

---

**FORMATO GUIA DEL INFORME DE TRABAJO DE GRADO – OPCIÓN**

## **PASANTÍA**

El presente formato son los lineamientos o guía para la presentación del informe del trabajo realizado como opción de pasantía de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cundinamarca del programa académico de Ingeniería ambiental seccional Girardot.

Este debe ser diligenciado por el (los) estudiante(s) y revisado por su respectivo asesor.

El documento escrito debe tener una presentación nítida, ordenada, sin errores dactilográficos, ortográficos, gramaticales y de redacción. Para resaltar puede usarse letra cursiva o negrilla (Puerta, 2011). Vicepresidente

La presentación del documento escrito debe lograr claridad (fácil de entender), concisión (síntesis), precisión (expresar una sola interpretación o un solo sentido), sencillez (redacción con palabras simples, que no sean rebuscadas), vigor expresivo (riqueza de vocabulario), cohesión (forma adecuada de relación entre las oraciones) y coherencia (selección relevante de la información y organización lógica de las temáticas, del análisis, de las conclusiones y recomendaciones)

Así mismo se aclara que para la construcción del documento final de pasantía el estudiante debe consultar las normas APA última edición que esté vigente a la fecha del periodo que corresponda a la construcción del trabajo.

En noma APA se orienta como debe ser la portada del documento y presentación general así como los estilos de letra, interlineados, márgenes, y formatos de letras para títulos de primer segundo tercer orden como también la forma de la denominación de las gráficas, figuras o tablas con su correspondiente titulación y citación de las fuentes que a ver parte de las referencias

bibliográficas. La norma APA es la guía principal para que elabore el documento y este formato expresa los contenidos que debe ir allí acorde al orden y demás especificaciones de APA.

Cabe resaltar que se debe tener en cuenta la forma adecuada para realizar la citación de las referencias bibliográficas dentro del documento por el tema de derechos de autor y al momento del jurado revisar el documento final mediante los programa anti plagio.

---

RESPONSABLES

---

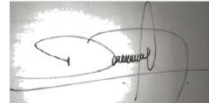
Nombre estudiante: Emily Vanessa Galeano Firma:

Emily Galeano R.

Rodríguez

Nombre del asesor: Diego Armando López

V.B°



Vargas

---

Informe de pasantía: \_\_\_x\_\_\_ Sector productivo: \_\_\_\_\_ Docencia: \_\_\_\_\_

Iniciativa propia: \_\_\_\_\_ Otros: \_\_\_\_\_

---

---

Universidad de Cundinamarca  
Seccional Girardot

Facultad de Ciencias Agropecuarias



---

**Modelamiento De La Amenaza Por Inundación Del Río Ariporo En La Zona**

**Rural Del Municipio De Paz De Ariporo, Casanare, Colombia**

Emily Vanessa Galeano Rodríguez

Director Mg. Diego Armando López Vargas

Universidad De Cundinamarca, Facultad De Ciencias Agropecuarias

Programa De Ingeniería Ambiental

30 De Octubre De 2024

## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Ronaldo Toledo, estudiante de ingeniería de sistemas por su valiosa colaboración durante el desarrollo de este proyecto. Su compromiso y experiencia fueron fundamentales para mejorar el código de la red neuronal que había sido previamente realizado y entrenado, lo que dio como resultado una mayor precisión y eficiencia. Gracias a su aporte realizado, que consistió en la integración de comandos adicionales que permitieron a la red neuronal almacenar sus análisis anteriores, con el fin de aprender y poder mejorar de sus errores, la calidad del modelo alcanzó un nivel que no hubiera sido posible sin su intervención.

Estoy agradecida por su especial iniciativa de llevar el código a una aplicación web, una contribución que permitió una presentación interactiva de sus resultados, facilitando su comprensión para un público más amplio. Su disposición y profesionalismo no solo mejoran este proyecto, sino que también fueron una fuente constante de aprendizaje y motivación para mí. Estoy agradecida por su ayuda y dedicación en cada paso del camino.

## TÍTULO

**Modelamiento de la amenaza por inundación del río Ariporo en la zona rural del municipio de Paz de Ariporo, Casanare, Colombia**

## RESUMEN Y PALABRAS CLAVES

El presente proyecto consta del desarrollo de un modelo digital para evaluar la amenaza de inundación en el río Ariporo ubicado en el municipio Paz de Ariporo, en el departamento del Casanare, Colombia, comprendiendo los factores que aumentan la vulnerabilidad de la región a

las inundaciones, incluido la variabilidad climática, el cambio climático, el inadecuado uso del suelo ribereño de las cuencas hidrográficas y la falta de planificación espacial. Estas inundaciones causan daños importantes a las economías locales y afectan el bienestar de las comunidades, resaltando la necesidad de la formulación de medidas de intervención más eficientes.

El trabajo de investigación se desarrolló mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para caracterizar el área de estudio e identificar áreas de riesgo y la distribución de grupos vulnerables. Basándose en la modelación hidráulica realizada en el software HEC-RAS, ya que este programa permite simular el comportamiento del flujo en diferentes condiciones, el cual se alimenta de datos como son los modelos de elevación digitales y los registros históricos del flujo del río Ariporo. Este análisis incluyó la creación de perfiles transversales a lo largo del río para proyectar las áreas propensas a inundaciones en diferentes escenarios.

Además, se realizó la evaluación del riesgo climático, teniendo en cuenta fenómenos como El Niño y La Niña, que tienen un impacto significativo en las condiciones de precipitación y sequía en la región. Con este objetivo, se desarrolló un modelo estadístico de segregación móvil, mediante el modelo ARIMA y las redes neuronales de memoria a largo plazo (LSTM), utilizando el lenguaje de programación Python para predecir patrones de 10 años de las variaciones de temperatura de la superficie del mar y precipitación. De esta manera, se logró una proyección del comportamiento que estas variables podrían tener en un futuro y así generar una base de información como herramienta para la formulación de medidas de prevención y reducción ante la materialización de las amenazas.

Como resultado de las modelaciones del proyecto de investigación, se obtuvo un análisis detallado en la caracterización del área de estudio, dado que permitió identificar las zonas específicas en riesgo por inundación, las cuales son las veredas La Motuz, La Peral, Sabanetas y Carrastrol. Con base en estos análisis, se realizaron recomendaciones para implementar acciones correctivas y preventivas en la formulación del ordenamiento territorial y en el desarrollo de planes para la gestión de riesgos más integrada. Estos modelos no solo proporcionaron un marco para planificar adecuadamente las medidas de intervención, sino que también mejora la capacidad de las comunidades y los gobiernos locales para responder a futuras amenazas de inundaciones.

**Palabras clave:** inundación, modelación, gestión del riesgo, vulnerabilidad.

## INTRODUCCIÓN

La Gestión del riesgo en Colombia se desarrolló a partir de circunstancias y situaciones de alto impacto que marcaron profundamente al país, uno de estos eventos fue el Bogotazo ocurrido en 1948, con el tiempo se amplió el enfoque a otro tipo de amenazas generadas ante los diferentes fenómenos naturales entre los que se cuenta, la avenida torrencial de Armero ocurrida en 1985, los terremotos presentados en Bucaramanga y el eje cafetero en la época de 1900, la Ola Invernal del 2010, producto de las intensas lluvias tras el fenómeno intenso de la Niña, seguidos por los cambios y fenómenos naturales de los últimos años.

A raíz de los notorios efectos que empezó a generar el fenómeno de El Niño se creó el instrumento llamado Plan Nacional de Prevención y Atención de Desastres bajo el decreto 93 de 1998, posteriormente, en el 2012, se aprobó la Ley 1523, por la cual se estableció el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, aun así la legislativa existente sigue evidenciando diversas falencias, porque aún son pocos los instrumentos que se trabajen en todo el territorio

para la atención de la ocurrencia de desastres, la creación de estrategias preventivas, la planeación de estrategias de financiamiento del riesgo de desastres y la integración de la comunidad vulnerable de la zona.

Una clara evidencia son los registros consolidados en la atención de emergencias de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD, 2020) y el Inventario histórico nacional de desastres (Corporación OSSO, 2020), donde se han documentado 67.789 sucesos en Colombia desde finales de 1914 hasta diciembre del 2019, entre estos registros se calcularon que 20.085 fueron evento de inundación, lo que representa el 30% de la totalidad, caracterizándose como el fenómeno con mayor frecuencia de ocurrencia. (¿Cuál Es el Riesgo Por Inundaciones En Colombia?, 2020). Estos registros pueden estar en constante aumento dado a que no se tiene un claro estudio sobre el comportamiento e impactos que tienen los diferentes eventos de desastre, generando que sigan siendo impredecibles para muchas comunidades y teniendo un desconocimiento de su frecuencia y magnitud con la que puede llegar.

Además, en Colombia, suele realizarse una gestión del suelo y del recurso hídrico de manera fragmentada, lo que provoca que en muchos sectores haya desinformación y así se desconozca de áreas en posible vulnerabilidad y qué factores están generando esta amenaza, por lo tanto, se puede decir, que la gestión del riesgo no ha incorporado correctamente el agua, el suelo, la sociedad y el cambio climático en su planeación, ocasionando vacíos en la formulación y planificación de herramientas en la reducción y manejo de desastres, de ciertos municipios que integran en su planificación territorial la Gestión del Riesgo de Desastres.

En cuanto al municipio de Paz de Ariporo, al igual que para el departamento de Casanare, es probablemente uno de los municipios más ricos en recursos hídricos disponibles, de esta considerable riqueza. El municipio cuenta con la mayor fuente de agua de la cuenca del río

Ariporo, además de otros ríos, caños y lagunas, formando una compleja red de abastecimiento de agua, que le ha permitido desarrollar una economía basada en la pesca, como también de usarla como transporte y comunicación fluvial, particularmente durante la temporada de lluvias.

(Alcaldía Municipal de Paz de Ariporo – Secretaría de planeación, 2004). El río Ariporo al presentar asentamientos humanos y deforestación en su rivera presenta amenazas por inundación en sectores veredales como Sabanetas, Bendición de los Troncos, Carrastol la Barranca, Ten Llano, la Esperanza, Gaviotas, Rincón Hondo y Cañadotes. (Alcaldía Municipal de Paz de Ariporo – Secretaría de planeación, 2004). Esta situación se presenta desde hace más de 30 años, dejado pérdidas altamente significantes en términos económicos, sociales, culturales, de las poblaciones campesinas, sumando a ello se cuenta las perdidas ambientales en fauna y flora.

El Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres, no establece un estudio detallado para mitigar la amenaza por inundación al que están expuestas las zonas veredales del municipio de Paz de Ariporo, y por ello se plantea el desarrollo de un modelo que permitirá proyectar zonas de amenaza por inundación y así permitir que se formulen obras de reducción correctivas y prospectivas para estas zonas vulnerables ante la variabilidad climática.

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El municipio de Paz Ariporo se establece como un municipio vulnerable a constantes inundaciones, en periodos de lluvia debido a factores como la variabilidad climática, el uso inadecuado áreas de fluviales y la falta de planeación territorial apropiada. A pesar de que las inundaciones son eventos periódicos en cuencas hidrográficas, la creciente interferencia humana y la falta de estudios técnicos precisos sobre el riesgo han incrementado su impacto. Esto ha llevado a pérdidas económicas significativas y a la falta de herramientas de prevención y mitigación. (Consejo Municipal de Gestión de Riesgos de Desastres de Paz de Ariporo, 2012)

---

Según lo especificado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios

Ambientales de Colombia IDEAM y el Comité Nacional de Conocimiento para la Gestión del Riesgo de Desastres, se describe la inundación como la acumulación momentánea de agua fuera de los cauces y reservas de agua de origen natural o artificial en las redes de drenaje. Las inundaciones ocurren cuando la escorrentía del río sobrepasa la capacidad de retención e infiltración del suelo y/o la capacidad de conducción del cauce, por lo tanto, suelen presentarse de manera habitual y regular de acuerdo a las dinámicas naturales de las cuencas. (González Velandia, 2014, p.22).

Este tipo de eventos se han materializado por factores como la variabilidad climática y el cambio climático dado que este altera las condiciones climáticas durante un periodo prolongado, su alta influencia ha intensificado los fenómenos de El Niño y La Niña, viéndose reflejado en cantidades extremas de precipitación o fuertes sequías, pero también según el Fondo Mundial para la Reducción y Recuperación de Desastres y el Banco Mundial Región de América Latina y El Caribe (2012), en Colombia, factores como la migración poblacional de las áreas rurales a urbanas, la degradación ambiental, la rápida alteración del uso del suelo, las condiciones socioeconómicas y geográficas del territorio, la hacen particularmente vulnerable a los impactos que trae consigo la variabilidad climática, como inundaciones, movimientos en masa, avenidas torrenciales, etc. (p. 6).

Además, como menciona (González Velandia, 2014), las áreas más propensas a la vulnerabilidad a inundaciones o avenidas torrenciales repentinas son en aquellas comunidades que realizaron asentamientos en las riberas de los ríos, siendo terrenos caracterizados por presentar pendientes pronunciadas. Aun así, hay un gran número de personas susceptibles a inundaciones que se localizan en área llanas, deltas o zonas costeras, que deben hacer frente a las

inundaciones lentas, que, si bien pueden ser previstas con anterioridad dadas sus condiciones naturales y así permitir un mejor manejo del desastre, dado que suelen presentarse en épocas prolongadas.

En 2010 y 2011, Colombia fue uno de los países más golpeados por los desastres hidrológicos, debido a que se registraron tasas de mortalidad con más de 500 y 300 muertes relacionadas a este tipo de eventos. (Annual Disaster Statistical Review 2010: The Numbers and Trends. Brussels. CRED & UCL, 2011). La falta de estudios de riesgo con detalle técnico de la alta vulnerabilidad genera un vacío en la información de la dinámica de los cauces, la extensión geográfica y frecuencia de los eventos de desastre y los impactos producidos por este, lo que conlleva a no tener herramientas para la gestión adecuada del territorio, la construcción de planes de prevención, de obras de reducción correctivas y prospectivas e informar a la comunidad de las zonas en riesgo, pero además de provocar altas pérdidas económicas en la atención de desastres.

Por lo tanto el proyecto se centra en la amenaza de riesgo de inundación que presenta el cauce del río Ariporo, ubicado en la Orinoquia (región oriental de Colombia), en el departamento del Casanare, que atraviesa la zona rural y urbana del municipio de Paz de Ariporo, el cual ha sido vulnerable a eventos de inundaciones súbitas e inundaciones lentas en las zonas de llanuras en los últimos 30 años, los factores que han favorecido la condición de esta amenaza es el uso inadecuado de las áreas fluviales y la interferencia directa con la creación de canales de riego por parte de los asentamientos humanos, el uso inadecuado en la extracción de materiales fluviales, la variabilidad climática y la inadecuada formulación de los procesos de prevención, mitigación e intervención en zonas de riesgo.

Entonces se propone un modelo de proyección digital de amenaza para prevenir y mitigar los daños al respecto, mediante el análisis hidrológico, climatológico y la implementación de los

sistemas de información geográfica (SIG), con el fin de realizar proyecciones simulatorias en áreas susceptibles a inundación, que permita adquirir información como herramienta para la formulación y planificación adecuada del territorio, como también de medidas para la intervención correctiva y prospectiva para las comunidades en estado de vulnerabilidad.

### **JUSTIFICACIÓN**

En Colombia, un gran porcentaje de ciudades y urbanizaciones municipales se encuentran situadas cerca de cuerpos de agua debido a su dependencia de los recursos hídricos y al acceso al transporte fluvial constante. Sin embargo, esta proximidad también genera una alta susceptibilidad a eventos de inundación. Adicionalmente, el país se caracteriza por contar tanto con áreas de alto relieve como con planicies inundables. Según (Carvajal, et al 2013) debido a la ubicación tropical de Colombia, el ciclo hidrológico cambia constantemente y se ve afectado por los ecosistemas de las áreas de desembocaduras de los ríos y los fenómenos del Pacífico y Atlántico, siendo así reflejados mediante cambios en la precipitación, temperatura y otros factores climáticos.

Este comportamiento ha sido impactado en los últimos tiempos por fenómenos como la variabilidad y el cambio climáticos, los cuales han intensificado eventos como El Niño y La Niña, amenazando a numerosas comunidades. Un ejemplo claro es el fenómeno de La Niña, que ocasiona períodos prolongados de lluvias intensas y, en muchas zonas, genera inundaciones significativas.

A este desafío climático se suma la falta de preparación de las entidades colombianas para enfrentar desastres derivados de la variabilidad climática, una situación que se agrava ante los impactos del cambio climático. La insuficiente atención y la carencia de incorporación de la gestión del riesgo en la planificación territorial han provocado no solo grandes pérdidas

económicas, sino también la pérdida de vidas humanas. Según el Banco Mundial (2012), existen cuatro factores que explican el aumento del riesgo, entre los cuales destaca la inadecuada gestión territorial, sectorial y privada. Pese a los logros obtenidos en la gestión del riesgo, estos no se han incorporado adecuadamente en la administración pública, lo que lleva a una acumulación de riesgos tanto en las zonas urbanas como en las rurales.

Esta situación crítica se observó en el análisis realizado por el Banco Mundial hacia la gestión del riesgo de desastres en Colombia, el cual habla sobre cuatro razones del aumento de los riesgos, señalando que la razón principal es la falta de una gobernanza territorial, sectorial y privada adecuada. Esto se debe a que, durante la planeación de la gestión pública, no se ha integrado la gestión del riesgo en caminado hacia el desarrollo, sumado a esto, solo se encontraron algunas políticas acordes a los temas de gestión del riesgo de desastres, como también ineficiencias en el manejo de las cuencas hidrográficas, en el seguimiento de las políticas urbanas y en las herramientas para la construcción y cumplimientos de la planificación espacial. (Fondo Mundial para la Reducción y Recuperación de Desastres y el Banco Mundial Región de América Latina y El Caribe, 2012, p.5).

