



Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

SEDE MANABÍ

CARRERA DE HIDRÁULICA

TRABAJO DE TITULACIÓN:

**“DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES DE HUMEDAD
TOPOGRÁFICA PARA LA MICROCUENCA LA MINA,
PARROQUIA MEMBRILLO, MANABÍ-ECUADOR”**

PREVIO AL TÍTULO DE:

INGENIERA HIDRÁULICA

AUTORA:

ARTEAGA DELGADO JHOISY CRISTHEL

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:

ING. ANDY MIGUEL GILER ORMAZA, M.Sc.

JUNIO 2020

CHONE – MANABÍ – ECUADOR

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

“En mi calidad de tutor del trabajo de integración curricular, 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 la Normativa del Trabajo de Integración Curricular; en consecuencia, es apto para su presentación y sustentación”.

Ing. Andy Miguel Giler Ormaza, M.Sc.

ACTA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

“El jurado examinador aprueba el presente trabajo de integración curricular en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí”.

Ing. ANDY MIGUEL GILER ORMAZA, M.Sc.

Ing. JOHN ENRIQUE FÉLIX MERA, Mtr.

Ing. JOSÉ RAMÓN ALARCÓN LOOR, Mtr.

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 este trabajo de integración curricular infringe los derechos de autor de nadie”.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jhoisy A.', is positioned above a horizontal line.

JHOISY CRISTHEL ARTEAGA DELGADO

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 mis 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”.



JHOISY CRISTHEL ARTEAGA DELGADO

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por haberme dado la oportunidad de formarme en esta prestigiosa universidad y haber sido mi apoyo durante todo este tiempo. De manera especial a mi tutor de tesis, Ing. Andy Miguel Giler Ormaza, M.Sc. por haberme guiado, no sólo en la elaboración de este trabajo de titulación, sino a lo largo de mi carrera universitaria y haberme brindado el apoyo para desarrollarme profesionalmente y seguir cultivando mis valores. A la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, por haberme brindado tantas oportunidades y enriquecerme en conocimiento.

Resumen

Esta investigación mixta determinó el índice de humedad topográfica (*TWI*, por sus siglas en inglés) para la microcuenca La Mina, parroquia Membrillo, provincia de Manabí, Ecuador. El *TWI* tiene aplicaciones que permiten determinar la distribución espacial de la riqueza de especies de plantas, el pH del suelo, el nivel del agua subterránea y la humedad del suelo de una cuenca hidrográfica. En consecuencia, esta investigación se desarrolló en febrero de 2020 y requirió importantes actividades para la recolección de datos a fin de obtener información base a partir de un modelo digital de elevación (*DEM*, por sus siglas en inglés) para el cálculo del *TWI*, mediante diferentes programas de *software* como *Quantum GIS (QGIS)*, *software R* y un modelo hidrológico basado en la topografía llamado *TOPMODEL*. Luego, se realizó un análisis comparativo de resultados con los diferentes métodos; para la obtención de dicho índice utilizando la herramienta *QGIS* se emplearon las opciones *Raster* y *Raster Calculation* con sus respectivos algoritmos. Los resultados obtenidos en este estudio muestran que debe utilizarse el *DEM* de 30x30m debido a que los píxeles muestran con más claridad las pendientes y áreas; bajo esta aclaración se obtiene un resultado de 478.58 m con *QGIS* y 13.43 m en *TOPMODEL* en *R*. En conclusión, el contenido y resolución de la información de un *DEM* tienen una gran influencia en el cálculo consecuencia de que la diferencia de píxeles resulte en diferentes índices de humedad topográfica.

Palabras clave: topografía, resolución, modelo, cuenca, humedad

Abstract

This mixed research study calculated the topographic wetness index (TWI) in the La Mina microbasin, Membrillo Parish, Province of Manabí, Ecuador. TWI has applications that help to determine spatially distributed field observations of plant species richness, soil pH, groundwater level, and soil moisture on watersheds. Thus, this research was carried out in February 2020 and required important activities to collect data and base information from a digital elevation model (DEM) to calculate a TWI, by using different types of software such as Quantum GIS (QGIS), R software, and a topography-based hydrologic modeling approach called TOPMODEL. Then, it was accomplished a comparative analysis of the results of the different methods; to calculate this index by means of QGIS, both Raster data and Raster Calculator as well as their respective algorithms were used. The findings show that a 30x30 m DEM should be used because pixels show slopes and areas in a more clear way. In line with this further explanation, it is seen a result of 478.58 m with QGIS and a result of 13.43 m with TOPMODEL in R. In conclusion, the resolution and information content of DEM has a great impact on this calculation because difference in pixel values results in different TWIs.

Keywords: topography, resolution, model, basin, wetness

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS	3
2.1 ÁREA DE ESTUDIO	3
2.2 MÉTODO QUANTUM GIS (QGIS).....	6
2.3 MÉTODO TOPMODEL.....	8
3. RESULTADOS	10
4. DISCUSIÓN.....	14
5. CONCLUSIONES	15
6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	16
ANEXOS	19

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Comparación de resoluciones entre diferentes DEM	10
Tabla 2 Filas y columnas para el valor máximo del TWI y TOPINDEX\$ATB	11
Tabla 3 Filas y columnas para el valor mínimo del TWI y TOPINDEX\$ATB	11

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Área de estudio tomado de.....	4
Figura 2 Valores estadísticos en TOPMODEL	12
Figura 3 Valores estadísticos en QGIS.....	12

1. INTRODUCCIÓN

El índice de humedad topográfica (TWI), el cual serviría para determinar la distribución espacial de la riqueza de especies de plantas, el pH del suelo, el nivel del agua subterránea y la humedad del suelo de una cuenca (Sørensen & Seibert, 2007), se utiliza para estudiar los efectos de escala espacial en los procesos hidrológicos (K. Beven, Wood, & Sivapalan, 1988), y para identificar rutas de flujo hidrológico para modelado geoquímico (Robson, Beven, & Neal, 1992) así como para caracterizar procesos biológicos como la producción primaria neta anual (White & Running, 1994), patrones de vegetación (Moore, Norton, & Williams, 1993), y calidad del sitio forestal (Holmgren, 1994). La determinación de los índices de humedad topográfica se puede definir como una medida relativa de las condiciones hidrológicas de un sitio determinado. El índice de humedad topográfica se calcula a partir de datos de elevación (Sørensen & Seibert, 2007). Los datos de elevación son una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar. Estos modelos están comprendidos en un archivo de tipo raster, el cual se genera utilizando equipo de cómputo y software especializado (Inegi, 2012). Dentro de las herramientas informáticas a utilizar denominamos R con el paquete TOP MODEL y Quantum Gis.

