# Priorización de Intervención de las Subcuencas del río Chone en Ecuador, mediante el uso de Geotecnologías

## Subwatersheds Intervention Prioritization of the Chone river, Ecuador, using Geotechnologies

## Priorização da Intervenção das Sub-bacias do rio Chone no Equador, através do uso de Geotecnologias

**Jessica Bailón Pincay** [(1)]
jelitza1103@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-8991-0785

**Glany Llumiquinga Guerrero** [(1)]
gellg@hotmail.com
https://orcid.org/0000-0001-8855-2632

**Scarlet Cartaya Ríos** [(1), (2)]
scarlet.cartaya@uleam.edu.ec
scarlet.cartaya@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-8291-783X

[(1)]**Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador**

[(2)] **Centro de Investigaciones Estudios del Medio Físico de Venezuela - Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Venezuela**

Artículo recibido en mayo, arbitrado en junio y publicado en septiembre 2020

***RESUMEN***

*El objetivo es identificar el orden de prioridad de intervención de las subcuencas del río Chone, basado en la interrelación entre la morfometría y la cobertura vegetal. Se emplearon las Geotecnologías para facilitar el análisis espacial. Los parámetros morfométricos se extrajeron del Modelo Digital de Elevación (DEM) ALOS-PALSAR y para identificar las coberturas vegetales se usó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) extraído de las imágenes satelitales SENTINEL-2. La comprobación de campo se realizó mediante muestreo no aleatorio en áreas de interés. Los datos se normalizaron y mediante ecuaciones se categorizaron para definir tres niveles de intervención, estos son: alto, medio y bajo grado de prioridad de intervención. Se concluye que 9 subcuencas categorizaron en grado alto (46,80 %; 1230,84 Km$^2$), 10 en grado medio (45,96%; 1208,72 Km$^2$) y 4 en grado bajo (7,24%; 190,41 Km$^2$).*

***Palabras clave:*** *cuenca de drenaje; erosión hídrica; Geotecnologías; morfometría; NDVI*

## *ABTRACT*

*The aim is identify the order of priority of intervention in the subwatersheds in the Chone River, based on the interrelation between morphometry and vegetation cover. Geotechnologies were used to facilitate spatial analysis. The morphometric parameters were extracted from the ALOS-PALSAR Digital Elevation Model (DEM) and to identify the vegetation cover the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), from the SENTINEL-2 satellite images was used. The field check was carried out by means of non-random sampling in areas of interest. The data were normalized and equations were categorized to define three levels of intervention, these are high, medium and low degree of priority of intervention. It is concluded that: 9 subwatersheds categorized in high grade (46.80%; 1230.84 km$^2$), 10 in medium grade (45.96%; 1208.72 km$^2$) and 4 in low grade (7.24%; 190.41 Km2).*


***Keywords:*** *watershed; water erosion; Geotechnologies; morphometry; NDVI*


## *RESUMO*

*O propósito da pesquisa é identificar a ordem de prioridade de intervenção nas sub-bacias do rio Chone, baseados na inter-relação entre morfometria e cobertura vegetal. Para facilitar a análise espacial foram usadas as geotecnologias. Os parâmetros morfométricos foram extraídos do Modelo Digital de Elevação ALOS-PALSAR (DEM) e o a cobertura vegetal de Índice de Vegetação por Diferenças Normalizadas (NDVI) foi obtido a partir das imagens de satélite SENTINEL-2. A verificação dos dados foi realizada por meio de amostragem não aleatória nas áreas de interesse. Os dados foram normalizados e as equações foram categorizadas para definir três níveis de intervenção: alto, médio e baixo grau de prioridade de intervenção. Conclui-se que 9 sub-bacias são categorizadas em alto grau (46,80%; 1230,84 km2), 10 em médio grau (45,96%; 1208,72 km2) e 4 em baixo grau (7,24%; 190,41 km2).*


***Palavras-chave:*** *bacias; erosão hídrica; Getecnologias; morfometría; NDVI*

## INTRODUCCIÓN

Una cuenca hidrográfica es más que un área drenada por un río principal y sus tributarios, se trata de un espacio geográfico donde se articula la relación hombre - naturaleza, por cuanto todo lo que sucede dentro de sus límites es relevante para la disponibilidad, calidad y permanencia del recurso agua (Villón, 2002; Gaspari *et al.,* 2013a; Manjunath y Suresh, 2014), en consecuencia, el comportamiento hidrológico está indisolublemente relacionado con factores y elementos tanto físicos como antrópicos (Sheng, 1992).

La cuenca del río Chone está comprendida entre 0º27'20.14" y 1º4'15.04" de latitud Sur y entre 79º52'11.79" a 80º27'14.23" de longitud Oeste, cubre un área de 2.630 $Km^2$. Limita al norte con las cuencas del río Briceño y río Jama, al sur con las cuencas del río Portoviejo y río Guayas, al oeste con el océano Pacífico, al este con la cuenca del río Guayas. Sus principales afluentes son los ríos Garrapata, Mosquito y Río Grande, estos conforman un sistema hidrológico que confluyen en la ciudad de Chone (Gutiérrez, 2008) (Grafico 1).




***Gráfico* 1. Área de estudio, Cuenca río Chone, Ecuador.**

La cuenca del río Chone es la segunda más importante en la región costera de Ecuador. Está expuesta a las precipitaciones anuales del período invernal (diciembre-mayo) y a las extraordinarias por eventos meteorológicos asociados a la Oscilación Sur (ENSO) conocido como el fenómeno de El Niño. Este río consta de 3 afluentes principales, estos son: Garrapata, Mosquito y Río Grande, que confluyen previo a la

ubicación de la ciudad de Chone, originándose durante el período lluvioso, caudales que han ocasionado más de 200 inundaciones en un período de 35 años (Asesores y Consultores del Litoral, 2008). La cuenca está integrada por 23 subcuencas.

Esta cuenca ha experimentado en los últimos años la expansión de la frontera agropecuaria y urbana, trayendo como consecuencia la reducción de la capa vegetal, principalmente, los bosques. La pérdida de la vegetación deja expuesto suelos y cauces, favoreciendo los procesos erosivos y los cambios en el comportamiento hidrológico.

El comportamiento hidrológico está vinculado estrechamente con los parámetros morfométricos que dependen de la conducta del sistema de drenaje total (Pochat, 2008). En este orden de ideas, es apropiado destacar, que la morfometría es un medio esencial en el análisis geomorfológico de un área determinada (Esquivel-Arriaga *et al*., 2016), al mismo tiempo, puede facilitar conclusiones preliminares sobre las características ambientales del área, a partir de la descripción precisa de la geometría de las formas superficiales (Gaspari, *et al*., 2013b). Estos parámetros permiten determinar los diferentes niveles de riesgo y de protección ambiental, como es el caso de la priorización de subcuencas y cuencas (López-Pérez, *et al*., 2015).

El estado de desarrollo de la cobertura vegetal y su manejo, también ejercen fuerte influencia sobre las características hidrológicas. Esta puede ser estudiada mediante el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). El NDVI facilita la interpretación directa de los parámetros biofísicos de la vegetación (Merg,. *et al*., 2011), ya que permite identificar la presencia de vegetación en la superficie, caracterizar su distribución espacial y temporal (Di *et al*., 1994), así como también, la variación de la cobertura vegetal y su efecto en el escurrimiento superficial (Andréassian, 2004).

Por consiguiente, el estudio en conjunto de los parámetros morfométricos y el NDVI, mediante el uso de las Geotecnologías, favorece el análisis de la dinámica y distribución espacial de la cuenca, tomando en cuenta la relación que existe entre la morfología y el

desarrollo de la vegetación. En este sentido, el objetivo de este estudio es identificar el orden de prioridad de intervención de las subcuencas del río Chone, basado en la interrelación entre la morfometría y la cobertura vegetal, con la finalidad de impulsar programas de restauración hidrológica ambiental.

En el análisis de parámetros morfométricos de forma y lineales se trabajó con el DEM ALOS-PALSAR y se extrajo el NDVI de las imágenes satelitales SENTINEL-2, estas proporcionan ventajas en la identificación de las coberturas de la tierra (suelos desnudos, vegetación, cuerpos de agua) y en la interpretación de variables biofísicas de la vegetación. Tanto la morfometría como el NDVI de cada una de las 23 subcuencas, fueron categorizadas en forma individual para determinar su actuación en la degradación hídrica. Posteriormente, mediante normalización de la data y ecuaciones se obtuvo un parámetro compuesto que permitió construir una categorización final de grados de priorización de la intervención en las subcuencas de drenaje.