El departamento del Casanare hace parte de los ejemplos claros de esta problemática, el IDEAM (2019) identificó que el 79,7% del territorio es susceptible a inundaciones. La explotación de los recursos ecosistémicos ha transformado áreas vulnerables, exacerbando el riesgo de desastres. Las inundaciones recurrentes han causado daños significativos, impactando en términos humanos, económicos, sociales, ambientales y en la infraestructura, lo que retrasa el desarrollo nacional.

Por estas razones, resulta crucial desarrollar un modelo que permita proyectar y analizar situaciones de inundación para formular medidas preventivas. El objetivo es reducir el riesgo

frente a factores de amenaza y condiciones de vulnerabilidad, contribuyendo a la reducción de desastres y mejorando la capacidad de respuesta de las comunidades afectadas.

## OBJETIVOS

Identificar a través de un modelo de proyección digital la amenaza por inundación para la gestión del riesgo de desastres del río Ariporo en la zona rural del municipio de Paz de Ariporo, Casanare, Colombia.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar la zona de estudio aplicando las herramientas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).
- Analizar los niveles de riesgo de inundación en el área de influencia correspondiente a la zona rural del municipio de Paz de Ariporo, Casanare, Colombia.
- Desarrollar un modelo digital de proyección estadístico de precipitación y de las variaciones de temperatura como herramienta para la planificación de medidas de reducción correctivas y prospectivas.

## MARCO REFERENCIAL

### Marco teórico

#### Sistemas de información geográfica

Es un sistema de información digital capaz de recopilar, validar, almacenar, interpretar, actualizar, manipular, analizar, visualizar y transmitir datos espaciales relacionados con un área geográfica, produciendo representaciones visuales de los datos suministrados. (Servicio Geológico Mexicano, 2017).

#### Gestión del riesgo de desastre

Es un proceso social que tiene como objetivo desarrollar, aplicar, monitorear y analizar políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, herramientas, medidas y acciones continuas para comprender y reducir los peligros y gestionar emergencias, con el objetivo explícito de proteger el bienestar y el progreso sostenible de las poblaciones. (Ley 1523 de 2012, D.O. No. 48411. Art. 1).

### **Amenaza**

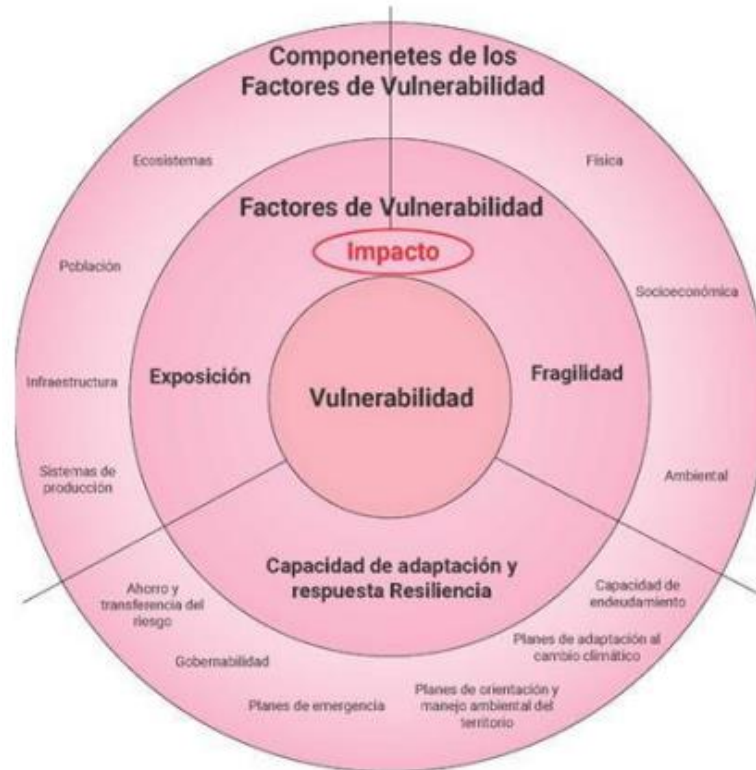
La existencia de un peligro inmediato proveniente de un evento físico de origen natural causado o provocado por una acción humana no intencionada, de intensidad suficiente para causar muerte, lesiones u otras consecuencias para la salud, así como daños y pérdidas de propiedad, infraestructura, medios de vida, servicios, transporte marítimo y recursos naturales. (Ley 1523 de 2012, D.O. No. 48411. Art. 4).

### **Vulnerabilidad**

La vulnerabilidad se refiere a la fragilidad o susceptibilidad física, económica, social, ambiental o institucional que una comunidad puede sufrir o verse afectada negativamente si ocurre un evento físico peligroso. La vulnerabilidad es la propensión de las personas a sufrir pérdidas o daños a sus medios de vida y a sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo, que pueden verse afectados por peligros de naturaleza física. (Ley 1523 de 2012, D.O. No. 48411. Art. 4).

### **Figura 1.**

*Factores y componentes de la vulnerabilidad*



Nota, gráfico circular de los factores de vulnerabilidad. *Tomado de Ciencia e Ingeniería Neogranadina; ISSN: 0124-8170*

## Desastre

Es el resultado de la ocurrencia de uno o varios eventos naturales o antropogénicos no intencionales que resultan en daños o pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales. Esto genera una alteración intensa, grave y amplia en las condiciones normales de funcionamiento de la sociedad, lo cual requiere de medidas inmediatas de respuesta por parte del estado y los sistemas nacionales de emergencia y reconstrucción. (Ley 1523 de 2012, D.O. No. 48411. Art. 4).

## Exposición (elementos expuestos)

Se trata de la presencia de personas, bienes, servicios ambientales y recursos económicos y sociales, patrimonio cultural e infraestructural que pueden verse afectados debido a su ubicación ante la presencia de una amenaza. (Ley 1523 de 2012, D.O. No. 48411. Art. 4).

### **Riesgo de desastre**

Se trata de los daños o pérdidas que pueden ocurrir al estar relacionados con la presencia de eventos físicos peligrosos durante un período de tiempo de diferentes orígenes, tales como naturales, tecnológicas, biosanitarias o antropogénicas no intencionales, que se determina por la vulnerabilidad de los diferentes elementos expuestos, dado que al integrarse la amenaza se materializa el riesgo. (Ley 1523 de 2012, D.O. No. 48411. Art. 4).

### **Reducción del riesgo**

Es el procedimiento de evaluación y mitigación de riesgos, que implica tomar medidas con el fin de cambiar las condiciones de manera anticipada para disminuir la materialización del riesgo, que está ocasionando afectaciones a los bienes y servicios sociales, económicos y ambientales. Ante esto, se implementan medidas de intervención correctivas del riesgo existente, medidas de intervención prospectivas y la protección financiera para la reducción del riesgo. (Ley 1523 de 2012, D.O. No. 48411. Art. 4).

### **Prevención del riesgo**

Son estrategias o acciones planificadas previamente para evitar que se materialice el riesgo. Puede centrarse en la prevención o reducción de las amenazas o la vulnerabilidad, para lograr esto, se tiene en cuenta los planes de ordenamiento territorial y las fuentes de financiamiento. (Ley 1523 de 2012, D.O. No. 48411. Art. 4).

### **Mitigación del riesgo**

Son estrategias para minimizar situaciones peligrosas y vulnerables existentes mediante la implementación de regulaciones o acciones correctivas a través de normas de seguridad y proyectos de inversión para reducir posibles daños y pérdidas. (Ley 1523 de 2012, D.O. No. 48411. Art. 4).

### **Manejo de desastres**

Es el proceso que incluye la preparación para la respuesta de emergencia, la formulación de planes para la recuperación posdesastres, la implementación de la respuesta y la realización de la recuperación asociada a la reparación y construcción. (Ley 1523 de 2012, D.O. No. 48411. Art. 4).

### **Intervención**

Es el manejo del riesgo que implica cambiar intencionalmente las características de un fenómeno para reducir la amenaza que plantea, así como cambiar las características que lleva a que los elementos expuestos presenten vulnerabilidad. (Ley 1523 de 2012, D.O. No. 48411. Art. 4).

### **Intervención correctiva**

Estas medidas son formuladas con el fin de reducir el nivel de riesgo en la población vulnerable, a través de estrategias y acciones de prevención de riesgos para reducir las posibles amenazas y vulnerabilidades de estas comunidades. (Ley 1523 de 2012, D.O. No. 48411. Art. 4).

### **Intervención prospectiva**

El propósito de estas estrategias es asegurar que no se presenten nuevamente situaciones de riesgo a través de medidas preventivas, reduciendo la exposición de los elementos ante los diferentes eventos peligrosos. Se lleva a cabo principalmente a través de la formulación adecuada de los manejos ambientales sostenibles, la planificación espacial, regulaciones y especificaciones

técnicas estudios de los diseños para determinar su viabilidad preliminar, control y monitoreo, que permiten conocer detalladamente el área afectada. (Ley 1523 de 2012, D.O. No. 48411. Art. 4).

### **Cambio climático**

Son los cambios estadísticamente significativos en las condiciones climáticas medias o los cambios que persisten durante largos períodos de tiempo (generalmente décadas o más) pueden deberse a procesos naturales internos, cambios en influencias externas o cambios antropogénicos permanentes en los servicios ecosistémicos. (Ley 1523 de 2012, D.O. No. 48411. Art. 4).

### **Análisis y evaluación del riesgo**

Es un proceso que incorpora el estudio detallado de las causas y fuentes de los peligros, sus consecuencias y la probabilidad de que puedan desarrollarse. Es un marco a través del cual se establecen relaciones entre los peligros y las vulnerabilidades de los elementos expuestos para identificar los posibles impactos sociales, ambientales, económicos y la recurrencia. Para poder definirlos se determina el costo de los daños y pérdidas, y los lineamientos de seguridad definidos. (Ley 1523 de 2012, D.O. No. 48411. Art. 4).

### **Inundación**

Las inundaciones ocurren cuando el agua cubre un área que normalmente está seca debido a la afluencia repentina e inesperada de un volumen de agua mayor a la capacidad del río. Hay tres formas de presentar una inundación, la primera es repentina, dado que se da por la alta fluencia de lluvias, la segunda es por la alta escorrentía que presenta un cauce perdiendo su capacidad de almacenamiento y la última, es la costera causada por tsunamis o mareajes fuertes. (iAgua & Zarza, s. f.)

## Fenómenos El Niño y La Niña

El Niño y La Niña se definen como las dos fases opuestas de la Oscilación Sur del Fenómeno ENOS. El término “El Niño” se utilizó originalmente para describir aguas superficiales más cálidas de lo normal en el Pacífico tropical central y oriental frente a las costas del norte de Perú, Ecuador y el sur de Colombia. El concepto de “La Niña” se refiere a episodios intermitentes, pero no continuos de condiciones de frío extremo durante al menos seis meses en el Pacífico tropical central y oriental. El proceso de enfriamiento de la superficie del océano afecta a grandes extensiones de esta masa de agua y, debido a su tamaño, cambia significativamente el clima en todo el mundo. Estos eventos afectan la circulación atmosférica, como cambios en la velocidad y dirección del viento, lo que lleva a expresiones anormales de factores como la temperatura, la humedad, la nubosidad y la precipitación. Estos cambios provocan perturbaciones climáticas como sequías, inundaciones, períodos de frío extremo y períodos de calor extremo. (Ruíz, 2012, como se citó en Pérez, 2016, p. 16 y 17).

### Modelo y Modelación

Un modelo es un diagrama que muestra un conjunto de datos reales con cierto grado nivel de exactitud y de la manera más detallada que se pueda, sin llegar a visualizarse lo que exactamente hay en la realidad, permitiendo comprender e interpretar con mayor veracidad cuando no hay una comunicación directa con el área o la situación real. (FAO, 1997, como se citó en Pérez, 2016, p. 170). Pero también en este campo presenta limitaciones de los fenómenos analizados, dado que asume ciertos aspectos con respecto a las interpretaciones del sistema de acuerdo a las condiciones suministradas sin llegar a construir o modificar el sistema original. Es por esto, que es una representación aproximada a lo tangente porque existen variables que no se

pueden tener en cuenta, pero de cierta forma influyen en el sistema. (Pulecio, 2008, como se citó en Pérez, 2016, p. 170).

### **Modelación hidráulica**

La modelación hidráulica es la aplicación de modelos a sistemas de agua, principalmente ríos. En esta se realiza una representación a escala del flujo de agua y fenómenos relevantes en estos sistemas (Hidalgo, Castro, & Poveda, s.f., como se citó en Pérez, 2016, p. 170). En la modelación hidráulica a partir de caudales de entrada se puede analizar la conducta hidráulica de un río, en condiciones de funcionamiento normal o extremo, dando información sobre el nivel de agua, profundidad, zonas de desbordamiento, etc. De este modo se puede prever, por ejemplo, cuales sectores del río no tienen la capacidad para transportar de manera segura el caudal producido por eventos extremos de precipitación y escurrimiento, y tomar las medidas de prevención correspondientes (Solis & Cuevas, 1995, como se citó en Pérez, 2016, p. 171).

### **Marco Legal**

Según la Constitución Política del 1991, en su artículo 79, dice que toda persona tiene derecho a un ambiente sano. La participación de la comunidad será integrada y cumplida por la ley en las decisiones que lleguen a impactarlos. La protección de la diversidad es una responsabilidad que incumbe al país. Cuidar el medio ambiente natural, preservar zonas ecológicamente significativas y fomentar la educación como forma de alcanzar dichos propósitos. (Avance Jurídico Casa Editorial Ltda., s. f.)

### **Ley 1523 de 2012**

Esta ley establece la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, entre otras disposiciones. La legislación fomenta la integración de la gestión de riesgos en la planificación del desarrollo y exige que los

municipios incorporen estrategias de reducción de riesgos en sus planes espaciales. (Ley 1523 de 2012 - Gestor Normativo, s. f.)

### **Ley 99 de 1993**

Esta ley creó el Ministerio del Medio Ambiente, como ente gestor del medio ambiente natural y de los recursos naturales renovables, es el responsable de promover el respeto y la convivencia equilibrada entre el hombre y la naturaleza, como también el encargado de formular leyes, reglamentos, normas, lineamientos y regulaciones que rigen la restauración, conservación, protección, planificación, gestión, uso y desarrollo de los recursos naturales renovables y el medio ambiente del país para asegurar un crecimiento sostenible. (Ley 99 de 1993, 1993)

### **Decreto 1077 de 2015**

En la sección 3 del reglamento, detalla las directrices para integrar gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial de departamentos, municipios o distritos. (Decreto 1077 de 2015 Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, 2015)

### **Decreto 1640 de 2012**

Este decreto reglamenta los diferentes instrumentos de planificación, organización y gestión de cuencas hidrológicas y acuíferos y establecen otras disposiciones. Al ser una herramienta para la planificación ambiental a largo plazo con enfoque nacional la formulación, ajuste y/o implementación de los diversos instrumentos de política, planificación de gestión y seguimiento. (Decreto 1640 de 2012 - Gestor Normativo, s. f.)

### **Marco referencial**

Desde un inicio la terminología “gestión del riesgo de desastres”, no tenía la misma relevancia de hoy en día, pues en sus inicios se conocían como sistemas de atención de desastres, pero al avanzar las investigaciones se empezó a determinar que estos eventos podrían prevenirse

si se estudiaba el origen de la emergencia; poco a poco estos desastres fueron los detonantes de su evolución significativa a nivel internacional, debido a la necesidad de mitigar los impactos de ciertos fenómenos naturales devastadores, es decir, pasó de dar una respuesta reactiva ante estos eventos extremos a una visión proactiva de prevención y mitigación. Gracias a la proclamación del Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales en 1989, se empezaron a promover enfoques más preventivos y menos reactivos. La Estrategia de Yokohama de 1994 marcó un punto clave cuando la prevención y la mitigación se convirtieron en una prioridad sobre la respuesta a los desastres, promoviendo la adaptabilidad de las comunidades vulnerables y desarrollando sistemas de alerta temprana. Esta estrategia estableció los cimientos para la formulación del Marco de Acción de Hyogo en 2005, el cual amplió los enfoques para afirmar que la incorporación de la gestión del riesgo de desastres debería ser una parte fundamental en la toma de decisiones diarias, empezando por la educación brindada a los niños y niñas y hasta la forma en que se planean las urbes. (Estrategia Internacional para Reducción de Desastres [EIRD], s.f.). El cambio más reciente ocurrió con la adopción del Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres en 2015, que incorporó un “enfoque integral para el fortalecimiento de la resiliencia social y económica tras un desastre, y la adaptación frente a los cambios climáticos, como una de las principales prioridades globales”. (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres [UNGRD], 2024).

En el contexto colombiano, los marcos teóricos internacionales han sido bastantes influyentes, pues se ha visto reflejado en la creación de un marco institucional y legal sólido que combina las estrategias de desarrollo y la reducción de riesgos de manera integral. La ley 46 de 1988, fue el primer paso en Colombia hacia la Gestión del Riesgo de Desastres (GRD), al establecer un marco legal para la creación del Sistema Nacional para la Prevención y Atención

de Desastres (SNPAD) y la Oficina Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (ONPAD), centrándose principalmente en la atención de eventos de emergencias. A raíz de la tragedia de Armero en 1985, el cual cobró la vida de más de 23000 personas debido a la avenida torrencial que propagó la erupción del volcán Nevado del Ruiz, lo permitió evidenciar las deficiencias de respuesta en la prevención de desastre y la gestión del riesgo. Este evento fue el desencadenante para que Colombia adoptara un enfoque más preventivo centrándose en el conocimiento del riesgo y no solo en la respuesta ante el desastre ocurrido (Céspedes Romero, 2022). A lo largo del tiempo, empezó a ser más evidente la necesidad de un enfoque integral, conjuntando el ordenamiento territorial, la regulación ambiental, el cambio climático y la susceptibilidad de los elementos expuestos ante un riesgo de desastre.

