

Study of the Maximum Flow, In Trails of the “La Tigra” National Park using the Rational Method and Constant Design Intensity

Osman Joel Avilez Vasquez¹; Alberto Cristóbal Martínez Almendares²

¹Universidad Tecnológica de Honduras, Honduras, osman.avilez@uth.hn, ²Universidad Tecnológica de Honduras, Honduras, alberto.martinez@uth.hn

Abstract– *The research article focuses on estimating the maximum flow generated in the Core Trail zone of La Tigra National Park using the Rational Method and a Constant Design Intensity. This parameter depends directly on the characteristics of the study area, making its determination fundamental for management, mitigation, and improvement processes. This avoids design calculations based on contexts different from the environmental, morphological, and topographic conditions of the study sites. The article is structured to begin with an introduction, followed by several important items developed chronologically, including: background, maximum flow, rational method, weighted average runoff coefficient, watershed area, rainfall intensity, description of GPS altimeter use, ArcGIS Map uses, a specific description of the study area located in La Tigra National Park, and the objective of the research article. The second important section is methodology, which includes the approach, research type, research sources, population and sample, hypotheses, and research techniques and instruments. The third section covers the results analysis, presenting three key points: the data sheet for the collected data, a series of five images illustrating the step-by-step process in ArcGIS Map for obtaining the area and other relevant parameters, and the calculations. Finally, the section includes conclusions, recommendations, acknowledgments, and references.*

Keywords-- *Rational Method, Constant Intensity, Return Period, Time of Concentration, Runoff Coefficient, Maximum Flow*

Estudio del Caudal Máximo en Senderos del Parque Nacional “La Tigra” Mediante el Método Racional e Intensidad de Diseño Constante

Osman Joel Avilez Vasquez¹; Alberto Cristóbal Martínez Almendares²

¹Universidad Tecnológica de Honduras, Honduras, osman.avilez@uth.hn, ²Universidad Tecnológica de Honduras, Honduras, alberto.martinez@uth.hn

Resumen— El artículo de investigación se orienta a la estimación del caudal máximo generado en la Zona Núcleo de Senderos del Parque Nacional “La Tigra” mediante la aplicación del Método Racional y el uso de una Intensidad de Diseño Constante. Este parámetro depende directamente de las características propias del área de estudio, por lo que su determinación resulta fundamental para procesos de gestión, mitigación o mejoramiento, evitando así, cálculos de diseño fundamentados en contextos diferentes a las condiciones ambientales, morfológicas y topográficas de los sitios de estudio. El artículo contempla una estructura que inicia con la introducción y en su interior diversos ítems importantes desarrollados cronológicamente como lo son: antecedentes, caudal máximo, método racional, coeficiente medio de escorrentía ponderada, área de la cuenca hidrográfica, intensidad de la lluvia, descripción del uso del GPS Altimeter, usos del ArcGIS Map, descripción específica de la zona de estudio situada en el parque nacional “La Tigra” y el objetivo del artículo de investigación. El segundo ítem importante es el de metodología, en él se encuentran las secciones de tipo de enfoque, tipo de investigación, fuentes de investigación, población y muestra, hipótesis y las técnicas e instrumentos de investigación. El tercer ítem, contempla el análisis de resultados, donde se presentan tres puntos importantes: la ficha técnica de datos recopilados, una serie de cinco imágenes que muestran el paso a paso en ArgisMap para obtener el área y otros parámetros relevantes, así como la memoria de cálculo. Finalmente se contemplan conclusiones, recomendación, agradecimiento y las referencias bibliográficas.

Palabras Clave— Método Racional, Intensidad Constante, Período de Retorno, Tiempo de concentración, Coeficiente de escorrentía, Caudal Máximo.

I. INTRODUCCIÓN

El artículo de investigación surge ante la ausencia de una estimación confiable de los caudales máximos en zonas aledañas del Parque Nacional “La Tigra”; ajustado a características medioambientales, morfológicas y topográficas, lo que puede conducir a diseños hidráulicos o medidas de gestión de riesgos inadecuadas al utilizar parámetros generalizados de otros contextos. Es por eso que la gestión de los recursos hídricos ha sido un elemento clave en el desarrollo de las sociedades, los primeros registros de control y estudio de obras de mitigación datan de 8000 A.C, los Sumerios desviaban los ríos, construían canales de drenaje para posteriormente recolectar este fluido y así

mantener bajo control y total disponibilidad para fines comestibles, así mismo, construían sistemas de drenaje e irrigación para fines de agricultura, ganadería y pesca. Los sumerios desarrollaron sistemas sofisticados de captación de fluidos por medio de presas e hizo cálculos precisos para evitar inundaciones a inmediaciones de la ciudad [1].

La historia más reciente muestra, que cinco mil años A.C, para las primeras civilizaciones; su evolución, desarrollo y progreso económico se dio por su ubicación estratégica y geográfica. Según investigadores como [2] el factor común entre estas civilizaciones, era su ubicación a inmediaciones de valles en abundancia fértil entorno a ríos de renombre que se mantienen hasta la actualidad; tal es el caso de los ríos Amarillo, Éufrates, Ganges, Indo Tigris y Nilo entre otros. La ubicación geográfica del crecimiento de su sociedad entorno a un río, fue determinante para pasar de una sociedad de características neolíticas a la transformación de grandes ciudades debido a la explotación del campo en temas de agricultura, ganadería y pesca.

En épocas más recientes, existen registros en culturas precolombinas donde pasaron de ser cazadores y recolectores a agricultores y ganaderos, pero lo que llevó a esta última adaptación fue el aprovechamiento del recurso hídrico. Las culturas precolombinas se subdividen en Mesoamericanos y Sudamericanos, estos poseían una amplia gama de sistemas complejos de captación, irrigación, distribución a través de terrazas y andenes para sus cultivos. Lo que más ha sorprendido a los investigadores, es que estas culturas comprendieron que los recursos tenían límites y por ello la importancia de distribuir adecuadamente el caudal de flujo de agua en el área de vivienda, cultura y ganadería [3].

