



**Pontificia Universidad
Católica del Ecuador**
Seréis mis testigos

MANABÍ

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
SEDE MANABÍ
CARRERA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**

**TEMA:
CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA Y MORFOMÉTRICA DE LA
CUENCA DEL RÍO BURRO, CANTÓN MANTA.**

**PREVIO AL TÍTULO DE:
INGENIERO HIDRÁULICO**

**AUTOR:
FREDY ALEJANDRO SALDARRIAGA ZAMBRANO**

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:
ING. FABIAN ESPINALES CEDEÑO, M.SC**

**OCTUBRE, 2022
PORTOVIEJO – ECUADOR**

Certificación del Trabajo de Titulación

En mi calidad de director de tesis, certifico haber revisado el presente manuscrito de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, cumpliendo con los requisitos establecidos por la Dirección de Investigación; en consecuencia, es apto para su presentación y sustentación.

CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA Y MORFOMÉTRICA DE LA CUENCA DEL RÍO BURRO, CANTÓN MANTA.

Ing. Fabian Espinales Cedeño, M. Sc

C.I.: 1306597657

TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Aprobación del Tribunal

El jurado examinador aprueba el presente manuscrito de investigación en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí.

Ing. Fabian Rodrigo Espinales Cedeño

fespinales@pucem.edu.ec

Primer Lector

Ing. Andy Miguel Giler Ormaza

agiler@pucem.edu.ec

Segundo Lector

Ing. Jesús Enrique Chavarría Párraga

jchavarría@pucem.edu.ec

Tercer Lector

Declaración de Originalidad

Este manuscrito no contiene ningún tipo de material que ha sido aceptado para la obtención de un título universitario en otra institución, excepto en forma de información de soporte que ha sido debidamente citada en mi trabajo. Este trabajo es de total responsabilidad del autor, quien declara bajo juramento que ninguna sección de esta tesis infringe los derechos de autor de nadie.

Portoviejo, julio 2022

f. _____

Fredy Alejandro Saldarriaga Zambrano

C.I: 131213556-7

Dir.: Portoviejo, Manabí, Ecuador

e-mail: alejandrosaldarriagaas@gmail.com

Telf.: +593 98 622 7640

Declaración de Derechos de Autor

Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a distribuir este manuscrito de investigación en medios físicos y electrónicos con el fin de promover la divulgación de los resultados a la comunidad científica y a la sociedad en general. Adicionalmente, autorizo el uso de los contenidos de esta investigación como bibliografía para fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, citando como fuente de información al autor de este trabajo.

Fredy Alejandro Saldarriaga Zambrano

C.I.: 131213556-7

Dedicatoria

El presente trabajo investigativo está dedicado en primer lugar a Dios, por ser el inspirador y fortaleza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados de mi carrera profesional.

A mis padres, el señor Fredy Alejandro Saldarriaga Zambrano y la señora Nancy Zambrano Holguín por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ellos he logrado llegar hasta aquí. Ha sido el orgullo y el privilegio de ser su hijo, son los mejores padres.

A mi hermana Nancy Pamela Saldarriaga Zambrano, por estar siempre presente, acompañándome y por el apoyo moral que me brindó a lo largo de esta etapa de mi vida.

Finalmente, mi especial dedicatoria a una gran persona a quien le debo haber estudiado en la universidad y quien creyó fielmente en mí, el ex Pro-Rector Padre Homero Fuentes Verá SJ.

Gracias infinitas a cada uno de ellos.

Fredy Alejandro Saldarriaga Zambrano

Autor

Agradecimientos

Mis agradecimientos principalmente para Dios, porque su amor y bondad son infinitos, porque todos mis logros son gracias a él.

Agradezco a mis padres, el señor Fredy Alejandro Saldarriaga Zambrano y la señora Nancy Zambrano Holguín por ser los promotores y ejemplares principales de mis metas.

A mi pareja Matilde Elizabeth Ávila PARRALES, por estar presente en esta etapa de mi vida, ofreciendo su apoyo y compañía buscando lo mejor para mi persona.

A mi ex compañera de trabajo licenciada Paola Cumba García agradezco siempre su apoyo.

Y finalmente, la licenciada Irma PARRALES por sus consejos, que me dieron impulso de continuar firme en cada proceso formativo de mi profesión.

Fredy Alejandro Saldarriaga Zambrano

Autor

RESUMEN

El objetivo de este estudio de tipo mixto fue caracterizar la hidrología y morfometría de la cuenca del río Burro, cantón Manta, Manabí, Ecuador, a causa de la falta de investigaciones relacionadas con cuerpos de aguas superficiales y subterráneos. En primer lugar, se implementó metodología descriptiva – observacional; posteriormente, se realizó la caracterización utilizando herramientas del Sistema de Información Geográfico (SIG), y luego también se evaluaron los parámetros físicos, morfológicos e hidrológicos de esta cuenca desde diciembre de 2021 hasta septiembre de 2022. Los resultados revelan que la cuenca tiene un coeficiente de compacidad de 2,342; coeficiente de forma 0,305; curva hipsométrica con pendiente fuerte en el origen desde los 366,26 msnm hasta los 208,76 msnm, disminuyendo su intensidad hasta los 33,57 msnm. La pendiente presenta una inclinación de 13,35%; número de orden quinto; densidad de drenaje de 3,27; precipitación media anual de 247,34 mm; y caudal medio de 0,006 m³/s. Mediante la curva hipsométrica, se determina que la cuenca del río Burro es tipo C y sedimentaria en etapa de vejez, lo que puede representar un riesgo de inundación en sitios aledaños. En conclusión, esta cuenca es ligeramente achatada con un flujo superficial de escorrentía rápido, con una infiltración baja y con una densidad de drenaje muy alta indicando menor tiempo de escorrentía, lo cual se considera como otro indicador de peligrosidad. Se recomienda realizar simulaciones de inundaciones en la zona para futuras investigaciones.

Palabras clave: morfometría, hidrología, SIG, río Burro, cuenca

Abstract

This mixed research study aimed to characterize hydrologic and morphometric properties of the Burro River in Manta, Manabí, Ecuador because of the absence of studies on topics such as surface and underground water bodies. Firstly, descriptive – observational methods were implemented in order to carry out this study; then the characterization of this river basin was performed by using Geographic Information System (GIS) tools, and its physical, morphological and hydrological parameters were evaluated as well from December 2021 to September 2022. The findings reveal that the compactness coefficient of this basin is 2.342; form factor 0.305; hypsometric curve with a steep slope at origin from 366.26 meters above sea level to 208.76 meters above sea level, decreasing its intensity to 33.57 meters above sea level. The inclination of the slope corresponds to 13.35%; fifth order number; drainage density of 3.27; average annual rainfall of 247.34 mm; and average flow rate of 0.006 m³/s. The hypsometric curve determines that the Burro River basin is type C and sedimentary at the old-age stage, which may represent that those areas near it are at risk from floods. In brief, this river basin is slightly flattened with a rapid surface runoff flow, low infiltration, and a very high drainage density indicating less runoff time, which is considered another danger indicator. Performing flood simulations in the area for future research studies is recommended.

Keywords: morphometry, hydrology, GIS, Burro River, basin

Índice de Contenido

Certificación del Trabajo de Titulación.....	2
Aprobación del Tribunal	3
Declaración de Originalidad	4
Declaración de Derechos de Autor	5
Dedicatoria	6
Agradecimientos	7
Resumen	8
Abstract	9
Índice de Contenido	10
Índice de Tablas	12
Índice de Gráficos.....	13
INTRODUCCIÓN	14
METODOLOGÍA.....	16
Área de la cuenca	Error! Bookmark not defined.
Perímetro de la cuenca.....	18
Longitud de la cuenca.....	Error! Bookmark not defined.
Ancho promedio	Error! Bookmark not defined.
Coefficiente de compacidad (kc)	18
Coefficiente de forma (kf)	19
Curva hipsométrica.....	20
Pendiente de la cuenca.....	20
Número de orden	21
Densidad de drenaje.....	22
Caudal medio	23
RESULTADOS	25

DISCUSIÓN	31
CONCLUSIONES	43
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	44
Anexos.....	48
Anexo 1	48
Anexo 2	49

Índice de Tablas

Tabla 1. Clasificación de tamaños de cuencas	17
Tabla 2. Clases de valores de compacidad.....	18
Tabla 3. Coeficiente de forma.....	20
Tabla 4. Clasificación de las cuencas de acuerdo con la pendiente.....	21
Tabla 5. Clasificación de la red de drenaje de las cuencas.	22
Tabla 6. Tipos de superficie	24
Tabla 7. Estación climática empleada en el estudio.	32
Tabla 8. Cálculo de las Precipitaciones Diarias Máximas Probables para distintas frecuencias de la estación M0453.....	32
Tabla 9. Precipitación máxima en 24 horas (datos mensuales) estación M0453.	33
Tabla 10. Factores por los que se debe multiplicar las precipitaciones máximas probables de duración 24 horas para encontrar sus homólogas en diferentes tiempos.	34
Tabla 11. Valores de precipitación máxima P(mm) para diferentes duraciones de eventos lluviosos y diferentes períodos de retorno, estación M0453.....	34
Tabla 12. Valores de precipitaciones en (mm) para diferentes tiempos de lluvia y de TR. ...	36
Tabla 13. Obtención del hietograma de la estación M0453, con la curva IFD para TR= 25 años y t=1 h.....	37
Tabla 14. Obtención del hietograma de la estación M0453con la curva IFD para TR= 50 años y t=1 h.....	37
Tabla 15. Obtención del hietograma de la estación M0453, con la curva IFD para TR= 100 años y t=1 h	38
Tabla 16. Valores de CN para la cuenca	39

Índice de Gráficos

Gráfico 1. Ubicación del área de estudio del río Burro en Ecuador	17
Gráfico 2. Curvas hipsométricas características del ciclo de erosión.....	20
Gráfico 3. Delimitación de la cuenca del río Burro, Manta, Manabí	25
Gráfico 4. Curva hipsométrica de la cuenca del río Burro	26
Gráfico 5. Mapa del tipo de suelo de la cuenca del río Burro.....	28
Gráfico 6. Mapa del uso de suelo de la cuenca del río Burro	29
Gráfico 7. Número de orden de corrientes de la cuenca del río Burro, Manta, Manabí	30
Gráfico 8. Precipitación media anual (mm) de la ciudad de Manta	31
Gráfico 9. Relación entre el tiempo y la precipitación para TR=25.años, estación M0453 y valores de precipitación extrapolados para tiempos menores de 1 hora.	35
Gráfico 10. Curvas IFD para la estación M0453.....	36
Gráfico 11. Hietograma de la estación M0453 para precipitación de 1 hora – 60 min y TR-25 años.....	37
Gráfico 12. Hietograma de la estación M0453 para precipitación de 1 hora – 60 min y TR-50 años.....	38
Gráfico 13. Hietograma de la estación M0163 para precipitación de 1 hora – 60 min y TR-100 años.....	39

INTRODUCCIÓN

Es fundamental mencionar que a nivel mundial, el uso excesivo e inadecuado manejo del líquido vital, trae como consecuencia, diversos riesgos con la calidad del agua, debido a la contaminación de la misma. Sin embargo, el cambio climático hace que varíe la función de reguladora del flujo de agua de los bosques, ajustando la disponibilidad de los medios hídricos (Bergkamp, *et al.*, 2003). El manejo ineficaz de los recursos naturales tiene un impacto negativo en las actividades productivas, en el grado y bienestar de vida de los pobladores por medio de la cuenca, y también crea condiciones para la ocurrencia de riesgos de desastres.

La principal causa de problemas en la mayoría de las cuencas es estructural, lo que conduce a un rápido agotamiento de los recursos y, en consecuencia, bajos sedimentos. En este sentido, es importante reconocer el impacto del modelo de desarrollo imperante en este caso, que busca maximizar los beneficios económicos, incluso a expensas de los recursos y el entorno de valor (Domínguez *et al.*, 2019).

Una visión integral y un intelecto sistemático de la cuenca no solo hace énfasis en el desarrollo local del proyecto, sino que también ayudan a establecer los impactos ambientales de la modificación de la tierra y la alteración climática. Las cuencas hidrográficas como unidades naturales de planificación y gestión participativa, incluyendo aspectos ecológicos, económicos y productivos; en conclusión, el acceso y calidad del agua proyecta esenciales indicadores de la conservación mediante la cuenca (Brieva, 2018).

Cabe establecer criterios de cuencas y microcuencas, se distingue por medio de la división de la ranura que aleja las precipitaciones, las cuales se denominan como hoyas colindantes, para orientan la escorrentía final del régimen fluvial. Las cualidades físicas de una hoya hidrográfica ya que varían de acuerdo a la morfología (forma, relieve, red de drenaje, etc.), los tipos de suelos, la capa vegetal, la geología, las prácticas agrícolas, etc. Básicamente los componentes físicos hacen que sean convenientes para la posibilidad de entender la alteración en el espacio del régimen hídrico (Paz, 2022).

La erosión hídrica inducida por las precipitaciones es causada por la escorrentía de las aguas superficiales, así como por la difusión y el transporte del suelo bajo la influencia de las gotas de lluvia. Esto depende principalmente de los factores y sus relaciones, como a) número de precipitación e intensidad; b) Los estudios muestran inestabilidad estructural, donde predomina la clase franco arenosa, mostrando variabilidad estructural y permeabilidad, haciéndolas

vulnerables; y c) pendiente y superficie del terreno, vegetación y aplicación de medidas preventivas de protección del suelo (Huerta y Loli, 2014).

Según el criterio de De la Cruz *et al.* (2022), indican que la inclinación de la cuenca, se interrelaciona con las infiltraciones, las escorrentías superficiales, las humedades del suelo y las contribuciones del agua subterránea, además la pendiente media del cauce principal, es necesaria para estudios más profundos que requieren calcular la pendiente de toda la superficie de un cauce.

La morfometría permite desarrollar el análisis que mide la cantidad de la superficie terrestre de una cuenca hidrográfica (Quesada y Barrantes, 2017). Ya que permite conocer las cualidades físicas, mediante el estudio de la superficie, relieve e hidrografía, donde se compara con otras cuencas, y se entiende la complejidad de su conducta hídrico (Zhicay, 2020).

Las cuencas hidrográficas se desarrollan con un SIG, de manera manual o sistematizada; es ideal por ser dinámico en la visualización y procesamiento de la cuantificación de los atributos topográficos de una cuenca (Medeiros *et al.*, 2019).