Con la promulgación de la Ley 1523 de 2012, la administración del riesgo en Colombia pasó por un paso vital en su desarrollo. No solo consolidó el Sistema Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, sino que estableció la obligatoriedad de incorporar la gestión del riesgo en las políticas públicas y la planificación a todos los niveles de gobierno, para centrar sus ejes en la prevención y mitigación. A través de políticas públicas como el Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (PNGRD) 2015-2025, se empezó a priorizar las estrategias de reducción del riesgo, mediante el apoyo de tecnologías para la vigilancia y pronóstico, sistemas de alerta temprana, la inversión de infraestructura resiliente y fondos de contingencia, ante fenómenos hidrometeorológicos extremos, como es el caso de eventos de inundación y sequías, que suelen presentarse en mayor magnitud y ocurrencia en regiones como el Caribe y la Orinoquía. Últimamente para lograr mejores resultados, se empezó a implementar la descentralización de responsabilidades hacia los departamentos y municipios, pero también se dio paso a la

integración participativa de las comunidades afectadas, todo esto ha sido, con el fin de dar cumplimiento a los marcos internacionales como el Marco de Sendai. (Perles Roselló, 2022).

Sin embargo, aun así se siguen observando ineficiencias y bastantes desafíos que enfrenta este tipo de procesos, dado que es importante integrar la adaptación al cambio climático, llevando a cabo estudios económicos de los desastres para estimar los costos ante los diferentes escenarios de desastre y así mitigar las elevadas pérdidas monetarias que se generan cuando se atiende una emergencia de desastre, dado que estas situaciones, llevan a un país a originar una crisis financiera; También es esencial la incorporación de modelos de proyección de escenarios de riesgo de desastre, dado que, permite optimizar la asignación de recursos, reducir las pérdidas económicas y también optimizar la toma de decisiones por parte de los actores gubernamentales hacia un enfoque integral, obteniendo resultados óptimos para el desarrollo de un país.

## **DISEÑO METODOLÓGICO**

### **Caracterización de la zona de estudio**

Paz de Ariporo es un municipio situado en los Llanos Orientales, área de la Orinoquía, específicamente en la región nororiental del departamento de Casanare, con una superficie aproximada de 13.800 km<sup>2</sup>, convirtiéndose uno de los municipios más grandes del país y representa el 27.14% del territorio departamental. La altitud es de 270 m.s.n.m. (Alcaldía Municipal de Paz de Ariporo, Casanare – Información del municipio, s.f.)

El centro municipal se encuentra ubicado en las coordenadas 05°52'53" de latitud norte y 71°53'39" de longitud oeste, con una altura de 275 m.s.n.m. (Gobernación de Casanare – Boletín Estadístico, 2019), la cual ocupa una “extensión de 6.5 Km<sup>2</sup> y su zona rural presenta una extensión de 13793.5 Km<sup>2</sup>, con una elevación de 340 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.)

con una temperatura media de 28°C”. (Alcaldía Municipal de Paz de Ariporo, Casanare – Información del municipio, s.f.).

Limita al norte con el Municipio de Hato Corozal, al este con los Departamentos de Arauca y Vichada, al sur con el Municipio de Trinidad y al oeste con los Municipios de Pore y Támara”. (Alcaldía Municipal de Paz de Ariporo, Casanare – Información del municipio, s.f.). Estas características geográficas no solo definen el entorno físico del municipio, sino que también influyen en su desarrollo socioeconómico y en su exposición a fenómenos naturales, como inundaciones.

La relevancia de la ubicación geográfica y la extensión del territorio de Paz de Ariporo hacen de este municipio un escenario crucial para el estudio de la vulnerabilidad ante inundaciones, así como la puesta en práctica de las estrategias de gestión del riesgo adecuadas a su contexto. La interacción entre los factores ambientales, sociales y económicos resalta la necesidad de un enfoque integral en la planificación y gestión del territorio. La región cuenta con un clima cálido, con una humedad relativa promedio anual del 76% y una temperatura promedio anual es de 26,7 °C, siendo marzo el mes más caluroso y julio el más frío. La cantidad promedio de lluvias por año es de 3.007 mm, está relacionada a la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y distribuida según un patrón de lluvias que van desde abril hasta noviembre, de los cuales junio el mes con mayor cantidad de precipitaciones. (Gobernación de Casanare – Boletín Estadístico, 2019)

En el municipio de Paz de Ariporo se identifican dos unidades morfológicas que enriquecen su diversidad geográfica y ecológica. La primera, se sitúa en dirección oeste, presenta un relieve montañoso haciendo parte del lado este de la cordillera Oriental, destacando cerros

como el Zamaricote y el Careperro. Estas elevaciones son esenciales para la regulación del ciclo hídrico y sirven como hábitats para una rica biodiversidad.

La segunda unidad morfológica, que comprende la mayoría del municipio, es llana y coincide con la llanura oriental de la Orinoquía, formados por llanuras de origen aluvial y eólico. Estas llanuras generan suelos fértiles, favoreciendo actividades económicas como la agricultura y la ganadería (Gobernación de Casanare, 2019).

La interacción entre ambas unidades no solo define el paisaje de Paz de Ariporo, sino que también influye en la conservación y uso racional de los recursos naturales y en el manejo de riesgos relacionados con fenómenos como inundaciones y deslizamientos, lo que hace crucial entender estas dinámicas para la elaboración de políticas de ordenamiento territorial y gestión del riesgo.

Según el censo del 2018 realizado por el DANE, el municipio de Paz de Ariporo presenta una población total de 36,277 habitantes, desglosada en 16,965 mujeres y 17,481 hombres. Esta demografía refleja una distribución de género relativamente equilibrada, lo que puede tener implicaciones en la dinámica social y económica del municipio.

Las actividades económicas predominantes en Paz de Ariporo se centran en la ganadería, liderando la producción ganadera departamental, lo que posiciona al municipio como un actor clave en la producción pecuaria regional. Además, la agricultura y el comercio son sectores fundamentales que, junto con la reciente expansión de la explotación de hidrocarburos, han contribuido a diversificar la economía local. Esta combinación de actividades económicas no solo genera ingresos para la población, sino que también plantea desafíos en términos de sostenibilidad y gestión de recursos naturales (Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres, 2012).

**Figura 2**

*Municipio de Paz de Ariporo, Casanare*



*Nota, Fotografía de la periférica del municipio. Tomado de Municipios. com, s.f.*

Según el POT del municipio, Paz de Ariporo se encuentra conformado por 19 barrios del área urbana (Bella Vista, Buenos Aires, Camilo Torres, El Centro, El Palmar, El Progreso, El Triunfo, La Esperanza, La Fragua, La Granja, Las Ferias, Las Villas, Los Centauros, Panorama, San Jorge, San Juan, Siete de Agosto, Veinte de Julio y Aeropuerto) y el área rural por 54 veredas, que son las siguientes: (Plan de Desarrollo Municipio de Paz de Ariporo 2020-2023, s.f., como se citó en el Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de Paz de Ariporo, 2011)

**Tabla 1.**

*Veredas del municipio de Paz de Ariporo*

Número	Nombre del Asentamiento	Número	Nombre del Asentamiento
1	Brisas del Bebedero	28	La Palmita
2	Brito Alto	29	La Peral

**Facultad de Ciencias Agropecuarias**

---

3	Cañadotes	30	La Potosí
4	Canalete	31	La Soledad Caño Garza
5	Caño Chiquito	32	La Unión Candelaria Alta
6	Carrastol	33	La Veremos
7	Centro Gaitán	34	Labrancitas
8	El Boral	35	Las Guamas
9	El Caribe	36	Las Mercedes
10	El Desierto	37	Llano de Páez
11	El Jordán	38	Los Camoruco
12	El Muese	39	Los Morichales
13	El Porvenir	40	Manirotos
14	Elvecia	41	Montañas del Totumo
15	Gaviotas	42	Normandía
16	Jaguito	43	Palosantal
17	La Aguada	44	Playitas
18	La Barranca	45	Puerto Brasilia
19	La Bendición de Los Troncos	46	Rincón Hondo
20	La Candelaria	47	Risaralda Aguas Claras
21	La Colombina	48	Sabanetas
22	La Esperanza	49	San Esteban
23	La Hermosa	50	San José de La Lopera
24	La Libertad	51	San Luis del Ariporo
25	La Mesa	52	Santa Martha
26	La Motuz	53	Ten Llano
27	La Palma	54	Varsovia

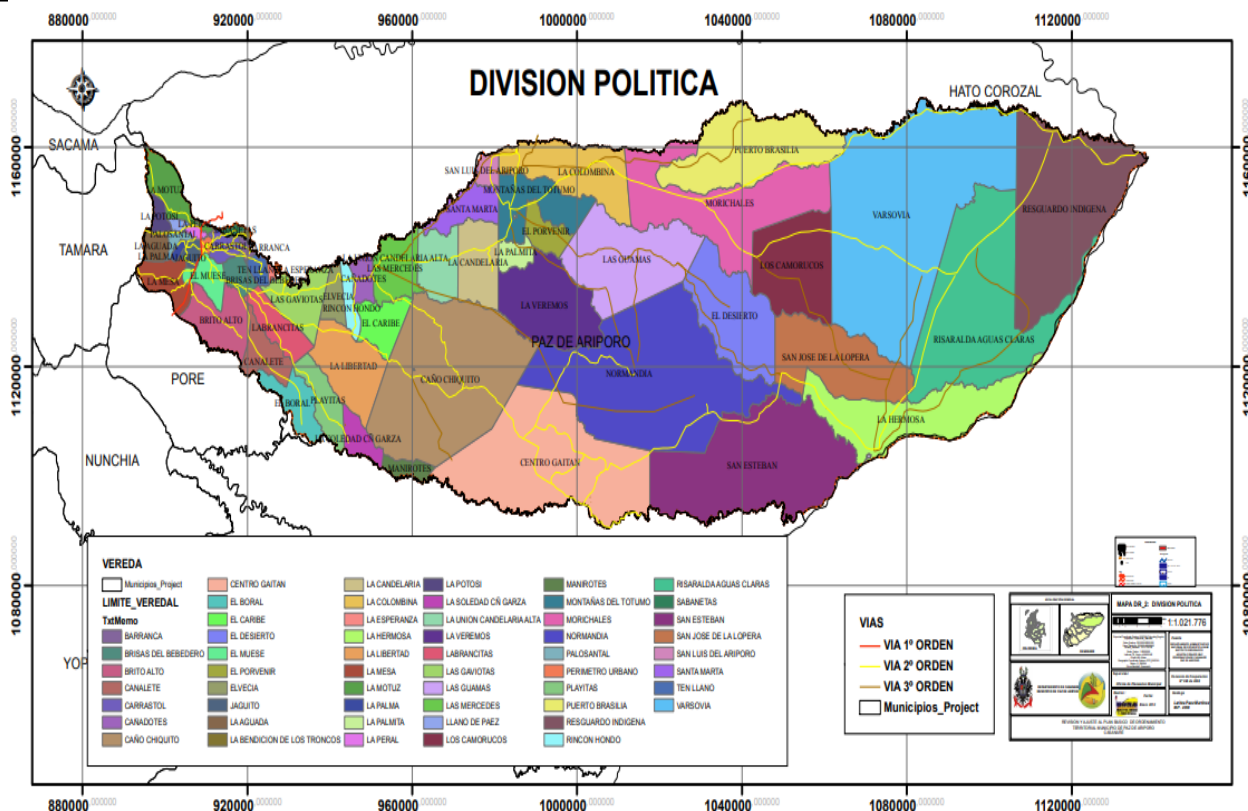
---

*Nota, listado de veredas, Municipio de Paz de Ariporo. Tomado del Plan Básico de*

*Ordenamiento Territorial de Paz de Ariporo ajustado 2011*

**Figura 3**

*División Política De Paz De Ariporo, Casanare*



Nota, Mapa de distribución administrativa del municipio de paz de Ariporo. Tomado del (Plan Básico de Ordenamiento Territorial de Paz de Ariporo ajustado 2011)

El proyecto se estructuró en las siguientes fases metodológicas:

1. Recopilación, tratamiento y análisis de la información:
  - Se realizó una revisión bibliográfica de la ocurrencia de eventos de inundación en el municipio de Paz de Ariporo, en bases de datos presentes en COLOMBIA EN MAPAS, CORPORINOQUIA, UNGRD y el IDEAM.
  - Preselección del área de influencia de acuerdo a la disponibilidad de información presente en los diferentes referentes bibliográficos, como el Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT), Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastre (PMGRD), mapas

de vulnerabilidad, amenaza y riesgo por inundación, registros ante eventos de esta categoría.

- Luego se realizó la compilación de información existente como la cartografía de la zona, registros de precipitaciones y caudales del municipio Paz de Ariporo en las estaciones del IDEAM Paz de Ariporo [36015010] y Paz de Ariporo [36017010], pero también de datos socioeconómicos actuales del último censo Nacional de población realizada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y de vivienda suministrada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), del año 2018.

## 2. Cartografía

- Se realizó la delimitación cartográfica urbana y rural mediante el software ArcGIS 10.8, con el fin de identificar el área total de estudio y las edificaciones presentes.

## 3. Modelación de los procesos ambiental

- Inicialmente se realizó la recopilación de datos como el Modelo de Elevación Digital con una resolución adecuada para el área de estudio, mediante el portal ASF Data Search Vertex, con el formato de ALOS PALSAR en la imagen de nivel de 1,5, luego de esto se adquirieron y se organizaron los datos de caudales máximos del río Ariporo en diferentes periodos de retorno.
- Teniendo estos datos, se procedió a abrir el software HEC-RAS para crear un nuevo proyecto.
- Luego de esto, se procede a importar el DEM mediante la herramienta “Ras Mapper” seleccionando la opción “Terrains”, esto permitió al programa crear un mapa de base para el análisis de flujo y elevación.
- Para este tipo de proyectos se tuvo en cuenta las coordenadas de Magna-Sirgas.

- Al tener el modelo de elevación se comenzó a dibujar el cauce del río Ariporo y también delimitar los tramos que lo conforman, ya con esto, se dibujaron las secciones transversales en diferentes puntos a lo largo del río, asegurándose de que estas incluyeran correctamente el cauce y su área de influencia que puedan inundarse.
  - Luego de esto, se importa el terreno a cada sección transversal para que HEC-RAS asigne automáticamente cada uno de los perfiles del DEM a las secciones transversales realizadas anteriormente.
  - Con base en ello, se ingresan los datos de caudales máximos anteriormente recopilados de la estación del IDEAM - Paz de Ariporo [36017010] y se elige el tipo de análisis que se quiere modelar, en este caso, fue el de steady Flow. De esta manera, el software genera un mapa de inundación del área estudiada.
4. Modelación estadística de la proyección de datos hidrometeorológicos
- Para la construcción de la red neuronal, se trabajó en el lenguaje de programación Python el cual es un sistema de códigos abiertos que permite realizar una construcción detallada de códigos que son proporcionados por diferentes librerías que este presenta en su base de datos.
  - Inicialmente se empezó a importar las respectivas librerías que correspondieran al logaritmo de ARIMA y a la red neuronal, como fueron tensorflow, pandas, numpy, etc.
  - Luego de esto se empezó digitar los respectivos comandos para entrenar el modelo de la red neuronal, en este caso se codificó mediante nodos de procesamiento para que fuera más inteligente al realizar los respectivos análisis de datos, tomando los residuos como entrada para que su aprendizaje se generara con base a los patrones anteriormente generados.

- Con base en este entrenamiento, se importaron comandos con el fin de diseñar una aplicación en la web para proporcionar una visualización de las gráficas de proyección generadas por la red neuronal.

## RESULTADOS OBTENIDOS

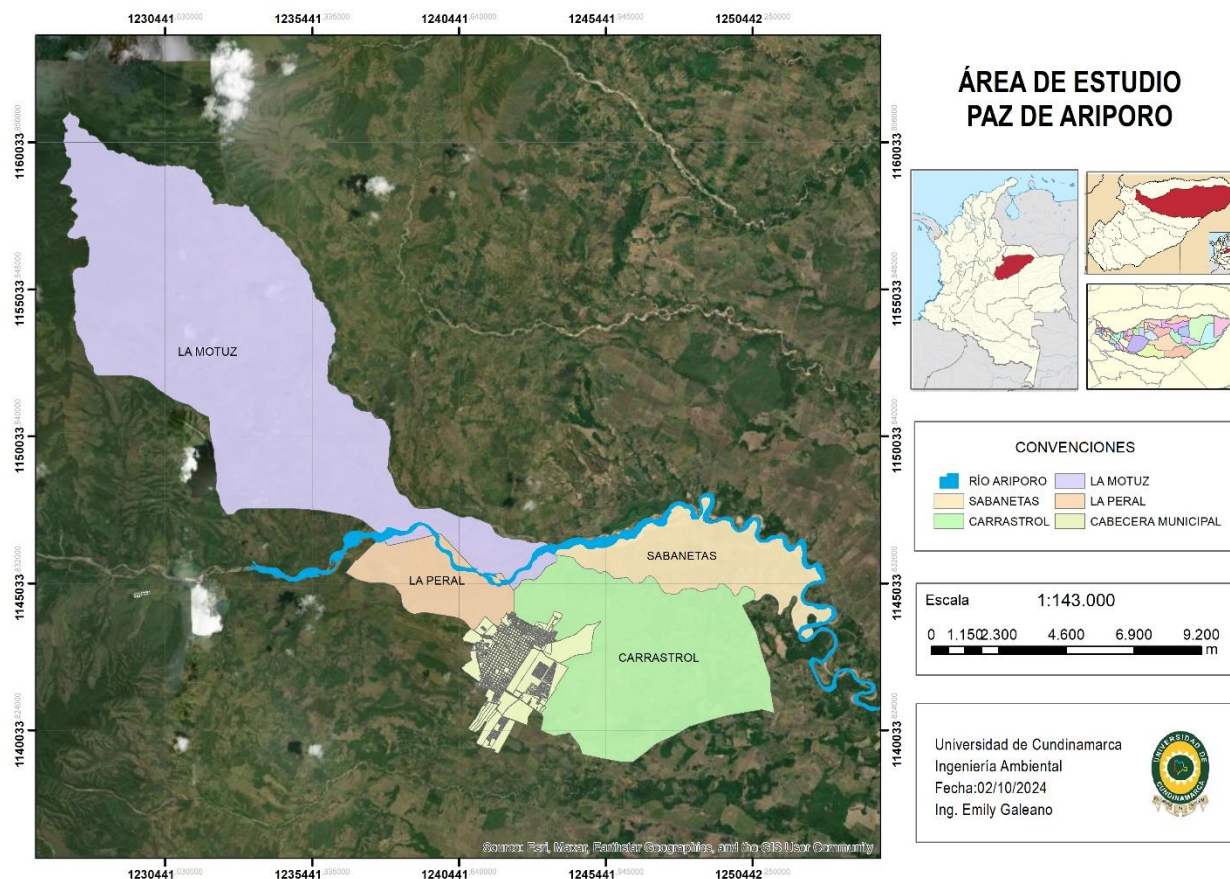
El municipio de Paz de Ariporo presenta un relieve caracterizado por áreas bajas y planas que suelen sufrir inundaciones lentas repentinas durante los eventos de precipitación intensa o desbordamientos del río Ariporo. La presencia de este cauce en esta zona aumenta el riesgo de inundación debido a la capacidad de absorción del suelo y la escorrentía que genera cambios en la dinámica de la cuenca, dado que esta zona es altamente influenciada por procesos de erosión y la existencia de terreno planos, este tipo de eventos en el sector tienen una alta probabilidad de ocurrencia de 1 año, dado que llevan alrededor de 3 décadas viviendo este riesgo.

