UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

MODELAMIENTO DE INUNDACIÓN MEDIANTE EL SOFTWARE HEC-RAS PARA LA SUBCUENCA DEL RÍO VERDE, UBICADA EN EL CANTÓN BAÑOS DE AGUA SANTA, ECUADOR.

AUTOR(ES):

Gerardo Joel Ruiz Alban

Kevin Oswaldo Lojano Gómez

DOCENTE - TUTOR:

Dr. Ricardo Vinicio Abril Saltos, PhD.

Puyo - Pastaza - Ecuador

2023

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

MODELAMIENTO DE INUNDACIÓN MEDIANTE EL SOFTWARE HEC-RAS PARA LA SUBCUENCA DEL RÍO VERDE, UBICADA EN EL CANTÓN BAÑOS DE AGUA SANTA, ECUADOR.

AUTOR(ES):

Gerardo Joel Ruiz Alban

Kevin Oswaldo Lojano Gómez

DOCENTE - TUTOR:

Dr. Ricardo Vinicio Abril Saltos, PhD.

Puyo - Pastaza - Ecuador

2023

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.		
Criterios	**Puntaje**	**Argumentos de la calificación**
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	4/5	No se evidencia autores en documento.
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	4/5	
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	20/20	
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	15/15	
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	14/15	No cumple con lo que establece la Guía en cuanto a la presentación de gráficos y figuras. (deben presentarte en blanco y negro o escalas grises)

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	24/25	Figuras y gráficos no cumple con lo que determina la guía.
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	9/10	
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5/5	
VALORACIÓN TOTAL	95/100	

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	95/100

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
SANTIAGO HOMERO CUICHAN PAUCAR

Ing. Santiago Homero Cuichan Paucar M.Sc.
Docente PAR CIEGO

Dado en la ciudad de Puyo, a los 10 días del mes de maro de 2023

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.		
Criterios	**Puntaje**	**Argumentos de la calificación**
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5/5	Cumple
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	5/5	Cumple
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	20/20	Cumple
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	15/15	Cumple
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	15/15	Cumple

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	25/25	Cumple
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10/10	Cumple Una investigación muy bien lograda. Reitero mis Felicitaciones!.
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5/5	Cumple
VALORACIÓN TOTAL	100/100	

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	100

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
MARIA DEL CARMEN CASTELO NAVEDA

María del Carmen Castelo N.
docente PAR CIEGO

Dado en la ciudad de Puyo, a los 10 días del mes de marzo de 2023

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Puyo, 01 de marzo de 2023

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: Ruiz Alban Gerardo Joel con C.I. 180518473-4, con el Tema: **"Modelamiento de inundación mediante el software HEC- RAS para la subcuenca del río Verde, ubicada en el cantón Baños de Agua Santa, Ecuador"**,de la carrera de Ingeniería Ambiental. Docente director del Trabajo de Integración Curricular, Ricardo Vinicio Abril Saltos, ha sido revisado mediante el sistema anti-plagio URKUND, reportando una similitud del 8%, Informe generado con fecha 2023-02-28 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
RICARDO VINICIO
ABRIL SALTOS

_____

Dr. Ricardo Vinicio Abril Saltos, PhD.

Docente-director del Trabajo de Integración Curricular

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Ouriginal by Turnitin

Document Information

Analyzed document	Modelamiento de inundación mediante el software HEC-RAS para la subcuenca del rio Verde, ubicada en el cantón Baños de Agua Santa, Ecuad.pdf (D159656083)
Submitted	2/28/2023 3:14:00 AM
Submitted by	Ricardo Abril
Submitter email	rvabril@uea.edu.ec
Similarity	8%
Analysis address	rvabril.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA	**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / Calderon- Castillo urkund.pdf** Document Calderon- Castillo urkund.pdf (D110045235) Submitted by: rvabril@uea.edu.ec Receiver: rvabril.uea@analysis.urkund.com	2
SA	**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / Cárdenas Nathaly_Cisneros Jorge_05Julio-2021.docx** Document Cárdenas Nathaly_Cisneros Jorge_05Julio-2021.docx (D110190863) Submitted by: rvabril@uea.edu.ec Receiver: rvabril.uea@analysis.urkund.com	3
W	URL: https://www.ecologiaverde.com/cuencas-hidrograficas-que-son-tipos-e-importancia-3334.html Fetched: 2/28/2023 3:14:00 AM	1
W	URL: https://doi.org/10.15446/dyna.v86n210.70738 Fetched: 2/28/2023 3:14:00 AM	1
W	URL: http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7243 Fetched: 2/28/2023 3:14:00 AM	1
W	URL: https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19688 Fetched: 2/28/2023 3:14:00 AM	1
W	URL: https://acolita.com/que-es-un-tin-red-irregular-triangular/ Fetched: 2/28/2023 3:14:00 AM	1
W	URL: http://repositorio.cidecuador.org/jspui/handle/123456789/818 Fetched: 2/28/2023 3:14:00 AM	1

Ouriginal by Turnitin

W	URL: https://gyaconstructora.wordpress.com/2015/11/25/robert-manning-y-su-formula-para-calcular-la-... Fetched: 2/28/2023 3:14:00 AM	2
W	URL: https://cenida.una.edu.ni/documentos/NP33G216m.pdf Fetched: 2/28/2023 3:14:00 AM	1
W	URL: https://geoinnova.org/blog-territorio/que-es-un-sig-gis-o-sistema-de-informacion-geografica/ Fetched: 2/28/2023 3:14:00 AM	2
SA	**TESIS FINAL REVISION -DAVID GUZMAN.docx** Document TESIS FINAL REVISION -DAVID GUZMAN.docx (D135724614)	1
W	URL: https://doi.org/10.25054/22161325.2527 Fetched: 2/28/2023 3:15:00 AM	1
W	URL: http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21313 Fetched: 2/28/2023 3:15:00 AM	1
W	URL: https://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/view/443 Fetched: 2/28/2023 3:16:00 AM	1
SA	**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / PERFIL-FINAL-ACAN-ACOSTAurkund.pdf** Document PERFIL-FINAL-ACAN-ACOSTAurkund.pdf (D110045234) Submitted by: rvabril@uea.edu.ec Receiver: rvabril.uea@analysis.urkund.com	1
W	URL: https://www.academia.edu/24095776/DETERMINACI%C3%93N_DE_TEXTURA_POR_EL_M%C3%89TODO_DE_BOUYUCOS... Fetched: 2/28/2023 3:16:00 AM	1
SA	**Tesis- Basantes y Alarcon - Corregido.pdf** Document Tesis- Basantes y Alarcon - Corregido.pdf (D149640976)	1
W	URL: https://thewashroom.waterforpeople.org/es/importancia-del-desarrollo-de-las-cuencas-hidrografi... Fetched: 2/28/2023 3:17:00 AM	1

Entire Document

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Puyo, 01 de marzo de 2023

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: Lojano Gómez Kevin Oswaldo con C.I. 140102184-3, con el Tema: **"Modelamiento de inundación mediante el software HEC- RAS para la subcuenca del río Verde, ubicada en el cantón Baños de Agua Santa, Ecuador"**,de la carrera de Ingeniería Ambiental. Docente director del Trabajo de Integración Curricular, Ricardo Vinicio Abril Saltos, ha sido revisado mediante el sistema anti-plagio URKUND, reportando una similitud del 8%, Informe generado con fecha 2023-02-28 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
RICARDO VINICIO
ABRIL SALTOS

_____

Dr. Ricardo Vinicio Abril Saltos, PhD.

