.7	26.5	26.9	26.7	315.2	26.3
2004	27	26.4	26.6	26.5	25.8	24.6	24.5	25.1	25.4	25.8	26.3	27.5	311.5	26.0
2005	27.7	26.2	26.6	27	25.6	25.1	25.1	25.4	26.2	25.7	26.7	26.7	314	26.2
2006	27	26.1	27	27	26.5	25.9	24.8	25.9	26.6	26.7	26.5	27.1	317.1	26.4
2007	26.4	26.7	26.3	27	26	24.9	25	24.6	25.9	25.7	26.4	26	310.9	25.9
2008	24.6	25.3	26.2	26.4	25.6	24.9	25.1	25.2	25.7	25.6	26	26.6	307.2	25.6
2009	25.9	25.7	26.1	26.5	26.2	25.6	25.7	25.8	26.7	26.5	26.9	27.2	314.8	26.2
2010	26.5	26.6	27	27.2	26.9	25.4	25.4	25.3	25.9	26.6	25.6	25.2	313.6	26.1
2011	25.9	26.2	27.1	26.6	26.6	26.1	25.5	25.1	26.3	25.7	26.1	26.9	314.1	26.2
2012	25.7	25.7	26.7	27.1	26.7	26.1	25.2	25.4	26.1	26.2	26.7	26.8	314.4	26.2
2013	25.8	26.2	26.9	26.6	25.7	24.8	24.4	25.5	26.4	26.1	26.3	27.1	311.8	26.0
2014	26	26.1	26.7	26.8	26.6	26.2	26.1	26.3	26.1	26.6	26.4	27.4	317.3	26.4
2015	26.2	26.4	26.8	27.2	27.3	27	26.6	26.2	27.2	27	27	27.5	322.4	26.9
2016	26.8	27	27.7	27.1	27.2	26.4	25.8	26	26.4	26.2	26.6	27.3	320.5	26.7

Fuente: (INAMHI, 1997-2016)

Tabla 27: Relleno de datos Temperatura media mensual: estación “Vinces”

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1997	26.1	26.5	27.0	26.9	27.5	27.1	27.1	26.7	27.1	27.2	27.2	27.4	323.8	27.0
1998	27.7	27.8	27.8	28.1	27.8	26.8	25.9	25.3	25.4	25.5	25.7	26.3	320.1	26.7
1999	26.6	25.9	26.8	26.9	25.9	24.2	23.9	23.7	25.0	25.3	25.9	25.6	305.7	25.5
2000	25.7	25.9	26.4	26.6	25.6	24.3	23.2	24.1	24.5	25.4	25.3	26.4	303.4	25.3
2001	25.9	26.5	26.8	27	25.7	23.8	23.8	23.7	24.7	24.6	25.9	26.3	304.7	25.4
2002	27	26.1	27	26.6	26.7	25	24.7	24.2	25.2	25.5	25.9	26.6	310.5	25.9
2003	26.3	26.5	27.1	27	26.4	24.7	24.3	24.5	24.7	25.8	25.9	26.5	309.7	25.8
2004	27.3	26.8	27.1	27	26.3	24.7	24.2	24.3	25.2	25.7	26.1	27.3	312.0	26.0
2005	27.8	26.5	26.9	27.2	25.9	24.8	24.6	24.3	25.2	25	25.9	26.5	310.6	25.9
2006	26.9	26.5	27.5	27.1	26.2	24.9	24.2	25.1	25.9	26.1	25.8	27.3	313.5	26.1
2007	26.6	27.2	26.8	27.2	26.1	24.8	24.9	24	24.9	24.5	25.3	25.7	308	25.7
2008	24.8	25.7	26.6	27	25.7	25.3	25.1	25	25.3	25.4	25.7	26.6	308.2	25.7
2009	26.2	26.1	26.7	27.2	26.4	25.4	25.1	25.3	25.5	25.8	26	27.3	313	26.1
2010	26.7	27	27.3	27.5	27	25.3	25.1	24.5	25.3	25.5	24.9	25.3	311.4	26.0
2011	26	26.3	27.6	26.9	26.8	26	25.4	24.5	25.5	24.8	25.7	26.9	312.4	26.0
2012	25.6	25.9	27.1	27.2	26.9	26.1	24.9	24.5	25.1	25.4	26.1	27	311.8	26.0
2013	25.8	26.1	27	26.8	25.9	24.6	23.7	24.5	25.7	25.6	25.6	27.1	308.4	25.7
2014	25.9	25.9	27	26.7	26.5	26.3	25.5	25.2	25.2	25.5	26.2	27.5	313.4	26.1
2015	26	26.7	27	27.4	27.2	26.9	26.3	25.5	26.4	26.5	27	27.8	320.7	26.7
2016	27	27.1	27.5	27.3	27.7	26.5	25.6	25.7	25.9	25.5	26.2	27.4	319.4	26.6

Fuente: (INAMHI, 1997-2016)

Tabla 28: Relleno de datos Temperatura mensual: estación “Chone-U.Católica”

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1997	25.7	26.4	26.9	26.7	27.1	27.0	27.1	26.8	26.8	27.0	26.9	27.4	321.8	26.8
1998	27.8	27.9	27.9	28.3	27.9	26.9	25.7	24.9	24.6	24.3	24.3	25.1	315.6	26.3
1999	25.9	25.8	26.7	26.2	25.7	24.0	23.5	23.5	24.3	24.1	24.8	25.4	299.9	25.0
2000	25.8	26.1	26.3	26.6	25.4	24.4	24	24.3	23.9	25.2	25	25.8	302.8	25.2
2001	25.9	26.6	27.2	26.8	25.4	24	24.3	24.2	24.1	24.8	24.8	25.8	303.9	25.3
2002	26.5	26.4	27.4	27.1	26.6	25.1	24.8	24.1	24.6	25.3	25.5	25.8	309.2	25.8
2003	26.4	26.8	27.2	27	26.6	24.9	24.6	25.3	24.8	25.4	26.3	26.2	311.5	26.0
2004	26.5	26.7	27.1	27.2	26.2	24.4	24.5	25	25.4	25.7	26	26.6	311.3	25.9
2005	26.9	26	26.7	27.3	25.9	24.4	24.4	24.8	24.7	24.1	25.5	25.8	306.5	25.5
2006	26.2	26.5	27.1	26.8	25.5	25	25.2	25.5	25.3	26.1	25.7	26.3	311.2	25.9
2007	26.8	26.7	26.8	26.8	25.8	25.1	24.6	23.8	24.4	24.3	24.9	24.9	304.9	25.4
2008	24.7	26.1	26.6	26.9	25.8	25.1	25.3	25	24.9	24.4	25	25.7	305.5	25.5
2009	26.2	26.3	26.7	26.7	26.1	25.6	25.8	25.9	25.5	25.8	25.7	26.4	312.7	26.1
2010	26.6	26.7	27.3	27.6	26.7	24.9	24.4	24.6	24.6	24.6	24.3	24.7	307	25.6
2011	25.5	26.4	26.3	26.1	25.9	25.6	25.3	24.8	24.9	24.6	25	26.2	306.6	25.6
2012	25.4	25.2	26.8	27	26.6	25.7	24.2	24	24.4	24.4	24.7	26.3	304.7	25.4
2013	25.2	26	26.5	26.1	25.3	24.6	24.1	24.4	25.3	24.9	25.4	26	303.8	25.3
2014	25.9	25.9	26.6	26.3	26.3	26.1	25.8	25.7	25.3	25.6	25.5	26.4	311.4	26.0
2015	25.7	26.4	26.8	27.2	27	26.6	26.1	25.9	26.4	26.1	26.2	27.2	317.6	26.5
2016	26.6	26.9	27.2	26.8	26.9	26.1	25.5	25.8	25	24.9	25.3	26.6	313.6	26.1

Fuente: (INAMHI, 1997-2016)

Tabla 29: Temperatura media mensual de estación "Puerto Ila"

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1997	24.2	25.1	25.7	25.5	25.7	25.6	25.6	25.3	25.5	25.6	25.6	26.1	305.5	25.5
1998	26.5	26.7	26.7	26.8	26.6	25.7	24.7	24.1	24.0	23.5	23.8	23.6	302.7	25.2
1999	24.4	24.5	25.2	25.1	25.0	23.3	22.8	22.9	23.2	23.4	23.6	23.7	287.1	23.9
2000	23.9	24.4	24.9	25.3	24.4	23.5	22.9	23.1	23.2	23.7	23.7	24.2	287.2	23.9
2001	24.4	25.1	25.7	25.6	24.4	23	22.9	23.2	23.9	23.9	24.2	24.4	290.7	24.2
2002	24.4	24.9	25.7	25.6	25.6	24.3	23.6	23.6	24.5	24	24.1	24.8	295.1	24.6
2003	25.1	25.3	26.1	25.7	25.5	24.2	23.5	23.7	23.6	24	24.2	24.5	295.4	24.6
2004	25.6	25.5	25.8	25.6	24.9	23.6	23	23.9	23.9	24.2	24.1	25	295.1	24.6
2005	25.2	24.8	25.6	25.9	25	24.1	23.4	23.5	23.9	23.1	23.6	24.3	292.4	24.4
2006	24.8	25.2	25.8	25.6	24.6	23.6	23.2	23.6	23.9	24.4	24.3	24.7	293.7	24.5
2007	25.3	25.3	25.4	25.6	24.8	24.1	23.5	22.9	23.8	23.3	23.8	23.8	291.6	24.3
2008	23.7	24.8	25.5	25.8	25	24	23.9	23.9	23.7	23.4	23.7	24.3	291.7	24.3
2009	24.3	24.7	25.3	25.5	25.2	24.3	24	24	24.5	24.5	24.7	25.1	296.1	24.7
2010	25.3	25.5	25.9	26.1	25.7	23.9	23.7	23.6	23.7	23.7	23.1	23.5	293.7	24.5
2011	24.3	25.1	25.7	25.4	25.3	24.6	24	23.3	24	23.2	23.7	24.8	293.4	24.5
2012	23.9	24.6	25.5	25.8	25.6	24.9	23.8	23.4	24	23.8	24.4	24.9	294.6	24.6
2013	24.4	24.8	25.6	25.4	24.4	23.7	22.8	23.2	24	23.9	23.8	24.6	290.6	24.2
2014	24.4	24.4	25.7	25.2	25.3	25.1	24.6	24.2	24	23.9	24	25	295.8	24.7
2015	24.5	25.3	25.7	26.1	26	25.6	25	24.3	25.2	24.9	24.8	25.8	303.2	25.3
2016	25.4	25.8	26.2	26	26.1	25.1	24.2	24.4	24.1	23.8	24.3	25.2	300.6	25.1

Fuente: (INAMHI, 1997-2016)

Tabla 30: Temperatura media mensual de estación "Pichilingue"

