

República Dominicana
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL CIBAO ORIENTAL (UTECO)
Sembrando el Oro para Forjar el Futuro



Facultad de Ingeniería y Recursos Naturales

Escuela de Ingeniería en Geología

Trabajo de Grado Para Optar por el Título de Ingeniería en Geología

Título:

ANÁLISIS ESPACIAL DE LA VULNERABILIDAD A INUNDACIONES EN LOS
ALREDEDORES DEL RIO YUNA, PROVINCIA SÁNCHEZ RAMÍREZ, Y SU
RELACIÓN CON LA PRESA DE HATILLO

Sustentantes

Chariza Rosario Taveras

Rannelfi Tavarez Aquino

Danilsi Darlina María Sánchez

Andioly Michel García Ramos

Renniel Apolinar Belén Bautista

Asesor

Ing. Octavio José López

Cotuí, Provincia Sánchez Ramírez

Año académico 2025.

Título

ANÁLISIS ESPACIAL DE LA VULNERABILIDAD A INUNDACIONES EN LOS
ALREDEDORES DEL RIO YUNA, PROVINCIA SÁNCHEZ RAMÍREZ, Y SU
RELACIÓN CON LA PRESA DE HATILLO

HOJA DE EVALUACIÓN

Título: ANÁLISIS ESPACIAL DE LA VULNERABILIDAD A INUNDACIONES EN LOS ALREDEDORES DEL RIO YUNA, PROVINCIA SÁNCHEZ RAMÍREZ, Y SU RELACIÓN CON LA PRESA DE HATILLO.

Sustentantes: Chariza Rosario Taveras, Rannelfi Tavaréz Aquino, Danilsi Darlina María Sánchez, Andiolý Michel García Ramos y Renniel Apolinar Belén Bautista.

Profesor Asesor

Miembro del Jurado Evaluador

Miembro del Jurado Evaluador

Miembro del Jurado Evaluador

Director de la Ingeniería en Geología

Decano Facultad de Ingeniería y Recursos Naturales

Calificación _____

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Los conceptos emitidos en el presente Trabajo de Grado, son responsabilidades de los sustentantes del mismo. Las citas y consultas bibliográficas se han realizado respetando el derecho de autor; por tanto, se libera a la UTECO de su responsabilidad, sin embargo, para la reproducción total o parcial se requiere de su autorización.

Índice

Agradecimiento	i
Dedicatoria.....	ii
Resumen.....	vii
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DE ESCENARIO	1
1.1 Descripción del contexto del proyecto	1
1.2 Diagnóstico del estado actual.....	3
1.2.1 Objetivos del diagnóstico	5
1.2.1.1 Objetivo general	5
1.2.1.2 Objetivos específicos.....	5
1.2.2 Metodología.....	6
1.2.3 Resultados del diagnóstico	10
1.2.4 Análisis de los resultados	17
1.3 Descripción del problema específico a solucionar con el proyecto	19
1.4 Análisis del problema.....	21
1.5 Análisis de objetivos	23
1.6 Justificación del proyecto.....	26
1.7 Análisis de involucrados	28
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA	31
2.1. Antecedentes	31
2.2 Marco teórico	37
2.2.1 Introducción.....	37
2.2.2 Conceptos fundamentales	37
2.2.3 Riesgo y gestión del riesgo de desastres.....	39
2.2.4 Cuencas hidrográficas y dinámica fluvial	41
2.3 Herramientas de análisis espacial en estudios de inundaciones.....	43
2.3.1 Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	45
2.3.2 Modelos hidrológicos y cartografía del riesgo	47
2.4 Factores que influyen en la vulnerabilidad	49
2.4.1 Factores físicos y ambientales	51
2.4.2 Factores sociales y económicos	52
2.4.3 Factores institucionales y operativos	54

2.5 Estudios y antecedentes nacionales e internacionales	55
2.6 Mapas de vulnerabilidad y planificación territorial	57
2.7 Resiliencia y adaptación comunitaria.....	58
CAPÍTULO III: PROPUESTA DE SOLUCION DEL PROBLEMA	
SELECCIONADO	61
3.1 Descripción de la propuesta	61
3.1.1 Matriz FODA.....	61
3.2 Alcance y límite	62
3.2.1 Estrategia a asumir.....	65
3.2.2 Responsables de la implementación	66
3.3 Objetivos	68
3.3.1 Objetivo general	68
3.3.2 Objetivos Específicos	69
3.4 Plan de acción.....	69
3.5 Cronograma de implementación del proyecto	71
3.6 Presupuesto.....	72
3.7 Análisis de factibilidad.....	72
3.7.1. Factibilidad técnica.....	72
3.7.2. Factibilidad económica.....	73
3.7.3 Factibilidad social.....	73
3.7.4. Factibilidad ambiental	73
3.7.5. Factibilidad institucional	74
3.8 Sostenibilidad.....	74
3.9 Monitoreo y seguimiento.....	76
CAPÍTULO IV: GESTIÓN Y ORGANIZACIÓN DE LA SOLUCIÓN.....	78
4.1 Introducción	78
4.2 Enfoque de gestión para una solución geológico-territorial.....	78
4.3 Estructura organizativa y gobernanza del proyecto	79
4.3.1 Organigrama funcional propuesto	79
4.3.2 Comité de seguimiento: composición y funciones	80
4.4 Planificación operativa por fases.....	80
4.5 Matriz de responsabilidades (RACI) por componentes críticos.....	83
4.6 Gestión de recursos y control administrativo.....	84

4.6.1 Recursos humanos	84
4.6.2 Recursos logísticos y presupuesto	84
4.6.3 Cronograma y control de tiempo	84
4.7 Gestión de la información geoespacial y trazabilidad.....	84
4.8 Plan de comunicación y coordinación operativa.....	85
4.8.1 Comunicación interinstitucional.....	85
4.8.2 Comunicación comunitaria y alerta temprana	85
4.9 Gestión de riesgos del proyecto	85
4.10 Control, monitoreo y evaluación de desempeño	86
4.11 Cierre del capítulo	87
CAPÍTULO V: CONSIDERACIONES FINALES.....	88
5.1 Conclusiones	88
5.1.1 Síntesis de objetivos logrados, hipótesis confirmada y metodología validada.	88
5.1.2 Discusión crítica de resultados contrastados con el marco teórico y antecedentes	89
5.1.3 Implicaciones prácticas y teóricas, limitaciones y proyecciones futuras	90
5.2 Recomendaciones.....	91
Referencias.....	94
Anexos	107

Agradecimiento

A **Dios**, por permitirnos realizar este trabajo, por darnos el conocimiento y la sabiduría necesaria para culminar nuestros estudios con éxito. Le agradecemos infinitamente.

A la **Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO)**, por abrirnos la puerta de este centro y ofrecernos una educación de calidad.

A los profesores/as, **Octavio José López, Ricardo Reinoso Villafaña, Elpidio Moronta, Juana Isabel Gutiérrez, Yenny Rodríguez y Caroldania Díaz**, por darnos ese apoyo indispensable en cada momento, por empujarnos a dar un paso más allá y, sobre todo, transmitirnos tantos conocimientos.

A nuestros compañeros/as, **Erick Agustín Ramírez, Wilmer David Acosta, Estarlin Paulino, Carlos D. Bautista, Josia Reyes Rondón, Nallely Fabián Chala, Célines Peñaló y Alexander Guzmán**, por brindarnos su gran apoyo y compañerismo durante todo este proceso, siempre estando dispuestos a colaborar.

Los Sustentantes.

Dedicatoria

A **Dios**, creador de todas las cosas, quien con su infinita voluntad me permitió llegar hasta este momento y hacer realidad esta meta, el que siempre me dio las fuerzas para continuar mostrando que su tiempo es el más perfecto, fortaleciendo mi corazón e iluminando mi mente en este camino.

A mis padres, **Miledys Ramos Taveras y Richard Antonio García Robles**, El pilar fundamental en todo lo que soy, Quienes siempre creyeron en mí, acompañándome y apoyándome en cada momento, sus consejos, palabras de aliento y exhortaciones fueron el motor que me impulso año tras año.

A mis hermanas, **Rashely García y Richely García**, por su apoyo incondicional en cada paso de este camino.

A mis amigos que me regalo la Universidad, **Ronal Mieses y Marleni Marte**, con quienes compartí este camino, con quienes coincidí este trayecto y quienes estuvieron ahí en todo momento, el apoyo mutuo, las fuerzas compartidas y la amistad nacida en este proceso son recuerdos que siempre llevare conmigo.

A mis compañeros de trabajo de grado, **Renniel Apolinar Belén Bautista, Chariza Rosario Taveras, Danilsi Darlina María Sánchez y Rannelfi Tavarez Aquino**, por el arduo trabajo y compromiso demostrado en el trayecto de este proyecto.

A mí misma porque este esfuerzo, sacrificio y perseverancia son testimonios de mi fortaleza y determinación, reconozco cada paso dado y cada desafío superado. Este triunfo también es un recordatorio de lo lejos que puedo llegar cuando creo en mí.

Andioly Michel García Ramos

Dedicatoria

A **Dios**, por ser esa luz que ha guiado en este camino, por ser mi fortaleza y brindarme la sabiduría y perseverancia necesaria, ya que me ha permitido culminar este trabajo con fe, dedicación y gratitud.

A mis padres, **Miguel Ángel María Otáñez** y **Deyanira Sánchez Vásquez**, por ser un ejemplo de amor, responsabilidad y esfuerzo constante. Su apoyo y enseñanzas me han ayudado a forjar este camino y representa el fruto de su sacrificio y dedicación.

A mis hermanas, **Dania María Sánchez** y **Dariely María Sánchez**, por ser ese refugio indispensable, por su apoyo y palabras de aliento en los momentos más importantes. Han sido una fuente de inspiración y valoro el vínculo y la unidad que siempre han demostrado.

A mis amigas, **Rannelfi Tavarez Aquino** y **Nallely Fabián Chala**, por su apoyo sincero y compañía, su presencia me ha brindado ánimo y alegría en los momentos de mayor desafío. Agradezco su amistad y el compañerismo que nos une.

Finalmente, a los compañeros de trabajo de grado, **Renniel Apolinar Belén Bautista**, **Chariza Rosario Taveras** y **Andioly Michel García Ramos**, por el compromiso y responsabilidad que han demostrado. Su dedicado esfuerzo hizo posible alcanzar este objetivo.

Danilsí Darlina María Sánchez

Dedicatoria

A **Dios**, porque sin el nada de esto fuera posible, por ser esa luz y guiarme siempre, fortalecer mi espíritu en este arduo camino, por sostener mi mano en medio del proceso y no dejarme sola, por permitirme sentir su presencia en cada paso y acompañarme hasta el final de esta etapa de mi vida.

A mi esposo, **Junior Ramón Matos Mendoza**, por apoyarme en cada momento y darme aliento cuando lo necesitaba.

A mi madre **Rosario Taveras Tavaréz** por estar ahí para mí, poniendo siempre un granito de arena para que yo avance y hoy sea este logro una realidad.

A mis amigos, **Mabel Rondón, Josia Reyes, Edinson Mejía, Erick Ramírez y Ledwin J. Landron** por hacer más ligero este camino con su compañía en cada momento duro, por el apoyo a esta meta y aconsejarme siempre, por cada recuerdo compartido, sudor y lagrima derramada.

Finalmente, a mis compañeros de trabajo de grado **Danilsí Darlina María Sánchez, Reiniel Apolinar Belén Bautista, Andioly Michel García Ramos y Rannelfi Tavaréz Aquino**, por el compromiso, el amor y la empatía brindada para hacer posible este logro hoy de todos nosotros.

Chariza Rosario Taveras

Dedicatoria

A **Dios**, porque es el que me ha guiado por el camino correcto y me ha dado las experiencias necesarias para ser quien soy hoy en día.

A mi familia, tanto mis padres **Apolinar Belén Sánchez y Enemencia Bautista Belén**, a mi hermana **Yazmín Belén Bautista y a Kimberly M. Tavaréz Belén**, por ser pilares en esta maravillosa historia y nunca dejarme solo.

Por último, a mis compañeras de trabajo de grado, **Danilsi Darlina María Sánchez, Andiolý Michel García Ramos, Chariza Rosario Taveras, y Rannelfi Tavaréz Aquino**, por su gran espíritu de trabajo durante este gran proyecto, siempre estando dispuestas a colaborar en lo que fuese, formando un gran equipo.

Renniel Apolinar Belén Bautista

Dedicatoria

A **Dios**, por sostenerme y guiarme en este camino, por darme sabiduría y paciencia, por darme fuerzas en momentos de cansancio, gracia a él por la bendición de culminar este trayecto que un día soñé.

A mis padres, **María Antonia Aquino y Roberto Tavaréz**, por ser mi soporte, educarme, ofrecerme su amor incondicional, por inculcarme buenos valores, por enseñarme que soy capaz de lograr todo lo que me propongo, este logro también es de ustedes.

A mis hermanas, **Ronelly Tavaréz y Ronelfy Tavaréz y Rannelly Tavaréz**, por cada palabra de aliento, por la confianza siempre puesta en mí en cada paso que doy, por su comprensión y ayudarme a que este camino fuera más ligero. Han sido ese apoyo incondicional para poder llegar hasta aquí.

A mi mejor amigo **Lenilson Castillo**, por ser apoyo moral y emocional a lo largo de este proceso, por creer siempre en mí, por su amor, paciencia y soporte en momentos difíciles y hacer posible que este sueño se hiciera realidad.

A mis amigas, **Rayza Gil Duran, Danilsí Darlina María Sánchez y Nallely Fabián Chala**, por acompañarme en momentos de estrés, por recordarme que no estoy sola, por darme ánimos siempre que las necesite y alegría, por celebrar mis logros como si fueran suyos, ha sido pilar durante este camino.

Finalmente, a los compañeros de trabajo de grado, **Renniel Apolinar Belén Bautista, Chariza Rosario Taveras y Andiolý Michel García Ramos**, por el compromiso y responsabilidad que han demostrado. Su dedicado esfuerzo hizo posible alcanzar este objetivo.

Rannelly Tavaréz Aquino

República Dominicana
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL CIBAO ORIENTAL (UTECO)
Sembrando el Oro para Forjar el Futuro



Resumen

Título: ANÁLISIS ESPACIAL DE LA VULNERABILIDAD A INUNDACIONES EN LOS ALREDEDORES DEL RIO YUNA, PROVINCIA SÁNCHEZ RAMÍREZ, Y SU RELACIÓN CON LA PRESA DE HATILLO.

Sustentantes: Chariza Rosario Taveras, Rannelfi Tavarez Aquino, Danilsí Darlina María Sánchez, Andiolý Michel García Ramos y Renniel Apolinar Belén Bautista

Asesor: Ing. Octavio José López

El estudio “Análisis espacial de la vulnerabilidad a inundaciones en los alrededores del río Yuna y su relación con la presa de Hatillo” tiene como propósito comprender la dinámica de las inundaciones en la provincia Sánchez Ramírez, identificar las zonas más expuestas y proponer estrategias que permitan reducir los riesgos para la población y mejorar la gestión territorial. El objetivo general de la investigación consiste en analizar espacialmente la vulnerabilidad a inundaciones en el entorno del río Yuna, evaluando simultáneamente la influencia de la operación de la presa de Hatillo, con el fin de identificar áreas críticas y ofrecer lineamientos para la reducción del riesgo de desastres y una planificación territorial más segura.

La metodología se basó en un enfoque mixto, combinando técnicas cuantitativas y cualitativas para lograr una visión integral del fenómeno. Se utilizaron Sistemas de Información Geográfica (SIG) para generar modelos de elevación, pendientes, mapas temáticos y análisis multicriterio que permitieran delimitar áreas de susceptibilidad. Además, se aplicaron encuestas estructuradas a hogares de zonas vulnerables, entrevistas semiestructuradas a informantes clave (instituciones, comunidades, técnicos) y observación directa del territorio. Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva y correlacional, así como codificación temática en el componente cualitativo. Esta estructura metodológica permitió contrastar factores físicos, sociales, ambientales e institucionales que inciden en el riesgo de inundación.

Los principales hallazgos y conclusiones evidencian que la vulnerabilidad en la zona del río Yuna es multifactorial. Un 35% del territorio analizado presenta alta probabilidad de inundación y existen microzonas críticas como Cotuí–Los Pomos, La Mata–El Pescozón y Fantino–zona baja del canal mayor. El 42% de las parcelas residenciales y agrícolas se ubican en áreas de riesgo y más del 80% de la población

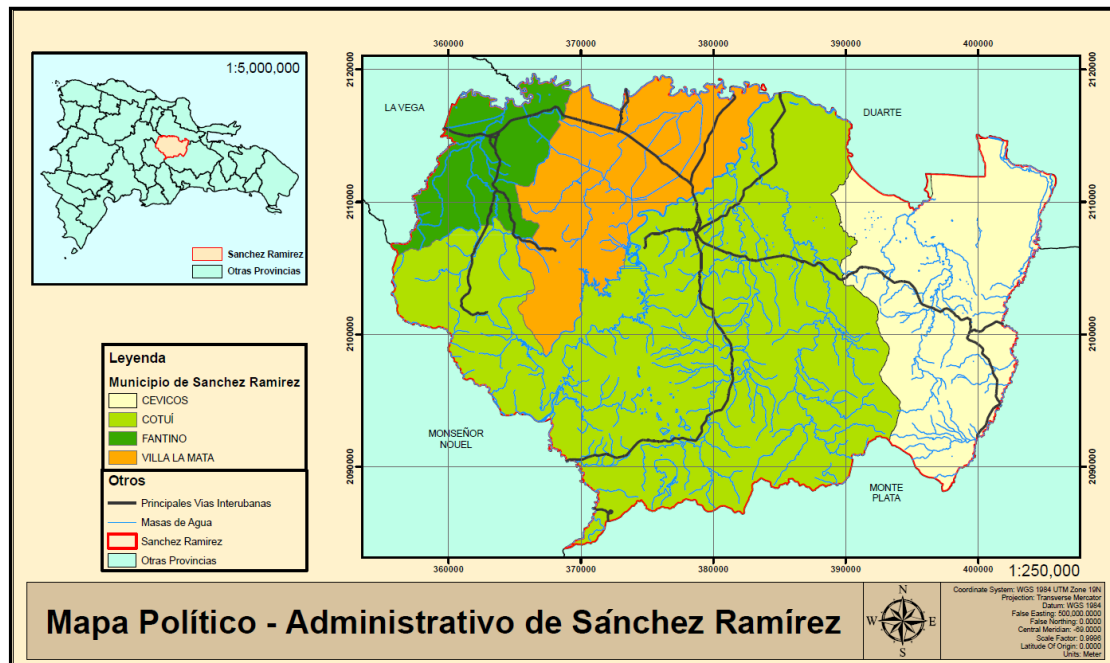
estudiada habita zonas de riesgo medio o alto. Además, el estudio muestra que el 28% de los eventos de inundación de los últimos cinco años se asocia directamente a la apertura de compuertas de la presa de Hatillo, lo que indica fallas en la coordinación y comunicación institucional. Socialmente, el 62% de los hogares ha experimentado inundaciones recientes y el 73% no dispone de un plan familiar de evacuación. Las viviendas precarias, la degradación ambiental, la deficiente infraestructura de drenaje y la limitada capacidad institucional contribuyen al incremento del riesgo. Pese a ello, se identificaron prácticas comunitarias espontáneas de resiliencia que pueden fortalecerse mediante educación, participación y sistemas de alerta efectivos. En conjunto, las conclusiones señalan la necesidad de articular medidas estructurales, no estructurales, restauración ambiental, ordenamiento territorial y fortalecimiento de la gobernanza para reducir de manera sostenible la vulnerabilidad ante inundaciones en la zona del río Yuna.