## MÉTODO

### Selección DEM ALOS-PALSAR, Imágenes SENTINEL y software SIG

Se utilizó para calcular los parámetros morfométricos el DEM ALOS-PALSAR, éste tiene una resolución espacial de 12, 5 m, de marzo de 2011, descargada de la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA). En la determinación del NDVI se emplearon las imágenes ópticas de alta resolución del satélite SENTINEL-2, nivel 1C (TOA), con menos del 10% de nubes, correspondientes al período lluviosos (enero-abril, 2019) y resolución espacial de 10 m (son más sensibles a la luz y tienen un mayor rango de cobertura que las imágenes Landsat); fueron descargadas de la plataforma Copernicus Services Data Hub de la Agencia Espacial Europea (ESA). Tanto el DEM como las imágenes satelitales, son productos liberados y fueron procesados con el software ArcGis 10.3.

**Parámetros Morfométricos**

Las características de área, perímetro, longitud del cauce principal, longitud total y número total de cauces, se obtuvieron del DEM con las herramientas hidrológicas del software, tales como: *3D Analyst Tools* y *Hydrology* como: *Contour, TIM, Interpólate Shape, Flow Direction, Flow Acumulation, Flow Lenght, Raster Calculator, Stream Link, Stream Order y Stream Feature.* Se utilizaron 4 escenas para completar la totalidad de superficie de la cuenca del río Chone. Luego se generó un mosaico, de donde se extrajo la cuenca de drenaje mediante una máscara por recorte y se rellenó para corregir los pixeles en blanco, mediante la función *Fill*. Posteriormente, se delimitaron las subcuencas y se extrajeron (Biswas *et al*., 1999; Nooka-Ratnam *et al*., 2005; Javed *et al.,* 20009; Tamang *et al.,* 2012; Tolessa y Rao, 2013: López-Pérez *et al*., 2015). Finalmente, después de obtener los datos básicos, se calcularon los parámetros morfométricos lineales y de forma de las 23 subcuencas, para ello se emplearon las ecuaciones del cuadro 1.

Los parámetros lineales y de forma, permiten la evaluación del grado de degradación de los suelos por los sistemas de drenaje, éstos se analizaron utilizando estadística descriptiva (mínimo, máximo, media, desviación estándar y coeficiente de variación), (Biswas et al., 1999).

> La priorización de subcuencas mediante el análisis morfométrico se basa en la asignación de valores enteros ascendentes a cada parámetro calculado, en función del grado de afectación que tienen sobre el crecimiento longitudinal y transversal del sistema de drenaje; los parámetros lineales, como relación de bifurcación media ($Rbm$), densidad de drenaje ($Dd$), densidad hidrográfica ($Dh$), textura del drenaje ($Rt$) y longitud del flujo superficial ($Lg$), tienen una relación directa con la degradación específica de las áreas de intervención, es decir, a mayores valores de estos parámetros, mayor es la degradación (López-Pérez *et al*., 2015, p.124).

***Cuadro* 1. Parámetros morfométricos lineales y de forma.**

| Parámetro | Ecuación | Autor | Año |
|---|---|---|---|
| **Lineales** | | | |
| Densidad de drenaje (km/ km$^2$) | $D_d = \frac{L_{tc}}{A}$ | Horton | 1945 |
| Densidad hidrográfica (cauces/km$^2$) | $D_h = \frac{N_u}{A}$ | Horton | 1945 |
| Relación de bifurcación media | $R_{bm} = R_{bm} =$ Promedio de la relación de bifurcación de cada uno de los órdenes. | Strahler | 1957 |
| Textura de drenaje (cauces/km) | $R_t = \frac{N_u}{P}$ | Horton | 1945 |
| Longitud del flujo superficial (km) | $L_g = \frac{1}{2D_d}$ | Horton | 1945 |
| **De forma** | | | |
| Relación de elongación | $R_e = \frac{2}{L_c} \times \left(\frac{A}{\pi}\right)^{0.5}$ | Schumn | 1956 |
| Relación de circularidad | $R_c = \frac{4\pi A}{P^2}$ | Miller | 1953 |
| Coeficiente de compacidad | $C_c = 0.2821 \frac{P}{A^{0.5}}$ | Gravelius | 1914 |
| Factor de forma | $R_f = \frac{A}{L_c^2}$ | Horton | 1932 |
| Forma de la cuenca | $B_s = \frac{L_c^2}{A}$ | Horton | 1932 |

Fuente: López-Pérez *et al.* (2015).

En contraste, los parámetros de forma, como la relación de elongación ($Re$), relación de circularidad ($Rc$), coeficiente de compacidad ($Cc$), factor de forma ($Rf$) y forma de la cuenca ($Bs$), tienen una relación inversa con la degradación específica de las áreas de intervención; es decir, a valores más bajos, mayor es la degradación; por lo tanto, al valor más bajo de estos parámetros se le asignará el valor de 1 y así de forma

consecutiva (Biswas *et al*., 1999; Nooka-Ratnam *et al*., 2005; Javed, 2009; Kanth y Hassan, 2012; Kiran y Srivastasa, 2012; Tamang *et al.,* 2012; López-Pérez *et al*., 2015).

**Determinación del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)**

Para determinar el NDVI se empelaron las imágenes SENTINEL-2, las cuales se les aplicó corrección atmosférica para descartar las interferencias debido a las condiciones climáticas, mediante la herramienta SNAP del software Sen2Cor, lo que permitió pasar de 1C (reflectividad sobre la atmósfera - TOA) a 2A (reflectividad debajo de la atmósfera -BOA). Se trabajó con la banda 4 (rojo del espectro visible) y la banda 8 (infrarrojo cercano o NIR), estas fueron combinadas para crear una nueva imagen en formato ráster, que proporcionó una medida sobre la cantidad, calidad y desarrollo de la cobertura vegetal y su vigorosidad, (Carreño, 2018). Para este fin se aplicó la ecuación (Tarpley *et al*., 1984):

$$NDVI = \frac{IRC - R}{IRC + R} \quad (1)$$

Dónde:

IRC: infrarrojo cercano.
R: rojo.

Valores próximos a 1 corresponden a vegetación con actividad fotosintética y valores próximos a 0 corresponden a suelos desnudos o con escasa vegetación. Los valores negativos se asocian normalmente a zonas de agua (Carreño, 2018). Para tal fin se utilizaron cinco categorías para clasificar los diferentes niveles de NDVI (cuadro 2).

***Cuadro* 2. Clasificación de los valores de NDVI.**

| CLASIFICACIÓN | VALOR |
|---|---|
| Nubes y agua (NA) | < 0.01 |
| Suelo sin vegetación (SV) | 0.01-0.1 |
| Vegetación ligera (VL) | 0.1-0.2 |
| Vegetación mediana (VM) | 0.2-0.4 |
| Vegetación alta (VA) | >0.4 |

Fuente: López-Pérez *et al*. (2015).

La priorización de las subcuencas por NDVI se realizó de acuerdo con los siguientes criterios: (a) se eliminaron los valores de superficie para la clasificación de nubes y agua (NA) por no tener mayor relevancia de impacto en el estudio; (b) los NDVI de suelo sin vegetación (SV); y vegetación ligera (VL) tienen un impacto directo sobre la degradación específica; por lo tanto, a valores mayores de esta variable tienen mayor prioridad; (c) los NDVI de vegetación mediana (VM); y vegetación alta (VA) tienen una relación inversa en el proceso de degradación, por lo tanto, los valores menores de esta variable tienen mayor impacto sobre la degradación específica y así mayor prioridad (López-Pérez *et al.*, 2015).

**Categorías para la Priorización de las Áreas de Intervención**

Los parámetros morfométricos y el NDVI se clasificaron en función al grado de afectación que tienen sobre la degradación específica de los suelos; estos valores se promediaron para obtener un parámetro compuesto para morfometría ($PC_M$) y para NDVI ($PC_{NDVI}$), posteriormente, se clasificaron de menor a mayor valor, considerando intervalos de clase para la priorización alta, media y baja, respectivamente para los parámetros compuestos (PC) (Biswas et al., 1999; Nooka-Ratnam et al., 2005; Javed et al., 2009).

Los parámetros compuestos de cada uno de los componentes ($PC_M$ y $PC_{NDVI}$) permitió obtener un parámetro compuesto conjunto ($PC_{conjunto}$) que se determina con el promedio de ambos antes mencionados y se le asigna valores ascendentes en función del $PC_M$ y $PC_{NDVI}$ obtenido para cada una de las subcuencas. Al valor menor de $PC_{conjunto}$ se le asignó el nivel de prioridad global ($NP_{conjunto}$) de 1 y así de forma sucesiva; además, considerando los intervalos de clase entre los valores de $NP_{conjunto}$, se definieron los grados de prioridad global ($GP_{conjunto}$) de alto, medio y bajo de las subcuencas. Para definir los intervalos de clases se utilizaron las ecuaciones modificadas de López-Pérez *et al*. (2015):

$$\text{Intervalo de clase alto} < \left[PC_{min} + \left(\frac{PC_{max} - PC_{min}}{3}\right)\right] \quad (2)$$

$$\text{Intervalo de clase medio} = \begin{bmatrix} PC_{min} + \left(\frac{PC_{max} - PC_{min}}{3}\right) \\ Int.\,de\ clase\ alto + \left(\frac{PC_{max} - PC_{min}}{3}\right) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\text{Intervalo de clase bajo} > \left[Int.\,de\ clase\ alto + \left(\frac{PC_{max} - PC_{min}}{3}\right)\right] \quad (4)$$

**Validación de Campo**

Una vez cartografiado el grado de prioridad de las subcuencas del río Chone, se procedió a la verificación de campo, la coincidencia de las coberturas, con apoyo del personal técnico de la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA-CHONE). Para ello se seleccionaron 3 puntos de chequeo en cada una de las 9 subcuencas con alta prioridad de intervención, se determinaron sus coordenadas y las posibles rutas de acceso. Posteriormente, se realizó un trabajo de campo donde se identificaron los puntos de chequeo, con la ayuda de un GPS. Finalmente, se calculó el porcentaje de coincidencia entre lo arrojado por NDVI y lo hallado en campo.