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1997	25.2	25.6	26.4	26.2	26.6	26.4	26.3	25.9	26.2	26.3	26.1	26.7	313.9	26.2
1998	27.0	27.1	27.2	27.4	26.9	26.1	25.4	24.4	24.7	24.4	24.6	24.8	310.0	25.8
1999	25.4	25.0	25.8	25.5	25.3	23.5	23.1	23.0	24.2	24.2	24.9	24.5	294.4	24.5
2000	24.8	25.2	25.6	25.8	24.9	23.5	22.7	23.2	24	24.7	24.7	25.4	294.5	24.5
2001	24.9	25.7	26.2	26.1	24.8	22.9	23	23	24.2	24.6	25.2	25.5	296.1	24.7
2002	25.8	25.5	26.2	26	26	24.6	24	23.3	24.7	24.9	25.1	25.5	301.6	25.1
2003	25.4	25.9	26.4	26.4	25.8	23.9	23.2	23.9	23.6	25.1	25.3	25.6	300.5	25.0
2004	26.3	26.1	26.4	26.2	25.6	24	23.4	23.5	24.4	25	25.3	26.3	302.5	25.2
2005	26.3	25.5	25.9	26.3	25.2	24.1	23.6	23.5	24.7	24.3	25.2	25.7	300.3	25.0
2006	25.6	25.8	26.5	26.1	25.2	24.1	23.5	24.4	25.1	25.3	25.3	25.8	302.7	25.2
2007	25.8	26.1	26.1	26.1	25.2	24.3	23.7	23	24	23.9	24.6	24.8	297.6	24.8
2008	24.2	25.4	25.9	26.2	25.2	24.5	24.3	24.2	24.3	24.2	24.7	25.5	298.6	24.9
2009	25.4	25.4	25.9	26.2	25.9	24.6	24.3	24.5	24.9	25.2	25.8	26.5	304.6	25.4
2010	26.1	26.4	26.7	26.8	26.4	24.8	24.2	24	24.4	24.7	24	24.4	302.9	25.2
2011	25.2	25.7	26.5	26.1	25.9	25.1	24.6	23.7	24.6	24.2	25.1	26	302.7	25.2
2012	24.8	25.5	26.3	26.5	26.1	25.4	24.1	23.8	24.4	24.7	25.7	25.9	303.2	25.3
2013	25.1	25.5	26.2	26.1	25.2	23.9	23	23.4	24.8	24.9	24.9	26	299	24.9
2014	25.1	25.2	26.5	26.1	26	25.6	24.8	24.5	24.5	24.7	25.1	26.4	304.5	25.4
2015	25.3	26.1	26.4	26.9	26.7	26.2	25.5	24.6	25.8	25.7	25.7	26.6	311.5	26.0
2016	26.2	26.6	26.9	26.7	26.8	25.7	24.8	24.9	25.2	24.8	25.5	26.4	310.5	25.9

Fuente: (INAMHI, 1997-2016)

4.2.2.2. Evaluación de la Temperatura Media en la Subcuenca del Río Daule.

Habiendo realizado el análisis de las estadísticas de temperatura media mensual y comprobado que los datos son consistentes, en la **Tabla 31** se presenta el promedio entre los años 1997 a 2016 de las estaciones consideradas en el presente estudio, estos mismos valores se muestran gráficamente en la **Ilustración 24** donde se puede observar que la variación de la temperatura de la estación Camposano #2 ha permanecido prácticamente constante durante los meses del año con valores entre 25.7 °C y 26 °C; en la tabla también se identifica que la subcuenca del río Daule posee una temperatura media anual de 25.6 °C.

Tabla 31: Temperatura media mensual y anual en °C

Estación	Mes												Media
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Puerto Ila	24.7	25.1	25.7	25.7	25.3	24.3	23.8	23.7	24.0	23.9	24.1	24.6	24.6
Camposano #2	25.8	25.8	26.0	25.9	25.9	25.7	25.7	25.7	25.7	25.7	25.7	25.8	25.8
Olmedo-Manabí	26.3	26.2	26.7	26.8	26.4	25.6	25.3	25.4	26.1	26.2	26.4	26.7	26.2
Vinces	26.4	26.5	27.1	27.1	26.5	25.4	24.9	24.7	25.4	25.5	25.9	26.7	26.0
Pichilingue	25.5	25.8	26.3	26.3	25.8	24.7	24.1	23.9	24.6	24.8	25.1	25.7	25.2
Chone-U. Católica	26.1	26.4	26.9	26.9	26.2	25.3	25.0	24.9	25.0	25.1	25.3	26.0	25.8
Media	25.8	26.0	26.4	26.4	26.0	25.2	24.8	24.7	25.1	25.2	25.4	25.9	<u>25.6</u>

Fuente: (INAMHI, 1997-2016)

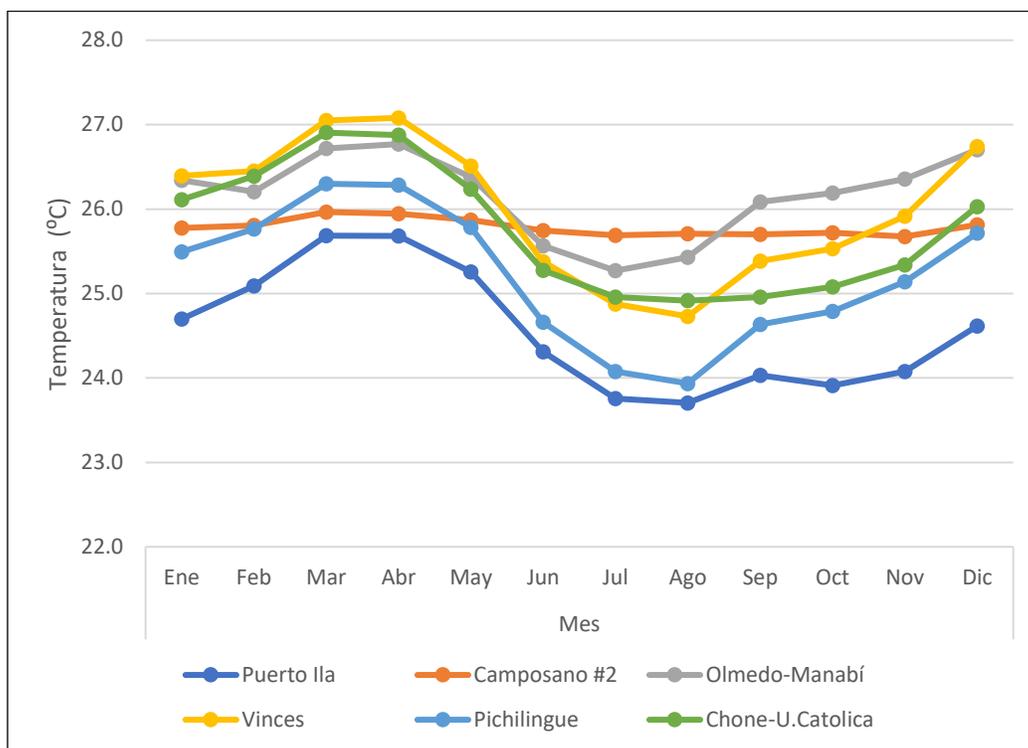


Ilustración 24: Variación de Temperatura media mensual en °C
Elaborado por: Gómez, Raquel.

En la **Ilustración 25** se presenta la variación anual de la temperatura media en la subcuenca, donde la estación Puerto Ila contiene la temperatura más baja entre las estaciones con un valor de 24.6 °C, esto es debido a que presenta mayor altitud que las demás por lo tanto su temperatura disminuye al aumentar la altitud del terreno. Mientras que en la **Ilustración 26** se observa el promedio mensual entre las seis estaciones de estudio y se aprecia que las menores temperaturas en la subcuenca se encuentran entre los meses de junio y noviembre, y las mayores temperaturas se dan en los meses de diciembre a mayo.

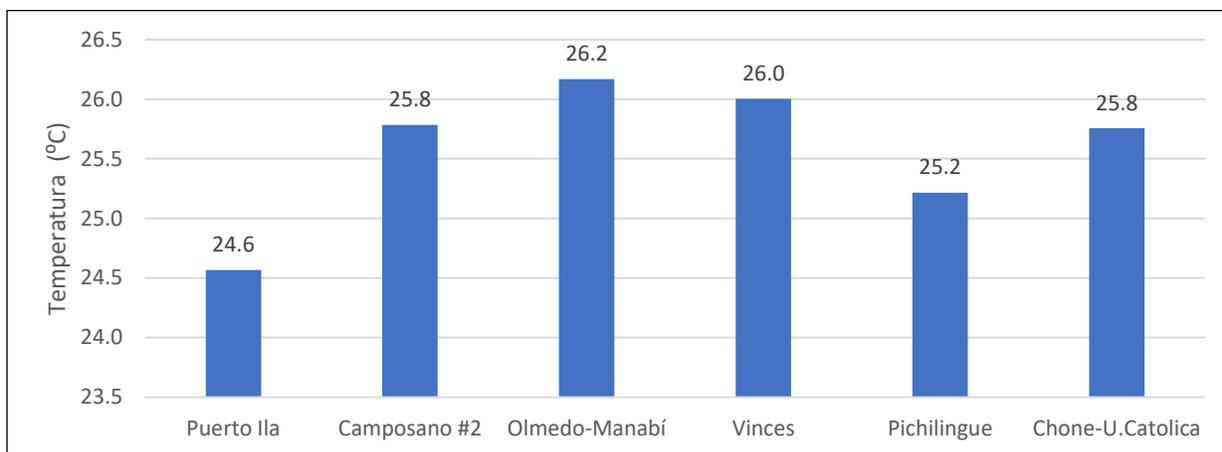


Ilustración 25: Temperatura media anual en °C
Elaborado por: Gómez, Raquel

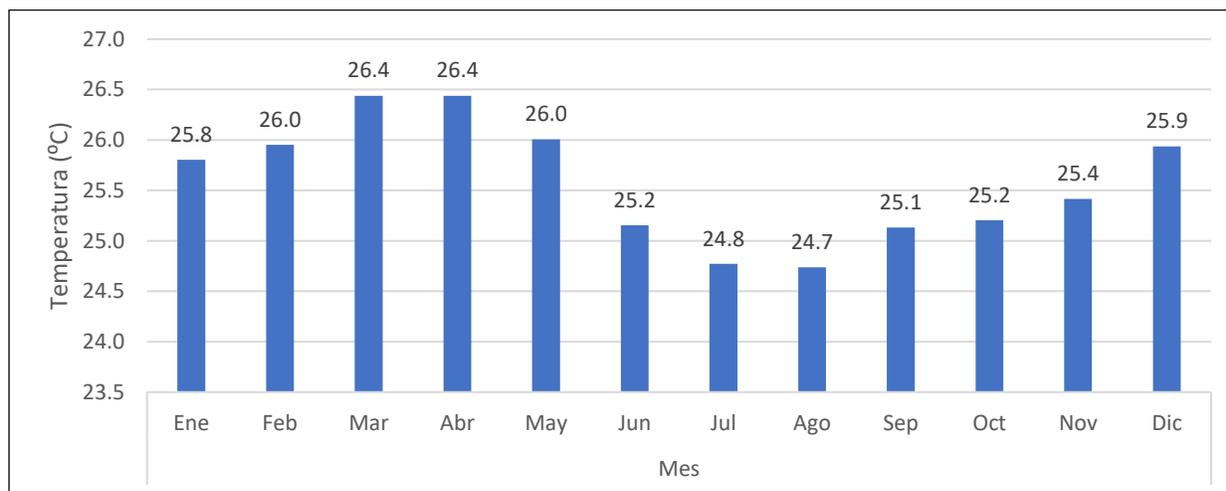


Ilustración 26: Promedio de temperatura mensual en °C
Elaborado por: Gómez, Raquel

4.2.3. Evaporación.

Para realizar un balance hídrico se debe estimar la evaporación de lagos o embalses, conociendo que la subcuenca del río Daule contiene el embalse llamado Daule-Peripa con una superficie de 262.2 Km², cuya área inunda gran parte de la zona superior de la subcuenca; se medirá la evaporación del embalse mediante la información contenida de las estaciones meteorológicas cercanas al embalse.

