



*Asesorías y Tutorías para la Investigación Científica en la Educación Puig-Salabarría S.C.  
José María Pino Suárez 400-2 esq a Lerdo de Tejada, Toluca, Estado de México. 7223898475*

RFC: ATII20618V12

**Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores.**

<http://www.dilemascontemporaneoseducacionpoliticayvalores.com/>

**Año: VIII**

**Número: Edición Especial.**

**Artículo no.:23**

**Período: Marzo, 2021**

**TÍTULO:** Balance hídrico distribuido con funciones de pedotransferencia para estimar eventos extremos.

**AUTORES:**

1. Ing. Xiomara Alejandra Zambrano Navarrete.
2. Máster. Micheal David Caicedo Toro.
3. Máster. Valeria Faréz-Román.

**RESUMEN:** Los balances hídricos distribuidos tienen un papel muy importante en la gestión del recurso hídrico al contribuir a la simulación y comprensión de la variabilidad espacio - temporal mediante datos hidrológicos y parámetros característicos del suelo. El objetivo de este trabajo es estimar propiedades hidráulicas características en el cantón Valle Hermoso y de esta forma, realizar un balance hídrico distribuido con funciones de pedotransferencia para estimación de eventos extremos.

**PALABRAS CLAVES:** Recurso hídrico, balance hídrico, funciones de pedotransferencia, eventos extremos.

**TITLE:** Distributed water balance with pedotransfer functions for estimating extreme events.

**AUTHORS:**

1. Eng. Xiomara Alejandra Zambrano Navarrete.
2. Master. Micheal David Caicedo Toro.
3. Master. Valeria Faréz-Román.

**ABSTRACT:** Distributed water balances play a very important role in water resource management by contributing to the simulation and understanding of spatio-temporal variability through hydrological data and characteristic soil parameters. The aim of this paper is to estimate characteristic hydraulic properties on Valle Hermoso canton, and by this means to carry out a distributed water balance with pedotransference functions to estimate extreme events.

**KEY WORDS:** water resources, water balance, pedotransfer functions, extreme events.

**INTRODUCCIÓN.**

La preservación de los recursos hídricos actualmente es una prioridad en la gestión de recursos naturales en el Ecuador. La riqueza agrícola en diferentes cuencas hidrográficas y el nivel de productividad están estrechamente vinculadas al acceso al agua por parte de los usuarios del recurso. El acceso a la información de disponibilidad hídrica es fundamental en las épocas de estiaje, pues su carencia afecta significativamente a la gestión integrada y sustentable a nivel de cuencas, subcuencas, microcuencas o demarcaciones hidrográficas e hidrogeológicas; pues todas las cuencas tienen características propias incluso las cuencas de la franja costera que poseen características similares a la zona de estudio en la textura del suelo representan una caracterización morfológica e hidrológica propia de la zona (Zimmermann & Basile, 2008).

En la actualidad, las problemáticas existentes de eventos extremos se deben probablemente a características de las cuencas que conllevan a una mayor degradación de la calidad de suelos y aguas (Wösten, 1997). Ante la falta de información de recursos hídricos disponibles en las zonas agrícolas,

se han desarrollado funciones de pedotransferencia (PTF), que mediante propiedades de fácil acceso, permiten obtener parámetros hidráulicos del suelo (Landini et al., 2007). En este sentido, la información de uso y cobertura vegetal es un componente importante que contribuye al modelado de cuencas con respecto a la hidrología (Amador-García et al., 2016) que permite predecir el comportamiento hidrológico del suelo (Jana et al., 2007).

En efecto, existe un número considerable de modelos de Pedotransferencia (Soet & Stricker, 2003); sin embargo, según Botula et al. (2014) es poco el esfuerzo que se realiza por llevar a cabo investigaciones relacionadas a las propiedades del suelo. En diferentes países de la zona tropical se llevan a cabo estudios para estimar las propiedades de los suelos, en respuesta a la falta de estos datos para estas regiones son Brasil con 26% al igual que India los países en donde se realizan más estudios de pedotransferencia, mientras que un 11% es para los otros países de América y 11% para suelos en otros países de África. De ahí la importancia de realizar estudios hidrológicos, morfológicos e inventarios hídricos de las fuentes de agua existentes, pues nos permiten conocer la disponibilidad y calidad de agua (Duque-Sarango et al., 2019).

El presente estudio tiene como objetivo realizar un balance hídrico distribuido con funciones de pedotransferencia para estimar eventos extremos. Para el mismo se realizó una revisión bibliográfica de diferentes metodologías para predecir las intensidades máximas de precipitación correspondiente a una frecuencia y periodo de retorno determinado (Ramírez et al., 2006), donde existe gran variabilidad de información hidrológica y meteorológica. Para lograr lo propuesto se llevaron a cabo 3 procesos: 1) recopilar información morfométrica e hidrológica para la estimación de eventos extremos; 2) determinar las funciones de pedotransferencia de acuerdo a la zona de estudio mediante revisión bibliográfica; 3) realizar el balance hídrico distribuido utilizando los datos obtenidos para mejorar la estimación de eventos extremos.