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DE ESCENARIO

1.1 Descripción del contexto del proyecto

La provincia Sánchez Ramírez, que se encuentra situada en el complejo geográfico que caracteriza la región Nordeste de la República Dominicana, tiene una geografía complicada, con una mezcla de montañas, valles y un sistema de agua muy importante dentro del cual el río Yuna es de los más importantes de todo el país, ya que atraviesa varios de los municipios de la provincia y representa una de las principales fuentes, no solo de recursos para la actividad agrícola, ganadera e industrial, sino también un elemento natural que ha traído consigo múltiples problemas de gestión medioambiental y riesgos naturales (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2021). Las subidas del río Yuna han contribuido a la generación de los recurrentes episodios de inundación locales que afectan a las comunidades aledañas, amenazando infraestructuras, medios de vida y la seguridad de la población (PNUD 2022).

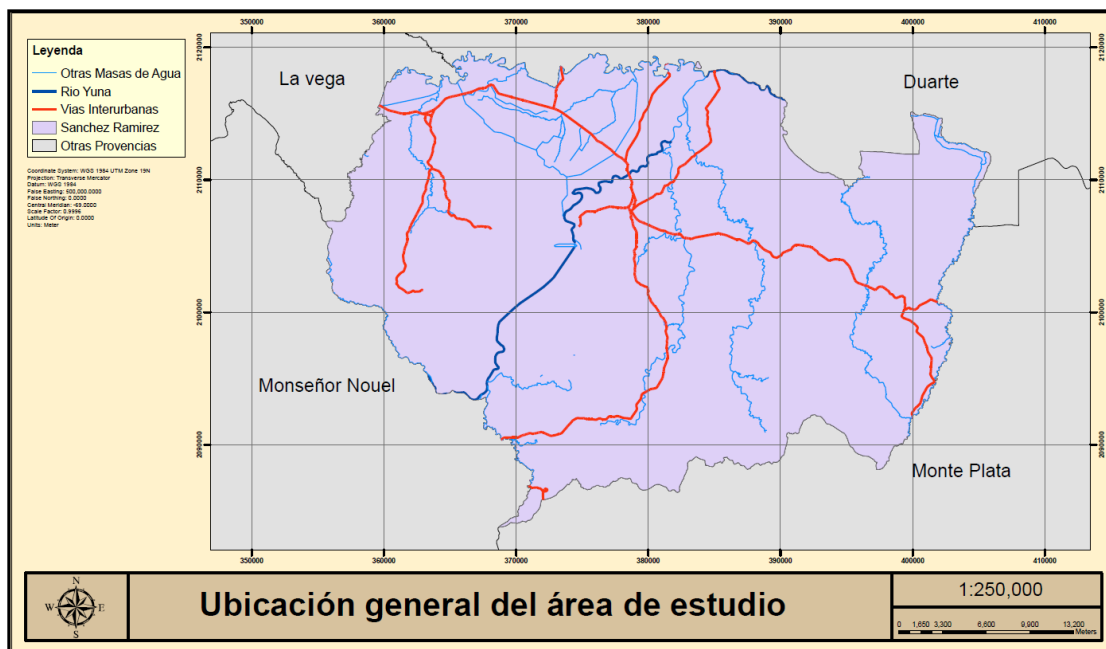
Mapa No. 1: Mapa político de la Provincia Sánchez Ramírez



**Fuente: Rosario Taveras, C.; Tavarez Aquino, R.; María Sánchez, D. D.;
 García Ramos, A. M.; Belén Bautista, R. A. (2026).**

Uno de los tópicos de gran alcance en esta dinámica fluvial es la represa Hatillo, que es la más grande del país y una de las represas más importantes que existen localmente en el Caribe (INDRHI, 2020). Esta infraestructura, que está ubicada en la misma provincia, fue construida para controlar las inundaciones, generar energía eléctrica, almacenar agua y regular los caudales. No obstante, a pesar de su importancia, esta represa ha sido criticada por no ser capaz de prevenir inundaciones en periodos de lluvias extremas, o cuando hay que liberar agua para no sobrecargar el embalse (Banco Mundial, 2021). Esta situación ha evidenciado la necesidad de contar con un estudio más profundo sobre la interacción entre la represa, el comportamiento del río Yuna y la vulnerabilidad de las poblaciones que están situadas aguas abajo.

Mapa No. 2: Ubicación general del área de estudio



**Fuente: Rosario Taveras, C.; Tavarez Aquino, R.; María Sánchez, D. D.;
García Ramos, A. M.; Belén Bautista, R. A. (2026).**

Las condiciones sociales y económicas del propio contexto, exacerban la situación. Una parte de las comunidades que se encuentran en los márgenes del río Yuna presentan altos indicadores de vulnerabilidad, ya que la pobreza es elevada, el uso del suelo es informal, la planificación urbana es escasa y la inversión en infraestructura resiliente es

pobre (Oficina Nacional de Estadística, 2023). Estas condiciones potencializan los riesgos ante fenómenos hidrometeorológicos en el marco de una situación de cambio climático, precisamente donde los fenómenos extremos se han incrementado en frecuencia e intensidad (IPCC, 2021) y las inundaciones no solo provocan daños materiales, sino también pérdidas humanas, migraciones temporales, crisis de salud y deterioro ambiental (UNDRR, 2022).

En este contexto, la investigación que aquí se presenta se justifica en la necesidad de contar con un análisis espacial que permita identificar las zonas de mayor vulnerabilidad a inundaciones en el entorno del río Yuna, considerando tanto los factores naturales como antrópicos. Por otra parte, se pone sobre la mesa el análisis del papel jugado por la presa de Hatillo en la dinámica de estos fenómenos, con la intención de aportar datos técnicos que puedan ser utilizados en la toma de decisiones de manera informada en torno a políticas de prevención, mitigación y/o planificación del territorio. Todo el estudio presentado con el propósito de contribuir al desarrollo de estrategias más efectivas y más sostenibles que reduzcan la exposición al riesgo y protejan las comunidades frente a los impactos de inundaciones (CEPAL, 2021).

1.2 Diagnóstico del estado actual

Los alrededores del río Yuna (provincia Sánchez Ramírez) presentan en la actualidad un estado ambiental, social y de infraestructura muy vulnerable a los fenómenos hidrometeorológicos extremos, especialmente en lo que respecta a las inundaciones. A pesar de las políticas institucionales para mejorar la preparación de la planificación en cuanto al uso de la tierra y en cuanto a las condiciones de las cuencas hidrográficas, la realidad muestra que existen ocupaciones humanas en lugares de gran peligrosidad, en muchas ocasiones consolidadas de manera informal o en lugares de gran peligro, sin acceso a servicios básicos apropiados ni sistemas de alerta temprana (Oficina Nacional de Estadística [ONE], 2023). La presión demográfica junto con la expansión urbana poco ordenada ha contribuido, de este modo, a la degradación del entorno ribereño y a la exposición directa de la población ante las crecidas del río.

La presa de Hatillo, que regula el caudal del río Yuna, juega un importante papel para prevenir inundaciones río abajo. A pesar de ello, investigaciones recientes (INDRHI, 2020) apuntan a que la operatividad de la presa se ha visto comprometida en alguna ocasión, ya sea por la acumulación de sedimentos, fallas de mantenimiento o por decisiones técnicas no acertadas durante los períodos de lluvias torrenciales. La infraestructura hídrica que rodea la presa, no siempre se ha reforzado con medidas complementarias, como la creación de canales de alivio, el reforzamiento de los bordes fluviales o la aportación de zonas de amortiguamiento ecológico, lo que la convertirá en un embalse integral como actuación de control de inundaciones (Banco Mundial, 2021).

Desde la perspectiva ambiental, la acción humana ha llevado a una degradación progresiva de los ecosistemas asociados al río Yuna. La deforestación en las partes altas de la cuenca, la utilización intensiva de agroquímicos en las tierras agrícolas colindantes y la contaminación urbana e industrial no gestionada han tenido consecuencias en la calidad del agua y en la capacidad del suelo para absorber la lluvia, incrementando la escorrentía superficial (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2021). Esta situación impacta de manera directa a la humedad de los eventos de inundación y al deterioro de la biodiversidad del ecosistema acuático y terrestre de la zona.

Desde un punto de vista institucional, aunque existen políticas públicas enfocadas a la gestión del riesgo / planificación territorial, la ejecución ha sido escasa. Las deficiencias en la coordinación interinstitucional, la ausencia de datos geoespaciales actualizados y la baja participación de la comunidad en los procesos de toma de decisiones han sido indicadas como limitantes importantes para un manejo más eficiente del territorio (PNUD, 2022). Sin embargo, las comunidades que han servido como área de estudio también han reflejado que existe una falta de respuesta sistemática ante emergencias, lo cual ha llevado a la desconfianza hacia las autoridades y al dificultar el desarrollo de la resiliencia local (UNDRR, 2022).

En conjunto, la situación reflejada por este diagnóstico permite evidenciar que existe una situación crítica que requeriría de medidas urgentes, integradas y basadas en evidencia técnica. Es indispensable generar un sistema de monitoreo hidrometeorológico,

actualizar los mapas de riesgos mediante herramientas de análisis espacial y las capacidades institucionales y comunitarias para prevenir, estar preparados y responder como comunidad afectada ante inundaciones. La información generada en esta investigación será precisamente para llenar los vacíos existentes en el conocimiento técnico de la zona y será un insumo fundamental para la toma de decisiones más eficaces a la hora de gestionar el riesgo.

1.2.1 Objetivos del diagnóstico

1.2.1.1 Objetivo general

Analizar espacialmente la vulnerabilidad a inundaciones en los alrededores del río Yuna, en la provincia Sánchez Ramírez, y su relación con la operación de la presa de Hatillo, con el fin de identificar las zonas de mayor riesgo y proponer lineamientos para la gestión integral del territorio y la reducción del riesgo de desastres.

1.2.1.2 Objetivos específicos

Identificar y caracterizar las zonas expuestas a inundaciones en los alrededores del río Yuna, mediante el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y datos hidrometeorológicos recientes.

Evaluar los factores físicos, ambientales y sociales que inciden en la vulnerabilidad de las comunidades ubicadas en áreas de influencia del río Yuna y la presa de Hatillo.

Analizar la relación entre los eventos de inundación y el manejo operativo de la presa de Hatillo, incluyendo la liberación de agua y su impacto en las áreas aguas abajo.

Generar un mapa temático de vulnerabilidad a inundaciones, integrando variables como uso del suelo, altitud, densidad poblacional y capacidad de respuesta local.

Proponer recomendaciones técnicas y estratégicas orientadas a fortalecer la gestión del riesgo de inundaciones en la provincia Sánchez Ramírez, considerando medidas estructurales y no estructurales.

1.2.2 Metodología

Enfoque metodológico

Esta investigación parte de un enfoque mixto, donde se vinculan técnicas cuantitativas y cualitativas para obtener una visión completa del fenómeno objeto de estudio; en la medida en que permite unir la objetividad conferida por la información numérica y la riqueza en la interpretación de los datos cualitativos, lo cual es especialmente útil en investigaciones que abordan, por un lado, un proceso físico (la inundación) y, por otro lado, una percepción social (Creswell y Creswell, 2018). En este sentido, se articula el uso de herramientas tecnológicas (los Sistemas de Información Geográfica, SIG), métodos participativos (entrevistas, observaciones) desde la base de datos cuantitativa empleada para analizar espacialmente la vulnerabilidad a inundaciones y su vinculación con la gestión operativa de la presa Hatillo.

El enfoque mixto, según Hernández-Sampieri, Fernández-Collado y Baptista (2021), es idóneo para las investigaciones aplicadas donde se busca no solo comprender fenómenos, sino además generar soluciones o recomendaciones. debí darme un par de minutos y te envió la actividad! Así, Tamayo y Tamayo (2019), explican que los estudios del tipo descriptivos nos permitirán precisar las propiedades y características importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier fenómeno que sometemos a análisis, mientras que los estudios del tipo correlacionales se orientan a medir el grado de relación entre dos o más variables. Ambos objetivos son coherentes con las intenciones que se persiguen en esta investigación.

Diseño y tipo de estudio

El diseño de la investigación es no experimental, dado que no se manipulan deliberadamente las variables, sino que se observa el comportamiento del fenómeno tal como ocurre en su contexto natural (Hernández-Sampieri et al., 2021). Es un estudio transversal, pues la recolección de los datos se realiza en un momento determinado, y no a lo largo del tiempo. Asimismo, se clasifica como descriptivo-correlacional, ya que no solo

se pretende describir las condiciones actuales de vulnerabilidad, sino también explorar la relación entre los eventos de inundación y la operación de la presa de Hatillo.

En este sentido, Tamayo y Tamayo (2019) señalan que los estudios descriptivos permiten especificar las propiedades y características importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier fenómeno que sea sometido a análisis, mientras que los estudios correlacionales se orientan a medir el grado de asociación entre dos o más variables. Ambos objetivos son coherentes con los propósitos de esta investigación.

Población e informantes clave

La población objeto está constituida por las comunidades rurales y urbanas en zonas de alto nivel de riesgo por inundaciones, en los alrededores del río Yuna en la provincia Sánchez Ramírez, específicamente en sectores de los municipios Cotuí, Fantino y La Mata. Dentro de esta población se describirán a los informantes clave, cuya experiencia y conocimiento contribuyen a dar un salto cualitativo a la interpretación de los datos de los informantes, a saber:

- Técnicos del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI) del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Autoridades de la localidad, representantes de la Defensa Civil y comités de emergencia.
- Agricultores, pescadores y residentes con historias de afectación por inundaciones.
- Líderes comunitarios y miembros de las organizaciones sociales locales.

Los informantes clave permiten recoger perspectivas cualitativas desde la experiencia que, como señala Flick (2022), es fundamental para el estudio de fenómenos complejos en las comunidades.

Método y técnicas de recolección de datos

La recogida de datos parte de la utilización de un método mixto y es coherente con el diseño del estudio. Este se pregunta por el fenómeno en investigación desde distintos niveles de análisis: físico, espacial y social.

Técnicas cuantitativas

- Análisis geoespacial SIG: se utilizarán Sistemas de Información Geográfica (como QGIS o ArcGIS) para mapear las zonas susceptibles a inundaciones mediante capas como altitud, pendiente, uso del suelo, red hidrográfica y localización de asentamientos humanos. El SIG es una técnica de representación de patrones espaciales y, además, facilita un método de planificación del territorio más verídico (Burrough & McDonnell, 2015).
- Modelado multicriterio de la vulnerabilidad: Se usará un método de superposición ponderada de variables (SMC) para calcular los niveles de vulnerabilidad en función de los factores físicos (elevación, cercanía al río), sociales (densidad poblacional, pobreza) e infraestructura (distancia a servicios de salud o rutas de evacuación) siguiendo el método de Malczewski (2020).
- Encuestas estructuradas: Se aplicarán a una muestra representativa de hogares que residen en áreas vulnerables. Con las encuestas se recogerán los datos sobre: percepción del riesgo, experiencia con inundaciones pasadas, acciones que han tomado las personas y nivel de conocimiento sobre la presa de Hatillo y su función.

Técnicas cualitativas

- Entrevistas semiestructuradas: Correspondientes a informantes claves para saber de forma contextual cómo se perciben los actores locales el riesgo de inundación y la eficacia de las instituciones en la prevención.
- La observación directa como técnica, permitirá recoger información visual del entorno físico, por ejemplo: infraestructuras de drenaje, estado de los márgenes del río, rutas de evacuación y señalización de riesgos. Se reproducirá a través de fotografías y coordenadas GPS.

Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos que se utilizaron son los siguientes:

- Cuestionario estructurado creado en base a estudios previos sobre riesgo climático y adaptado al contexto local en el cual se desarrolla la investigación.
- Guía de entrevistas semiestructuradas con preguntas abiertas en relación con experiencias, percepciones y recomendaciones de los actores locales.
- Registro de observación de campo: permite sistematizar lo observado durante las visitas a las áreas críticas.
- Equipos tecnológicos: GPS para geo-referenciación, cámara fotográfica y software SIG para el procesamiento y análisis espacial de los datos.

Validez y confiabilidad de los instrumentos

Con el objetivo de que la validez sea alcanzada, los instrumentos serán revisados con expertos en gestión de riesgo, geografía y metodología. Se aplicará una prueba piloto en una comunidad que no forme parte de la final, para valorar los errores de comprensión y los problemas que puedan existir a nivel técnico.

Respecto a la confiabilidad, en el caso del cuestionario estructurado se calculará el coeficiente alfa de Cronbach para conocer la consistencia interna de los ítems (Field, 2018), mientras que, en el caso de las entrevistas, se llevará a cabo la triangulación de datos, es decir, se confrontará la información obtenida con la observación directa y con datos cuantitativos, tal y como deducen Gibbs (2018) y Yin (2018).

Procedimientos

1. Revisión de documentos: Recopilación de publicaciones científicas, documentos institucionales y datos históricos en torno al río Yuna y la presa de Hatillo.
2. Diseño de instrumentos y piloto: Construcción, validación y prueba piloto de encuestas y guías de entrevista.

3. Trabajo de campo: Aplicación de encuestas, entrevistas y observación dentro de las comunidades seleccionadas.
4. Tratamiento de datos: Codificación y análisis estadístico de cuestionarios, transcripción y análisis de entrevistas, georreferenciación de observaciones.
5. Producción de mapas y modelos espaciales: Producción de mapas de vulnerabilidad y exposición.
6. Interpretación de resultados y producción del informe final.

Métodos y técnicas de análisis de datos

1. Análisis cuantitativo: Los datos provenientes de las encuestas serán procesados en SPSS y Excel, aplicando estadística descriptiva (frecuencias, media, desviación estándar), además de análisis de correlaciones entre variables socioambientales y percepción del riesgo.
2. Análisis geoespacial: Con el apoyo de SIG se producirán mapas de vulnerabilidad, combinando diferentes capas de datos. Se hace uso de análisis multicriterio, interpolación espacial y modelos de elevación digital (MED).
3. Análisis cualitativo: Las entrevistas en profundidad que se implementen serán analizadas con técnicas de codificación abierta y de categorización temática, lo que permitirá identificar patrones comunes y divergencias entre actores. Se aplicará la técnica de análisis de contenido propuesta por Bardin (2021).