En la actualidad aún se pueden constatar ciudades en el mundo cuyo crecimiento y desarrollo económico fue a lo largo y ancho de ríos y mares. Las ciudades como Calcuta, Barcelona, Londres, New York, París y Shanghái son hoy en día la evidencia más clara de este contexto. En Ref. [4], el autor recalca lo importante que fue para las ciudades el crecer entorno a ríos o mares siendo estos de utilidad no solo como medio de transporte, sino también, como recurso hídrico y económico. Este patrón común solo es un indicio de lo determinante que fue para estas ciudades en relación a los primeros asentamientos humanos y su crecimiento social.

A. Caudal Máximo

El caudal máximo probable en mecánica de fluidos se define como la cantidad máxima de fluidos que se transporta por unidad de tiempo, así mismo, se le conoce como el índice de flujo, fluido o caudal volumétrico. Este caudal también se presenta en estado natural, como volumen de flujo máximo que se transporta en un río o cualquier otra fuente de fluido que permita preservar en estado natural el sistema ecológico del entorno. El caudal máximo es un tipo de parámetro hidrológico que puede ser calculado mediante modelos probabilísticos, determinísticos, empíricos y algunas mediciones directas que dependen estrictamente de la morfometría de la red de drenaje de la cuenca o área protegida [5].

El cálculo del caudal máximo a través del modelo morfométrico del cauce principal; es el de mayor importancia para esta investigación ya que a través de este modelo se desarrolló el cálculo del caudal máximo. Este modelo consiste en asumir que la cuenca o sitio en estudio, recibe la precipitación máxima y esta se convierte en el fluido de escurrimiento superficial, esta fase de transformación de fluido de precipitación a escurrimiento superficial depende estrictamente de las condiciones geométricas, topográficas y físicas del sitio en estudio. Estas características condicionan estrictamente el drenaje y la velocidad del fluido debido a la estrecha relación existente entre la cuenca o sitio de estudio con caudales que se desplazan en ella [6].

Las características del análisis del caudal máximo, dependen técnicamente del sitio, es decir, del volumen de escurrimiento, área delimitada y suelo de la cuenca; mientras que, la velocidad del fluido depende de la geometría de desplazamiento, orden de la corriente de preferencia caudal laminar, la pendiente o grado de inclinación del cauce principal y la sección transversal. Ref. [7] sostiene que, si se requiere de un análisis de modelización morfométrica e hidrológica de una cuenca, se debe partir de parámetros básicos característicos del sitio, entre ellos: forma, red de distribución de drenaje y relieve de la zona. Esta información morfométrica se debe recopilar a través de sistemas de georreferenciación, softwares de cálculo, transcripción y ubicación digital.

B. Método Racional

El método racional fue propuesto por primera vez por el conde David Lloyd George en 1906 también primer ministro de la corona inglesa, aunque las bases teóricas de la ecuación fueron propuestas 56 años antes por Mulvany, el cual se enfoca en la determinación y análisis de escorrentía de cualquier hoya hidrográfica teniendo como punto de partida la intensidad de la lluvia constante en el tiempo, sobre cualquier área determinada. Como todo método tiene limitaciones y supuestos, mismos que se mencionan a continuación: se limita a cuencas pequeñas considerando valores confiables en áreas menores a 200 hectáreas, asume lluvia contante y que esta no cambia con el tiempo, no considera variaciones del terreno complejas ni infiltraciones

variables e ignora procesos como la acumulación de agua o retrasos en el flujo.

Los parámetros considerados por David Lloyd George para el método racional fueron los siguientes: (A) el área total de la hoya hidrográfica, (i) La intensidad de la lluvia media constante siempre que esta tenga un período de duración exactamente igual al tiempo de concentración, (C) el coeficiente medio de escorrentía ponderado y (Q) el caudal máximo de la sección de análisis. Esta importante referencia se puede constatar en los fundamentos teóricos para validación de metodología de cálculo de caudales máximos [8].

Se presenta a continuación los modelos matemáticos y consideraciones internacionales que se implementarán en la investigación como base teórica para establecer los parámetros de análisis en la búsqueda del cálculo del Caudal Máximo de la Zona Núcleo de Senderos del Parque Nacional “La Tigra”.

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{360} \quad (1)$$

La importancia de la ecuación de caudal máximo anterior (Ecuación 1), supone para su validez, la intensidad de la lluvia de diseño media constante (i), pero para determinar la intensidad de la lluvia es necesario conocer otros parámetros relevantes e importantes como son: el período de retorno (Tr) de la lluvia y el tiempo de concentración (D). El periodo de retorno de la lluvia (Tr) [9], se define como la cantidad de años promedio, en los que se cree será excedido o igualado un evento. Normalmente este período de retorno es en años.