TOP MODEL es un modelo semi-distribuido desarrollado por primera vez en 1979 por Beven y Kirkby en el que los factores predominantes que afectan la respuesta de la cuenca a las precipitaciones se derivan de la topografía de la cuenca (Beneche, 2013). También se lo puede definir como un conjunto de herramientas conceptuales que pueden usarse para simular procesos hidrológicos de una manera relativamente simple, particularmente la dinámica de las áreas que contribuyen a la superficie o subsuperficie (K. Beven, 1997). La topografía define los efectos de la gravedad sobre el movimiento del agua en una cuenca y, por lo tanto, influye en muchos aspectos del sistema hidrológico (Wolock & Price, 1994).

Quantum Gis es un sistema de información geográfica (SIG), un sistema informático que consta de hardware, software, datos, usuarios y un marco organizativo, y está diseñado para capturar, almacenar, administrar, analizar, consultar, ver, presentar y difundir todo tipo de información geoespacial.

Lo que hace que los sistemas de información geográfica sean relevantes y notables es el hecho de que pueden almacenar explícitamente la posición geográfica y la forma geométrica de los elementos que se muestran en el sistema de información (June, 2014).

A groso modo, el principal objetivo de esta investigación es Determinar los índices de humedad topográfica para la microcuenca La Mina, Parroquia Membrillo, Manabí-Ecuador. Tal objetivo requiere importantes actividades para ser cumplido, mismas que son: obtener información base para el cálculo del TWI, calcular el TWI con diferentes métodos y por último realizar un análisis comparativo de resultados con los diferentes métodos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDIO

La totalidad de datos a procesar pertenecen a la cuenca La Mina, Parroquia Membrillo; ubicada a 47 Kilómetros de la cabecera cantonal, Calceta. El área de la cuenca La Mina es de 7.98 km². La temporada de lluvia dura 8,4 meses, del 31 de octubre al 11 de julio, con un intervalo móvil de 31 días de lluvia de por lo menos 13 milímetros. La mayoría de la lluvia cae durante los 31 días centrados alrededor del 17 de febrero, con una acumulación total promedio de 196 milímetros. El periodo del año sin lluvia dura 3,6 meses, del 11 de julio al 31 de octubre. La fecha aproximada con la menor cantidad de lluvia es el 20 de agosto, con una acumulación total promedio de 4 milímetros (Spark, 2000).

Su territorio se caracteriza por tener una topografía irregular con zonas altas, y partes bajas que forman la sub cuenca del río membrillo. La agricultura, la ganadería, los recursos naturales turísticos y culturales son las principales fuentes de generación de trabajo y riqueza de la parroquia. Parte del territorio de la parroquia membrillo presenta elevaciones típicas de la zona con fuertes pendientes pronunciadas del rango de 25- 70%. El relieve de la parroquia puede catalogarse como colinados, montañoso, ya que las elevaciones no alcanzan 400m de altura sobre el nivel del mar, propios de las montañas de la zona(PDOT, 2012). El índice de humedad es un parámetro base para estudios hidrológicos basados en la topografía que pueden servir, a su vez, para entender mejor la cuenca hidrográfica y gestionar sus recursos ante las amenazas del cambio del uso de la tierra y el cambio climático.

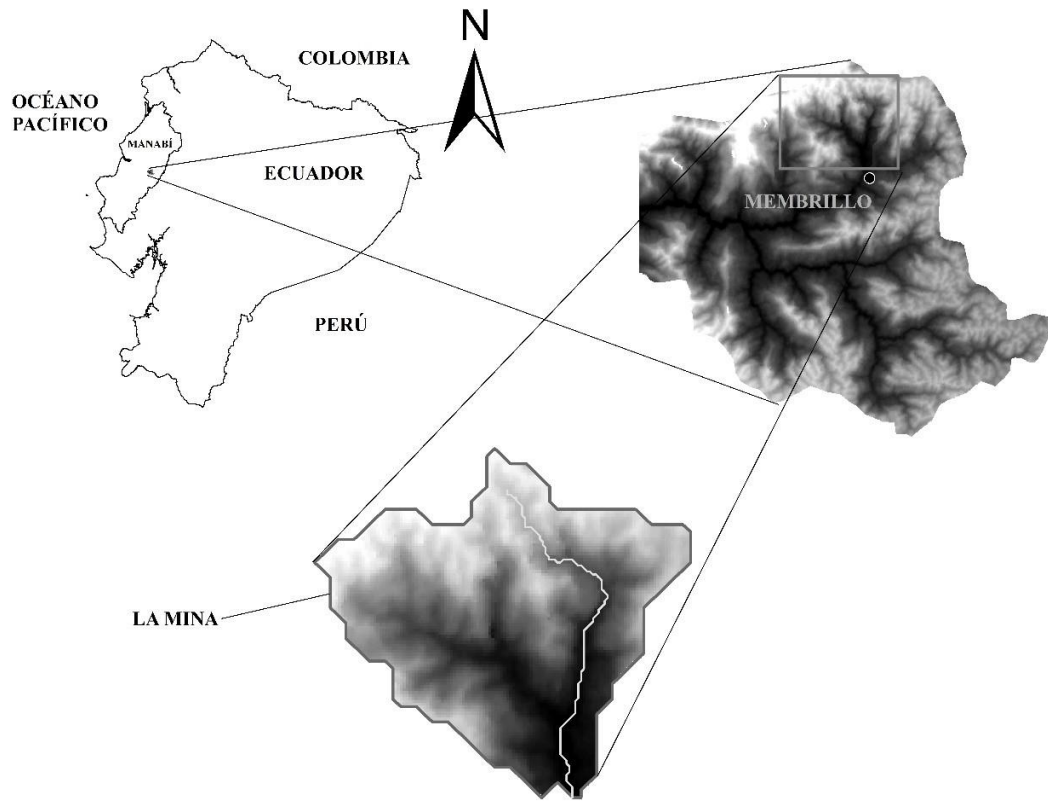
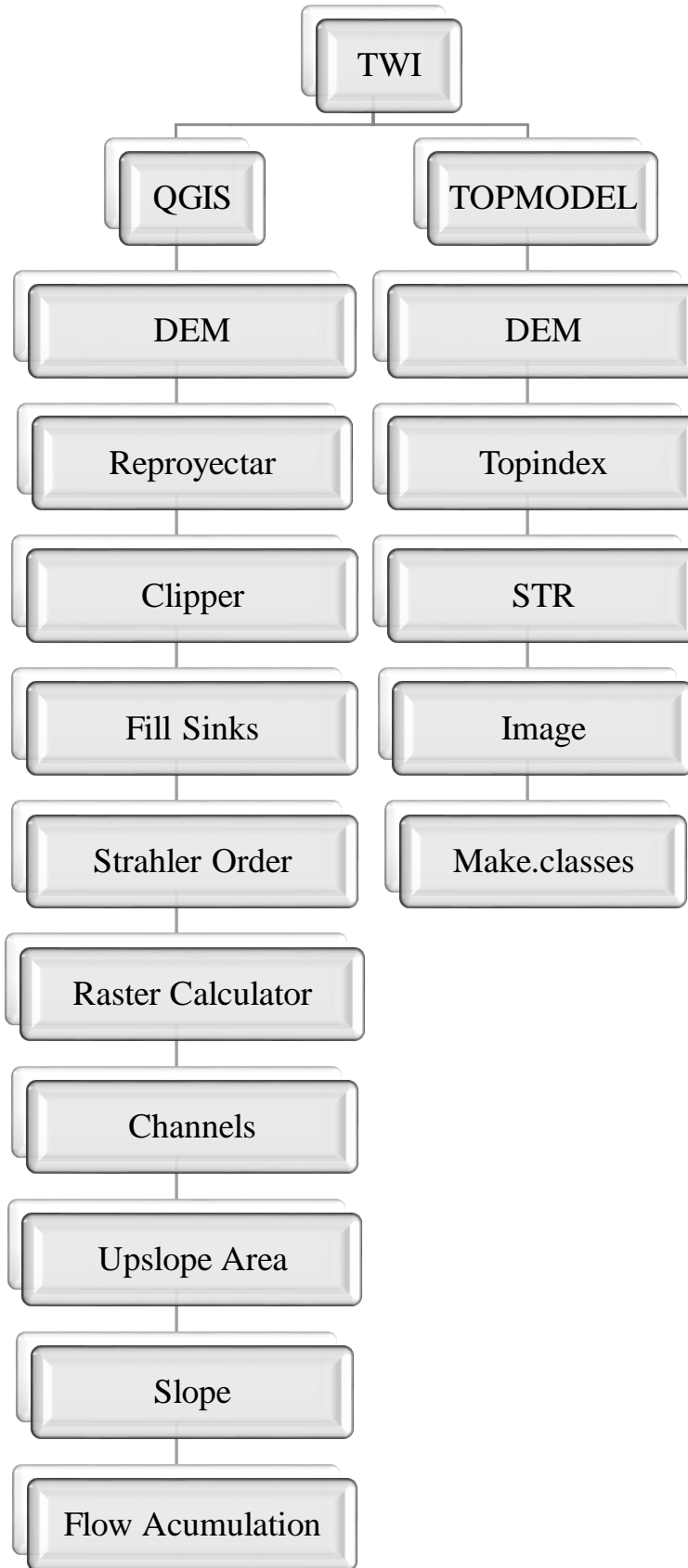