**RESULTADOS**

**Análisis de Parámetros Morfométricos**

Se calcularon para las 23 subcuencas los parámetros dimensionales: área (A), perímetro (P), longitud del cauce principal (Lc), longitud total de los cauces (Ltc), número de cauces (Nu) y orden (U) (cuadro 3) y los parámetros lineales y de forma: densidad de drenaje (Dd); densidad hidrográfica (Dh); relación de bifurcación media (Rbm); textura de drenaje (Rt); longitud del flujo superficial (Lg); relación de elongación (Re); relación de circularidad (Rc); coeficiente de compacidad (Cc); factor de forma (Rf); factor de la cuenca (Bs) (cuadro 4).

El área de la cuenca hidrográfica del río Chone es de 2.630 $Km^2$, por lo que se le considera una cuenca grande (Villón, 2002) y su perímetro es de 301 km. Está conformada por 23 subcuencas con corrientes de órdenes que varían entre 5 y 8, perímetros superiores a 18 km, longitudes de cauces entre 8,08 y 36,10 km para las más pequeñas, y entre 105 y 1640 km para las de mayor tamaño (cuadro 3).

**_Cuadro_ 3. Parámetros dimensionales de las subcuencas**

| SUBCUENCA | A ($km^2$) | P (km) | $L_c$ (Km) | $L_{tc}$ (km) | Nu | U |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 18,29 | 18 | 8,08 | 105,13 | 7213 | 6 |
| 2 | 19,45 | 22 | 10,83 | 138,75 | 9392 | 6 |
| 3 | 301,19 | 110 | 21,58 | 1410,84 | 97938 | 7 |
| 4 | 29,36 | 23,34 | 10,02 | 145,87 | 9759 | 5 |
| 5 | 70,21 | 36,79 | 17,65 | 351,11 | 23607 | 5 |
| 6 | 57,1 | 32,58 | 15,98 | 286,46 | 19311 | 5 |
| 7 | 68,39 | 44,9 | 19,61 | 412,37 | 28167 | 7 |
| 8 | 255,33 | 71,81 | 31 | 1477,10 | 101272 | 7 |
| 9 | 22,3 | 21,15 | 11,01 | 121,31 | 8262 | 5 |
| 10 | 49,22 | 28,95 | 14,37 | 304,44 | 20713 | 6 |
| 11 | 163,59 | 65,16 | 22,78 | 1430,31 | 96120 | 8 |
| 12 | 22,37 | 19,83 | 9 | 108,89257 | 7314 | 5 |
| 13 | 35,38 | 26 | 12,20 | 310,998 | 20815 | 7 |
| 14 | 32,07 | 23 | 11,00 | 283,49 | 19022 | 7 |
| 15 | 118,23 | 50 | 23,77 | 988,20 | 66894 | 7 |
| 16 | 58,80 | 38 | 17,55 | 510,00 | 34620 | 7 |
| 17 | 311,6 | 164 | 20,82 | 1622,18 | 111366 | 6 |
| 18 | 152,02 | 60,67 | 28,58 | 1258,77 | 85180 | 8 |
| 19 | 222,06 | 69,3 | 36,1 | 1517,75 | 103010 | 7 |
| 20 | 185,56 | 54,2 | 26,42 | 1639,08 | 110597 | 7 |
| 21 | 163,79 | 77,78 | 16,51 | 793,83 | 54444 | 7 |
| 22 | 110,97 | 47,98 | 22,95 | 1021,32 | 68922 | 7 |
| 23 | 162,03 | 59,54 | 23,87 | 1516,02 | 101933 | 8 |
| *Min* | 18,29 | 18,00 | 8,08 | 105,13 | 7213 | 5 |
| *Max* | 311,60 | 164,00 | 36,10 | 1639,08 | 111366 | 8 |
| X | 114,32 | 50,65 | 18,77 | 771,92 | 52429,17 | 6,52 |
| $\partial$ | 92,69 | 33,93 | 7,54 | 589,72 | 40140,61 | 0,99 |
| *CV* | 0,81 | 0,67 | 0,40 | 0,76 | 0,77 | 0,15 |

***Cuadro* 4. Parámetros morfométricos de las subcuencas analizadas.**

| SUB CUENCA | Parámetros lineales | | | | | Parámetros forma | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $D_d$ | $D_h$ | $R_{bm}$ | $R_t$ | $L_g$ | $R_e$ | $R_c$ | $C_c$ | $R_f$ | $B_s$ |
| 1 | 5,75 | 394,43 | 2,13 | 400,72 | 0,087 | 0,597 | 0,709 | 1,187 | 0,280 | 3,57 |
| 2 | 7,13 | 482,78 | 1,88 | 426,91 | 0,070 | 0,460 | 0,505 | 1,407 | 0,166 | 6,03 |
| 3 | 4,68 | 325,17 | 24,95 | 890,35 | 0,107 | 0,907 | 0,313 | 1,788 | 0,647 | 1,55 |
| 4 | 4,97 | 332,39 | 2,05 | 418,12 | 0,101 | 0,610 | 0,677 | 1,215 | 0,292 | 3,42 |
| 5 | 5,00 | 336,23 | 1,85 | 641,67 | 0,100 | 0,536 | 0,652 | 1,239 | 0,225 | 4,44 |
| 6 | 5,02 | 338,20 | 1,83 | 592,73 | 0,100 | 0,534 | 0,676 | 1,216 | 0,224 | 4,47 |
| 7 | 6,03 | 411,86 | 2,09 | 627,33 | 0,083 | 0,476 | 0,426 | 1,532 | 0,178 | 5,62 |
| 8 | 5,79 | 396,63 | 2,12 | 1410,28 | 0,086 | 0,582 | 0,622 | 1,268 | 0,266 | 3,76 |
| 9 | 5,44 | 370,49 | 1,90 | 390,64 | 0,092 | 0,484 | 0,626 | 1,263 | 0,184 | 5,44 |
| 10 | 6,19 | 420,82 | 1,76 | 715,47 | 0,081 | 0,551 | 0,738 | 1,164 | 0,238 | 4,20 |
| 11 | 8,74 | 587,57 | 13,86 | 1475,14 | 0,057 | 0,634 | 0,484 | 1,437 | 0,315 | 3,17 |
| 12 | 4,87 | 326,96 | 2,62 | 368,84 | 0,103 | 0,593 | 0,715 | 1,183 | 0,276 | 3,62 |
| 13 | 8,79 | 588,34 | 1,97 | 800,58 | 0,057 | 0,550 | 0,658 | 1,233 | 0,238 | 4,21 |
| 14 | 8,84 | 593,13 | 1,95 | 827,04 | 0,057 | 0,581 | 0,762 | 1,146 | 0,265 | 3,77 |
| 15 | 8,36 | 565,80 | 2,23 | 1337,88 | 0,060 | 0,516 | 0,594 | 1,297 | 0,209 | 4,78 |
| 16 | 8,67 | 588,73 | 1,89 | 911,05 | 0,058 | 0,493 | 0,512 | 1,398 | 0,191 | 5,24 |
| 17 | 5,21 | 357,40 | 2,02 | 679,06 | 0,096 | 0,957 | 0,146 | 2,621 | 0,719 | 1,39 |
| 18 | 8,28 | 560,32 | 2,03 | 1403,99 | 0,060 | 0,487 | 0,519 | 1,388 | 0,186 | 5,37 |
| 19 | 6,83 | 463,88 | 1,97 | 1486,44 | 0,073 | 0,466 | 0,581 | 1,312 | 0,170 | 5,87 |
| 20 | 8,83 | 596,02 | 2,08 | 2040,54 | 0,057 | 0,582 | 0,794 | 1,122 | 0,266 | 3,76 |
| 21 | 4,85 | 332,40 | 2,06 | 699,97 | 0,103 | 0,875 | 0,340 | 1,714 | 0,601 | 1,66 |
| 22 | 9,20 | 621,09 | 1,91 | 1436,47 | 0,054 | 0,518 | 0,606 | 1,285 | 0,211 | 4,75 |
| 23 | 9,36 | 629,10 | 2,08 | 1712,01 | 0,053 | 0,602 | 0,574 | 1,320 | 0,284 | 3,52 |
| *MIN.* | 4,68 | 325,17 | 1,76 | 368,84 | 0,053 | 0,460 | 0,146 | 1,122 | 0,166 | 1,39 |
| *MAX* | 9,36 | 629,10 | 24,95 | 2040,54 | 0,107 | 0,957 | 0,794 | 2,621 | 0,719 | 6,03 |
| *X* | 6,82 | 461,73 | 3,53 | 943,18 | 0,078 | 0,591 | 0,575 | 1,380 | 0,288 | 4,07 |
| *∂* | 1,73 | 115,03 | 5,28 | 486,48 | 0,019 | 0,137 | 0,156 | 0,319 | 0,153 | 1,30 |
| *CV* | 0,25 | 0,25 | 1,50 | 0,52 | 0,250 | 0,233 | 0,272 | 0,231 | 0,529 | 0,32 |

Se observa que todas las subcuencas tienen perímetros superiores a 18km, longitudes de cauces entre 8,08 y 36,10 km, longitudes de red hídrica de 105 a 1640 km. El coeficiente de variación de estos parámetros sugiere que se trata de subcuencas considerablemente diferentes entre sí.