Docente-director del Trabajo de Integración Curricular

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Ouriginal by Turnitin

Document Information

Analyzed document	Modelamiento de inundación mediante el software HEC-RAS para la subcuenca del rio Verde, ubicada en el cantón Baños de Agua Santa, Ecuad.pdf (D159656083)
Submitted	2/28/2023 3:14:00 AM
Submitted by	Ricardo Abril
Submitter email	rvabril@uea.edu.ec
Similarity	8%
Analysis address	rvabril.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA	**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / Calderon- Castillo urkund.pdf** Document Calderon- Castillo urkund.pdf (D110045235) Submitted by: rvabril@uea.edu.ec Receiver: rvabril.uea@analysis.urkund.com	2
SA	**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / Cárdenas Nathaly_Cisneros Jorge_05Julio-2021.docx** Document Cárdenas Nathaly_Cisneros Jorge_05Julio-2021.docx (D110190863) Submitted by: rvabril@uea.edu.ec Receiver: rvabril.uea@analysis.urkund.com	3
W	URL: https://www.ecologiaverde.com/cuencas-hidrograficas-que-son-tipos-e-importancia-3334.html Fetched: 2/28/2023 3:14:00 AM	1
W	URL: https://doi.org/10.15446/dyna.v86n210.70738 Fetched: 2/28/2023 3:14:00 AM	1
W	URL: http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7243 Fetched: 2/28/2023 3:14:00 AM	1
W	URL: https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19688 Fetched: 2/28/2023 3:14:00 AM	1
W	URL: https://acolita.com/que-es-un-tin-red-irregular-triangular/ Fetched: 2/28/2023 3:14:00 AM	1
W	URL: http://repositorio.cidecuador.org/jspui/handle/123456789/818 Fetched: 2/28/2023 3:14:00 AM	1

Ouriginal by Turnitin

W	URL: https://gyaconstructora.wordpress.com/2015/11/25/robert-manning-y-su-formula-para-calcular-la-... Fetched: 2/28/2023 3:14:00 AM	2
W	URL: https://cenida.una.edu.ni/documentos/NP33G216m.pdf Fetched: 2/28/2023 3:14:00 AM	1
W	URL: https://geoinnova.org/blog-territorio/que-es-un-sig-gis-o-sistema-de-informacion-geografica/ Fetched: 2/28/2023 3:14:00 AM	2
SA	**TESIS FINAL REVISION -DAVID GUZMAN.docx** Document TESIS FINAL REVISION -DAVID GUZMAN.docx (D135724614)	1
W	URL: https://doi.org/10.25054/22161325.2527 Fetched: 2/28/2023 3:15:00 AM	1
W	URL: http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21313 Fetched: 2/28/2023 3:15:00 AM	1
W	URL: https://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/view/443 Fetched: 2/28/2023 3:16:00 AM	1
SA	**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / PERFIL-FINAL-ACAN-ACOSTAurkund.pdf** Document PERFIL-FINAL-ACAN-ACOSTAurkund.pdf (D110045234) Submitted by: rvabril@uea.edu.ec Receiver: rvabril.uea@analysis.urkund.com	1
W	URL: https://www.academia.edu/24095776/DETERMINACI%C3%93N_DE_TEXTURA_POR_EL_M%C3%89TODO_DE_BOUYUCOS... Fetched: 2/28/2023 3:16:00 AM	1
SA	**Tesis- Basantes y Alarcon - Corregido.pdf** Document Tesis- Basantes y Alarcon - Corregido.pdf (D149640976)	1
W	URL: https://thewashroom.waterforpeople.org/es/importancia-del-desarrollo-de-las-cuencas-hidrografi... Fetched: 2/28/2023 3:17:00 AM	1

Entire Document

Modelamiento de inundación mediante el software HEC-RAS para la subcuenca del río Verde, ubicada en el cantón Baños de Agua Santa, Ecuador

Gerardo Joel Ruiz Alban
gj.ruiza@uea.edu.ec

Kevin Oswaldo Lojano Gómez
ko.lojanog@uea.edu.ec

Dr. Ricardo Vinicio Abril Saltos, PhD.
rvabril@uea.edu.ec

Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Vida, Carrera de Ingeniería Ambiental (1)

Resumen

Este trabajo se desarrolló para la subcuenca de río Verde, Baños de Agua Santa, Tungurahua, Ecuador. El objetivo fue realizar un modelamiento de inundación de la subcuenca a través del software HEC-RAS. La zona de estudio presenta altos niveles de pluviosidad, teniendo como antecedente el desbordamiento del cauce en el invierno del 2012 que afectó viviendas y cultivos aledaños. Con las pruebas de infiltración se pudo determinar un número de curva de 84 y la medición de caudal dio un resultado de 43,54 m^3/s. Para la lluvia de proyecto, se obtuvo intensidades por interpolación entre estaciones cercanas a la zona de estudio, las cuales mediante un reajuste se elaboró una curva de intensidad de 38 mm/h para un periodo de retorno de 100 años y un hietograma de precipitación. La delimitación de la subcuenca, área de 132,15 km^2, perímetro de 63,6 km y un tiempo de concentración de 120 min se determinó un caudal máximo de 151,2 m^3/s. Se corrió la simulación en HEC-RAS y se exportó al ArcMap, en donde se proyectó la zona de inundación, obteniendo un área inundable de 44987,9 m^2.

Palabras Clave: Infiltración, caudal, inundación, cuenca hidrográfica, número de curva.

Abstract

This work was developed for the Verde River sub-basin, Baños de Agua Santa, Tungurahua, Ecuador. The objective was to carry out a flood modeling of the sub-basin using HEC-RAS software. The study area has high levels of rainfall, having as a background the overflowing of the riverbed in the winter of 2012, which affected houses and surrounding crops. With the infiltration tests it was possible to determine a curve number of 84 and the flow measurement yielded a result of 43,54 m^3/s. For the project rainfall, intensities were obtained by interpolation between stations near the study area, which by means of a readjustment produced an intensity curve of 38 mm/h for a return period of 100 years and a rainfall hietogram. The delimitation of the sub-basin, area of 132,15 km^2, perimeter of 63,6 km and a concentration time of 120 min, a maximum flow of 151,2 m^3/s was determined. The simulation was run in HEC-RAS and exported to ArcMap, where the flood zone was projected, obtaining a floodable area of 44987,9 m^2.

Keywords: Infiltration, water flow, Hydrographic River Basin, flood, curve number.

1. INTRODUCCIÓN

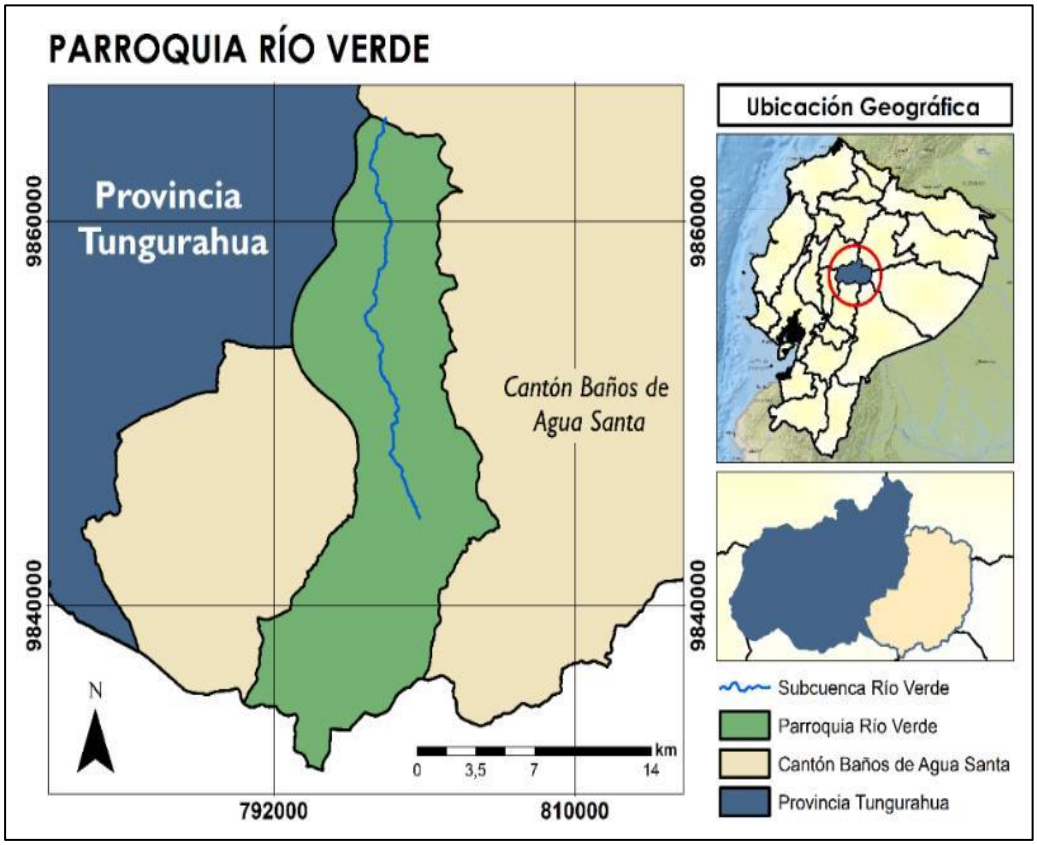
A nivel mundial, las inundaciones son consideradas como un evento muy peligroso y dañino. Este es definido como un proceso natural que abarca un aumento del agua por arriba de los niveles normales del cauce afectando el componente poblacional vulnerable y cualquier otro aledaño a la cuenca, teniendo a las precipitaciones intensas y la deforestación como los principales causantes de las inundaciones (Huancas, 2019). Según un informe de estudio de mortalidad y pérdida económica por fenómenos meteorológicos, climáticos e hidrológicos extremos comprendidos entre los años 1970-2019, establece un total de 58 700 muertes a causa de las inundaciones. En Sudamérica, la cifra de pérdidas en los años de estudio comprende un valor de 31 318 muertes, expresando así que las inundaciones provocaron el mayor número de desastres, cerca del 59% con una tasa de mortalidad del 77% (Organización Meteorológica Mundial [OMM], 2021). Estudiar el comportamiento de los cuerpos hidrológicos conlleva importantes beneficios, esto debido a que el agua como recurso constituye un componente esencial para el desarrollo y mejoramiento de la vida en una población. Vinay (2021) recalca la importancia con respecto a la gestión del recurso hídrico en una cuenca, pues no la define únicamente como una unidad hidrológica, si no que, además esta representa un elemento fundamental en términos de desarrollo social, económico y de seguridad alimenticia. El objetivo general consiste en el desarrollo de un modelamiento de inundación mediante un software especializado para la subcuenca río Verde, con la finalidad de identificar las posibles zonas inundables en el lugar de estudio. La metodología se basa en el levantamiento de información en campo y su posterior manejo en términos de cuantificación de variables necesarias en el modelamiento, estas obtenidas a través de la aplicación de fórmulas o su disposición en programas especializados.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Ubicación