Esta investigación dará a conocer la regularidad con que ciertas precipitaciones pueden presentarse en la zona de estudio, mediante el análisis de los resultados obtenidos. Esto será de utilidad, ya que los eventos extremos tienden a presentar intensidades de precipitaciones muy altas y de baja frecuencia, cuyas consecuencias causan colapsos de drenaje urbano, desbordamientos de ríos, deslizamientos de laderas, destrucción de infraestructuras e incluso, en los casos más severos, pérdida de vidas humanas (Cadier et al., 1997).

## **DESARROLLO.**

### **Materiales y métodos.**

#### ***Descripción General del área de estudio.***

Valle Hermoso es un cantón que se encuentra a una distancia de 24.18 km, a 30 minutos de la ciudad de Santo Domingo. Se accede por la vía Santo Domingo-Quinindé.

Valle Hermoso tiene potencial para desarrollarse en diferentes actividades, que deben manejarse de forma técnica y participativa. La función principal debe ser la forestal encadenada con el ecoturismo y deportes de aventura. Las actividades agropecuarias se deben completar con las industriales de manera sostenida e integral.

#### ***Ubicación Geográfica.***

Valle Hermoso Cantón Rural de Santo Domingo cuenta con 22 recintos, se encuentra ubicado en la zona Norte de la Provincia [ $0^{\circ} 5.18'N$ ,  $-79^{\circ} 16.82'E$ ], y limita de la siguiente manera:

- **NORTE:** Cantón Puerto Quito, Provincia Pichincha.
- **SUR:** Parroquia Santo Domingo
- **ESTE:** Cantón Los Bancos, Provincia Pichincha.
- **OESTE:** Cantón La Concordia, Provincia de Esmeraldas y Parroquia San Jacinto del Búa.

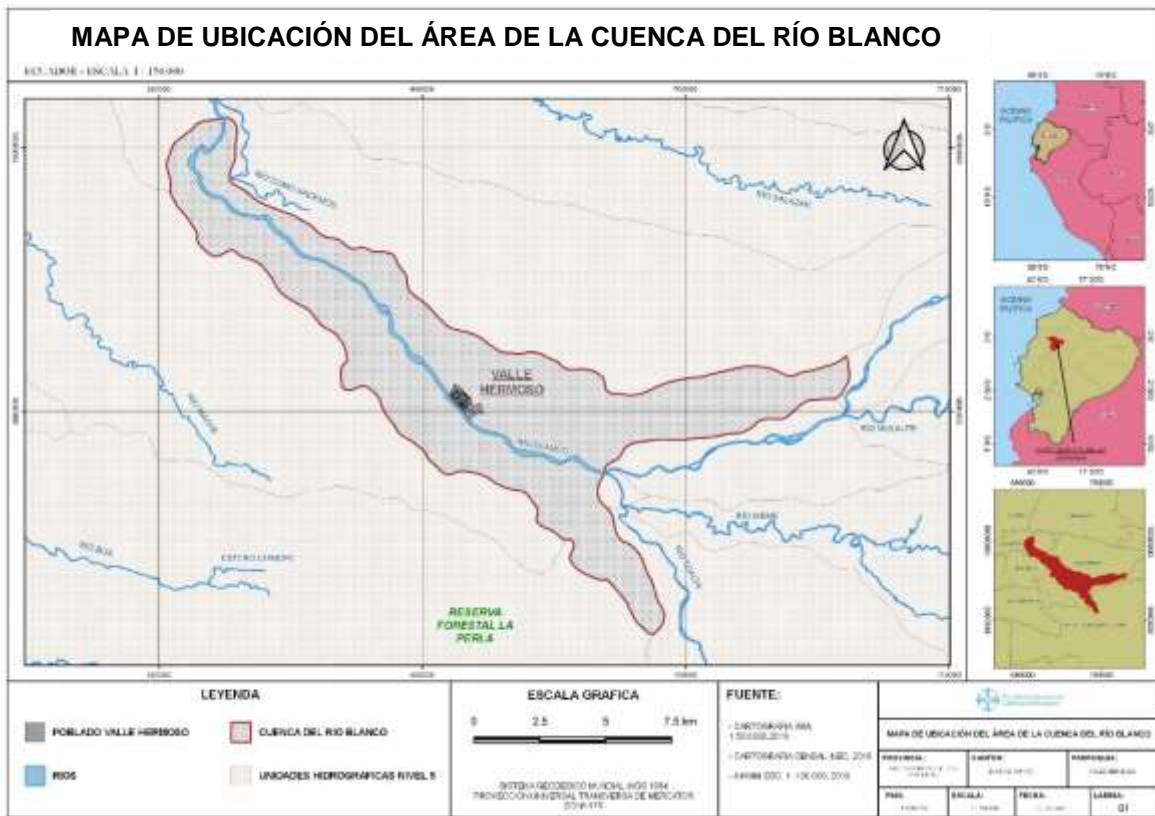


Ilustración 1. Ubicación zona de estudio. Elaborado por: Xiomara Zambrano.