Las características ambientales, sociales y económicas, en un terreno, son determinadas en las investigaciones de la erosión, relacionados con el factor erodabilidad como erosividad (Ehlers, 1999). Ante lo expuesto se delimitó y se evaluó mediante su morfométrica e hidrológicamente la cuenca del río Burro, cantón Manta.

En consecuencia, se propuso como objetivo general “Caracterizar la cuenca del río Burro, Cantón Manta de forma hidrológica y morfométrica” y cumplir con el objetivo, ya que se establecieron los objetivos específicos como “Delimitar la cuenca del río Burro Cantón Manta, para el desarrollo de la investigación”; “Analizar los resultados morfométricos e hidrológicos basados en los resultados” y “Evaluar los parámetros morfológicos del río Burro, Manta, Manabí, Ecuador”.

METODOLOGÍA

En este apartado se da a conocer el diseño metodológico que se empleó en la investigación, misma que fue de tipo descriptiva – observacional, puesto que, se pudo evaluar cada uno de los parámetros desde una realidad digital por medio de herramientas del SIG.

Descriptiva

Se trata de un estudio que aborda los aspectos hídricos y morfométricos de la cuenca del río Burro, cantón Manta. En este sentido, Sánchez *et al.*, (2018) contribuye que un estudio descriptivo trata de un nivel de investigación que trata de llevar a describir el estado real o presente de cada una de las características de suma importancia del fenómeno que se va a tratar o estudiar.

Observacional

Se trata de un estudio en el que no se modifican los hechos, ya que se tomarán directamente del Sistema de Información Geográfica. Hernández *et al.*, (2018) acota que los estudios observacionales son un método por el cual el investigador de la investigación usa la observación como una forma o técnica primordial. Pues, solo se restringe en registrar cada dato que observa.

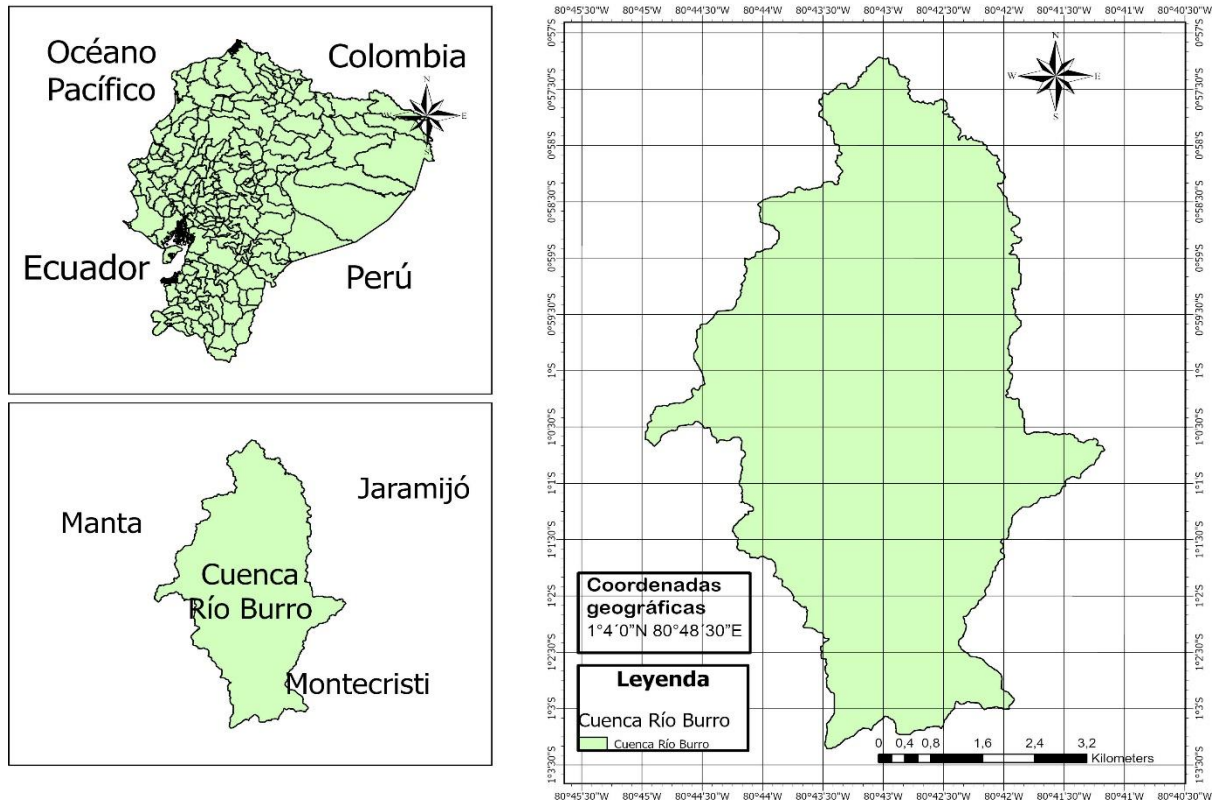
Objeto de estudio

Este estudio se centra en un enfoque técnico, investigativo y analítico de las herramientas digitales. Es conveniente señalar que, la población de estudio del cantón Manta tomada en esta investigación es de 192 322 personas que habitan en el mismo de acuerdo a los datos proporcionados por las consideraciones del Instituto Nacional de Estadística y Censos - INEC (2008), sin embargo, los objetivos establecidos en el presente estudio no se hizo uso de esta población en ninguna instancia, por ello, se delimita como objeto de esta investigación la zona del río Burro, cantón Manta, el cual se encuentra a una altitud de 15 m.s.n.m.; sus ubicación es 1°4'0"N y 80°48'30"E en formato DMS se presenta en (grados, minutos, segundos) o -1.06667 y -80.8083 (en grados decimales). Su posición UTM es NU28 y su referencia *Join Operation Graphics* es SA17-07.

En cuanto al uso de suelo, la vida acuática desapareció por completo del entorno de la cuenca del río Burro. En las áreas directamente afectadas por la contaminación, se encuentran tipos de cobertura vegetal como arbustos y pastos comunes. Mientras que, la flora que se encuentra en

esta zona son animales como insectos, reptiles, insectos, anfibios y mamíferos de las especies más comunes sin peligro de extinción. (Vinces, 2018).

Figura 1. Ubicación del área de estudio del río Burro en Ecuador



Fuente: Elaboración propia del autor

El sitio de estudio se analizó utilizando herramientas GIS, evaluando los parámetros físicos e hidrológicos del área a través de archivos de formato tipo *shape* para proceder a la ejecución de las herramientas digitales.

Procedimiento para la selección de la información

Se estudiaron las imágenes ráster correspondientes al área de estudio y se analizaron los datos obtenidos en las herramientas GIS. Además, se utilizó la base conceptual de las estadísticas básicas para analizar los valores del agua en la zona. Los ítems y fórmulas que se emplearán serán las siguientes:

Área de la cuenca

Se define como la proyección horizontal de todo el lado del desagüe del sistema de drenaje, frente al mismo cauce natural. Corresponde al área delimitada por la línea divisoria de aguas

del área de prospección; este parámetro suele expresarse en km² o hectáreas, el área se obtuvo mediante las herramientas ARCGIS y MDE (modelos digitales de elevación) (Brieva, 2018).

El área de la cuenca de acuerdo a Campos (1992) corresponde a una clasificación específica de cuencas tal y como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1. *Clasificación de tamaños de cuencas*

Rangos de áreas (km²)	Calificación
< 25	Microcuenca
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia – pequeña
500 a 2 500	Intermedia – grande
2 500 a 5 000	Grande
> 5 000	Muy grande

Fuente: Campos (1992).

Elaboración: Propia del autor.

Perímetro de la cuenca

Su circunferencia es una línea curva y ondulada que recorre la cuenca entre cuencas adyacentes, su unidad de medida es el km, y se obtuvo mediante las herramientas ARCGIS y MDE (Ibáñez, *et al.*, 2008).

Longitud de la cuenca

Se expresa como la distancia horizontal desde la salida (estación) de una cuenca hasta otro punto aguas arriba donde el curso general del flujo principal intercepta el contorno de la cuenca, normalmente se expresa en kilómetros. Es el mismo eje de la cuenca y se obtiene mediante la herramienta ARCGIS (Brieva, 2018).

Ancho promedio

Definida como la relación entre el área de la cuenca y su longitud, su unidad es el kilómetro, se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$Ap = \frac{A}{La}$$

Coefficiente de compacidad (Kc)

El coeficiente de compacidad propuesto por Gravelius, abreviado como kc, ayuda a comparar la forma de la cuenca con la forma de un círculo cuyas dimensiones se registran como

el área de la cuenca de estudio. K_c se define como la relación entre el perímetro de la cuenca, igual a la longitud de la cuenca circundante, a la circunferencia del círculo. (Monsalve, 2000).

Coefficiente de densidad

El coeficiente de compacidad o densidad fue propuesto por Gravelius, abreviado como k_c , este permite comparar cada una de las formas de la cuenca con respecto a la circunferencia, cuyas medidas constan como las áreas de la cuenca del río antes mencionado. En este sentido K_c se puede definir como la cognición entre el perímetro de la concavidad que es la misma longitud del parteaguas que la encierra y el perímetro de la circunferencia (Monsalve, 2000).

$$K_c = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

En este sentido, se alude que P y A forman el perímetro y la superficie de la cuenca mencionada, individualmente. Por ende, este coeficiente es semejante a uno cuando la cuenca es peregrinamente circular; cuando K_c es equivalente a 1.128, se frecuenta de una cuenca cuadrada. Este coeficiente puede conseguir el valor de tres en el caso de cuencas muy extensas. En el caso del CARL $K_c = 1.481$, lo que muestra es que la cuenca tiende a un cuadrado, que su largo y ancho son valores próximos.

Tabla 2. Clases de valores de compacidad

Rango de K_c	Clases de compacidad
1 – 1.25	Redonda a oval redonda
1.25 – 1.50	De oval redonda a oval oblonga
1.50 – 1.75	De oval oblonga a rectangular oblonga

Fuente: INE (2004).

Elaboración: Propia del autor.

Coefficiente de forma (kf)

En cuanto a analogía entre el área y el cuadrado de la longitud de la cuenca se prolonga la siguiente fórmula.

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

Intenta medir cuan cuadrada (alargada) puede ser la cuenca. Una cuenca con un factor de forma bajo, está menos sujeta a crecientes que una de la misma área y mayor factor de forma.

Principalmente, los factores geológicos son los encargados de moldear la fisiografía de una región y la forma que tienen las cuencas hidrográficas.

Un valor de K_f superior a la unidad proporciona el grado de achatamiento de ella o de un río principal corto y por consecuencia con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas (Lux, 2012).

Tabla 3. Coeficiente de forma

Rango de K_f	Clases de forma
0.01 – 0.18	Muy poco achatada
0.18 – 0.36	Ligeramente achatada
0.36 – 0.54	Moderadamente achatada

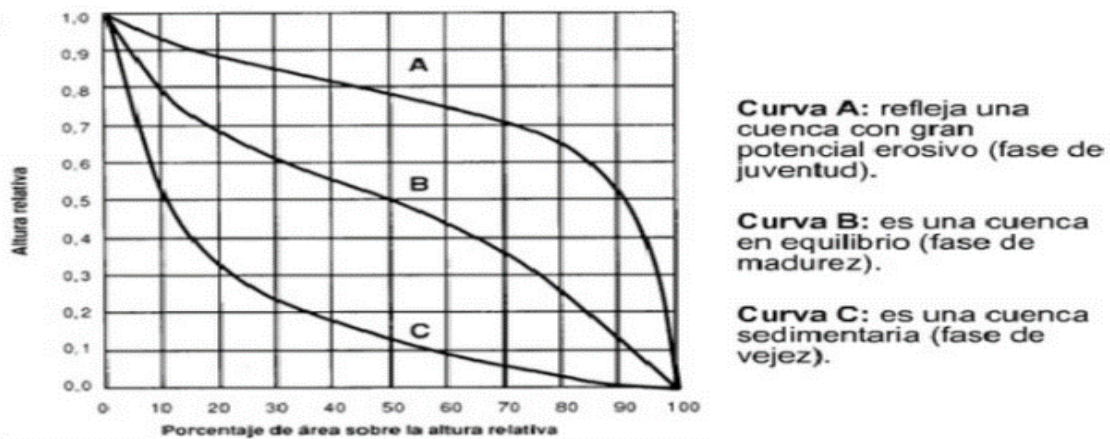
Fuente: Jiménez (2011).

Elaboración: Propia del autor.

Curva hipsométrica

Según Hernández (sf) la curva hipsométrica es simplemente una distribución del área de acuerdo con la elevación, es decir, una representación bidimensional, que grafica en el eje vertical la elevación y en el eje horizontal el porcentaje del área sobre cada curva de nivel, en términos del área total.

Figura 2. Curvas hipsométricas características del ciclo de erosión



Fuente: Strahler (1952)

Pendiente de la cuenca

Este parámetro es el promedio ponderado de todos los gradientes en la región base donde el gradiente máximo se considera constante. En otras palabras, es el grado de rugosidad del suelo de la cuenca expresado en porcentaje (López, 2015).

Las pendientes de las cuencas se estiman con base en mapas topográficos utilizando el método Alvord. Según el uso del suelo y las redes de drenaje, las pendientes influyen en el comportamiento de la cuenca e influyen directamente en la esorrentía de aguas pluviales. es decir, la magnitud y el tiempo de formación de la inundación en el canal principal. En la tabla 4 se muestra la clasificación de las cuencas por inclinación.

Tabla 4. Clasificación de las cuencas de acuerdo con la pendiente

Rangos de Pendiente (%)	Descripción
0 – 4	Nula o casi Nivel
4 – 8	Ligeramente inclinada
8 – 15	Ligeramente inclinada a moderadamente empinada
15 – 25	Moderadamente empinada
25 – 50	Empinada
50 - 75	Muy empinada
>75	Extremadamente empinada

Fuente: Zhicay (2020).

Elaboración: Propia del autor.

En el método de Alvord, la cuenca se divide en franjas de altura y la pendiente promedio de la cuenca se obtiene ponderando las pendientes encontradas en las franjas en función de su área. La fórmula para calcular la pendiente es:

$$Sc = \frac{D * L}{A}$$

Donde:

A: área total de la microcuenca.