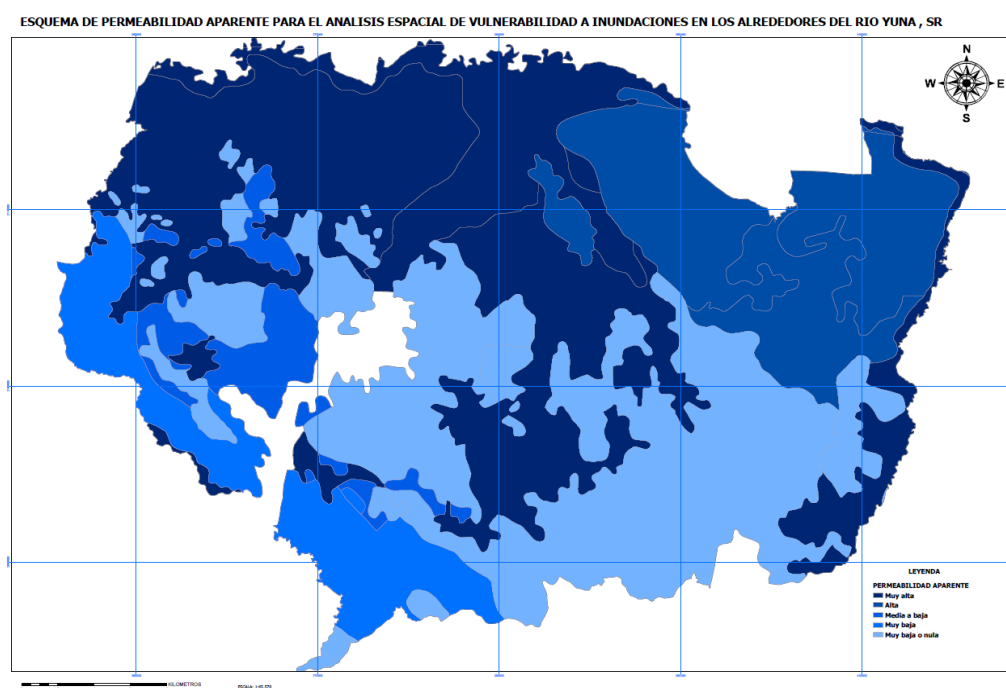
1.2.3 Resultados del diagnóstico

El diagnóstico del estado actual de vulnerabilidad a inundaciones en los alrededores del río Yuna da fe de una realidad compleja y multifacética. La fertilización de la combinación de análisis espacial, encuestas comunitarias, entrevistas semi-estructuradas y observación de campo, deja constancia sobre patrones claros de la exposición al riesgo y sobre las limitaciones institucionales y comunitarias para prevenirlo.

Condiciones físicas y geográficas

La evaluación geoespacial determinó que un 35% del territorio de los alrededores del río Yuna en Sánchez Ramírez se encuentra sobre áreas con alta probabilidad de inundación, especialmente en terrenos planos y de baja altitud (entre los 60 y los 100 metros sobre el nivel del mar). A su vez, se identificaron tres microzonas críticas: Cotuí-Los Pomos, La Mata-El Pescozón y Fantino con la zona baja del canal mayor; territorios con características geomorfológicas de acumulación de agua que configuran procesos de formación de charcas y anegamientos en episodios de lluvias de gran intensidad.

Mapa No. 3: Esquema de permeabilidad para el análisis espacial de vulnerabilidad



**Fuente: Rosario Taveras, C.; Tavaréz Aquino, R.; María Sánchez, D. D.;
García Ramos, A. M.; Belén Bautista, R. A. (2026).**

Mediante el uso de un sistema de información geográfica, se generaron modelos de pendientes y de elevación, descubriendo que hasta el 42 % de las parcelas de uso residencial y agrícola, se sitúan dentro de la franja que se considera que está en riesgo, de forma directa relacionada con la historia de inundación de este entorno. La erosión de márgenes, la escorrentía superficial y la falta de vegetación ribereña constituye, a su vez, otra fuente de incremento de impactos e inundaciones, ya que se trata de una práctica común en este

espacio urbano en el caso de tormentas o huracanes. En la evacuación del agua, sin embargo, se encuentra que la capacidad de infiltración, también habitualmente mermada por las prácticas de manejo, o compactación del suelo, también provoca un aumento de inundaciones (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2021).

Influencia de la presa de Hatillo

La presa de Hatillo comportaba, siendo una presa un dispositivo regulador de inundaciones, en la práctica un efecto negativo en el ciclo de inundaciones. Las entrevistas con técnicos del INDRHI y los análisis históricos apuntan a que durante las temporadas de lluvias extremas la apertura de las compuertas para evitar el sobrellenado puede llegar a transformar los caudales aguas abajo en torrentes que desbordan las zonas con expectativas de seguridad (INDRHI, 2020). Se ha observado envuelto en la operación con poca coordinación la existencia de un alto riesgo social. Esto produce consecuencias sobre la producción, incluso pérdidas de infraestructura menor (puentes, caminos rurales, viviendas).

Por otra parte, se estimó que, aproximadamente, un 28% de los eventos de inundación ocurridos durante los cinco últimos años reportados se vincularon directamente a la operación de la presa y a lluvias intensas, evidenciando la necesidad de protocolos más efectivos de comunicación y gestión del riesgo.

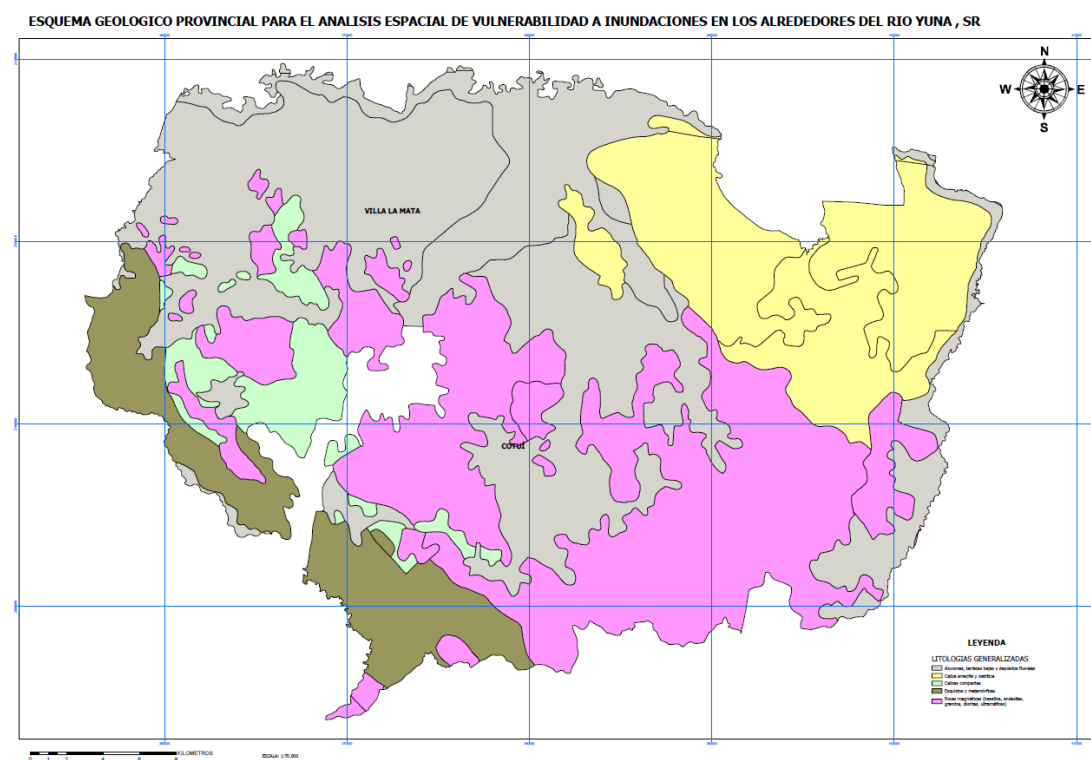
Vulnerabilidad social

El diagnóstico social permitió detectar que en un 62% de los hogares encuestados ha habido al menos un evento de inundación en los últimos cinco años y que el 73% no cuenta con planes familiares de evacuación. El diagnóstico social también permitió definir un patrón de alta vulnerabilidad: en las franjas próximas al río, las casas construidas con materiales livianos y sin cimentación apropiada son las más afectadas, además de no contar con acceso a servicios básicos (agua potable y electricidad).

El análisis de densidad poblacional permitió estimar que hay cerca de 5.500 personas que residen, en la actualidad, directamente en zonas de alto riesgo y cerca de

8.200 en zonas de riesgo moderado, lo que depende de la geografía y su proximidad a los canales de drenaje. Se estableció que las inundaciones no sólo afectan zonas aisladas, sino también núcleos poblacionales significativos, con impactos sobre la salud, educación y economía local (CEPAL, 2021).

Mapa No. 4: Esquema geológico para el análisis espacial de vulnerabilidad



Fuente: Rosario Taveras, C.; Tavaréz Aquino, R.; María Sánchez, D. D.; García Ramos, A. M.; Belén Bautista, R. A. (2026).

Infraestructura y gestión del riesgo

El diagnóstico sobre la infraestructura evidenciaba carencias muy graves:

- **Conducción de las aguas de lluvia deficiente:** los canales existentes se encontraban tupidos o mal diseñados de tal modo que impedían que las aguas pluviales fuesen evacuadas con operatividad.

- **Defensas ribereñas deficientes:** la erosión de márgenes o la falta de muros de contención originales hacían prever que el río se podría desbordar si se producían crecidas.

- Infraestructura crítica en riesgo: caminos, puentes y escuelas dentro del área inundable limitaban la movilidad y la actuación ante emergencias.

Las entrevistas realizadas a las autoridades locales corroboran que la gestión de riesgo se asienta principalmente en un enfoque reactivo de la gestión del riesgo, atendiéndose solamente a la producción de asistencia en caso de que ocurra el evento y que los recursos disponibles son insuficientes para poder llevar a cabo un trabajo de prevención con continuidad (UNDRR, 2022).

Percepción comunitaria y resiliencia local

El componente cualitativo expone que el conjunto de la población percibe un déficit del apoyo institucional. La información del funcionamiento de la presa, el aviso de inundaciones o las rutas de evacuación es baja o no confiable. Sin embargo, las comunidades han ido creando prácticas de resiliencia informal tales como:

- Redes de comunicación comunitarias en situaciones de lluvia intensa,
- Preparación de refugios temporales e almacenamiento de alimentos dentro de casas elevadas,
- Coordinación veloz en evacuaciones entre vecinos/as de manera especial con familias con personas vulnerables (niños/as, ancianos).

Estas prácticas son, sin duda, una base que ofrece posibilidades de fortalecer estrategias de reducción del riesgo o de resiliencia comunitarias ellas mismas en donde se incorporan grados altos de participación y educación ambiental (Flick, 2022).

Distribución de población en zonas de riesgo

Tipo de riesgo	Población afectada	% sobre total
Alto	5,500	35%
Moderado	8,200	52%
Bajo	2,000	13%

Interpretación: Más del 80% de la población de los alrededores del río Yuna vive en zonas con riesgo medio-alto, evidenciando una necesidad urgente de intervención preventiva.		
--	--	--

Fuente: Datos obtenidos mediante encuestas comunitarias aplicadas en zonas vulnerables, análisis espacial con SIG (mapas de densidad poblacional, uso del suelo y elevación) y registros institucionales del INDRHI, ONE y Ministerio de Medio Ambiente.

Impactos reportados por inundaciones (últimos 5 años)

Impacto	Número de hogares	% del total encuestado
Pérdida de cultivos	420	62%
Daño a Vivienda	300	44%
Desplazamiento temporal	180	27%
Interrupción de servicios	350	52%

Fuente: Datos obtenidos mediante encuestas comunitarias aplicadas en zonas vulnerables, análisis espacial con SIG (mapas de densidad poblacional, uso del suelo y elevación) y registros institucionales del INDRHI, ONE y Ministerio de Medio Ambiente.

Percepción del riesgo

62% han sufrido inundaciones previas.

73% no cuenta con planes de evacuación.

68% considera insuficiente la comunicación de autoridades sobre el riesgo.

Interpretación: La percepción refleja un déficit institucional en prevención y preparación, aunque se observan esfuerzos comunitarios espontáneos de resiliencia.

Relación con operación de la presa de Hatillo

28% de las inundaciones recientes se asociaron a liberación de compuertas.

55% de los encuestados considera que las liberaciones se realizan sin coordinación.

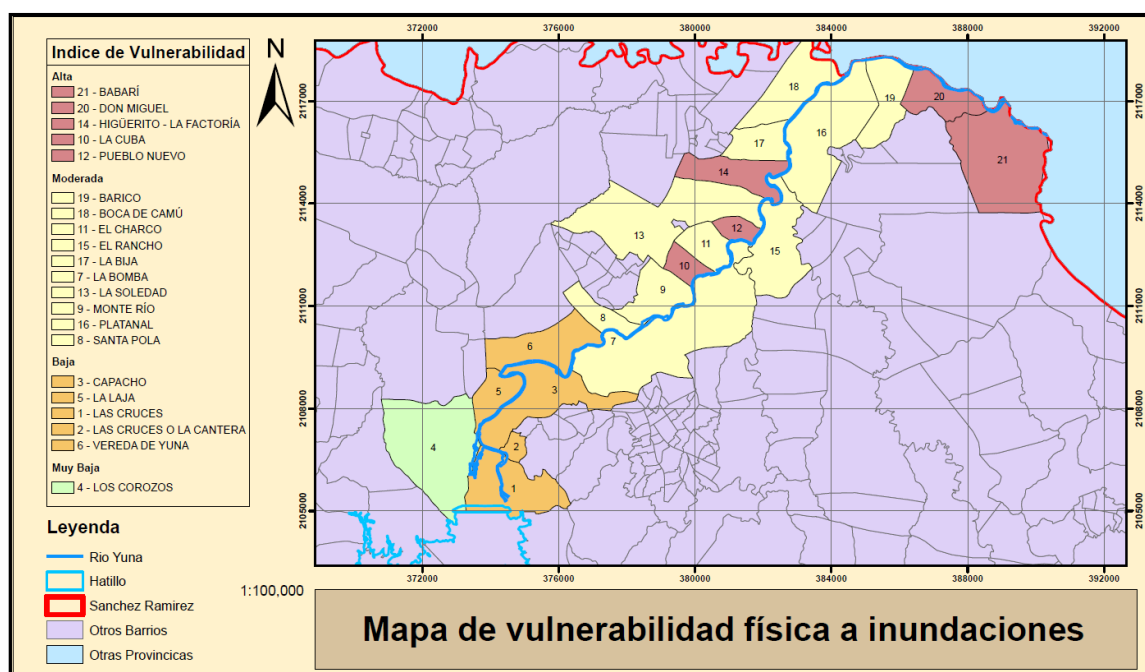
Esto evidencia la importancia de mejorar protocolos de alerta y comunicación.

Síntesis del diagnóstico

Los diagnósticos integrales revelan que la vulnerabilidad por inundación en torno al río Yuna es un fenómeno multifactorial. Los factores físicos (topografía, proximidad al río, erosión), los factores sociales (pobreza, precariedad de la vivienda, falta de educación y de planificación), los factores institucionales (gestión reactiva, falta de comunicación) y los factores de operación (liberaciones de agua de la presa de Hatillo) se conjugan para dar lugar a un riesgo muy elevado y muy recurrente.

Se detectan áreas de alta probabilidad de inundación y con baja capacidad de respuesta. La información recolectada ofrece un marco de referencia sólido del análisis espacial de vulnerabilidad y de la formulación de estrategias de mitigación y prevención, donde infraestructura hidráulica, usos del suelo e involucramiento comunitario se entrelazan.

Mapa No. 5: Mapa de vulnerabilidad física a inundaciones



**Fuente: Rosario Taveras, C.; Tavaréz Aquino, R.; María Sánchez, D. D.;
García Ramos, A. M.; Belén Bautista, R. A. (2026).**

1.2.4 Análisis de los resultados

El diagnóstico sobre la vulnerabilidad a inundaciones existente en el área circundante de la corriente del río Yuna pone de manifiesto que la problemática de las inundaciones es compleja, multidimensional y de carácter recurrente por la interacción de factores físicos, sociales, institucionales y operativos. Desde un punto de vista físico-geográfico el análisis exploratorio de los datos de inundaciones, revela que un 35 % de la provincia de Sánchez Ramírez se encuentra en zonas con alta probabilidad de inundación que se localizan en las áreas más planas situadas entre 60 y 100 metros sobre el nivel del mar.

Estas áreas existen microzonas críticas, como Cotuí-Los Pomos, La Mata-El Pescozón o Fantino-zona baja del canal mayor, que presentan geomorfologías propensas a la acumulación de agua y la formación de charcas y anegamientos durante intensas lluvias. La modelación a partir de pendientes y elevación mediante SIG nos mostró que un 42% de las parcelas residenciales agrícolas están dentro de esta franja de riesgo resaltando el reconocimiento de registros históricos de inundaciones y la forma en que los bajos niveles de elevación, la erosión de los márgenes y la ausencia de vegetación ribereña aumentan la escorrentía superficial mientras que la compactación de los suelos y la práctica agrícola intensiva restringen la capacidad de absorbancia del suelo incrementando así la vulnerabilidad del individuo y la infraestructura (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2021).

El estudio constató que la operación de la presa de Hatillo representa un aspecto regulador, no obstante, es capaz de convertirse en un potencial amplificador del riesgo por inundación. Resultados hallan que aproximadamente un 28% de los eventos de inundación en los últimos cinco años están relacionados con el acto de abrir compuertas en las lluvias extremas lo que afecta a sectores previamente reconocidos como seguros. Un efecto que se ve incrementado por la falta de coordinación y comunicación con las comunidades ladera abajo, lo que aumenta el riesgo social y produce impactos económicos muy importantes como son las pérdidas en cultivos, la afectación de infraestructura menor o la dañada de viviendas.

El propio diagnóstico de la percepción de las comunidades refleja la problemática anterior, ya que más de la mitad de la muestra de encuestados indica que las liberaciones deben ser coordinadas, evidenciándose así que las comunidades o usuarios perciben que se debe contar con protocolos de operación y sistemas de alerta confiables y eficientes (INDRHI, 2020). Desde la perspectiva social y, en definitiva, los resultados muestran que la población padece de altos niveles de vulnerabilidad, tal y como se evidencia en que el 62% de los hogares ha vivido al menos un evento de inundación en los últimos 5 años y el 73% no tiene planes familiares de evacuación.