### ***Métodos.***

Este proyecto utilizó un enfoque cuantitativo y cualitativo. Cuantitativo por el desarrollo estadístico con la información de precipitación obtenida y cualitativo para el análisis de la caracterización de la cuenca.

A continuación, se presenta el esquema metodológico implementado para el desarrollo de esta investigación, la metodología propuesta se estableció con base en revisión bibliográfica y la información obtenida determinando las siguientes fases:

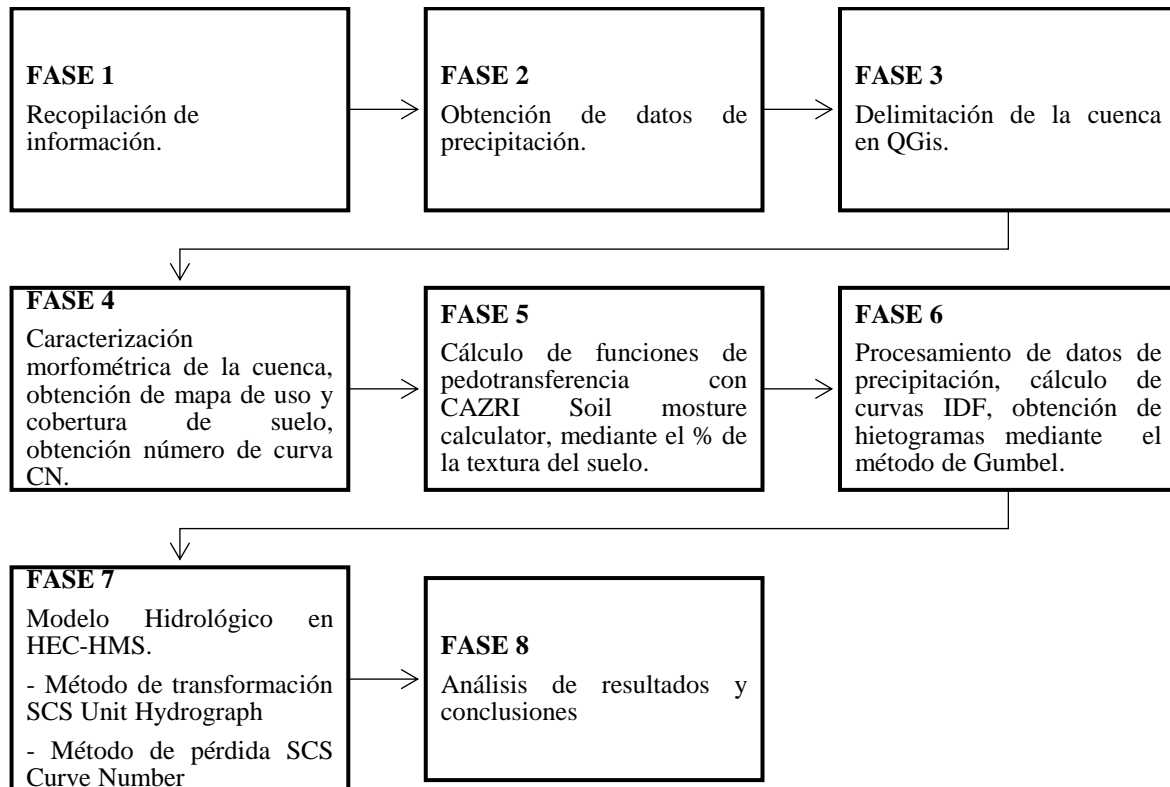


Ilustración 2. Esquema metodológico del estudio. Fuente: Elaboración propia.

### Fase 1.

La revisión bibliográfica es el eje central de la recopilación de datos. Con base en la cartografía se determinó la ubicación de la zona de estudio, además de los mapas de uso del suelo, cobertura de uso de suelo, mapa base de la zona de estudio, de relieve, geológico, de las principales actividades antrópicas que se realizan en el área de la cuenca.

### Fase 2.

La información de hidrología se solicitó al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAHMI), la cual corresponde a la estación hidrológica más cercana para determinar parámetros hidrológicos relevantes para la investigación.

### Fase 3.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten crear, representar, analizar cualquier tipo de información geográfica mediante programas informáticos o Software En este caso el QGIS 3.16.0 fue

el programa utilizado, ya que permite la delimitación de la cuenca de estudio, mediante archivos DEM.

#### Fase 4.

Dentro de los parámetros morfométricos se encuentran los siguientes:

Tabla 1. Parámetros morfométricos.