Sc: pendiente de la cuenca

D: desnivel entre curvas de nivel

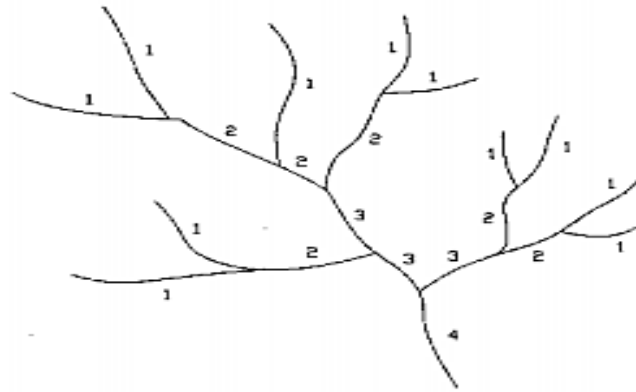
L: longitud total de las curvas de nivel

Número de orden

El orden de flujo es una clasificación que indica el grado de ramificación dentro de una cuenca. Hay varias formas de realizar dicha jerarquía. Se eligió el sistema de Horton (1945), este método se basa en los siguientes criterios: Una corriente de primer orden es caracterizada

como fuertes y no poseen afluentes. Cuando se combinan dos corrientes primarias, resulta de segundo orden. En general, si dos corrientes de orden i se mezclan para producir una corriente de orden $i+1$. Cuando una corriente se fusiona con otra corriente de orden superior, forma una corriente que retiene el orden superior (Lux, 2012). Se obtiene mediante la herramienta ArcGis.

Número de orden de corrientes según Horton



Fuente: Morfometría de la cuenca del río San Pedro, Conchos, Chihuahua, en base a (Horton R. E., 1945)

Densidad de drenaje

Este es un parámetro que nos permite cuantificar el grado de un sistema hídrico y conocer su dificultad. Es la relación de la longitud total (L_t) de los canales intermitentes y temporales en una cuenca propia de la superficie. Cabe resaltar que entre mayor consistencia de drenaje existe, disminuye la duración de escorrentía, con lo que se alude que directamente es proporcional.

Por ende, factores a modo de las precipitaciones y topografía, se determinan la red de drenaje; en cuencas anversos y mayor densidad de drenaje, este parámetro permite cuantificar el nivel de desarrollo de la cuenca, en este sentido, se especula que estabilidad de abstinencias de caudales, en concordancia al escurrimiento superficial y a la contribución de aguas subterráneas (Fuentes, 2004; Delgadillo y Páez, 2008; citado por Camino, *et al.*, 2018). Dicha clasificación se detalla en la tabla 5:

Tabla 5. Clasificación de la red de drenaje de las cuencas.

Clasificación de la red de drenaje de las cuencas			
Rangos (km/km²)	Clases	Rangos (km/km²)	Clases
Fuente: Fuentes (2004)		Fuente: Delgadillo y Páez (2008)	
0.1 -1.8	Baja	<1	Baja
1.9 – 3.6	Moderada	1 – 2	Moderada
3.7 – 5.6	Alta	2 – 3	Alta
		>3	Muy alta

Fuentes: Fuentes (2004) y Delgadillo y Páez (2008).

Elaboración: Propia del autor.

Este parámetro se determina por medio de la siguiente fórmula:

$$Dd = \frac{L}{A}$$

Donde:

Dd: densidad de drenaje.

L: longitud total de las corrientes perennes o intermitentes en km.

A: área total de la cuenca en km².

Caudal medio

De acuerdo con el criterio de Herencia y Carrera (2019) la conceptualización de caudal medio hace referencia al volumen de flujo y a un intervalo de tiempo específico, su ecuación se simplifica mediante la función de la superficie de una cuenca como se muestra a continuación:

$$Qm = aA^b$$

Donde:

A: Es el área de la cuenca en km²

a y b: son variables que pueden expresarse de la siguiente manera

$$a = \frac{31,71 * C * P}{10^6}; b = 1$$

C: coeficiente de escorrentía

P: precipitación anual media (anexo 1) de la cuenca en milímetros y definirán el valor de a.

Además, se utilizó la tabla 6 sobre el coeficiente de escorrentía de los tipos de superficie establecidos por Aparicio (1999), y así realizar el cálculo inicial de la estimación del coeficiente de escorrentía de la cuenca del río Burro.

Tabla 6. Tipos de superficie

Tipos de superficie	Coeficiente de escorrentía	
	Mínimo	Máximo
Zona comercial	0,70	0,95
Vecindarios, zonas de edificios, edificaciones densas	0,50	0,70
Zonas residenciales unifamiliares	0,30	0,50
Zonas residenciales multifamiliares espaciadas	0,40	0,60
Zonas residenciales multifamiliares densas	0,60	0,75
Zonas residenciales semiurbanas	0,25	0,40
Zonas industriales espaciadas	0,50	0,80
Zonas industriales densas	0,60	0,90
Parques	0,10	0,25
Zonas deportivas	0,20	0,35
Estaciones e infraestructuras varias del ferrocarril	0,20	0,40
Zonas suburbanas	0,10	0,30
Calles asfaltadas	0,70	0,95
Calles hormigonadas	0,70	0,95
Calles adoquinadas	0,70	0,85
Aparcamientos	0,75	0,85
Techados	0,75	0,95
Praderas (suelos arenosos con pendientes inferiores al 2%)	0,05	0,10
Praderas (suelos arenosos con pendientes intermedias)	0,10	0,15
Praderas (suelos arenosos con pendientes superiores al 7%)	0,15	0,20
Praderas (suelos arcillosos con pendientes inferiores al 2%)	0,13	0,17
Praderas (suelos arcillosos con pendientes intermedias)	0,18	0,22
Praderas (suelos arcillosos con pendientes superiores al 7%)	0,25	0,35

Fuente: Aparicio (1999)

Elaboración: Propia del autor.

RESULTADOS

Área de la cuenca

La cuenca de la corriente Burro está ubicada en la categoría de cuencas pequeñas, debido a que su área superficial es de 38.62 km². Por ende, se destaca que en la ilustración 3 se muestra la lista territorial que se encarga de abarcar la cuenca del río Burro y sus límites correspondientes.

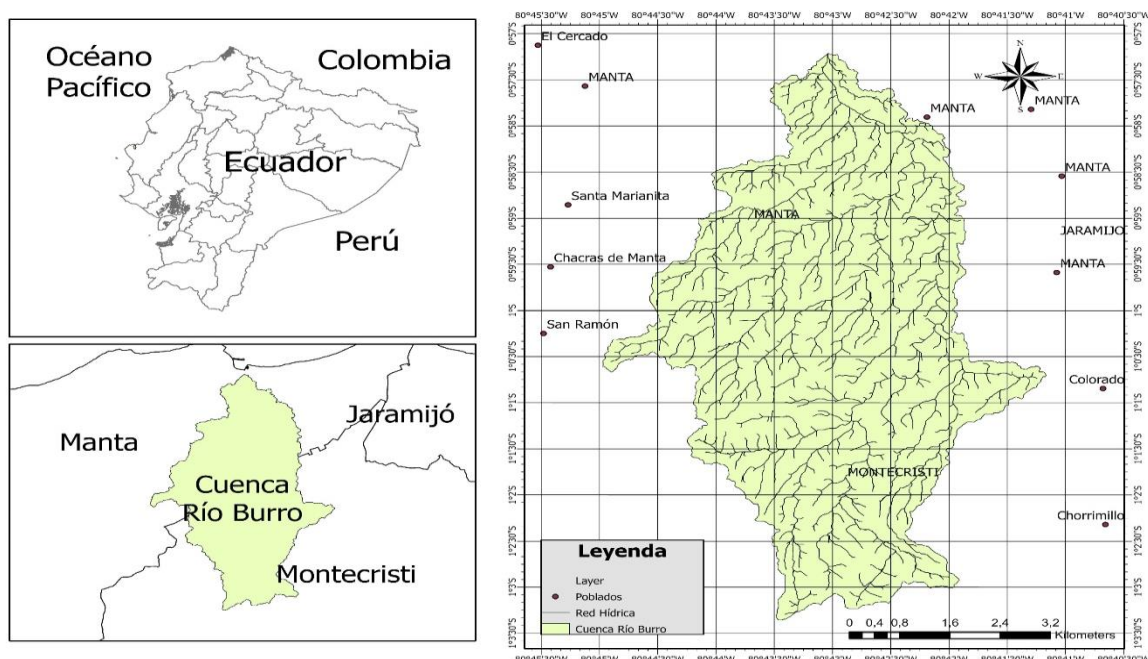
Perímetro de consistencia de la cuenca

Dentro de cada una de las delimitaciones es de suma importancia hacer énfasis en la longitud de la figura pues la misma puede definir cada uno de los límites del río, llamada perímetro. Pues la cuenca del río Burro cuenta con un perímetro aproximado de 51.61 km.

Longitud aproximada axial

La herramienta SIG permitió deducir la longitud axial exacta de la cuenca del río mencionado, cuya distancia en km es 11.25, la cual corresponde a la distancia de la desembocadura y el punto más lejano de la cuenca.

Figura 3. Delimitación de la cuenca del río Burro, Manta, Manabí



Fuente: Elaboración propia del autor

Ancho promedio

Empleando la fórmula correspondiente, se pudo determinar que el ancho promedio de la cuenca del río Burro es de 3.433 km.

Coefficiente de compacidad (K_C)

Se realizaron los cálculos pertinentes para determinar el coeficiente de compacidad, el cual corresponde a un valor de 2.342, lo que indica que la cuenca tiene una forma oval-oblonga a rectangular-oblonga. Este coeficiente es igual a uno cuando la cuenca es perfectamente circular; cuando K_C es igual a 1.128, se trata de una cuenca cuadrada, cuando sobrepasa los valores anteriores es oval-oblonga a rectangular-oblonga.

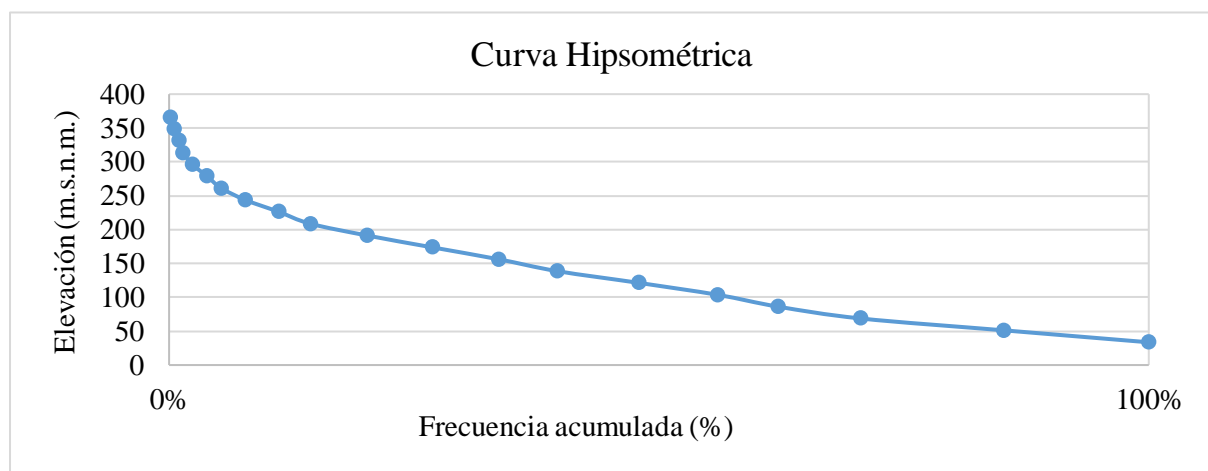
Coefficiente de forma (K_F)

El valor de 0.305 en el coeficiente de forma permite definir que la cuenca es ligeramente achatada.

Los valores de K_f superiores a 1 proporcionan un grado de aplanamiento de los flujos principales cortos, de modo que la escorrentía de las fuertes lluvias tiende a concentrarse y formar grandes inundaciones con facilidad, según se muestra en la tabla 3 anteriormente mencionada.

Curva hipsométrica

Figura 4. Curva hipsométrica de la cuenca del río Burro



Fuente: Elaboración propia del autor

El gráfico 1 representa la topografía de la cuenca del río Burro, en el cual se relaciona la cota, con el porcentaje del área acumulada. Esta representación gráfica indica que la cuenca se encuentra en fase de vejez y deposición de sedimentos, es decir, presenta una curva C, como lo representa el autor Strahler (1952) en su figura curvas hipsométricas del ciclo de erosión. En la curva hipsométrica se presenta una pendiente fuerte en el origen, desde los 366.26 msnm hasta los 208.76 msnm, cual disminuye su intensidad hasta los 33.57 msnm, que indican la presencia de tramos planos y que podría representar un riesgo de inundación en los alrededores de la zona.

Pendiente de la cuenca

Se realizó el cálculo de la pendiente, en el cual se obtuvo como resultado una inclinación de 13.35%, de acuerdo al rango de pendiente (%) calculado, indica que la cuenca es ligeramente inclinada a moderadamente empinada, que equivale a un rango 8 – 15 (%), se muestran en la tabla 4.