Con el polígono de Thiessen se observa que el embalse se encuentra entre las áreas de influencia de las estaciones Puerto Ila, Pichilingue y Chone-U.Católica (**Ilustración 27**), por lo que se contará con los datos de evaporación total mensual presentes en las estaciones mencionadas. Los valores parciales del área inundada por el embalse (A_L) se identifican en la **Tabla 24**.

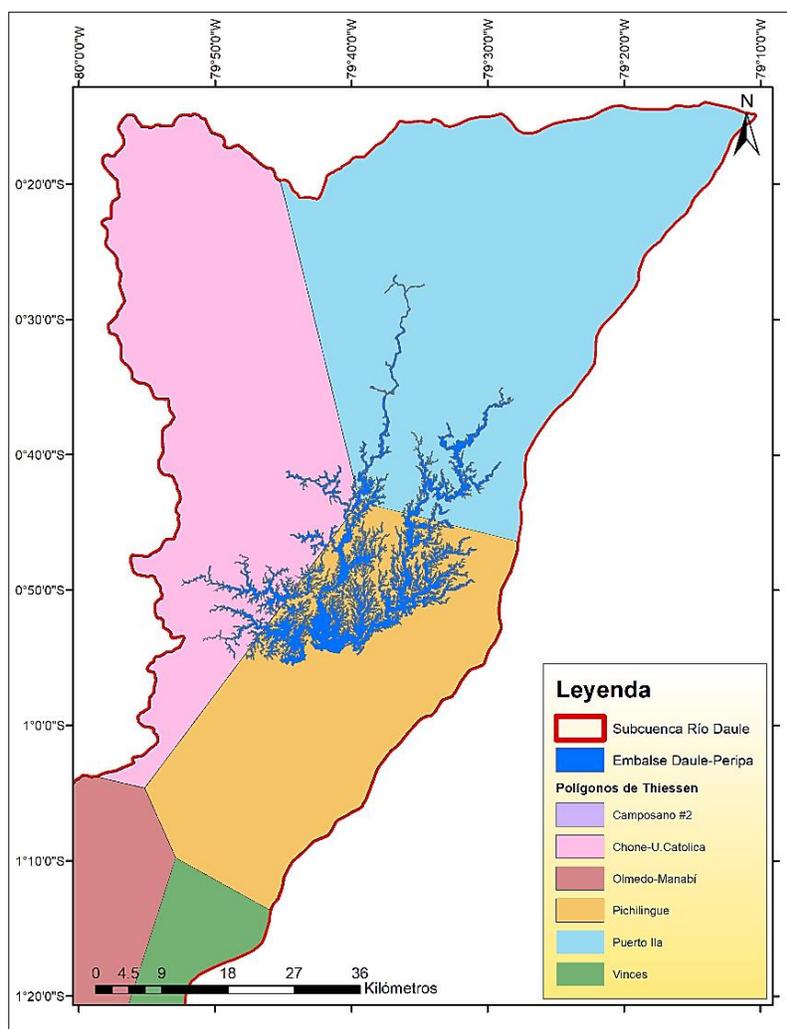


Ilustración 27: Embalse Daule-Peripa y áreas de influencia de estaciones
Elaborado por: Gómez, Raquel

4.2.3.1. Estimación de Datos Faltantes de Evaporación.

Las estaciones Puerto Ila, Pichilingue y Chone-U. Católica presentan en su estadística datos incompletos en sus meses por lo que fue necesario el relleno con el método de regresión lineal utilizado en los parámetros anteriores, por lo tanto, de la **Tabla 32** a la **Tabla 34** se muestran sus registros completos.

Tabla 32: Relleno de datos Evaporación total mensual: estación “Puerto Ila”

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1997	77.5	65.7	88.8	79.9	82.3	76.5	78.8	77.6	78.7	78.1	65.9	83.3	933.1	77.8
1998	84.8	84.1	100.3	89.3	102.8	69.0	64.6	67.0	65.9	60.7	70.9	71.4	930.8	77.6
1999	81.3	73.7	107.1	72.6	72.8	49.4	62.2	70.2	50.2	57.6	61.2	50.5	808.8	67.4
2000	72.6	73.5	77.4	81.3	57.1	52.9	62.5	74.1	62.3	66.7	75.2	69.8	825.4	68.8
2001	71.2	77.2	85.9	74.1	63.6	56.8	61.6	75.7	85.6	84.1	72.2	59.8	867.8	72.3
2002	66.5	77.6	88.8	87.2	71.0	70.9	61.8	66.1	73.2	62.7	58.3	61.2	845.3	70.4
2003	71.1	69.6	93.3	87.7	75.1	51.0	56.0	54.8	69.5	52.2	66.3	66.7	813.3	67.8
2004	95.4	78.5	77.3	81.7	58.6	50.0	54.7	93.2	65.8	68.5	67.3	79.1	870.1	72.5
2005	89.2	61.9	73.0	72.0	73.5	60.1	65.1	73.6	73.1	58.8	63.1	69.9	833.3	69.4
2006	73.8	77.8	105.7	78.5	65.9	52.6	64.9	61.7	59.3	77.2	64.0	67.2	848.6	70.7
2007	71.7	74.0	87.7	92.7	47.6	52.9	44.5	49.9	64.1	55.7	60.7	53.2	754.7	62.9
2008	43.7	69.2	84.0	86.6	67.3	41.2	53.6	48.8	46.5	42.3	52.9	56.8	692.9	57.7
2009	51.2	55.7	72.3	71.1	69.1	49.1	55.5	53.1	65.9	73.2	69.5	59.3	745.0	62.1
2010	59.6	57.2	73.5	74.7	56.8	44.1	46.2	50.7	45.3	52.6	48.2	48.3	657.2	54.8
2011	59.3	65.7	92.7	80.1	70.6	47	46.5	50.9	61.2	54.6	63.5	72.7	764.8	63.7
2012	53.9	61.4	83.5	83.1	76.5	55.4	62.4	57	68.8	65.1	71.7	76.1	814.9	67.9
2013	50.1	63.1	83.6	80.9	63.1	50.6	58	67.3	80.4	68.1	66.5	72.4	804.1	67.0
2014	57.9	62	92.3	62	66.7	61.4	71	64	69.2	56.8	53.4	68.5	785.2	65.4
2015	56.1	69.8	92.5	84.7	64.6	73	71.1	61.7	76.3	67	55.8	74.4	847.0	70.6
2016	65.1	70.8	68.3	76.9	78.8	64.7	54.6	70.2	46.6	59.4	73.4	60.6	789.4	65.8

Fuente: (INAMHI, 1997-2016)

Tabla 33: Relleno de datos Evaporación total mensual: estación “Pichilingue”

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1997	94.1	80.1	99.1	91.0	86.5	88.9	90.5	88.8	92.2	86.3	106.9	109.0	1113.4	92.8
1998	95.5	85.5	98.5	98.3	84.5	75.9	72.3	64.0	72.4	82.4	74.2	83.2	986.7	82.2
1999	85.9	68.0	100.8	81.6	76.1	51.3	58.3	69.6	71.3	66.9	87.0	69.7	886.5	73.9
2000	81.3	80.0	93.0	92.9	60.1	52.3	56.7	73.7	80.0	92.0	94.1	87.0	943.1	78.6
2001	75.8	77.3	68.1	82.4	58.6	53.2	62.6	67.2	91.4	116.1	99.3	88.7	940.7	78.4
2002	84.8	82.0	89.7	94.3	76.5	74.8	69.9	67.7	88.4	81.6	78.4	73.7	961.8	80.2
2003	74.0	82.2	98.8	100.6	76.8	55.4	62.4	66.1	77.5	85.7	86.4	80.2	946.1	78.8
2004	108.8	82.7	92.7	75.3	63.9	53.5	53.4	80.0	74.8	85.7	92.8	111.6	975.2	81.3
2005	99.4	65.1	87.6	76.1	79.2	66.0	65.0	79.3	100.0	88.1	98.9	94.5	999.2	83.3
2006	89.2	82.1	106.7	92.8	75.6	60.6	67.1	85.9	82.1	107.1	95.6	92.0	1036.8	86.4
2007	74.5	77.3	97.4	83.5	57.8	54.9	61.2	66.1	89.5	82.9	84.5	87.5	917.1	76.4
2008	53.2	82.3	106.1	97.6	75.4	2.1	70.0	68.6	67.4	75.0	89.5	96.3	883.5	73.6
2009	79.7	72.0	99.0	99.0	87.6	67.2	78.3	79.7	101.3	115.6	117.6	99.2	1096.2	91.4
2010	71.3	66.2	92.7	85.0	76.3	54.3	65.4	79.3	67.2	85.6	71.1	59.6	874.0	72.8
2011	70.9	80	115.4	89.8	92	59.7	65.4	66	97.8	98.2	111.7	115.8	1062.7	88.6
2012	62	72.7	108.8	106.5	91.3	82.5	82.8	82.9	93.8	95.4	108.6	106	1093.3	91.1
2013	58.8	68.3	80.6	77.7	64.8	57.6	57.8	83.4	104.7	96.3	92.9	113.5	956.4	79.7
2014	65.1	66.5	107.8	78.2	67.9	83.4	87.2	87.6	88.1	87.6	93.7	117.6	1030.7	85.9
2015	79.4	86.1	99.1	108.6	92.4	88.7	85.5	85.9	106.3	92.3	85.8	96.6	1106.7	92.2
2016	79.9	84.4	88.4	79.4	107.4	96.2	78.1	107	72.2	94.7	102	97.5	1087.2	90.6

Fuente: (INAMHI, 1997-2016)

Tabla 34: Relleno de datos Evaporación total mensual: estación “Chone-U.Católica”