La vulnerabilidad es más alta en viviendas construidas con materiales livianos y sin cimentación, muchas de ellas incluso sin acceso a agua potable y a electricidad normalizada. La distribución de la población indica que más de 13,700 personas viven en áreas de riesgo medio y alto, lo que representa a más del 80% de la población estudiada. Este hecho muestra que las inundaciones no afectan sólo zonas aisladas, sino que también se ven comprometidas áreas poblacionales que tienen un impacto directo sobre salud, educación, economía y movilidad, así como sobre la posibilidad de la continuidad de servicios básicos (CEPAL, 2021).

El diagnóstico de la infraestructura y de la gestión del riesgo indica desgastes muy preocupantes que aumentan la exposición y disminuyen la capacidad de respuesta desde la comunidad. Los sistemas de drenaje pluvial existentes son insuficientes, con canales obstructivos o mal diseñados que impiden la evacuación eficiente de las aguas pluviales. Del mismo modo, las defensas ribereñas son inadecuadas, pues los caminos, puentes y escuelas se ubican dentro de la franja de inundación. Esto limita la movilidad y la accesibilidad ante emergencias, contribuyendo a aumentar el riesgo. Las entrevistas con las autoridades locales corroboraron que la gestión del riesgo es predominantemente reactiva, esto es, centrada en la asistencia posterior a los eventos y con escasez de recursos que permitan sostener acciones anteriores (UNDRR, 2022).

Esta situación pone de manifiesto la necesidad de reforzar la planificación territorial y la infraestructura hidráulica como elementos centrales de la reducción del riesgo. A pesar de estas limitaciones, la vertiente de análisis cualitativo evidenció que las comunidades han

desarrollado mecanismos informales de resiliencia personal que se demuestran en redes de comunicación cuando hay lluvias intensas, preparación de lugares de refugio temporales, almacenamiento de alimentos en viviendas con estructuras elevadas y coordinación de evacuaciones rápidas entre vecinos, sobre todo con las poblaciones vulnerables como los niños y las personas mayores.

Estas estrategias muestran la existencia de un capital social que puede ser potenciado a partir de programas de educación ambiental y participación comunitaria para afianzar la resiliencia local y la preparación ante los episodios extremos (Flick, 2022). Sin embargo, la percepción de riesgos evidencia un déficit institucional importante, ya que el 68% de los encuestados considera que la comunicación sobre alertas de inundación es insuficiente y el 73% no tiene planes de evacuación familiar, lo que evidencia que hace falta mejorar la comunicación y los mecanismos de información y coordinación entre las autoridades y las comunidades.

La síntesis de los hallazgos permite presentar que la vulnerabilidad a las inundaciones en los alrededores del río Yuna es la resultante de la interacción de un conjunto de factores físicos, como la topografía o la erosión de márgenes, factores sociales como la pobreza o la precariedad de las viviendas, factores institucionales como la gestión reactiva o la comunicación deficiente, y factores operativos como la apertura de compuertas de la presa de Hatillo. La combinación de los factores antes descritos genera un riesgo alto y recurrente que compromete tanto a la población como a la infraestructura crítica. Este pronóstico permite un marco muy potente para trabajar las estrategias de mitigación, combinación de restauración ecológica y fortalecimiento de la infraestructura hidráulica mediante protocolos operativos de alerta temprana y de participación comunitaria y educación ambiental para reducir la exposición y aumentar la resiliencia antes los episodios de inundación.

1.3 Descripción del problema específico a solucionar con el proyecto

Centrado en combatir el problema de la alta vulnerabilidad que presenta el entorno del río Yuna, ubicado en la provincia Sánchez Ramírez, así como la escasa capacidad de

gestión y de mitigación de sus efectos sobre la población y la infraestructura existente en la zona y que tienen que ver, especialmente con la operación de la presa de Hatillo. La información del diagnóstico ha mostrado que en torno al 35% del territorio en esta área se encuentra en zonas con alta probabilidad de inundación. En la mayor parte de las cuales se reparten microzonas que presentan altos niveles de riesgo, tales como Cotuí-Los Pomos, La Mata-El Pescozón y Fantino-zona baja del canal mayor. En el marco del sistema de factores relacionados con su vulnerabilidad, la combinación de baja altitud, pendientes reducidas, erosión de márgenes, compactación de suelos... juega un rol fundamental en la exposición al riesgo.

De igual modo, es palpable que la explotación de la presa de Hatillo puede llegar a incrementar el riesgo de las inundaciones ya que el 28% de los episodios de inundación reportados durante el último lustro están directamente asociados a las liberaciones de compuertas en los episodios de lluvias intensas. La escasez de coordinación y de comunicación efectiva con las comunidades aguas abajo genera importantes impactos sociales y económicos que involucran la pérdida de cultivos, el daño de la vivienda e interrupción de los servicios básicos, mientras que la población afectada carece en un alto grado de planes de evacuación e importancia de las medidas preventivas familiares.

Las condiciones sociales y de infraestructura agravan aún más el problema, dado que las viviendas construidas en los márgenes del río son precarias, con materiales ligeros y sin cimentación; además, la población en riesgo es alta, ya que hay más de 13,700 personas viviendo en zonas con riesgo medio y alto; y los sistemas de drenaje pluvial, las defensas ribereñas y la infraestructura crítica (caminos, puentes y escuelas) no son los adecuados y limitan las respuestas ante eventos extremos.

La gestión del riesgo es, ante la falta de recursos y de protocolos preventivos, predominantemente reactiva, lo que incrementa la exposición y la recurrencia de impactos. Es por ello que el problema objetivo del proyecto que se aborda es que no se presenta un análisis espacial completo que sirva para delimitar las áreas de mayor vulnerabilidad, cuantificar la población en peligro, caracterizar los elementos físicos, sociales y operativos que aumentan el riesgo y establecer un vínculo claro entre la operación de la presa de

Hatillo y los eventos de inundación, obteniendo así información científica que permita la planificación territorial, la construcción de una argumentación para la toma de decisiones y muerte en paz la concepción de estrategias de mitigación y prevención adaptadas a la especificidad de la localidad, lo cual permitirá disminuir la exposición de la población, fomentar la construcción de la resiliencia comunitaria y mejorar la coordinación institucional en la gestión del riesgo.

1.4 Análisis del problema

El problema de la vulnerabilidad frente a las inundaciones que afecta a los alrededores del río Yuna, de la provincia Sánchez Ramírez, es, como se ha dicho anteriormente, multifacético y multicausal, cuya interacción se basa en factores físicos, sociales, institucionales y operativos que van orientando los impactos producidos sobre los habitantes y la infraestructura. En cuanto a la parte física, las áreas bajas y planas que se encuentran en los alrededores del río presentan alta vulnerabilidad a la formación de charcas o incluso de inundaciones durante las lluvias copiosas. La erosión de los márgenes del río, la ausencia de vegetación ribereña y la compactación de los suelos asociadas a la agricultura intensiva, rebajan la capacidad de infiltración y retención de agua, generando una mayor frecuencia y magnitud de las inundaciones (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2021).

Esto pone de manifiesto que los factores geomorfológicos y edáficos se comportan de manera complementaria no sólo determinando la exposición, sino también condicionando la severidad de los impactos. Dentro del contexto social, la vulnerabilidad se expresa mediante la precariedad de las viviendas y la escasez de preparación comunitaria. La mayoría de las casas situadas en las franjas vecinas al río están realizadas en materiales ligeros, no tienen cimentación y presentan escasamente acceso a servicios básicos como agua potable y electricidad fiable.

A su vez, el 73% de las familias no cuenta con planes de evacuación y la percepción sobre el riesgo es escasa a causa de la falta de comunicación de las autoridades. La concentración de más de 13,700 personas en áreas de riesgo medio y alto revela que los

efectos de las inundaciones no son exclusivamente sobre propiedades aisladas, sino que impactan en la salud, la educación, la economía y la movilidad de las personas, aumentando la exposición de grupos vulnerables como los niños, los ancianos y las personas con discapacidad (CEPAL, 2021).

El componente institucional y operativo suma otra variable crítica al problema. La gestión de riesgos en la zona es predominantemente reactiva, centrada en la atención posterior al evento y con escasos medios y estrategias preventivas sostenibles. La operación de la presa de Hatillo es otra variable que añade complejidad al riesgo. El 28% de las recientes inundaciones está relacionado con liberaciones de compuertas en situaciones de lluvias extremas, muchas veces de forma descoordinada o incluso sin informar a las comunidades que se encuentran aguas abajo. Esto no solo se traduce en impactos económicos y en impactos sociales importantes, sino que también pone de manifiesto la ausencia de protocolos y procedimientos de gestión del riesgo, así como también la escasa capacidad de gestión y de tener sistemas de alerta temprana eficientes (INDRHI, 2020).

Por su parte, si bien estas situaciones que generan inundaciones en el medio rural constituyen una limitación, las comunidades han desarrollado mecanismos de resiliencia informales, como el establecimiento de redes de comunicación en situaciones de lluvias intensas, la preparación de refugios temporales y la coordinación para evacuaciones en caso de inundaciones entre las comunidades. Pero son respuestas informales y espontáneas, que en ningún caso sustituyen la necesidad de ir hacia políticas estructurales, planificaciones de espacios y fortalecer la infraestructura existente para reducir el riesgo.

La problemática establecida que vive la región se fundamenta en la interacción de factores naturales y antropogénicos, la concentración de población en los sectores de mayor riesgo y la escasa capacidad institucional para poder gestionar y mitigar el efecto de inundaciones periódicas. Esta situación, pone de manifiesto la necesidad de realizar un análisis espacial para poder identificar cuáles son las zonas más vulnerables, la cuantificación de la población afectada y los impactos de las operaciones de la presa de Hatillo y de sus relaciones con las inundaciones para la generación de una información científica que fundamente una planificación, prevención de inundaciones y fortalecimiento

de la resiliencia de las comunidades. Sin este procedimiento que aporta un conocimiento general sobre estas situaciones, la región se expone a unos eventos recurrentes de inundación que causan impactos sociales, económicos y medioambientales determinantes para el futuro de la región y su sostenibilidad.

1.5 Análisis de objetivos

Un punto fundamental para guiar el desarrollo científico, técnico y operativo de un proyecto como el que se propone en este texto, que está orientado a la ciencia de la vulnerabilidad a las inundaciones y la gestión integral del territorio de la provincia Sánchez Ramírez, es el de establecer los objetivos del trabajo. Los objetivos no solo segmentan el propio alcance de la investigación, sino que estructuran el proceso metodológico y aseguran que los resultados sean aplicables, que sean medidos y que tiendan a resolver la problemática detectada, que combina la situación física, la social y la institucional, así como la operativa de la presa de Hatillo.

El objetivo general que se plantea en el texto -analizar espacialmente la vulnerabilidad a inundaciones en los alrededores del río Yuna y su relación con la operación de la presa de Hatillo, para identificar las zonas de mayor riesgo y para plantear lineamientos en función de la gestión integral del territorio y la reducción del riesgo de desastres- es la aspiración central del proyecto. Este propósito contempla un desafío global, que supone por tanto la caracterización geoespacial de las áreas de riesgo, la evaluación de los factores físicos y sociales que aumentan la vulnerabilidad, y el campo de análisis de la incidencia operativa de la presa de Hatillo.

Su cumplimiento permitirá, no sólo identificar las áreas más vulnerables, sino despertar información estratégica para la planificación territorial y la ejecución de acciones de mitigación y resiliencia adecuadas al contexto local. Desde el punto de vista técnico, llegar a esta meta requiere un enfoque multidisciplinario que entremezcle geografía, hidrología, gestión del riesgo, planificación territorial y análisis social. Para ello la integración del uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y las consideraciones de datos recientes en hidrometeorología permitiría calcular con

efectividad y eficiencia las zonas susceptibles a inundaciones a partir del análisis de variables como altitudes, pendientes, redes hidrográficas y sucesos de lluvias intensas. Simultáneamente, el análisis de factores sociales -tipo de vivienda, densidad de población, acceso a servicios básicos, preparación comunitaria- permite medir la respuesta y la adaptación de la población expuesta ante los fenómenos emergentes, integrando la variable humana en la evaluación de la vulnerabilidad.

La descripción más detallada de los específicos conduce a desglosar el objetivo general en etapas concretas, medibles y complementarias, facilitando así el camino hacia un abordaje sistemático del proyecto:

- Identificación y caracterización de zonas expuestas con SIG y datos de diagnóstico hidrometeorológicos: Este objetivo es fundamental para acotar adecuadamente los espacios de interés y microzonas que tengan consistente probabilidad de inundación. Así la integración de la información geoespacial con la información reciente sobre precipitaciones y caudales nos permite obtener mapas de exposición precisos, que son imprescindibles para priorizar y ayudar a las intervenciones que vayan orientadas hacia las comunidades más vulnerables.

- Evaluación de factores físicos, ambientales y sociales que inciden en la vulnerabilidad: Permite dar cuenta de la interacción de la topografía o logística de los espacios, erosión, compactación de los suelos y tipo de viviendas, servicios básicos, etc., determinando la capacidad de respuesta de la población. Las características de dichas variables son insumos de base que permiten trazar estrategias de mitigación que incorporen medidas estructurales y no estructurales; es decir, una estrategia de mitigación que se sustente en la caracterización de la vulnerabilidad.

- Análisis de la relación entre los fenómenos de inundación y operación de la presa de Hatillo: Reconoce que la presa puede potenciar el riesgo en cualquier fenómeno de lluvias torrenciales y evalúa por ejemplo los patrones de apertura de compuertas, sus efectos más abajo en el río, por un lado pudiendo permitir identificar posibles errores durante la gestión operativa de la presa y por otro lado la elaboración de protocolos de

alerta temprana y normativa de coordinación institucional, permitiendo reducir los impactos de los fenómenos de inundación en la población.

- Elaboración del mapa temático de vulnerabilidad: Este objetivo une las variables físicas, sociales y operativas en un modelo visual, a partir de un mapa temático que permite la lectura de la exposición y capacidad de respuesta local. El conjunto de realizar mapas temáticos es un recurso estratégico para la planificación del territorio, la priorización de acciones de mitigación y la toma de decisiones según la evidencia científica.

- Propuesta de recomendaciones técnicas y estrategias para la gestión del riesgo de inundaciones: Este objetivo asegura la aplicabilidad práctica del proyecto. Las recomendaciones se concentran en la mejora de la resiliencia comunitaria, en la optimización de la infraestructura hidráulica, la mejora de la comunicación institucional y la promoción de la educación ambiental, asegurando que los resultados ofrezcan soluciones para la reducción del riesgo de desastre en la provincia.

Los objetivos se relacionan de forma lógica y sucesiva, de modo que primero se delimita el espacio definido, luego se analizan las condiciones que generan la vulnerabilidad, después se estudia la influencia que ejerce la presa, se materializan los resultados en mapas temáticos y, por último, se plantean estrategias y criterios de la gestión del riesgo. La progresión de esta forma de trabajo permite un contraste estricto de cada uno de sus estados, de modo que el final se presentan resultados sólidos, transferibles y relevantes para la planificación territorial, la prevención de inundaciones y la mejora de la resiliencia local.

El correcto cumplimiento de los objetivos permitirá no sólo la localización de las zonas de riesgo, sino que también el suministro de información científica que apoye la toma de decisiones, la formulación de políticas de prevención y medidas de mitigación integrales. De la misma manera, posibilitará mejorar la coordinación institucional en la operación de la presa de Hatillo, así como promover la participación de las comunidades en la gestión del riesgo, minimizando así los impactos sociales, económicos y ambientales que producen las inundaciones recurrentes.

1.6 Justificación del proyecto

La provincia Sánchez Ramírez, y particularmente las comunidades ubicadas en la proximidad del río Yuna, presentan un problema, una problemática recurrente y compleja: la vulnerabilidad ante inundaciones significativas, de gran envergadura, que impactan en la población, en la infraestructura y en la actividad económica. Un diagnóstico reciente refleja que cerca de un 35% del territorio se encuentra en áreas con alta probabilidad de inundación, y más de un 80% de la población vive en zonas de riesgo medio o alto. La situación se complica con una combinación de diversos factores como, por ejemplo, la baja altitud, las pendientes menores, la erosión de márgenes, la compactación de suelos, la situación precaria de la vivienda, la deficiencia en los servicios de infraestructura hidráulica y las limitaciones de la gestión institucional. En el caso de la presa de Hatillo, los resultados dan cuenta de algunas características necesarias que deben extraerse, dado que la operación de compuertas de la presa durante lluvias intensas puede aumentar el riesgo, ya que en el 28% de los eventos de inundación de los cinco años anteriores las compuertas han sido asociadas a estas situaciones. Por otro lado, esta combinación de factores hace necesaria una forma de aproximar que sea científica, sistemática, y espacialmente de detalle.

La justificación científica del proyecto radica en su necesidad de contar con una forma de aproximación que debe ser elaborada y que necesita información geoespacial actualizada y precisa en lo que respecta a la vulnerabilidad a las inundaciones, con inclusión de variables físicas, de la condición ambiental y de las variables sociales operativas. La elaboración de mapas temáticos y modelos de vulnerabilidad permitirá identificar de forma certera las zonas críticas, determinar el volumen de la población expuesta y estudiar la relación entre las inundaciones ocurridas e intervenir en la gestión de la presa de Hatillo. Estas temáticas constituyen un insumo primordial para la planificación del territorio, la gestión del riesgo y la toma de decisiones fundamentadas en la evidencia, participando así de forma notoria el conocimiento científico que ha llegado a ser limitado y en ocasiones fragmentado en la región.

Desde la óptica social y comunitaria el proyecto es justificable por el impacto esperado respecto a la reducción de la exposición, así como el refuerzo de la resiliencia de

las comunidades. La mayoría de las viviendas en zonas de riesgo tiene condiciones constructivas deficientes, careciendo de planes de evacuación o de medidas preventivas. La investigación generará lineamientos para la educación y preparación ante emergencias, la comunicación institucional y la adaptación a partir de la participación de las comunidades para la respuesta ante los eventos extremos, así como la protección de las vidas o los bienes de la población.

En cuanto a lo institucional y operativo, la investigación también tiene un gran valor estratégico, ya que analiza el efecto de la operación de la presa de Hatillo sobre los eventos de inundación, identifica fallas en los protocolos de liberación de agua y propone mecanismos más eficaces de coordinación comunicación y alerta temprana. La implementación de este enfoque integrador es muy importante para las autoridades locales, regionales y nacionales para poner en marcha la gestión del recurso hídrico, prevenir desastres y reducir las repercusiones económicas que causan las inundaciones, tales como producción de cultivos, infraestructura, movilidad y servicios imprescindibles. Además de lo anterior, el proyecto tiene una justificación técnica y metodológica aplicando herramientas avanzadas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), análisis hidrometeorológico, evaluación socioambiental, los enfoques cuantitativos y cualitativos en un marco que persigue la comprensión de la vulnerabilidad de manera holística, siendo la combinación metodológica la que permite generar resultados robustos, replicables y aplicables en el ámbito de la planificación del territorio, gestión de riesgos y políticas públicas orientadas hacia la prevención de desastres y a su mitigación.