Figura 1 Área de estudio tomado de (Giler, Alarcón, Félix, & Caicedo, 2018)



2.2 MÉTODO QUANTUM GIS (QGIS)

Para el desarrollo del tema de investigación se utilizaron dos tipos de herramientas informáticas denominadas TOP MODEL y Quantum Gis o Qgis. El primer paso para el procesamiento de datos es obtener el DEM (Modelo Digital de Elevación), de al menos dos resoluciones diferentes en este caso de 10x10 m y de 30x30 m. Para realizar el procesamiento en el software QGIS se empieza agregando los DEM como archivos de tipo Raster, luego utilizando el comando Build Virtual Raster (Catalog) para unir los DEM y hacerlos de tipo mosaico, utilizando el siguiente algoritmo:

“processing.runalg('gdalogr:buildvirtualraster', input, resolution, separate, proj_difference, output)” (Documentación QGIS, 1999).

Se realiza el ajuste de proyección con las coordenadas adecuadas para la zona de estudio también denominado en el programa como Warp (Reproject), utilizando como logaritmo lo siguiente:

“proj=longlat +ellps=WGS84 +datum=WGS84 +no_defs” (Documentación QGIS, 1999).

Consecutivamente se recorta el DEM reproyectado al área de estudio, que dentro del SIG se denomina como Clipper, el logaritmo a manejar será:

“processing.runalg('gdalogr:cliprasterbyextent', input, no_data, projwin, extra, output)” (Documentación QGIS, 1999).

Se rellena el DEM en donde la herramienta insiste hasta que se rellenen todos los sumideros dentro del límite especificado y también para resguardar una pendiente descendente a lo largo de la ruta del flujo, el cual dentro del programa se denomina como Fill sinks (wang & liu), que utiliza como logaritmo:

“saga_cmd ta_preprocessor 4 -ELEV <str> [-FILLED <str>] [-FDIR <str>] [-WSHED <str>] [-MINSLOPE <str>]” (Wichman, 2007).

Continuamente se habilita la herramienta Strahler order para generar los canales del terreno apropiados para la zona de estudio:

“processing.runalg('saga:strahlerorder', dem, strahler)” (Documentación QGis, 1999).

Después de todo este procedimiento para determinar el índice de humedad topográfico se inicia en la opción denominada Raster, seguidamente dentro de esta opción nos dirigimos a la opción Analisis, y por último en la opción Slope, se abrirá una ventana en la cual se colocarán los parámetros adecuados y específicamente un clic donde dice “Use zevenbergen_thorne formula instead of the horn’s one” aunque existen dos opciones más que dependiendo del terreno se deben utilizar y finalmente corremos el algoritmo obteniéndolo en grados (Van-Der-Kwast, 2019).

Seguimos en la opción Raster esta vez haciendo clic en la opción denominada Raster calculation esto nos servirá para modificar nuestro Slope obtenido con la siguiente fórmula (Van-Der-Kwast, 2019):

“(slope_degrees@1”<=0)*1+(“slope_degrees@1”>0)* “slope_degrees@1”)

Continuamos en la opción Raster calculation y ahora colocaremos nuestro Slope en grados modificado para convertirlo en Slope radianes de la siguiente manera (Van-Der-Kwast, 2019):

“slope_degrees_modified@1”*0.01745

Ahora necesitaremos determinar la opción Flow accumulation, la cual la encontraremos en el Processing toolbox, buscamos la opción Flow accumulation (qm of esp) y colocamos el DEM que modificamos desde el principio y corremos el algoritmo especificado.