Los parámetros de la forma, el relieve y la red de drenaje del río Ariporo, como también el modelo de elevación del área de influencia, permitieron identificar las características hidráulicas primordiales de la cuenca, los cuales fueron analizados y calculados empleando las herramientas SIG para la manipulación de datos hidrológicos y archivos ráster.

Con base en el área delimitada de estudio se determinó que el punto de salida del río se ubicaría en la parte norte, dado que es el punto donde comienza a atravesar las veredas La Motuz, La Peral, Sabanetas y Carrastrol del municipio como también la cabecera municipal, entre las coordenadas 4,59620042 de latitud N y una longitud de -74,07750792 O. Esta delimitación dio como resultado que el área caracterizada por tener una forma alargada y trezada tiene 28,5 km de longitud y un área de 5,8 km<sup>2</sup>, con una pendiente de 0,7% y en los puntos de mayor elevación se calcula que tiene aproximadamente 15%. Como se puede observar en el siguiente mapa, el cuál fue realizado mediante el software ARC-GIS versión 10.8.

Figura 4

*Delimitación del área de estudio del río Ariporo del municipio de Paz de Ariporo, Casanare*



*Nota*, Mapa del área de estudio de la cuenca hidrográfica río Ariporo, del municipio de Paz de Ariporo, Casanare

De acuerdo con la figura 4, el área de estudio contó con 4 veredas, 19 barrios y 484 manzanas según la delimitación cartográfica, con un total de 12.628 viviendas y 26.194 habitantes. Esta zona de estudio tiene un área total de 156205482 m<sup>2</sup> y 15620,5482 Ha, consolidada por un tramo amplio del río Ariporo, lo que permite observar la exposición a que se enfrentan sus pobladores.

Las consideraciones anteriores permitieron definir la estación meteorológica más próxima a la ribera de la cuenca Ariporo, la cual tiene como nombre Paz de Ariporo [36017010]

y así identificar los valores de caudales máximos en un periodo de 10 años con relación a eventos de altas precipitaciones como de poca frecuencia de estas, como se muestra a continuación:

**Tabla 2**

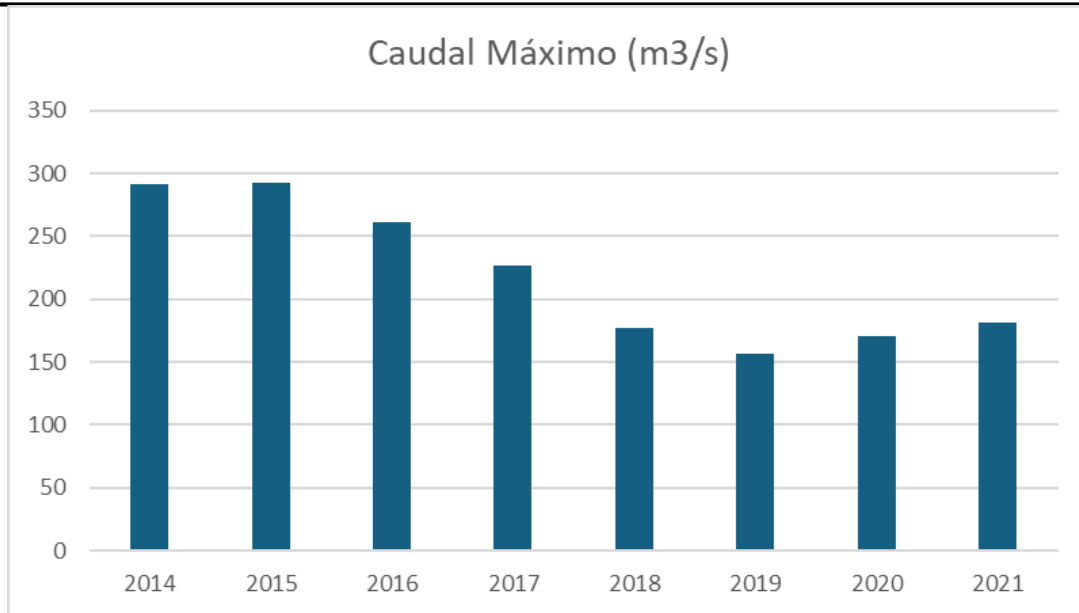
*Registro del caudal máxima del río Ariporo – IDEAM*

Fecha	Caudal Máximo (m <sup>3</sup> /s)
2014	291,2
2015	292,7
2016	260,856
2017	226,381
2018	177,1482
2019	156,97125
2020	170,38305
2021	181,014

*Nota*, registro histórico del caudal máximo del río Ariporo, del municipio de Paz de Ariporo, Casanare, suministrado por el IDEAM.

**Gráfica 1**

*Registro del caudal máxima del Río Ariporo - IDEAM*

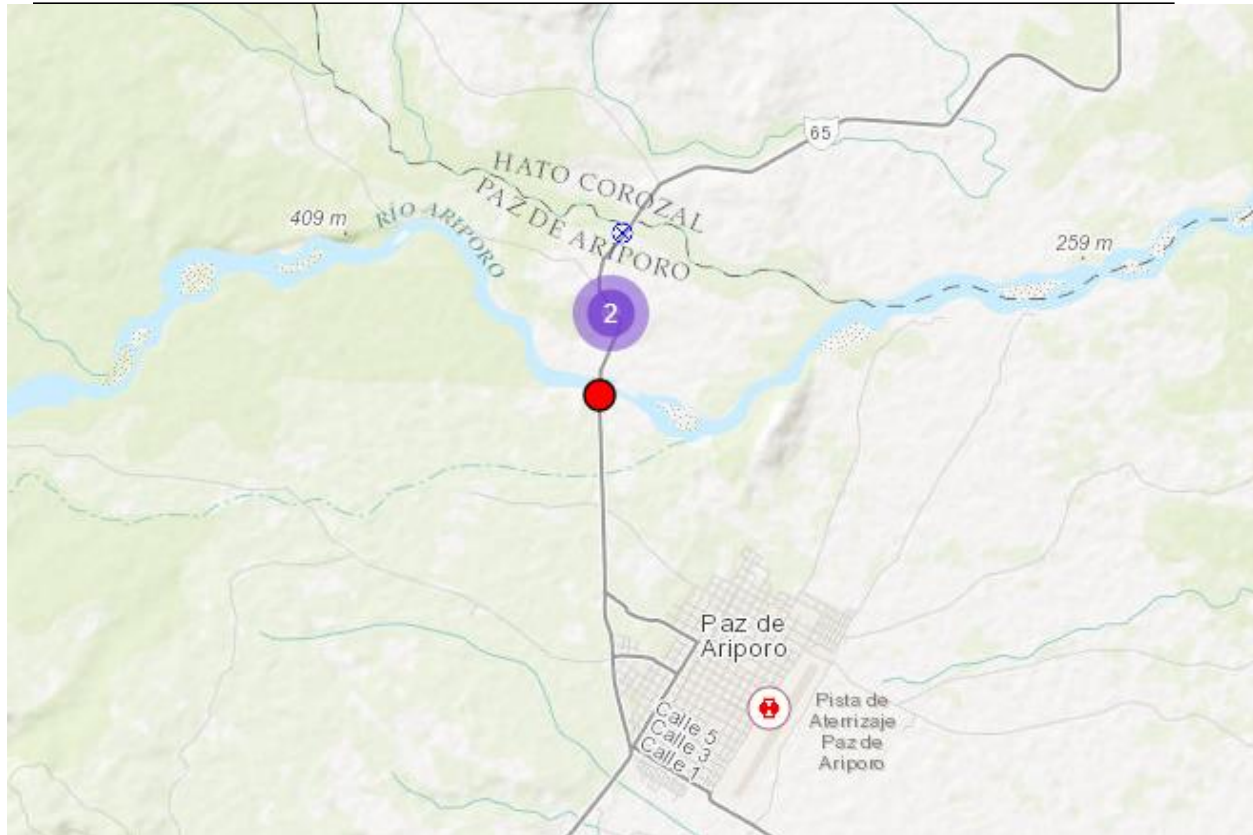


*Nota*, registro histórico del caudal máximo del río Ariporo, del municipio de Paz de Ariporo, Casanare, suministrado por el IDEAM.

Con base en los registros mencionados anteriormente, se identificó que en el año 2015 presento un caudal máximo de 292,7 (m<sup>3</sup>/s), siendo este el mayor que logró registrarse durante este periodo de 10 años, esta información fue recopilada por el portal hidrometereológico del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) mediante la estación Paz de Ariporo [36017010] como se observa en la figura 5, permitiendo brindar una retrospectiva del comportamiento que ha presentado el cauce del río Ariporo.

### **Figura 5**

*Localización geográfica de la estación meteorológica Paz de Ariporo [36017010]*



*Nota*, localización geográfica de la estación meteorológica llamada Paz de Ariporo [36017010] – Estandar, la cual proporcionó datos de caudal máximo anuales del río Ariporo en el periodo de 2014 al 2023.

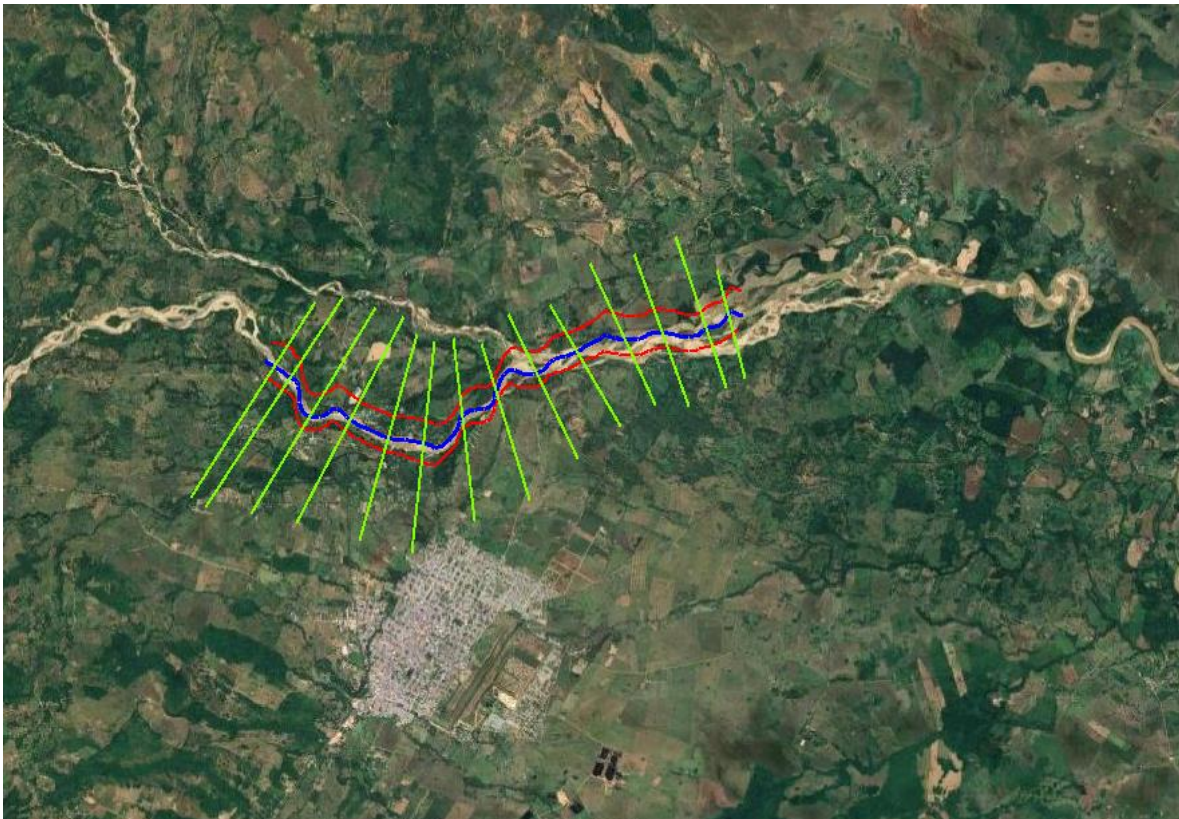
Respecto a la ejecución de modelo hidráulico, en el HEC-RAS, la geometría establecida para la ejecución de modelo se muestra en la Figura 6, dónde se observa el DEM, junto con el área de modelación que se estableció a partir de una geometría 1D, donde se definió el trazado del río en color azul, los límites del escarpe del cauce en color rojo, el límite de la extensión de las geoformas asociadas a posibles eventos extremos en color verde y sus respectivas secciones transversales. Finalmente, a la condición de frontera de salida se le asignó la pendiente de 0,00082588, correspondiente al tramo del recorrido del río lo largo de la cuenca definida

Las líneas de secciones transversales se dibujaron con una longitud entre 3km y 5km y una distancia entre ellas de 1km a 3km, la zona dónde se ve mayor densidad de líneas,

corresponde la ubicación de la zona urbana del municipio de Paz de Ariporo, siendo esta la zona de mayor interés respecto al comportamiento de la inundación.

### Figura 6

*Geometría asignada, modelo HEC-RAS*



*Nota*, área de modelación de geometría 2D, comprendida por un trazo azul que expresa el trazado del río, el color rojo define los límites de la borda del río y sus respectivas líneas de secciones transversales a distancias de 1km a 2 km.

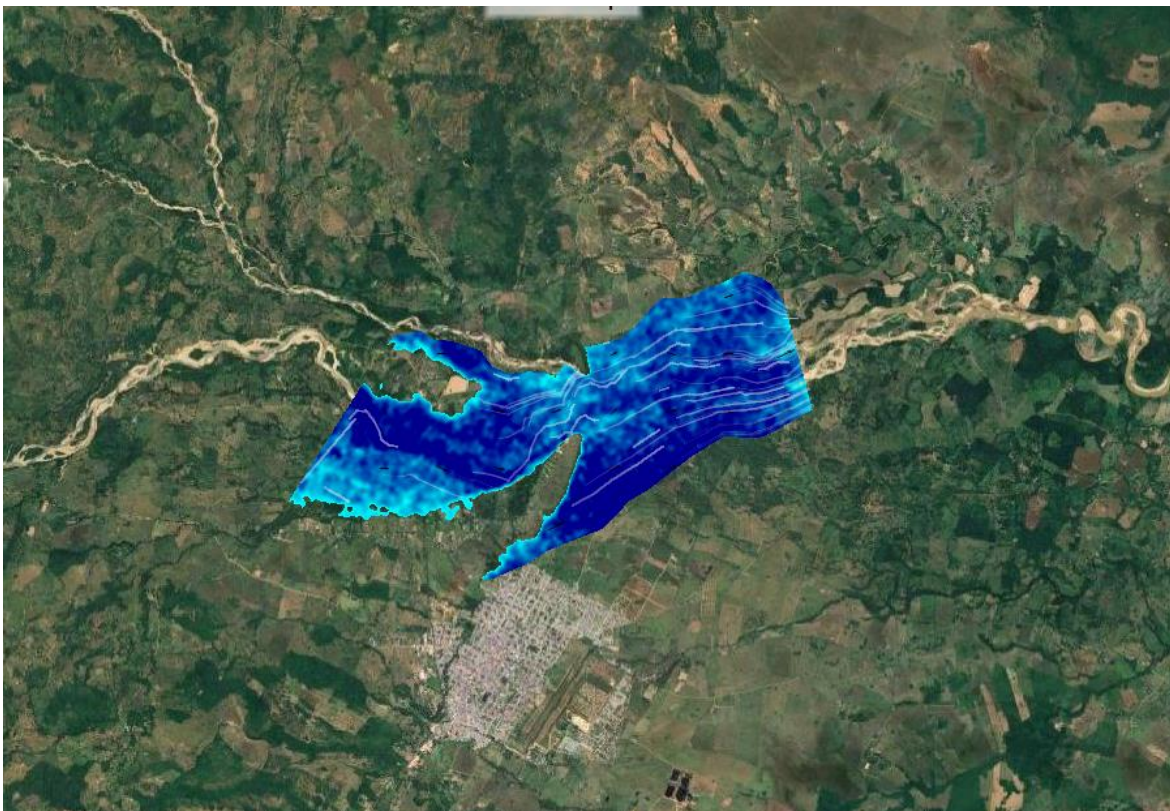
Estas secciones permiten interpretar el comportamiento de la línea de flujo del río Ariporo como también la interacción con su entorno.

Luego de definir las características hidrológicas de la cuenca de estudio, se tuvo en cuenta los caudales máximos registrados en el periodo de 10 años (2014 al 2023), bajo estas condiciones el software HEC-RAS realiza un análisis de flujo subcrítico, para simular los

diferentes escenarios dando como resultado una lámina de agua en formato ráster, con un caudal máximo de 292,7 m<sup>3</sup>/s.