La importancia del proyecto es mucho mayor que el caso local en el que se desarrolla, la región del río Yuna y la operación de la presa de Hatillo son ejemplos representativos en la interacción entre la infraestructura hídrica, la vulnerabilidad social y el riesgo natural en entornos tropicales, favoreciendo que los capítulos de resultados y de metodología se constituyan en referencia para estudios similares que puedan llevarse a cabo en otras cuencas hidrográficas del país y de la región del Caribe. La investigación, por tanto, alimenta el conocimiento del ámbito científico, la toma de decisiones estratégicas, la resiliencia comunitaria, al aportar soluciones prácticas y sostenibles a las inundaciones que suelen producirse.

La justificación del proyecto descansa en su capacidad de generar conocimiento científico y técnico integral, de orientar políticas públicas y estrategias de mitigación, de fortalecer la resiliencia social e institucional, abordando adecuadamente la vulnerabilidad de inundaciones en el sector del río Yuna y atender la de la operación de dicho recurso hídrico artificial.

1.7 Análisis de involucrados

Actor / Involucrado	Interés en el Proyecto	Nivel de Influencia	Nivel de Interés	Posición Esperada	Rol Potencial
Comunidad local (habitantes de zonas de riesgo alto y medio)	Protección de su vida, bienes, cultivos y acceso a servicios; preparación ante emergencias	Medio	Alto	A favor; demandan acciones de prevención y mitigación	Participación activa en planificación de medidas de resiliencia, alertas comunitarias y cooperación en la implementación de protocolos de evacuación
Municipio / Ayuntamiento de Sánchez Ramírez	Reducción de impactos en infraestructura urbana, seguridad de la población, cumplimiento de normativas locales	Alto	Alto	A favor; interés en cumplir responsabilidades de gestión de riesgos	Coordinación en planificación territorial, ejecución de medidas preventivas y apoyo logístico a comunidades
INDRHI (Instituto Nacional de Recursos Hídricos)	Optimizar operación de la presa de Hatillo, evitar desbordamientos y daños aguas abajo	Alto	Medio-Alto	Condicional; interés en gestión eficiente del agua, pero puede priorizar operación hídrica sobre impacto social	Suministro de información hidrológica, ajuste de protocolos de operación, participación en planificación

					de alertas y mitigación
Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales	Conservación de cuencas, prevención de daños ambientales, cumplimiento de políticas nacionales de gestión de riesgos	Alto	Medio	A favor; promueve políticas de prevención y ordenamiento territorial	Regulación ambiental, supervisión de uso de suelo, apoyo técnico para restauración de márgenes ribereños y control de erosión
Escuelas y centros educativos de zonas afectadas	Garantizar seguridad de estudiantes, continuidad educativa ante inundaciones	Medio	Medio	A favor; interesados en minimizar interrupciones educativas	Facilitar planes de evacuación, educación en gestión de riesgos y participación en simulacros comunitarios
Organizaciones comunitarias y ONG locales	Reducción de riesgos, fortalecimiento de la resiliencia, educación ambiental	Medio	Alto	A favor; actúan como mediadores y promotores de proyectos preventivos	Capacitación comunitaria, difusión de alertas, apoyo en logística de refugios temporales y coordinación con autoridades
Empresas agrícolas y productores locales	Protección de cultivos, infraestructura productiva y continuidad de actividades económicas	Medio	Medio	Posiblemente a favor; buscan minimizar pérdidas económicas	Participación en planificación de medidas de protección de tierras y cultivos, cooperación en gestión de alertas tempranas
Ministerio de Educación	Seguridad de la infraestructura	Medio	Medio	A favor; interesado en	Apoyo en programas de sensibilización

	educativa, continuidad del proceso educativo			planes de contingencia	en escuelas y coordinación de protocolos de emergencia
Medios de comunicación locales	Difusión de alertas, educación sobre riesgos, interés público	Medio	Medio-Alto	A favor; buscan informar a la población	Difusión de información de riesgo, apoyo en comunicación de emergencias y campañas educativas
Gobierno central / Presidencia de la República	Reducción de pérdidas humanas y económicas, cumplimiento de políticas nacionales de gestión de riesgos	Alto	Medio	A favor; interés en coordinación nacional y asignación de recursos	Apoyo financiero, implementación de políticas de gestión de riesgo, coordinación interinstitucional y supervisión de planes preventivos

Nivel de Influencia: capacidad para condicionar la marcha del proyecto (Alto / Medio / Bajo).

Nivel de Interés: grado de afectación o beneficio directo.

Posición Esperada: actitud previsible frente al proyecto.

Rol Potencial: función que puede desempeñar en la ejecución y sostenibilidad.

CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

Recientemente, se efectuó un amplio análisis, llevado a cabo por Gómez Valenzuela, Bonilla-Duarte, Ramírez, Caballero González y Pou Espina (2024), de las dinámicas de uso del suelo y los servicios ecosistémicos en la cuenca del río Yuna; su intención de investigar la percepción de las relaciones entre las transformaciones territoriales y su relación a la capacidad de la cuenca para la provisión de servicios ecosistémicos de importancia esencial. Con este enfoque, el trabajo mezcla el análisis temporal de imágenes por satélites, el análisis de coberturas vegetales y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la cartografía de la evolución del uso del suelo. Dentro de sus conclusiones finales, los autores oscilan en las relaciones entre el avance del uso agrícola y urbano, la resiliencia ecológica de la cuenca, la capacidad de absorción del agua y la vulnerabilidad a las inundaciones, así como la urgencia de elaborar políticas de adaptabilidad a partir de normas de sostenibilidad del territorio.

En cuanto a la presa de Hatillo, Tami, Corzo y Pérez (2025) implementaron en la operación de la infraestructura hídrica, modelos de optimización multiobjetivo aplicando aprendizaje automático que permitieron disminuir el riesgo de inundación. La meta general de su investigación era optimizar la gestión del almacenamiento y liberación de agua utilizando criterios de la seguridad de la población aguas abajo y el aprovisionamiento de esta misma población. La metodología se sustentó en la simulación de escenarios hidrológicos y algoritmos de aprendizaje automático para balancear criterios opuestos. Los resultados son evidentes y sugieren que el ajuste de operativas de la presa podría descender la exposición que el entorno tiene ante inundaciones, lo que muestra la utilidad de métodos computacionales avanzados para el afrontar la gestión del riesgo hídrico de una forma oportuna.

En Corea, Jun, Kang, Hwang, Park y Song (2020), desarrollaron un índice de vulnerabilidad a las inundaciones (FVI) para priorizar la rehabilitación de los embalses no monitorizados en condiciones de cambio climático. Se evaluó la vulnerabilidad relativa de múltiples embalses con el fin de establecer ciertos criterios a los que someter las

intervenciones estratégicas. El trabajo requirió recopilar datos hidrológicos y geomorfológicos; la elaboración del índice integra distintas formas de evaluar las condiciones de los embalses y una comparación cuantitativa de embalses con los datos facilitados por el índice. Los resultados mostraron que los embalses con mayor índice FVI mostraban problemas críticos de desbordamiento durante intensas lluvias, siendo por lo tanto una herramienta útil para una mejor planificación de medidas preventivas relacionadas con las infraestructuras hidráulicas vulnerables.

En Bangladesh, Nahin et al. (2023), evaluaron la vulnerabilidad a inundaciones de la llanura de inundación del río Jamuna, utilizando indicadores tanto físicos como sociales. El foco de atención fue la ubicación de las zonas más vulnerables y la propuesta de estrategias de mitigación. La metodología adoptada fue muy interesante ya que combinó el análisis de variables hidrometeorológicas (precipitación, pendiente, densidad de drenaje) y las variables socioeconómicas (densidad poblacional, acceso a servicios). Los resultados de su estudio mostraron que las áreas próximas a los cauces principales y las que presentaban menor capacidad de adaptación a la vulnerabilidad se encontraban en niveles extremos, poniendo de manifiesto la necesidad de realizar intervenciones de manera conjunta tanto la dimensión física como la social del riesgo.

En el trabajo de Bigi et al. (2021), se realizó un estudio de revisión bibliográfica sobre el análisis de vulnerabilidad a inundaciones en contextos urbanos, con el objetivo de sistematizar, en función de estudios previos, indicadores de exposición, sensibilidad y de capacidad adaptativa. Este trabajo revisó más de 50 estudios de casos internacionales para obtener una lista de subindicadores que se utilizan mayormente en la literatura científica de los autores que revisaron. Su metodología consiste en clasificar, comparar y evaluar el grado de adecuación de cada indicador en el análisis del riesgo urbano. Como consecuencia de ello, los autores concluyeron que un conjunto de hasta 33 subindicadores permite llevar a cabo evaluaciones mucho más precisas de vulnerabilidad y, por ende, gestionar la priorización de áreas críticas y establecer la planificación de las intervenciones urbanas resilientes.

Reynoso Vanderhorst (2024) realizó una investigación sobre la gestión de inundaciones anormales y sus efectos sobre las comunidades vulnerables. El objetivo de la investigación fue el de tratar de identificar los desafíos, las soluciones y las lecciones aprendidas para tratar de incrementar la resiliencia ante eventos extremos. Para este propósito, la investigación utilizó análisis de eventos recientes, revisión de la política institucional e informantes clave. Los principales hallazgos dejan claro la falta de coordinación interinstitucional y la necesidad de incrementar las capacidades locales, haciendo énfasis en algunas propuestas de medidas de preparación y mitigación basado en la definición de la comunidad y la planificación integrada del territorio.

En África, Tiepolo et al. (2025) llevaron a cabo un trabajo de mapeo del riesgo de inundación a lo largo del río Níger con un enfoque en la inclusión de ciencia ciudadana con la hidrología, la geomática y la planificación espacial. La primacía del objetivo consiste en proporcionar mapas de riesgo elaborados y contrastados con conocimientos locales existentes. Para cada uno de los mapas de la exposición al riesgo y la susceptibilidad al daño, se aplicó una metodología de trabajo que combinó la encuesta comunitaria, la recogida de datos hidrológicos y el modelaje a partir de SIG. Los resultados confirmaron que la coordinación e integración entre los propios técnicos y la gente del lugar mejoran la exactitud, evidencia concreta que favorece la posibilidad de intervención.

En el trabajo llevado a cabo en Nigeria, Wekpe (2024) evaluó la vulnerabilidad de las comunidades urbanizadas de las cuencas en el sur de Nigeria, prestando especial atención a aquellas zonas críticas que eran repetidamente inundadas. Tomando como objetivo identificar y priorizar zonas en donde la urbanización incrementaba el riesgo de inundación, este investigador empleó una metodología de trabajo con análisis topográficos, inspección de campo y encuestas sociales, los resultados indicaron que la urbanización no planificada incrementa la vulnerabilidad, recomendando estrategias de gestión adaptativa en la planificación urbana y el drenaje.

Islam et al. en Bangladesh, en asentamientos informales, evaluaron la vulnerabilidad a inundaciones del delta del Ganges. En este caso y en función de los recursos disponibles los autores tomaron como metodología suficiencia del riesgo aquellos

indicadores que conllevan las características de los asentamientos y la propia gestión del riesgo, priorizando aquel que se refiera al ajuste o adaptación de las comunidades a la propia inundación. (2024) marcaron las características de la vulnerabilidad a inundaciones por la infraestructura precaria, la densidad poblacional y las limitaciones en los servicios básicos. Su propósito fue buscar áreas de elevada exposición a inundaciones y baja capacidad de adoptar medidas frente a esta. Para ello, fueron aplicados SIG y análisis de indicadores de tipo socioeconómico y físico, para la elaboración de mapas de vulnerabilidad. Los resultados a los que se llegó muestran que una gran parte de las comunidades carecen de planes de evacuación y de estructuras duraderas, lo cual evidencia la necesidad de adoptar medidas preventivas y de diseñar políticas de desarrollo urbano resilientes.

En China, Zhang et al. (2025) formularon un marco evaluativo de vulnerabilidad a inundaciones, finalmente basado en los componentes de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptar las situaciones. El propósito no era otro que aplicar este marco para nueve ciudades de cuencas fluviales. La metodología, por su parte, integraba datos de uso del suelo, de población, de infraestructura y de capacidad institucional mediante SIG con análisis multicriterio. Los resultados sugirieron que las ciudades que experimentan una alta exposición y baja adaptación presentan una situación en la cual será necesario llevar a cabo una intervención priorizada, y así se demuestra la utilidad del esquema ESA para la planificación estratégica de reducción de riesgos.

En la actualidad, Damais (2023) a partir del Proyecto de Plan de Manejo de Cuenca del Río Yuna del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI) trató de contribuir a la seguridad alimentaria y a la resiliencia del cambio climático de la cuenca del río Yuna. El mismo consistió en un diagnóstico de la cuenca, un fortalecimiento de la gobernanza, un desarrollo de infraestructuras de riego y drenaje y dotaciones de prácticas resilientes. Los resultados apuntaron a zonas críticas que resultaban afectadas por inundaciones recurrentes, llegando a sugerir medidas estratégicas de mejora de la gestión del recurso hídrico y a la reducción de riesgos de eventos extremos, indicando que aún es necesaria una forma de integración entre la infraestructura en sí, el ordenamiento territorial y la implicación comunitaria.

En el contexto de las políticas públicas, el Gobierno de la República Dominicana (2023) llevó a cabo un Plan de Manejo de la Cuenca del Yuna, a partir de la Presidencia de la República y del INDRHI [Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos], para la gestionar sosteniblemente el recurso hídrico. En la metodología se consideraron la construcción, adecuación y mantenimiento de obras de riego y drenaje con cierta preferencia hacia la adaptación al cambio climático. Los resultados reflejaron las formas en las que más de 70,000 personas (13,000 productores agropecuarios) se verían beneficiadas directamente en términos de resiliencia ante inundaciones y optimización de la disponibilidad de agua para hacer frente a la producción.

El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2022), en su análisis del Mapeo de Zonas Bajo Amenazas a Inundaciones de la Cuenca Yuna-Camú, se propuso determinar la extensión espacial de las zonas más vulnerables a inundaciones. Para ello se empleó herramientas del Sistema de Información Geográfica (SIG) y técnicas de análisis cartográfico para determinar el espacio de las zonas de mayor riesgo. Se observó que las tierras bajas o llanuras de la cuenca son más vulnerables a desbordes, por lo que se plantean estrategias de mitigación y reforzamiento de la resiliencia comunitaria.

El Gobierno de la República Dominicana (2024) propuso el proyecto De la Loma a la Bahía, el cual tenía por finalidad restaurar y proteger el río Yuna. Este proyecto preveía la puesta en marcha de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) prácticas climáticamente inteligentes con vistas a la conservación de los ecosistemas estratégicos. Los hallazgos críticos afirmaban que las SBN y prácticas climáticamente inteligentes propuestas para el proyecto De la Loma a la Bahía contribuirían de manera significativa a la resiliencia de los ecosistemas clave y de las comunidades frente a eventos climáticos extremos, garantizando sostenibilidad hídrica y ambiental.

En la misma línea, la Presidencia de la República Dominicana (2025) propuso proyectos de infraestructura hídrica para mejorar el riego y reducir riesgos de inundaciones en la cuenca. La metodología incluía consultas comunitarias y la ejecución de obras estratégicas que priorizaban comunidades más vulnerables como, por ejemplo: La Reforma, Arenoso y Las Coles. Los principales hallazgos defendían que la mejora de la

infraestructura hídrica contribuiría de manera significativa a la disminución de la exposición a eventos extremos, garantizando la sostenibilidad del acceso al agua de calidad y la protección de la agricultura y viviendas locales.

Asimismo, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2022) elaboró un Informe Técnico acerca de Evaluaciones de Riesgo de Inundaciones y Deslizamientos en Cuencas Primarias, con especial énfasis en la cuenca del río Yuna. Para lograr su objetivo, que era identificar áreas de alta vulnerabilidad para generar planes de mitigación y adaptación, la metodología utilizada mezcló el análisis de datos históricos y la modelación de riesgos, identificando utilizando esta forma de combinación de métodos, sectores que son críticos y requieren intervención urgente, lo cual pone en evidencia la necesidad de integrar análisis hidrológicos con planificación del uso del territorio y la gestión del riesgo.

En el marco de las inundaciones de noviembre del año 2023, el Gobierno de la República Dominicana (2023) registró los efectos de las inundaciones para la cuenca del río Yuna realizando un análisis de daños directos e indirectos. Se registraron los datos de campo y se realizaron diferentes entrevistas a las personas afectadas. Los hallazgos permitieron identificar de forma fehaciente que la agricultura y las viviendas sufrieron un alto grado de afectación. Los hallazgos del campo demostraron que la infraestructura existente y la capacidad de respuesta institucional ante eventos extremos son insuficientes, de lo que se concluye que debemos contar con planes de prevención y mitigación más eficaces.

El Análisis de Riesgos de Desastres y Vulnerabilidades en la República Dominicana (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2022) se ocupó de la evaluación de la exposición y la vulnerabilidad de una serie de regiones, entre las que se incluye la cuenca del río Yuna. La metodología contenía una mezcla de una serie de componentes como el análisis geográfico y la evaluación de las capacidades locales. Los resultados pusieron de manifiesto que las áreas con una mayor exposición coincidían con asentamientos poblacionales importantes, lo que subraya la situación de urgencia por hacer

uso de estrategias integradas en gestión del riesgo y en planificación territorial que puedan reducir la vulnerabilidad física y social.

En el aspecto tecnológico-informático se trabajó en el CATASTROAGRI el cual es una aplicación informática interactiva de análisis de seguros agrícolas catastróficos, la finalidad fue poder visualizar los datos e identificar patrones de riesgos agrícolas. La metodología llevada a cabo fue la de integrar los datos históricos de precipitaciones, de inundaciones y de pérdidas agrícolas en una plataforma digital. Los resultados obtenidos dieron cuenta de que esta herramienta permite la toma de decisiones en gestión de riesgos y en la planificación de seguros agrícolas para la resiliencia del sector productivo ante eventos climáticos extremos.