El modelo matemático que fija el Tiempo de Concentración (D) está dado por la ecuación de Kirpich, la cual surge del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) tomado de siete cuencas del estado de Tennessee Estados Unidos de Norte América (EEUU) donde se consideró pendientes de entre 3% hasta 10%, mismo que se define como el tiempo que tarda una gota de agua en realizar el tránsito desde un punto inicial de una cuenca hasta el punto final representando un tramo de análisis constante. La ecuación de Kirpich contempla parámetros como (L) la longitud del cauce más largo considerando la estación de aforo inicial y final dentro de la hoya o cuenca hidrográfica y (S) pendiente media del cauce principal de la zona de análisis [10].

$$D = 0.000323 \cdot \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (2)$$

$$S = \frac{\text{Cota máxima} - \text{Cota Mínima}}{L} \quad (3)$$

C. Coeficiente Medio de Escorrentía ponderada (C)

Se refiere a una pequeña fracción de flujo de agua del total de la lluvia que se ha precipitado y que posteriormente al caer al suelo se convierte en escorrentía superficial;

siempre que se ha saturado el suelo completamente. Este parámetro depende en su totalidad de las características propias del terreno de acuerdo a su ubicación geográfica [11]. Se presenta a continuación los coeficientes de escorrentía considerados para el estudio:

TABLA I
COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA UTILIZADOS EN EL USO
DEL MÉTODO RACIONAL

Característica de la superficie	Período de Retorno						
	2	5	10	25	50	100	500
ÁREAS DESARROLLADAS							
Asfalto	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto / techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
ZONAS VERDES (jardines, parques, etc.)							
Cubierta de pasto < 50%							
Plano (0–2%)	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio (2–7%)	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente > 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Cubierta de pasto 50–75%							
Plano (0–2%)	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio (2–7%)	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente > 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Cubierta de pasto > 75%							
Plano (0–2%)	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio (2–7%)	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente > 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
ÁREAS NO DESARROLLADAS							
Cultivos – Plano (0–2%)	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Cultivos – Promedio (2–7%)	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Cultivos – Pendiente > 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales – Plano (0–2%)	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Pastizales – Promedio (2–7%)	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pastizales – Pendiente > 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques – Plano (0–2%)	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Bosques – Promedio (2–7%)	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Bosques – Pendiente > 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

D. Área de la Hoya o Cuenca Hidrográfica

El área total de la hoya o cuenca hidrográfica para algunos [12], es aquella que es drenada o escurrida de manera natural a través de un único lugar por lo tanto se vuelve un sitio de interés de análisis; ya que puede contribuir con parte o con todo el fluido del cauce principal y todas las corrientes tributarias. El método racional contempla que para la eficiencia de los resultados el área de

la cuenca a delimitar, no debe exceder las 286.9 Manzanas equivalentes a 200 Hectáreas considerando los coeficientes de permeabilidad o escorrentía de manera específica en la zona de interés.

E. Intensidad de la Lluvia de Diseño Media Constante

La intensidad de la lluvia (i), es la cantidad de precipitación que cae en un sitio específico por unidad de tiempo. El autor [13], afirma que para medir la intensidad de la lluvia no es cualquier tiempo, lo ideal es un lapso de una hora que debe durar análisis de la intensidad para la precipitación, en ese lapso se puede fácilmente distinguir tipos de precipitación constante, entre ellas: débil, moderada-fuerte e inapreciable, muy débil, muy fuerte y hasta torrencial. La ciencia que estudia este parámetro, es la meteorología, la cual se encarga de verificar y vigilar de primera mano la cantidad de precipitación en los diferentes sitios de observación, asimismo de validar si el parámetro es constante.

En el caso específico de la intensidad de diseño constante para el método racional, se parte de algunas suposiciones importantes; primero la intensidad (i) debe generarse durante un período lo suficientemente largo hasta que se alcance el fenómeno del estado máximo, también conocido como el equilibrio o estado máximo. Este se alcanza durante el tiempo de concentración (D), tiempo donde ocurre otro fenómeno relevante y es que la escorrentía máxima se produce cuando la intensidad es constante [14].

$$i = \frac{615 * T_r^{0.18}}{(D + 5)^{0.685}} \quad (4)$$

F. GPS Altimeter

Es una aplicación del sistema operativo Android de alta presión para ubicación de coordenadas satelitales y uso de altimetría con error mínimo durante la ubicación aun en zonas de alta densidad forestal. Se utilizó esta aplicación porque ofrece una gama de parámetros medibles específicamente para este tipo de estudios en menos tiempo y cuando la zona es de difícil tránsito. Los parámetros que se identificaron durante la delimitación de la Zona Núcleo de Senderos del Parque Nacional La Tigra fueron los siguientes: Cota o altura máxima, Cota o altura mínima del cauce principal y coordenadas satelitales [15].

Estos parámetros se identificaron siguiendo un protocolo y previo conocimiento del uso de la aplicación dejando como evidencia las capturas durante todas las estaciones para sus posteriores cálculos. Las estaciones se realizaban cada vez que se observaron puntos de inflexión de todo el recorrido, garantizando un pilotaje y estacionamiento preciso para la identificación de la pendiente del cauce principal y delimitación del área en otro software. Para las dos expediciones en campo cuya duración fue de ocho horas (8) cada una, se requería llevar consigo la aplicación instalada en el celular u otro aparato con sistema Android con carga de energía.

G. ArcGIS Map

Es una aplicación del software ArcGIS Desktop [16]. Esta herramienta digital permite que, con los datos recopilados de coordenadas satelitales, se pueda generar el cálculo de áreas de grandes extensiones. La elección de esta herramienta para el estudio, es porque se puede realizar una separación de elementos del área de la cuenca delimitada en capas coloridas, tamaños y escalas. Por otro lado, esta herramienta permite calcular otros parámetros y variables satelitales que se pueden medir y representar como distancias, perímetros, partición de áreas y diseño de mapas.

En este estudio se utilizó la herramienta ArcGIS Map para calcular el área y determinar el cauce principal de la cuenca que se genera en la Zona Núcleo de Senderos del Parque Nacional La Tigra haciendo uso de todas las herramientas en capa que permitieron generar un análisis de ubicación satelital y fraccionamiento de gráficos e imágenes de interés de la zona núcleo de estudio.