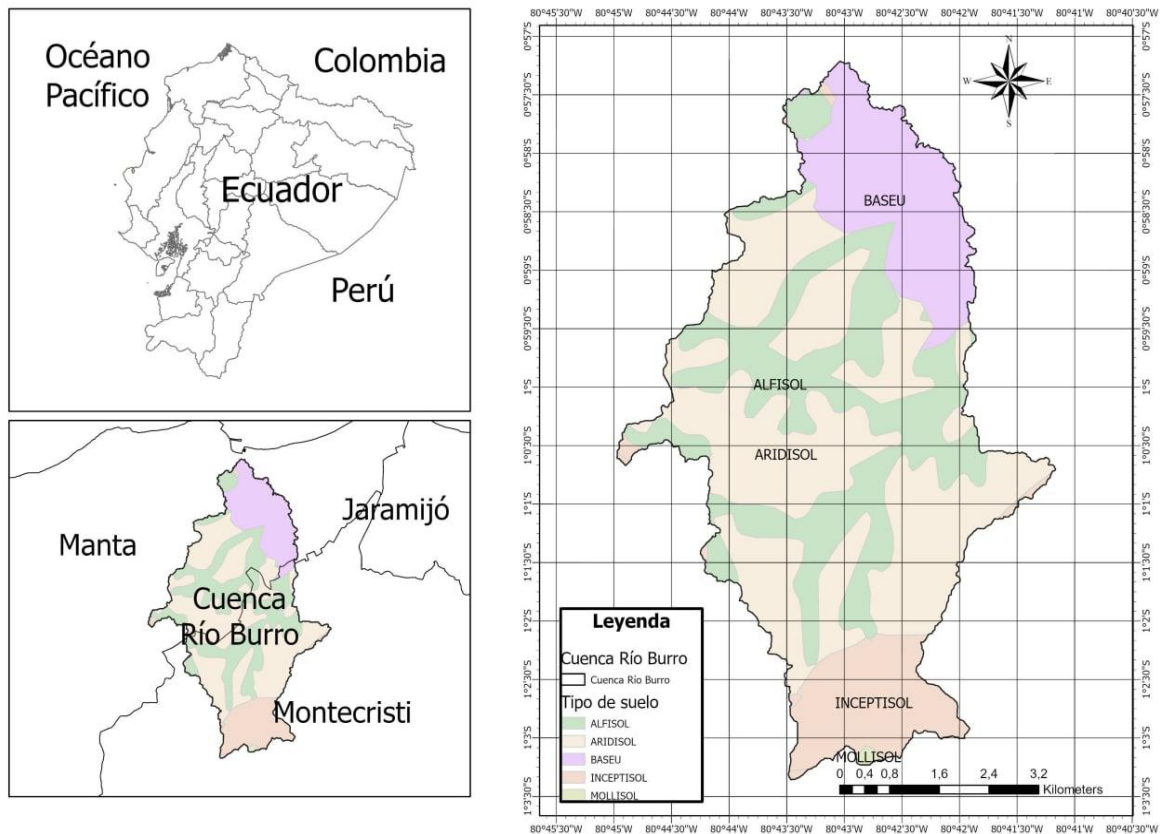
Densidad de drenaje

El resultado de la densidad de drenaje de la cuenca del río Burro, obtenido de la fórmula es 3.27, por lo que dicha densidad está categorizada como muy alta, de acuerdo a los datos expresados en la tabla 5. Los resultados del cálculo se presentan a continuación.

Tipos y usos de suelo

De acuerdo a lo descrito por Vincés (2018), en la ciudad de Manta se sitúan siete tipos de suelo, franco arenosos, limosos y/o arcillo limosos; en conclusión, el tipo de suelo del territorio de la ciudad es muy variable, y por su irregularidad es vulnerable a eventos contrarios de tipos naturales y antrópicos; el río Burro ya que cuenta con un tipo de suelo arcilloso, adicionalmente, alrededor de la cuenca se asientan viviendas, por lo que el aprovechamiento de la tierra es considerado residencial, esto debido a que la tendencia de tierra es de terrenos comunales. En el gráfico 5, se observa el mapa del tipo de suelo de la cuenca del río Burro.

Figura 5. Mapa del tipo de suelo de la cuenca del río Burro.



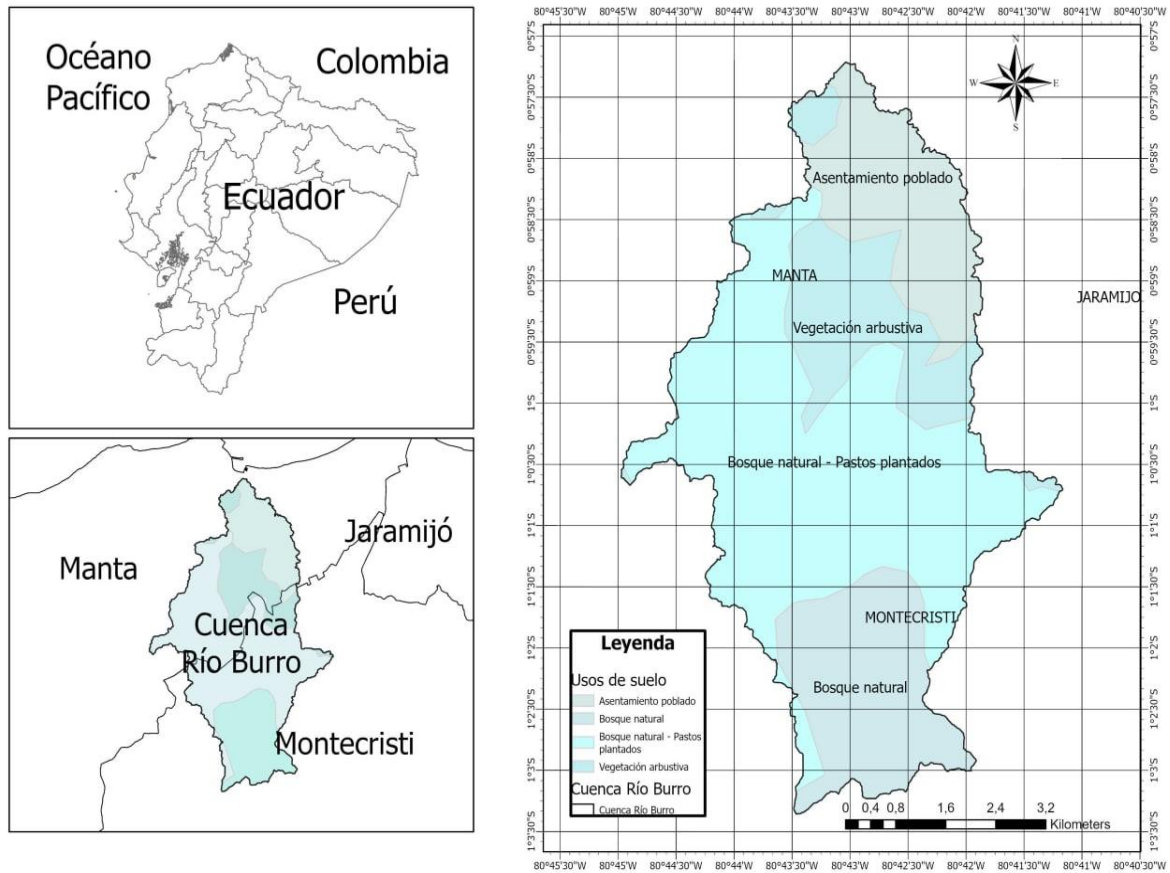
Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería - MAGAP (2002)

Elaboración: Propia del autor

De acuerdo con el mapa del tipo de suelo de la cuenca del río Burro, se pudo identificar que en mayor porcentaje y predominancia la cuenca posee un suelo alfisol, y se encuentran otros tipos de suelo según la clasificación de la tabla 6, en segundo lugar, este suelo se clasifica como aridisol, posteriormente presenta suelo base “baseu”, esta nomenclatura del MAGAP corresponde a un tipo de suelo con asentamientos urbanos, es decir un suelo ya intervenido y por último, en la cuenca se evidencia un suelo inceptisol, esto de acuerdo con el mapa del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGAP, 2017).

Estos datos se pueden relacionar con lo reportado por SUBDERE (2013), donde analizan la ubicación territorial con relación a las características de la cuenca. En el mencionado trabajo, los autores indican que una cuenca con baja concentración de agua, ubicada mayormente en zona urbana donde la contaminación es mayor, tal como es el caso de la cuenca del río Burro, tiende a sufrir escasez de especies vegetales y animales. En la figura 6, se muestra el mapa del uso de suelo de la cuenca del río Burro.

Figura 6. Mapa del uso de suelo de la cuenca del río Burro



Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería - MAGAP (2002)

Elaboración: Propia del autor

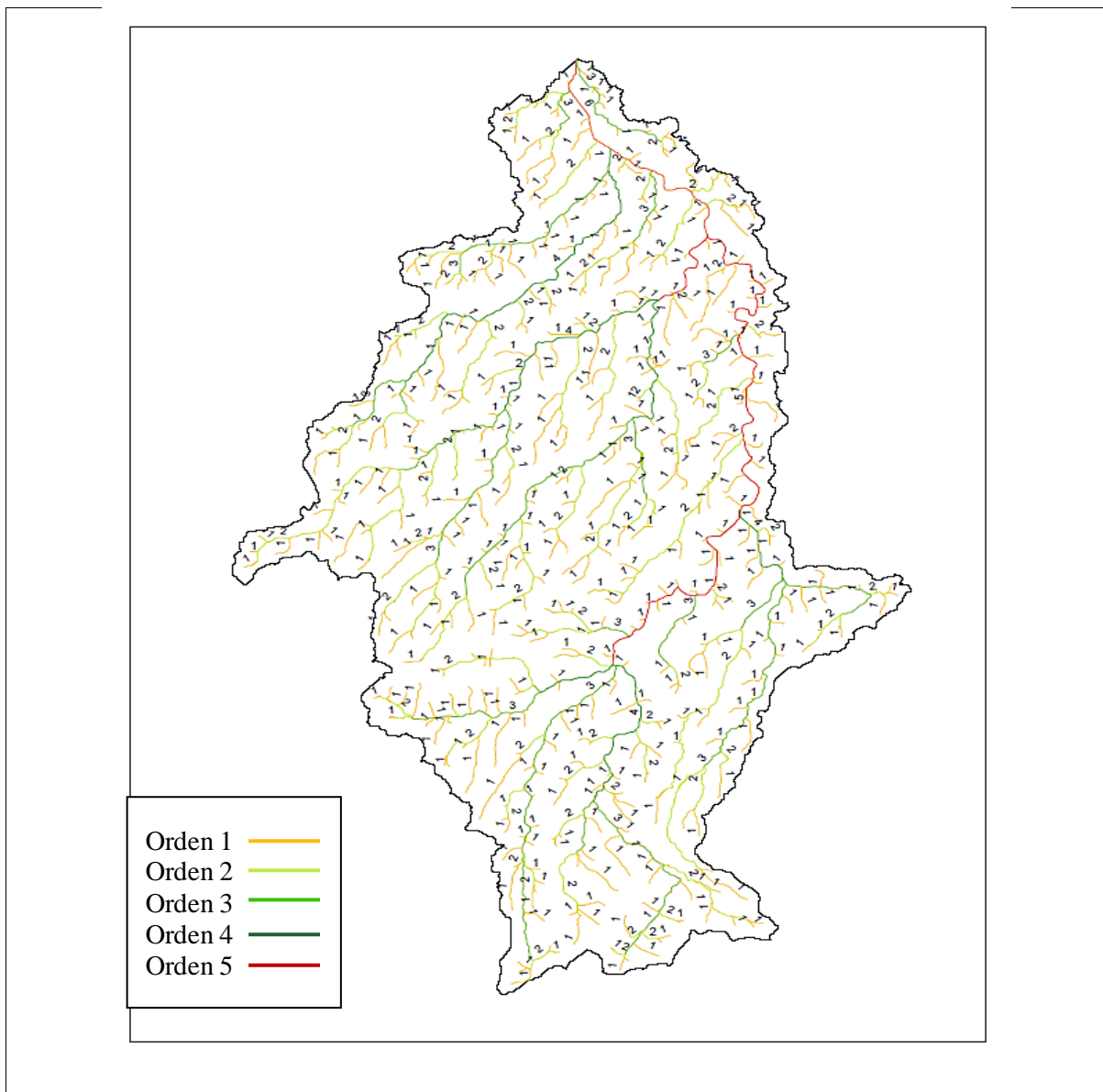
Basándose en los resultados del mapa de uso de suelo, se puede evidenciar que predomina el bosque natural – pastos plantados, en segundo lugar, presenta bosque natural (imperea en la zona de Montecristi), posteriormente se visualiza vegetación arbustiva y finalmente, se evidencia asentamiento de poblado.

Caracterización hidrológica de la cuenca del río Burro en función del sistema de drenaje.

Número de orden

El modelo de Horton (1945) y la herramienta SIG, permitieron realizar un análisis a fin de desarrollar el orden de las corrientes del río Burro. Este análisis obtuvo como resultado un orden cinco para la cuenca, tal como lo encuentra representado mediante el gráfico 7.

Figura 7. Número de orden de corrientes de la cuenca del río Burro, Manta, Manabí

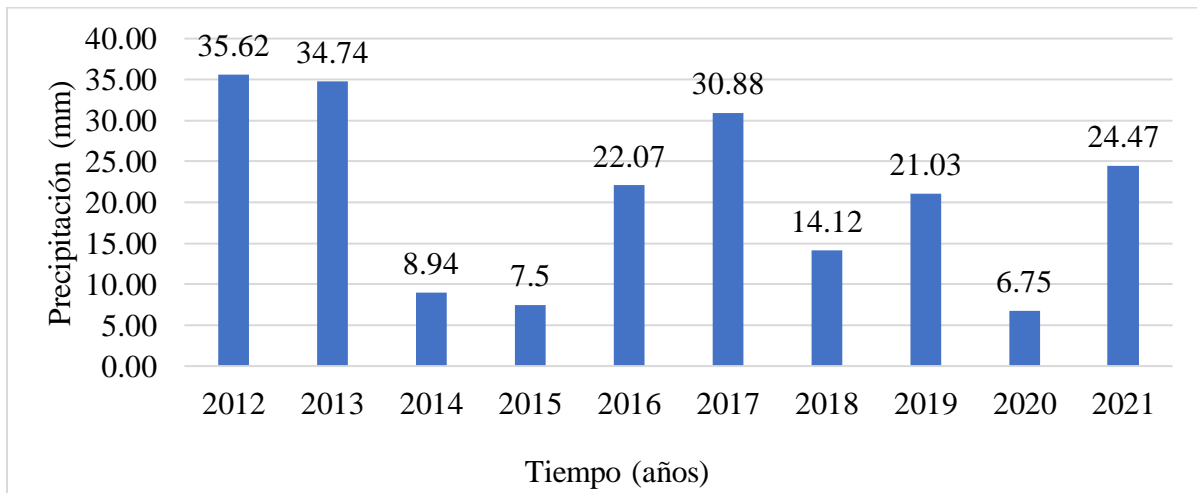


Fuente: Elaboración propia del autor

Caudal medio

Para determinar el cálculo del caudal medio es necesario conocer la precipitación anual media y el coeficiente de escorrentía respectivamente; para ello se tomaron en consideración los datos proporcionados por la Estación meteorológica con código 841170 - (SEMT, 2022), durante los últimos diez años dispuestos en la página oficial Meteorología aeronáutica y VAC del aeropuerto de Manta, SEMT-MEC, correspondiente a Manta (2012-2021), la ponderación se encuentra descrita en el Anexo 1.