Un informe de El Nuevo Diario (2023) si bien mantiene su carácter periodístico, da cuenta del desbordamiento del río Yuna en Villa Riva y en sus comunidades cercanas, los daños ocasionados a las viviendas y cultivos en las zonas inundadas. La metodología fue la de tipo descriptivo, observaciones de campo y entrevistas a pobladores locales. Los resultados manifestaron que la frecuencia y la intensidad de la inundación han aumentado a lo largo de los años, lo cual se suma a la necesidad de que existan medidas preventivas adecuadas y de la articulación entre las autoridades, la población y los organismos de gestión del riesgo para reducir los impactos de las inundaciones.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Introducción

A continuación, se presenta el marco teórico que sustenta esta investigación, para los fines se han utilizado autores de gran reconocimiento quebré el tema.

2.2.2 Conceptos fundamentales

Vulnerabilidad a inundaciones

La vulnerabilidad a inundaciones es una noción multidimensional que hace referencia al grado en que una población, infraestructura o ecosistema puede verse

negativamente afectado como consecuencia de la ocurrencia de situaciones hidrometeorológicas extremas. La vulnerabilidad, tal como la conciben Delgado et al. (2021), se configura como la confluencia de factores físicos, sociales, económicos y medioambientales que determinan la susceptibilidad de un territorio a sufrir daños. En el caso de las inundaciones, dicha vulnerabilidad no solamente depende de la intensidad del evento, sino de las condiciones del entorno y locales de dicha capacidad para resistir y recuperarse del impacto.

Desde la vertiente social, la vulnerabilidad está asociada a las condiciones de pobreza, educación, salud, densidad poblacional y acceso a servicios básicos que determinan las capacidades de respuesta a las emergencias (Mora & Quiroz, 2022). Comunidades con bajos niveles de organización social, o con escaso acceso a la información y recursos, tienden a ser más frágiles, ya que carecen de las herramientas para poner en marcha las medidas preventivas y de adaptación. Respecto a la vulnerabilidad física, ésta guarda relación con el lugar geográfico en el que se encuentran los asentamientos, tipo de infraestructura y características del mismo terreno, factores que determinan el grado de exposición directa al mismo riesgo de inundación (Rodríguez et al., 2023). Ya, por último, la vulnerabilidad económica está ligada a la dependencia por parte de las actividades productivas susceptibles de ser interrumpidas por inundaciones, del tipo de la agricultura, la ganadería o el comercio informal, lo que pueden dar lugar a agravar los impactos en la medida de que afectan a los ingresos y medios de vida a nivel local (Castillo & Navarro, 2024).

El diagnóstico de la vulnerabilidad y el riesgo se ha nutrido de variados modelos conceptuales que pretenden dar cuenta de la interacción entre los factores que determina la medida en que las consecuencias de un daño, ante unas posibles inundaciones. El modelo tridimensional: exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación es uno de los paradigmas más comunes. La exposición entiende en qué medida las personas, infraestructuras o ecosistemas están situados en áreas de inundación, la sensibilidad hace referencia a las características intrínsecas del sistema que lo convierten en un blanco accesible al impacto y, por último, la capacidad de adaptación es la habilidad de respuesta y/o mitigación ante el evento y recuperación posterior a este. Este modelo permite

operacionalizar la vulnerabilidad de las personas, la infraestructura o los ecosistemas mediante indicadores cuantitativos y cualitativos que integran factores biofísicos y factores socioeconómicos, y en el caso concreto de los estudios de inundaciones, el análisis espacial basado en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se ha convertido en un recurso fundamental para identificar áreas de riesgo e información sobre la exposición, la sensibilidad y la capacidad adaptativa (ej. García et al., 2023). Tal enfoque ayuda a la planificación del territorio, a la elaboración de la respuesta, dado que priorizando las intervenciones hacia los de mayor riesgo.

En trabajos recientes se ha empleado los indicadores de vulnerabilidad para la integración de diversas dimensiones de riesgo, así como de la representación espacial de la vulnerabilidad de las mismas. A nivel internacional los indicadores más referidos son: la altitud, la inclinación, la distancia a los cauces, el tipo de uso de la tierra, la densidad de población, los ingresos por hogar, el acceso a servicios básicos, la calidad de la vivienda y la capacidad institucional (López & Serrano, 2024). Estos factores por ser operativizados a través de los modelos multivariados o índices compuestos, hacen posible generar gradientes de vulnerabilidad y dirigir las estrategias de mitigación.

Dentro del contexto dominicano y caribeño, se han trabajado indicadores análogos, pero vinculados a las características socio-ambientales. Ejemplo de ello Jiménez et al. (2023) evalúan un índice de vulnerabilidad socioambiental de cuencas fluviales de la República Dominicana que incluye, por un lado, la exposición a crecidas, el nivel de pobreza y el acceso a infraestructura sanitaria. Estos indicadores tanto miden el riesgo como evidencian desigualdades estructurales y déficits en la gestión del territorio. Así, la combinación de indicadores en modelos de análisis espacial constituye una herramienta esencial para la elaboración de la política centrada en la reducción de la vulnerabilidad y la resiliencia del propio territorio (Silva y Torres, 2022).

2.2.3 Riesgo y gestión del riesgo de desastres

El riesgo de desastres es la probabilidad de que un fenómeno peligroso cause daños a las personas, los bienes, los servicios y el medio ambiente a causa de la interacción entre

fenómenos peligrosos -de origen natural o antropogénico- y condiciones previas de vulnerabilidad. Para la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, 2023), el riesgo de desastre se compone de tres elementos centrales: la amenaza, la exposición y la vulnerabilidad, que determinarán el nivel de pérdidas esperadas ante un evento extremo. En este sentido, el riesgo no es simplemente el resultado de fenómenos naturales inevitable, sino el correspondiente a las decisiones humanas que incrementan la exposición y aminoran las capacidades de adaptación de los sistemas sociales en riesgo.

A su vez, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2022) sostiene que el riesgo de desastre se puede comprender como un proceso dinámico, asociado a los modelos de desarrollo, la desigualdad social y el uso del territorio. Desde esa lógica, los desastres no conforman eventos aislados, sino una expresión de vulnerabilidades estructurales en contextos de pobreza, deficiencia institucional y degradación ambiental. Por ello, la gestión del riesgo exige que las políticas públicas vean en el binomio la planificación del territorio y la protección del medioambiente una convergencia armónica y en el tiempo (CEPAL, 2022).

Dentro del enfoque de gestión integral del riesgo de desastres, los conceptos de prevención, mitigación y resiliencia son claves para las estrategias de reducción de los impactos. La prevención persigue detener la generación de nuevas condiciones de riesgo mediante la regulación del uso del suelo, la planificación urbana y el desarrollo de medidas estructurales o no estructurales de manera anterior al acontecimiento (Rojas & Medina, 2023) como, por ejemplo, las franjas de protección ribereña o la restricción de la construcción en zonas inundables.

La mitigación, por su parte, intenta acotar los efectos de los desastres cuando ya se ha generado el riesgo. Este tipo de intervenciones persiguen disminuir la exposición a la amenaza o la propia vulnerabilidad, a través de la realización de infraestructuras hidrográficas, sistemas de drenaje de aguas pluviales o programas de educación ambiental comunitaria (Paredes et al., 2021). Por último, la resiliencia es aquella característica de una comunidad o ecosistema que le permite resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de

manera óptima tras el doloroso impacto de un evento adverso (Sánchez & Molina, 2023). Todo ello implica un cambio de enfoque en la gestión del riesgo al entender que, además de evitar que se produzcan las pérdidas, los esfuerzos deben centrar sus objetivos en el fortalecimiento de las capacidades adaptativas y el aprendizaje social.

La gestión del riesgo de inundaciones en riberas y cuencas fluviales implica poner en marcha todas las intervenciones que integren la estructura, el medio ambiente y los aspectos sociales; la ecología de riberas a través de la restauración ecológica es una de las pocas que ha demostrado su efectividad en la recuperación de la capacidad de absorción de los suelos y del tiempo de fluencia del aporte hídrico en el momento cuando pueda ocurrir la crecida (Gutiérrez et al., 2022). De igual modo, las zonas de amortiguamiento o corredores fluviales limitan el desarrollo en las áreas de riesgo y promueven la conservación de los ecosistemas acuáticos.

Otro problema poderosamente ventajoso, y propuesto como solución, es el uso de los sistemas de información geográfica (SIG) y la modelación hidrológica para identificar las zonas vulnerables y priorizar las acciones de prevención (Ruiz et al., 2024), lo que ayuda a la toma de decisiones basándose en la prueba empírica de la relación entre el fenómeno y la ocupación del suelo, especialmente en contextos en los que el crecimiento de la ciudad ha invadido zonas inundables. A su vez que se reitera la educación ambiental y la participación comunitaria como fundamentales para la gestión local del riesgo participativa, a través del fortalecimiento de la apropiación de las acciones de autoprotección y de la elaboración de redes de respuesta ante emergencias (Núñez & Cabrera, 2023). En general, estas estrategias permiten avanzar hacia la gestión sostenible y resiliente de las cuencas, que garantice un equilibrio entre las necesidades humanas y la dinámica natural de los ríos.

2.2.4 Cuencas hidrográficas y dinámica fluvial

La cuenca hidrográfica del río Yuna se caracteriza por ser una de las cuencas más grandes y complejas de la República Dominicana. La diversidad geomorfológica de la cuenca tiene una influencia directa sobre la hidrología y la ecología de la misma. De

acuerdo con Batista et al. (2022), la cuenca del río Yuna tiene un relieve que va desde montañas en la parte alta de la cuenca (está situada dentro de la Cordillera Central) hasta llanuras aluviales en la desembocadura hacia la bahía de Samaná, donde existe una gran heterogeneidad en pendiente, en infiltración y en la dinámica de flujo. Este relieve resulta en la rápida generación de influencias hidrológicas como la respuesta a eventos de precipitación intensa, lo que incrementa las posibilidades de inundaciones en los sectores bajos del valle del Yuna.

Desde el punto de vista hidrológico, el régimen del río Yuna está determinado también por la estacionalidad del clima del país, que lleva a una concentración de las lluvias desde mayo hasta noviembre. Estudiosos recientes indican que el rendimiento medio anual del río Yuna ha cambiado como resultado de la deforestación de las partes altas y también por el manejo de la presa de Hatillo (López et al., 2023). Para el uso del suelo, la cuenca ha llegado a estar sujeta desde hace años a un proceso de transformación que ha sido impulsado por la expansión agrícola y urbana, sobre todo en los municipios de Bonao, Maimón y Cotuí. El uso del suelo se ha desarrollado en detrimento de la cobertura boscosa y ha incrementado la impermeabilización del terreno, lo cual afecta al balance hídrico y la regulación natural de los ecosistemas (Ramírez y Castillo, 2024).

La erosión, la sedimentación y la escorrentía superficial constituyen los principales procesos de la dinámica fluvial, ya que son los que recogen el equilibrio o el desequilibrio ambiental y las actividades humanas en una cuenca. La erosión hídrica, que se ve favorecida por la tala y la agricultura inadecuada, arrastra partículas del suelo hacia los cauces generando sedimentación en los tramos medios y bajos del río (Santos et al., 2021). Este tipo de sedimentación no solo disminuye la capacidad hidráulica del cauce, sino que también impacta en la calidad del agua y en la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos.

Por otro lado, el fenómeno de la escorrentía superficial se incrementa en espacios donde el suelo presenta compactación o ha perdido su cobertura vegetal, reduciendo la infiltración y aumentando la velocidad de la escorrentía. Investigaciones orientadas a cuencas tropicales han mostrado que incluso con una modificación en el uso del suelo se pueden aumentar hasta un 40 % la escorrentía superficial, acrecentando de este modo el

riesgo de inundaciones (Mendoza & Ortega, 2022). Estos procesos interdependientes demuestran la importancia de establecer un manejo integral de cuencas orientado a la conservación del suelo, la reforestación y la planificación del uso del suelo.

La infraestructura hidráulica y en particular las obras de presa, impactan de manera pronunciada la dinámica natural de los ríos, ya que altera los patrones de escurrimiento, sedimentación y conectividad ecológica. En el caso de la cuenca del río Yuna, la presa de Hatillo, inaugurada en 1984, se erige como la obra hidráulica más importante del país, construida con el objetivo de controlar inundaciones, regular la producción de energía eléctrica y abastecer de agua de riego. Ahora bien, estudios recientes indican que la regulación del caudal por medio de esta presa ha modificado el régimen de la serie de caudales naturales aguas abajo pues ha modificado el ciclo del pulso de crecida y ha disminuido el transporte de sedimentos hacia el valle (Ceballos et al., 2023).

La retención de los sedimentos en el embalse ha desencadenado la aparición de procesos de colmatación que acortan la esperanza de vida del sistema y hacen cambiar la morfología fluvial (Gómez & Herrera, 2024). A la vez, la disminución del transporte sedimentario ha variado la estabilidad de los cauces secundarios y ha incrementado la erosión lateral, hecho que incide en la fertilidad de las llanuras de cultivo. Todo ello constituye únicamente el sustrato de las implicaciones ecológicas que se producen a partir de la fragmentación del hábitat y las alteraciones en la temperatura y en la calidad de agua. Por todo ello, se hace necesaria una fuerte intensificación del monitoreo hidro sedimentológico en la cuenca y la implementación de una gestión adaptativa del embalse que compatibilice los intereses económicos con la conservación ambiental.

2.3 Herramientas de análisis espacial en estudios de inundaciones

El análisis espacial es un elemento clave para evaluar el riesgo y la vulnerabilidad a inundaciones, al igual que es necesario entender la relación espacial de los componentes que tienen lugar en su desencadenamiento y su avance como inundaciones. Las herramientas de análisis espacial, en gran medida los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y las técnicas de teledetección han cambiado el estado de los estudios hidrológicos

con frecuencia por que llevan consigo la posibilidad de comprender volúmenes importantes de datos ambientales, sociales y climáticos para modelar en modelos de simulación y mapas temáticos de riesgo (Benítez et al. 2021).

Estas herramientas hacen posible identificar las zonas con mayor nivel de exposición, predecir las posibles consecuencias en caso de riadas o hacer frente y contrastar los procesos de inhibición del riesgo mediante medidas de este tipo. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas que permiten combinar capas de información geográfica como la pendiente, el tipo de suelo, el uso del suelo, la densidad de la población o la distancia a los cauces, para elaborar índices de vulnerabilidad o mapas de susceptibilidad a inundaciones. Tal y como exponen Hernández y Morales (2023), el uso de los SIG para el análisis hidrológico permite elaborar evaluaciones espaciales del riesgo utilizando modelos multicriterio que ponderan variables de tipo físico y socioeconómico. Asimismo, la combinación de los SIG con los procedimientos de modelación hidrodinámica, como HEC-RAS, MIKE FLOOD o SWAT, otorgan una mayor precisión a la representación de los procesos de flujo superficial y subterráneo, además de proporcionar un aumento en la predicción de áreas de inundación o en la planificación del territorio.

La teledetección, por su parte, permite el seguimiento de las condiciones del terreno y de los cuerpos de agua en distintas escalas espaciales y temporales. Gracias al desarrollo de sensores satelitales de alta resolución (por ejemplo, Sentinel-1, Sentinel-2 y Landsat 9) se han optimizado los procedimientos de detección de cambios en la cobertura del suelo, de definición de áreas inundadas y de estimación de caudales superficiales (Ortega et al, 2024) siendo muy atractivos en países tropicales donde escasean las estaciones hidrometeorológicas y dificultan en gran medida las observaciones directas. A su vez, el análisis temporal de imágenes satelitales permite realizar discriminaciones de los efectos ocasionados por fenómenos extremos, e incluso evaluar el proceso de recuperación tras la inundación, aportando datos relevantes para la gestión del riesgo y soporte en la toma de decisiones.

Otra herramienta de expansión es el uso de modelos digitales de elevación (MDE) y su integración en plataformas SIG para la obtención automática de cartas de altitud, pendiente y flujo acumulado. Los Modelos Digitales del Terreno (MDE), cuando se utilizan junto con algoritmos como los hidrológicos, nos permiten delimitar cuencas, representar escorrentía superficial y delimitar áreas inundables como el caso de las zonas inundables (Pineda & Ramos, 2022). Las nuevas tecnologías como el análisis geoespacial con IA (inteligencia artificial) y el machine learning (aprendizaje automático) han servido para mejorar la predicción de inundaciones mediante técnicas de detección automática de patrones espaciales y la modelización de las variables climáticas y topográficas (García & Suárez, 2023).

Por tanto, el uso de las herramientas expuestas no sólo es capaz de mejorar el conocimiento científico, sino también de mejorar la gestión pública del territorio, ya que la disponibilidad de mapas de riesgo y de modelos predictivos facilita la constitución de planes de ordenación territorial, protocolos de alerta temprana y planes de evacuación (Reyes et al., 2024). De esta forma, la integración de SIG, teledetección y modelación hidrodinámica constituyen una tecnología básica para resolver la problemática generada por el creciente riesgo a inundaciones en espacios como la cuenca del río Yuna.

2.3.1 Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han sido considerados como una herramienta muy importante para el análisis espacial del riesgo y la vulnerabilidad a inundaciones, ya que permiten compaginar, visualizar y analizar datos georreferenciados extraídos de las fuentes más variadas. Estos sistemas dan la posibilidad de comprender la ubicación física y total de los factores físicos, sociales y ambientales que contribuyen al riesgo y son una plataforma científica muy importante para la gestión del territorio y la planificación de las medidas necesarias de reducción (Sánchez & Torres, 2022). Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten cohesionar variables que nos permitan generar mapas de riesgo y modelos de predicción de inundaciones; por ejemplo, la pendiente del área de estudio, la cobertura de la vegetación, el tipo de suelo, la densidad de población, la cercanía de los cauces fluviales, etc.

Actualmente, los SIG se utilizan en la evaluación de la exposición y vulnerabilidad de las poblaciones expuestas a eventos hidrometeorológicos extremos, empleando metodologías multicriterio con las que ponderar variables físicas y socioeconómicas. Según Ramos y Delgado (2023), la consideración de indicadores sociales como la calidad de la vivienda o el nivel de ingresos en conjunción con variables físicas como la altitud o la pendiente permite realizar una caracterización más ajustada de las áreas vulnerables. De esta forma, los SIG proporcionan una visión más holística que va más allá de la mera modelización hidrológica al añadir la dimensión humanitaria del riesgo. Uno de los aportes más relevantes que brindan los SIG al estudio de inundaciones es la utilización de Modelos Digitales de Elevación (MDE) para evaluar la topografía y las pendientes del terreno, ya que permiten localizar las zonas bajas y las depresiones naturales que podrían ser anegadas por lluvias intensas o crecidas fluviales.

Esto es lo que recogen Rodríguez y Cedeño (2024), quienes hacen énfasis en que cuando los MDE se combinan con modelos hidrodinámicos en dos dimensiones, logran estimaciones más ajustadas de los niveles del agua que podrían alcanzar los temporalmente inundados, además del área de extensión espacial de los mismos. Por su parte, los MDE también son integrables con algoritmos de flujo acumulado y de redes de drenaje, con los cuales se puede inferir la escurrimiento y distinguir con mayor precisión las cuencas hidrográficas más afectadas. En la gestión del riesgo, el mapeo de áreas inundables a través de SIG es una de las aplicaciones más importantes, ya que permite la obtención de mapas de susceptibilidad y de riesgo para ser utilizados como insumos en los planes de ordenamiento territorial y en el diseño de obras de mitigación.