La Parroquia Río Verde se ubica en el cantón Baños de Agua Santa, provincia de Tungurahua. Cuenta con una superficie de 246,5 km^2, una pluviosidad anual de entre los 1750 a 4500 mm y posee un clima templado con una temperatura promedio de 18°C. El río Verde nace en el Parque Nacional Llanganates y desemboca en el río Pastaza (Gobierno autonónomo Descentralizado Parroquial Rural Río Verde , 2013).

Figura 1. Ubicación



Fuente: Autores

2.2 Materiales

Los materiales empleados para el levantamiento de información se definen a continuación.

Tabla 1. Materiales

Materiales	Cantidad
GPSMAP 62sc Garmin	1
Lata de pintura metálica vacía de 1 gal sin base	6
Caneca plástica vacía de 5 gal sin base	6
Pala de punta cuadrada	2
Flexómetro	2
Nivel de burbuja	1
Cubeta o recipiente	4
Regla graduada	5
Multi Timer aplicación móvil	1
Funda plástica rayada	20
Funda plástica de 1 lb	20
Cinta adhesiva blanca	1
Esfero	3
Tubo metálico de 3 in de diámetro y 5 cm de largo	16
Cinta métrica 25 m	1
Listón graduado 1,5 m	1
Hoja de registro	10

Fuente: Autores

2.3 Metodología

La metodología utilizada en el trabajo se dividió en 6 etapas principales.

2.3.1 Pruebas de infiltración, toma y análisis de muestras de suelo

Se utilizó el método de doble anillo. Consiste en utilizar dos cilindros de diferente diámetro incrustados en el suelo, donde se mide la capacidad de infiltración relacionando el tiempo que tarda el suelo en absorber el agua (Alvarado y Barahona, 2017). Se llevaron a cabo 8 pruebas de infiltración, realizadas en superficie y a 50 cm de profundidad en una calicata, donde se registró el descenso del agua en intervalos de tiempo de 0, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 75, 90, 120, 150 y 180 minutos.

Tabla 2. Datos de los puntos de estudio

Identificación de la muestra	Lado de la cuenca	Cobertura	Coordenadas UTM (17S)		Elevación (m s. n. m.)
			X (m E)	Y (m S)	
1	Izquierda	Pasto	799535	9846236	1646
2	Izquierda	Bosque	799513	9846173	1698
3	Izquierda	Bosque	799542	9846165	1689
4	Izquierda	Bosque	799533	9846166	1678
5	Derecha	Agrícola	799906	9846396	1625
6	Derecha	Agrícola	799864	9846439	1638
7	Derecha	Bosque	799936	9846510	1709
8	Derecha	Pasto	799923	9846386	1666

Fuente: Autores

Concluidas las pruebas se estableció el espesor de mantillo y humus. Con la información levantada en campo se determinó la capacidad de infiltración por el modelo de Horton (Weber, 2014). El número de curva a través del método del mismo nombre, desarrollado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y adaptado en el modelo hidrológico Modipé (Diaz y Mercado, 2017). Asimismo, se realizó una conversión del número de curva por la relación de Chow a condición de humedad previa III, a razón de que las pruebas se hicieron en el mes de octubre, parte del periodo de latencia (Cabrera y Rodríguez, 2017).

Para el análisis del suelo en laboratorio se tomaron un total de 24 muestras entre lado izquierdo y derecho del rio, siendo 8 superficiales, 8 a profundidad y 8 compuestas y en 3 tipos de cobertura vegetal: bosque, agrícola y pasto. De las muestras superficiales y a profundidad se estimó la densidad aparente aplicando el método del cilindro. Mediante la ecuación **(1)** se obtiene su volumen. La densidad aparente, la ecuación **(2)** (García, 2017).

$$Vc = r^2 \pi h \quad (1)$$

$$Da = \frac{Pss}{Vc} \quad (2)$$

Dónde:

Vc = Volumen del cilindro (cm^3)
r^2 = radio del cilindro (cm^2)

h = altura del cilindro (cm)
Da = Densidad aparente (g/cm^3)
Pss = Peso del suelo seco (g)

La textura del suelo se examinó en las 8 muestras y hace referencia a las fracciones granulométricas de arena, arcilla y limo, analizadas en el triángulo textural. (Pellegrini, 2019). Se aplicó el método del Hidrómetro de Bouyoucos, utilizando 40 g de muestra y 100 ml de Hexametafosfato de Sodio como solución dispersante, y para el factor de corrección se aplicó la norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (Trasviña et al., 2018) para así obtener la lectura corregida a los 40 s mediante la ecuación **(3)** y a las 2 h la ecuación **(4)**. Para establecer el porcentaje de arena se aplicó la ecuación **(5)**, arcilla ecuación **(6)** y limo ecuación **(7)** (Rojas y Herrera, 2016).

$$LC_{40s} = (LM_{40S} + FCM) - (LB_{40s} + FCB) \quad (3)$$

$$LC_{2h} = (LM_{2h} + FCM) - (LB_{2h} + FCB) \quad (4)$$

$$A(\%) = 100 - \left(\frac{LC_{40s}}{Pm} x100\right) \quad (5)$$

$$Ar(\%) = \frac{LC_{2h}}{Pm} x100 \quad (6)$$

$$L(\%) = 100 - [A(\%) + Ar(\%)] \quad (7)$$

Donde:

LC_{40s} = Lectura corregida a los 40 segundos.
LM_{40s} = Lectura de la muestra a los 40 segundos.
FCM = Factor de corrección de la muestra
LB_{40s} = Lectura en blanco a los 40 segundos.
FCB = Factor de Corrección en Blanco
LC_{2h} = Lectura corregida a las 2 horas.
LM_{2h} = Lectura de la muestra a las 2 horas.
LB_{2h} = Lectura en blanco a las 2 horas.
Pm = Peso de la muestra (g).
A (%) = Porcentaje de Arena
Ar (%) = Porcentaje de Arcilla
L (%) = Porcentaje de Limo

El contenido de materia orgánica se determinó mediante el método de Calcinación (Izquierdo & Arévalo, 2021), utilizando 5 g de muestra seca, molida y tamizada, pasando por la mufla a temperaturas de 105 °C y 300 °C. El porcentaje de materia organiza se obtiene mediante la ecuación **(8)**.

$$\%MO = \frac{P_{105°C} - P_{300°C}}{P_{105°C}} * 100 \quad (8)$$

Donde:

%MO = Porcentaje de materia orgánica.