Figura 8. Precipitación media anual (mm) de la ciudad de Manta



Fuente: Estación meteorológica con código 841170 - (SEMT, 2022)

Elaboración: Propia del autor

Cabe destacar que la selección de esta estación se debe a que es la más cercana con datos completos publicados por la entidad encargada. Por otra parte, para el hallazgo del coeficiente de escorrentía se empleó la siguiente tabla de Aparicio (1999) seleccionando un promedio de los coeficientes mínimos y máximos de las zonas suburbanas y praderas (suelos arcillosos con pendientes superiores al 7%), dado que la ciudad de Manta presenta una pendiente ligeramente inclinada a moderadamente empinada con una inclinación de 13.35%. En base a este criterio, el coeficiente de escorrentía es de 0,25

- Cálculo de a y b

$$a = 0.000163385; \quad b = 1$$

- Cálculo del caudal medio

$$Q_m = 0,0063099 \text{ m}^3/\text{s}$$

Estudio de lluvias máximas

Para este estudio se decide trabajar con lluvias intensas de una duración de una hora ya que se entiende que esta es una duración bastante lógica para eventos lluviosos de este tipo en la zona. Por otra parte, se decide emplear períodos de retorno de 25, 50 y 100 años.

El objetivo de este estudio de lluvias máximas es poder obtener los hietogramas que se deben asignar a la cuenca para ser incorporados como parte del modelo meteorológico en el método de precipitación en HEC-HMS.

A continuación, se muestra la tabla 7 donde se detallan datos importantes de la estación, fundamentalmente del tipo de datos de lluvia de maneja la estación.

Tabla 7. Estación climática empleada en el estudio.

Nro	Código Estación	Nombre	Tipo	Equipo	x	x	Provincia
1	M0453	CHORRILLOS	Pluviométrica	Pluviómetro	534613	9883481	Manabí

Obtención de hietogramas de diseño

Los hietogramas de diseño se obtendrán para una lluvia de 1 hora de duración y períodos de retorno de 25, 50 y 100 años, por medio del método de bloques alternos, ver (Chow, 1994), partiendo de las curvas de intensidad frecuencia y duración IFD obtenidas para la estación.

Creación de curvas IFD y obtención de hietogramas.

Los valores se obtienen de un análisis realizado con una serie de datos del período 1982 al 2013, es decir 32 años de datos.

Tabla 8. Cálculo de las Precipitaciones Diarias Máximas Probables para distintas frecuencias de la estación M0453.

<i>Periodo Retorno</i>	<i>Variable Reducida</i>	<i>Precip. (mm)</i>	<i>Prob. de ocurrencia</i>	<i>Corrección intervalo fijo</i>
<i>Años</i>	<i>YT</i>	<i>XT'(mm)</i>	<i>F(xT)</i>	<i>XT (mm)</i>
2	0.3665	60.9214	0.5000	68.8411
5	1.4999	90.2770	0.8000	102.0130
10	2.2504	109.7129	0.9000	123.9756
25	3.1985	134.2703	0.9600	151.7255
50	3.9019	152.4884	0.9800	172.3119
100	4.6001	170.5720	0.9900	192.7463
500	6.2136	212.3603	0.9980	239.9672

En Campos& Konstantinovich (2017) se publica un rango de datos ampliado de esta variable hasta el año 2013, así como los datos de lluvia máxima en 24 horas (mensuales) para la estación M0453 ver la tabla 9.

Tabla 9. Precipitación máxima en 24 horas (datos mensuales) estación M0453.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MAX
1982	10.9 0	2.10	2.00	2.30	6.70	6.60	1.20	0.00	1.40	4.90	30.9 0	39.1 0	39.10
1983	66.8 0	60.90	24.10	81.10	57.6 0	94.8 0	97.0 0	3.00	33.4 0	3.10	6.40	32.7 0	97.00
1984	10.3 0	36.60	52.60	12.30	0.00	7.20	1.80	5.30	2.10	2.80	4.10	14.0 0	52.60
1985	38.1 0	36.50	55.20	13.20	27.0 0	1.70	3.10	3.60	2.60	6.20	4.20	10.6 0	55.20
1986	31.8 0	6.30	5.20	18.20	0.00	7.30	7.20	25.6 0	3.70	3.90	2.30	2.70	31.80
1987	60.7 0	107.5 0	30.70	22.40	16.9 0	0.00	1.50	9.20	2.40	3.50	3.60	0.00	107.5 0
1988	7.80	9.10	11.90	30.90	15.4 0	3.40	4.70	2.50	4.80	2.90	2.10	2.10	30.90
1989	30.9 0	86.90	72.50	71.20	7.50	4.60	8.10	3.10	5.20	4.10	3.20	1.50	86.90
1990	5.20	30.40	40.30	1.70	0.90	3.90	3.30	2.80	2.40	1.80	7.20	0.00	40.30
1991	70.1 0	65.10	5.90	12.80	4.20	0.60	2.70	1.10	1.60	2.40	5.20	0.50	70.10
1992	28.5 0	19.70	89.40	71.30	45.3 0	2.40	0.00	3.70	3.10	3.60	1.50	8.30	89.40
1993	3.60	42.00	11.10	5.10	4.00	5.30	1.80	1.50	2.00	1.50	1.70	1.00	42.00
1994	56.6 0	4.50	17.50	6.00	28.4 0	7.00	1.20	1.50	3.20	1.50	0.80	7.10	56.60
1995	52.2 0	37.70	16.40	49.60	5.60	1.50	1.30	0.40	0.10	0.30	3.30	5.40	52.20
1996	17.1 0	23.90	37.10	53.40	3.50	0.10	3.20	1.20	0.50	0.10	0.60	2.60	53.40
1997	17.7 0	56.00	54.60	10.00	9.40	1.20	8.50	8.30	1.10	13.1 0	59.4 0	45.5 0	59.40
1998	70.6 0	62.60	76.90	49.00	73.1 0	30.5 0	4.50	0.70	1.20	0.80	9.20	1.50	76.90
1999	12.6 0	79.00	40.30	16.40	4.00	3.00	1.50	3.10	1.40	6.50	1.30	3.00	79.00
2000	19.3 0	25.00	13.00	6.00	6.70	1.90	1.50	1.00	1.80	1.30	3.00	7.90	25.00
2001	20.9 0	39.00	172.0 0	17.60	1.50	1.80	1.50	0.00	0.70	1.10	0.50	4.60	172.0 0
2002	16.8 0	39.00	48.20	26.50	20.5 0	1.70	0.10	1.70	1.50	1.00	1.00	9.10	48.20
2003	20.3 0	52.00	8.30	9.70	3.00	2.00	1.50	17.0 0	1.00	2.40	1.20	25.8 0	52.00
2004	12.5 0	27.80	7.50	2.00	9.20	1.40	2.60	1.20	2.50	2.20	1.00	0.00	27.80
2005	10.0 0	74.00	10.00	133.0 0	1.30	2.00	0.70	1.20	1.50	1.50	4.00	9.50	133.0 0
2006	13.0 0	52.80	120.0 0	0.70	0.50	3.00	0.20	1.50	1.20	0.50	1.30	0.60	120.0 0
2007	9.20	25.00	36.50	47.20	13.0 0	1.50	2.20	1.00	2.00	1.80	5.30	3.60	47.20
2008	39.8 0	36.00	87.60	11.50	1.00	1.90	2.70	1.00	1.50	4.50	3.00	0.50	87.60
2009	39.1 0	13.30	21.50	5.70	8.50	0.00	0.50	6.00	1.20	1.10	1.50	3.00	39.10
2010	7.60	25.80	38.00	5.80	25.3 0	1.70	5.00	1.60	2.50	1.40	2.40	14.0 0	38.00

2011	21.00	87.00	3.00	16.60	0.70	1.70	1.00	1.50	0.60	3.70	0.70	16.00	87.00
2012	53.00	31.30	60.00	8.50	6.00	0.70	0.00	1.60	1.60	1.00	0.50	3.00	60.00
2013	25.50	44.00	66.90	48.20	3.50	1.70	1.20	1.50	1.30	0.70	0.00	2.70	66.90
Media	28.11	41.84	41.76	27.06	12.82	6.38	5.42	3.58	2.91	2.73	5.39	8.68	
Max	70.60	107.50	172.00	133.00	73.10	94.80	97.00	25.60	33.40	13.10	59.40	45.50	
Min	3.60	2.10	2.00	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	0.00	0.00	

Fuente: Campos & Konstantinovich (2017).

Nota: los datos en las columnas marcadas son producidos por un proceso de relleno de datos realizado por Campos & Konstantinovich (2017).

Obtención de las curvas IFD para la estación M0453.

Como puede verse en la tabla 7 se tiene el valor de intensidad máxima obtenida para 24 horas, sin embargo, para realizar las curvas IFD es necesario tener conocimiento de las intensidades para tiempos menores, en tal sentido se hace uso de los siguientes factores obtenidos y publicados en Campos (1998), ver tabla 10.

Tabla 10. Factores por los que se debe multiplicar las precipitaciones máximas probables de duración 24 horas para encontrar sus homólogas en diferentes tiempos.

Duración de los eventos de precipitación (hr)									
1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
Factores aplicados a las precipitaciones máximas probables de duración 24 horas para obtener sus homólogas correspondientes a tiempos diferentes a 24 horas.									
0.3	0.39	0.46	0.52	0.57	0.61	0.68	0.8	0.91	1

Fuente: Campos (1998).

A los efectos del siguiente trabajo solo se emplearán factores hasta eventos lluviosos de 24 horas, pero Campos (1998) amplía esta tabla para duraciones de 2 – 7 días.

Tabla 11. Valores de precipitación máxima P(mm) para diferentes duraciones de eventos lluviosos y diferentes períodos de retorno, estación M0453.

Tiempo de duración (min)	Tiempo de duración (hr)	Tiempo de duración (días)	Factor	TR 2años	TR 5años	TR 10años	TR 25años	TR 50años	TR 100años
60	1	0.04	0.3	20.65	30.60	37.19	45.52	51.69	57.82
120	2	0.08	0.39	26.85	39.79	48.35	59.17	67.20	75.17
180	3	0.13	0.46	31.67	46.93	57.03	69.79	79.26	88.66
240	4	0.17	0.52	35.80	53.05	64.47	78.90	89.60	100.23
300	5	0.21	0.57	39.24	58.15	70.67	86.48	98.22	109.87
360	6	0.25	0.61	41.99	62.23	75.63	92.55	105.11	117.58
480	8	0.33	0.68	46.81	69.37	84.30	103.17	117.17	131.07

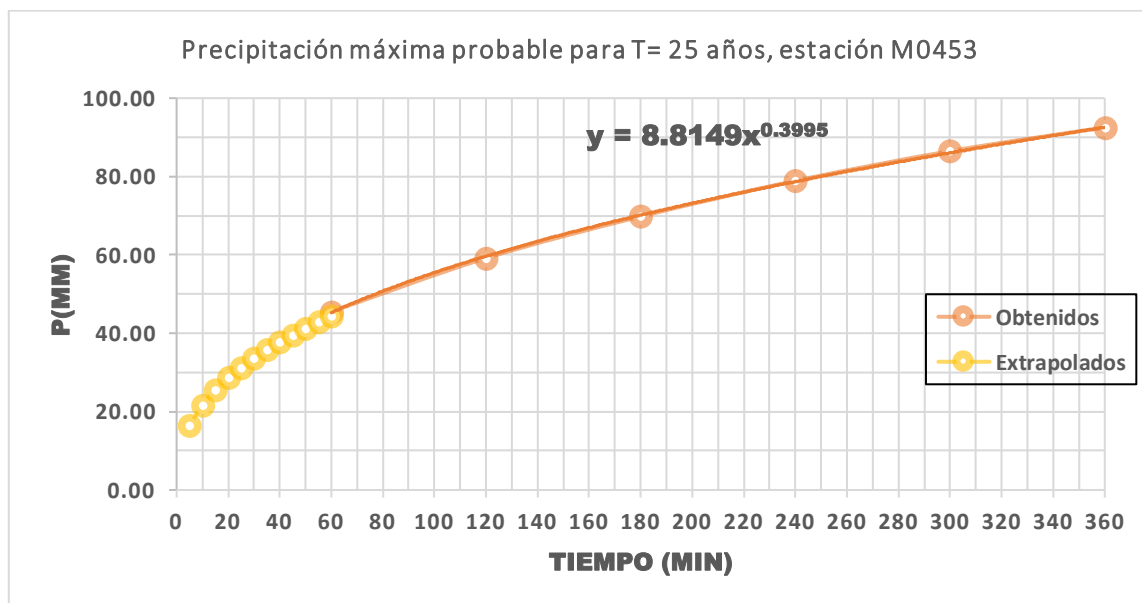
720	12	0.5	0.8	55.07	81.61	99.18	121.38	137.85	154.20
1080	18	0.75	0.91	62.65	92.83	112.82	121.38	156.80	175.40
1440	24	1	1	68.84	102.01	123.98	151.73	172.31	192.75

En la tabla 1 se obtienen los valores de precipitación máxima en función del período de retorno y de una duración (diferente a 24 horas), valores en letras cursivas, obtenidos multiplicando los factores de la Tabla 10 que se encuentran aquí en la columna 4 (véase que cada factor está relacionado con un tiempo) por los valores de precipitación en (mm) para eventos lluviosos de duración una hora, que se encuentran en la última fila marcados con un color naranja, los que (a su vez) se obtienen multiplicando los valores de intensidades en (mm/h) para lluvias máximas en 24 horas que se muestran en la Tabla 8 **Error! Reference source not found.** para poder obtener la precipitación y no la intensidad.

Los hietogramas que se obtendrán y serán pasados al modelo en HecHMS tendrán un intervalo de 5 min, luego aún con la disminución del tiempo de 24 horas a una hora. Todavía es insuficiente, en tal sentido la estrategia fue graficar los valores obtenidos en la Tabla xxx5 (un gráfico para cada período de retorno) y obtener un modelo de ajuste potencial con el cual posteriormente se realiza una extrapolación para valores de tiempos entre 0 y 60 min.

A continuación, se muestra solo el gráfico para TR=25 años.

Figura 9. Relación entre el tiempo y la precipitación para TR=25.años, estación M0453 y valores de precipitación extrapolados para tiempos menores de 1 hora.