### Figura 7

Zona de riesgo de inundación del área de influencia del municipio Paz de Ariporo, Casanare.



*Nota,* Mapa de riesgo por inundación asociada al río Ariporo, en el municipio de Paz de Ariporo, Casanare

La figura 7 muestra un área total de 2886,72 Ha y 28867200 m<sup>2</sup> de la amenaza por inundación de la cuenca hidrográfica Ariporo, abarcando el 18% de la extensión completa de la zona de estudio, en el cual se encuentran las veredas La Peral, Carrastrol y Sabanetas, siendo la última la que presenta una afectación total de su territorio. Además, se determinó que la cabecera municipal del municipio de Paz de Ariporo, no presenta riesgo por inundación.

Al no contar con información detallada del número de habitantes por vereda, se tomaron los datos generales del CENSO municipal en donde se establece el número total de viviendas y habitantes de la zona rural realizado por el DANE, con lo cual se determinó que el número de viviendas en riesgo de inundación son 134 y 402 habitantes, esto genera un balance crítico dado que son área que usualmente sufren de pérdidas materiales y económicas, dado que estos eventos interrumpen con sus actividades agrícolas y ganaderas, que son su sustento diario, por lo tanto, se requiere tomar medidas para la prevención y minimización del riesgo por inundación, y así mitigar los altos índices de pobreza presentes en estas comunidades, debido a la desestabilización económica y a la reconstrucción lenta que provoca estos eventos.

A raíz de esto, se vio la necesidad de realizar un estudio detallado de la influencia que puede llegar a tener los fenómenos climático ante la ocurrencia de este tipo de eventos, dado que estos se rigen por diferentes variables naturales, como las temperaturas y las precipitaciones, permitiéndonos comprender a mayor amplitud las fuentes que originan este tipo de eventos de desastre.

### **Análisis de los fenómenos climáticos**

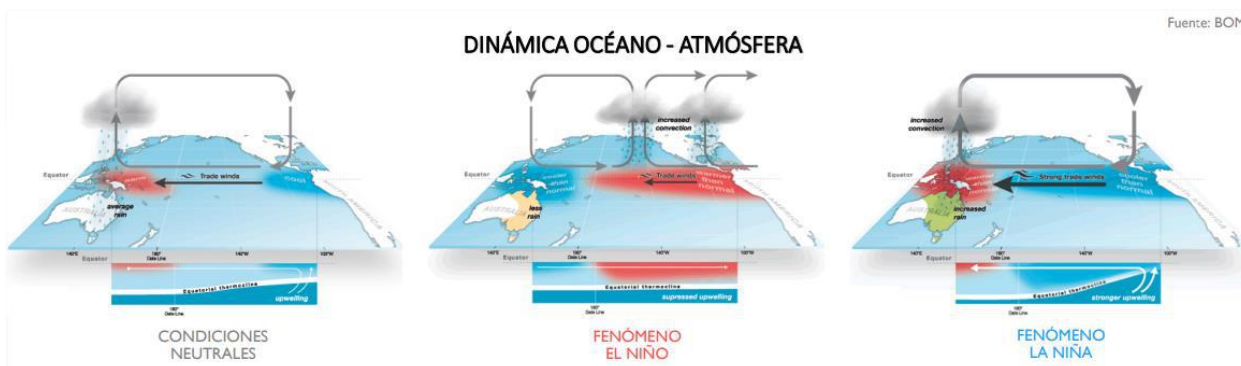
Los fenómenos naturales y climáticos son un elemento clave en la constante modificación y transformación de superficie terrestre, que varía según la localización geográfica y afecta negativamente el desarrollo de las comunidades, dependiendo de su intensidad y extensión. (Mora Mariño & Ochoa Guerrero, 2016). En relación con lo anterior, para este caso se tuvieron en cuenta los fenómenos de la Niña y el Niño, con el fin de analizar los periodos de alta precipitación y sequía que se presenciaron durante los 10 años (2014 – 2023) de estudio, dado que estas variables influyen directamente en el nivel del cauce del río Ariporo.

El IDEAM utiliza el Índice Oceánico El Niño (ONI), como instrumento para la vigilancia del comportamiento de estos eventos y así conocer en que periodos empiezan, terminan y la severidad o magnitud con la que se manifiestan, basándose en las variaciones de temperatura de la superficie del mar del Océano Pacífico que brinda la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA) pero también cuenta con un modelo propio llamado Índice Multivariado de Tumaco (IMT), el cual fue diseñado por la UNGRD y el Ministerio de Ambiente en el año 2023, con el fin de tener una herramienta que proporcione información del comportamiento de estas variables y así comprender en detalle el comportamiento de estos fenómenos como el del Niño y la Niña, que permita también formular medidas preventivas más eficientes y de atención temprana.

Con base en los informes mensuales de seguimiento a los fenómenos de El Niño y la Niña presentados por el IDEAM, se determinó el uso de una categoría para la identificación de la presencia de estos fenómenos, la cual establecía que si las variaciones presentaban valores mayores o iguales a  $0,5^{\circ}\text{C}$  significaba la llegada del fenómeno de El Niño pero si estos valores eran menos o iguales a  $-0,5^{\circ}\text{C}$  determinaba el inicio del fenómeno de La Niña, teniendo en cuenta que estos registros se presenciaron durante 5 meses consecutivos.

### Figura 8

#### Dinámica océano - atmósfera



*Nota, Representación gráfica de la dinámica del océano – atmósfera. Tomada del IDEAM, 2020.*

### **Fenómeno del Niño**

Durante los eventos de El Niño, la precipitación total tiende a disminuir significativamente, un incremento en la evapotranspiración y evaporación, lo que con lleva a una disminución de la cantidad de agua disponible, específicamente en las regiones de los Andes y el Caribe. (Montealegre, 2014). Esta reducción significativa de las precipitaciones en los Andes entre marzo – mayo y septiembre – noviembre, genera la prolongación de una estación seca y/o con escasas lluvias en los meses de junio – agosto y diciembre – febrero, lo que coincide con un aumento en la frecuencia de incendios de coberturas vegetales. (IDEAM, 2014).

### **Fenómeno de la niña**

El evento ENSO O ENOS (El Niño Oscilación del Sur) en su fase fría, conocida en el mundo como La Niña, es lo opuesto al Niño, no solo en su desarrollo sino también en su impacto climático que provoca en el territorio, esto significa que genera lluvias por encima de los habitual para cada estación del año, principalmente en las zonas Andina, Caribe y Pacífica, como en el piedemonte de la Orinoquía. En este caso, el hecho ocurre entre abril – mayo y octubre – noviembre. (IDEAM, 2016).

### **Tabla 3**

*Duración e intensidad del fenómeno de El Niño, la transición y del fenómeno de la Niña, en un periodo de 10 años (2014 – 2023) en Colombia.*

UBICACIÓN HISTÓRICA DEL EVENTO	DURACIÓN DEL EVENTO DEL NIÑO, TRANSICIÓN Y DE LA NIÑA												INTENSIDAD
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
2014				⊖						⊖			-
2015	⊖												Fuerte
2016					⊖								Fuerte y débil (Niño) Débil (Niña)
2017						⊖							Débil
2018							⊖						Débil
2019	⊖										⊖		Débil a moderada
2020				⊖									Débil
2021							⊖						Débil a moderada
2022													Moderada
2023			⊖										Débil (Niña) Fuerte (Niño)

*Nota,* Análisis de los registros históricos de los informes mensuales de seguimiento de los fenómenos del Niño y la Niña, publicados por el IDEAM durante 10 años (2014 – 2023).

En la tabla 3, se ilustra la recopilación detallada del comportamiento que presentaron los fenómenos naturales durante los años 2014 al 2023, esto se realizó mediante la información proporcionada por los informes mensuales publicados por el Instituto de Hidrología,

Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), permitiendo llevar un seguimiento y monitoreo de acuerdo a las alteraciones de la temperatura superficial del mar (TSM).

Con base a estos informes, se observó un panorama bastante complejo y dinámico, que puede caracterizarse como alta variabilidad con una tendencia a eventos como La Niña más a menudo y duraderos. Dicha variabilidad climática, en el contexto del cambio climático global, ha tenido un impacto significativo en varios sectores en el país, dejando en evidencia la necesidad de formular y fortalecer las estrategias de intervención para la adaptación como la prevención y mitigación ante estos tipos de eventos, que suelen intensificar ciertos impactos de desastre.

Según el IDEAM, (2016) para los años 2014 al 2016 se presentó el evento de mayor intensidad del fenómeno del niño, el cual tuvo un periodo en el que se registró una significativa reducción de lluvias y también una sensación térmica extrema en todo el país. Fueron 54 municipios que registraron temperaturas superiores a los 40°C a la sombra, de los cuales hacen parte de los departamentos de Antioquia, Boyacá, Bolívar, Chocó, Cesar, Cundinamarca, Caldas, La Guajira, Huila, Nariño y Magdalena. Pero también para el “2015 se registraron datos relacionados a la reducción de lluvias de hasta un 30%, principalmente en las áreas Andina y Caribe”. (Contreras, s.f.). En cuanto a sus impactos, se presentó un descenso significativo en los caudales ríos principales del país, toda vez que subía la comparación mínimos históricos en diferentes sitios de monitoreo del IDEAM, pero para mayo los indicadores marcaron una disminución notoria de la temperatura superficial del mar (TSM) en una amplia extensión del Océano Pacífico Tropical lo que condicionó la finalización del fenómeno “El Niño”; y se registra una condición de neutralidad con valores normales de TSM, con anomalía de TSM que oscilaron entre +0,5°C y -0,5°C y una tendencia al descenso de la temperatura.

La variabilidad mencionada anteriormente resulto en la formación de un evento Niña débil que fue reportado en los años 2016 y 2017 al final del período, cuyos efectos incluyeron niveles altos de la Cuenca del río Ariporo, este hecho quedó registrado por el medio de comunicación CN (Casanare Noticias), el cual estuvo en el lugar de los hechos y recibió el reporte por parte del director de la Unidad Departamental de Gestión del Riesgo, quien mencionó que alrededor de 15 veredas del municipio de Paz de Ariporo sufrieron graves inundaciones y avenidas torrenciales que lo llevaron a ser declarado en calamidad doméstica, debido a que se reportaron pérdidas económicas en cultivos de yuca y plátano más las viviendas afectadas por inundaciones, pero afortunadamente este evento no ocasionó pérdidas humanas.

En contraste, entre 2020 y 2022, se presentó un evento de La Niña de larga duración excepcional durante tres años consecutivos, siendo el evento más largo desde 1998-2001, con niveles altos del río Ariporo.

En lo que respecta a la incidencia general de los eventos, se observó que ocurrieron cinco eventos del fenómeno de La Niña y solo tres eventos del fenómeno de El Niño. Cabe destacar que se ha cumplido un patrón en donde el fenómeno de la Niña ha sido más frecuente, pero de baja intensidad, en cambio, el fenómeno de El Niño ha sido de mayor intensidad, pero poco frecuente durante el periodo determinado del presente proyecto.

Esta variabilidad climática, se ha caracterizado por tener eventos extremos como sequías, inundaciones y olas de calor, tiene impactos significativos en diferentes sectores del país. Las sequías han afectado gravemente la producción agrícola y ganadera pero también ha llegado a incurrir en la disponibilidad de agua potable, mientras que las inundaciones han dañado infraestructuras, viviendas y cultivos, pero también ha cobrado muchas vidas humanas. Las olas de calor provocan un aumento de la mortalidad, especialmente entre los grupos vulnerables, y

tienen impactos negativos en la salud de toda la población. Dada esta compleja situación, existe una clara necesidad de intensificar los esfuerzos de adaptación al cambio climático. Es fundamental fortalecer las medidas de seguimiento y alerta para predecir y mitigar los efectos de los fenómenos climáticos extremos. Asimismo, es crucial implementar medidas de adaptación en sectores como la agricultura, el agua y la salud para reducir la vulnerabilidad a los impactos.

Luego de recopilar y analizar toda esta información proporcionada por el IDEAM mediante los boletines mensuales de seguimiento a los fenómenos del Niño y la Niña como los datos recopilados de la estación Paz de Ariporo [36015010], se pudo observar una relación bastante relevante entre las variaciones de Temperatura Superficial del Mar (TSM °C) y las precipitaciones, dado que estos son variables que sirven como herramienta para entender, conocer e interpretar las condiciones presentadas en un lugar determinado en los diferentes ecosistemas dado que los factores ambientales se relacionan entre sí, por ejemplo, los niveles de precipitación influyen en el comportamiento del caudal de una cuenca hidrográfica y las temperaturas son las encargadas de regular el ciclo hidrológico, dado que es un factor que interviene en la formación de nubes. Por consiguiente, se desarrolló un modelo de proyección digital, el cuál analiza

### **Análisis de las Anomalías de Temperatura Superficial del Mar (ATSM °C) y la precipitación (mm)**

La dinámica de la temperatura superficial del Mar (TSM) ha sido un indicador clave de eventos oceanográficos debido a que afecta la interacción entre el océano y la atmósfera, influenciando la circulación atmosférica y, por ende, los patrones climáticos a corto y largo plazo. Por lo tanto, el océano ha sido declarado como el principal regulador del clima y de la atmósfera en la que tienen lugar los procesos físicos de condensación (formación de nubes),

convirtiéndose en el primordial influenciador de la variabilidad interanual de las precipitaciones, la cual también se encuentra asociada con el ciclo El Niño, La Niña – Oscilación del Sur (ENOS), pues el fenómeno del Niño se relaciona con la presencia y duración de aguas superficiales más calientes del promedio en la zona central del Pacífico tropical, extendiéndose hacia las costas del norte de Perú, Ecuador y sur de Colombia durante varios meses. Este incremento puede generar un impacto bastante significativo en el clima porque cubre una extensión muy amplia para su vasta magnitud.

Con respecto a esto se realizó un análisis donde se observa la interacción que hay entre estas dos variables, dado que su influencia es directa, como se puede observar a continuación:

**Tabla 4**

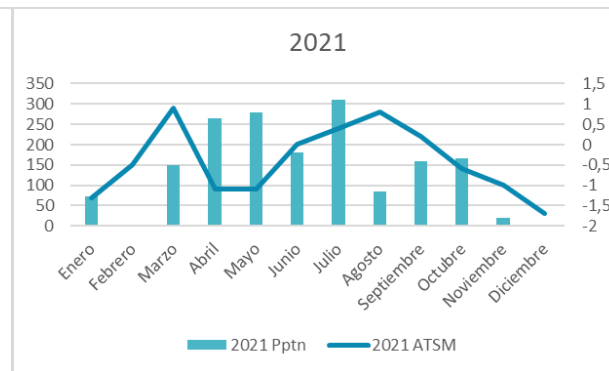
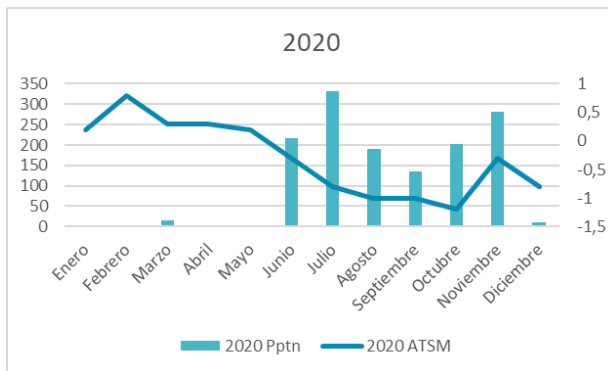
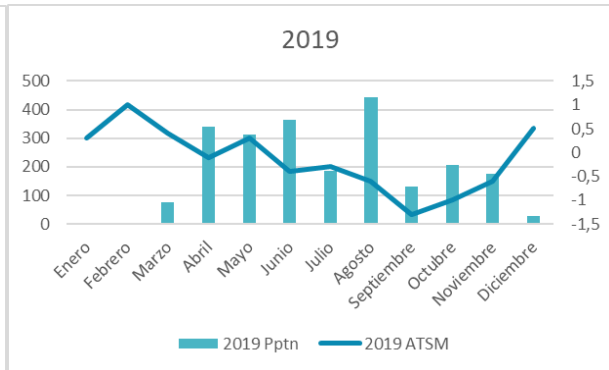
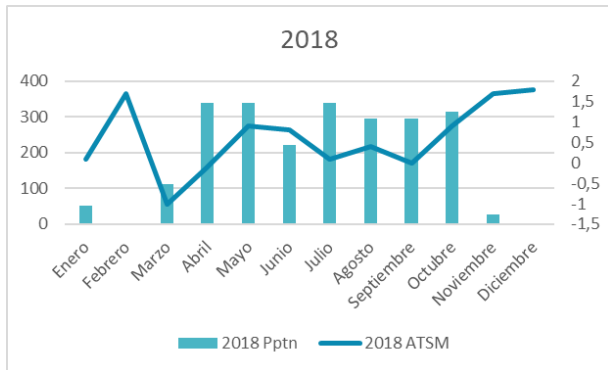
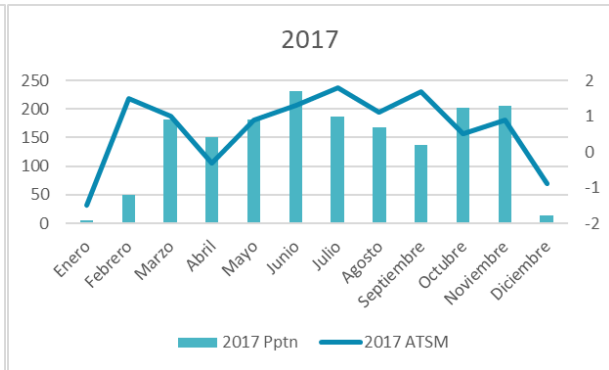
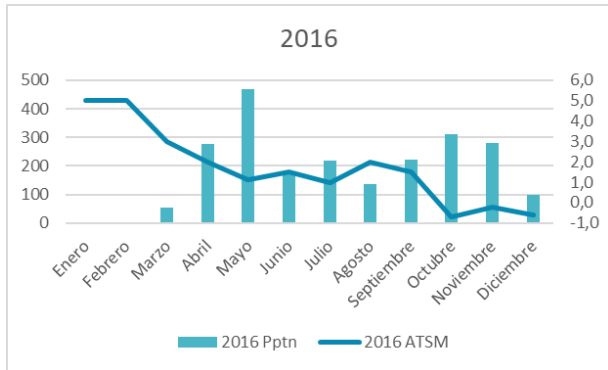
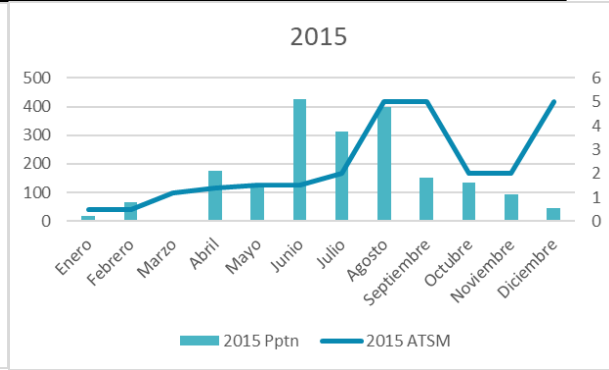
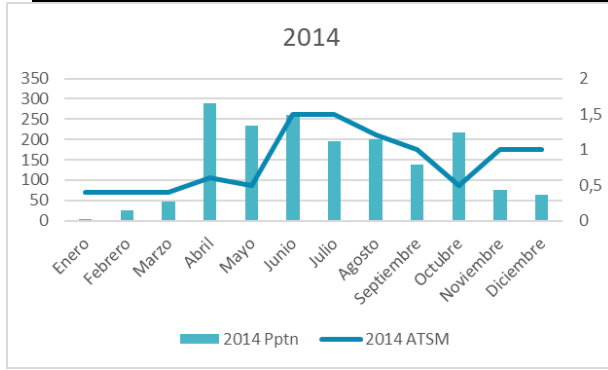
*Registro histórico*