$P_{105°C}$ = Peso de la muestra a 105 °C.
$P_{300°C}$ = Peso de la muestra a 300 °C.

2.3.2 Medición del caudal

Por el método Sección-Velocidad delimitando perfiles en el cauce. El caudal por la ecuación **(9)** y la velocidad por la ecuación de Manning (Galed & Asociados Constructora, 2015) ecuación **(10)**. Previamente se calculó el área de mojado, perímetro de mojado, pendiente hidráulica, radio hidráulico y coeficiente de rugosidad, este último por de la ecuación de Bray (Rojo, 2020), ecuación **(11)**.

$$Q = A \times v \quad (9)$$

$$v = \frac{1}{n} \times Rh^{2/3} \times S^{1/2} \quad (10)$$

$$n = 0{,}495 \times D^{0{,}16} \quad (11)$$

Dónde:

Q = Caudal (m^3/s)
A = Área de la sección transversal (m^2)
v = velocidad del agua (m/s)
n = Coeficiente de rugosidad
Rh = Radio Hidráulico (m)
S = Pendiente hidráulica
D = Promedio del diámetro longitudinal y transversal de las rocas

2.3.3 Lluvia de proyecto

Al no encontrarse estaciones meteorológicas en un rango de 10 km de la zona de estudio, por la revisión del documento de Guachamín et al. (2019) se obtuvo las ecuaciones para el desarrollo de las curvas de intensidad I, duración D y frecuencia F. Utilizando datos de la estación meteorológica Baños (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2013) y de la estación biológica Pindo Mirador (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza, 2017), se realizó interpolaciones por el método Isoyetas (Geomatica, 2019) en el programa ArcMap 10.5 (Environmental Systems Research Institute, 2016). A sí mismo se realizó un hietograma de precipitación de diseño utilizando las relaciones de IDF a través del método de bloques alternos para un periodo de retorno T de 100 años (Granados, 2017).

2.3.4 Delimitación de la cuenca y zona de recarga

Se establecieron coordenadas correspondientes al punto de control y desembocadura del río, delimitando así el área de la cuenca y de la zona de recarga hasta el punto de control utilizando modelos digitales de terreno en ArcMap, los cuales fueron extraídos del sitio web *Earthexplorer*. Se determinaron características fisiográficas de la cuenca como superficie, perímetro, forma a través del coeficiente de compacidad y elongación, longitud del curso principal, cotas, pendiente y el tiempo de concentración por la ecuación de Kirpich (Betancor et al., 2014), ecuación **(12)**.

$$t_c = 0{,}06628 \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}} \quad (12)$$

2.3.5 Hidrograma unitario sintético del SCS

Con los datos fisiográficos obtenidos, la lluvia de proyecto, estimación de caudal y el número de curva en condición III, se pudo determinar el caudal máximo de evacuación a través de un hidrograma unitario sintético del tipo *Soil Conservation Service* (Vargas et al., 2019) desarrollado en el programa HEC-HMS 4.7.1 (Hydrologic Engineering Center, 2021).

2.3.6 Modelamiento de inundación

Modelos digitales a escala 1:5000 fueron obtenidos del Geoportal Sigtierras para la zona posterior al área de recarga. Por medio de ArcMap se convirtió el modelo digital de terreno a formato TIN, estableciendo así las características del curso principal (Stream Centerline, Bank Lines, Flow Path Centerlines, XS Cut Lines, River3D, XSCutlines3D) con la herramienta Hec-GeoRAS y exportando un archivo para su modelación hidráulica en HEC-RAS 6.2 (Hydrologic Engineering Center, 2022). Donde adicionalmente se agregó el dato acerca del caudal real, caudal máximo, coeficiente de rugosidad y pendiente (Córdova et al., 2022). Los datos fueron cargados nuevamente en ArcMap, generando la proyección de las zonas inundables a través de Hec-GeoRAS.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Pruebas de infiltración, toma y análisis de muestras de suelo

La **Tabla 3** presenta los resultados de las pruebas de infiltración. Según la clasificación del modelo de Horton, 7 pruebas integran el grupo A caracterizados por suelos de alta capacidad de infiltración. La prueba restante al grupo B, referente a suelos con una moderada infiltración (Diaz y Mercado, 2017). Respecto al número de curva en condición II, este varía entre 26-69. Por lo que mediante la relación de Chow a condición III, los valores se encuentran entre 45-84 (Cabrera y Rodríguez, 2017). Siendo este último el valor utilizado en el desarrollo del trabajo.

Tabla 3. Pruebas de infiltración

Identificación de la muestra	fo (mm/h)	fc (mm/h)	Clasificación según Horton	Humus (cm)	Hojarasca (cm)	HC	Lluvia Previa (mm)	NC (II)	NC (III)
1	0	25,2	A	3,5	12,6	IV	33,8	39	60
2	772,4	180	A	5	3,14	IV	33,8	26	45
3	1147,3	265	A	6	4,1	IV	33,8	26	45
4	59,8	44,7	A	20	5,3	IV	33,8	26	45
5	59,08	10	A	4	3,5	IV	33,8	60	78
6	217,6	34	A	5	6,2	IV	33,8	60	78
7	737,6	232,3	A	7	6,9	IV	33,8	26	45
8	0	4,3	B	5	3,2	III	33,8	69	84

Nota. fo: Capacidad de infiltración en el tiempo igual a 0, fc: Capacidad de infiltración constante, HC: Condición Hidrológica y NC: Número de curva.

Fuente: Autores

En la **Tabla 4** se presentan los resultados obtenidos en el laboratorio, se obtuvo una densidad promedio de 0,9 g/cm^3, donde sus valores varían de entre 0,48-1,62 g/cm^3.

Tabla 4. Densidad aparente del suelo

Lado del cauce contracorriente	Número de muestra	Tipo de muestra	Cobertura vegetal	Densidad Aparente (g/cm^3)
Izquierdo	1	Superficial	Pasto	1.14
	2	Profundidad	Pasto	1.16
	3	Superficial	Bosque	0.66
	4	Profundidad	Bosque	1.08
	5	Superficial	Bosque	0.65
	6	Profundidad	Bosque	1.05
	7	Superficial	Bosque	0.73
	8	Profundidad	Bosque	1.62
Derecho	9	Superficial	Agrícola	0.85
	10	Profundidad	Agrícola	0.80
	11	Superficial	Agrícola	0.67
	12	Profundidad	Agrícola	0.51
	13	Superficial	Bosque	0.48
	14	Profundidad	Bosque	0.72
	15	Superficial	Pasto	1.16
	16	Profundidad	Pasto	0.79

Fuente: Autores

La **Tabla 5** especifica la textura del suelo, predominando el tipo Franco arenosa con un 75% y 25% es Franca, la materia orgánica de 2,14%, carbón orgánico 1,24% y humedad de 3,51%.

Tabla 5. Textura, porcentaje de materia orgánica, carbón orgánico y humedad

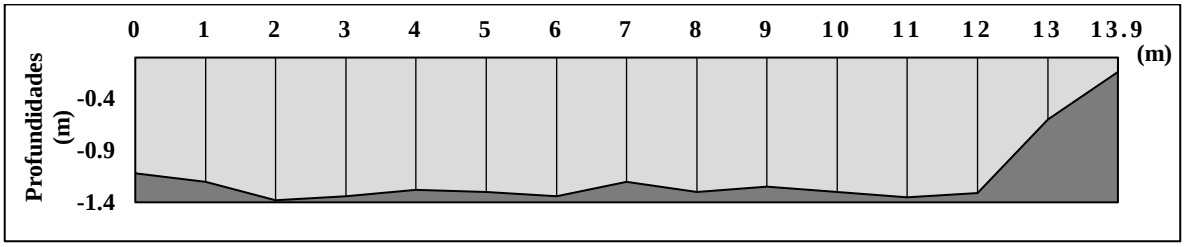
Núm. de Prueba	Textura	Materia orgánica (%)	Carbón orgánico (%)	Humedad (%)
1	Franca	0,6	0,3	0,9
2	Franca	2,6	1,5	3,8
3	Franco arenosa	3,1	1,8	4,3
4	Franco arenosa	3,1	1,8	5,0
5	Franco arenosa	1,5	0,9	3,2
6	Franco arenosa	2,3	1,3	4,1
7	Franco arenosa	3,0	1,8	5,0
8	Franco arenosa	0,9	0,5	1,8