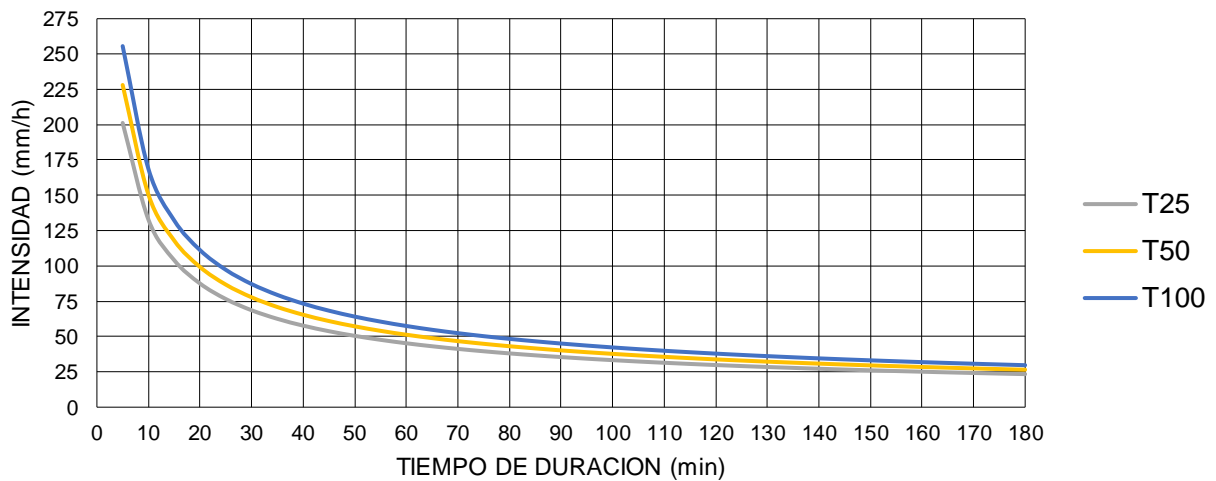
Si en la Tabla 12 se dividen las precipitaciones por su valor correspondiente de tiempo en horas se obtienen las intensidades y con estas se puede realizar el gráfico con las curvas IFD, ver gráfico 9. En este gráfico TR significa tiempo de retorno y se expresa en años.

Tabla 12. Valores de precipitaciones en (mm) para diferentes tiempos de lluvia y de TR.

Nro	Tiempo (min)	Tiempo (hrs)	TR 2años	TR 10años	TR 25años	TR 50años	TR 100años
1	5	0.08	7.608	11.273	16.767	19.006	21.300
2	10	0.17	10.035	14.870	22.117	25.070	28.096
3	15	0.25	11.799	17.485	26.006	29.478	33.036
4	20	0.33	13.236	19.614	29.173	33.068	37.060
5	25	0.42	14.470	21.443	31.893	36.152	40.515
6	30	0.50	15.564	23.063	34.303	38.883	43.576
7	35	0.58	16.552	24.528	36.481	41.353	46.344
8	40	0.67	17.459	25.872	38.480	43.619	48.884
9	45	0.75	18.301	27.119	40.334	45.720	51.239
10	50	0.83	19.087	28.285	42.068	47.686	53.442
11	55	0.92	19.828	29.382	43.701	49.537	55.516
12	60	1.00	20.529	30.422	45.247	51.289	57.479

Figura 10. Curvas IFD para la estación M0453.

Curvas IDF de la cuenca



Obtención de hietogramas.

Una vez obtenidas las curvas IFD, en este punto se aplica el método de bloques alternos para la obtención de los hietogramas de diseño.

Tabla 13. Obtención del hietograma de la estación M0453, con la curva IFD para TR= 25 años y t=1 h.

t(min)	t(hrs)	i(mm/h)	Pacum(mm)	ΔP (mm)	Intervalos	ΔP (mm)
5	0.08	201.204	16.767	16.767	0-5	1.63
10	0.17	132.699	22.117	5.350	5-10	1.85
15	0.25	104.022	26.006	3.889	10-15	2.18
20	0.33	87.519	29.173	3.167	15-20	2.72
25	0.42	76.543	31.893	2.720	20-25	3.89
30	0.50	68.605	34.303	2.410	25-30	16.77
35	0.58	62.540	36.481	2.179	30-35	5.35
40	0.67	57.721	38.480	1.999	35-40	3.17
45	0.75	53.779	40.334	1.854	40-45	2.41
50	0.83	50.482	42.068	1.734	45-50	2.00
55	0.92	47.674	43.701	1.633	50-55	1.73
60	1.00	45.247	45.247	1.546	55-60	1.55

Figura 11. Hietograma de la estación M0453 para precipitación de 1 hora – 60 min y TR-25 años.

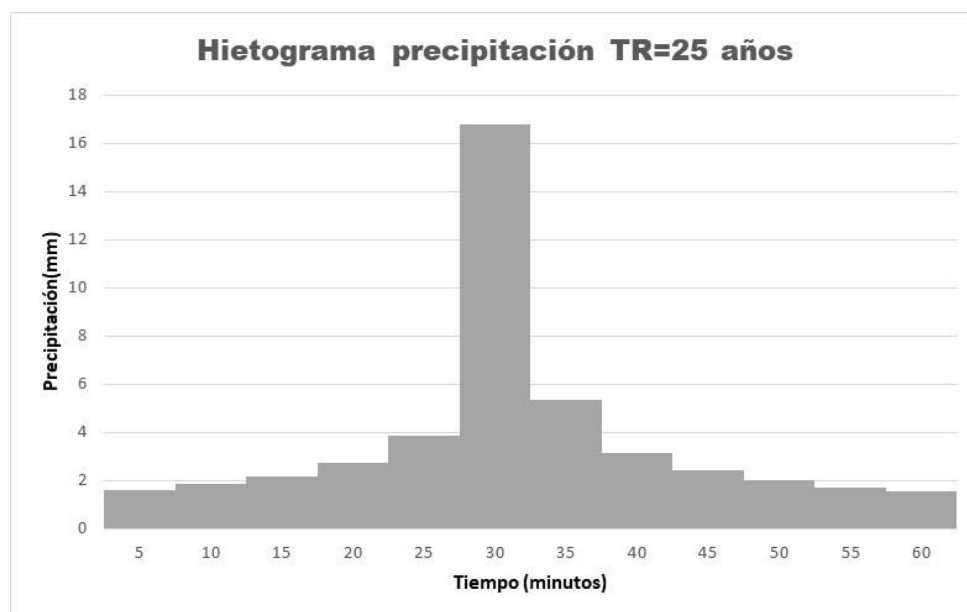


Tabla 14. Obtención del hietograma de la estación M0453 con la curva IFD para TR= 50 años y t=1 h.

t(min)	t(hrs)	i(mm/h)	Pacum(mm)	DP(mm)	Intervalos	DP(mm)
5	0.08	228.072	19.006	19.006	0-5	1.85
10	0.17	150.419	25.070	6.064	5-10	2.10
15	0.25	117.913	29.478	4.408	10-15	2.47
20	0.33	99.205	33.068	3.590	15-20	3.08
25	0.42	86.764	36.152	3.083	20-25	4.41
30	0.50	77.766	38.883	2.731	25-30	19.01

35	0.58	70.891	41.353	2.470	30-35	6.06
40	0.67	65.428	43.619	2.266	35-40	3.59
45	0.75	60.961	45.720	2.102	40-45	2.73
50	0.83	57.223	47.686	1.966	45-50	2.27
55	0.92	54.040	49.537	1.851	50-55	1.97
60	1.00	51.289	51.289	1.752	55-60	1.75

Figura 12. Hietograma de la estación M0453 para precipitación de 1 hora – 60 min y TR-50 años.

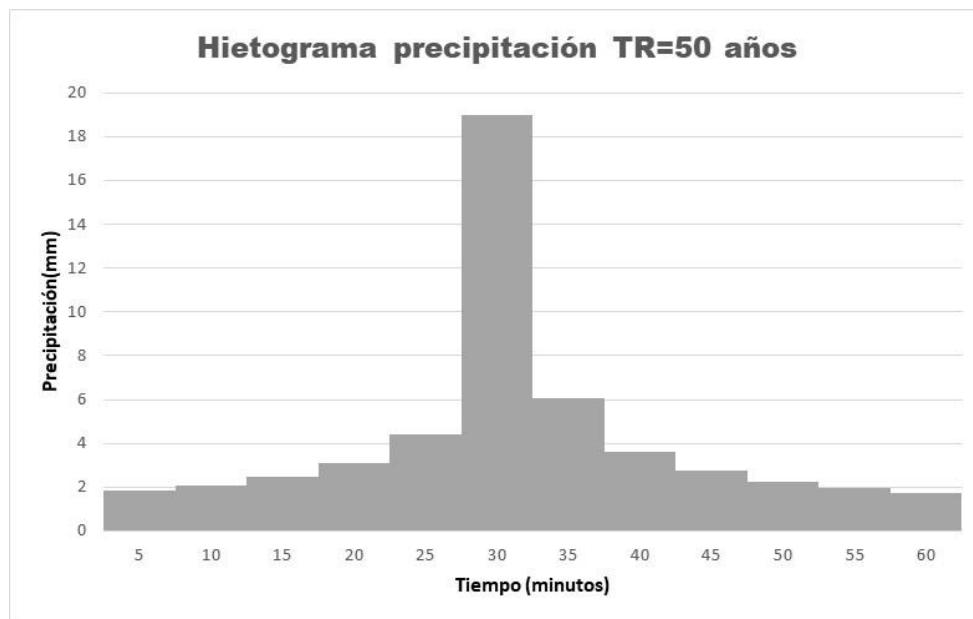
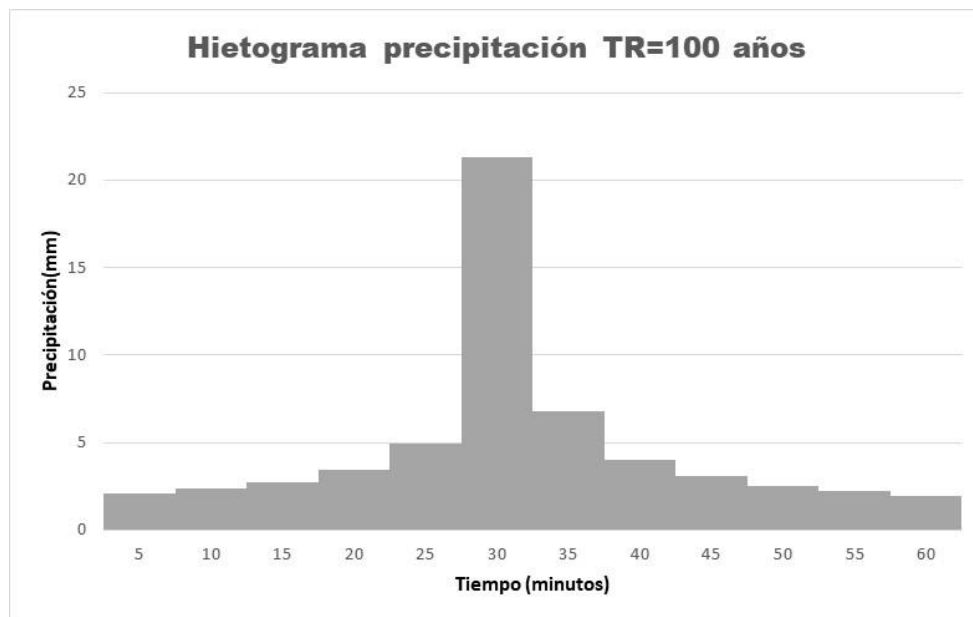


Tabla 15. Obtención del hietograma de la estación M0453, con la curva IFD para TR= 100 años y t=1 h

t(min)	t(hrs)	i(mm/h)	Pacum(mm)	DP(mm)	Intervalos	DP(mm)
5	0.08	255.600	21.300	21.300	0-5	2.07
10	0.17	168.574	28.096	6.796	5-10	2.36
15	0.25	132.144	33.036	4.940	10-15	2.77
20	0.33	111.179	37.060	4.024	15-20	3.46
25	0.42	97.236	40.515	3.455	20-25	4.94
30	0.50	87.153	43.576	3.061	25-30	21.30
35	0.58	79.447	46.344	2.768	30-35	6.80
40	0.67	73.325	48.884	2.539	35-40	4.02
45	0.75	68.318	51.239	2.355	40-45	3.06
50	0.83	64.130	53.442	2.203	45-50	2.54
55	0.92	60.563	55.516	2.074	50-55	2.20
60	1.00	57.479	57.479	1.964	55-60	1.96

Figura 13. Hietograma de la estación M0163 para precipitación del hora – 60 min y TR-100 años.



Obtención de valores de CN para la Cuenca.

Para la obtención de los valores medios ponderados del número de la Curva CN de la cuenca se siguió la metodología presentada por Ferrer et al (1995) que se basa en la tabla presentada en el anexo 3 Para resolver este problema se procuró un mapa de textura de suelo con lo cual se pudieron definir polígonos con un tipo de textura determinada que se puede correlacionar con los grupos hidrológicos en este caso predominante los grupos B, C y D. Con el modelo del terreno se obtuvo un mapa de pendientes, este se reclasificó para obtener las zonas con pendientes menor a 3% y mayores al 3% finalmente se realizó un proceso de vectorización de polígonos atendiendo a su uso de suelo con el empleo de orto imágenes de la cuenca. Una vez obtenidos estos mapas se realizó un proceso de intercepción entre ellos y se obtuvo un mapa con polígonos que tendrán un mismo uso de suelo, pendiente y grupo hidrológico, a cada uno de estos polígonos les fue asignado un valor de CN acorde con la tabla del anexo 3.

Tabla 16. Valores de CN para la cuenca

Nro	Cuenca	CN
1	CBXX	76.64

DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos para dar cumplimiento al objetivo específico “Delimitar la cuenca del río Burro, cantón Manta, para el desarrollo de la investigación”, se obtuvo el área superficial de la misma, siendo esta 38.62 km², lo que la ubica en la categoría de cuencas pequeñas. Vásquez, *et al.*, (2019), en su trabajo señalan que, para el caso del Ecuador, una cuenca es considerada pequeña, cuando su área se encuentra entre los 25 a 250 km². Por este motivo, se puede decir que la cuenca tiene poca capacidad para recaudar agua. Asimismo, esto se confirma con lo expuesto por Verdugo (2017), el cual realizó un estudio de las microcuencas Aguarongo, en el que relaciona la capacidad de retención de agua con el área superficial de las microcuencas. De alguna manera, también se pudiera llegar a relacionar la retención de agua, con otros parámetros longitudinales como el ancho promedio, perímetro y la longitud axial de la cuenca.