**Densidad de drenaje ($D_d$)**

Las subcuencas reportan valores de 4.68 a 9.36 km/km$^2$ por lo que la densidad de drenaje es muy alta (cuadro 4). Valores altos de $D_d$ están asociados con regiones de poca resistencia a erosión, muy impermeables, pendientes fuertes y escasa cobertura vegetal, como consecuencia de este tipo de densidad de drenaje la escorrentía fluye por la superficie rápidamente, disminuyendo el tiempo de concentración y aumentando el pico de crecida (López-Pérez *et al.,* 2015).

**Densidad hidrográfica ($D_h$)**

Las subcuencas de la cuenca del río Chone, mostró una variación de 325 a 629 cauces por km$^2$, con un coeficiente de variación de 0,25%(cuadro 4). Este parámetro de la morfometría indica que valores altos están relacionados con materiales impermeables de baja capacidad de infiltración, vegetación escasa y condiciones de relieve pronunciadas (Kanth y Hassan, 2012).

**Relación de bifurcación media ($R_{bm}$)**

Los valores de $R_{bm}$ varían entre 1,76 a 24,95, donde 10 subcuencas con valores menores a 2; 11 subcuencas con valores de 2 a 2,63 y el resto sobrepasan el valor de 10 (cuadro 4). Entre más altos sean los valores de la $R_{bm}$ mayor es el grado de torrencialidad de área de drenaje y está ligado con diferentes respuestas de la crecida, en combinación con otras características morfométricas, como el coeficiente de compacidad (Strahler, 1964). A su vez, está asociada con la forma, entre más redonda es el área, está más expuesta a crecidas. Asimismo, mostró que la relación de bifurcación media (Rbm) tiene pequeños rangos de variación para diferentes regiones o ambientes, excluyendo aquellos que son forzadamente determinados por la geología (Strahler, 1957).

**Textura de drenaje ($R_t$)**

Smith (1950), establece una clasificación de la textura de drenaje con base en los siguientes rangos: muy grueso (< 200), gruesa (200 a 400), media (400 a 600), fina (600 a 800) y muy fina (> 800) (cuadro 4). La textura de drenaje, que refiere al número de cauces por área, varía en la cuenca de estudio, entre 368 a 2.040 cauces/Km, lo cual se interpreta que hay variaciones de la textura, que van desde gruesas a muy finas. De las 23 subcuencas sólo 2 tienen textura gruesa, 4 subcuencas textura media, 6 subcuencas textura fina y 11 subcuencas textura muy fina. Este parámetro es uno de los más importante en el concepto de la Geomorfología e indica la separación entre los cauces o tributarios (Londhe *et al*., 2010), significa que mientras más gruesa es la textura de drenaje la roca madre tiende a ser impermeable y los niveles de escorrentía superficial son más elevados.

**Longitud del flujo superficial ($L_g$)**

Los valores de $L_g$ en las subcuencas varían entre 0,053 y 0,107 Km (cuadro 4), indican que el trayecto del escurrimiento superficial es mínimo en los cauces de primer orden, este valor influye en el aporte de los volúmenes de agua al cauce principal y en la velocidad de concentración del flujo.

**Relación de elongación ($R_e$)**

Según Pareta y Pareta (2011), la relación de elongación permite categorizar en 5 formas, estas son: circular (> 0.9), ovalada (0.8 a 0.9), menos alargada (0.7 a 0.8), alargada (0.5 a 0.7) y muy alargada (< 0.5), Los valores de la relación de elongación varían dependiendo de una amplia variedad de litologías y climas (Magesh *et al.,* 2013; Strahler, 1964: Schumm, 1956). La relación de elongación de todas las subcuencas varió entre 0,460 a 0,957 (cuadro 4); resultando que 6 subcuencas son muy alargadas, 14 subcuencas son alargadas y 2 ovaladas.

**Relación de circularidad ($R_c$)**

Los valores extremos para las subcuencas están entre 0,146 y 0,794 (cuadro 4). Los valores cercanos a 1 tienen forma más circular y a 0 tiene forma más alargada (Sangita y Nagarajan, 2010). Los valores bajos, medios y altos de la relación de circularidad son indicadores de los distintos estados de desarrollo de las subcuencas (López-Pérez *et al*., 2015) y está, principalmente, relacionada con las características litológicas (Magesh *et al*., 2013).

**Coeficiente de compacidad ($C_c$)**

Los valores de coeficiente de compacidad varían entre 1,122 y 2,621(cuadro 4). Campos (1998), clasifica el coeficiente de compacidad en tres clases, estas son: clase I (1.0-1.25, casi redonda a oval-oblonga); clase II (1.26-1.50, oval-redonda a oval-oblonga), y clase III (de 1.51 a > 2, de oval-oblonga a rectangular-oblonga). En consecuencia, las subcuencas presentan diferencias significativas de formas entre sí.

**Factor de forma ($R_f$)**

En las subcuencas del río Chone, se encuentra que 19 de las mismas tienden a ser de forma alargada y sólo 3 de forma ensanchada siendo la de mayor ensanchamiento la subcuenca 17 con un valor de 0.719 (Cuadro 4). Las áreas de drenaje con valores cercanos a 0.6 son ensanchadas, mientras que valores bajos indican cuencas alargadas con crecidas de picos atenuados y de duración más larga (López-Pérez *et al*., 2015).

**Factor de la cuenca ($B_s$)**

En este parámetro las subcuencas varían entre 1,39 y 6,03, con un coeficiente de variación de 0.32% (cuadro 4). 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 Bs superior a la unidad proporciona el grado de alargamiento (Horton, 1932).

**Priorización de las Áreas de Intervención de las Subcuencas basada en el Análisis Morfométrico**

Obtenidos los valores de los parámetros morfométricos, se calculó un valor promedio denominado parámetro compuesto de la morfometría ($PC_M$), el cual permitió ordenar las subcuencas, de tal manera que al valor menor de $PC_M$ se le asignó el nivel de priorización ($NP_M$) de 1, incrementándose conforme el valor de $PC_M$ de las subcuencas hasta llegar al nivel 23. De acuerdo con el rango de valores de $PC_M$ se definieron los grados de priorización ($GP_M$), alto, medio y bajo, basados en López-Pérez *et al.* (2015). Los valores para la categorización de priorización fueron: prioridad alta < 11,37; media entre 11,37-12,84; y baja los valores >12,84 (cuadro 5).

Los grados de prioridad para la morfometría ($GP_M$) están asociados con el orden de intervención de las subcuencas, de tal forma que 10 subcuencas resultaron con una alta prioridad estas abarcan el 56,94% de la superficie total de la cuenca; 4 obtuvieron prioridad media (14,76%), y el resto de las subcuencas con una prioridad baja conformando el 28,30% de área total (gráfico 2).