H. Parque Nacional La Tigra

El Parque Nacional La Tigra se encuentra localizado en medio de cuatro municipios de la región central del departamento de Francisco Morazán en Honduras entre ellos: Distrito Central, Santa Lucía, San Juan de Flores y Valle de Ángeles. Actualmente la extensión territorial del Parque ronda los 240.40 km^2 , distribuidos en 75.90 km^2 de la zona núcleo y 164.50 km^2 que corresponden a la zona de amortiguamiento. El Parque Nacional ha sido protegido desde las primeras décadas del siglo XX, esto debido a la importancia vital del agua que fluye desde su interior y la extensa diversidad forestal hacia la ciudad capital Tegucigalpa y alrededores. En su interior aún se conservan la construcción de las represas de Jutiapa y la Tigra, mismas que aún siguen en funcionamiento [17].

El primer registro de protección legal de la Zona Silvestre Protegida fue en el año 1952, declarando desde el congreso nacional mediante artículo No. 12. Para el año de 1966 se le otorga el título de Reserva Forestal de San Juancito y en el año de 1976 es declarada Zona forestal Reservada del Patrimonio Público Forestal Inalienable. En el año 1980 vía decreto No. 976-80 se le otorga el título de Parque Nacional con el fin promotor y visionario de preservar el potencial biológico, ecológico e hidrológico con el que actualmente cuenta. Finalmente, en 1993 debido a la necesidad del estudio en la creciente biodiversidad de las especies, el mantenimiento del parque y expansión de los senderos, se transfiere la administración del parque a la fundación Amigos de la Tigra (AMITIGRA) vía decreto 186-93 [17].

La fundación Amigos de la Tigra (AMITIGRA) es una organización sin fines de lucro encargada de tareas y responsabilidades específicas. Dentro de las responsabilidades se encuentran, la conservación del medio ambiente, la administración general del parque y la protección de las especies en su interior. El parque nacional es hoy una de las reservas más importantes de Honduras,

además es visitado de manera frecuente por turistas nacionales y extranjeros.

Dentro del parque se extiende una diversidad de senderos que ofrecen al público distintos tipos de bosques, una amplia gama de especies, reservorios, cascadas, minas y formaciones geológicas conservadas de manera armónica. Actualmente el parque nacional es una fuente de evidencia científica para investigadores nacionales y extranjeros en múltiples disciplinas [18].

I. Objetivo

La limitada información específica sobre estudios y estimación de caudales máximos en áreas protegidas y zonas núcleo específicamente en entornos forestales, dificulta la toma de decisiones orientadas a la conservación y prevención riesgos hidrológicos, siendo esta una evidencia clara de vacío en el conocimiento. En ese sentido el artículo de investigación tiene como objetivo primordial estimar el caudal máximo en la zona núcleo de senderos del Parque Nacional la Tigra, mediante la aplicación del método racional, utilizando una intensidad de diseño constante acorde a las características del área estudio.

II. METODOLOGÍA

La Metodología con la que se abordó esta Investigación, no es más que la forma estricta en la que el investigador plantea y diseña las bases para recolectar los datos de investigación de fuentes fidedignas, garantizando resultados válidos y confiables que puedan responder a las preguntas y objetivos específicos de investigación, así se plantea en el libro de Metodología de la Investigación [19].

A. Enfoque de Investigación

El enfoque de esta investigación es cuantitativo, ya que, en su protocolo de recolección de información, se recolectaron datos y parámetros que se contabilizaron In Situ [20], para este tipo de investigaciones, el enfoque cuantitativo se ajusta debido la medición de parámetros numéricos, a la observación, la contabilización y registro frecuente de un determinado fenómeno que representa una población de unidades de análisis, así mismo, la implementación de instrumentos utilizados antes, durante y después del proceso de recolección de la información. Este enfoque es un claro indicador de que la investigación debe orientarse de lo general a lo específico, es decir, de la teoría a los datos adquiridos realizando una cronología de lógica deductiva [21].

B. Tipo de Investigación

El tipo de investigación se selecciona de acuerdo a la naturaleza; esta investigación es de tipo aplicada en el ámbito de la hidrología ambiental e hidráulica aplicada, ya que, contempla el estudio del caudal máximo de diseño dentro de una reserva natural. Por el medio en que se desarrolló esta investigación; es no experimental, considerando que para el estudio no se realizaron experimentos. Durante la recolección de datos únicamente se realizaron exploraciones dentro de la reserva sin

manipular los datos, obtenidos en un solo período de tiempo por lo que el estudio fue transversal. Por el nivel de conocimientos obtenido, se considera de tipo descriptiva, considerando que la finalidad fue caracterizar y analizar cuatro variables sin manipular los datos y resultados, enfocándose en observar, medir y describir el comportamiento del fenómeno [22].

C. Fuentes de Investigación

Las fuentes de investigación comprenden una gama de herramientas documentológicas que serán utilizadas para el desarrollo general de la investigación. En primera instancia brindan la información, la madurez y el aterrizaje durante la estructuración de la investigación hasta generar el nuevo conocimiento. Las fuentes de investigación o fuentes de información, se dividen en primarias y secundarias; estas a su vez, en secundarias internas y externas [23].

Las fuentes primarias comprenden las fuentes del primer abordaje, es decir, las fuentes directas. Para esta investigación son todos los datos tomados en campo haciendo uso de los instrumentos y herramientas tecnológicas. Las fuentes secundarias internas comprenden todos aquellos documentos y antecedentes que ayudaron en la maduración de la investigación entre ellos: libros, artículos científicos, revistas y medios digitales tomados y recolectados en Honduras, mientras que, las fuentes secundarias externas fueron tomadas de los mismos documentos científicos y medios digitales, pero fuera del país. Estos registros de fuentes de información se encuentran referenciados en las referencias de este artículo de investigación.