Parámetro	Fórmula
Área	Es el tamaño de la superficie representada en km <sup>2</sup> , también denominada área de drenaje.
Perímetro de la Cuenca	Es el contorno que limita el área de la microcuenca, tomando como referencia las cotas más altas a los alrededores del área, también conocidas como divisorias.
Longitud del cauce principal	Es la distancia desde el origen de la microcuenca tomando la parte más alta hasta el punto más alejado o la desembocadura, siendo la mayor distancia en sentido del río primario.
Cota más Alta	Es el punto más alto de la cuenca.
Cota más baja	Es el punto más bajo de la cuenca, por lo general es donde desemboca la cuenca.
Coefficiente de compacidad (Kc)	$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$
Coefficiente de Forma (Kf)	$Kf = \frac{A}{L^2}$
Densidad de drenaje	$Dd = \frac{L}{A}$
Pendiente Cauce Principal	$S(\%) = \frac{H_{max} - H_{min}}{LCP} * 100.$
Tiempo de Concentración Kirpich	$Kirpich (Tc) = 60 * 0.06628 * \left(\frac{LCP}{S^{0.5}}\right)^{0.77}$

Elaborado por: Xiomara Zambrano.

La identificación de las características de los suelos se realiza por medio de los mapas obtenidos para determinar el uso y cobertura de suelo del área de estudio, y así lograr obtener el número de curva (CN) por medio del Método del SCS.

#### Fase 5.

Se han desarrollado un número considerable de modelos de funciones de pedotransferencia (Soet & Stricker, 2003), en los cuales se evalúa la información obtenida sobre la caracterización del suelo para

definir el procesamiento de los datos y el Software a utilizar. Para esto, al inicio de la investigación se propusieron dos Softwares: Rossetta V1.0 un Software de Windows 95/98 que permite calcular los Parámetros de retención de agua según van Genuchten, la conductividad hidráulica saturada, los parámetros de conductividad hidráulica insaturada según Van Genuchten (1980) y Mualem (1976) (Schaap et al., 2001). Y CAZRI una calculadora de humedad de suelo, la cual depende únicamente del contenido de arena y arcilla del suelo, además del contenido de carbón orgánico.

#### **Fase 6.**

Durante el periodo de tiempo monitoreado se obtuvieron valores máximos, mínimos y promedios de las precipitaciones acumuladas en 24 horas más recientes para obtener modelos de regresión lineal. El sistema de indicadores de carácter hidrológico tiene por finalidad definir eventos extremos si existen o en qué medida podría ocurrir un cambio en la variable hidrológica en determinado periodo de tiempo, cabe mencionar que mediante Gumbel se obtuvieron las Curvas IDF y posteriormente los histogramas a utilizar (Ramírez et al., 2006), pues su interés práctico radica en la funcionalidad como instrumento de ayuda a la toma de decisiones relativas a la gestión de los recursos hídricos de la cuenca.

#### **Fase 7.**

Actualmente existen grandes cambios globales que tienen impactos sobre las variables hidrológicas y con ello, eventos como los deslizamientos de terrenos, las inundaciones y sequías se han incrementado en el Ecuador (Cadier et al., 1997). Estos eventos están influenciados por otros parámetros a su vez, como la temperatura y cobertura del suelo los cuales provocan grandes cambios a la hora de realizar un balance general del agua, además que los ecosistemas sean más vulnerables, más aún cómo la cuenca del río Blanco que cruza por Valle Hermoso (Duque-Sarango et al., 2019).



El HEC-HMS está diseñado para simular procesos hidrológicos completos de los sistemas de cuencas hidrográficas. El software incluye muchos procedimientos tradicionales de análisis hidrológico, como infiltración de eventos, hidrogramas unitarios y enrutamiento hidrológico (USACE, 2021). El método que se utilizará en esta investigación será el Método de transformación SCS Unit Hydrograph en conjunto con Método de pérdida SCS Curve Number.

### Fase 8.

Después de haber hecho la metodología propuesta, se obtuvo el balance hídrico y se observó el comportamiento en la escala de tiempo propuesta. Con base en lo cual se elaboraron las conclusiones.

### Resultados y Discusión.

A continuación se muestran los resultados que se han conseguido para cada uno de los objetivos propuestos, así como la discusión e interpretación de los mismos.

### Recopilación de información morfométrica e hidrológica.

En base a la información obtenida se pudo conocer que el 50% del territorio se dedica a actividades de producción pecuaria, mientras que el 40% agrícola y solo un 10% a otros usos. A continuación la información morfométrica e hidrológica calculada:

Tabla 2. Datos de la microcuenca río Blanco.

DATOS MICROCUENCA		
Área	104.12	Km <sup>2</sup>
Cota Más Alta	505.99	msnm
Cota Más Baja	173	msnm
Desnivel Altitudinal	332.99	m
Longitud Total Del Río	23773.68	m
Longitud Del Cauce Principal	23773.68	m
Perímetro	80.65	km
Coefficiente De Compacidad Kc	2.23	CLASE III- Oval - Oblonga a rectangular
Densidad De Drenaje	0.23	km/km <sup>2</sup>
Factor De Forma	0.18	Muy poco achatada - Ligeramente Achatada
Pendiente Cauce Principal	0.01	1.40

Tabla 3. Matriz Capacidad uso de suelo de Valle Hermoso.