Fuente: Elaboración propia

3.2 Medición del caudal

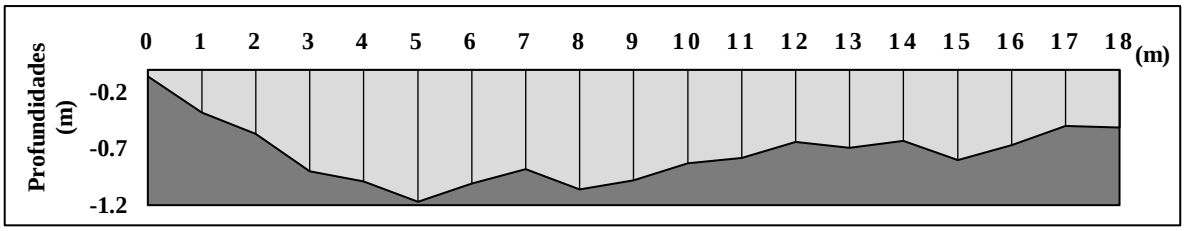
La **Figura 2 y 3** muestra los perfiles de entrada y salida respectivamente delimitados. El primero cuenta con 13,9 m de ancho y una profundidad promedio de 1,16 m y el segundo 18 m de ancho con una profundidad promedio de 0,74 m.

Figura 2. Perfil de Entrada



Fuente: Autores

Figura 3. Perfil de Salida



Fuente: Autores

Los parámetros necesarios para la estimación del caudal se establecen en la **Tabla 6**, para lo cual se obtuvo con ello un caudal resultante de 43,54 m^3/s.

Tabla 6. Variables de determinación del caudal

Perfil del cauce	Am (m^2)	Pm (m)	Rh (m)	S	n	v (m/s)	Q (m^3/s)
Entrada	16,13	15,63	0,85	0,016	0,034824	3,27	43,54
Salida	13,31	18,81					

Nota. Am: Área de mojado, Pm: Perímetro de mojado, Rh: Radio hidráulico, S: Pendiente hidráulica, n: Coeficiente de rugosidad, v: velocidad y Q: Caudal.

Fuente: Autores

3.3 Lluvia de proyecto

Con las intensidades por horas obtenidas de la estación Pindo Mirador y de la estación Baños a través de las ecuaciones de Guachamín et al. (2019), se hizo una interpolación por el método Isoyetas para Río Verde, sin embargo, los valores reflejaron dispersión, por lo que se reajustaron los datos utilizando la fórmula de línea de tendencia para la lluvia de proyecto. Los datos del reajuste se establecen en la **Tabla 7**.

Tabla 7. Intensidades y Reajuste

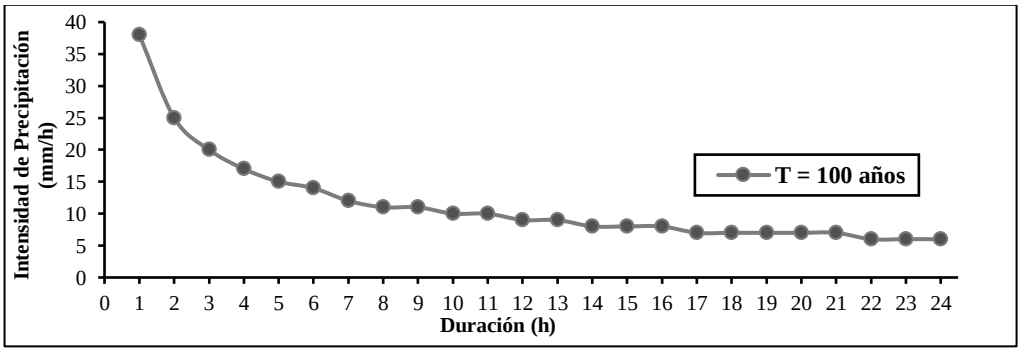
Hora (h)	Estación		Interpolación (Río Verde)	Reajuste
	Pindo Mirador	Baños		
1	98	21	51	38
2	63	14	22	25
3	49	12	21	20
4	40	10	17	17
5	35	9	14	15
6	31	8	12	14
7	28	8	10,5	12
8	26	7	10,5	11
9	24	7	10	11

10	22	7	10	10
11	21	6	9	10
12	20	6	9	9
13	19	6	8,5	9
14	18	6	8,5	8
15	17	5	7,5	8
16	17	5	7,5	8
17	16	5	7,5	7
18	15	5	7,5	7
19	15	5	7,5	7
20	14	5	7	7
21	14	5	7	7
22	14	5	7	6
23	13	4	6,5	6
24	13	4	6,5	6

Fuente: Autores

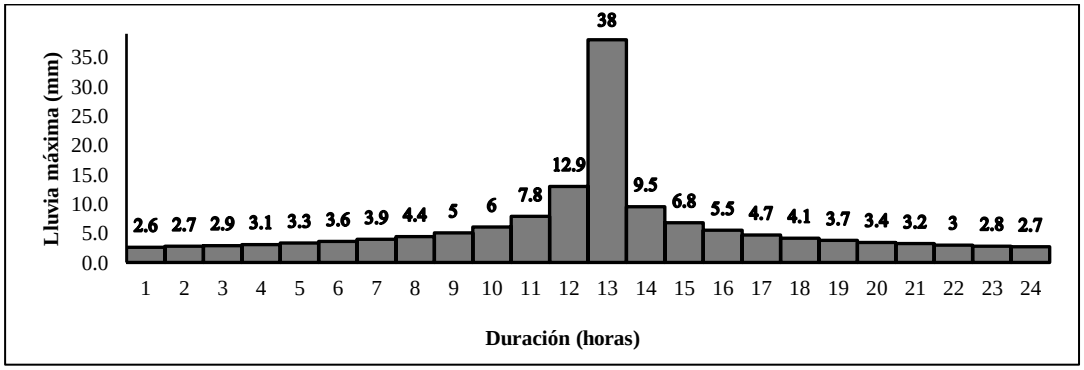
Los valores del reajuste son utilizados para la representación gráfica de la curva IDF, **Figura 4**. La intensidad de 38 mm/h representa la magnitud de la precipitación fuerte para una duración de 24 horas con una frecuencia de 100 años (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2017). Para conocer la evolución de la intensidad, se elaboró un hietograma de precipitación por el método de bloques alternos (Granados, 2017). Los valores obtenidos serán implementados para la determinación del caudal máximo de evacuación, **Figura 5**.

Figura 4. Curva de Intensidad, Duración y Frecuencia para un periodo de retorno de 100 años



Fuente: Autores

Figura 5. Hietograma de precipitación



Fuente: Autores

3.4 Delimitación de la cuenca y zona de recarga

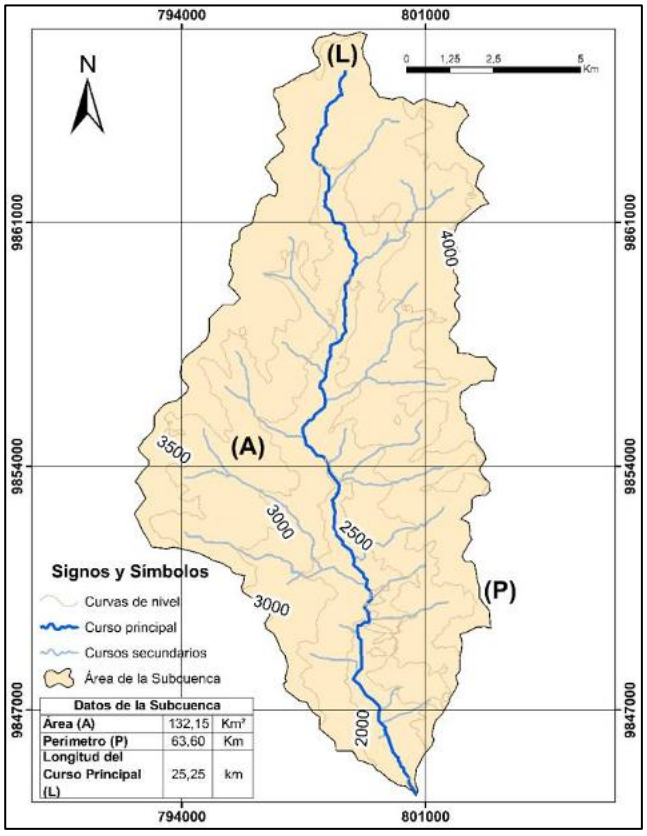
Las características fisiográficas de la subcuenca se resumen en la **Tabla 8**. Como muestra la subcuenca río Verde se clasifica por su área como una cuenca pequeña, de forma oval oblonga a rectangular oblonga y con presencia de fuertes relieves y pendientes pronunciadas (Camino et al., 2018). La **Figura 6** representa la delimitación de la subcuenca, obtenida un área de 132,15 km^2, perímetro de 63,6 km y una longitud de su curso principal de 25,25 km.