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1997	66.9	59.5	92.0	71.5	83.3	82.7	56.2	83.6	85.2	37.8	71.8	65.4	855.9	71.3
1998	84.6	91.6	89.8	56.9	67.5	64.3	62.3	106.6	53.6	110.1	67.3	74.2	928.8	77.4
1999	92.8	86.8	107.1	92.0	92.7	66.2	56.2	91.7	81.4	69.6	89.6	89.6	1015.7	84.6
2000	118.5	111.0	109.3	111.3	82.3	77.1	105.7	118.4	113.2	130.0	152.9	38.4	1268.1	105.7
2001	75.3	83.3	98.2	71.1	89.5	90.7	87.3	110.4	123.0	144.3	113.6	118.3	1205.0	100.4
2002	102.3	59.5	87.7	87.0	93.6	95.2	100.6	120.2	122.4	91.5	109.9	74.4	1144.3	95.4
2003	96.7	84.9	108.8	116.5	108.4	74.9	86.9	102.4	112.4	109.5	108.1	94.5	1204.0	100.3
2004	129.6	96.4	116.1	116.6	80.3	73.5	100.1	146.5	125.8	137.7	140.6	143.7	1406.9	117.2
2005	135.1	90.2	107.5	112.9	102.1	81.4	93.7	110.0	125.0	105.8	118.5	118.0	1300.2	108.4
2006	102.1	73.8	98.0	144.2	99.6	81.9	128.1	101.4	100.9	141.4	117.3	133.2	1321.9	110.2
2007	108.0	97.2	113.1	112.0	89.2	83.1	101.7	115.9	142.2	128.5	138.5	128.6	1358.0	113.2
2008	73.4	101.1	114.2	128.0	101.9	69.0	84.0	98.0	98.7	103.3	103.4	95.9	1170.9	97.6
2009	97.3	76.7	117.4	121.6	55.3	88.6	108.1	118.8	143.2	110.9	106.0	102.2	1246.1	103.8
2010	84.5	63.8	111.3	106.2	95.4	78.0	97.6	100.9	111.0	126.1	107.8	87.3	1169.9	97.5
2011	102.4	83.1	159.3	136.1	135.4	93.9	94.5	115.3	139.4	138.3	107.1	93.7	1398.5	116.5
2012	83.1	82.2	127.5	137.8	111.4	104.2	89.2	89.1	112.2	103	100.9	93.2	1233.8	102.8
2013	68	76.7	92.6	86.7	70.2	80.9	83.3	101.7	116.7	97.3	101.5	93.8	1069.4	89.1
2014	82.9	92.1	129.2	95.1	102.8	94.9	102	102	106.2	102.5	91.5	94.3	1195.5	99.6
2015	83.4	95.3	110.6	113.1	117.4	114.9	100.5	95.7	111.2	108.3	100.1	93.5	1244.0	103.7
2016	92.0	91.5	103.8	114.8	113.2	98.5	82.2	85	82.7	108.8	99.7	60.4	1132.6	94.4

Fuente: (INAMHI, 1997-2016)

4.2.3.2. Análisis de Consistencia de los Registros de Evaporación.

Para verificar que los registros de evaporación de las estaciones sean consistentes y que la información sea segura para utilizar, se realiza el análisis con el método de curva de doble masa. En **Tabla 35** se presenta el cálculo de consistencia de las estaciones Puerto Ila, Pichilingue y Chone-U.Católica, y se observa en la **Ilustración 28** que las estaciones adoptan una tendencia lineal con leves ondulaciones.

Tabla 35: Cálculo de Análisis de consistencia en registros de evaporación

AÑOS	Estación Puerto Ila		Estación Pichilingue		Estación Chone-U.Católica		Promedio Anual	
	P. Anual	P.A. Acumulado	P. Anual	P.A. Acumulado	P. Anual	P.A. Acumulado	PP. Anual	PP.A. Acumulado
2016	789.4	789.4	1087.2	1087.2	1132.6	1132.6	1003.1	1003.1
2015	847.0	1636.4	1106.7	2193.9	1244.0	2376.6	1065.9	2069.0
2014	785.2	2421.6	1030.7	3224.6	1195.5	3572.1	1003.8	3072.8
2013	804.1	3225.7	956.4	4181.0	1069.4	4641.5	943.3	4016.1
2012	814.9	4040.6	1093.3	5274.3	1233.8	5875.3	1047.3	5063.4
2011	764.8	4805.4	1062.7	6337.0	1398.5	7273.8	1075.3	6138.7
2010	657.2	5462.6	874.0	7211.0	1169.9	8443.7	900.4	7039.1
2009	745.0	6207.6	1096.2	8307.2	1246.1	9689.8	1029.1	8068.2
2008	692.9	6900.5	883.5	9190.7	1170.9	10860.7	915.8	8984.0
2007	754.7	7655.2	917.1	10107.8	1358.0	12218.7	1009.9	9993.9
2006	848.6	8503.8	1036.8	11144.6	1321.9	13540.6	1069.1	11063.0
2005	833.3	9337.1	999.2	12143.8	1300.2	14840.8	1044.2	12107.2
2004	870.1	10207.2	975.2	13119.0	1406.9	16247.7	1084.1	13191.3
2003	813.3	11020.5	946.1	14065.1	1204.0	17451.7	987.8	14179.1
2002	845.3	11865.8	961.8	15026.9	1144.3	18596.0	983.8	15162.9
2001	867.8	12733.6	940.7	15967.6	1205.0	19801.0	1004.5	16167.4
2000	825.4	13559.0	943.1	16910.7	1268.1	21069.1	1012.2	17179.6
1999	808.8	14367.8	886.5	17797.2	1015.7	22084.8	903.7	18083.3
1998	930.8	15298.6	986.7	18783.9	928.8	23013.6	948.8	19032.0
1997	933.1	16231.7	1113.4	19897.3	855.9	23869.5	967.5	19999.5

Elaborado por: Gómez, Raquel

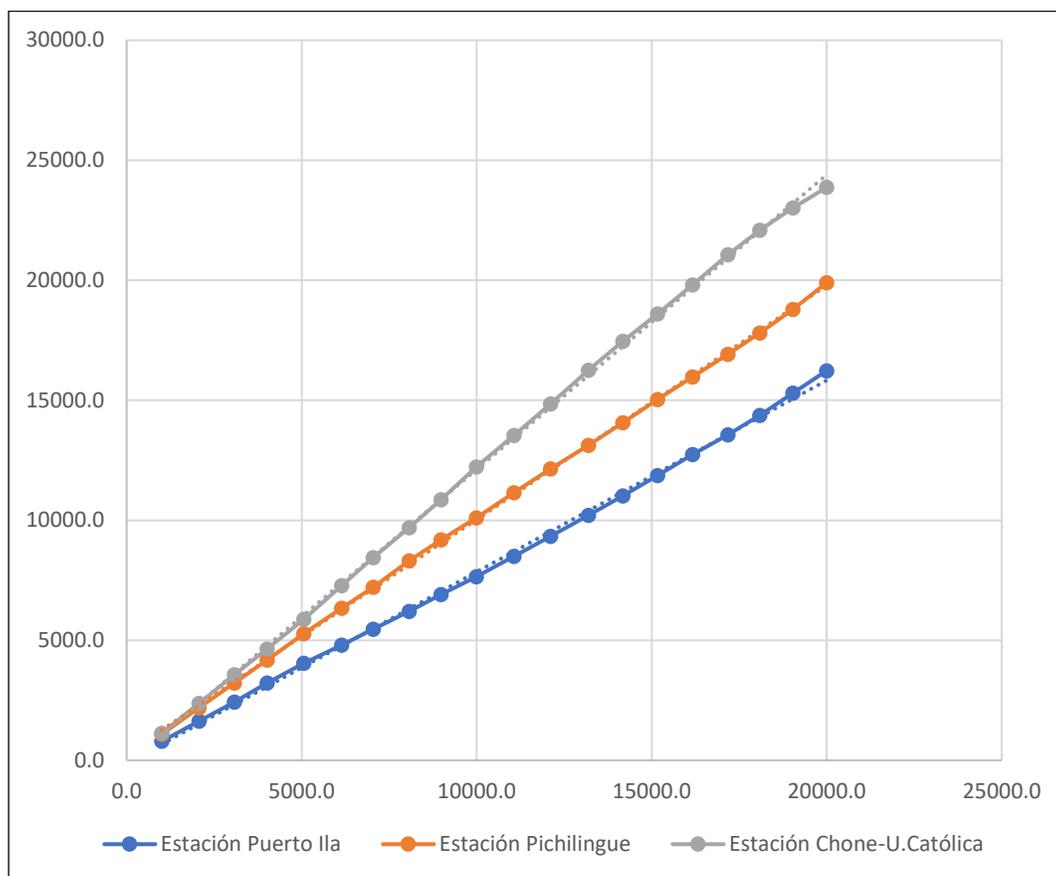


Ilustración 28: Análisis de consistencia del registro de evaporación
Elaborado por: Gómez, Raquel

4.2.3.3. Evaluación de la Evaporación en el Embalse.

En la **Tabla 36** se muestra el promedio entre los años 1997 a 2016 de la evaporación total mensual y anual de las tres estaciones que intervienen para el análisis de la evaporación del embalse Daule-Peripa.

Tabla 36: Promedio de evaporación total mensual y anual

Estación	Mes												Suma
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Puerto Ila	67.6	69.4	86.4	79.9	69.2	56.4	59.8	64.4	65.4	63.1	64.0	66.1	811.6
Pichilingue	79.2	77.0	96.5	89.5	77.5	63.9	69.5	77.4	85.9	90.8	93.6	94.0	994.9
Chone-U.Catolica	93.9	84.8	109.7	106.6	94.6	84.7	91.0	105.7	110.3	110.2	107.3	94.6	1193.5

Fuente: (INAMHI, 1997-2016)

Como se mencionó en el ítem 2.2.9, es necesario aplicar a los datos de evaporación el coeficiente de embalse que permitirá corregir las diferentes condiciones que se presentan entre el embalse y el lugar donde se encuentran los evaporímetros. Los datos estadísticos de evaporación de las tres estaciones fueron obtenidos por evaporímetros de Tanque tipo A y se utilizará un valor de coeficiente de embalse de 0.7. En la **Tabla 37** se muestra el promedio de evaporación total mensual y anual corregido con el coeficiente de embalse, en la **Ilustración 29** se presentan estos valores de forma gráfica donde se observa que en el mes de junio se registra la menor evaporación en el área de influencia de las estaciones, mientras que en el mes de marzo se presentan mayores valores, en la **Ilustración 30** se muestra la evaporación promedio total anual de las estaciones analizadas donde se observa que la estación Chone-U.Católica ha presentado mayor evaporación anual con un valor de 835.4 mm.