<b>MATRIZ CAPACIDAD DE USOS DE SUELOS</b>			
<b>Características de los Suelos</b>	<b>Descripción</b>	<b>Área (Ha)</b>	<b>% del territorio parroquial</b>
CLASE III	Suelos con limitaciones, requieren prácticas especializadas de conservación o ambas.	3109.75	10.50%
CLASE IV	Suelos con limitantes muy severas que restringen la elección de cultivos, requieren de un manejo muy cuidadoso o ambos.	6463.03	20.89%
CLASE VI	No aptos para su aprovechamiento bajo cultivos, pero que pueden utilizarse en la producción de pastos, árboles o vida silvestre o cultivos especiales en cobertura.	2150.1	6.95%
CLASE VII	Suelos con limitaciones muy severas que los hacen no aptos para cultivos y restringen su uso a la producción de pastos o árboles o vida silvestre.	12864.18	41.58%
CLASE VIII	Suelos con limitaciones tales que únicamente pueden utilizarse para recreación o vida silvestre o abastecimiento de agua o propósitos estéticos.	6349.06	20.52%

Tabla 4. Cobertura uso de suelo de Valle Hermoso.

<b>TABLA DE COBERTURA DE SUELO</b>			
<b>NIVEL 1</b>	<b>NIVEL 2</b>	<b>NIVEL 3</b>	<b>ÁREA (HA)</b>
Cuerpo de agua	Natural	Agua	396.94
Zona Antrópica	Área Poblada	Antrópico	103.31
Zona Antrópica	Infraestructura	Antrópico	48.4
Bosque	Bosque Nativo	Bosque Nativo	344.88
Tierra Agropecuaria	Cultivo Anual	Cereales	104.35
Tierra Agropecuaria	Cultivo Permanente	Condimento	24.79
Tierra Agropecuaria	Cultivo Semi-Permanente	Fibra	59.39
Tierra Agropecuaria	Cultivo Permanente	Frutales	1828.6
Tierra Agropecuaria	Cultivo Semi-Permanente	Frutales	1900.02
Zona Antrópica	Infraestructura	Invernadero	1.63
Tierra Agropecuaria	Mosaico Agropecuario	Misceláneo de ciclo corto	69.16
Tierra Agropecuaria	Mosaico Agropecuario	Misceláneo de flores	128.52
Tierra Agropecuaria	Mosaico Agropecuario	Misceláneo de frutales	2815.52
Tierra Agropecuaria	Mosaico Agropecuario	Misceláneo indiferenciado	5077.72
Tierra Agropecuaria	Cultivo Permanente	Oleaginosas	5459.88
Tierra Agropecuaria	Pastizal	Pastizal	11668.18
Tierra Agropecuaria	Cultivo Semi-Permanente	Tallos Comestibles	769.19
Tierra Agropecuaria	Otras tierras agrícolas	Tierras en transición	140.46

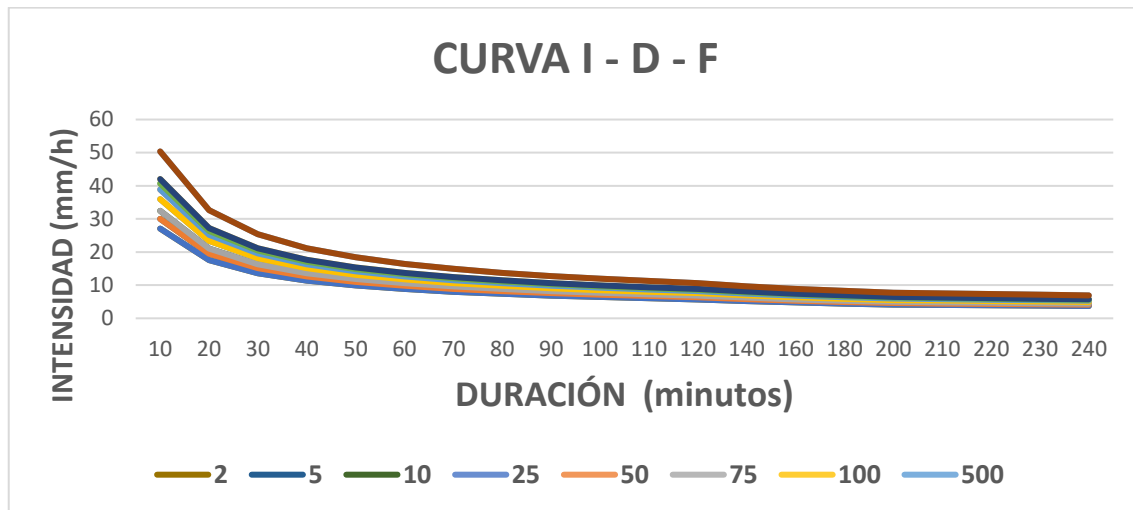


Ilustración 3 Curva IDF.