Con respecto al objetivo específico “Analizar los resultados morfométricos e hidrológicos de los resultados”, se determinaron los coeficientes de compacidad (K_c) y de forma (K_f). Según un estudio realizado por MINAMBIENTE (2017) en el río La Vieja en Colombia, cuando el K_c es mayor a 1.5, la cuenca tiene forma oval-oblonga a rectangular-oblonga, siendo este el caso de cuenca en estudio cuyo coeficiente es 2.342. Es importante recalcar que cuando el coeficiente de compacidad se acerca a uno como en el caso de la cuenca La Vieja, la concentración de agua es mayor.

Caso contrario de lo que sucede con la cuenca del río Burro, cuyo valor indica una concentración de agua baja. Por su parte el K_f obtenido, indica que la cuenca tiene forma ligeramente achatada de acuerdo a lo reportado por Jiménez, (2011), el cual señala que para que una cuenca se encuentre dentro de la categoría antes mencionada, el índice de forma debe estar entre 0.18 y 0.36. Valores bajos en el K_f , significan que la cuenca estará menos propensa a sufrir fenómenos bruscos provocados por crecientes (Villota, 2019), por lo que la cuenca del río Burro cuyo K_f es 0.305, estaría medianamente susceptible a crecientes.

Por otro lado, la curva hipsométrica obtenida a partir de las cotas de la cuenca, indican que esta, se encuentra dentro de la fase de vejez según como lo explica Verdugo (2017) en su trabajo sobre microcuencas, en el cual describe la categorización de las cuencas según la forma de la curva. Además, Verdugo (2017), expone que las cuencas en etapa de vejez, se caracterizan por

tener un índice de precipitación de sedimentos alto, siendo este el caso de la cuenca del río Burro.

Cómo cumplimiento al objetivo específico “Evaluar los parámetros morfológicos del río Burro, Manta, Manabí, Ecuador”, en el cálculo de la pendiente de la cuenca del río Burro se obtuvo como resultado una inclinación de 13.35%, de acuerdo al rango de pendiente (%), que la cuenca es ligeramente inclinada a moderadamente empinada, debido a que el valor se encuentra un rango 8 – 15 (%), por otra parte, en el estudio realizado por Zhicay (2020), el valor de la pendiente de la microcuenca es de 37.85%, indica que se definió como empinada.

Es importante destacar que una pendiente mayor, conlleva a una mejor capacidad para escurrir las aguas lluvias, sin embargo, se ocasionarían mayores problemas de erosión. Mientras que, en el caso de cuencas de pendientes poco pronunciadas como la del río Burro, se presentan problemas de sedimentación y drenaje, por lo que el intervalo de tiempo necesario para generar una creciente en los ríos es mayor.

Con base en lo anterior, la densidad de drenaje tiene una relación directamente proporcional con la formación de sedimentos, es decir mientras más sedimentos haya, mayor será la densidad de drenaje. A esto se le atribuye la gran densidad de drenaje con la que cuenta la cuenca del río Burro cuyo valor es 3.27, y de acuerdo a lo señalado por Delgadillo & Páez (2008) se considera como muy alta, debido a que supera los 3 km/km². En el estudio de Verdugo (2017), las microcuencas analizadas presentan una densidad de drenaje alta, lo que indica que tienen un flujo de escorrentías rápido, por lo que se podría deducir de manera muy acertada que poseen materiales impermeables en la superficie.

Esto disminuye el tiempo de concentración, producto de la baja infiltración, tal como sucede con cuenca del río Burro e incluso donde se tendría una menor infiltración producto de una densidad mucho mayor al del estudio referencial. Dentro de este apartado es importante destacar que el sistema de drenaje de la cuenca es de orden 5, el cual fue obtenido de la herramienta SIG y que sirvió para determinar el número de ríos que forman la cuenca y a su vez identificar los puntos de conexión y desembocaduras de cada uno de ellos, tal como fue realizado en el trabajo de Cruz, *et. al.* (2015).

La cuenca del río Burro posee 38.62 km², en este sentido el estudio de Guevara, *et al.*, (2019) quienes llevaron a cabo un “Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Ayuquila, Jalisco-México” del cual los autores lograron destacar que su distribución abarca cerca de 21

municipios y cuya superficie es de 3642.43 km², estos datos se contrarrestan indicando que los estudios más minuciosos conllevan mayor extensión en la superficie estudiada. Cabe resaltar que la cuenca estudiada por los autores acoge a 24 cuencas tributarias, su forma de drenaje es dendrítico y existen 10 288 corrientes superficiales, dato que no es proporcional al encontrado con las corrientes de orden cuatro en el río Burro.

Por otra parte, Pincay, *et al.*, (2019) indicaron en su estudio “análisis morfométrico de la cuenca del río Portoviejo, Manabí, Ecuador” que dicha cuenca tiene un tamaño intermedio grande, además su forma es oblonga y alargada lo que indica que las descargas tienen menor volumen en comparación con el cauce principal. El tipo de corriente es de quinto orden por lo tanto es altamente disectada, ya que los descubrimientos pueden ser parecidos a los localizados por la cuenca del río Burro, ya que posee un quinto orden de corrientes y un índice de drenaje bajo.

Fernández *et al.* (2021), en su investigación indican que en el cauce del río Yanuncay, que atraviesa la ciudad de Cuenca, se produce por fuertes inundaciones provocadas por las grandes corrientes que cruzan el río. El conocimiento previo de estos eventos requiere estudios detallados de las relaciones lluvia-escorrentía. Los eventos seleccionados en estas fases permitieron la ejecución del proceso y aseguraron la representatividad del rango de corrientes de largo retorno que podrían ocurrir en la cuenca. Los resultados obtenidos pueden ser utilizados para predecir eventos futuros y brindar alertas tempranas de inundaciones en la ciudad de Cuenca, Ecuador, la cual se encuentra afectada por el volumen del río.

En cuanto a las pendientes del cauce principal del estudio de Pincay *et al.*, (2019) son relativamente bajas, así también resaltó que la altura media que posee la cuenca es de 230.92m, la cuenca presenta un índice bajo en la densidad de drenaje y una respuesta hidrológica lenta. La conclusión a la que llegaron los autores demostró la relevancia que tiene la respuesta hidrológica y la influencia en la producción de escenarios de riesgos provocados por las inundaciones. Estos hallazgos de los autores referidos, son imprescindibles para la presente investigación, ya que son similares al comportamiento hidrológico (precipitación – escorrentía) de la cuenca del río Burro. Así, se denota la necesidad de verificar en estudios experimentales y estadísticos si la dinámica hídrica es la misma en toda la provincia, aludiendo a esta comparación explícita.

CONCLUSIONES

Se logró delimitar la cuenca del río Burro, mediante la determinación del área y otros parámetros longitudinales su área superficial es de 38.62 km², con un perímetro de 51.61 km, longitud axial cuya distancia es 11.25 km, la cual corresponde a la distancia en medio del desemboque, la superficie lejana del cauce y la extensión promedio es de 3.433 km, a causa de su superficie es categorizada como una cuenca pequeña y a la vez se deduce que presenta una capacidad mínima de retener agua.

El análisis morfométrico permitió definir la forma de la cuenca como oval-oblonga a rectangular-oblonga según el coeficiente de compacidad y ligeramente achatada por medio del acuerdo del coeficiente de forma de acuerdo a la cuenca. Estos coeficientes también fueron importantes para precisar que la concentración del flujo de la cuenca del río Burro es baja porque está medianamente propensa a sufrir fenómenos bruscos provocados por crecientes. Ya que es considerable enfatizar que se determinó por la distribución de la superficie de acuerdo con su elevación de la cuenca del río Burro mediante la curva hipsométrica determinó que es sedimentaria en etapa de vejez tipo C, la cual posee una pendiente definida como ondulada con un tipo de relieve accidentado, que podría representar un riesgo de inundación en alrededores de la zona.

Mediante el análisis hidrológico se logró establecer que la cuenca tiene un sistema de drenaje de quinto orden con una densidad que está categorizada como muy alta, de acuerdo a la taxonomía del sistema de drenaje del cauce según Delgadillo y Páez (2008), lo que la transforma en una cuenca con flujo superficial de escorrentías rápido. Además, la cuenca tiene una tasa de infiltración baja que provoca la disminución del tiempo de concentración y en base a los datos obtenidos de la estación meteorológica 841170 – SEMT, posee una precipitación media anual de 247.34 mm y su caudal medio resulta en 0,006 m³/s.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aparicio, F. (1999). Fundamentos de Hidrología de Superficie. Limusa. México.
- Bergkamp, G., Orlando, B. y Burton, I. 2003. Change: adaption of water resources management to climate change. Gland, Suiza, Unión Mundial para la Naturaleza (IUCN).
- Brieva, C. (2018). Caracterización de cuencas. Caracterización y análisis multidisciplinario de la información hidrológica en cuencas.
- Ehlers E. 1999. Agricultura sustentável. 2ª. ed. Livraria e Editora Agropecuária Ltda. Guíaba – Brasil.
- Camino, A., Bó, M., Cionchi, J., Del Río, J., López, A. & De Marco, S. (2018). Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires. Revista Universitaria de Geografía, vol. 27, núm. 1, January-June, ISSN: 0326-8373 1852-4265
- Campos, D. (1992). Procesos del Ciclo Hidrológico. San Luis de Potosí: Editorial Universitaria Potosina.
- Cruz, B., Gaspari, F., Rodríguez, A., Carrillo, F., & Téllez, J. (2015). Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale,. *Investigación y Ciencia* .
- De La Cruz Vega, S., Mendoza, C., Sánchez, J., Pezo, A., Ascoy, K., Gonzales, T. y Mejía, C. (2022). Hidrología. Capítulo 5. Delimitación de una cuenca con ArcGIS. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, Ciudad de México, México. ISN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), marzo- abril, 2022, Volumen 6, Número 2. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i2.1906 p 559
- Delgadillo, A. & Páez, G. (2008). Aspectos hidrológicos, subcuencas susceptibles a crecidas, escenarios de riesgo. En C. Ferrer & M. Duarte (Eds.). (2008). Plan de desarrollo urbano del Municipio Antonio Pinto Salinas, bajo el enfoque de gestión del riesgo. Caracterización del riesgo de la cuenca del valle Mocoties. Mérida: FUNDAPRIS.
- Domínguez, R., León, M., Samaniego, j. & Sunkel, O. (2019). Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad, 70 años de pensamiento de la CEPAL. *Libros de la CEPAL*, N° 158 (LC/PUB.2019/18-P), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Estación meteorológica 841170 SEMT, 2022. Climatología de Manta. *Tutiempo Network, S.L.*
Disponible en <https://www.tutiempo.net/clima/ws-841170.html>

Fernández, C., Arias, P., Rodríguez, Y. & León, A. (2021). Modelo lluvia-escurrimiento para la cuenca del río Yanuncay en Cuenca, Ecuador. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 42(3), 127-153. Epub 21 de julio de 2021. Recuperado en 29 de marzo de 2022, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382021000300127&lng=es&tlng=es.

Fuentes, J. (2004). Análisis morfométrico de cuencas: caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancítaro. México: Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas. Instituto Nacional de Ecología (INE).

Guevara, R., Olgún, J., Mancilla, O., & Barreto, O. (2019). Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Ayuquila, Jalisco-México. *Revista GeoFocus.*, 141-158. doi: <http://dx.doi.org/10.21138/GF.622>

Herencia, B., & Carrera, C. (2019). Estimación de caudales medios y máximos de la cuenca del río Checras mediante ecuaciones sintéticas y racionales. *Revista del Instituto de Investigación*.

Hernández, E., (sf). La cuenca hidrográfica. FCFA. Universidad de los Andes. Mérida – Venezuela

Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2014) *Metodología de la Investigación*. México: McGraw Hill Education.

Horton, R. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. . *Bull. Geol. Soc. Am.*, 56(1), 275-370.

Huerta, P. & Loli, O. (2014). Erosión hídrica en la cuenca alta del río Moche. *Ecología Aplicada*, 13(1), 15-22. Recuperado en 30 de mayo de 2022, de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162014000100002&lng=es&tlng=es

Ibáñez, A. S., Moreno, R. H., Gisbert, B. J. (2008). *Morfología de las cuencas hidrográficas*.

INE. (2004). Instituto Nacional de Ecología. Análisis morfométrico de cuencas: caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancítaro. México. pp. 47.

- Instituto Nacional de Estadística y Censos – INEC. (2008). Población del cantón Manta. Disponible en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Fasciculos_Censales/Fasc_Cantonales/Manabi/Fasciculo_Manta.pdf
- Jiménez, L. (2011). Caracterización de la microcuenca del río Manzano, cantón Alausí, provincia de Chimborazo y propuesta de plan de manejo, utilizando herramientas SIG. Obtenido de: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/4288>.
- López, I. J. (2015). *Alternativas de manejo sustentable de la subcuenca del río Pitura, provincia de Imbabura, Ecuador*. Título obtenido de Maestría en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas.
- Lux, B. (2012). *Conceptos básicos de morfometría de cuencas hidrográficas*. Título obtenido de Maestría en Energía y Ambiente.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería - MAGAP (2002). Cobertura y uso de la tierra. Caracterización de uso del suelo, disponible en Archivos de Información Geográfica.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería - MAGAP. (2017). Ministerio de Agricultura y Ganadería. Mapa de órdenes del suelo del Ecuador. Disponible en: http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/MEMORIA_MAPA_DE_ORDENES_DE_SUELOS_MAG_SIGTIERRAS.pdf
- Medeiros, F., Lima, J., Silva, R., Pereira, S., Freitas, A., Lima, A., Lima, L., Silva, J. L., & Monte, A. (2019). Analysis of morphometric variables of river Espinharas hydrographic sub-basin using geographic information system. *Journal of Experimental Agriculture International*, 31(6), 1-18. Recuperado de <https://doi.org/10.9734/jeai/2019/v31i63008>
- MINAMBIENTE. (2017). Caracterización de la Cuenca del río La Vieja “Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del río La Vieja” Colombia.
- Monsalve, G. 2000. Hidrología en la Ingeniería. Escuela Colombiana de Ingeniería. Santafé de Bogotá – Colombia.
- Paz, F. (2022). Río: territorios posibles. Red Cultural del Banco de la República, Colombia. *Revista Banrepcultural*. Disponible en: https://enciclopedia.banrepcultural.org/index.php/Hoya_hidrogr%C3%A1fica#cite_note-1

- Pincay, D., Zambrano, D., & Cartaya, S. (2019). Análisis morfométrico de la cuenca del río Portoviejo, Manabí, Ecuador. Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí”.
- Quesada, A. & Barrantes, G. (2017). Modelo morfométrico para determinar áreas susceptibles a procesos de ladera. *Investigaciones geográficas*, (94) <https://doi.org/10.14350/rig.57318>
- Sánchez, H., Reyes, C., Mejía, K. (2018). Manual de términos en investigación científica, tecnología y humanística.
- Strahler, A. (1952). “Hypsometric (area-altitud) analysis of erosional topography”. *Bulletin of Geological Society of America*, 63, 1117- 1142.
- SUBDERE, S. d. (2013). Guía Análisis y Zonificación de Cuencas Hidrográficas para el Ordenamiento Territorial. Chile.
- Vásconez, M., Mancheno, A., Álvarez, C., & Prehn, C. (2019). Cuencas Hidrográficas. Quito: Abya-Yala.
- Verdugo, M. (2017). Análisis morfométrico de las microcuencas a las que pertenece el Bosque y Vegetación Protectora AGUARONGO (BVPA), Influencia en el comportamiento hidrológico. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Villota, M. (2019). Análisis morfométrico de la cuenca del río Mulaló utilizando herramientas de SIG. Bogotá, Colombia.
- Vinces, D. (2018). Impactos Ambientales de las descargas de aguas negras en el río Burro de la ciudad de Manta. Jipijapa, Manabí, Ecuador.
- Zhicay, J. (2020). Caracterización morfométrica y estudio hidrológico de la microcuenca del río San Francisco, cantón Gualaceo. Universidad Politécnica Salesiana – Sede Cuenca. 1-120. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18364/1/UPS-CT008684.pdf>

ANEXOS

Anexo 1

Precipitaciones mensuales de la ciudad de Manta del período 2012 hasta el 2021.