Tabla 37: Evaporación media mensual corregida con el coeficiente de embalse

Estación	Mes												Suma
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Puerto Ila	47.3	48.6	60.5	55.9	48.4	39.5	41.8	45.1	45.8	44.1	44.8	46.2	568.1
Pichilingue	55.4	53.9	67.6	62.7	54.3	44.7	48.6	54.2	60.1	63.5	65.5	65.8	696.4
Chone-U.Catolica	65.8	59.4	76.8	74.6	66.2	59.3	63.7	74.0	77.2	77.2	75.1	66.2	835.4
Promedio mensual	56.2	54.0	68.3	64.4	56.3	47.8	51.4	57.8	61.0	61.6	61.8	59.4	700.0

Elaborado por: Gómez, Raquel

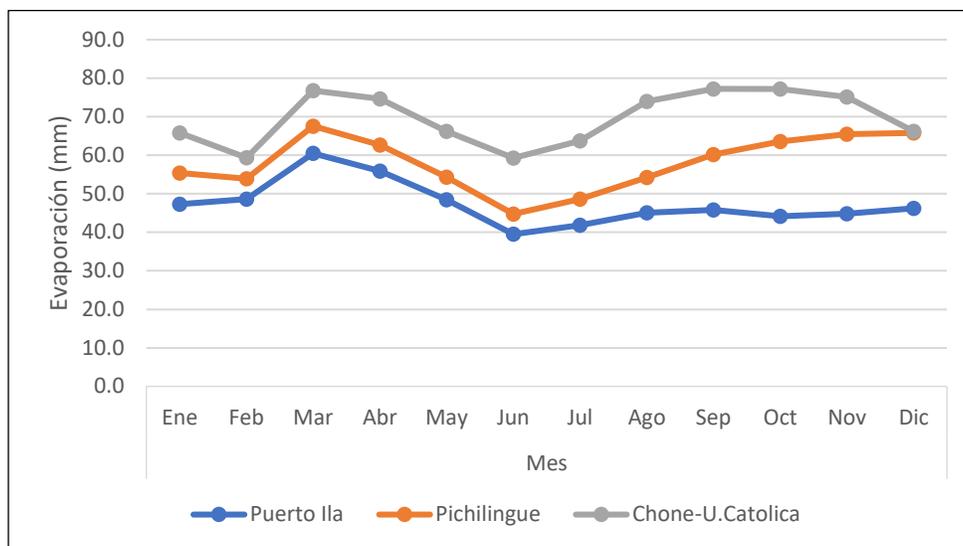


Ilustración 29: Variación de la evaporación total mensual
Elaborado por: Gómez, Raquel

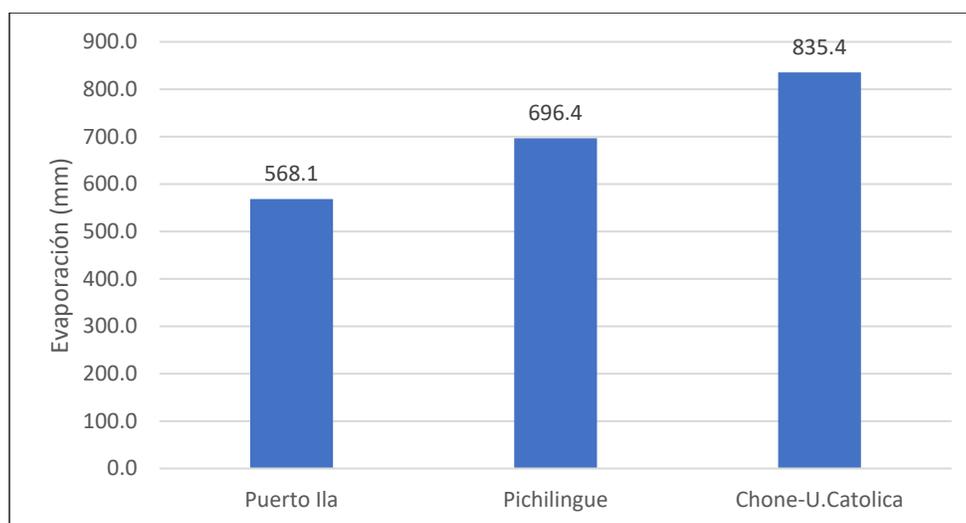


Ilustración 30: Evaporación total promedio anual
Elaborado por: Gómez, Raquel

4.2.4. Evapotranspiración.

Para estimar empíricamente el parámetro de la evapotranspiración en la subcuenca del río Daule se utiliza el método de Blaney y Criddle el cual permite realizar el cálculo para superficies de riego puesto que en la subcuenca de estudio la superficie regada

constituye un gran porcentaje del área en relación con el área total de la subcuenca.

Para hallar la evapotranspiración real se empieza conociendo el porcentaje medio diario de las horas de luz diurna (p) para cada mes dependiendo de las diferentes latitudes de las seis estaciones analizadas haciendo uso de la **Tabla 5**, los resultados se muestran en la **Tabla 38**.

Para el cálculo del factor mensual de uso consuntivo del agua (f), se utiliza la **Ecuación 13**, donde los valores de la temperatura media mensual del periodo 1997 a 2016 de las distintas estaciones son presentados en la **Tabla 31**. En la **Tabla 39** se muestra el cálculo del factor mensual correspondiente a las estaciones analizadas.

Por medio de un mapa de vegetación de la subcuenca del río Daule y utilizando el programa ArcGIS se divide los tipos de cultivos que se encuentran en el área de influencia de cada estación clasificándolos de acuerdo con la **Tabla 6** para poder conocer los coeficientes estacionales de cultivo (K). La división de los cultivos por áreas de influencia de estaciones se muestra gráficamente en la **Ilustración 31**, mientras que en la **Tabla 40** se presentan numéricamente, adicionando los coeficientes de cultivo general estacional que se emplearán.

Para hallar la evapotranspiración real total del periodo de riego o cultivo se utiliza la **Ecuación 14** donde los coeficientes de cultivo “ K ” serán multiplicados por la sumatoria mensual del factor de uso consuntivo del agua ($\sum f$) calculados en la **Tabla 39**. Los resultados de la evapotranspiración real total se muestran en la **Tabla 41**.

Tabla 38: Porcentaje medio diario (p) de las horas de luz diurna

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Puerto Ila	0.271	0.271	0.271	0.270	0.270	0.270	0.270	0.270	0.270	0.271	0.271	0.271
Camposano #2	0.273	0.273	0.273	0.270	0.270	0.270	0.270	0.270	0.270	0.273	0.273	0.273
Olmedo-Manabí	0.273	0.273	0.273	0.270	0.270	0.270	0.270	0.270	0.270	0.273	0.273	0.273
Vinces	0.273	0.273	0.273	0.270	0.270	0.270	0.270	0.270	0.270	0.273	0.273	0.273
Pichilingue	0.272	0.272	0.272	0.270	0.270	0.270	0.270	0.270	0.270	0.272	0.272	0.272
Chone-U.Catolica	0.271	0.271	0.271	0.270	0.270	0.270	0.270	0.270	0.270	0.271	0.271	0.271

Elaborado por: Gómez, Raquel

Tabla 39: Cálculo del factor mensual de uso consuntivo del agua (f)

Estación	Factor mensual de uso consuntivo del agua (f)												Σf
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Puerto Ila	5.282	5.331	5.405	5.385	5.332	5.214	5.145	5.139	5.180	5.184	5.204	5.272	63.073
Camposano #2	5.456	5.460	5.480	5.417	5.408	5.393	5.386	5.388	5.387	5.449	5.444	5.461	65.130
Olmedo-Manabí	5.527	5.510	5.575	5.520	5.471	5.370	5.334	5.354	5.435	5.508	5.529	5.573	65.707
Vinces	5.534	5.541	5.616	5.558	5.488	5.347	5.285	5.267	5.348	5.426	5.474	5.577	65.460
Pichilingue	5.401	5.435	5.502	5.460	5.398	5.258	5.185	5.168	5.255	5.313	5.357	5.429	64.160
Chone-U.Catolica	5.458	5.493	5.557	5.533	5.453	5.334	5.295	5.290	5.295	5.330	5.362	5.448	64.849

Elaborado por: Gómez, Raquel

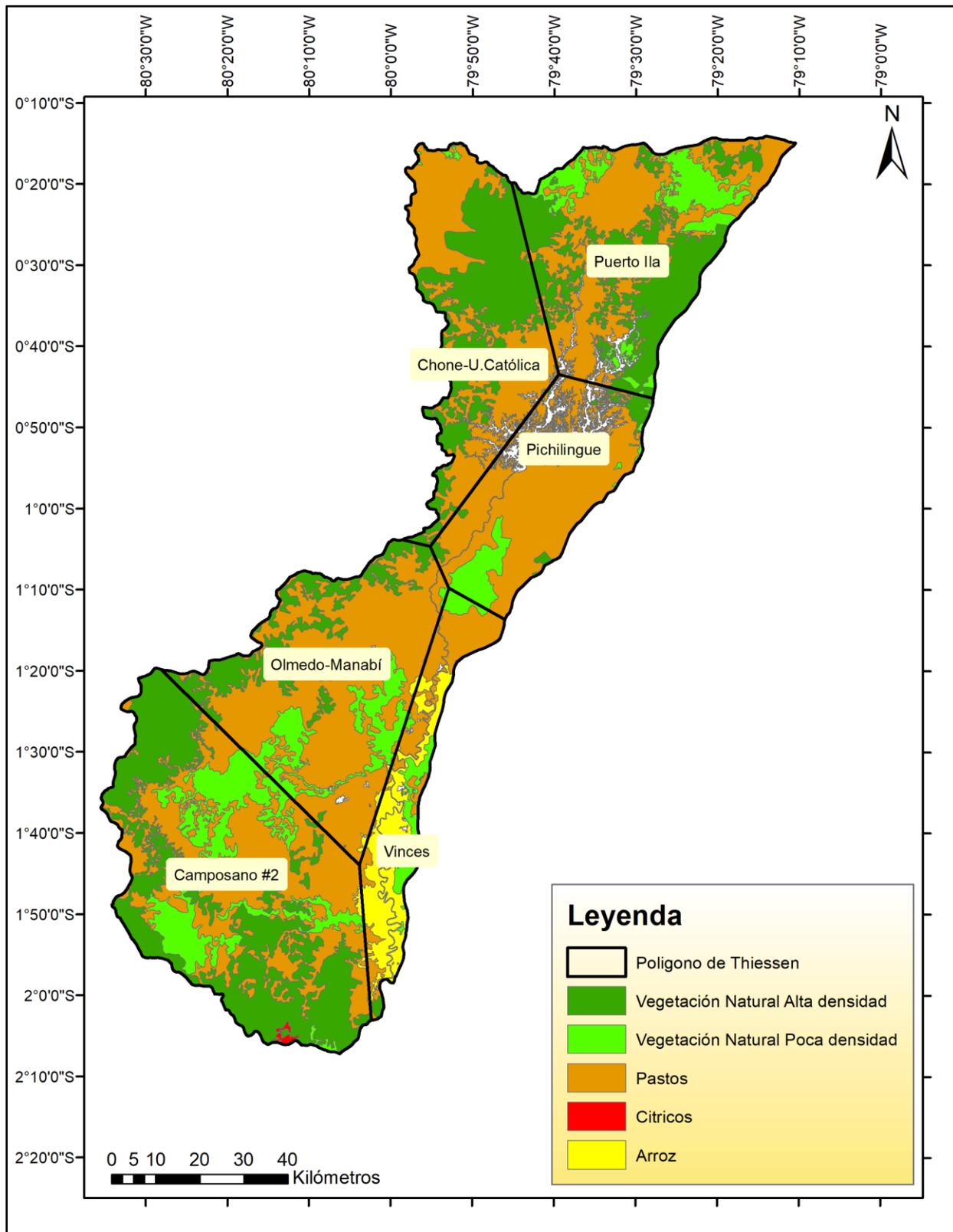


Ilustración 31: Clasificación de cultivos en áreas de influencia de estaciones
Elaborado por: Gómez, Raquel