### Determinación de las funciones de pedotransferencia.

Ante los dos Software propuestos se decidió por la calculadora CAZR, ya que el Software Rossetta si bien calcula 5 funciones de pedotransferencia todas son para condiciones tropicales. Además, al ser un Software del año 97/98, tenía condicionamientos para su instalación. Mientras que la calculadora CAZR nos permite calcular valores de pedotransferencia utiles para eventos extremos cómo la sequía. Si bien es cierto que Valle Hermoso, al contar con el río Blanco, es poco propenso a sufrir sequías, es fundamental conocer el comportamientamiento de estas funciones. CAZRI permite calcular 3 funciones de pedotransferencia por medio de 5 modelos (Tabla 6). Además, se determinó que en general la provincia de Santo Domingo cuenta con un porcentaje de arcilla, mientras que dentro de la textura de Valle hermoso ni un mínimo valor de arcilla.

Tabla 5. Datos de entrada CAZRI

<b>DATOS DE ENTRADA</b>	<b>Ha</b>	<b>%</b>
Arena	9018.16	29.15
Limo	269.93	0.87
Arcilla	0	0
Franco	20899.22	67.56
Areno Limoso	748.23	2.42
<b>TOTAL</b>	<b>30935.54</b>	<b>100</b>

Tabla 6. Resultados Obtenidos CAZRI.

<b>RESULTADOS CAZRI - SOIL MOISTURE CALCULATOR</b>			
<b>MODELS PEDOTRANSFER FUNCTION</b>	<b>Field Capacity, FC</b>	<b>Permanent wilting point, PWP</b>	<b>Available water capacity (AWC) for 15 cm soil layer</b>
	<b>(% w/w)</b>	<b>(% w/w)</b>	<b>(mm)</b>
<b>CAZRI PTF Model (PSD)</b>	22.11	3.92	40.66
<b>Tomasella and Hodnett, 1998.</b>	4.42	1.04	5.06
<b>Singh, 2000.</b>	43.01	2.37	60.95
<b>Adhikary et al., 2008.</b>	41.27	0.71	60.84
<b>Chakraborty et al, 2011.</b>	20.64	15.45	11.59