Tabla 8. Características fisiográficas de la subcuenca

Variable	Valor
Área (A) (km^2)	132,15
Perímetro (P) (km)	63,6
Longitud de cauces (km)	89,22
Coeficiente de compacidad de Gravelius (Kc)	1,6
Densidad del drenaje (Dd) (km/km^2)	0,68
Longitud más larga (Lc)	22
Relación de elongación (Re)	0,6
Longitud del Curso Principal (km)	25,25
Cota mayor	3775
Cota menor	1475
Diferencia de altura	2300
Pendiente	0,0911
Tiempo de concentración (Tc) (min)	120

Fuente: Autores

Figura 6. Delimitación de la subcuenca río Verde

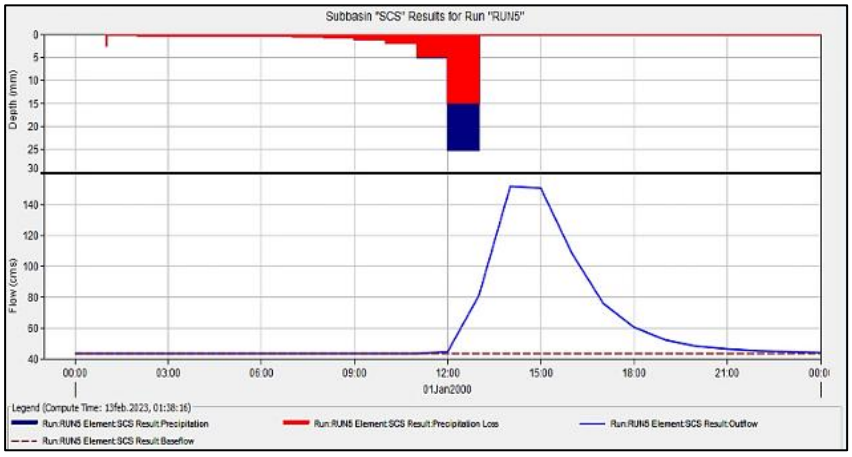


Fuente: Autores

3.5 Hidrograma unitario sintético del SCS

La **Figura 7** expresa el caudal máximo que se genera en la subcuenca del río Verde para un periodo de retorno de 100 años, obteniendo un caudal de evacuación máximo de 151,2 m^3/s. El hietograma de precipitación indica que desde las 00:00 hasta las 12:00 todo se ha infiltrado y desde este punto en adelante se genera la escorrentía hasta llegar al pico máximo a las 14:00 para luego descender. En la **Figura 8** se detalla los resultados del hidrograma, en donde se tiene un volumen de precipitación de 38 mm, volumen de pérdida de 27,54 mm y el exceso de volumen de 10,46 mm. Cabe recalcar que el volumen de perdida es la cantidad que se ha infiltrado y el exceso lo que genera escorrentía.

Figura 7. Hietograma de precipitación e hidrograma de crecida



Fuente: Autores

Figura 8. Resultados calculados

Project: HIDROGRAMA UNIT Simulation Run: RUN5
Subbasin: SCS

Start of Run:	01ene.2000, 00:00	Basin Model:	RV
End of Run:	02ene.2000, 00:00	Meteorologic Model:	Met
Compute Time:	13feb.2023, 01:38:16	Control Specifications:	Control 1

Volume Units: (•) MM ( ) 1000 M3

Computed Results

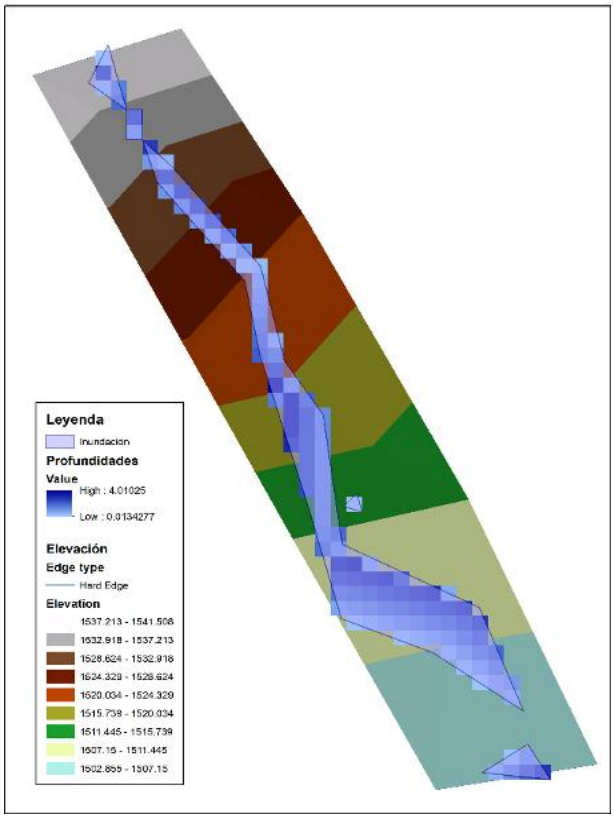
Peak Discharge:	151,2 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge:	01ene.2000, 14:00
Precipitation Volume:	38,00 (MM)	Direct Runoff Volume:	10,46 (MM)
Loss Volume:	27,54 (MM)	Baseflow Volume:	28,44 (MM)
Excess Volume:	10,46 (MM)	Discharge Volume:	38,90 (MM)

Fuente: Autores

3.6 Modelamiento de inundación

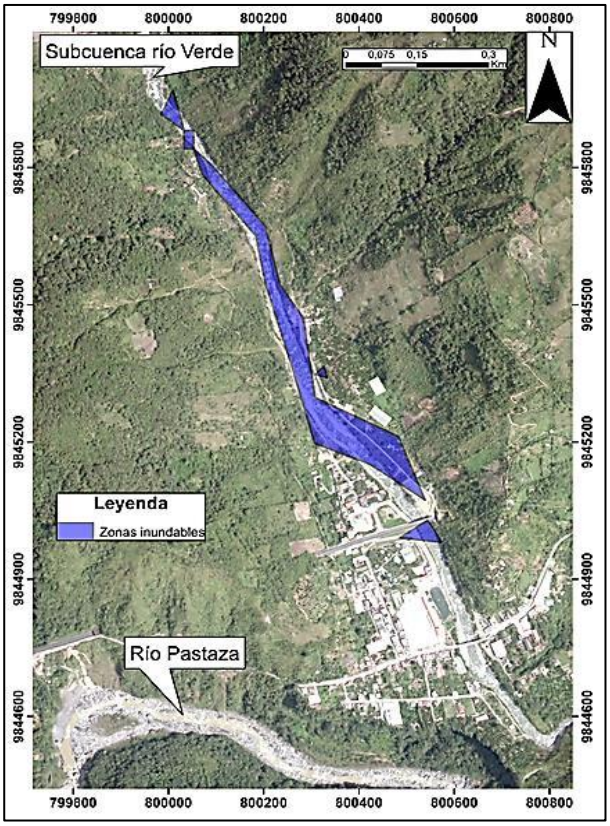
La **Figura 9** representa el polígono de inundación en formato TIN, en donde las celdas determinan la profundidad mínima que es de 0,013 m y una profundidad máxima de 4,010 m y también proyecta un área inundable de 44987,9 m^2. En la **Figura 10** se identifican las zonas propensas a inundaciones en la subcuenca de río Verde, siendo vulnerable las viviendas ubicadas en la parte alta de la parroquia, el motivo puede estar representado por la falta de aplicación de la normativa con respecto a los asentamientos humanos en zonas consideradas de riesgo (GADPRRV, 2013).