**Cuadro 5. Priorización de subcuencas basado en el análisis morfométrico**

| SUB CUENCA | Parámetros lineales | | | | | Parámetros forma | | | | | $PC_M$ | $NP_M$ | $GP_M$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $D_d$ | $D_h$ | $R_{bm}$ | $R_t$ | $L_g$ | $R_e$ | $R_c$ | $C_c$ | $R_f$ | $B_s$ | | | |
| 1 | 15 | 15 | 5 | 21 | 9 | 17 | 19 | 5 | 17 | 7 | 13,00 | 12 | Bajo |
| 2 | 10 | 10 | 20 | 19 | 14 | 1 | 6 | 18 | 1 | 23 | 12,20 | 10 | Medio |
| 3 | 23 | 23 | 1 | 10 | 1 | 22 | 2 | 22 | 22 | 2 | 12,80 | 11 | Medio |
| 4 | 20 | 21 | 11 | 20 | 4 | 19 | 18 | 6 | 19 | 5 | 14,30 | 19 | Bajo |
| 5 | 19 | 19 | 21 | 16 | 5 | 10 | 15 | 9 | 10 | 14 | 13,80 | 16 | Bajo |
| 6 | 18 | 18 | 22 | 18 | 6 | 9 | 17 | 7 | 9 | 15 | 13,90 | 17 | Bajo |
| 7 | 13 | 13 | 7 | 17 | 11 | 3 | 4 | 20 | 3 | 21 | 11,20 | 7 | Alto |
| 8 | 14 | 14 | 6 | 6 | 10 | 14 | 13 | 11 | 14 | 10 | 11,20 | 7 | Alto |
| 9 | 16 | 16 | 18 | 22 | 8 | 4 | 14 | 10 | 4 | 20 | 13,20 | 13 | Bajo |
| 10 | 12 | 12 | 23 | 13 | 12 | 12 | 21 | 3 | 12 | 12 | 13,20 | 13 | Bajo |
| 11 | 6 | 7 | 2 | 4 | 18 | 20 | 5 | 19 | 20 | 4 | 10,50 | 5 | Alto |
| 12 | 21 | 22 | 3 | 23 | 3 | 16 | 20 | 4 | 16 | 8 | 13,60 | 14 | Bajo |
| 13 | 5 | 6 | 14 | 12 | 19 | 11 | 16 | 8 | 11 | 13 | 11,50 | 8 | Medio |
| 14 | 3 | 4 | 16 | 11 | 21 | 13 | 22 | 2 | 13 | 11 | 11,60 | 9 | Medio |
| 15 | 8 | 8 | 4 | 8 | 16 | 7 | 11 | 13 | 7 | 17 | 9,90 | 1 | Alto |
| 16 | 7 | 5 | 19 | 9 | 17 | 6 | 7 | 17 | 6 | 18 | 11,10 | 6 | Alto |
| 17 | 17 | 17 | 13 | 15 | 7 | 23 | 1 | 23 | 23 | 1 | 14,00 | 18 | Bajo |
| 18 | 9 | 9 | 12 | 7 | 15 | 5 | 8 | 16 | 5 | 19 | 10,50 | 5 | Alto |
| 19 | 11 | 11 | 15 | 3 | 13 | 2 | 10 | 14 | 2 | 22 | 10,30 | 3 | Alto |
| 20 | 4 | 3 | 8 | 1 | 20 | 15 | 23 | 1 | 15 | 9 | 9,90 | 1 | Alto |
| 21 | 22 | 20 | 10 | 14 | 2 | 21 | 3 | 21 | 21 | 3 | 13,70 | 15 | Bajo |
| 22 | 2 | 2 | 17 | 5 | 22 | 8 | 12 | 12 | 8 | 16 | 10,40 | 4 | Alto |
| 23 | 1 | 1 | 9 | 2 | 23 | 18 | 9 | 15 | 18 | 6 | 10,20 | 2 | Alto |

**Nota:** Parámetro compuesto morfometría (PCm); nivel de priorización morfometría (NPm); grado de priorización morfometría (GPm).

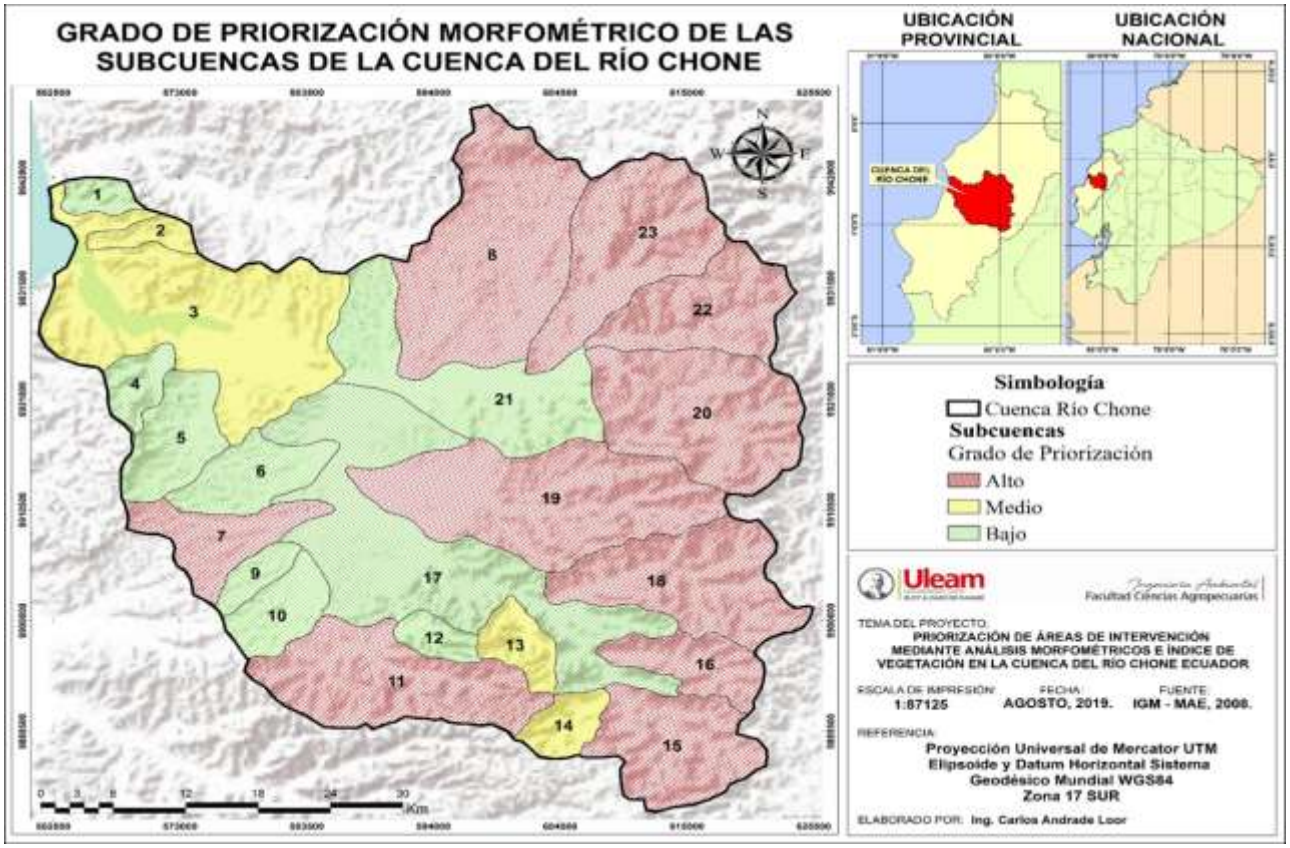


***Gráfico* 2. Grado de priorización de áreas de intervención de las subcuencas que conforman la cuenca Chone, mediante análisis morfométrico**.

**Análisis del NDVI**

Se calcularon los valores por hectáreas de superficie según la clasificación de la tabla 2. El rango de variación se encuentra entre 0,03 Ha (subcuenca 2 en NA) hasta y 171,74 Ha en la subcuenca 3 para VA (cuadro 6).