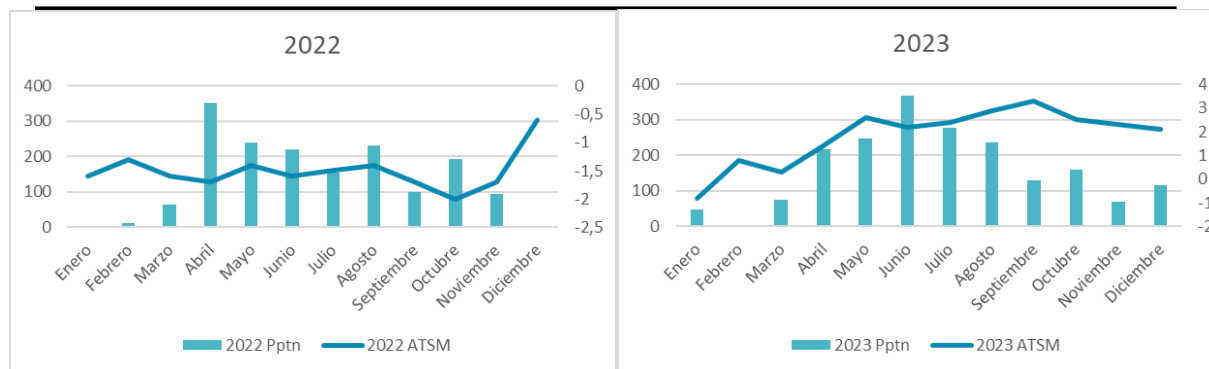
	2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022		2023	
	ATSM	Pptn	ATSM	Pptn	ATSM	Pptn	ATSM	Pptn	ATSM	Pptn	ATSM	Pptn	ATSM	Pptn	ATSM	Pptn	ATSM	Pptn	ATSM	Pptn
Enero	0,4	4	0,5	17,6	5,0	0	-1,5	4,9	0,1	50,4	0,3	2	0,2	4,3	-1,3	72,4	-1,6	0,5	-0,8	48,8
Febrero	0,4	25,9	0,5	67,2	5,0	1,8	1,5	50,2	1,7	0	1,0	0,2	0,8	0	-0,5	0	-1,3	11,5	0,8	2,6
Marzo	0,4	47,5	1,2	5,1	3,0	54,1	1,0	181,4	-1,0	113,3	0,4	77,8	0,3	16	0,9	150	-1,6	64,2	0,3	74
Abril	0,6	288	1,4	175,6	2,0	277,3	-0,3	150,8	-0,1	340,5	-0,1	340,3	0,3	0	-1,1	264,6	-1,7	351,3	1,4	218,3
Mayo	0,5	232,8	1,5	129,9	1,1	468,5	0,9	182,1	0,9	340,1	0,3	311	0,2	0	-1,1	279,9	-1,4	239,1	2,6	248,4
Junio	1,5	259,2	1,5	424,8	1,5	181,8	1,3	231,4	0,8	221,1	-0,4	364	-0,3	215,6	0	181,5	-1,6	219,5	2,2	367,5
Julio	1,5	195,4	2,0	314,5	1,0	219,3	1,8	187,4	0,1	338,7	-0,3	184,2	-0,8	330,9	0,4	310,3	-1,5	153,3	2,4	277,1
Agosto	1,2	200,3	5,0	398,4	2,0	136,7	1,1	167,8	0,4	295,6	-0,6	443	-1,0	189,2	0,8	84,8	-1,4	230,4	2,9	235,6
Septiembre	1,0	137	5,0	152,3	1,5	220,7	1,7	137,6	0,0	295,5	-1,3	132,1	-1,0	134,5	0,2	158	-1,7	100,1	3,3	129,8
Octubre	0,5	217,4	2,0	135,4	-0,7	310,2	0,5	202,7	0,9	314,4	-1	205,4	-1,2	203,3	-0,6	165,5	-2	192,3	2,5	160,5
Noviembre	1,0	76,3	2,0	93,3	-0,2	279,8	0,9	205,3	1,7	27,2	-0,6	175,6	-0,3	280,7	-1,0	18,8	-1,7	94,8	2,3	69,9
Diciembre	1,0	64,7	5,0	46,8	-0,6	99	-0,9	13,2	1,8	0	0,5	27,1	-0,8	9,6	-1,7	1,6	-0,6	0,5	2,1	116,3

*Nota*, Registro histórico de las Anomalías de Temperatura Superficial del Mar (TSM) y de precipitación por un periodo de 10 años (2014 – 2023) reportados por el IDEAM.

**Gráficas 2**

*Representación de las variaciones de TSM y precipitaciones anuales*





*Nota*, Registro histórico de las Anomalías de Temperatura Superficial del Mar (TSM) y de precipitación por un periodo de 10 años (2014 – 2023) reportados por el IDEAM.

En las gráficas anteriores se realizó una correlación de estas dos variables anteriormente mencionadas, en donde a simple vista se observa como la presencia de ciertas fluctuaciones de la TSM en un rango mayor a 0,5 y menor a -0,5, llegó a generar cambios significativos por varios meses en los índices de la cantidad como en la frecuencia de las precipitaciones.

Durante los años 2015 y hacia finales de 2023, se observó una dinámica correlacionada dado que se registraron anomalías de temperatura por encima de los valores normales, lo que generó un debilitamiento de la circulación de los vientos en la atmosfera, ocasionando una alteración del ciclo hidrológico expresada en la reducción significativa de lluvias.

En los años 2016 y 2017, se presentó lo contrario, acá al disminuir las variaciones de TSM favoreció a la circulación de los vientos y permitió que se presenciara una óptima humedad en la atmósfera, viéndose reflejado en el aumento considerable de la cantidad de lluvia en la región, específicamente en los meses de mayo y agosto.

Otra condición que se pudo detallar fue la neutral, en donde se registraron anomalías de TSM cercanas a cero en los años 2018 – 2022, esto permitió que en el municipio de Paz de Aripuro presentara una variabilidad climática interanual más acorde a sus condiciones

atmosféricas locales, es decir, que cumple con las dos temporadas de lluvia estimadas en los meses de abril a julio y de octubre a noviembre.

### **Prospectiva**

El principal objetivo de este proyecto es realizar un modelo digital para la amenaza por riesgo de inundación de las veredas La Motuz, La Peral, Sabanetas, Carrastrol y el centro poblacional del municipio Paz de Ariporo, con el fin de dar cumplimiento, se realizó una previsión de cambios y tendencia futuras mediante el modelo de red neuronal artificial, el cual consta de nodos de entrada que recopilan datos, nodos de salida que transmiten la información requerida y nodos ocultos que solo intercambian información con otros nodos y tienen conexiones más fuertes entre sí. Los nodos ocultos reciben información de entrada, que se convierte en variables llamadas aprendizaje. Existen diferentes tipos de algoritmos de nodos ocultos, en este estudio se utiliza TensorFlow, matplotlib, x\_train y Keras, que son librerías de Python, las cuales ofrecen herramientas avanzadas para construir modelos de aprendizaje automático y análisis de series temporales. El diseño se basa en una red neuronal de memoria a largo plazo (LSTM), desarrollada específicamente para fines de predicción de datos de las condiciones climáticas como temperatura y precipitación. La arquitectura LSTM es particularmente adecuada para aprender series de tiempo porque permite a la red "recordar" condiciones y eventos climáticos pasados para ajustar sus próximas predicciones.

En la arquitectura del código de la red neuronal para las variaciones de la Temperatura Superficial del Mar (TSM), se utilizaron 3 nodos en la capa de entrada con 450 nodos en la primera capa oculta, 600 nodos en la segunda capa oculta y 3 nodos en la capa de salida, para el caso, del entrenamiento de la red neuronal de los registros históricos de precipitación, se emplearon 3 nodos de entrada y 3 de salida, con dos capas ocultas de 600 nodos. Con el fin de

que no se reinicie el procesamiento de los nodos, sino que en cada ejecución se genere un almacenamiento de los datos y le permita ir aprendiendo, optimizando así los resultados en cada ciclo de entrenamiento. El modelo fue entrenado utilizando un conjunto de datos históricos de variabilidad climática que incluyó las variaciones de las Temperaturas Superficiales del Mar (TSM) y registros de precipitación.

Esta red neuronal LSTM, se encuentra basada en estudios realizados por García Valero Juan en el año 2021, Suárez Pesantes Javier en el año 2018 y García Fernández Esther en el año 2019, los cuales diseñaron modelos de la Temperatura Superficial del Mar y precipitación, fundamentados en la idea de la escasez de proyecciones regionales mediante las Red Neuronal Artificial hacia las variables que al día de hoy se encuentran afectando las variaciones climáticas, como también, generar estructuras con mayor capacidad de optimizar las predicciones y así minimizar los errores. Cada uno de estos proyectos, aborda su contenido en definir los datos de entrada, los algoritmos de entrenamiento, es decir, las librerías que implementaron, el número de capas ocultas y el número de neuronas en la capa oculta, como tal no presenta la estructura específica del código, sino que incorporan un análisis más amplio con enfoque a los resultados esperados. Por lo tanto, en este proyecto el diseño de la estructura del código se fue formulando con base en la investigación de cada función de las librerías y sus respectivos comandos, que poco a poco fue entrenada con los registros históricos suministrados, con base en esto, se agregó el comando `request.method` para visualizar los resultados mediante una gráfica interactiva que muestra la recopilación de los registros históricos y los datos proyectados de acuerdo al análisis realizado por la red Neuronal.

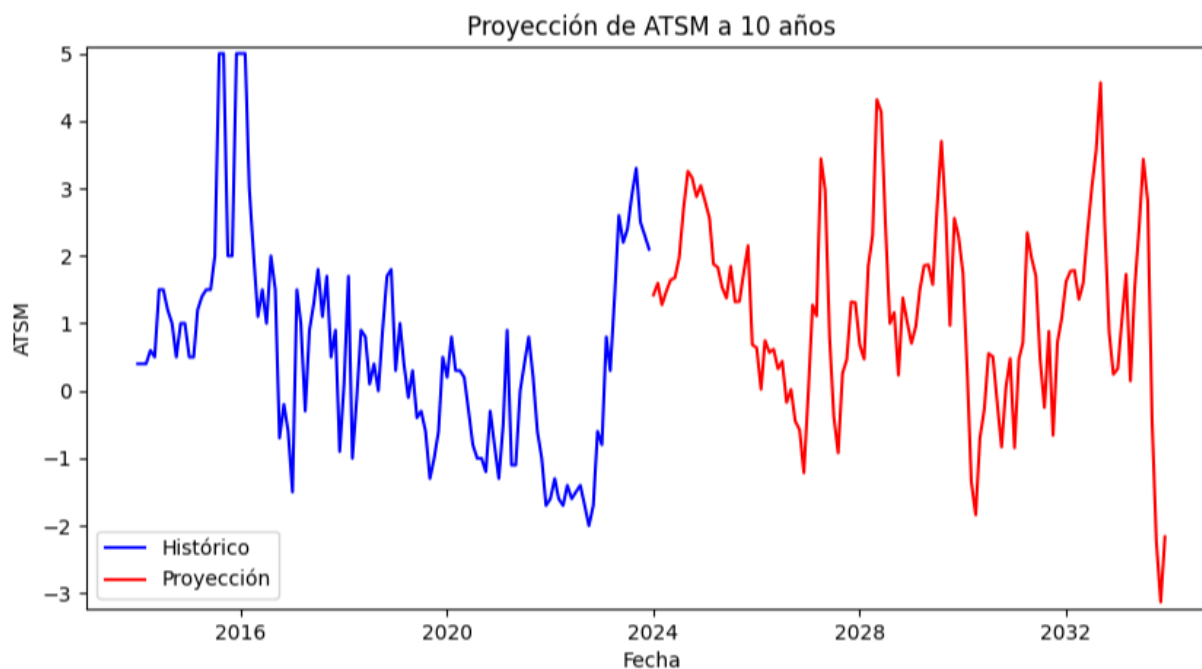
Además, se integró el modelo ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average - Modelo autorregresivo integrado de media móvil), el cual es un algoritmo estadístico que emplea

variaciones y regresiones de información estadística con el objetivo de descubrir patrones para predecir eventos futuros. (Meza, 2020). Es un modelo de serie temporal dinámico, lo que significa que las predicciones para el futuro se basan en datos históricos en lugar de variables independientes, estructuradas en comandos y códigos que luego son ejecutados en una herramienta de lenguaje de programación de código abierto llamado Python, mediante la librería forecast, permitiendo adaptar el modelo a diferentes contextos y necesidades específicas, aumentando su utilidad y versatilidad.

A continuación, se detallará la proyección de ATSM a 10 años y precipitación (2024 – 2033):

### Gráfica 3

*Proyección de las Anomalías de Temperatura Superficial del Mar a 10 años*



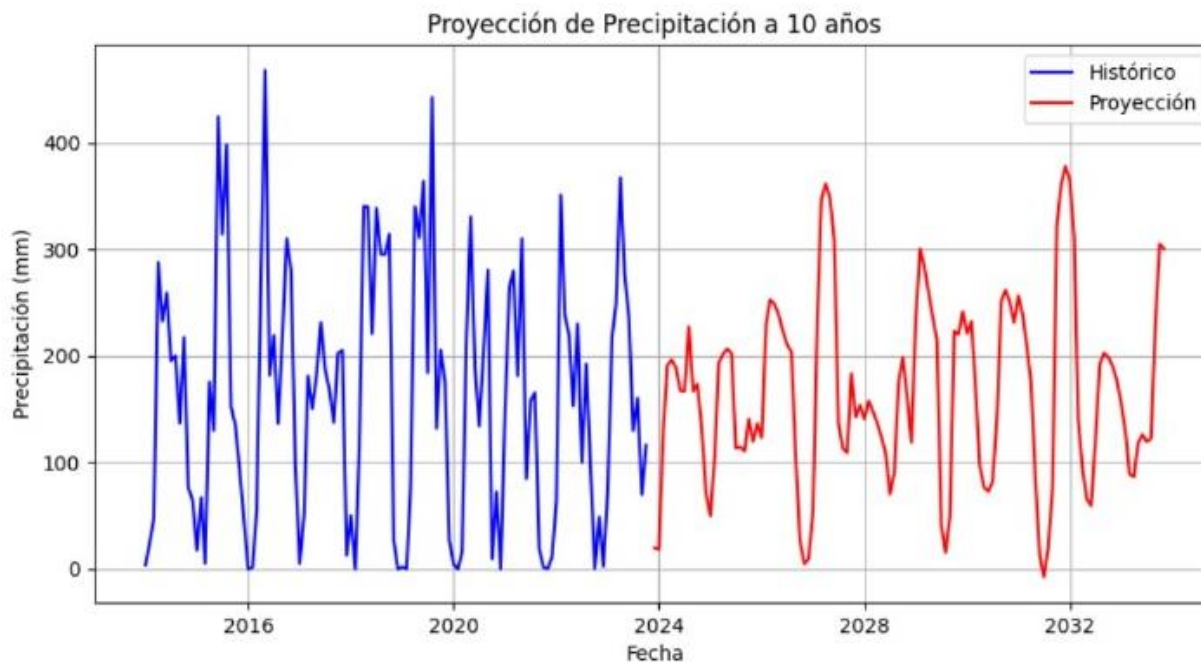
*Nota,* Proyección de las Anomalías de Temperatura Superficial del Mar a 10 años con base a los registros suministrados por el IDEAM, en los boletines de seguimiento a los fenómenos de El Niño y La Niña.

Tal como se muestra en la gráfica 5, El ATSM ha tenido fluctuaciones significativas a lo largo de los datos históricos. Primero, durante 2014 y 2016, el ATSM experimentó un aumento máximo de 0,5 a 5,0. Este fue el evento más reciente en el país de intensidad fuerte, ya que experimentó una fuerte disminución en las precipitaciones y una sensación térmica extrema en todo el país, dado que durante este periodo se presentó el fenómeno del Niño. Luego, después de 2016, ATSM ha tenido una tendencia a estabilizarse, pero sigue teniendo fluctuaciones continuas alrededor de cero, en el año 2022 se registró un ATSM de -0.6 a -1.7, lo que permitió determinar que durante este año se activó el fenómeno del Niño en intensidades moderadas y para el año 2023 nuevamente se registró un pico entre 0,8 a 3,3, dando paso al evento climático del fenómeno del Niño.