Tabla 40: Áreas de cultivos en la subcuenca del río Daule

Estación	Área de suelo no inundada A_s (Km ²)				
	Arroz	Cítricos	Pastos	Vegetación Natural (Poca densidad)	Vegetación Natural (Alta densidad)
	K=1	K=0.45	K=0.75	K=0.90	K=1.25
Puerto Ila			950.199	323.990	808.912
Camposano #2	11.831	10.371	1319.682	557.782	1288.996
Olmedo-Manabí	15.528		1579.452	292.000	387.915
Vinces	381.757		305.110	165.985	10.278
Pichilingue			991.597	134.493	65.277
Chone-U.Catolica			864.615	10.062	829.053

Elaborado por: Gómez, Raquel

Tabla 41: Evapotranspiración Real Total en cultivos de la subcuenca del río Daule

Estación	Evapotranspiración Real Total ETR_s en cultivos (mm)				
	Arroz	Cítricos	Pastos	Vegetación Natural (Poca densidad)	Vegetación Natural (Alta densidad)
Puerto Ila			47.305	56.766	78.842
Camposano #2	65.130	29.309	48.848	58.617	81.413
Olmedo-Manabí	65.707		49.280	59.136	82.134
Vinces	65.460		49.095	58.914	81.826
Pichilingue			48.120	57.744	80.200
Chone-U.Catolica			48.637	58.364	81.061

Elaborado por: Gómez, Raquel

4.2.5. Escorrentía Superficial.

Para conocer la escorrentía en la subcuenca del río Daule se utilizaron los caudales medios mensuales de la estación hidrológica “Daule en la capilla” (H0365) durante el periodo de 1997 a 2016 (**Tabla 42**), dado que esta estación se halla dentro de la zona de estudio e incluye a la mayoría de los afluentes que aportan a la subcuenca.

Tabla 42: Caudal medio mensual (m³/s) de estación hidrológica "Daule en la Capilla"

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1997														
1998	1439.1	1339.7	1770.0	1910.8	1454.1	1117.3	448.7	294.4	251.2	227.8	186.3	145.9	10585.2	882.1
1999	135.1	604.6	863.9	1090.0	798.2	392.2	298.7	201.5	167.6		261.3	288.7	5101.8	463.8
2000	276.1	312.2	393.7		399.9	200.6	178.4	170.7	161.5	173.7		344.2	2611.0	261.1
2001	581.2	588.0	675.3	1268.5	492.3	194.9	119.4	100.9	100.0	135.3	159.0	93.7	4508.4	375.7
2002	96.7	413.9	853.5	860.9	548.0	216.8	157.4	129.1	114.2	118.9	169.4	202.6	3881.3	323.4
2003	266.8	472.0	362.5	175.4	133.2		98.7	94.3	89.5	89.8	137.1	140.3	2059.8	187.3
2004		229.2	224.5	204.9	118.4	107.9	93.8	89.5		86.7	118.1	132.0	1405.0	140.5
2005	131.3	119.7	172.6	411.0	142.3	101.6	93.5	89.2	90.2	87.4	90.2	87.4	1616.4	134.7
2006	125.0	543.9	516.1	164.2	98.8	84.0	102.3	102.3	103.5	111.5	125.9	135.3	2212.7	184.4
2007	152.5	143.5	329.0	410.5	156.7	117.8	103.7	100.7	91.3	102.0	97.1	126.2	1930.9	160.9
2008	267.1	744.7	879.8	502.6	368.4	146.5	127.5	125.6	112.1	106.9	125.6	223.0	3729.9	310.8
2009	252.2	428.0	421.8	158.8	165.5	109.0	105.3	92.5	103.8		117.3	112.4	2066.7	187.9
2010	169.6	558.1	830.4	872.7	465.1	146.6	116.9	92.3	73.5	82.0	145.3	240.6	3793.1	316.1
2011	429.0	756.5	182.9	399.6	141.3	93.1	87.4	73.8	74.6	72.8	107.7	168.9	2587.6	215.6
2012	500.4	1117.9	1408.5	947.6	1067.5	281.1	326.3	188.4	97.8	129.2	161.1	175.6	6401.4	533.4
2013	126.5	392.3	1034.4	757.0	372.6	132.5	145.2	169.9	129.1	111.9	144.9	176.1	3692.3	307.7
2014								121.6	114.1	112.8	115.8	121.6	585.9	117.2
2015	202.5	310.4	346.1	767.3	739.4	545.6	214.3	217.4	151.8	271.4	293.9	324.6	4384.7	365.4
2016	765.2	919.6	847.3	791.2	575.2								3898.5	779.7

Fuente: (INAMHI, 1997-2016)

Como se pudo visualizar en la **Tabla 42**, la estación hidrológica presenta en su estadística varios datos faltantes que son necesarios completar, para su relleno es posible emplear el método de regresión lineal utilizado en los parámetros anteriores, sin embargo, para usar este método se necesita contar por lo menor con una estación hidrológica cercana donde sus registros sean completos y consistentes para que sirva de base a la estación a analizar; al realizar un inventario en los anuarios hidrológicos no se halló estaciones cercanas con estadísticas suficientes que contaran con datos completos y prolongados durante el periodo analizado, no obstante, la Guía metodológica usada para la elaboración del balance hídrico menciona que es posible utilizar como estación de base las estadísticas de las precipitaciones de la subcuenca aplicando el mismo método de regresión lineal.

Para realizar el relleno de los datos de la estación hidrológica “Daule en la capilla” se utilizó como base el promedio de precipitación total mensual del periodo de 1997 a 2016 de las seis estaciones meteorológicas usadas en este estudio ya que en ítems anteriores éstas fueron sometidas a un análisis de consistencia y al relleno de sus datos faltantes, el promedio de las precipitaciones se presenta en la **Tabla 43**.

Tabla 43: Precipitación total media mensual de estaciones meteorológicas

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1997	283.9	335.4	396.1	414.7	200.4	175.5	159.4	127.5	328.0	167.7	554.4	650.7
1998	636.9	570.9	706.5	687.6	482.7	258.3	115.8	18.9	17.2	6.8	20.2	32.3
1999	138.2	512.7	432.5	431.0	204.4	12.3	8.5	4.1	78.4	18.6	16.3	137.0
2000	142.8	312.3	400.5	311.9	171.3	19.9	1.4	4.6	10.8	6.4	7.7	43.4
2001	522.6	306.5	404.4	435.0	108.8	2.7	5.1	1.0	5.2	2.8	9.1	34.6
2002	189.0	520.7	607.5	471.1	157.2	30.3	6.2	2.4	15.3	19.6	34.8	158.3
2003	287.4	377.2	195.2	238.2	151.1	19.0	13.4	9.0	1.8	32.5	39.1	84.7
2004	172.8	281.2	293.7	188.6	152.6	15.4	6.4	3.4	30.9	24.9	6.4	25.2
2005	132.8	260.6	332.2	425.2	8.4	2.6	2.0	0.6	6.1	6.7	12.0	90.6
2006	262.0	495.8	438.8	147.6	60.9	28.9	14.9	20.4	17.7	14.1	49.3	46.1
2007	194.1	186.1	366.4	349.0	77.8	30.2	17.2	4.6	8.9	5.3	15.4	58.1
2008	476.9	468.9	419.4	236.1	109.9	15.0	20.4	38.8	14.8	17.1	16.0	18.4
2009	384.7	307.7	322.3	121.3	90.8	9.3	4.5	8.7	11.2	5.1	2.6	110.8
2010	279.2	495.1	360.1	436.8	151.0	19.6	41.8	7.1	12.2	5.1	22.2	292.9
2011	282.6	305.1	125.9	474.0	22.8	39.9	58.8	2.9	5.9	12.8	4.7	109.3
2012	461.2	624.8	598.3	333.9	244.2	79.9	10.4	3.7	3.6	5.5	17.4	46.6
2013	328.4	384.8	543.9	361.6	77.1	19.7	5.4	21.2	8.8	15.1	3.3	73.9
2014	312.7	362.3	242.9	260.7	181.3	48.0	5.6	9.0	17.3	38.5	4.5	39.2
2015	300.4	399.1	324.1	297.9	336.6	124.0	69.2	3.6	8.3	64.1	54.4	220.9
2016	364.7	399.2	447.4	313.3	93.1	18.5	20.8	2.6	32.0	7.2	8.3	18.6

Fuente: (INAMHI, 1997-2016)

Puesto que la unidad de los registros de precipitación se encuentra en milímetros, los datos de la estación hidrológica también serán transformadas a dicha unidad empleando la **Ecuación 18**.

$$R = Q * \frac{T}{A_T} * 1000 \dots (18)$$

Donde:

 R = Escorrentía (mm) Q = Caudal (m³/s) T = Tiempo en segundos (ver **Tabla 44**) A_T = Superficie total de la subcuenca (m²)

La superficie de drenaje que cubre la estación hidrológica Daule en la Capilla es de 9809 Km² con respecto a la subcuenca, por lo tanto, el área a colocar en la **Ecuación 18** será dicho valor.

Como la estación hidrológica Daule en la Capilla es la única estación automática que se encuentra en operación y que permite recoger la información del caudal de la mayoría de la superficie de la subcuenca del río Daule, al momento de realizar el cálculo del balance hídrico se considerará los datos de escorrentía para el área total de la subcuenca.

Tabla 44: Valores de T

Mes	días	T
Enero, marzo, mayo, julio, agosto, octubre, diciembre.	31	2678400
Abril, junio, septiembre, noviembre.	30	2592000
Febrero	28	2419200
Febrero	29	2505600

Elaborado por: Gómez, Raquel

En la **Tabla 45** se presenta en milímetros la estimación de los datos faltantes del registro hidrológico de la estación “Daule en la Capilla”.