### Elaboración del balance hídrico HMS.

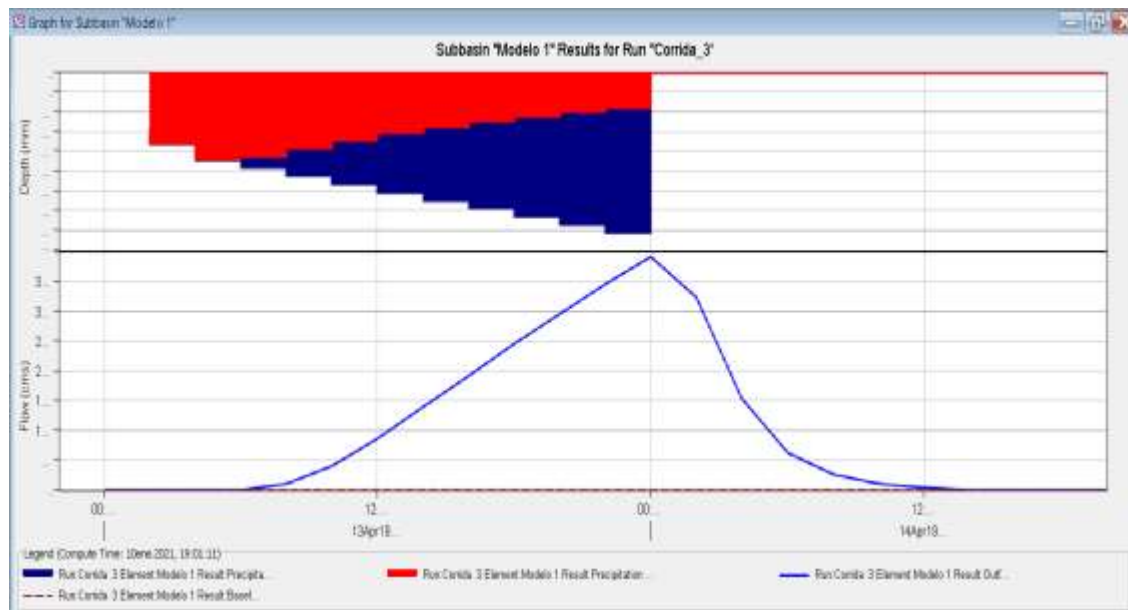
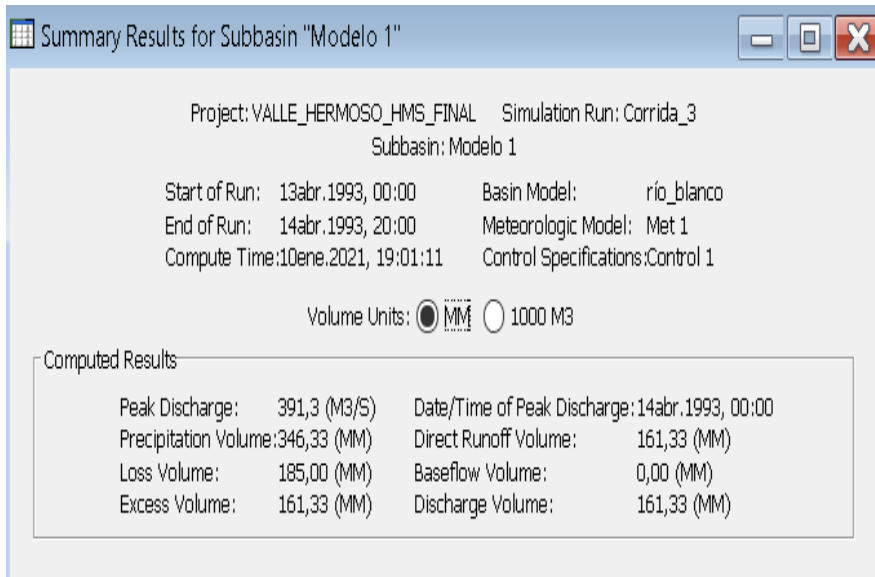
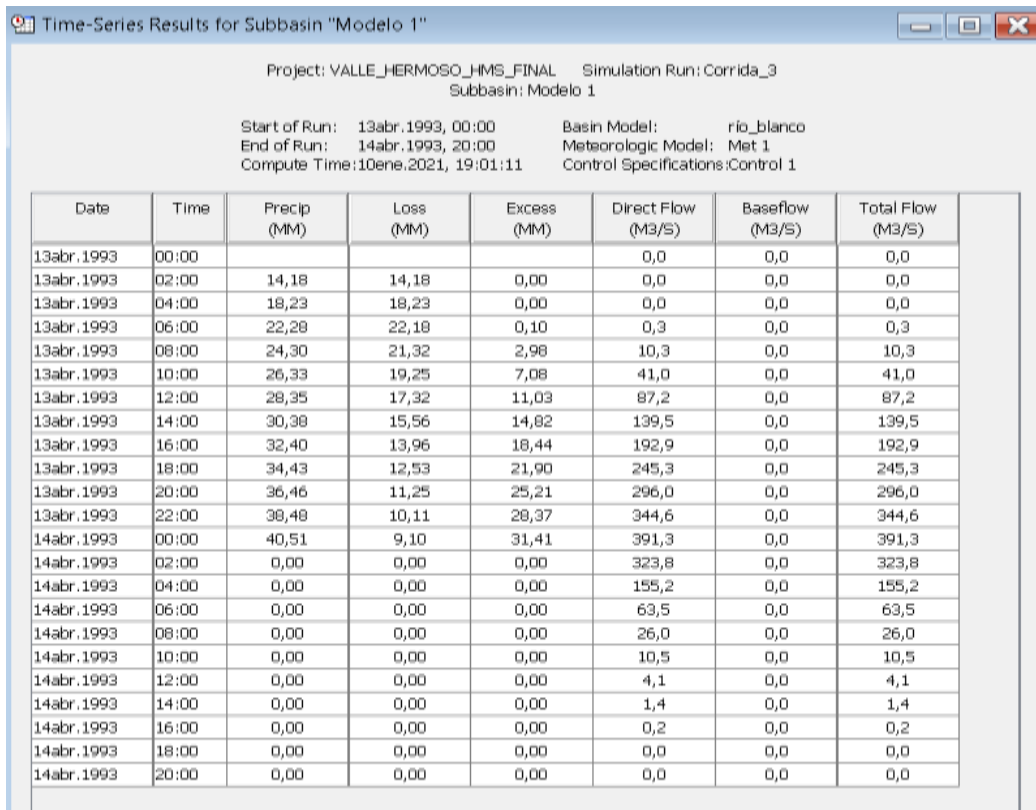


Ilustración 4. Hidrograma de crecida mediante HMS.



**Ilustración 5** Datos computados Modelado HMS



**Ilustración 6.** Resultados Computados HMS.

## **CONCLUSIONES.**

A través de bases de datos públicas se accedió a información de alta resolución temporal, con respecto a precipitaciones y tipo de suelo de Valle Hermoso. Esto nos permitió obtener parámetros morfológicos de la cuenca como uso y cobertura del suelo, así como datos de precipitación diarios de la estación más cercano al río Blanco del Cantón Valle Hermoso, estación metereológica M025 e hidrológica H138. Para el periodo de 1980 a 2019.