Los pronósticos a partir de 2024 muestran un patrón cambiante con picos positivos y negativos cada vez más pronunciados, alcanzando un valor máximo cercano a 4 y un valor mínimo tan bajo como -3 durante el período de pronóstico. Estas fluctuaciones aparentes sugieren que los fenómenos climáticos extremos pueden ser recurrentes, posiblemente relacionados con los fenómenos del Niño y La Niña, aumentando el riesgo en ciertas zonas en sufrir inundaciones, sequías y otros posibles de desastres. Estos cambios drásticos pueden estar relacionados con los impactos que trae consigo el cambio climático, dado que la variabilidad climática se verá afectada por las alteraciones que llegan a generarse en los ciclos hidrometeorológicos. Este panorama permite visualizar como se podría comportar las dinámicas climáticas y así generar una visión de como estas condiciones puede traer implicaciones en la biodiversidad marina, terrestre, la disponibilidad del agua y el acceso a los diferentes recursos que nos brinda el planeta.

#### **Gráfica 4**

## Proyección de Precipitación a 10 años



*Nota,* Proyección de las Anomalías de Temperatura Superficial del Mar a 10 años con base a los registros suministrados por el IDEAM, en los boletines de seguimiento a los fenómenos de El Niño y La Niña.

Existen variaciones interanuales evidentes en los datos históricos, en ocasiones el pico de precipitación supera los 400 mm, lo que puede estar relacionado con la temporada de lluvias intensas que ocurrió en el año 2016, mientras que en otros casos es significativamente menor, lo que permite observar la alta influencia que tienen los fenómenos del Niño y la Niña. Los pronósticos a partir del 2024 muestran un constante cambio, a pesar de una disminución general en la frecuencia de los picos extremos. Más o menos para el 2026 y 2030, se espera que presente un pico alrededor de 380 mm, ocasionando un alto flujo de precipitaciones.

Estos intervalos dan una proyección con notorias variaciones, en donde en ocasiones presenta una leve moderación de las intensidades máximas, pero que pueden ser alterados por los impactos que pueda presentar los ciclos hidrológicos, esta variabilidad genera una visión preocupante dado que refleja la alta vulnerabilidad de muchos sectores y la importancia de formular medidas de adaptación climática que vayan de la mano a la implementación de sistemas de alerta temprana.

Los resultados previamente mencionados, son la base de información que se requiere para analizar factores de riesgo que puede presentar cierta área en específico, en este caso la zona de estudio del río Ariporo, del municipio de Paz de Ariporo, Casanare presenta un riesgo por inundación crítico dado que existen muchas familias campesinas que resultan viéndose afectados por este tipo de eventos, dado que sus actividades de sustento son centradas en la agricultura, ganadería y algunos en la explotación de hidrocarburos, por lo tanto, esto los lleva a tomar la decisión de asentarse en estas áreas de amenaza por su fácil disponibilidad de ciertos recursos bastante relevantes para su sostenimiento como es el agua, pero esto lleva a generar impactos por el uso inadecuado del suelo, por los derrames de aguas residuales y la erosión de la ribera que se genera por causa de las explotaciones desmedidas de diferentes materiales de arrastre.

Todas estas situaciones llegan a reducir la oportunidad de adaptación al cambio climático, debido a que el recurso hídrico ha presentado diversos retos al desarrollo humano por fenómenos como sequías, inundaciones y saneamiento donde siendo Colombia un país rico hídricamente es propenso a presentar desastres de orden hídrica (Cruz & Karime, 2012). Ante esto, está la propuesta de comunidades resilientes a desastres y cambio climático las cuales a través de las instituciones logran soportar las situaciones económicas, sociales y ambientales del municipio disminuyendo de ese modo la vulnerabilidad en el territorio (Arner, 2013).

La gestión territorial también cumple una función clave como instrumento de reducción de riesgos en los municipios, mediante la implementación de conjuntos técnicos, criterios y normativas que buscan minimizar los peligros. Al incorporar criterios de gestión del riesgo en el proceso de ordenamiento espacial, se puede evitar la exposición a riesgos, como los hídricos, y establecer un uso del suelo más seguro y sostenible (Jorge Abelardo Paucar Camacho, 2010). Esta planificación territorial adecuada no solo busca el desarrollo económico, social y ambiental, sino que también fomenta la seguridad en las zonas vulnerables (Olcina Cantos, 2004)

Otras medidas de intervención correctivas que pueden implementarse, son las de infraestructura como es el caso de los jarillones, el cual se trata de un muro de contención o un terraplen que proporciona protección ante los aumentos del nivel estacionales del cauce del río, evitando que nuevamente se presenten desbordamientos en las áreas pobladas. Como también al ser un área con presencia de procesos de erosión, se recomendaría implementar un programa de reforestación en las áreas ribereñas para mejorar la estabilidad de estas áreas y así disminuir el arrastre de sedimentos, reduciendo el impacto ante un aumento de caudal en periodos de altos volúmenes de precipitaciones. Todas estas medidas pueden ser formuladas y ejecuta con base en la información que proporciona los modelos desarrollados en este proyecto de investigación, dado que son herramientas clave para la comprensión detallada del comportamiento de la amenaza materializada en riesgo.

### **APORTES REALIZADOS**

El estudiante debe enunciar de manera clara cuáles fueron los aportes de tipo científico, social, cultural y/o ambientales hechos a la empresa o dado el caso a la comunidad o a la Universidad hechos en su periodo de pasantía.

Debe anexar evidencia escrita y fotográfica de la misma, ya que estas le servirán como producto final entregable a la empresa en su informe final.

De acuerdo a las Normas APA.

## CONCLUSIONES

- Durante la modelación se observó que la caracterización no se pudo lograr en detalle, debido a que no hay una proporción de información detallada por parte de las instituciones estatales como el IGAC y el DANE, de las viviendas construidas en estas poblaciones veredales ni tampoco un índice específico de los habitantes de estas veredas estudiadas, por lo tanto se determinó su número con base en los datos suministrados por la Secretaría de Salud Municipal – Alcaldía de Ariporo, registrados en el ASIS 2020, esto generará un margen de error en la caracterización realizada.
- La red neuronal al ser un modelo computacional con funciones de procesamiento y análisis de datos para dar predicciones con base en ciertos valores proporcionados, que además trabaja con el algoritmo estadístico ARIMA para desarrollar un análisis más detallado teniendo el comportamiento de la segregación móvil, requiere de un constante entrenamiento en un amplio periodo de tiempo, dado que la red neuronal cada vez que ejecuta su función de análisis de datos va aprendiendo de los errores y cada vez genera un resultado con mayor precisión.
- La implementación de modelos hidráulicos y de proyección es crucial a la hora de analizar zonas con riesgo de inundaciones, ya que proporcionan una comprensión precisa del comportamiento del agua en una zona determinada durante fuertes lluvias o inundaciones. En el caso de los modelos hidráulicos, la simulación de flujo

proporcionada ayuda a predecir ciertos puntos críticos que son relevantes para conocer el lugar exacto donde se puede presentar un alto impacto, pero también, al implementar modelos de pronóstico, que predicen cambios en los patrones de lluvias en un periodo determinado, es posible evaluar factores que pueden aumentar el riesgo de futuras inundaciones. Por lo tanto, estos modelos son una herramienta clave ya que ayudan a tomar mejores decisiones con base en ciertos fundamentos para tener mejores resultados en las medidas correctivas y prospectivas.

### RECOMENDACIONES

Al presentarse dificultades en el suministro de datos por parte de las instituciones encargadas de recopilar datos hidrometeorológicos, como también de portales que proporcionan modelos de elevación del suelo, se recomendaría desarrollar visitas de campos con el fin de realizar levantamientos topográficos y mediciones de caudales o cotas máximas y mínimas, con el objetivo de presentar una mayor cantidad de datos reales que permitan abordar de manera precisa estos análisis y así generar resultados con mayor exactitud para la planificación de medidas de intervención tanto correctivas como prospectivas.

### CRONOGRAMA

Cronograma de actividades											
ACTIVIDADES	AGOSTO			SEPTIEMBRE				OCTUBRE			
Recolección de información											
Procesamiento y análisis de información											
Modelación de procesos ambientales											
Análisis de la influencia de los fenómenos climáticos											
Proponer obras de reducción correctivo y prospectiva											
Entrega del informe final ante el comité de opción de grado											

## PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN

No se requirieron aporte de financiamiento

## BIBLIOGRAFÍA

Noreña Henao, A. (2016). Análisis de la gestión del riesgo por inundación en tres municipios del departamento de Antioquia. Universidad EIA.

<https://repository.eia.edu.co/entities/publication/44645506-9892-42ca-a76f-d66d7f96cd3b>

Céspedes Romero, M. P. (2022). Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia por eventos hidrometeorológicos e hidroclimáticos extremos. Universidad Nacional de

Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/84268>

Perles Roselló, J. (2022). Evolución histórica de los estudios sobre riesgos propuestos.

<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/1091535.pdf>

Cárdenas, K. (2018). Análisis General de la Gestión del Riesgo por Inundación en Colombia.

Revista Científica en Ciencias Ambientales y Sostenibilidad (CAS). 4(1), 40-45.

<https://revistas.udea.edu.co/index.php/CAA/article/view/335841/20791463>

iAgua, R., & Zarza, L. (s. f.). ¿Qué es una inundación? iAgua.

<https://www.iagua.es/respuestas/que-es-inundacion>

CRED & UCL. (2011). Annual Disaster Statistical Review 2010. The numbers and trends.

Retrieved from [http://www.cred.be/sites/default/files/ADSR\\_2010.pdf](http://www.cred.be/sites/default/files/ADSR_2010.pdf)

UNGRD. (s.f.). Conocimiento en Análisis del Riesgo. Portal de Gestión del Riesgo.

<https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/Conocimiento/Conocimiento-In-Analisis-del-Riesgo.pdf>

Campos, A., Holm\_Nielsen, N., Díaz, C., Rubiano, D., Costa, C., Ramírez, F. y Dickson, E.

(2012). Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas.

<https://gestiondelriesgo.gov.co/sigpad/archivos/GESTIONDELRIESGOWEB.pdf>

Sedano, K., Carvajal, Y., Ávila, A. (2013). ANÁLISIS DE ASPECTOS QUE INCREMENTAN EL RIESGO DE INUNDACIONES EN COLOMBIA. Luna Azul ISSN 1909-2474.

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-24742013000200014](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-24742013000200014)

Villegas, P. A. (2020). “Gestión del riesgo por inundaciones. Un metamodelo para el desarrollo de artefactos participativos” modelos integrados de sistemas socio-ecológicos: caso de estudio en la ecorregión de La Mojana (Colombia).

<https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/55023>

Vega, L. y Castiblanco, J. (2016). INUNDACIONES Y GESTIÓN DEL RIESGO EN COLOMBIA: UN ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA GESTIÓN DEL RIESGO DEL ESTADO Y EL ROL DEL ASEGURAMIENTO DESDE EL 2003 AL 2013. Universidad de la Salle.

<https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1056&context=economia>

BID – Cardona, O., NU. CEPAL. Subse de México – Zapata, R. y Meli, R. (2007).

Información para la gestión de riesgo de desastres: Estudio de caso de cinco países:

Colombia. <https://repositorio.cepal.org/entities/publication/c3677e7c-f405-43f7-ad43-1317908cab17>

UNGR. (2020). Riesgo por inundaciones – Caracterización general.

<http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Noticias/2020/Cual-es-el-riesgo-por-inundaciones-en-Colombia.aspx>

González, J. (2014). LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES EN LAS

INUNDACIONES DE COLOMBIA: UNA MIRADA CRÍTICA.

<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/014beaf1-cbc3-406d-a744-a8aa0ee619a6/content>

Gómez, J. (2017). FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL

DEPARTAMENTAL DE CASANARE – Gobernación de Casanare.

<https://www.casanare.gov.co/Dependencias/Planeacion/Documentos%20POTDCAS/1.2%20Subsistema%20Gesti%C3%B3n%20Riesgo.pdf>

CMGRD de Paz de Ariporo. (2013). Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres.

[http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/28496/PMGRD\\_PazAriporoCasanare\\_2012.pdf?sequence=2&isAllowed=y](http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/28496/PMGRD_PazAriporoCasanare_2012.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

TOMLINSON, R. (2007). Pensando en el SIG. ESRI Press. Tercera edición. Estados Unidos.

<https://es.scribd.com/document/668947549/Pensando-en-el-SIG>

Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2023). What is a flood? Retrieved from

<https://www.fema.gov/glossary/flood>

Montealegre, J. (2009). ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE LA

PRECIPITACIÓN EN COLOMBIA ASOCIADA A PROCESOS OCEANICOS Y

ATMOSFÉRICOS DE MESO Y GRAN ESCALA.

<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/Estudio+de+la+variabilidad+clim%C3%A1tica+de+la.pdf/643c4c0e-83d7-414f-b2b4-6953f64078d3>

IDEAM. (2014 – 2023). Boletín informativo sobre el monitoreo de los Fenómenos de

variabilidad climática "El Niño" y "La Niña". <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/boletin-de-seguimiento-fenomeno-el-nino-y-la->

[nina?p\\_p\\_id=110\\_INSTANCE\\_I6NwA8DioHgN&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_count=1](http://nina?p_p_id=110_INSTANCE_I6NwA8DioHgN&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1)

Jorge Mario Vera Rodríguez, Adriana Paola Albarracín Calderón, 2017. Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas. Ciencia e Ingeniería Neogranadina; ISSN: 0124-8170. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v27n2/0124-8170-cein-27-02-00109.pdf>

Gobernación de Casanare. (2019). Boletín estadístico del departamento de Casanare. <https://www.casanare.gov.co/Dependencias/Planeacion/BoletinesEstadisticasSIIC/Bolet%C3%ADn%20Estad%C3%ADstico%202019.pdf>

Romero, A. (2022). Sostenibilidad de la ganadería bovina en la Orinoquía: caso municipio de Paz de Ariporo, Casanare. Universidad nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/83494/1032463135.2023.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Estrategia Internacional para Reducción de Desastres. (s.f.). Marco de Acción de Hyogo 2005-2015- Aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres: Introducción al Marco de Acción de Hyogo. UNISDR - Regional office for the Americas. <https://www.eird.org/estrategias/HFA-brochure-Spanish.pdf>

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. (2024). Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres – “Una estrategia de desarrollo” 2015 – 2030. <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/PNGRD/PNGRD-2da-actualizacion.pdf>

Servicio Geológico Mexicano. (2017). Sistemas de información geográfica. <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/SIG/Introduccion-SIG.html>

Montealegre, J. (2014). Actualización del componente Meteorológico del modelo institucional

del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia, como insumo para el Atlas Climatológico.

<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/440517/Actualizacion+Modelo+Institucional+El+Ni%C3%B1o++La+Ni%C3%B1a.pdf/02f5e53b-0349-41f1-87e0-5513286d1d1d>

IDEAM. (2014 – 2023). Boletín informativo sobre el monitoreo de los Fenómenos de variabilidad climática "El Niño" y "La Niña".

[http://www.ideam.gov.co/web/tiempoyclima/boletin-de-seguimiento-fenomeno-el-nino-y-lanina?p\\_p\\_id=110\\_INSTANCE\\_I6NwA8DioHgN&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_count=1](http://www.ideam.gov.co/web/tiempoyclima/boletin-de-seguimiento-fenomeno-el-nino-y-lanina?p_p_id=110_INSTANCE_I6NwA8DioHgN&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1)

IDEAM. (s.f.). Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos.

<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Caracter%C3%ADsticas+de+Ciudades+Principales+y+Municipios+Tur%C3%ADsticos.pdf/c3ca90c81072-434a-a235-91baee8c73fc>

Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2023). What is a flood? Retrieved from

<https://www.fema.gov/glossary/flood>

Kumpulainen, S. (2006). Vulnerability concepts in hazard and risk assessment. Special papergeological survey of Finland, 42, 65.

"Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (2016). Glosario de términos del Sistema Nacional de Protección Civil. Retrieved from <https://www.gob.mx/cenapred>

Gestión del Riesgo de Desastres. (2021, June 16). Ministerio de Ambiente y Desarrollo

Sostenible. <https://www.minambiente.gov.co/cambio-climatico-y-gestion-delriesgo/gestion-del-riesgo-de-desastres/>

"World Health Organization (WHO). (2023). Ambient air quality: mobile sources. Retrieved from <https://www.who.int/>"

Contreras, D. (2016). El impacto de El Niño en Colombia.

<https://revista.fasecolda.com/index.php/revfasecolda/article/download/214/209/412>

IDEAM. (2016). Fenómeno de El Niño 2015-2016.

[https://www.ideam.gov.co/documents/21021/93551515/04\\_IFN\\_ABR\\_16\\_2016.pdf/a176340c-debd-455b-930a-10f19bd66fe0?version=1.0](https://www.ideam.gov.co/documents/21021/93551515/04_IFN_ABR_16_2016.pdf/a176340c-debd-455b-930a-10f19bd66fe0?version=1.0)

Meza, D. (2020). Modelos para pronosticar puntajes en series de tiempo. [https://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/626609\\_55005d14b1d3475e9a011c7f15cc78b3.html](https://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/626609_55005d14b1d3475e9a011c7f15cc78b3.html)

Pérez, J. I. (2016). ADAPTACIÓN FRENTE a INUNDACIONES EN RIOHACHA, LA GUAJIRACOLOMBIA: EL PLAN ELABORADO POR EL «PROYECTO MODCEL». Uniguajira.