Tabla 45: Relleno de datos de escorrentía en estación "Daule en la Capilla"

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1997	79.3	107.5	176.2	227.1	163.0	196.5	111.2	70.9	113.3	91.1	275.3	120.1	1731.5	144.3
1998	393.0	330.4	483.3	504.9	397.0	295.2	122.5	80.4	66.4	62.2	49.2	39.8	2824.4	235.4
1999	36.9	149.1	235.9	288.0	217.9	103.6	81.5	55.0	44.3	35.0	69.0	78.8	1395.3	116.3
2000	75.4	79.7	107.5	155.2	109.2	53.0	48.7	46.6	42.7	47.4	34.6	94.0	894.1	74.5
2001	158.7	145.0	184.4	335.2	134.4	51.5	32.6	27.6	26.4	36.9	42.0	25.6	1200.3	100.0
2002	26.4	102.1	233.1	227.5	149.6	57.3	43.0	35.3	30.2	32.5	44.8	55.3	1036.9	86.4
2003	72.9	116.4	99.0	46.4	36.4	40.7	27.0	25.8	23.7	24.5	36.2	38.3	587.1	48.9
2004	25.9	58.5	61.3	54.2	32.3	28.5	25.6	24.4	35.8	23.7	31.2	36.1	437.5	36.5
2005	35.9	29.5	47.1	108.6	38.9	26.8	25.5	24.3	23.8	23.9	23.8	23.9	432.1	36.0
2006	34.1	134.1	140.9	43.4	27.0	22.2	27.9	27.9	27.4	30.4	33.3	36.9	585.6	48.8
2007	41.6	35.4	89.8	108.5	42.8	31.1	28.3	27.5	24.1	27.8	25.7	34.4	517.1	43.1
2008	72.9	190.2	240.2	132.8	100.6	38.7	34.8	34.3	29.6	29.2	33.2	60.9	997.5	83.1
2009	68.9	105.6	115.2	42.0	45.2	28.8	28.7	25.2	27.4	29.9	31.0	30.7	578.6	48.2
2010	46.3	137.6	226.7	230.6	127.0	38.7	31.9	25.2	19.4	22.4	38.4	65.7	1010.1	84.2
2011	117.1	186.6	49.9	105.6	38.6	24.6	23.9	20.2	19.7	19.9	28.5	46.1	680.6	56.7
2012	136.6	285.5	384.6	250.4	291.5	74.3	89.1	51.4	25.8	35.3	42.6	47.9	1715.1	142.9
2013	34.6	96.7	282.5	200.0	101.7	35.0	39.6	46.4	34.1	30.6	38.3	48.1	987.6	82.3
2014	93.1	120.3	66.8	119.3	148.5	69.6	36.5	33.2	30.2	30.8	30.6	33.2	812.1	67.7
2015	55.3	76.6	94.5	202.8	201.9	144.2	58.5	59.4	40.1	74.1	77.7	88.6	1173.6	97.8
2016	208.9	234.9	231.4	209.1	157.1	40.2	43.9	35.4	36.1	30.6	34.9	40.1	1302.5	108.5
Media	90.7	136.1	177.5	179.6	128.0	70.0	48.0	38.8	36.0	36.9	51.0	52.2	1045.0	87.1

Fuente: (INAMHI, 1997-2016)

4.2.5.1. Evaluación de Escorrentía Superficial en la Subcuenca.

De acuerdo con la información de la **Tabla 45** se observa que la subcuenca contiene una escorrentía media anual total de 1045 mm, dato que será utilizado para el cálculo del balance hídrico. En la **Ilustración 32** se presenta gráficamente la escorrentía total para cada año del periodo considerado donde se observa que el año que presentó mayor lámina de escorrentía es 1998 con un valor de 2824.4 mm, mientras que el menor valor se da en el año 2005 con 332.1 mm de escorrentía.

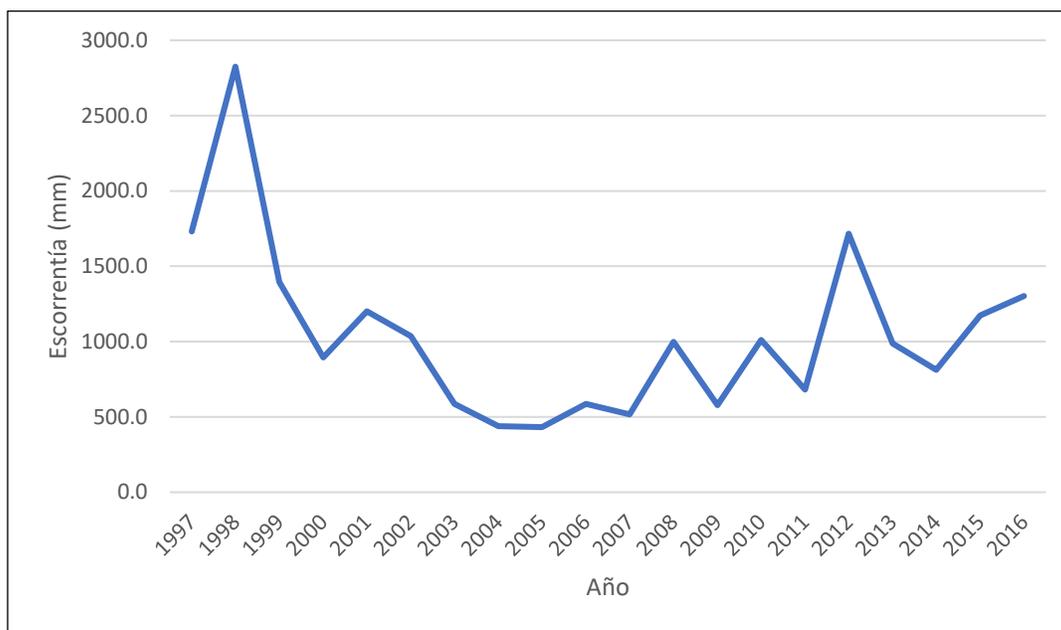


Ilustración 32: Promedio de escorrentía total anual del periodo 1997-2016

Elaborado por: Gómez, Raquel

En el hidrograma de la **Ilustración 33** se observa la escorrentía promedio mensual de la subcuenca y se identifica que los meses de enero a junio presentaron mayor escorrentía en comparación a los demás meses.

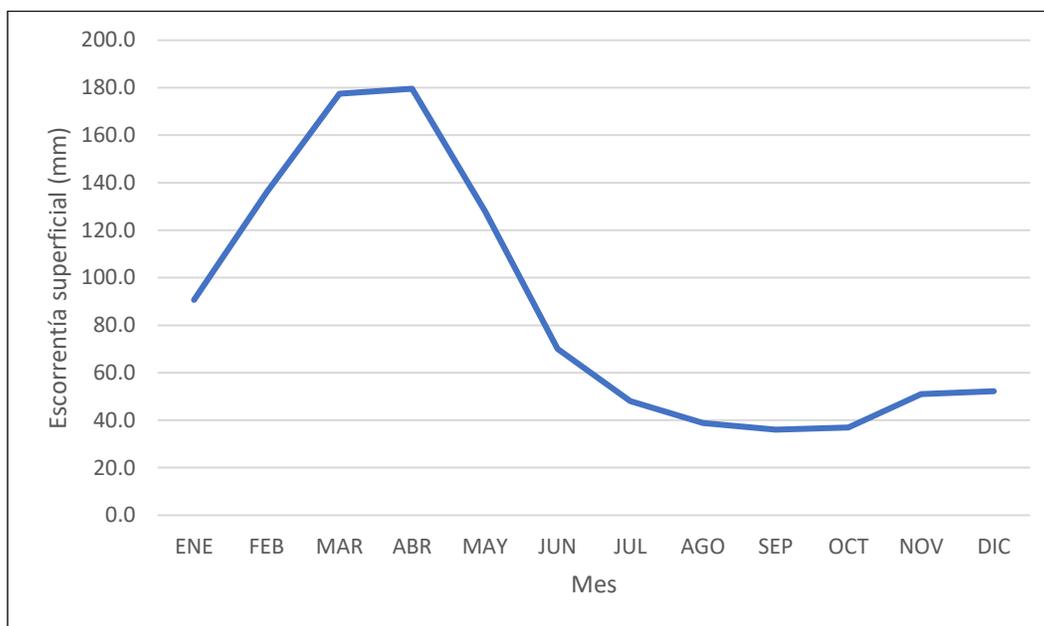


Ilustración 33: Escorrentía promedio mensual de la subcuenca del río Daule
Elaborado por: Gómez, Raquel

4.3. Balance Hídrico Superficial.

El cálculo del balance hídrico dependerá de los antecedentes existentes en la subcuenca, como ésta contiene al embalse Daule-Peripa se realizó el balance de acuerdo con la **Ecuación 17** donde se consideró separadamente la superficie no inundada y la inundada por el embalse.

En la **Tabla 46** se presenta el promedio anual de cada uno de los parámetros que intervienen en el balance hídrico que son el resultado de los cálculos realizados en ítems anteriores, así como sus áreas de influencia dentro de la subcuenca; estos valores corresponden al periodo 1997 a 2016 con unidades en mm y áreas en Km².

Para que exista un balance en la subcuenca, sus entradas hídricas deben ser iguales a sus salidas, por lo cual mediante la ecuación del balance hídrico se pudo conocer que las entradas promedio anuales en la subcuenca son de 1884.7 mm y sus salidas 1119.4

mm, por lo que existe un exceso hídrico de 765.3 mm, transformándolo en unidades de caudal se tiene un valor promedio anual de 280.7 m³/s; aportando un balance hídrico positivo a la subcuenca del río Daule ya que permitirá cubrir la demanda hídrica que exista en la subcuenca, y la cantidad de agua de los parámetros no considerados en este estudio que son las escorrentías subterráneas, infiltraciones y regulaciones.

Tabla 46: Promedio total anual de parámetros para el cálculo del balance hídrico

Estación	Precipitación del suelo no inundado (P _S)	Área del suelo no inundada (A _S)	Precipitación del embalse (P _L)	Área del embalse (A _L)	Evaporación en el embalse (E _L)	Evapotranspiración del suelo no inundado (ETR _S)					Área del suelo no inundada (A _S) para ETR _S					Escorrentía Superficial (R)	Área total de la subcuenca (A _T)
						Arroz	Cítricos	Pastos	Vegetación Natural (Poca densidad)	Vegetación Natural (Alta densidad)	Arroz	Cítricos	Pastos	Vegetación Natural (Poca densidad)	Vegetación Natural (Alta densidad)		
Puerto Ila	2934.8	2083.1	2934.8	53.3	568.1			47.3	56.8	78.8			950.2	324.0	808.9	1045.0	11567.1
Camposano #2	1454.5	3187.3				65.1	29.3	48.8	58.6	81.4	11.8	10.4	1319.7	557.8	1289.0		
Olmedo-Manabí	1772.1	2272.8				65.7		49.3	59.1	82.1	15.5		1579.5	292.0	387.9		
Vinces	1680.3	863.1				65.5		49.1	58.9	81.8	381.8		305.1	166.0	10.3		
Pichilingue	2337.3	1194.8	2337.3	172.3	696.4			48.1	57.7	80.2			991.6	134.5	65.3		
Chone-U.Catolica	1276.2	1703.8	1276.2	36.6	835.4			48.6	58.4	81.1			864.6	10.1	829.1		

Elaborado por: Gómez, Raquel

Entradas – Salidas = Variación de almacenamiento

$$\left(\frac{P_S A_S + P_L A_L}{A_T}\right) - \left(R + \frac{ETR_S A_S + E_L A_L}{A_T}\right) = \eta$$

$$\left(\frac{P_S A_S + P_L A_L}{A_T}\right) - \left(R + \frac{ETR_S A_S + E_L A_L}{A_T}\right) = \eta \rightarrow 1884.7 \text{ mm} - (1045 \text{ mm} + 74.4 \text{ mm}) = 765.3 \text{ mm}$$

$$\left(\frac{P_S A_S + P_L A_L}{A_T}\right) - \left(R + \frac{ETR_S A_S + E_L A_L}{A_T}\right) = \eta \rightarrow 1884.7 \text{ mm} - 1119.4 \text{ mm} = 765.3 \text{ mm}$$

CAPÍTULO V

Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

Se determinó las características geomorfológicas básicas de la subcuenca del río Daule, obteniendo un área de 11567.088 Km², un perímetro de 704.607 Km, su forma es alargada presentando flujos veloces y con menos probabilidad de inundaciones ante la ocurrencia de tormentas, posee una pendiente media de 0.24 % lo que significa una subcuenca con relieve plano, su altitud media es de 215 m.s.n.m, y su densidad de drenaje es de 0.443 Km/Km² lo que indica que al tener una densidad baja, la subcuenca presenta suelos permeables y con cobertura vegetal densa.