D. Población y Muestra

En este caso, la población considerada para la recolección de la información es la reserva a la cual pertenece al Parque Nacional La Tigra que son aproximadamente 240.40 hectáreas. En el caso de la Muestra presenta una particularidad; es una muestra por conveniencia al seleccionar la Zona Núcleo de Senderos del Parque Nacional La Tigra de extensión identificada durante el recorrido, misma que fue de 184.39 hectáreas; donde ya se encuentran marcados los senderos y existen las condiciones para realizar un recorrido sin intervenir o generar un impacto negativo en la vida silvestre de la zona.

Los datos como coordenadas y puntos estratégicos fueron accesibles durante la expedición y recolección, utilizando un instrumento previamente validado por expertos en ingeniería hidrológica, sanitaria e hidráulica [24].

E. Hipótesis

Las hipótesis son parte vital de la investigación; ya que, sirve como guía a descubrir por parte del investigador; son aquellas que, al finalizar la investigación, serán demostradas o no, y además formarán parte del nuevo conocimiento [25]. Las hipótesis se simbolizan con las siglas (H0) y (H1), siendo la primera; la hipótesis nula y la segunda; la hipótesis

alternativa. En esta investigación se plantearon tres hipótesis que se describen a continuación:

Hipótesis No. 1

H0: El Método Racional es aplicable en función del área delimitada en la Zona Núcleo de Senderos del Parque Nacional “La Tigra”.

H1: El Método Racional no ofrece valores confiables en función del área delimitada en la Zona Núcleo de Senderos del Parque Nacional “La Tigra”.

Hipótesis No. 2

H0: El Método Racional es aplicable en función del Tiempo de Concentración de la lluvia de la Zona Núcleo de Senderos del Parque Nacional “La Tigra” haciendo uso del modelo matemático de Kirpich.

H1: El Método Racional no ofrece valores confiables en función del tiempo de concentración de la lluvia de la Zona Núcleo de Senderos del Parque Nacional “La Tigra” haciendo uso del modelo matemático de Kirpich.

Hipótesis No. 3

H0: El Método Racional mostró valores confiables de Caudal Máximo, generado por la intensidad de diseño constante en la Zona Núcleo de Senderos del Parque Nacional “La Tigra”

H1: El Método Racional no mostró valores confiables de Caudal Máximo, generado por la Intensidad de lluvia de Diseño Constante en la Zona Núcleo de Senderos del Parque Nacional “La Tigra”.

Se muestra a continuación, las tablas, correspondientes a la identificación de variables dependientes e independientes y la matriz de operacionalización de variables.

TABLA II
OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Independiente	Dependiente
-Área -Tiempo de Concentración (Ecuación de Kirpich)	-Aplicabilidad del Método Racional -Caudal Máximo de Diseño

TABLA III
MATRIZ OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Objetivos Específicos	Variables	Concepto de Variable	Indicadores	Instrumento
Evaluar la aplicabilidad del Método Racional en función del cálculo preliminar del área delimitada en la Zona Núcleo de Senderos del Parque Nacional “La Tigra”.	Aplicabilidad del Método Racional	Método Racional es la determinación y análisis de escorrentía de cualquier hoya hidrográfica teniendo como punto de partida la intensidad de la lluvia constante en el tiempo, sobre cualquier área determinada [8].	El cálculo del área delimitada en la Zona Núcleo de Senderos del Parque Nacional “La Tigra”, si el área es menor a A<200 Hectáreas,	Ficha Técnica de Observación y Levantamiento de Información en Campo
	Área	Es aquella que es drenada o		

		escurrida de manera natural a través de un único lugar por lo tanto se vuelve un sitio de interés de análisis; ya que puede contribuir con parte o con todo el fluido del cauce principal y todas las corrientes tributarias [12].	la Aplicabilidad del Método Racional es eficiente. Si el área es $A > 200$ Hectáreas, los Resultados son No confiables.	
Determinar el tiempo de concentración de la lluvia de la Zona Núcleo de Senderos del Parque Nacional “La Tigra” haciendo uso del modelo matemático de Kirpich.	Tiempo de Concentración	Se define como el tiempo que tarda una gota de agua en realizar el tránsito desde un punto inicial de una cuenca hasta el punto final representando un tramo de análisis constante [10].	En campo: -Conocer la Longitud del cauce principal del río (L). -Conocer la Cota Máxima (C. Máx) y la Cota Mínima (C.Min) del cauce principal del río. En el análisis de resultados: Determinar el tiempo de concentración de la lluvia (D)	Ficha Técnica de observación en Campo Modelo de Ecuación de Kirpich
Calcular el Caudal Máximo, generado por la Intensidad de lluvia de Diseño Constante en la zona Núcleo de Senderos del Parque Nacional “La Tigra”.	Caudal Máximo	Se define con el parámetro hidrológico que puede ser calculado mediante modelos probabilísticos, determinísticos, empíricos y algunas mediciones directas que dependen estrictamente de la morfometría de la red de drenaje de la cuenca o área protegida [5].	Áreas $A < 200$ Hectáreas Aplicabilidad del Método Racional y confiabilidad del método	Modelo de ecuación de Lloyd