Finalmente, para obtener el índice de humedad topográfico se determinó la siguiente fórmula

$$\text{“Ln}\left(\frac{\mathbf{a}}{\mathbf{Tan}\beta}\right)\text{” (K. J. Beven \& Kirkby, 1979)}$$

Donde:

a : Área drenada(Jorquera, Weber, & Reyna, 2012)

Tanβ : Ángulo de la pendiente(Jorquera et al., 2012)

Entonces para determinarlo en QGis buscamos la opción Raster y utilizamos Raster calculation para concluir y aplicamos la siguiente fórmula

En el caso del DEM de 10x10m sería (Van-Der-Kwast, 2019):

$$\text{Ln}\left(\left(\text{“upslopearea@1”}+1*10\right) / \tan(\text{slope_radians@1})\right)$$

En el caso del DEM de 30x30m sería (Van-Der-Kwast, 2019):

$$\text{Ln}\left(\left(\text{“upslopearea@1”}+1*30\right) / \tan(\text{slope_radians@1})\right)$$

2.3 MÉTODO TOPMODEL

De tal manera que en el software TOPMODEL para determinar el índice de humedad topográfico se aplica el comando ctrl+R

Instalar y cargar los paquetes requeridos (CRAN, 2019):

```
install.packages("topmodel")
```

```
install.packages("Hmisc")
```

```
library(topmodel)
```

```
library(Hmisc)
```

El DEM se debe exportar como archivo ASCII, desde el software QuantumGis (QGis), luego realizamos una tabla dinámica en excel la cual sirve para sintetizar los datos y posterior a eso exportamos el excel como archivo de texto y este archivo de texto se debe importar en R. Para su correcto funcionamiento se hace matriz y se procesa (CRAN, 2019):

```
DEM <- read.table(file.choose())
```

```
DEM
```

```
DEM <- as.matrix(DEM)
```

```
DEM
```

Eliminar los valores fuera de la cuenca (CRAN, 2019):

```
DEM[DEM==-9999] <- NA
```

Es posible que desee trazar el DEM para ver si todo se ve bien (CRAN, 2019):

```
image(DEM)
```

Luego calculamos el índice humedad topográfico (CRAN, 2019):

```
DEM <- sinkfill(DEM, res=10, degree=0.1)
```

```
topindex <- topidx(DEM, res=10)
```

```
topindex
```

```
str(topindex)
```

```
image(topindex$area)
```

```
image(topindex$atb)
```

```
topindex$atb
```

```
topindex$area
```

```
topindex <- make.classes(topindex$atb,16)
```

```
topindex
```

3. RESULTADOS

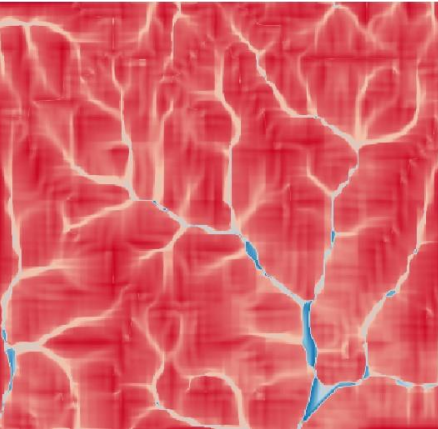
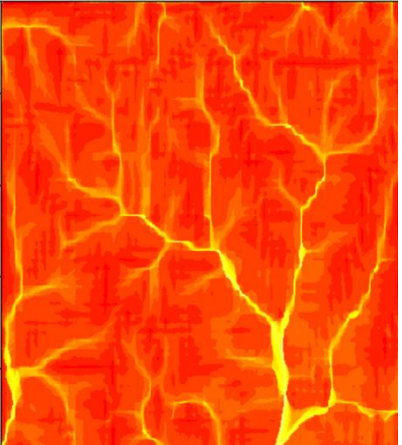
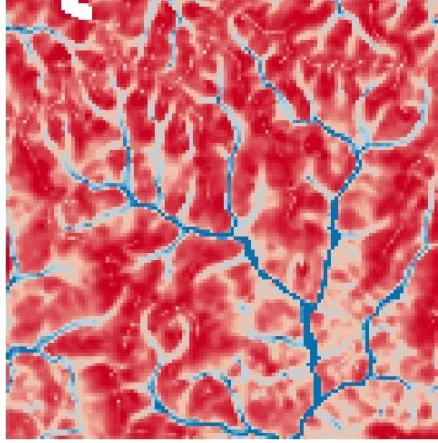
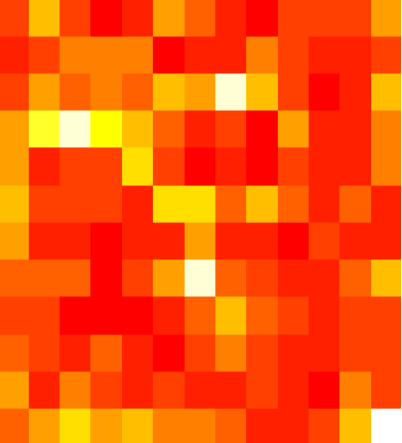
Resolución Del DEM	Resultado de TWI con QGIS (Según tutorial de Van der Kwast)	Resultado de Topindex\$atb con paquete Topmodel en R
10	 <p data-bbox="911 488 1079 760"> TWI 8 12 18 24.1 </p>	
30	 <p data-bbox="911 927 1079 1198"> TWI 8 12 18 24.1 </p>	

Tabla 1 Comparación de resoluciones entre diferentes DEM

Tabla 2 Filas y columnas para el valor máximo del TWI y TOPINDEX\$ATB

Resolución Del DEM	Resultado de TWI con QGIS (Según tutorial de Van der Kwast)			Resultado de Topindex\$atb con paquete Topmodel en R		
	Valor max	Fila	Columna	Valor max	Fila	Columna
10	22.29	42	BE (57)	19.72	8	A (1)
30	478.58	10	A (1)	13.43	8	E (5)

Tabla 3 Filas y columnas para el valor mínimo del TWI y TOPINDEX\$ATB

Resolución Del DEM	Resultado de TWI con QGIS (Según tutorial de Van der Kwast)			Resultado de Topindex\$atb con paquete Topmodel en R		
	Valor min	Fila	Columna	Valor min	Fila	Columna
10	5.96	87	O (15)	3.17	392	L (12)
30	98.14	2	I (9)	0.78	10	H (8)

Los diferentes DEM utilizados mostraron una clara variación en la resolución. Se puede apreciar que en el DEM de 10x10m se muestra más detallada y amplia información del índice de humedad topográfica, que no así en el DEM de 30x30m donde el pixel de la celda es más grande por lo que su detalle es más reducido pero con información necesaria y así a medida que aumenta el pixel. Se compararon los resultados del índice de humedad topográfica que se obtuvieron del TOPMODEL y del Quamtun Gis (Qgis), se estableció que en el DEM de 10x10m los valores no poseen un desfase tan amplio pero, en el DEM de 30x30m existe mucha diferencia por el tamaño del pixel.