[https://www.academia.edu/27756368/ADAPTACION\\_FRENTE\\_A\\_INUNDACIONES\\_EN\\_RIOHACHA\\_LA\\_GUAJIRACOLOMBIA\\_EL\\_PLAN\\_ELABORADO\\_POR\\_EL\\_PROYECTO\\_MODCEL](https://www.academia.edu/27756368/ADAPTACION_FRENTE_A_INUNDACIONES_EN_RIOHACHA_LA_GUAJIRACOLOMBIA_EL_PLAN_ELABORADO_POR_EL_PROYECTO_MODCEL)

Ruiz Cabarcas, A. (2012). Análisis del impacto de los fenómenos El Niño y La Niña en la producción agrícola del departamento del Atlántico.

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/11464>

FAO. (1997). Depósito de documentos de la FAO. Recuperado el 15 de 02 de 2015, de

<http://www.fao.org/docrep/w7452s/w7452s01.htm#1.1> definición

Pulecio, J. C. (2008). MODELACION HIDRÁULICA DEL RIO CONSOTA SECTOR “LA

CURVA” Y “MERCASA – GALICIA”. Informe final Contrato de Consultoría # 013 de 2007, CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE RISARALDA, Risaralda, Pereira.

Hidalgo, X., Castro, M., & Poveda, R. (s.f.). SOBRE LA MODELACIÓN HIDRÁULICA EN OBRAS DE SANEAMIENTO BÁSICO. (D. D. NACIONAL, Ed.) Quito, Ecuador.

Solis, H., & Cuevas, J. (1995). Modelación Hidrológica e Hidráulica en la cuenca del Río

Caldera. Recuperado el 02 de 02 de 2015, de books google:

<https://books.google.com.co/books?id=MsUOAQAAIAAJ&pg=PR4&dq=modelacion&hl=es&sa=X&ei=TLDSVKjwIq3asATEqILoDw#v=onepage&q=modelacion&f=false>

Arner, E. (2013). Resiliencia urbana: la adaptación a corto plazo para la recuperación a largo plazo después de las inundaciones en Canadá. Ciencia En Su PC, 52–65.

Cruz, S., & Karime, R. (2012). Gestión Integrada Del Riesgo. 271.

Jorge Abelardo Paucar Camacho. (2010). MODELO PARA LA ARTICULACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN EL PROCESO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA CIUDAD DE GUARANDA / ECUADOR. Universidad de Valencia, 28, 237–257.

Olcina Cantos, J. (2004). Riesgo de inundaciones y ordenación del territorio en la escala local: El papel del planeamiento urbano municipal. Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles, 37, 49–84.

<http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=930085&info=resumen>

Decreto 1807 de 2014 - Gestor normativo. (s. f.). Función Pública.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=59488>

Ley 1523 de 2012 - Gestor Normativo. (s. f.). Función Pública.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=47141>

LEY 99 DE 1993 (diciembre 22). (1993). En Ministerio de Ambiente - REPUBLICA DE COLOMBIA - GOBIERNO NACIONAL. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/ley-99-1993.pdf>

Decreto 1077 de 2015 Sector Vivienda, Ciudad y Territorio. (2015). En Función Pública Gobierno Nacional de Colombia.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=77216>

Avance Jurídico Casa Editorial Ltda. (s. f.). Leyes desde 1992 - Vigencia expresa y control de constitucionalidad [CONSTITUCION\_POLITICA\_1991\_PR002]. Avance Jurídico Casa Editorial Ltda., Senado de la República de Colombia.

[http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/constitucion\\_politica\\_1991\\_pr002.html](http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/constitucion_politica_1991_pr002.html)

Decreto 1640 de 2012 - Gestor normativo. (s. f.). Función Pública.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=49987>

Londoño Giraldo, J. (2021). Evaluación del riesgo urbano por inundaciones del río Supía.

Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79634>

Natalia, A. C. (2023). Análisis de la amenaza por inundación, por medio de la modelación hidráulica e hidrológica; Caso de estudio: Montelíbano, Córdoba.

<https://repositorio.unbosque.edu.co/items/45aed51c-948a-413a-990e-3de5534adff8>

Consejo Municipal de Gestión de Riesgos de Desastres de Paz de Ariporo. (2012). PLAN MUNICIPAL DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES. En Repositorio Gestión del Riesgo.

[http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/28496/PMGRD\\_PazAriporoCasanare\\_2012.pdf?sequence=2&isAllowed=y](http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/28496/PMGRD_PazAriporoCasanare_2012.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

GARCÍA VALERO, J. A. (2021). Redes Neuronales Artificiales. Aplicación a la regionalización de la precipitación y temperaturas diarias. En <https://repositorio.aemet.es/> (NIPO 666-20-028-5). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico - Agencia Estatal de Meteorología. <https://doi.org/10.31978/666-20-028-5>.

[https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/12707/1/NT\\_34\\_Redes\\_neuronales\\_artificiales.pdf](https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/12707/1/NT_34_Redes_neuronales_artificiales.pdf)

Suárez Pesantes, J. L. (2018). Modelación de una Red Neuronal Artificial para Predicción de Lluvias, usando Temperaturas Superficiales del Mar. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORA - Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas.

<https://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/48842/DCD110095.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

García Fernández, E. (2019). Evaluación del potencial de las redes neuronales profundas para la predicción de la temperatura superficial del agua del mar. Universidad de Cantabria.

[https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/17865/2019\\_TFM\\_EstherGarcia.pdf?sequence=1](https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/17865/2019_TFM_EstherGarcia.pdf?sequence=1)

Na, & Na. (2020, 3 marzo). Pronóstico de Series Temporales con Redes Neuronales en Python | Aprende Machine Learning. Aprende Machine Learning.

<https://www.aprendemachinelearning.com/pronostico-de-series-temporales-con-redes-neuronales-en-python/>

## APENDICES

### Anexo 1

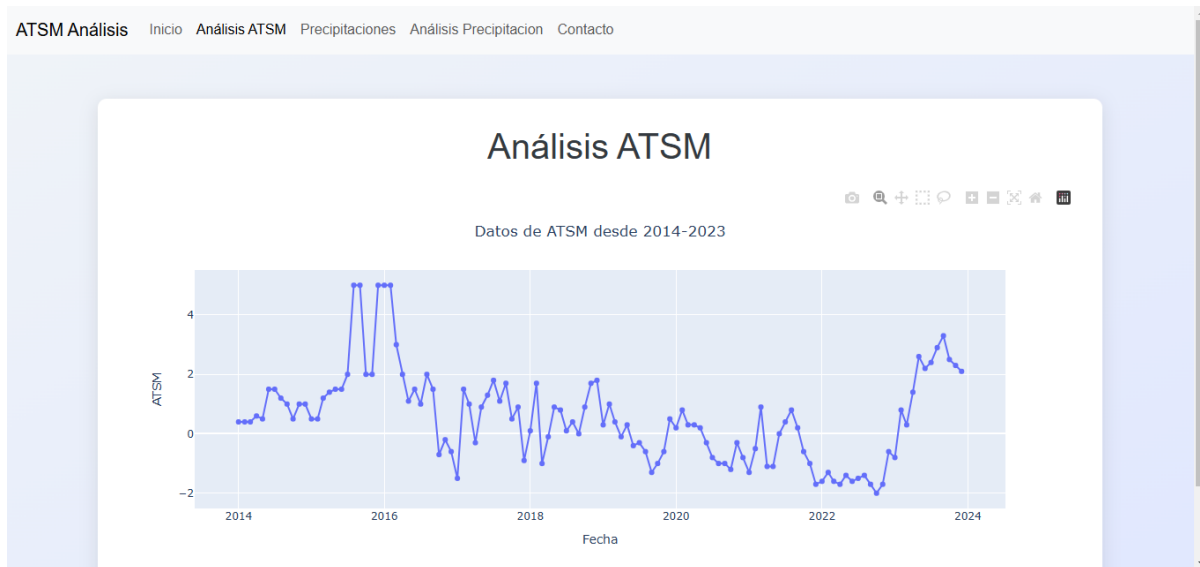
Aplicativo web de la red neuronal



Nota, Aplicativo del modelo digital de segregación móvil realizada mediante una red neuronal de constante aprendizaje.

**Anexo 2**

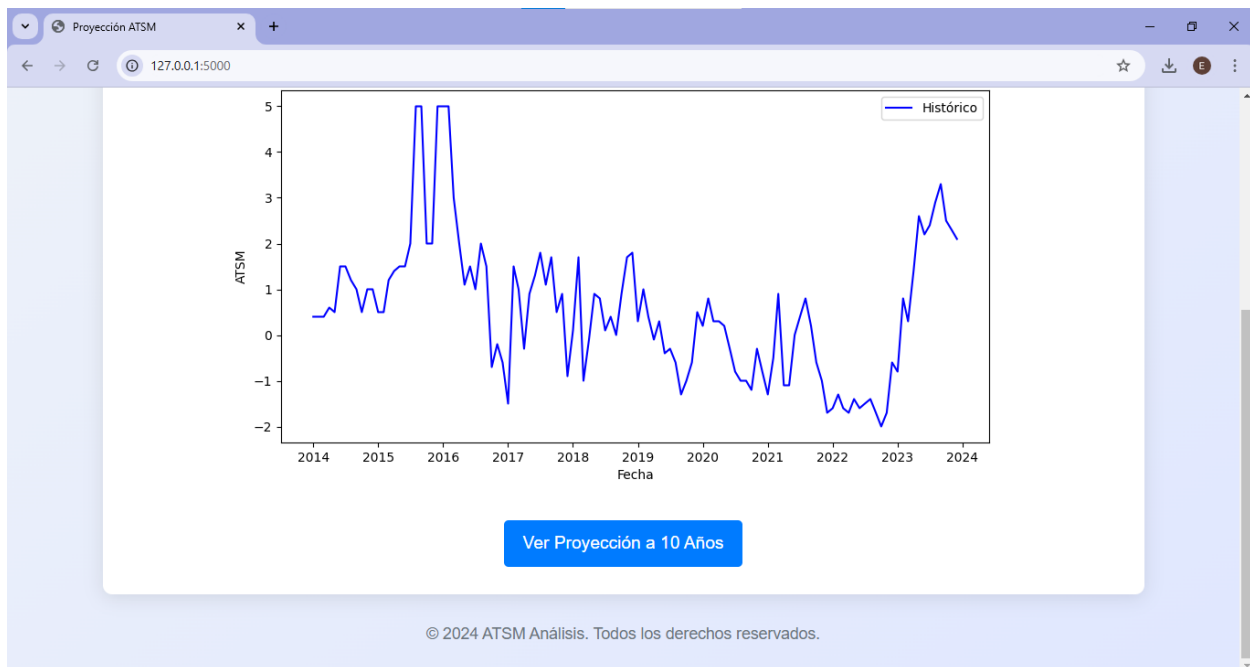
Aplicativo web de la red neuronal



*Nota*, Aplicativo del modelo digital de segregación móvil realizada mediante una red neuronal de constante aprendizaje.

### Anexo 3

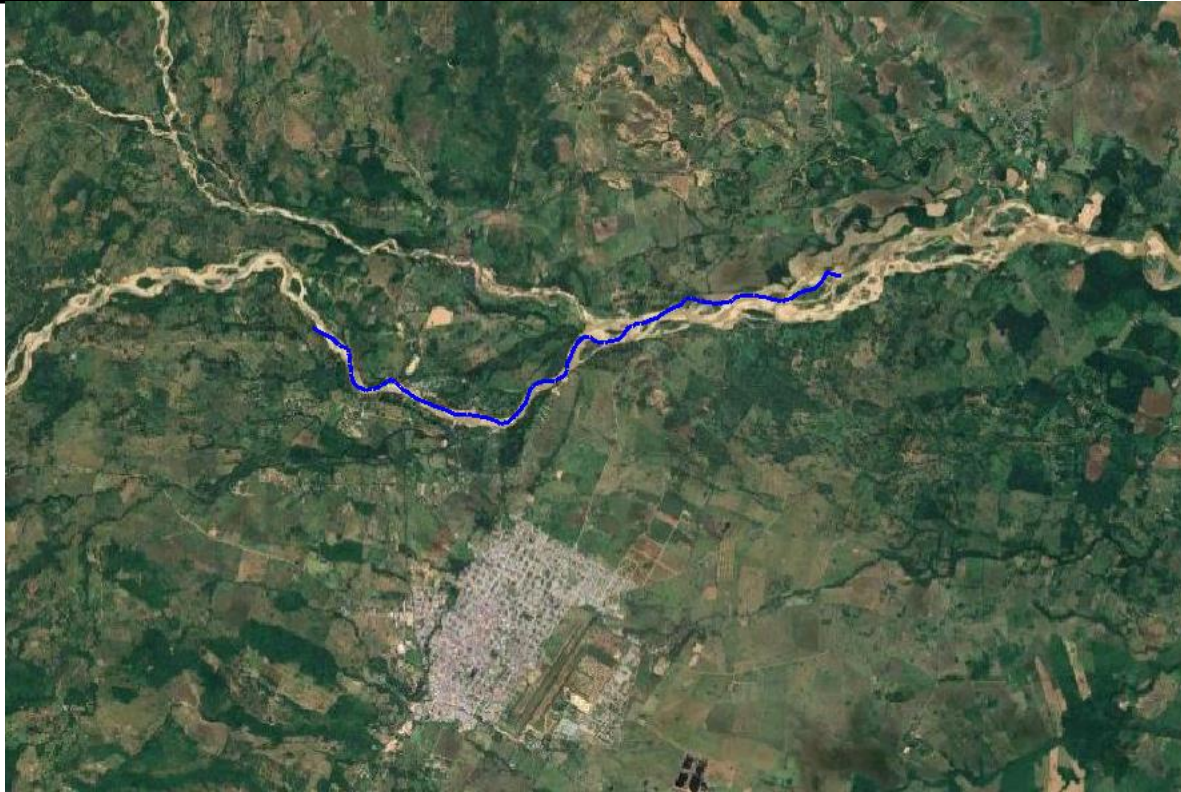
#### *Aplicativo web de la red neuronal*



*Nota*, Aplicativo del modelo digital de segregación móvil realizada mediante una red neuronal de constante aprendizaje.

### Anexo 3

#### *Digitalización de la ruta del cauce del río Ariporo*



*Nota, Ruta del cauce del río Ariporo en el área de estudio, del municipio de Paz de Ariporo, Casanare*

#### **Anexo 4**

*Delimitación del área del río Ariporo*



*Nota*, Delimitación de los tramos del río de acuerdo a las características físicas del río Ariporo y de su entorno (área de estudio), del municipio de Paz de Ariporo, Casanare.

### **Anexo 5**

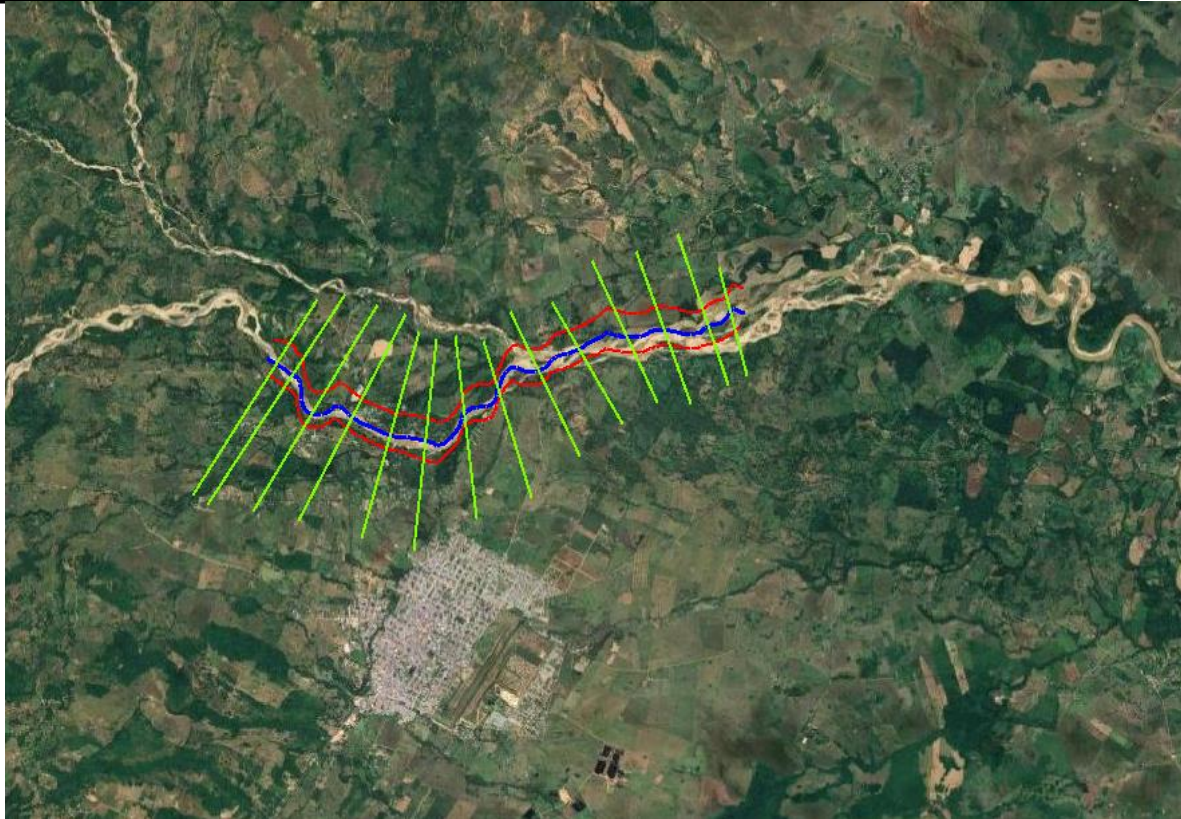
*Secciones transversales para el modelo hidráulico*



*Nota*, Secciones transversales en los diferentes puntos a lo largo del río Aripuro, teniendo en cuenta el cauce, las zonas laterales y las elevaciones proporcionadas por el DEM.

## **Anexo 6**

*Secciones transversales y bancadas (bank lines)*



*Nota,* Secciones transversales en los diferentes puntos a lo largo del río Ariporo, teniendo en cuenta el cauce, las zonas laterales y las elevaciones proporcionadas por el DEM