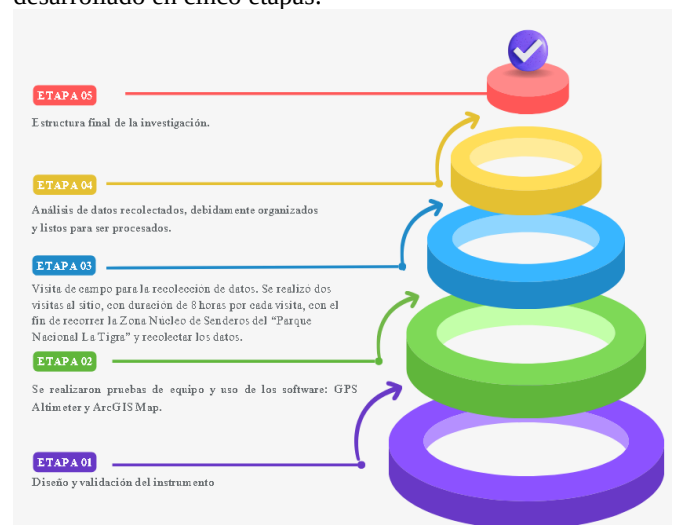
F. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Las técnicas e instrumentos de Recolección de Datos son un conjunto de herramientas sincronizadas de manera conjunta para organizar, manejar y reunir la información que será la base del análisis de la investigación [26]. En esta investigación se realizaron dos expediciones de campo

poniendo en práctica la técnica especializada de la observación de todo el recorrido, así mismo, se diseñó un instrumento que incluía todos los reactivos que recolectaron la información durante las expediciones. El formato de instrumento y Ficha Técnica de Observación en Campo se detallan en la Tabla IV. Es importante mencionar que previo al diseño del instrumento, este fue validado y corregido por expertos, específicamente en topografía, carreteras, hidráulica, hidrología y meteorología, debido que el instrumento incluyó parámetros de recolección de campo e hidrometría.

G. Plan de Análisis

El plan de análisis es un proceso que contempla a través de un protocolo, las técnicas que de forma organizadas y definidas con anticipación; llevan al éxito de una investigación [27]. Se muestra a continuación un Diagrama de Plan de análisis del proceso desde el diseño del instrumento de recolección de la información, hasta el abordaje de los datos para la estructura final de la investigación. Se muestra a continuación el plan de análisis desarrollado en cinco etapas:



Diag. 1 Plan de Análisis.

III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se presentan los resultados obtenidos durante las visitas de campo, los cuales se aprecian en el instrumento denominado Ficha Técnica de Observación en Campo. Este instrumento incluyó datos recopilados y desglosados de manera clara considerando parámetros de forma organizada por estación, hora, latitudes, altitudes, cotas máximas, cotas mínimas y observaciones. En total, se recolectaron en campo 89 estaciones, se agregaron estaciones de relleno para darle seguimiento a la creación continua de los mapas de registro. Por efectos de espacio de esta plantilla, solo se agregaron diez (10) datos recolectados en campo, con el fin de constatar los datos que se visualizan en las imágenes.

TABLA IV
FICHA TÉCNICA DE OBSERVACIÓN EN CAMPO
PARQUE NACIONAL TIGRA
HORA DE INICIO: 06:59 HORA FINAL: 14:33

Estación	Hora	Este	Norte	Altitud	Cota Máxima	Cota Mínima	Observación
1	06:59	- 87.116 94722	14.205 475	1921			Sendero
2	07:05	- 87.116 72778	14.205 71667	1927			Sendero
3	7:13	- 87.116 13333	14.205 62222	1937			Sendero
4	07:15	- 87.115 41667	14.205 43889	1951			Sendero
5	07:16	- 87.114 46389	14.205 11111	1968			Sendero
35	10:14	- 87.094 25401	14.207 43888	1834.7	Cota Mínima		Puente con cauce de poco fluido
55	12:24	- 87.098 75082	14.213 7184	2011.1			Sendero
56	12:33	- 87.098 89949	14.213 55573	2066.5	C. Máxima		Cascada Pequeña
85	14:25	- 87.114 33393	14.207 39979	2000.4			Sendero
89	14:33	- 87.116 06205	14.205 76115	1946			Sendero



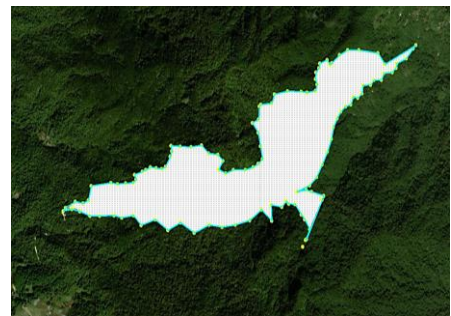
Img.1 Recolección de Datos en Campo con la Aplicación de GPS Altimeter

Cálculo del Área en ArcGIS Map

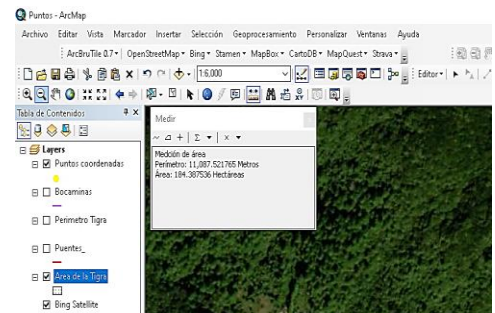
Se muestra a continuación imágenes del cálculo de área, perímetro y datos haciendo uso del software ArcGIS Map:



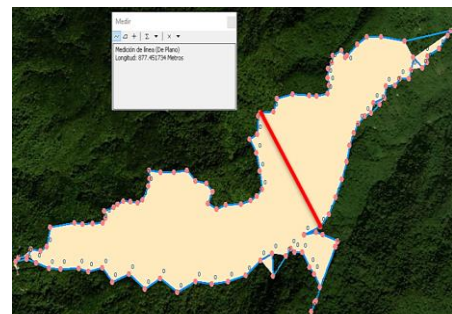
Img.2 Delimitación de Perímetro. Zona Núcleo de Senderos del Parque Nacional "La Tigra"



Img. 3 Delimitación de Área. Zona Núcleo de Senderos del Parque Nacional "La Tigra"



Img.4 Parámetros Área y Perímetro. Zona Núcleo de Senderos del Parque Nacional "La Tigra"



Img.5 Longitud del Cauce principal. Zona Núcleo de Senderos del Parque Nacional "La Tigra"