VALORES ESTADÍSTICOS EN TOPMODEL

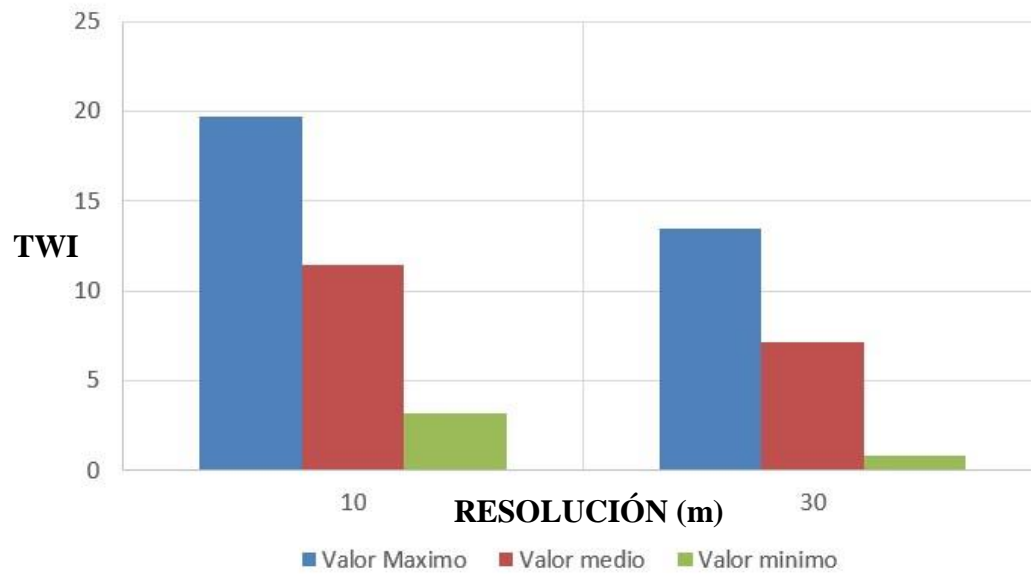


Figura 2 Valores estadísticos en TOPMODEL

VALORES ESTADÍSTICOS EN QGIS

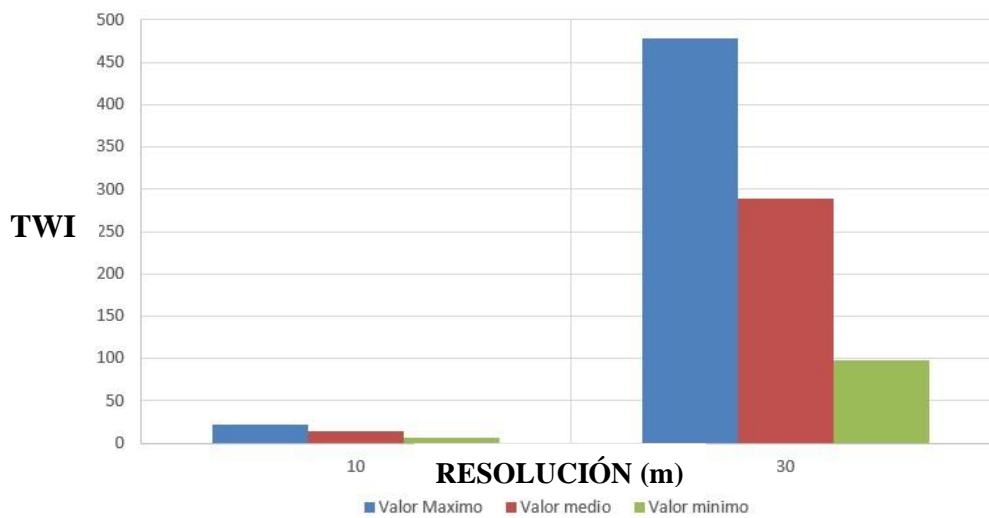


Figura 3 Valores estadísticos en QGIS

Las presentes gráficas representan de manera estadística los valores máximos, mínimos y medios de los diferentes tamaños de DEM utilizados, dentro de los valores de TOPMODEL, se puede apreciar que a pesar de existir una gran diferencia física entre ellos, los valores no son muy distintos, por otra parte, existe una apreciación totalmente diferente en la gráfica que refleja los valores resultantes del Qgis, donde se manifiesta que aunque sus graficas no son tan diferentes, los valores implícitos en la misma arrojan una gran diferencia entre ellos. Aquel desfase entre los valores resultantes se puede atribuir a que la herramienta Qgis contempla muchos más parámetros y algoritmos de procesamiento del DEM para la obtención del índice de humedad topográfica.

4. DISCUSIÓN

Generar DEM con una resolución de cuadrícula más alta a partir de DEM con menor contenido de información es una forma de obtener mapas de índice topográfico de mayor resolución. El área ascendente se vio afectada en gran medida por la resolución y el contenido de información del DEM utilizado. Una razón obvia para esto es que el área acumulada más pequeña es igual a una celda de cuadrícula. El área de pendiente ascendente específica mínima corresponde, por lo tanto, a la longitud de la celda de la cuadrícula. Cuando se utiliza un DEM más detallado, las vías de flujo se vuelven más irregulares, creando la posibilidad de canalizar un poco el área acumulada. Mientras que para DEM de 30X30m, una celda de cuadrícula en una posición de valle con pendiente descendente tendrá un área de pendiente ascendente grande, las celdas en posiciones similares en un DEM de mayor resolución podrían tener un área grande. La diferencia en la pendiente fue generalmente menor que la diferencia en el área específica de la pendiente ascendente. La distribución de la pendiente se hizo más estrecha para los DEM más gruesos (Sørensen & Seibert, 2007). Esto es consistente con los hallazgos de (Thompson, Bell, & Butler, 2001) quienes compararon DEM de 10 y 30 m.

5. CONCLUSIONES

Se utilizaron dos métodos para analizar el índice de humedad topográfico, el cual serviría para determinar distribución espacial de la riqueza de especies de plantas, el pH del suelo, el nivel del agua subterránea y la humedad del suelo de la cuenca La Mina. Claramente el contenido y resolución de información de un modelo digital de elevación (DEM) tiene una gran influencia en el cálculo porque se determinó que las diferencias de pixeles resultan diferentes índices de humedad topográfico. Los resultados obtenidos en este estudio nos muestran que se debe utilizar el DEM de 30x30m debido a que los pixeles muestran con más claridad las pendientes y áreas, pero esto no quiere decir que siempre es buena opción escoger el DEM con mayor cantidad de pixeles, en otras ocasiones podría ser más útil el DEM de 10x10m para analizar y modelar paisajes, es decir cuando se requiera seguir el patrón de aguas subterráneas y dependan de modelos de pequeña escala.