***Cuadro* 6. Superficie de las subcuencas, en función a la clasificación del NDVI**

| SUB CUENCA | Superficie con NDVI | | | | | | | | | | Superficie total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | NA | | SV | | VL | | VM | | VA | | |
| | Ha | % | Ha | % | Ha | % | Ha | % | Ha | % | Ha |
| 1 | 3,69 | 19,46 | 2,36 | 12,44 | 2,51 | 13,22 | 2,98 | 15,71 | 7,42 | 39,17 | 18,95 |
| 2 | 0,03 | 0,14 | 2,06 | 10,31 | 2,15 | 10,77 | 3,61 | 18,07 | 12,14 | 60,71 | 20,00 |
| 3 | 14,49 | 4,79 | 27,79 | 9,19 | 41,83 | 13,84 | 46,47 | 15,37 | 171,74 | 56,81 | 302,31 |
| 4 | 1,31 | 4,38 | 1,82 | 6,09 | 2,74 | 9,15 | 5,99 | 20,01 | 18,07 | 60,36 | 29,93 |
| 5 | 2,57 | 3,60 | 3,51 | 4,91 | 5,85 | 8,19 | 18,60 | 26,05 | 40,87 | 57,25 | 71,39 |
| 6 | 2,21 | 3,43 | 4,36 | 6,77 | 9,31 | 14,47 | 13,99 | 21,73 | 34,49 | 53,60 | 64,35 |
| 7 | 4,81 | 6,85 | 5,83 | 8,30 | 9,35 | 13,31 | 14,90 | 21,21 | 35,37 | 50,33 | 70,26 |
| 8 | 17,68 | 6,84 | 25,72 | 9,96 | 47,35 | 18,33 | 73,37 | 28,39 | 94,27 | 36,48 | 258,38 |
| 9 | 1,66 | 7,33 | 2,33 | 10,30 | 3,28 | 14,49 | 5,18 | 22,84 | 10,21 | 45,04 | 22,66 |
| 10 | 10,22 | 20,59 | 7,76 | 15,63 | 6,49 | 13,08 | 9,18 | 18,49 | 15,99 | 32,21 | 49,64 |
| 11 | 36,22 | 22,05 | 23,09 | 14,05 | 20,32 | 12,37 | 34,12 | 20,77 | 50,53 | 30,76 | 164,28 |
| 12 | 7,93 | 34,86 | 4,67 | 20,56 | 3,32 | 14,60 | 3,58 | 15,72 | 3,24 | 14,26 | 22,74 |
| 13 | 4,02 | 11,31 | 3,60 | 10,12 | 3,85 | 10,81 | 8,09 | 22,76 | 16,01 | 45,01 | 35,57 |
| 14 | 2,53 | 7,83 | 1,37 | 4,23 | 2,99 | 9,25 | 8,05 | 24,90 | 17,38 | 53,79 | 32,31 |
| 15 | 2,42 | 2,04 | 4,41 | 3,73 | 15,82 | 13,35 | 39,08 | 33,00 | 56,70 | 47,88 | 118,43 |
| 16 | 1,04 | 1,76 | 0,93 | 1,57 | 4,73 | 8,01 | 17,98 | 30,41 | 34,45 | 58,26 | 59,13 |
| 17 | 6,52 | 2,03 | 39,61 | 12,36 | 41,80 | 13,04 | 74,38 | 23,20 | 158,30 | 49,38 | 320,61 |
| 18 | 5,99 | 3,92 | 19,94 | 13,04 | 40,82 | 26,70 | 52,90 | 34,60 | 33,22 | 21,73 | 152,87 |
| 19 | 9,97 | 4,14 | 26,29 | 10,93 | 63,31 | 26,32 | 84,21 | 35,01 | 56,75 | 23,59 | 240,52 |
| 20 | 13,12 | 7,00 | 29,06 | 15,50 | 39,52 | 21,08 | 53,80 | 28,69 | 51,98 | 27,73 | 187,48 |
| 21 | 7,07 | 4,24 | 17,34 | 10,41 | 27,84 | 16,71 | 53,34 | 32,02 | 61,00 | 36,62 | 166,59 |
| 22 | 6,85 | 6,09 | 6,89 | 6,13 | 15,79 | 14,06 | 32,16 | 28,63 | 50,65 | 45,08 | 112,34 |
| 23 | 16,07 | 9,85 | 22,46 | 13,76 | 29,22 | 17,90 | 46,71 | 28,62 | 48,77 | 29,88 | 163,24 |

Nota: nubes y agua (NA); suelo sin vegetación (SV); vegetación ligera(VL); vegetación media(VM); vegetación alta(VA).

## Priorización de las Áreas de Intervención de las Subcuencas, Basada en el Análisis NDVI

Los datos obtenidos en el cuadro 6 fueron normalizados, para obtener el parámetro compuesto del NDVI ($PC_{NDVI}$) se le asignó 1 a la menor área ocupada, se fue incrementándose a medida que aumenta el área. De acuerdo con el rango de valores

de $PC_{NDVI}$ se definieron los grados de priorización ($GP_{NDVI}$) en alto, medio y bajo. Los valores para la categorización de priorización fueron: prioridad alta < 9,17; prioridad media entre 9,17 y 15,34; y para baja los valores > 15,34 (cuadro 7). 7 subcuencas (28,64%) tiene alta prioridad de intervención; 11 subcuencas que cubren el 59,63% reportaron prioridad media; y 5 subcuencas requieren prioridad baja, estas representan el 11,73% del total (gráfico 3).

***Cuadro* 7. Priorización del NDVI según el análisis de la superficie**

| SUBCUENCA | Priorización NDVI | | | | | $PC_{NDVI}$ | $NP_{NDVI}$ | $GP_{NDVI}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | NA* | SV | VL | VM | VA | | | |
| 1 | -- | 7 | 14 | 2 | 10 | 8,25 | 5 | Alto |
| 2 | -- | 11 | 19 | 4 | 23 | 14,25 | 15 | Medio |
| 3 | -- | 15 | 11 | 1 | 19 | 11,5 | 11 | Medio |
| 4 | -- | 19 | 21 | 6 | 22 | 17 | 17 | Bajo |
| 5 | -- | 20 | 22 | 14 | 20 | 19 | 20 | Bajo |
| 6 | -- | 17 | 9 | 9 | 17 | 13 | 13 | Medio |
| 7 | -- | 16 | 13 | 8 | 16 | 13,25 | 14 | Medio |
| 8 | -- | 14 | 4 | 15 | 8 | 10,25 | 8 | Medio |
| 9 | -- | 12 | 8 | 11 | 12 | 10,75 | 9 | Medio |
| 10 | -- | 2 | 15 | 5 | 7 | 7,25 | 3 | Alto |
| 11 | -- | 4 | 17 | 7 | 6 | 8,5 | 6 | Alto |
| 12 | -- | 1 | 7 | 3 | 1 | 3 | 1 | Alto |
| 13 | -- | 13 | 18 | 10 | 11 | 13 | 13 | Medio |
| 14 | -- | 21 | 20 | 13 | 18 | 18 | 19 | Bajo |
| 15 | -- | 22 | 12 | 21 | 14 | 17,25 | 18 | Bajo |
| 16 | -- | 23 | 23 | 19 | 21 | 21,5 | 21 | Bajo |
| 17 | -- | 8 | 16 | 12 | 15 | 12,75 | 12 | Medio |
| 18 | -- | 6 | 1 | 22 | 2 | 7,75 | 4 | Alto |
| 19 | -- | 9 | 2 | 23 | 3 | 9,25 | 7 | Medio |
| 20 | -- | 3 | 3 | 18 | 4 | 7 | 2 | Alto |
| 21 | -- | 10 | 6 | 20 | 9 | 11,25 | 10 | Medio |
| 22 | -- | 18 | 10 | 17 | 13 | 14,5 | 16 | Medio |
| 23 | -- | 5 | 5 | 16 | 5 | 7,75 | 4 | Alto |