Precipitaciones Anuales (mm)														
Años	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agos.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Suma	Promedio P Mensual/Año
2012	123,8	159,2	129,4	7	4,4	0	0	0	0	0	0	3,6	427,40	35,62
2013	125,8	58,9	144,5	87,7	0	0	0	0	0	0	0	0	416,90	34,74
2014	49,5	26,3	0	10	4,3	0	0	0	0	0	0	17,2	107,30	8,94
2015	4,8	45,5	7,6	17	8,8	0	0	0	0	0	0	6,3	90,00	7,50
2016	111,3	100,5	36,1	16,9	0	0	0	0	0	0	0	0	264,80	22,07
2017	104,9	114,54	43,18	41,15	47,5	2,54	7,87	0	0	2,54	0	6,35	370,57	30,88
2018	2,79	92,94	34,29	2,29	7,87	0	0,25	0	0	0	0	28,96	169,39	14,12
2019	46,22	128,2	67,83	7,11	1,27	1,52	0	0	0	0	0,25	0	252,40	21,03
2020	4,07	44,2	12,19	15,5	4,32	0	0	0	0	0	0	0,76	81,04	6,75
2021	123,95	39,87	67,06	9,65	13,47	0	0	0	0	0,51	0	39,11	293,62	24,47
Total Promedio Anual Medio													247,34	20,61

Fuente: Estación meteorológica 841170 SEMT, 2022.

Elaboración: Propia del autor.

Anexo 2

Procedimiento de cálculos realizados.

Ancho promedio

$$Ap = \frac{A}{La}$$

$$Ap = \frac{38.62}{11.25} = 3.433$$

Coefficiente de compacidad (K_C)

$$Kc = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

$$Kc = 0.282 \frac{51.61}{\sqrt{38.62}} = 2.342$$

Coefficiente de forma (K_F)

$$Kf = \frac{A}{L^2}$$

$$Kf = \frac{38.62}{11.25^2} = 0.305$$

Pendiente de la cuenca

$$Sc = \frac{D * L}{A}$$

$$Sc = \frac{0.05 * 103.13}{38.62} = 13.35$$

Densidad de drenaje

$$Dd = \frac{L}{A}$$

$$Dd = \frac{11.25}{3.433} = 3.27$$

Caudal medio

$$Qm = aA^b$$

$$a = \frac{31,71 * C * P}{10^6}; b = 1$$

- Cálculo de a y b

$$a = \frac{31,71 * 0,25 * 20,61}{10^6}; b = 1$$

$$a = 0.000163385; b = 1$$

- Cálculo del caudal medio

$$Qm = 0.000163385 * 38.62^1$$

$$Qm = 0,0063099 \text{ m}^3/\text{s}$$

Resultado: el caudal medio de la cuenca es de 0,006 m³/s.

Anexo 3

Tabla de uso de suelos atendiendo a la pendiente clasificada y grupos hidrológicos.

USO DE LA TIERRA	PENDIENTE	A	B	C	D
Barbecho R	≥ 3	77	68	89	93
Barbecho N	≥ 3	74	82	86	89
Barbecho R/N	< 3	71	78	82	86
Cultivos en hilera R	≥ 3	69	79	86	89
Cultivos en hilera N	≥ 3	67	76	82	86
Cultivos en hilera R/N	< 3	64	73	78	82
Cereales de invierno R	≥ 3	63	75	83	86
Cereales de invierno N	≥ 3	61	73	81	83
Cereales de invierno R/N	< 3	59	70	78	81
Rotación de cultivos pobres R	≥ 3	66	77	85	89
Rotación de cultivos pobres N	≥ 3	64	75	82	86
Rotación de cultivos pobres R/N	< 3	63	73	79	83
Rotación de cultivos densos R	≥ 3	58	71	81	85
Rotación de cultivos densos N	≥ 3	54	69	78	82
Rotación de cultivos densos R/N	< 3	52	67	76	79
Pradera pobre	≥ 3	68	78	86	89
Pradera media	≥ 3	49	69	78	85
Pradera buena	≥ 3	42	60	74	79
Pradera muy buena	≥ 3	39	55	69	77
Pradera pobre	< 3	46	67	81	88
Pradera media	< 3	39	59	75	83
Pradera buena	< 3	29	48	69	78
Pradera muy buena	< 3	17	33	67	76
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal pobre	≥ 3	45	66	77	83
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal media	≥ 3	39	60	73	78
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal buena	≥ 3	33	54	69	77
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal pobre	< 3	40	60	73	78
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal media	< 3	35	54	69	77
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal buena	< 3	25	50	67	76
Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) muy clara		56	75	86	91
Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) clara		46	68	78	83
Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) media		40	60	69	76
Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) espesa		36	52	62	69
Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) muy espesa		29	44	54	60
Rocas permeables	≥ 3	94	94	94	94
Rocas permeables	< 3	91	91	91	91
Rocas impermeables	≥ 3	96	96	96	96
Rocas impermeables	< 3	93	93	93	93

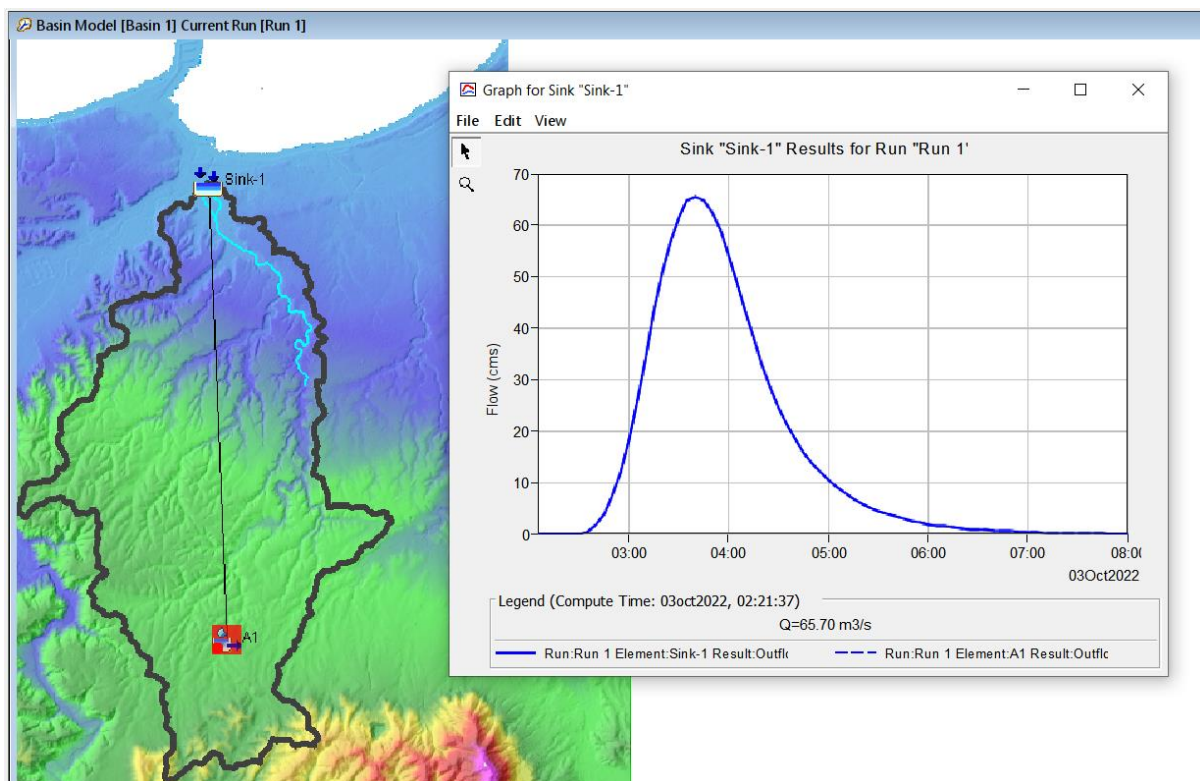
Anexo 4

Datos morfométricos

Parámetros morfométricos generales			Parámetros morfométricos asociados a la forma del relieve		
Parámetros	Simbolos	Valor	Parámetros	Simbolos	Valor
Area(Km2)	A	38.62	Cota maxima (msnm)	cmax	366.26
Perimetro (Km)	P	51.61	Cota minima (msnm)	cmin	1.32
Longitud maxima (Km)	LM	11.25	Altura media de la cuenca (msnm)	Am	145.98
Longitud cauce principal (Km)	LCP	10.80	Pendiente promedio de la cuenca	Smed	0.1335
Ancho de la cuenca	B	3.43	Altitud mayor del cauce	Acsup	93.10
Desnivel altitudinal (m)	DA	364.94	Altitud menor del cauce	Acinf	1.32
Parámetros morfométricos asociados a la forma de la cuenca			Parámetros morfométricos asociados a la red de drenaje		
Parámetros	Simbolos	Valor	Parámetros	Simbolos	Valor
Factor de la forma	Rf	0.305	Longitud total del drenaje (msnm)	Lt (Km)	52.44
Coeficiente de compacidad	Kc	2.34	Densidad del drenaje	Dd (Km/Km2)	1.36
Coeficiente de circularidad	LM	0.18	Pendiente del cauce	Sc	0.008
			Tiempo de concentracion (hrs). CCP	Tc	1.53
			Tiempo de concentracion (hrs). Kirpich	Tc	0.90

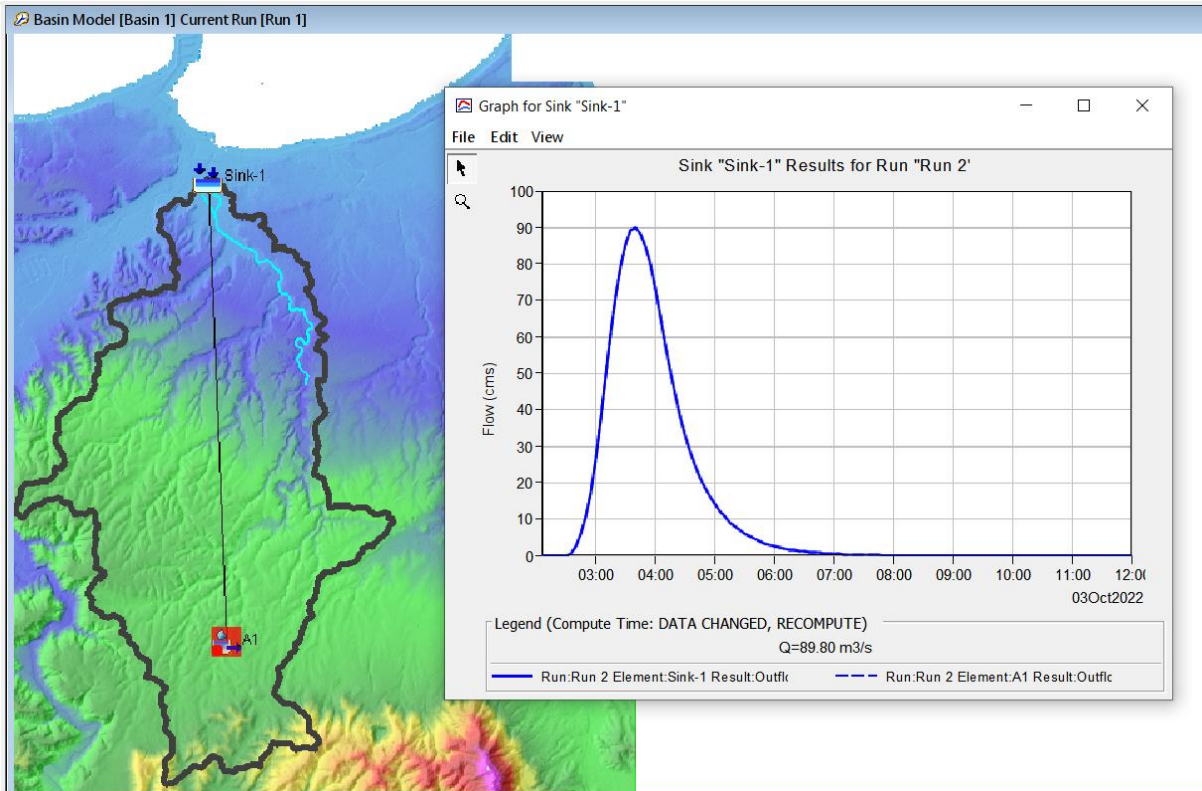
Anexo 5

Simulación para periodo de retorno de 25 años



Anexo 5

Simulación para periodo de retorno de 50 años



Anexo 5

Simulación para periodo de retorno de 100 años