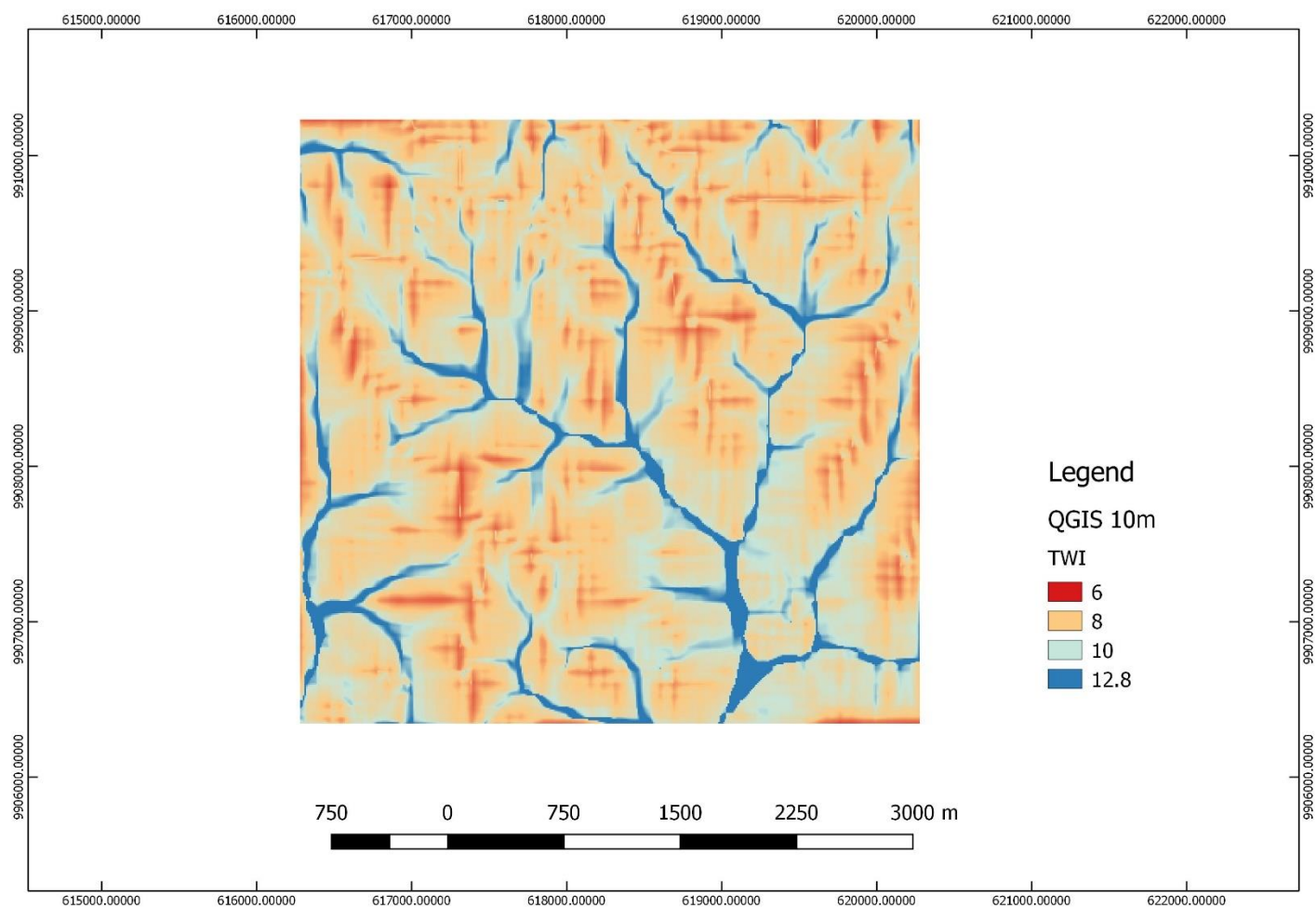
6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Beneche, J. A. (2013). *Sensitivity and Uncertainty Analysis of Topmodel for the*.
- Beven, K. (1997). *TOPMODEL : A CRITIQUE*. 11(August 1996).
- Beven, K. J., & Kirkby, M. J. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Bulletin*, 24(1), 43–69. <https://doi.org/10.1080/02626667909491834>
- Beven, K., Wood, E., & Sivapalan, M. (1988). Catchment morphology and hydrological processes are inextricably linked through the geomorphic processes of soil development , erosion and deposition . Water provides the major driving force in the development of morphology through its role as a transport. *Journal of Hydrology*, 100, 353–375.
- CRAN. (2019). *Paramo Tutorial TOPMODEL*. Recuperado el 09 de marzo de 2020, de http://paramo.cc.ic.ac.uk/topmodel_tutorial
- Documentación QGis*. (1999). Recuperado el 02 de marzo de 2020, de https://docs.qgis.org/2.8/en/docs/user_manual/processing_algs/gdalogr/gdal_miscellaneous/buildvirtualraster.html
- Documentación QGis*. (1999). Recuperado el 02 de marzo de 2020, de docs.qgis.org/2.14/es/docs/user_manual/working_with_projections/working_with_projections.html
- Documentación QGis*. (1999). Recuperado el 02 de marzo de 2020, de https://docs.qgis.org/2.14/es/docs/user_manual/processing_algs/saga/terrain_analyses_channels.html
- Documentación QGis*. (1999). Recuperado el 02 de marzo de 2020, de https://docs.qgis.org/2.14/en/docs/user_manual/processing_algs/gdalogr/gdal_extraction.html
- Giler, A., Alarcón, J., Félix, J., & Caicedo, M. (2018). *Proyecto de Investigación “Procesos de generación de escorrentía en cuencas tropicales húmedas del Ecuador.”*