En este contexto, Torres y Acosta (2021) mencionan que los mapas que se obtienen a partir del análisis geoespacial son fundamentales para la planificación de obras de infraestructura resilientes, para la delimitación de áreas de restricción de uso (por ejemplo, el caso de áreas vulnerables a inundaciones) y para la elaboración de estrategias de evacuación y de alerta temprana. Asimismo, gracias a la interoperabilidad de los SIG con las bases de datos y series de tiempo de precipitación y climáticas, la evaluación de tendencias históricas de inundaciones y de proyecciones futuras bajo escenarios de cambio climático resulta más viable.

Los avances en tecnologías geoespaciales, la disponibilidad de datos satelitales de alta resolución y el uso de plataformas de código abierto (QGIS, ArcGIS Online o Google Earth Engine) han facilitado ampliar el uso de SIG en las investigaciones ambientales. Esta tendencia otorga a las instituciones públicas, a las comunidades locales y a los investigadores la posibilidad de analizar su propio territorio, lo que contribuye a fortalecer las capacidades de gestión y resiliencia ante los riesgos hidrometeorológicos y/o las amenazas relacionadas (López et al., 2023). En este sentido, los SIG no solo se configuran como herramientas técnicas de análisis, sino también como herramientas estratégicas de gobernanza ambiental y de planificación adaptativa en regiones vulnerables, como la cuenca baja del río Yuna.

2.3.2 Modelos hidrológicos y cartografía del riesgo

Los modelos hidrológicos son fundamentales en los estudios de las inundaciones a través de los métodos de simulación del comportamiento del agua en una cuenca hidrográfica a partir de los datos: hidrometeorológicos y del tipo de superficie o del terreno de la cuenca en sí (junto a estos datos es también importante la propia dinámica del sistema). A través de los modelos es posible analizar la relación entre la precipitación, la infiltración, la escorrentía y el flujo, con el objetivo de estimar caudales, niveles de inundación e inundaciones (Fernández & Cabrera, 2022). En la modernidad de los estudios la tendencia de complementar los modelos con los sistemas de información geográfica (SIG) permite representar de forma espacial las amenazas y vulnerabilidades que afectan a las comunidades de las márgenes de los ríos. La calibración y validación de los modelos es una práctica habitual en el empleo de datos hidrometeorológicos y pluviométricos.

Estos datos, procedentes de estaciones meteorológicas, sensores remotos y redes de monitoreo de tiempo real, contienen una información fundamental sobre la distribución espacial y temporal de las lluvias, de la humedad del suelo y de los caudales de los ríos (Rivas et al., 2023). La incorporación de series temporales de precipitación y temperatura en los modelos permite evaluar la respuesta hidrológica de una cuenca frente a distintos escenarios climáticos, lo que en situaciones de variabilidad y cambio climático resulta ser bastante importante. Por otro lado, los datos satelitales y los radares meteorológicos

contribuyeron también a mejorar la máxima precisión de las simulaciones, sobre todo en áreas donde la infraestructura de monitoreo es escasa.

Los modelos hidrológicos más frecuentemente utilizados, como HEC-HMS, SWAT y MIKE SHE, son capaces de estimar la escorrentía superficial y subterránea, así como de predecir los volúmenes y tiempos de concentración del flujo en diferentes subcuencas (Aguilar & Méndez, 2024). Estos modelos integran información topográfica, edáfica, climática y de la cobertura de la superficie terrestre con el fin de poder representar con mayor realismo el ciclo hidrológico.

Así, la posibilidad de integrarlas con plataformas SIG, posibilitan la elaboración de mapas de amenaza y de riesgo, eficacia que va de la mano con una gestión del territorio basada en la evidencia. La modelación hidrológica es capaz de aplicar su metodología para simular eventos extremos y con ello desarrollar también el análisis preventivo de la vulnerabilidad estructural de las comunidades afectadas o expuestas. Por parte de la cartografía del riesgo, representa una herramienta clave para la planificación del territorio y para la reducción de desastres; se desarrollan mapas a través de la integración de variables físicas, sociales y ambientales con relación a la exposición y el nivel de respuesta que poseen los distintos sectores poblacionales.

Según Duarte y Molina (2021), los mapas de riesgo son instrumentos de básica importancia para la priorización de zonas críticas, la orientación de inversiones públicas y la posibilidad de operar la prevención. Estos productos de la cartografía permiten visibilizar la relación que existe entre las variables naturales como la pendiente, el tipo de suelo y la cercanía al cauce y las condiciones socioeconómicas, con algunas como la densidad de población o la proximidad a cierta infraestructura básica.

Combinando unos modelos de tipo hidrológico y la cartografía temática se permite una visión holística para la práctica de las inundaciones ya que no sólo se tiene en mente el peligro físico, sino los aspectos sociales y ambientales del riesgo; de acuerdo al trabajo de Navarro et al. (2023), esta mezcla de datos climáticos, hidrológicos y sociales en modelos espaciales multicriterio han permitido mejorar las metodologías que se utilizan

para delimitar áreas vulnerables, favoreciendo la toma de decisiones para la gestión de cuencas. En este aspecto los parámetros de modelización hidrológica y el incremento de los datos geoespaciales y las capacidades computacionales suponen un soporte técnico fundamental para el entendimiento y la mitigación de los efectos de las inundaciones en territorios como los del río Yuna.

2.4 Factores que influyen en la vulnerabilidad

La vulnerabilidad a inundaciones es un fenómeno complejo y de múltiples determinantes que se produce a partir de la interacción de elementos físicos, sociales, medioambientales y económicos. El conocimiento de aquéllos facilita el conocimiento de las realidades estructurales en las que el riesgo se incrementa y permite orientar la actuación hacia una gestión del riesgo que produzca una mayor resiliencia territorial. Siguiendo a Méndez y Alarcón (2022), la vulnerabilidad puede no tener en cuenta la amenaza de origen hidrometeorológico, sino más bien la capacidad para anticipar, resistir y recuperarse de sus impactos.

Siguiendo este enfoque, los factores que ejercen influencia se suelen clasificar en tres dimensiones: física, social y económica, lo que, dado su entrelazado, nos obliga a tener una visión holística del territorio. En primer lugar, los factores físicos y ambientales están estrechamente relacionados con ubicación, topografía, características de los regímenes hidrológicos, suelos; las comunidades establecidas en áreas bajas, ubicadas próximas a los cauces fluviales o en llanuras aluviales, están más expuestas a las inundaciones (Rodríguez et al., 2023).

Así, entre la deforestación, la impermeabilización del suelo y los cambios en los usos del suelo están aumentando la escorrentía superficial y disminuyendo la capacidad natural de absorción de agua. Herrera y Pinto (2024) indican que la pérdida de la cobertura vegetal y el deterioro de los ecosistemas riparios exacerban la magnitud y la frecuencia de las crecidas, lo que pone de manifiesto que la gestión ambiental reduce la vulnerabilidad física.

En lo que respecta a los factores sociales, son aquellos que determinan el nivel de capacidad de respuesta y adaptación de las poblaciones ante un evento adverso. Hechos como el nivel de educación, la propia organización comunal; cómo los sujetos perciben el riesgo y el acceso a los servicios básicos tienen una influencia inmediata en la resiliencia social (Martínez & Peña, 2021).

Las comunidades que tienen escasa información o fragilidades institucionales sufren un mayor impacto y demandan más tiempo para conseguir esa recuperación. La desigualdad social y marginaciones geográficas incrementan la vulnerabilidad a los desastres de los grupos vulnerables, en especial en los medios rurales y periurbanos cercanos a los ríos. Afirman, por lo tanto, que la vulnerabilidad social no solamente es expresión de la circunstancia física, sino, contextualizada en el nivel de la exposición determinada por las propias capacidades de los sujetos, de la limitación de las personas para afrontar los desastres.

Por otro lado, los factores económicos condicionan la exposición y la recuperación de las comunidades. Las familias que tienen ingresos elevados, trabajos estables y recursos económicos están más capacitadas para poder hacer inversiones en infraestructuras más seguras, en seguros contra catástrofes o bien en programas correspondientes a la posibilidad de poder mitigar (Campos & Gómez, 2023); en infinidad de casos la pobreza empuja hacia la ocupación de terrenos inundables por parte de familias que no tienen otra alternativa habitacional. Desde el punto de vista de López y Zamora (2022),

Esto genera un ciclo de vulnerabilidad, el cual impide la posibilidad de desarrollar acciones preventivas y administra la vulnerabilidad alimentando la dependencia de la ayuda institucional tras la realización del evento. De este modo, la vulnerabilidad económica es una de las dimensiones más determinantes en la cognición de políticas públicas durante el tiempo.

Los factores relacionados con las instituciones y con las formas de gobernanza también constituyen un factor determinante: la ausencia de planificación territorial, una incorrecta gestión de los riesgos o una limitación interinstitucional elevada puede aumentar

la exposición a los desastres (Silva et al., 2023). Una gestión urbanística defectuosa, unida a un bajo control ambiental, provocan que se lleven a cabo infraestructuras en lugares de alto riesgo. No obstante, cuando existen políticas públicas que están sustentadas en la evidencia y una participación activa de la población, esto puede llevar a que la vulnerabilidad sea limitada en gran medida. Por esta razón, el examen de los factores que determinan la vulnerabilidad no puede dedicarse únicamente a la dimensión técnica, sino que se necesita un enfoque interdisciplinario que contemple los aspectos físicos, los aspectos sociales, los aspectos económicos y los aspectos relacionados con las instituciones.

2.4.1 Factores físicos y ambientales

Los factores físicos y ambientales constituyen uno de los determinantes primordiales que afectan la vulnerabilidad de las comunidades frente a inundaciones, ya que establecen la exposición de los asentamientos humanos y la capacidad de los ecosistemas para recibir y hacer gestión del agua. Algunos de los factores más importantes son la topografía, la altitud y la geomorfología de la cuenca. De acuerdo con lo indicado por Ramírez y Valdez (2022), las bajas, los valles fluviales y las llanuras aluviales son los lugares más propensos a inundaciones, debido a que suelen presentar agua acumulada y escasa velocidad del drenaje natural; mientras que las zonas de elevaciones altas, o las de pendientes considerables que pueden mostrar una alta proporción de escorrentía rápida, tienen sus propios riesgos en la forma de escorrentías e incluso del mismo proceso erosional, incluyendo la estabilizar de los taludes o la sedimentación en los sectores de menores pendientes, zonas no controladas de la cuenca.

La vegetación de las riberas es importante para que se considere la regulación de la dinámica fluvial porque -por medio de la creación de una barrera natural, capaz de reducir la velocidad del flujo, de limitar la erosión de las riberas, y, además, de facilitar la infiltración del agua a los suelos, (González & Herrera, 2023)- dicha vegetación de las riberas es también el mejor síntoma de que la vegetación ha sido eliminada -ya sea dicha eliminación a causa de la deforestación como por la expansión agrícola o la urbanización- y que esa vegetación una vez eliminada ha aumentado la vulnerabilidad física de las

comunidades debido a que facilita que, por medio del arrastre de sedimentos, se alcance el caudal de formas más intensas en condiciones naturales severas. Finalmente, es también el aumento de la erosión de las riberas que está exacerbado por las prácticas agrícolas más inadecuadas que vulneran incluso los cauces naturales. Estas alteraciones inducen a mediadas que alteran la morfología de los bordes o riberas y aumentan las probabilidades de desbordamientos.

Las alteraciones en el uso del suelo (por ej., la transformación llegando al cambio del uso de terrenos forestales a usarse para la agricultura y/o la urbanización) afectan -por no decir en sí que restan el sentido de las alteraciones del uso de suelo- hasta el punto de poder alterar las condiciones edáficas, la aptitud para la retención de agua y también modifican el régimen natural del río (Paredes et al., 2024). La impermeabilización de las superficies y la disminución de los espacios de infiltración aumentan la escorrentía superficial y permiten que el caudal se concentre rápidamente en los cauces, lo que incrementa el riesgo de anegamiento de los asentamientos humanos adyacentes. Estudios recientes expresan que la combinación de pendientes suaves, suelos degradados y pérdida de la vegetación ribereña es un patrón identificado en cuencas tropicales con inundaciones frecuentes (Mendoza & Salazar, 2023).

Por lo tanto, el saber sobre los factores físicos y ambientales es una condición necesaria en el proceso de evaluación de la vulnerabilidad junto a la planificación de medidas de prevención. La restauración de la vegetación ribereña, la conservación de suelos y la ordenación del territorio atendiendo la geomorfología de la cuenca son medidas de control eficaces para reducir la exposición y la susceptibilidad de las comunidades a la acción de desbordamientos.

2.4.2 Factores sociales y económicos

Los factores sociales y económicos son determinantes clave de la vulnerabilidad al fenómeno de las inundaciones, porque condicionan la exposición a los mismos y la capacidad de respuesta de las comunidades frente a eventos extremos. La densidad poblacional y las características de los asentamientos humanos determinan directamente el

riesgo de desastre. Las áreas con alta concentración de población presentan una mayor probabilidad de sufrir los efectos de una crecida del río, pues en estos espacios hay una mayor cantidad de personas y bienes expuestos para ser alcanzados por la crecida del río (Cruz & Herrera, 2022).

Para la comprensión de la vulnerabilidad frente a inundaciones es importante considerar las condiciones de vivienda materiales de construcción, resistencia estructural y ubicación, estas mismas características determinan la posibilidad de las familias de resistir a las inundaciones y de recuperarse de ellas. El acceso a servicios básicos (agua potable, energía eléctrica, saneamiento, transporte, etc.) es otro de los componentes esenciales de la vulnerabilidad.

La carencia de infraestructura básica y de servicios de emergencia reduce la posibilidad de las comunidades de protegerse frente a los eventos hidrometeorológicos y de recuperarse de sus efectos (Figueroa et al., 2023). Los trabajos más recientes realizados en situaciones tropicales afirman que las comunidades que presentan peores condiciones de infraestructura y de servicios se enfrentarán a pérdidas económicas y sociales más extensas durante las situaciones de inundación, llegando a aumentar los ciclos de vulnerabilidad que afectan al desarrollo local.

A su vez, las capacidades locales de respuesta son también una determinante de la resiliencia comunitaria. Según Vargas y Paredes, (2023), las comunidades organizadas y dotadas de un plan de emergencias, de conocimiento en medidas preventivas y de experiencias propias en gestión de riesgos, presentan en comparación niveles de exposición a las inundaciones, así como efectos o daños menores. La percepción del riesgo, es decir, como los habitantes sienten o valoren el peligro que representa la situación, juega un papel fundamental en la adopción de medidas preventivas al igual que en la participación en los programas de gestión del riesgo (Molina & Reyes, 2021).

En el caso de baja percepción, las poblaciones tienden a minimizar la amenaza, por lo que se incrementa la exposición al peligro y se disminuye la eficacia de los planes de contingencia. A su vez, los factores económicos son determinantes de la capacidad de

recuperación de las comunidades. Los ingresos familiares, el acceso a seguros y la disponibilidad de recursos financieros determinan la capacidad de reparar viviendas, reemplazar bienes perdidos y volver a la rutina tras la inundación de forma exitosa (Gutiérrez & Alvarado, 2022).

La pobreza y la desigualdad social aumentan la vulnerabilidad, puesto que las familias de escasos recursos habitualmente se instalan en terrenos de alto riesgo y no tienen medios para poner en marcha medidas preventivas o de mitigación. En definitiva, la interacción de los factores sociales y económicos determina la resiliencia de las comunidades y la efectividad de las estrategias de gestión del riesgo en contextos ribereños como los del entorno del río Yuna.

2.4.3 Factores institucionales y operativos

Son factores institucionales y operativos determinantes críticos de la vulnerabilidad de las comunidades expuestas a inundaciones que condicionan la eficacia de la gestión del riesgo y la capacidad de respuesta ante condiciones extremas por inundaciones. Uno de los factores más importantes dentro de la cuenca del río Yuna lo constituye la presa de Hatillo, la cual condiciona la operación y el manejo de los caudales, lo que repercute en el nivel de exposición a la que están sometidas las poblaciones aguas abajo.

De acuerdo con Martínez y colaboradores. (2023), la regulación del caudal mediante la presa permite efectuar un control sobre los posibles eventos de crecidas fluviales y, por tanto, reducir la probabilidad de sufrir inundaciones en periodos de lluvias intensas; sin embargo, una mala gestión de los vertimientos o el desatender su mantenimiento puede aumentar los riesgos y, lo que es más grave, puede comprometer la seguridad de las comunidades ribereñas.

Aparte del manejo de la infraestructura hidráulica, la coordinación de las instituciones, en cuanto a este tipo de intervenciones planificadas, es un aspecto determinante en la gestión de su vulnerabilidad. La planificación, la comunicación y la articulación de organismos: gubernamentales, municipales o comunitarios, permite la posibilidad de crear estrategias integrales de prevención y mitigación de inundaciones.

Según Rivera y López, (2022) la falta de protocolos claros o la fragmentarización de las responsabilidades puede suponer que la desatención de una respuesta adecuada ante los fenómenos extremos que, inevitablemente, en ocasiones se dan, comporta aumentar los potenciales impactos de las inundaciones. Por el contrario, la existencia de planes de acción coordinados, ejercicios de simulacro y vías de comunicación ágiles, favorece la capacidad de respuesta y la resiliencia de la población.

Los protocolos de emergencia, adecuadamente establecidos y actualizados por las instituciones, son claves para asegurar una respuesta reforzada en caso de crecidas o desbordes. Dicha respuesta depende de la implementación de sistemas de alerta temprana, planes de evacuación, lugares de refugio, así como planes de ayuda a las comunidades afectadas (Gómez & Paredes, 2024). La efectividad de estas contramedidas depende no sólo de la infraestructura sino de la formación de los grupos de respuesta, así como de la participación activa de la comunidad que debe conocer los riesgos de la situación para poder ejercer acciones previstas en los planes de respuesta.

Los factores institucionales y operativos determinan, por lo tanto, la vulnerabilidad final de las comunidades frente a las inundaciones. La gestión correcta de la presa de Hatillo, junto con la existencia de una interfaz institucional sólida y la puesta en práctica de protocolos de emergencias, constituyen una imprescindible palanca de la mitigación del riesgo y la protección de las poblaciones en la cuenca del río Yuna. Entonces, el conjunto de infraestructura, políticas públicas y participación comunitaria amplía la resiliencia y reduce la exposición y la pérdida potencial frente a eventos extremas hidrometeorológicos.