Por la forma ligeramente achatada de la subcuenca existe tendencia a la ocurrencia de inundaciones ante eventos de precipitaciones fuertes. Los resultados demostraron que Valle Hermoso no sufre de sequía gracias a las propiedades del suelo. Las funciones de pedotransferencia utilizadas se basaron en la textura del suelo, observando tres parámetros del suelo calculados por cinco metodologías diferentes. La capacidad de campo, punto de marchitez y el agua disponible para una profundidad de 15 cm varía según el método utilizado dando valores en el punto de marchitez desde 4.42 % hasta 43.01%, por los tipos de textura de suelo que tiene Valle hermoso dónde existe un porcentaje de 0% para arcilla.

En el balance hídrico se puede observar un exceso de 161.33 mm, lo que va de acuerdo a los eventos extremos de inundaciones que suceden en la zona por lo que se observa que debido a la intensidad y la forma de la cuenca existe un exceso de precipitación llegando a 31.41mm en el punto máximo.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

1. Amador-Garcia, A., Mendoza, M. E., & Martínez-Ruiz, Y. (2016). Estimación del balance hídrico espacialmente distribuido considerando escenarios de cambio climático en cuencas costeras no instrumentadas del golfo de México. Memorias del IV Congreso Nacional Manejo de Cuencas Hidrográficas.

2. Botula, Y.-D., Van Ranst, E., & Cornelis, W. M. (2014). Pedotransfer functions to predict water retention for soils of the humid tropics: a review. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 38(3), 679–698.
3. Cadier, É., Gornez, G., Calvez, R., & Rossel, F. (1997). Inundaciones y Sequias en el Ecuador: el proyecto INSEQ. Obtenido de: [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers13-05/010056884.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers13-05/010056884.pdf)
4. Duque-Sarango, P., Patiño, D. M., & López, X. E. (2019). Evaluación del Sistema de Modelamiento Hidrológico HEC-HMS para la Simulación Hidrológica de una Microcuenca Andina Tropical Evaluation of the Hydrological Modeling System HEC-HMS for the Hydrological Simulation of a Tropical Andean Micro-basin. *Información Tecnológica*, 30(6), 351–362.
5. Jana, R. B., Mohanty, B. P., & Springer, E. P. (2007). Multiscale Pedotransfer Functions for Soil Water Retention. *Vadose Zone Journal*, 6(4), 868–878.
6. Landini, A., Martínez, D., Días, H., Soza, E., Agnes, D., & Sainato, C. (2007). Modelos de infiltración y funciones de pedotransferencia aplicados a suelos de distinta textura. *CI. Suelo (Argentina)* 25(2): 123-131.
7. Mualem, Y. (1976). A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water resources research*, 12(3), 513-522.
8. Ramírez, M., Ghanem, A., & Lárez, H. (2006). Estudio comparativo de los diferentes métodos utilizados para la predicción de intensidades máximas de precipitación para el diseño adecuado de estructuras hidráulicas. *SABER. Revista Multidisciplinaria Del Consejo de Investigación de La Universidad de Oriente*, 18(2), 189–196.

9. Schaap, M. G., Leij, F. J., & Van Genuchten, M. T. (2001). Rosetta: A computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. *Journal of hydrology*, 251(3-4), 163-176.
10. Soet, M., & Stricker, J. N. M. (2003). Functional behaviour of pedotransfer functions in soil water flow simulation. *Hydrological Processes*, 17(8), 1659–1670.
11. USACE. (2021). US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center - HEC-HMS. <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>
12. Van Genuchten, M. T. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil science society of America journal*, 44(5), 892-898.
13. Wösten, J. H. M. (1997). Pedotransfer functions to evaluate soil quality. In *Developments in Soil Science* (Vol. 25, pp. 221-245). Elsevier.
14. Zimmermann, E. D., & Basile, P. A. (2008). Uso de funciones de pedotransferencia para la estimación de parámetros hidráulicos en suelos limosos (Llanura Argentina). *Boletín Geológico y Minero*, 119(1), 71–80.

#### **DATOS DE LOS AUTORES.**

1. **Xiomara Alejandra Zambrano Navarrete.** Ingeniera Hidráulica. Maestrante de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí. PUCEM-Ecuador. E-mail: [xiomarazn@gmail.com](mailto:xiomarazn@gmail.com)
2. **Micheal David Caicedo Toro.** Magíster en Ciencias Ambientales Mención Tecnologías y Gestión. Docente de la Carrera de Ingeniería Hidráulica, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí. PUCEM-Ecuador. E-mail: [mcaicedo@pucesm.edu.ec](mailto:mcaicedo@pucesm.edu.ec)
3. **Valeria Fárez-Román.** Máster en Eco hidrología. Docente de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí. PUCEM-Ecuador. E-mail: [cfarez@pucesm.edu.ec](mailto:cfarez@pucesm.edu.ec)

**RECIBIDO:** 6 de febrero del 2021.

**APROBADO:** 19 de febrero del 2021.