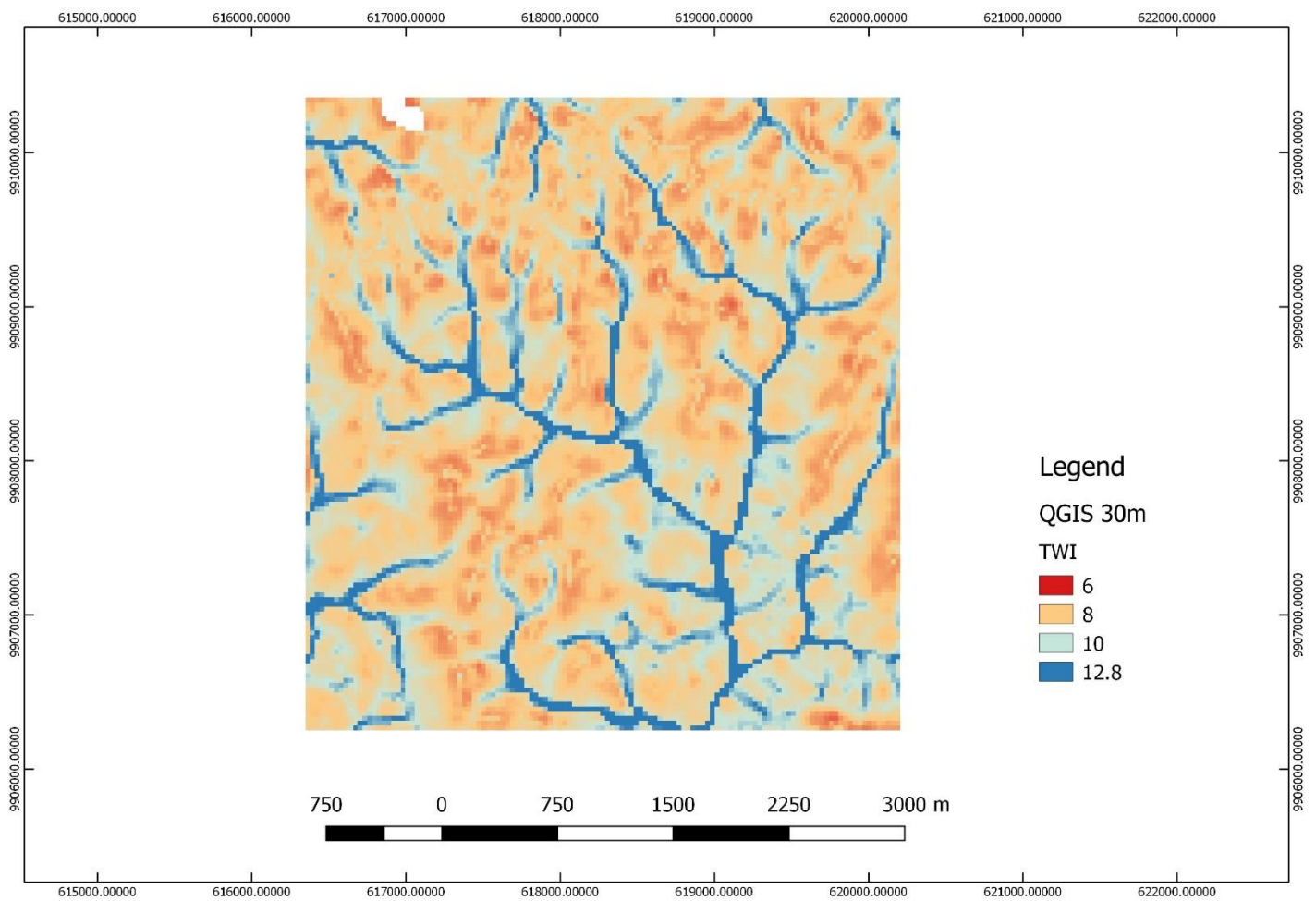
- Holmgren, P. (1994). Topographic and geochemical influence on the forest site quality, with respect to *pinus sylvestris* and *picea abies* in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 9(1–4), 75–82. <https://doi.org/10.1080/02827589409382815>
- Inegi. (2012). *Modelos Digitales de Elevación (MDE)*. Retrieved from <https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/relieve/continental/metadatos/mde.pdf>
- Jorquera, E., Weber, J. F., & Reyna, S. M. (2012). Revisión del estado del arte en la modelación hidrológica distribuida e integrada. *1° Encuentro de Investigadores En Formación En Recursos Hídricos*, (October 2014), 18.
- June, U. (2014). *M.Ángeles Urrutia June 3, 2014*.
- Moore, I. D., Norton, T. W., & Williams, J. E. (1993). Modelling environmental heterogeneity in forested landscapes. *Journal of Hydrology*, 150(2–4), 717–747. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(93\)90133-T](https://doi.org/10.1016/0022-1694(93)90133-T)
- PDOT. (2012). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial Parroquia Guachanamá*. 65 p. Retrieved from <http://sni.gob.ec/planes-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial>
- Robson, A., Beven, K., & Neal, C. (1992). Towards identifying sources of subsurface flow: A comparison of components identified by a physically based runoff model and those determined by chemical mixing techniques. *Hydrological Processes*, 6(2), 199–214. <https://doi.org/10.1002/hyp.3360060208>
- Sørensen, R., & Seibert, J. (2007). Effects of DEM resolution on the calculation of topographical indices: TWI and its components. *Journal of Hydrology*, 347(1–2), 79–89. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.09.001>
- Spark, W. (2000). *Weather Spark*. Recuperado el 13 de marzo de 2020, de <https://es.weatherspark.com/y/18310/Clima-promedio-en-Calceta-Ecuador-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Thompson, J. A., Bell, J. C., & Butler, C. A. (2001). Digital elevation model resolution: Effects on terrain attribute calculation and quantitative soil-landscape modeling. *Geoderma*, 100(1–2), 67–89. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(00\)00081-1](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(00)00081-1)

- Van-Der-Kwast, H. (16 de Noviembre de 2019). *Calculate the Topographic Wetness Index in QGIS*. Recuperado el 12 de marzo de 2020, de <https://www.youtube.com/watch?v=aHCLCUwg300>
- Wichman, V. (2007). Recuperado el 02 de marzo de 2020, de http://www.saga-gis.org/saga_tool_doc/2.1.3/ta_preprocessor_4.html
- White, J. D., & Running, S. W. (1994). Testing scale dependent assumptions in regional ecosystem simulations. *Journal of Vegetation Science*, 5(5), 687–702. <https://doi.org/10.2307/3235883>
- Wolock, D. M., & Price, C. V. (1994). Effects of digital elevation model map scale and data resolution on a topography-based watershed model. *Water Resources Research*, 30(11), 3041–3052. <https://doi.org/10.1029/94WR01971>