Para el estudio del balance hídrico de la subcuenca del río Daule se contó con seis estaciones meteorológicas de las cuales tres de ellas se ubican dentro de la subcuenca y las restantes a sus alrededores, solamente una estación hidrológica se consideró para el análisis de la esorrentía ya que se encuentra cerca del desfogue de la subcuenca lo que permite recoger el caudal disponible. La mayoría de la información hidrometeorológica presentó datos incompletos en sus meses por lo que se empleó el método de regresión lineal para su relleno, siendo valores estimados no reemplazan totalmente los datos reales de campo, pero fueron de ayuda para que en el análisis intervinieran el máximo número de registros. Además, usando el método de curva de doble masa se verificó la consistencia de los datos donde presentaron una tendencia lineal con ligeras ondulaciones en sus pendientes lo que significa que no existieron

cambios en los métodos de observación de campo de las estaciones por lo que son datos consistentes.

En base a información hidrometeorológica y con un periodo de 20 años desde 1997 a 2016, se realizó el análisis y cálculo de los parámetros del ciclo hidrológico, donde se obtuvo una precipitación promedio anual en la subcuenca de 1909.2 mm, una temperatura media anual de 25.6 °C, una evaporación promedio anual en el embalse de 700 mm y una escorrentía promedio anual de 1045 mm. El cálculo de la evapotranspiración en la subcuenca se realizó solamente para el área del suelo no inundado considerando los criterios de la fórmula aplicada y los tipos de cultivos presentes en la subcuenca.

Calculado el balance hídrico para la subcuenca del río Daule, se pudo estimar que las entradas promedio anuales en la subcuenca del río Daule son de 1884.7 mm y sus salidas de 1119.4 mm, lo cual se concluye que la subcuenca muestra un exceso en su recurso hídrico de 765.3 mm, es decir un superávit promedio anual 280.7 m³/s.

5.2. Recomendaciones

Las estaciones hidrometeorológicas son muy limitadas en la subcuenca y las que se encuentran operativas presentan datos escasos en sus años y meses, lo que dificulta la realización de estudios con resultados precisos; por lo que se recomienda implementar más estaciones con observaciones en el campo prolongadas a través del tiempo, con la finalidad de determinar resultados con mayor certeza.

Es necesario realizar estudios y diagnósticos periódicamente en la subcuenca del río Daule con el propósito de contar con información actualizada de la situación del recurso hídrico ya que la realidad climática cambia a través de los años, y para que al ejecutar proyectos hidráulicos dentro de la subcuenca éstos sean planificados con datos actuales y no en base a cálculos antiguos.

Las instituciones gubernamentales concernientes con el manejo de los recursos naturales deben mantener un adecuado control y planificación en el uso y explotación del recurso hídrico de la subcuenca del río Daule para así garantizar la sostenibilidad del recurso existente.

Se recomienda evaluar la demanda de agua existente en la población de la subcuenca del río Daule e identificar sus usos específicos, para así compararla con la disponibilidad hídrica estimada en el presente estudio, con el fin de conocer si la oferta hídrica de la subcuenca satisface la demanda.

Bibliografía

- Aguirre, M. (2011). La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos. *Redesma*, 5(1).
- Aguirre, N. (2007). *Manual para el Manejo Sustentable de Cuencas Hidrográficas*. Loja.
- Alvarado, D. (2020). Estimación del balance hídrico de la cuenca del río Milagro mediante un sistema de información geográfica. Universidad Agraria del Ecuador, Milagro.
- Borja, M. (2016). *Metodología de la Investigación Científica para ingenieros*. Chiclayo.
- Breña, A., & Jacobo, M. (2006). *Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial*. Ciudad de México. Retrieved from www.uamenlinea.uam.mx
- Camacho, C. (2006). Regresión lineal simple. Retrieved from <https://personal.us.es/vararey/regresion-simple.pdf>
- Carchi, E. (2015). *Elaboración de un balance hídrico de la cuenca del río Machangara*. Universidad de Cuenca, Cuenca.
- Cárdenas, J., Jácome, J., & Vergel, M. (2021). Cálculo del balance hídrico en la Quebrada Tesca. *Boletín Redipe*, 10(11).
- Cotler, H., Galindo, A., González, I., Pineda, R., & Ríos, E. (2013). *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*. Ciudad de México.
- Díaz, L., & Alarcon, J. (2018). *Estudio hidrológico y balance hídrico para determinar la oferta y la demanda de agua de la cuenca de la quebrada Niscota para un acueducto interveredal en Nunchía, Casanare*. Universidad Católica de Colombia, Bogotá.

Duque, P., Cajamarca, R., Wemple, B., & Delgado, M. (2019). Estimación del balance hídrico de una cuenca Andina Tropical. *La Granja*, 29(1), 56–69.

<https://doi.org/10.17163/lgr.n29.2019.05>

EMAPAG-EP. (2017). Plan de conservación de la Cuenca del río Daule. Guayaquil.

Felicísimo, A. (n.d.). El modelo digital de elevaciones. Retrieved from

<http://www.etsimo.uniovi.es/~feli/>

Forero, J., & Rodríguez, M. (2016). Evaluación de métodos convencionales para estimación de datos faltantes de precipitación de las estaciones hidrometeorológicas de influencia en la microcuenca El Cune en Villeta Cundinamarca (Universidad de la Salle). Universidad de la Salle, Bogotá. Retrieved from

https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil

Frisancho, R., & Luna, M. (2020). Evaluación del balance hídrico de la cuenca de la laguna de Piuray considerando el escenario más desfavorable para el año 2040 según el modelo WEAP, con fines de abastecimiento para la ciudad de Cusco y Chinchero. Universidad Andina del Cusco, Cusco.

García, F., & Carvajal, J. (n.d.). Anuario Hidrológico 2014-2016.

Granda, J. (2017). Anuario Meteorológico 2013. Quito.

Hernández, R. (2014). Metodología de la Investigación (6th ed.; McGRAW-HILL Education, Ed.).

Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2011). Morfología de las cuencas hidrográficas. Valencia.

Lux, B. (2012). Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas (Vol. 2).

Marín, E. (2020). Determinación del balance hídrico superficial de la cuenca del río

Santa para satisfacción de la demanda existente, 2020. Universidad Privada del Norte, Trujillo.

Molina, Jorge, & Espinoza, D. (2006). Balance hídrico superficial de la cuenca alta del río Pilcomayo. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29662.54084>

Molina, Juan, Martínez, V., & Baille, A. (2006). Coeficientes de tanque para proyectos de embalses de regulación de riego. Cartagena.

Montalvan, O., & Yanqui, J. (2019). Incidencia del balance hídrico de la cuenca del río Olon en el desarrollo de la comunidad. Universidad Laica Vicente Rocafuerte, Guayaquil.

Oliva, A., Olcina, J., & Baños, C. (2022). Los Efectos del Cambio Climático en el Trasvase Tajo-Segura: Diagnóstico del Balance Hídrico en la Vega Baja del Segura (Alicante, España). *Water*, 14(13), 2023.
<https://doi.org/10.3390/w14132023>

Ordoñez, J. (2011a). Aguas Subterráneas - Acuíferos. Foro Peruano Para El Agua - GWP Perú.

Ordoñez, J. (2011b). Balance Hídrico Superficial. Foro Peruano Para El Agua - GWP Perú.

Poma, M., & Usca, M. (2020). Estimación del balance hídrico climático (BHC) de las microcuencas del cantón Joya de los Sacha, Orellana. *Fipcaec*, 5(17), 3–26.

Portocarrero, J., Blandón, R., & Rueda, E. (2017). Balance hídrico superficial de la cuenca río Ciudad Antigua. Universidad Nacional de Ingeniería, Managua.

Sánchez, J. (1999). Uso consuntivo del cultivo aguacate: metodología Blaney y Criddle modificada relacionando fenología y precipitación. Chapingo, 5.

UNESCO. (1982). Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la Unesco para América Latina y el Caribe ROSTLAC.

Velásquez, M., & Poveda, G. (2019). Estimación del balance hídrico de la región Pacífica Colombiana. DYNA (Colombia), 86(208), 297–306.
<https://doi.org/10.15446/dyna.v86n208.73587>

Villón, M. (2002). Hidrología (1st ed.; Taller de Publicaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Ed.). Cartago.

Rojas, Pablo. (2015). ¿Qué es una curva hipsométrica? Ingeciv. Recuperado de:
<https://ingeciv.com/que-es-una-curva-hipsometrica/>

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS

TÍTULO Y SUBTÍTULO:

Balance Hídrico Superficial de la Subcuenca del Río Daule.

AUTOR/ES:

Raquel Angélica Gómez Ferrín

TUTOR:

Ing. Gustavo Ramírez Zambrano M.Sc.

REVISORES:

Ing. Pietro Corapi M.Sc.

INSTITUCIÓN:

Universidad de Guayaquil

FACULTAD:

Ciencias Matemáticas y Físicas

CARRERA:

Ingeniería Civil

FECHA DE PUBLICACIÓN:

Septiembre, 2022

No. DE PÁGS:

107

TÍTULO OBTENIDO:

Ingeniero Civil

ÁREAS TEMÁTICAS:

Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas y Zonas Costeras.

PALABRAS CLAVE:

PRECIPITACIÓN, EVAPORACIÓN, EVAPOTRANSPIRACIÓN, ESCORRENTÍA.

RESUMEN:

El presente estudio consiste en la determinación del balance hídrico superficial de la subcuenca del río Daule con la finalidad de conocer su disponibilidad hídrica ya que su desconocimiento genera inconvenientes al momento de realizar una correcta repartición de este recurso. Para su realización se siguió la Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur elaborada por la UNESCO, por lo que se contó con información hidrometeorológica para un periodo de 20 años desde 1997 a 2016, donde sus datos fueron analizados estadísticamente. Los parámetros de precipitación, evaporación, evapotranspiración y escorrentía superficial fueron evaluados individualmente donde sus valores promedios anuales se consideraron en el cálculo del balance hídrico, y se pudo conocer que la subcuenca del río Daule presenta un superávit hídrico promedio anual de 280.7 m³/s.

No. DE REGISTRO (en base de datos):

No. DE CLASIFICACIÓN:

DIRECCIÓN URL (tesis en la web):

ADJUNTO PDF:

SI

NO

CONTACTO CON AUTOR/ES

Teléfono:

0990280084

E-mail:

rakelgomezferrin@hotmail.com

CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:

Nombre: Secretaría de la Facultad

Teléfono: (03)2848487 Ext. 123

E-mail: fca@uta.edu.ec