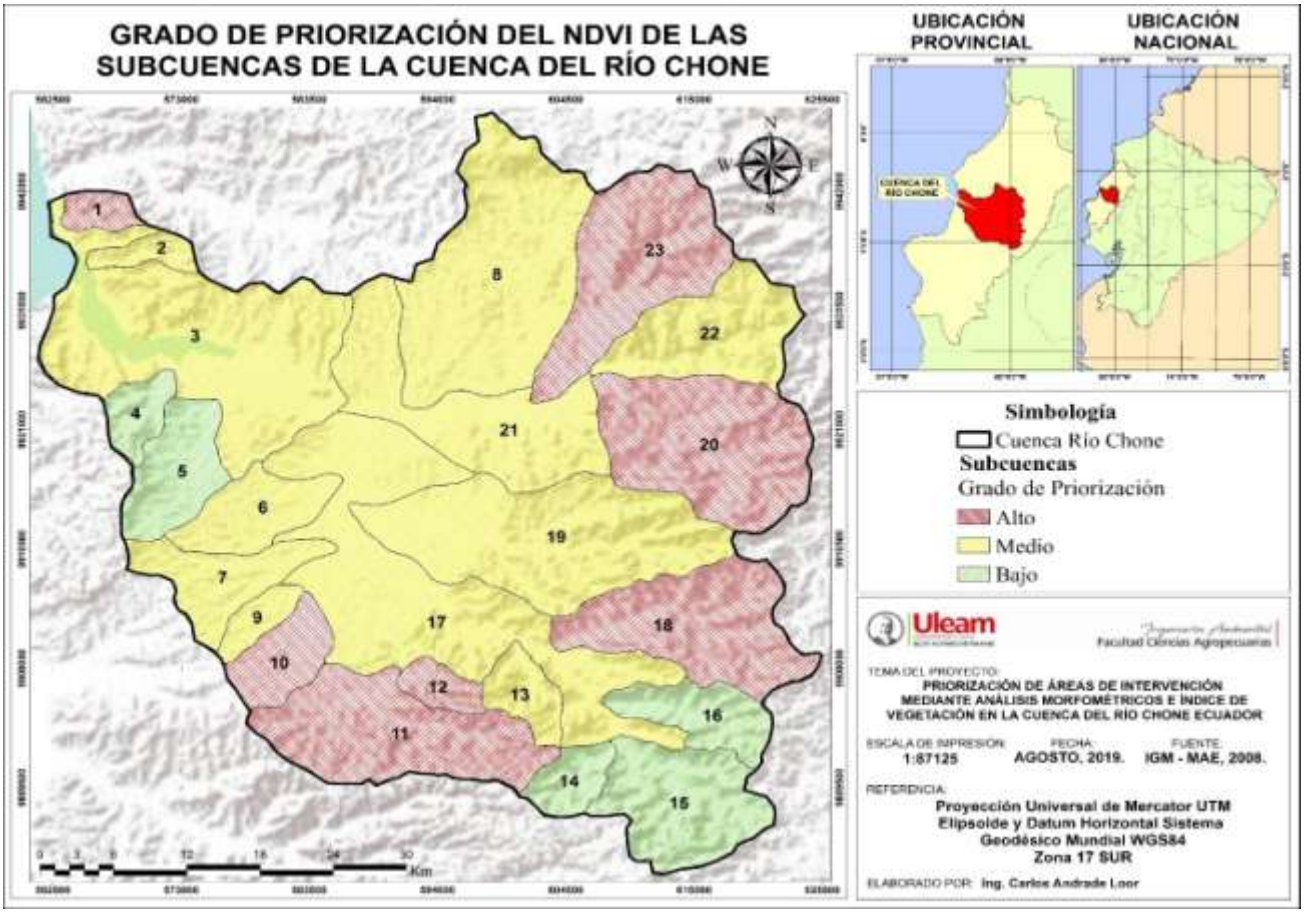


***Gráfico* 3. Grado de priorización de las áreas de intervención de las subcuencas en la cuenca Chone mediante NDVI.**

## Priorización de las Áreas de Intervención de las Subcuencas Considerando Ambos Componentes

Los valores para la categorización de priorización resultaron: para prioridad alta < 11; media, valores comprendidos de 11-13,70; y para baja los valores >13,70 (cuadro 8). Sobre la base de este análisis, se determinó que existen 9 subcuencas (1, 8, 10, 11, 12, 18, 19, 20 y 23) con de alta prioridad, estás representan 46,80% de la cuenca, siendo la subcuenca 12 la de prioridad más alta. 10 subcuencas de prioridad media, que representan 45,96%, y los 4 restantes (7,24%) con baja prioridad (cuadro 8) (gráfico 4).

El análisis morfométrico, combinado con el índice de vegetación, permite asociar parámetros lineales y de forma, que están relacionados con las variables hidrológicas

responsables del crecimiento de los sistemas de drenaje de las subcuencas y los cambios de la cobertura vegetal con el riesgo de degradación, que en conjunto permiten definir las áreas de intervención para la restauración hidrológica (López-Pérez *et al.,* 2015; Carreño, 2018).

Estos porcentajes muestran una diferencia notoria con los resultados obtenidos por López-Pérez *et al.* (2015), donde el mayor porcentaje se presentó en la categoría de baja prioridad, mientras que las subcuencas del río Chone tienen un área de afectación considerable.

***Cuadro* 8. Priorización conjunta de los componentes analizados (morfometría y NDVI)**

| SUBCUENCA | $PC_m$ (Morfometría) | $PC_{NDVI}$ (NDVI) | $PC_{conjunto}$ | $NP_{conjunto}$ | $GP_{conjunto}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 13,0 | 8,25 | 10,63 | 8 | Alto |
| 2 | 12,2 | 14,25 | 13,23 | 16 | Medio |
| 3 | 12,8 | 11,5 | 12,15 | 11 | Medio |
| 4 | 14,3 | 17 | 15,65 | 21 | Bajo |
| 5 | 13,8 | 19 | 16,40 | 23 | Bajo |
| 6 | 13,9 | 13 | 13,45 | 18 | Medio |
| 7 | 11,2 | 13,25 | 12,23 | 12 | Medio |
| 8 | 11,2 | 10,25 | 10,73 | 9 | Alto |
| 9 | 13,2 | 10,75 | 11,98 | 10 | Medio |
| 10 | 13,2 | 7,25 | 10,23 | 7 | Alto |
| 11 | 10,5 | 8,5 | 9,50 | 5 | Alto |
| 12 | 13,6 | 3 | 8,30 | 1 | Alto |
| 13 | 11,5 | 13 | 12,25 | 13 | Medio |
| 14 | 11,6 | 18 | 14,80 | 20 | Bajo |
| 15 | 9,9 | 17,25 | 13,58 | 19 | Medio |
| 16 | 11,1 | 21,5 | 16,30 | 22 | Bajo |
| 17 | 14,0 | 12,75 | 13,38 | 17 | Medio |
| 18 | 10,5 | 7,75 | 9,13 | 4 | Alto |
| 19 | 10,3 | 9,25 | 9,78 | 6 | Alto |
| 20 | 9,9 | 7 | 8,45 | 2 | Alto |
| 21 | 13,7 | 11,25 | 12,48 | 15 | Medio |
| 22 | 10,4 | 14,5 | 12,45 | 14 | Medio |
| 23 | 10,2 | 7,75 | 8,98 | 3 | Alto |

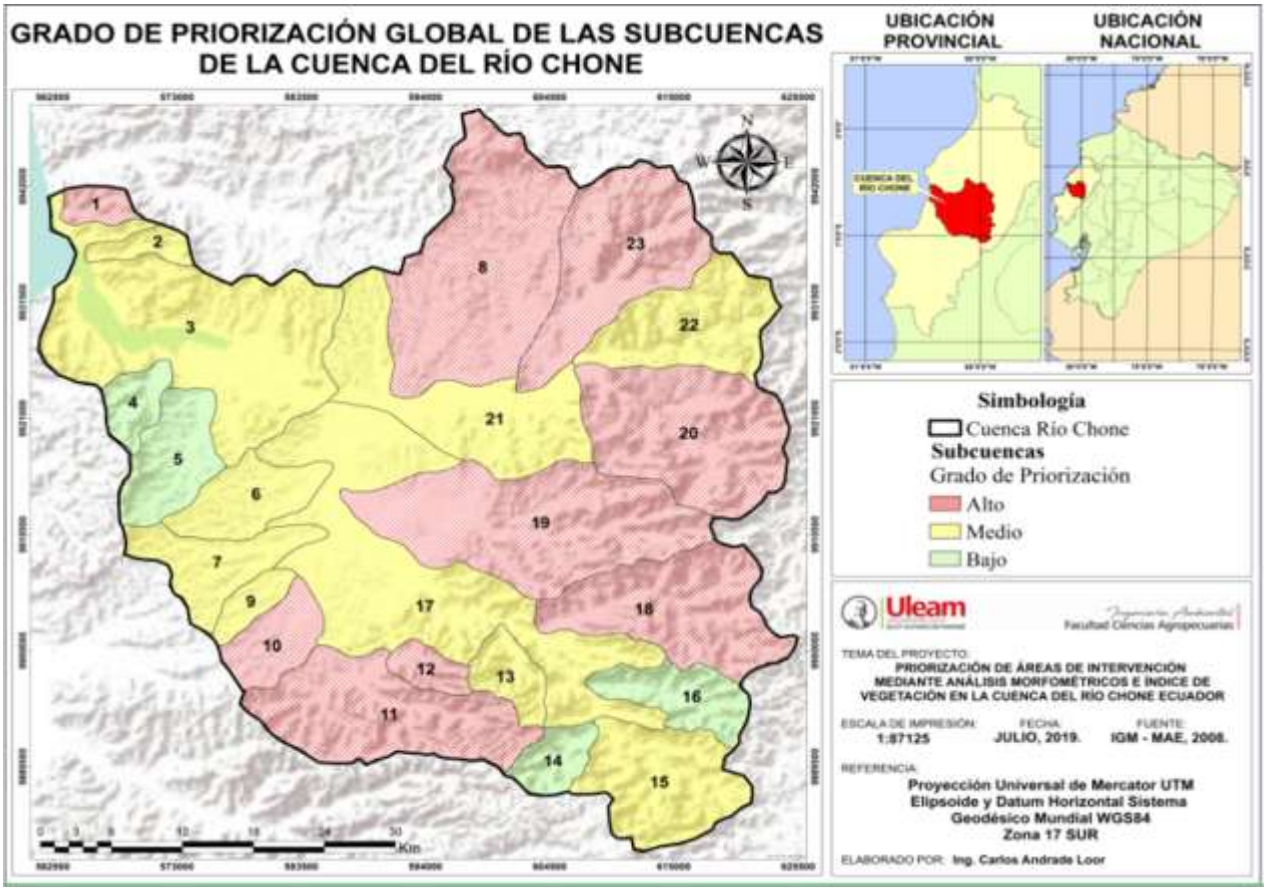


***Grafico* 4. Priorización global de las subcuencas en la cuenca Chone, con los parámetros compuestos.**

## Validación de Campo

De las 9 subcuencas con alto grado de priorización, se descartaron 2 por deterioro de las vías terrestres y 1 por condiciones climáticas que dificultaron el acceso. En este sentido, las subcuencas 10, 11, 19 y 23 que se ubican en la cuenca alta y media, se comprobó que existe una coincidencia de 90% y en las subcuencas 1 y 8 el porcentaje de coincidencia de 92%. En promedio hay 91% de concomitancia entre las coberturas obtenidas por NDVI y la realidad, por lo tanto los datos son confiables y el modelo es válido.

## CONCLUSIONES

La cuenca del río Chone está catalogada como una cuenca grande (2630 $Km^2$), su forma es ovala-alargada, con pendientes medias y corrientes con gran cantidad de derivaciones tributarias por lo cual posee orden 8; favoreciendo inundaciones en la cuenca baja.