Figura 9. Zona de inundación formato TIN



Fuente: Autores

Figura 10. Zonas inundables en la subcuenca de río Verde



Fuente: Autores

4. CONCLUSIONES

Según la clasificación por Horton, el 87,5% corresponde a suelos de tipo A, caracterizados por tener una alta capacidad de infiltración. La parte restante, el 12,15% se encuentra dentro del tipo B, cuya capacidad de infiltración es moderada. Se obtuvieron de cuatro tipos de cobertura vegetal, siendo el bosque el predominante con un 50%, de las muestras superficiales se obtuvo una densidad aparente promedio de 0,79 g/cm^3 y a una profundidad de 50 cm un valor de 0,97 g/cm^3. El tipo de suelo Franco arenoso es el predominante.

Se cuantificó un caudal de 43,54 m^3/s en los perfiles delimitados, un área de 132,15 km^2 y un caudal máximo de evacuación para un periodo de retorno de 100 años de 151,2 m^3/s. Por el modelamiento de inundación se identificó las zonas de la población expuestas, abarcando un área inundable de 44987,9 m^2 con una profundidad mínima de 0,013 m y máxima de 4,01 m.

REFERENCIAS

Alvarado Batres, C., & Barahona Palomo, M. (2017). Comparación de tres métodos de infiltración para calcular el balance hídrico del suelo, en la Cuenca del río Suquiapa, El Salvador. *Cuadernos de Investigación UNED, 9*(1), 23-33.

Benayas Polo, R. (11 de Noviembre de 2014). *¿Qué es HEC – RAS y para qué sirve?* cursosgis: https://www.cursosgis.com/que-es-hec-ras-y-para-que-sirve/

Bentancor , L., Silveira , L., & García Petillo , M. (2014). Incidencia de la intensidad de lluvia en el tiempo de concentración de microcuencas del Uruguay. *Agrociencia (Uruguay), 18*(2), 106-116. http://www.scielo.edu.uy/pdf/agro/v18n2/v18n2a12.pdf

Bordino, J. (26 de Marzo de 2021). *Cuencas hidrográficas: qué son, tipos e importancia*. EcologíaVerde: https://www.ecologiaverde.com/cuencas-hidrograficas-que-son-tipos-e-importancia-3334.html

Cabrera Balarezo, J. J., Timbe Castro, L. M., & Crespo Sánchez, P. J. (2019). Evaluación del modelo HEC-HMS para la simulación hidrológica de una cuenca de páramo. *DYNA, 86*(2010), 338-344. https://doi.org/10.15446/dyna.v86n210.70738

Cabrera Pazmiño, C. L., & Rodríguez González, R. Y. (2017). *Estudio para determinar el coeficiente C de escorrentía en la zona norte del río Tomebamba* [Tesis de Ingeniería, Universidad del Azuay]. Repositorio Institucional. http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7243

Camino, M. A., Bó, M. J., Cionchi, J. L., Del Río, J. L., López de Armentia, A., & De Marco, S. G. (2018). Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Revista Universitaria de Geografía, 27*(1), 73-97.

Castillo Rosero, C. E. (2018). *Modelo de flujos secundarios de lodo en las quebradas Seca y Las Flores, volcán Imbabura-ciudad de Ibarra* [Tesis de ingeniería, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio institucional. https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19688

Ceva, G. (4 de Noviembre de 2018). *¿Qué es un TIN - Red Irregular Triangular?* acolita: https://acolita.com/que-es-un-tin-red-irregular-triangular/

Córdova Mendoza, P., Barrios Mendoza, T. O., Zuzunaga Morales, R., Córdova Barrios, I. C., Pardo Moran, E. E., & Zuzunaga Concha, E. (2022). *Análisis hidráulico del flujo de cuencas naturales y canales artificiales mediante el programa HEC-*

RAS. Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador. http://repositorio.cidecuador.org/jspui/handle/123456789/818

Diaz Carvajal, Á., & Mercado Fernández, T. (2017). Determinación del número de curva en la subcuenca de Betancí (Córdoba, Colombia) mediante teledetección y SIG. *Ingeniería y Desarrollo, 35*(2), 452-470.

Environmental Systems Research Institute [ESRI]. (2 de Febrero de 2016). *Introducción a ArcMap*. ArcGISDesktop: https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/get-started/main/get-started-with-arcmap.htm

Environmental Systems Research Institute. (2016). Arcmap (versión 10.5.0.6491) [software].

Galed & Asociados Constructora. (25 de Noviembre de 2015). *Robert Manning y su fórmula para calcular la velocidad del agua*. gyaconstructora: https://gyaconstructora.wordpress.com/2015/11/25/robert-manning-y-su-formula-para-calcular-la-velocidad-del-agua/

García, L. (2017). *Metodologías de campo para determinar profundidad, densidad aparente, materia orgánica, infiltración del agua, textura y pH en el suelo.* https://cenida.una.edu.ni/documentos/NP33G216m.pdf

Garcia, P. (11 de Agosto de 2021). *¿Qué es un SIG, GIS o Sistema de Información Geográfica?* Geoinnova: https://geoinnova.org/blog-territorio/que-es-un-sig-gis-o-sistema-de-informacion-geografica/

Geomatica. (4 de diciembre de 2019). *Precipitación media de una cuenca hidrográfica utilizando Arcgis y hidroesta*. Geomatica ambiental: https://www.geomatica.pe/blog/precipitacion-media-de-una-cuenca-hidrografica-utilizando-arcgis-y-hidroesta#:~:text=3.,hidrogr%C3%A1fica%2C%20mejores%20resultados%20se%20obtendr%C3%A1.

Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza. (2017). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la provincia de Pastaza al año 2025. https://www.pastaza.gob.ec/planificacion/pdot_provincial_actualizacion_2017.pdf

Gobierno autonónomo Descentralizado Parroquial Rural Río Verde . (2013). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquía Río Verde 2013-2028. Baños de Agua Santa, Ecuador.

Granados Chahín, R. E. (2017). Comparación de los métodos: bloques alternos e hietograma histórico para la selección de tormentas de diseño, cuenca del río Chiquito, Tegucigalpa, Honduras. *Agua, Saneamiento & Ambiente, 12*(1), 34–42.

Guachamín, W., García, F., Arteaga, M., & Cadena, J. (2019). *Determinación de ecuaciones para el cálculo de Intensidades máximas de Precipitación [versión PDF]*. INAMHI: https://www.inamhi.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/ESTUDIO_DE_INTENSIDADES_V_FINAL.pdf

Huancas Huancas, C. E. (2019). *Modelamiento Hidráulico con Hec-ras para la prevención de Inundaciones desde el km 44+100 al km 49+100 en el Río Reque* [Tesis de ingeniería, Universidad César Vallejo]. Repositorio institucional. https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/37005

Hydrologic Engineering Center. (2021). Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System (versión 4.7.1) [software].

Hydrologic Engineering Center. (2022). Hydrologic Engineering Center's River Analysis System (versión 6.2) [software].

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (5 de Mayo de

2017). *Curvas Intensidad Duración Frecuencia –IDF*. IDEAM: http://www.ideam.gov.co/curvas-idf#:~:text=La%20Curva%20Intensidad%20Duraci%C3%B3n%20Frecuencia,F)%20expresada%20en%20a%C3%B1os%2C%20lo

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2013). INAMHI: https://www.inamhi.gob.ec/

Izquierdo, J., & Arévalo, J. (2021). Determinación de la materia orgánica del suelo (MOS) por el método químico y por calcinación. *Ingeniería y Región, 26*, 23. https://doi.org/10.25054/22161325.2527

Jarrín Campaña, A. J. (2020). *Análisis de modelos digitales de terreno para la obtención de un mapa de densidad de drenaje mediante softwares fotogramétricos y sistemas de información geográfica para imágenes obtenidas con UAV, resultados aplicados a estudios morfométricos en laderas* [Tesis de ingeniería, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio institucional. http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21313

Organización Meteorológica Mundial [OMM]. (2021). *Atlas de la OMM sobre mortalidad y pérdidas económicas debidas a fenómenos meteorológicos, climáticos e hidrológicos extremos (1970–2019) (Nro. 1267).*

Pacheco Moya, R. M., Quiala Ortiz, E., & Martínez Hernández, I. (2018). Determinación del parámetro número de curva en la cuenca. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 39*(2), 60-71. https://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/view/443

Pastora Flores, D. V. (2010). *Evaluación de la fórmula de manning en el río Ostua* [Tesis de maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio institucional. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0398_MT.pdf

Pellegrini, A. (2019). *Textura y color del suelo*. Universidad Nacional de la Plata: https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/42831/mod_resource/content/1/TEMA%203%20-%20TEXTURA%20Y%20COLOR.pdf

Pérez Sánchez, J., & Senent Aparicio, J. (2017). Curvas Intensidad–Duración-Frecuencia de tormentas de corta duración en la cuenca del río Segura, España. *Agrociencia, 51*(6), 607-616. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000600607&lng=es&tlng=es.