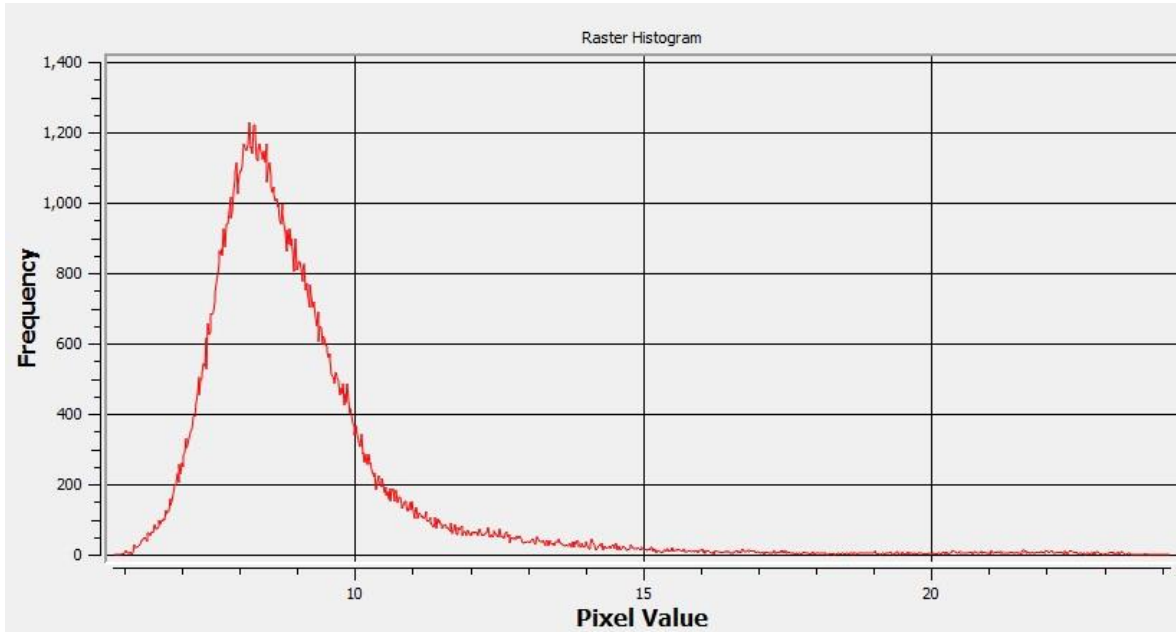
ANEXOS



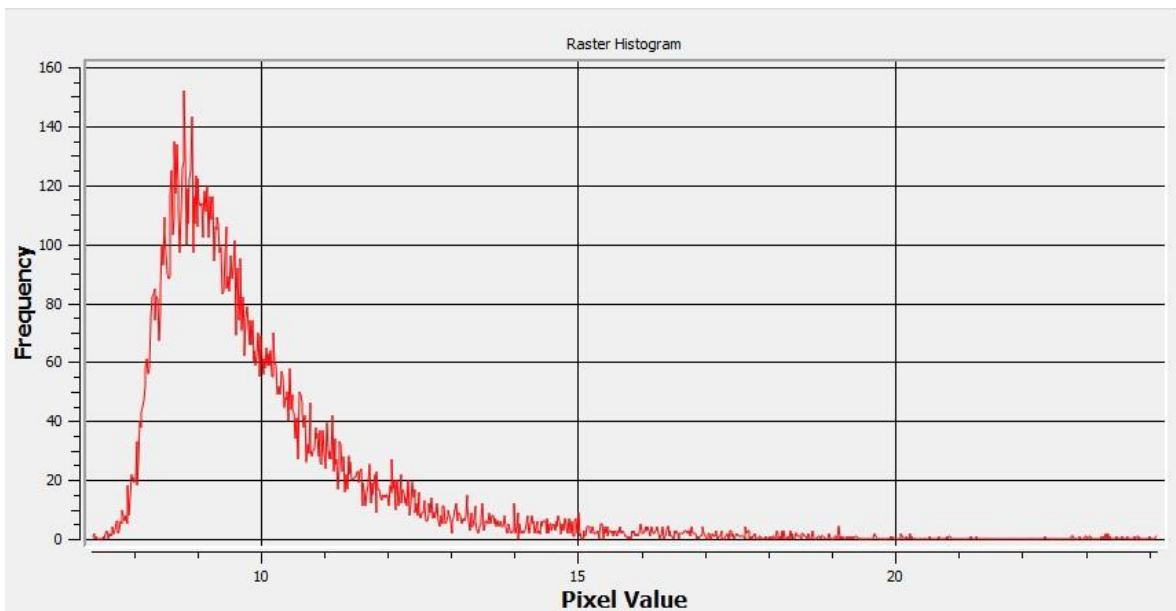
Mapa de TWI a partir de un DEM de resolución 10x10m



Mapa de TWI a partir de un DEM de resolución 30x30m



Histograma de la distribución de píxeles del TWI (DEM 10X10 m)



Histograma de la distribución de píxeles del TWI (DEM 30X30 m)



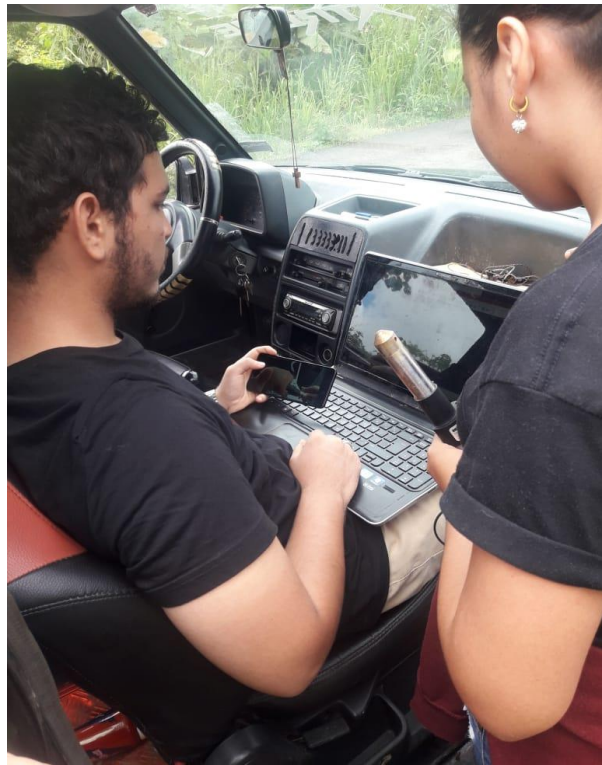
Extracción de datos de precipitación del pluviómetro



Extracción de datos de precipitación del pluviómetro



Instalación de pluviómetro para recolección de datos



Extracción de datos de caudales del transductor de presión