TABLA V
MEMORIA DE CÁLCULO

No.	Descripción	Cantidad	Unidades	Significado	Obtenido	Observación
1	Área de la Zona Núcleo del Parque Nacional "La Tigra" (A)	184.387 536	Ha	Hectárea	Campo-ArcGIS	
2	Longitud del Cauce Principal (L)	877.45	Mts	Metros	Campo-ArcGIS	
3	Cota Máxima (C. Máxima)	2066.50	Mts	Metros	Campo-ArcGIS	
4	Cota Mínima (C. Mínima)	1834.70	Mts	Metros	Campo-ArcGIS	
5	Período de Retorno de la Lluvia (Tr)	25	Años	Años	Imagen 1	Bosque con pendiente del 2%-7% (Imagen 1)
6	Coefficiente de Escorrentía (C)	0.4	-	Coefficiente	Imagen 1	
7	Pendiente (S)		Mts/Mts			
8	Tiempo de Concentración (D)		Min	Minutos	Cálculos	
9	Intensidad de lluvia de Diseño Constante		MM/Hr	Milímetros/Hora	Cálculos	
10	Caudal máximo		M3/S	Metro Cúbico/Segundo	Cálculos	
Cálculos para Tiempo de Concentración de la Lluvia D						
Cte. Concentración	L	$L^{0.77}$	S	$S^{0.385}$	D (Hrs)	D (Minutos)
0.000323	877.45	184.621 0562	0.264174597	0.599001701	0.099553309	5.973198515
Cálculos para la Intensidad Constante de la Lluvia						
Cte. Intensidad	Tr	$Tr^{0.18}$	D	D+5	$(D + 5)^{0.685}$	i (MM/Hr)
615	25	1.78496 2932	5.973198515	10.97319852	5.159745331	212.7531753
Caudal Máximo						
$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{360}$		Consta nte de Caudal	i	A	C	Q (M3/s)
		360	212.7531753	184.387536	0.4	43.58781531

III. CONCLUSIONES

1. En función del área encontrada de 184.387536 hectáreas en la zona núcleo del parque nacional La Tigra, se concluye que El Método Racional es técnicamente viable dado que la cuenca se encuentra en el rango recomendado para este tipo de modelos; menor a 200 hectáreas. Esta condición refuerza la validez del método para estimar caudales en cuencas pequeñas.

2. El tiempo de concentración estimado fue de D = 5.97 minutos. Para ello se consideró una longitud del cauce principal del río de L = 877.45 Mts, cota máxima C. Max = 2066.50 Mts y cota mínima C. Min = 1834.7 Mts. Este valor de tiempo de concentración implica que la escorrentía superficial se concentra en intervalos cortos de tiempo, permitiendo una alta probabilidad de generar caudales picos bajo eventos de precipitación intensa.

3. El caudal máximo generando fue de (Q) de 43.58781531 M3/S. Este caudal es característico de cuencas

con extensiones pequeñas, pero con pendientes pronunciadas y alta intensidad de precipitación, además, será un valor de vital importancia al momento de implementar medidas de mitigación de riesgo y conservación de suelos.

IV RECOMENDACIONES

1. Se recomienda socializar el parámetro de Caudal Máximo encontrado en la Zona Núcleo de Senderos del "Parque Nacional la Tigra" este parámetro surge de la propia naturaleza de la Zona Núcleo y por consiguiente es importante para cualquier estudio preliminar de mitigación orientado hacia la estabilidad, preservación y protección de la vida silvestre.

2. A la comunidad científica, se le recomienda utilizar instrumentos, logística y metodologías desarrolladas para esta investigación, en réplicas de otras investigaciones, siempre que las áreas de estudio sean menores a 200 hectáreas debido a la aplicabilidad del método racional.

3. El estudio se realizó únicamente en la Zona Núcleo de Senderos del “Parque Nacional la Tigra”. Se recomienda a la comunidad científica, orientar sus áreas de conocimiento a este tipo de investigaciones, esto debido a que quedan pendiente otros sitios aledaños al Parque.

AGRADECIMIENTO

Los autores, expresamos el agradecimiento a la Universidad Tecnológica de Honduras (UTH) y a las autoridades académicas por el apoyo institucional y el impulso en la difusión de la investigación científica. Así mismo, reconocemos la valiosa contribución de los profesionales hondureños que apoyaron con la revisión de este manuscrito, cuyas recomendaciones y sugerencias fueron fundamentales para el fortalecimiento. Finalmente, agradecemos a nuestra familia por ser el factor motivante en cada decisión académica, espiritual y profesional.