Rojas, A., & Herrera, E. (2016). *Determinación de textura por el método de Bouyucos método del hidrómetro estandarizado según Norma ASTM-152H.* Academia.edu: https://www.academia.edu/24095776/DETERMINACI%C3%93N_DE_TEXTURA_POR_EL_M%C3%89TODO_DE_BOUYUCOS_M%C3%89TODO_DEL_HIDR%C3%93METRO_ESTANDARIZADO_SEG%C3%9AN_NORMA_ASTM_152H

Rojo Hernández, D. J. (27 de Marzo de 2020). *Caudales Parte I.* julianrojo: https://web.archive.org/web/20200327153605/http://julianrojo.weebly.com/uploads/1/2/0/0/12008328/5.caudales_i.pdf

Sánchez Almeida, E. L., Córdova Suárez, M. A., Vega Pérez, J. G., Córdova Naranjo, M. L., Ruíz Robalino, O. E., & Liger Manzano, T. d. (2018). Tasa de infiltración de agua en suelos agrícolas. *Ciencia Digital, 2*(3), 662-671. https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v2i3.183

Trasviña Barriga, A., Bórquez Olguín, R., Leal Almanza, J., Castro Espinoza, L., & Gutiérrez Coronado, M. (2018). Rehabilitación de un suelo salino con yeso agrícola en un cultivo de nogal en el Valle del Yaqui. *Terra Latinoamericana, 36*(1), 85-90. https://doi.org/10.28940/terra.v36i1.310.

Valdivielso, A. (24 de Septiembre de 2020). *¿Qué es un caudal?* iagua:

https://www.iagua.es/respuestas/que-es-caudal

Vargas Garay, L., Torres Goyeneche, O. D., & Carrillo Soto, G. A. (2019). Evaluación del modelo de hidrograma unitario SCS en la determinación de caudales máximos en cuencas de Norte de Santander. *Respuestas, 24*(1), 6-13. https://doi.org/10.22463/0122820X.1323

Vásconez, M., Mancheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, C., & Ortiz, L. (2019). *Cuencas Hidrográficas.* Editorial Abya-Yala. https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19038

Vinay, H. (6 de Octubre de 2021). *Importancia del Desarrollo de las Cuencas Hidrográficas en la Gestión de los Recursos Hídricos*. Water for people: https://thewashroom.waterforpeople.org/es/importancia-del-desarrollo-de-las-cuencas-hidrograficas-en-la-grh/

Weber, J. F. (2014). Parámetros del modelo de infiltración de Horton obtenidos mediante el uso de un simulador de lluvia, Córdoba, Argentina. *Revista Ambiente & Água, 9*(1), 161-172. https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1320

Zarza, L. (22 de Septiembre de 2020). *¿Qué es una inundación?* iagua: https://www.iagua.es/respuestas/que-es-inundacion

ANEXOS

Marco Teórico

Cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica se conforma por una depresión en la superficie por la cual fluye corrientes de agua como un drenaje natural que tiene como destino desembocar en vertientes hidrográficas como océanos, ríos, lagunas y otros cuerpos de agua. Su importancia radica en que proporciona agua dulce y se utiliza para generar energía (Bordino, 2021).

Infiltración

La infiltración resulta un proceso por donde el agua producto de la precipitación pasa a través de la superficie del suelo hacia su interior en una unidad de tiempo, esta acción es definida como tasa de infiltración y se expresa en mm/h. La infiltración depende de la condición hidráulica y de las propiedades físicas del medio (Sánchez et al., 2018).

Número de curva (NC)

El número de curva es un parámetro hidrológico que toma valores de 0 al 100 y refleja el potencial de escorrentía, en donde un valor elevado representa alta escorrentía y una baja infiltración, caso opuesto valores bajos. El NC se condiciona por variables como la densidad, cobertura y grupo hidrológico de la zona aplicada en el estudio (Pacheco et al., 2018).

Caudal

El caudal es una variable de medición hidrológica que representa el volumen de agua que corre por una sección transversal en una unidad de tiempo y su magnitud se expresa en L/s o m^3/s. El caudal puede ser determinado mediante métodos volumétricos para pequeños caudales y por velocidad-sección mediante el uso de un objeto flotante (Valdivielso, 2020).

Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF)

Las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia son una de las herramientas mayormente usadas en cuanto a la determinación de tormentas de diseño en zonas carentes de información respecto a caudales. Su elaboración requiere un ajuste previo de los valores correspondientes a las intensidades máximas del sitio a modelar (Pérez y Senenty, 2017).

Hietograma

El hietograma representa gráficamente a través de bloques o barras la intensidad de la precipitación en relación con el tiempo cuando se presenta una tormenta, la misma que puede tener una duración de minutos, horas o incluso días. El eje x determina el tiempo en horas o minutos y el eje y proyecta la precipitación medida en mm (Castillo Rosero, 2018)

Hidrograma Unitario Sintético

El hidrograma unitario sintético en cuencas hidrográficas tiene por finalidad que, por medio de su resultado reflejado en una representación gráfica establecer aquella relación existente que se da entre la precipitación generada y la parte de agua resultante de un escurrimiento superficial (Vásconez et al., 2019).

Inundación

Una inundación consiste en el exceso y desbordamiento del nivel del agua en un cauce del río. Es producido naturalmente por lluvias intensas y por intervención humana como creación de infraestructuras cercanas al río o la pérdida del bosque. Las consecuencias producto de este desastre recaen a niveles económicos, sociales y ambientales (Zarza, 2020).

Sistema de Información Geográfica (SIG)

Un Sistema de Información Geográfica es considerado como un instrumento el cual trabaja con información posicionada espacialmente dentro de un sistema de coordenadas. Los SIG facilitan el tratamiento de la información espacial, su análisis enfocado en componentes espaciales y temáticos, con el objetivo de obtener como resultado la generación de mapas y gráficos (Garcia, 2021).

ArcMap

ArcMap es una aplicación perteneciente a ArcGIS la cual nos permite realizar ediciones, creación y análisis de diferentes datos geográficos. Dentro de las tareas más habituales de este programa es la elaboración de mapas digitales con fines académicos, laborales y de investigación científica (Environmental Systems Research Institute [ESRI], 2016).

HEC-HMS

HEC-HMS es un programa y sistema de modelamiento hidrológico, tanto para periodos continuos como eventos independientes. Fue desarrollado para poder dar solución a problemáticas como la estimación de hidrógrafos de salida, soluciones

encaminadas al suministro de agua, la colaboración de hidrogramas de escorrentía e inundación (Cabrera et al., 2019).

HEC-RAS

HEC-RAS es un software utilizado para modelar cuencas hídricas y que tiene como finalidad elaborar análisis de inundabilidad para diferentes periodos de retorno, generalmente estos periodos se manejan para 25, 50 o 100 años, permitiendo así al usuario la identificación de aquellas zonas inundables a través del procesamiento de información georreferenciada (Benayas, 2014).

Triangular irregular networks (TIN)

Una red irregular triangular es una representación vectorial de un terreno o superficie, está construida mediante una serie de puntos a base de la técnica denominada triangulación Delaunay. Esta técnica forma un tipo de caras triangulares por medio de una red que une los puntos cercanos, también son utilizados para formar los polígonos Thiessen, los cuales constituyen la base para la interpolación de áreas (Ceva, 2018).

Modelo Digital del Terreno (MDT)

Un Modelo Digital del Terreno o de elevación resulta em una proyección visual del terreno y la topografía del suelo, su representación es de carácter numérico digital que no considera características naturales como vegetación y características artificiales como infraestructuras de la zona sujeto a estudio (Jarrín, 2020).