Según los parámetros morfométricos de las 23 subcuencas, 10 de ellas tienen alta prioridad de intervención, cubren 56,94% de la superficie total de la cuenca. Asimismo, mediante el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada sólo 7 subcuencas (28.64%) tienen alto grado de priorización, por alteración de la cobertura vegetal.

Con los parámetros en conjunto, son 9 las subcuencas (1, 8, 10, 11, 12, 18, 19, 20 y 23) que presentan un índice de alta prioridad de intervención y representan 1230.84 $Km^2$ (46.80%), 10 subcuencas con mediano grado de priorización, abarcan 1208.72 $Km^2$ (45.96%) y 4 subcuencas que ocupan 190.41 $Km^2$ (7.24%), resultaron con los menores índices de necesidad de priorización para la intervención.

Los datos proporcionados en esta investigación revelan una alarmante situación ambiental en esta cuenca hidrográfica, considerada de importancia para la provincia de Manabí. Por lo cual se recomienda priorizar la intervención planificada de prácticas conservacionistas para recuperar la dinámica del sistema hídrico y preservar la vegetación y los suelos.

## REFERENCIAS

Asesores y Consultores del Litoral. (2008). *Plan de Manejo Ambiental para la construcción del sistema de alcantarillado pluvial de la ciudad de Chone*, Consejo Provincial de Manabí, Chone, Ecuador

Andréassian, V. (2004). Waters and Forests: From Historical Controversy to Scientific Debate. *Journal of Hydrology* [Revista en línea], 291. Disponible: https://elearning.unipd.it/scuolaamv/pluginfile.php/12799/mod_resource/content/1/Reading%20All%20Andreassian%20JoH%202004.pdf [Consulta: 2019, Julio 19]

Biswas, S., Sudhakar, S. y Desai, V. (1999). Prioritisation of Subwatersheds based on Morphometric Analysis of Drainage Basin: A Remote Sensing and GIS Approach [Revista en línea]. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 27, 155. Disponible: https://doi.org/10.1007/BF02991569 [Consulta: 2019, Julio 19]

Carreño, F. (2018). *Teledetección: Procesado, Interpretación y Extracción de Variables Asociadas al Medio Litoral*. España

Campos, F. (1998). *Procesos del ciclo hidrológico.* San Luis Potosí, México: Facultad de Ingeniería, Universidad de San Luis Potosí

Di, L., Rundquist, D. C. y Han, L. (1994). Modeling Relationships between NDVI and Precipitation during Vegetative Growth Cycles [Revista en línea]. *International Journal of Remote Sensing 15.* Disponible: https://doi.org/10.1080/01431169408954231 [Consulta: 2019, Julio 13]

Esquivel-Arriaga, G., Bueno-Hurtado, P., Sánchez-Cohen, I., Velázquez-Valle, M. y Muñoz-Villalobos, J. (2016). *Delimitación y análisis morfométrico de tres cuencas del norte-centro de México.* México: Centro de investigación disciplinaria

Gaspari, F., Sinisterra, G., Delgado, M. y Besteiro, S. (2013a). *Elementos meteorológicos para el manejo de cuencas hidrográficas* (2a ed). Argentina: Universidad Nacional de la Plata

Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Senisterra, G. E., Denegri, G. A., Delgado, M. I., y Besteiro, S. I. (2013b). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *AUGMDOMUS,* 4, 143-158. Recuperado a partir de https://revistas.unlp.edu.ar/domus/article/view/476

Gutiérrez, C. (2008). *Proyecto Sistema de Alerta Temprana de Control de Inundaciones en la Cuenca del Río Chone del Ecuador, Estudios e Investigaciones Hidrológicas Superficiales*. Quito, Ecuador: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

Gravelius, H. (1914). *Grundrifi der gesamten Gewcisserkunde. Band I: Flufikunde Compendium of Hydrology, Rivers, in German.* Goschen, Berlin.Horton, R. (1945). *Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology Geological Society of America Bulletin.* U.S.A.

Horton, R. (1932). Drainage basin characteristics*. Transactions American Geophysical Union*. 350-361

Javed, A., Khanday, M. y Ahmed, R. (2009). Prioritization of Sub-watersheds based on Morphometric and Land Use Analisys using Remote Sensing and GIS Techniques. J. *Indian Soc. Remote Sens* 37(2). 261-274

Kanth, T. y Hassan, Z. (2012). Morphometric Analisys and Prioritization of Watersheds for Soil and Water Resource Management in Wular Catchment Using Geo-Spatial Tools. *International Journal of Geology, Earth and Environmental Sciences* 2(1) .30-41

Kiran, V. y Srivastasa Y. (2012). Check Dam Construction by Prioritization of Micro Watershed, using Morphometric Analysis as a Perspective of Remote Sensing and

GIS for Simlapal Block, Bankura, W. B. *Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science* 2(1) .20-31

Londhe, S., Nathawat, M. y Subudhi. (2010). Erosion Susceptibility Zoning and Prioritization of Mini- Watersheds Using Geomatics Approach. *International Journal of Geomatics and Geosciences*. 1(3) .511-528

López-Pérez, A., Martínez-Menes, M. y Fernández-Reynoso, D. (2015). Priorización de áreas de intervención mediante análisis morfométrico e índice de vegetación. *Tecnología y Ciencias del Agua* 6 (1). 121-137. México

Magesh, N., Jitheshlal, K., Chandrasekar, N. y Jini, K. (2013). Geographical Information System-Based Morphometric Analysis of Bharathapuzha River Basin, Kerala, India. *Apply Water Sci* 3(2).467-477. Disponible: https://doi.org/10.1007/s13201-013-0095-0 [Consulta: 2019, Agosto7]

Manjunath, H. y Suresh, T. (2014). Morphometric and land use/land cover based sub-watershed prioritization of Torehalla using remote sensing and GIS. *International Academy of Sciense, Engineering and Tecnology*.41

Merg, C., Petri, D., Bodoira, F., Nini, M., Fernández, M., Schmidt, F., Montalva, R., Guzmán, L., Rodríguez, K., Blanco, F. y Selzer, F. (2011). Mapas digitales regionales de lluvias, índice estandarizado de precipitación e índice verde. *Revista Pilquen, Sección Agronomía* 13 (11).1-11

Miller, V. (1953). A Quantitative Geomorphic Study of Drainage Basin Charactetistics in the Clinch Mountain Area. New York: Department of Geology, Columbia University.

Nooka-Ratnam, K., Srivastava, Y., Venkateshwara- Rao, V., Amminedu, E. y Murthy, K. (2005). Check Dam Posiotioning by Prioritization of Micro-Watersheds using SYI Model and Morphometric Analysis – Remote Sensing and GIS Perspective. J. *Indian Soc. Remote Sensing,* 33 (1). 25-38

Pareta, K. y Pareta, U. (2011). Quantitative Morphometric Analysis of a Watershed of Yamuna Basin, India using ASTER (DEM) Data and GIS. *International Journal of Geomatics and Geosciences* 2(1). 248-269

Pochat, V. (2008). Principios de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos. Bases para el desarrollo de planes nacionales. *Global Water Partnership South América*

Sangita, M. y Nagarajan, R. (2010). Morphometric Analysis and Prioritization of Sub-Watersheds Using GIS and Remote Sensing Techniques: A Case Study of Odisha, India. *International Journal of Geomatics and Geosciences* 1(3). 501-510Strahler, A. (1957). Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. *Transactions, American Geophysical Union* 38. 913 – 920

Strahler, A. (1964). Quantitative Geomorphology of Drainage Basin and Channel Networks. In V. T. *Handbook of Applied Hydrology*. New York: McGraw Hill

Schumm, S. (1956). Evolution of Drainage Systems and Slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological Society of America Bulletin 67*. 597-646.

Sheng, T. (1992). Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas. Estudio y planificación de cuencas hidrográficas. *FAO* 13(6). Roma

Smith, K. G. (1950). Standards for Grading Texture of Erosional Topography. American Journal Science, 248, 655-668.

Tamang, D., Dhakal, D., Shresta, D. y Sharma, N. (2012). Morphometric Analysis and Prioritization of Miniwatersheds in Rongli Watershed, Sikkim (India) Using Remote Sensing and GIS Techniques. *International Journal of Fundamental and Applied Sciences* 1(3). 61-66

Tarpley, J., Schneider, S. y Money R. (1984). Global vegetation indices from NOAA-7 meteorological satellite. Journal of Climate and Applied Meteorology, 23:491-494

Tolessa, G. y Rao, P. (2013). Watershed Development Prioritization of Tandava River Basin, Andhra Pradesh, India – GIS Approach. *International Journal of Engineering Science Invention* 2(2). 12-20

Villón, M. (2002). Hidrología. Serie en Ingeniería Agrícola. Costa Rica: Instituto tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Agrícola, Comité regional de recursos hidráulico.