REFERENCIAS

- [1] Corporación de Radio y Televisión de Turquía. (15 de septiembre de 2020). Los sumerios: una civilización florecida entre dos ríos. <https://www.trt.net.tr/espanol/la-cultura-del-agua/2020/09/15/los-sumerios-una-civilizacion-floreceda-entre-dos-rios-1494548>. Obtenido de <https://www.trt.net.tr/espanol/la-cultura-del-agua/2020/09/15/los-sumerios-una-civilizacion-floreceda-entre-dos-rios-1494548>
- [2] Claus, E. (22 de marzo de 2019). El agua, origen de las primeras civilizaciones. La vanguardia. Obtenido de <https://www.lavanguardia.com/vida/junior-report/20190322/461157795476/agua-origen-primeras-civilizaciones.html>
- [3] Díaz, J., & Freire, B. (25 de octubre de 2018). Manejo del Recurso Hídrico en Culturas Precolombinas. Cali, Colombia. Obtenido de <https://revistaedinar.univalle.edu.co/revista/emplares/7/j.htm>
- [4] Mora, c. (24 de enero de 2014). La regulación del agua en la historia de los pueblos y su identidad cultural. Iagua. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/consuelo-mora/la-regulacion-del-agua-en-la-historia-de-los-pueblos-y-su-identidad-cultural>
- [5] Méndez, W., Córdova, J., & Bravo, L. (diciembre de 2015). Modelos predictivos de caudales máximos instantáneos para cuencas de drenaje de ambientes montañosos, sustentados en parámetros morfométricos. Maracaibo, Venezuela. Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702015000300006
- [6] Cardona, B. (2015). Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas. Guatemala, Guatemala. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/35294551.pdf>
- [7] Gaspari, J. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. Buenos Aires, Argentina. Obtenido de <https://revistas.unlp.edu.ar/domus/article/view/476>
- [8] Carías Juaréz, B. E., Chacón Novoa, E. T., & Martínez Márquez, M. Á. (2004). UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA “JOSÉ SIMEÓN CAÑAS” VALIDACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES MÁXIMOS EN EL SALVADOR. San Salvador, El Salvador. Obtenido de <https://docplayer.es/83398651-Validacion-de-metodologias-para-el-calculo-de-caudales-maximos-en-el-salvador-facultad-de-ingenieria-y-arquitectura-ingeniero-civil.html>
- [9] Gutiérrez Lozano, J., Vargas Tristán, V., Romero Rodríguez, M., Aguirre Bortoni, M. D., Plácido de la Cruz, J. M., & Silva Espinoza, H. T. (2011). Periodos de retorno de lluvias torrenciales para el estado de Tamaulipas, México. Distrito Federal, México. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112011000300003
- [10] AGUAYSIG. (14 de 08 de 2014). Tiempo de concentración de la cuenca. Tiempo de Concentración de la Cuenca. Obtenido de <https://aguaysig.com/tiempo-de-concentracion-de-la-cuenca/>
- [11] Chown, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). En Applied Hydrology (pág. 511). Illinois, Estados Unidos. Obtenido de https://www.academia.edu/105588091/Ven_Te_Chow_Hidrologia_Aplicada
- [12] Linsley, J., R., Kholer, M. A., & Paulus, J. L. (1997). Hidrología para Ingenieros. Bogotá, Colombia. Obtenido de https://www.academia.edu/37765494/Hidrolog%C3%ADa_para_Ingenieros_LINSLEY_KOHLER_y_PAULHUS
- [13] Agud, R. M. (14 de enero de 2008). METEORED. Obtenido de <https://www.tiempo.com/ram/447/analisis-de-la-intensidad-de-precipitacion-metodo-de-la-intensidad-contigua/>
- [14] Ruiz Romera, E., & Martínez Santos, M. (2015). HIDROLOGÍA APLICADA. Valencia, España. Obtenido de https://ocw.ehu.es/pluginfile.php/47725/mod_resource/content/1/Material_Docente/Tema_5.pdf
- [15] Google Play. (noviembre de 2023). APP Store. Obtenido de https://play.google.com/store/apps/details?id=com.altimeter.gps.altitudemeter.barometer.compass.aut&hl=es_HN&gl=US&pli=1
- [16] ESRI. (2021). ArcGIS Desktop. Obtenido de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/map/main/what-is-arcmap-.htm>
- [17] Martell, J. (junio de 2013). Historia Del Parque Nacional La Tigra. SCRIBD, 13. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/169075965/Historia-Del-Parque-Nacional-La-Tigra>
- [18] Medina, G. (2023). AMITIGRA. Obtenido de <https://www.amitigra.com/>
- [19] Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (1997). Metodología de la Investigación. México. Obtenido de https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Metodologia-de-la-Investigaci%C3%83%C2%B3n_Sampieri.pdf
- [20] Vega Malagón, G., Ávila Morales, J., Vega Malagón, A. J., Camacho Calderón, N., Becerril Santos, A., & Amador, G. (mayo de 2014). Paradigmas en la Investigación, Enfoque Cuantitativo. Querétaro, México. Obtenido de <https://core.ac.uk/reader/236413540>
- [21] Mata Solís, L. D. (mayo de 2019). El Enfoque de Investigación: la naturaleza del estudio. Obtenido de <https://investigaliacr.com/investigacion/el-enfoque-de-investigacion-la-naturaleza-del-estudio/#:~:text=Cuando%20hablamos%20de%20enfoque%20de,el%20desarrollo%20de%20la%20perspectiva>
- [22] Narváez Trejo, O. M., & Villegas Salas, L. I. (2014). Introducción a la investigación: Tipos de Investigación. Veracruz, México. Obtenido de <https://www.uv.mx/apps/bdh/investigacion/unidad1/investigacion-tipos.html>
- [23] Mejía Jervis, T. (2020). ¿Qué son las Fuentes de? Antioquía, Colombia. Obtenido de [file:///C:/Users/Joel%20Avilez/Downloads/Qu%C3%A9%20son%20las%20Fuentes%20de%20Investigaci%C3%B3n%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Joel%20Avilez/Downloads/Qu%C3%A9%20son%20las%20Fuentes%20de%20Investigaci%C3%B3n%20(1).pdf)
- [24] Condori Ojeda, P. (2020). Universo Población y muestra. Lima, Perú. Obtenido de <https://www.aacademica.org/cporfirio/18.pdf>
- [25] Zamorano, J. (Julio de 2013). La Hipótesis en la Investigación. Hidalgo, México. Obtenido de <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa4/n1/m9.html#:~:text=P ara%20un%20proyecto%20de%20investigaci%C3%B3n,vez%20con cluido%20se%20podr%C3%A1%20probar.>
- [26] Lifeder. (21 de enero de 2021). Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos. Obtenido de <https://www.lifeder.com/tecnicas-instrumentos-recoleccion-datos/>
- [27] Suárez Gil, P., & Alonso Lorenzo, J. (2011). El Plan de Análisis. Asturias, España. Obtenido de http://udocente.sespa.princast.es/documentos/Metodologia_Investigaci on/Presentaciones/5_plan_analisis.pdf