2.5 Estudios y antecedentes nacionales e internacionales

Varios estudios en República Dominicana han abordado el estudio de la vulnerabilidad a las inundaciones, constituyendo un enfoque metodológico adicional el informe técnico elaborado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la República Dominicana, en el que se hace un análisis pormenorizado de las áreas amenazadas por inundaciones en el país, el cual se fundamenta en métodos geoespaciales mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la identificación de

espacios vulnerables, así como en estrategias de mitigación fundamentadas en la planificación del territorio y la gestión integrada del riesgo (Rivera, 2022).

Mientras que el Plan de Adaptación a Inundaciones Provocadas por el Cambio Climático de la Ciudad Colonial de Santo Domingo, al que se ha accedido a partir del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), establece una estrategia para la adaptación urbana a eventos extremos. Este plan resalta la necesidad de fortalecer la infraestructura urbana, de mejorar los sistemas de drenajes y de incentivar la participación de las comunidades en la gestión del riesgo (González, 2024).

Respecto de las metodologías trabajadas, encontramos que sí existe una tendencia hacia el uso de GIS, principalmente para el mapeo de zonas vulnerables y en la evaluación del riesgo se delimitan variables físicas, sociales y económicas. No obstante, encontramos diferencias en las metodologías utilizadas: el estudio de Rivera (2022) centra la investigación en el análisis espacial y en la planificación territorial, mientras que el Plan de Adaptación del estudio de González (2024) ubica la mirada en la adaptación urbana y en la resiliencia comunitaria.

Los puntos que comparten los estudios son la articulación de zonas de alto riesgo en unas zonas urbanas densamente pobladas, la necesidad de mejora de la infraestructura de drenajes y la importancia de mejorar la capacidad de respuesta institucional y comunitaria frente a eventos de inundación. Las lecciones extraídas muestran la importancia de la planificación integrada, y la participación de la comunidad, y la permanente actualización de los modelos de riesgo de acuerdo a los cambios en los componentes sociales, ambientales o climáticos.

En el ámbito internacional se han aplicado diferentes modelos de análisis espacial y de gestión del riesgo que pueden servir de modelo para la República Dominicana. En Cuba, por ejemplo, existen metodologías de modelación cartográfica del peligro de inundaciones mediante SIG, y del análisis multicriterio para definir áreas críticas e implementación de la mitigación para adaptarse a las características locales (Primelles, 2022).

Por otro lado, en Centroamérica se describen los estudios de la distribución de las inundaciones registradas con datos históricos y técnicas estadísticas disponibles para la planificación de ordenación del territorio y la gestión del riesgo (Muñoz, 2021).

2.6 Mapas de vulnerabilidad y planificación territorial

Dichos mapas de vulnerabilidad son un recurso fundamental para la gestión del riesgo de inundaciones, ya que permiten la visualización del espacio geográfico de áreas expuestas y factores que incrementan la vulnerabilidad a las inundaciones de las comunidades locales. Constituyen una herramienta que permite la elaboración de mapas temáticos mediante los cuales se puede identificar áreas críticas, aquellas donde las características físicas, socioeconómicas e infraestructura incrementan la probabilidad de que se produzcan impactos graves por los fenómenos hidrometeorológicos (Pérez y Delgado, 2022).

Los mapas permiten no solo la localización de los lugares con mayor riesgo, también sus diseños nos van a permitir priorizar acciones de prevención y de mitigación, haciendo enfocarnos para asignar de forma eficiente los recursos y los procesos decisionales.

Por último, la integración de variables físicas, variables sociales, variables relacionadas con las infraestructuras, forman parte de un elemento central en la elaboración de las cartografías de vulnerabilidad. Con respecto a la dimensión física, se considera la pendiente, la altitud, la geomorfología, la cobertura del suelo o la proximidad a cauces, por otro lado, la dialéctica para la dimensión social considera la densidad poblacional, la accesibilidad a servicios básicos, el nivel socioeconómico y las capacidades de respuesta locales (Ortiz et al., 2023).

De la misma forma, la infraestructura crítica (puentes, vías de comunicación, sistemas de drenaje, presas, etc.) es evaluada por la exposición y la resiliencia de las propias comunidades ante inundaciones. A partir de la relación entre la información obtenida mediante las variables ensayadas es posible constatar la generación mapas temáticos

multicriterio que ponen en evidencia la vulnerabilidad real del territorio y la interconexión entre todos sus componentes.

La función de los mapas en la planificación territorial y la toma de decisiones es muy significativa puesto que ofrecen información espacial y cuantitativa que es susceptible de apuntalar la configuración de políticas públicas, la ordenación del territorio o la formulación de planes de emergencia (Santos & Velázquez, 2024). Los tomadores de decisiones son capaces de identificar las áreas prioritarias de intervención, realizar medidas de prevención o diseñar sistemas de alerta temprana o de educación y sensibilización para el desarrollo comunitario, así como poder realizar simulaciones de posibles escenarios futuros para los mapas de vulnerabilidad, es decir, teniendo en cuenta el crecimiento de las urbes, los cambios de uso del suelo o los efectos del cambio climático, lo cual fortalece la planificación de futuro o la resiliencia territorial.

Recientes investigaciones en cuencas fluviales tropicales demuestran que la unión de SIG, la modelación hidrológica y la temática del mapa de vulnerabilidad produce una gran efectividad para la evaluación de riesgos y para la propuesta de estrategias integrativas de gestión de riesgos (Luna & Herrera, 2023). Esto último, facilita la buena comprensión de información compleja alcanzando las autoridades, los técnicos y las comunidades locales, favoreciendo así la participación en la gestión del riesgo y disminuyendo los niveles de exposición y el impacto de las inundaciones.

2.7 Resiliencia y adaptación comunitaria

La resiliencia comunitaria hace referencia a la habilidad de los grupos humanos para anticipar, sobreponerse, adaptarse y recuperarse de acontecimientos adversos, teniendo como uno de ellos las inundaciones. En contextos ribereños como los que circundan el río Yuna, la resiliencia depende tanto de factores estructurales, como la infraestructura y la planificación del uso del suelo, como de factores sociales, como la cohesión social y la participación activa en las estrategias de mitigación (Torres y Rojas, 2022). La construcción de resiliencia no implica solo reducir la exposición al riesgo, sino

también tener una capacidad de respuesta ante emergencias y acelerar el restablecimiento de las condiciones de vida tras la catástrofe.

Entre las estrategias de resiliencia local ante inundaciones, cabe destacar: la construcción de defensas naturales y artificiales; el uso de sistemas de alerta temprana; la planificación de rutas de evacuación; o la implementación de medidas de protección de las infraestructuras críticas (Méndez y Quintero, 2023). El diseño de estas estrategias debe tener en cuenta la topografía, la dinámica de la corriente fluvial y las características socioeconómicas de las comunidades, teniendo en cuenta además que las soluciones deben ser sostenibles y tener capacidad de adaptación a los cambios climáticos y de uso del suelo. También, la gestión ambiental como la restauración de vegetación ribereña y conservación de humedales permiten disminuir la magnitud de las inundaciones y aumentar la resiliencia ecosistémica.

La participación comunitaria y la educación ambiental son herramientas clave para fortalecer la resiliencia, sensibilizaciones y capacitaciones sobre riesgos de inundación, permiten que las y los habitantes sean capaces de identificar amenazas, prevenirlas y participar activamente en el cumplimiento de los planes de emergencia (Guzmán et al., 2023).

La educación ambiental también promueve la adopción de prácticas sostenibles en la cuenca, como la disminución de la deforestación, la mejora de la gestión de residuos y la restauración de las riberas, lo cual disminuye la vulnerabilidad física ante el riesgo y promueve un desarrollo comunitario más seguro. Existen ejemplos de buenas prácticas transferibles a la cuenca del río Yuna, basados en las experiencias a nivel nacional e internacional. En Nicaragua, la introducción de comités locales de gestión de riesgos ha permitido realizar simulacros, establecer sistemas de alerta temprana e incorporar la prevención de la evacuación de las comunidades ribereñas, lo que ha conseguido una notable reducción de las pérdidas humanas y materiales en episodios de inundación (Castillo y Molina, 2022).

En Brasil, la restauración de las áreas de vegetación ribereña junto con la construcción de infraestructuras resilientes aplicadas sobre el territorio ha servido de modelo de adaptación efectiva en cuencas fluviales altamente pobladas (Santos y Figueiredo, 2023). Estas experiencias replican la idea de que la conjunción de planificación territorial, participación social y medidas de conservación del medioambiente sirve de base constructiva para la resiliencia ante inundaciones, que puede ser adaptada a la realidad de la cuenca del río Yuna: la resiliencia y la adaptación de las comunidades no dependen de la infraestructura física, sino de la relación que se puede establecer entre la gestión institucional, la participación de la comunidad y la conservación del medioambiente.

La aplicación de estrategias integradas junto con el fortalecimiento del capital social son un aspecto fundamental para disminuir la vulnerabilidad de la cuenca del río Yuna e incrementar la sostenibilidad del territorio frente a los fenómenos hidrometeorológicos futuros.

CAPÍTULO III: PROPUESTA DE SOLUCION DEL PROBLEMA SELECCIONADO

3.1 Descripción de la propuesta

3.1.1 Matriz FODA

FODA	Descripción
Fortalezas (Internas)	- Uso de herramientas avanzadas de SIG y modelación hidrológica para análisis preciso. - Enfoque integral: físico, social, ambiental e institucional. - Relevancia local y nacional, centrado en la cuenca del río Yuna y la presa de Hatillo. - Base sólida de antecedentes nacionales e internacionales. - Integración de la participación comunitaria y prácticas de resiliencia local.
Oportunidades (Externas)	- Apoyo de políticas públicas y planes de manejo de cuencas (INDRHI, Ministerio de Medio Ambiente). - Disponibilidad de tecnologías geoespaciales y datos actualizados. - Posible financiamiento y cooperación internacional. - Mayor sensibilización social frente al riesgo de inundaciones.
Debilidades (Internas)	- Limitaciones en recursos humanos especializados en SIG y gestión de riesgo. - Lagunas en datos hidrológicos, pluviométricos y socioeconómicos. - Dependencia de la coordinación institucional para implementación de acciones. - Escasa cultura de prevención y resistencia potencial de la comunidad a cambios estructurales.
Amenazas (Externas)	- Incremento de eventos climáticos extremos debido al cambio climático.

	- Operación de la presa de Hatillo sin coordinación, aumentando el riesgo aguas abajo. - Factores socioeconómicos adversos: pobreza, precariedad de viviendas e infraestructura limitada. - Restricciones presupuestarias o cambios en políticas públicas que afecten la implementación de medidas.
--	---

3.2 Alcance y límite

Alcance

El espacio que abarca la investigación está situado en los alrededores del río Yuna, dentro de la provincia Sánchez Ramírez, y reafirma límites críticos como Cotuí-Los Pomos, la Mata-El Pescozón y la zona baja del canal mayor en Fantino, lo que da lugar a un análisis de áreas urbanas y rurales expuestas a inundaciones, por una parte, y el manejo contemporáneo de la presa de Hatillo y su efecto directísimo en las alteraciones de los desbordes aguas abajo, por otra. La delimitar el espacio da cuenta de lo representativa que será la investigación en términos de los patrones de riesgo y vulnerabilidad que se tienen de la zona, pero también de los mapas temáticos de vulnerabilidad que se obtendrán y de las zonas prioritarias para intervención.

En cuanto al alcance temporal, la investigación asume un horizonte histórico y contemporáneo que toma en consideración un periodo culminado hace cinco años y que coincide con el periodo en el que tuvo lugar el registro de eventos de inundaciones de importancia tal y como la recuperación de datos hidrometeorológicos recientes se considera en las investigaciones. Dicha temporalidad permite evaluar la recurrencia de los comportamientos de inundación; la ocurrencia del evento extremo y su tendencia; los comportamientos de la operación de la presa de Hatillo, y se contiene en un contexto más reciente y contextualizado para la planificación y gestión del riesgo.

En lo que respecta al alcance investigativo, el trabajo adolece de un enfoque multidisciplinario que combina la investigación del análisis del espacio, los aspectos físicos, sociales y ambientales y los aspectos institucionales involucrados en la operación

de la presa de Hatillo. Se utilizan instrumentos de Sistemas de Información Geográfica (SIG) mediante la cartografía de áreas de inundación, el análisis de pendientes, el modelado de inundaciones, entrevistas semiestructuradas y encuestas comunitarias que permiten evaluar la percepción social, la capacidad de respuesta local y los impactos socioeconómicos, en procura de generar información robusta que permita recoger lineamientos técnicos y estratégicos con miras a la reducción del riesgo de desastres y la gestión integral del territorio.

Límites

Los límites espaciales se justifican por el enfoque restringido del análisis, ligado a la provincia de Sánchez Ramírez y las zona específica del río Yuna; no se incluyen, por tanto, provincias ni afluentes secundarios ajenos a la línea de alrededor del territorio en cuestión, por tanto, el resultado no necesariamente pudiera extrapolarse a toda la cuenca hidrográfica aludida, ni menos aún a contextos nacionales o internacionales, aun cuando sí permitirá un determinado diseño metodológico replicable.

Si bien el municipio de Fantino forma parte del área administrativa de la provincia Sánchez Ramírez, su dinámica de inundación no está directamente asociada al cauce principal del río Yuna. Las crecidas que afectan sectores de la parte baja de Fantino responden a problemas de drenaje interno y acumulación de aguas pluviales, no a desbordes del río. En consecuencia, la delimitación del área de estudio debe reconocer que Fantino constituye un espacio de vulnerabilidad hídrica complementaria, pero no un territorio afectado por las crecidas del Yuna.

En la delimitación del área de estudio fue necesario distinguir entre territorios afectados directamente por el desbordamiento del río Yuna (Cotuí–Los Pomos y La Mata–El Pescozón) y aquellos que presentan inundaciones por causas distintas, como drenaje pluvial deficiente o acumulación superficial (caso de Fantino). Esta diferenciación es clave para establecer modelos de riesgo coherentes y evitar atribuir al río Yuna fenómenos que responden a procesos hidrológicos locales.

La operación del sistema hidráulico asociado a la presa de Hatillo no depende exclusivamente del INDRHI. La Junta de Regantes del Yuna–Hatillo constituye un actor operativo central en la distribución del agua para riego, supervisión de canales y coordinación con los usuarios agrícolas. Su rol incluye la vigilancia de niveles, mantenimiento rutinario y apoyo en la comunicación hacia agricultores durante eventos de crecidas o liberaciones de compuertas.

La presa de Hatillo está sujeta a una gobernanza compartida. La Empresa de Generación Hidroeléctrica Dominicana (EGEHID) administra el componente energético de la presa, incluyendo operación de turbinas y generación eléctrica. Por su parte, el INDRHI es responsable del manejo del recurso hídrico para riego, control de crecidas y operación hidráulica. Ambas instituciones actúan con competencias distintas y complementarias, por lo que la gestión del embalse no puede ser atribuida exclusivamente al INDRHI.

Los límites temporales se circunscriben en los últimos cinco años de análisis, dado que este periodo podría considerar datos relativamente recientes y relevantes y no considerar análisis históricos más prolongados que podrían ofrecer, sin duda, un mayor contexto acerca de las tendencias de inundaciones a largo plazo; decisión que se toma orientada a atender a la búsqueda de datos fiables y actualizados para la formulación de estrategias de gestión pertinentes.

Los límites de la propia investigación se vinculan a la disponibilidad y calidad de los datos. No obstante, el uso de SIG y de modelos hidrológicos, la precisión queda condicionada a la resolución de la información satelital, de la pluviometría y de la topografía disponibles. La información social y comunitaria queda recabada mediante encuestas y entrevistas. Dicha estrategia puede poner de manifiesto sesgos perceptivos o limitaciones en cuanto a la representatividad de la población estudiada. Eso también incluye solo la represa de Hatillo, sin examinar otra infraestructura o al margen de la posible existencia de situaciones externas fuera del área de estudio.

3.2.1 Estrategia a asumir

La estrategia del proyecto se basa en un enfoque holístico y multidisciplinar orientado a entrelazar el análisis científico, la gestión territorial y la participación comunitaria para disminuir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia de las poblaciones expuestas a las inundaciones. La estrategia se articula en tres componentes básicos: la fase de investigación y análisis, la gestión del riesgo y la fase de fortalecimiento de la comunidad.

Investigación y análisis técnico

Se propone el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), para generar los mapas de vulnerabilidad con las variables: físicas (topografía, altitud, pendientes), ambientales (vegetación, erosión, uso de suelo medio) y socioeconómicas (densidad de población, tipo de vivienda, acceso a servicios). Al mismo tiempo, se realizarán modelos hidrológicos y pluviométricos que permitirán definir las áreas críticas para inundaciones e ingresos de la operación de la presa de Hatillo sobre los eventos de desbordamiento. Esta fase establecerá con precisión las áreas de mayor riesgo y será la base de la estrategia para establecer las medidas preventivas.

Gestión integral del riesgo

Se impulsará el desarrollo de los lineamientos técnicos y estratégicos necesarios para la reducción del riesgo, y se plantearán técnicas estructurales y no estructurales. Las técnicas estructurales a desarrollar considerarán la mejora de los drenajes pluviales, las defensas ribereñas y las previstas obras hidráulicas complementarias. A las medidas no estructurales se les reconoce la existencia de protocolos de operación coordinada de la presa, sistemas de alerta temprana, planificación del territorio a partir de la vulnerabilidad y los planes de evacuación familiar y comunitaria. La estrategia pretende garantizar la funcionalidad de las intervenciones a través de la coordinación interinstitucional entre las autoridades locales, INDRHI, Ministerio de Medio Ambiente y organismos de Protección Civil.

Fortalecimiento de la resiliencia comunitaria

Se plantea un componente de participación y educación comunitaria a partir de talleres, simulacros y programas de sensibilización sobre la gestión de las inundaciones y la preparación ante las emergencias. Este enfoque pretende fortalecer la capacidad de respuesta local a partir de las redes comunitarias existentes y de las prácticas informales de resiliencia que se detectaron durante el diagnóstico. La relación con la comunidad hará posible que las recomendaciones técnicas sean socialmente aceptables y sostenibles y tendrá un efecto perdurable sobre la seguridad de las poblaciones vulnerables.

Integración y seguimiento

La estrategia prevé también que los resultados sean incorporados en la planificación local a través de la entrega de recomendaciones técnicas de la mano de mapas temáticos de vulnerabilidad ante inundaciones a las autoridades competentes a nivel provincial y municipal. También se prevé un proceso de monitoreo y evaluación continuo de las medidas implementadas, con indicadores relacionados con la reducción de vulnerabilidad, efectividad de las alertas tempranas y la respuesta de las comunidades ante inundaciones. De este modo se facilita la posibilidad de que los resultados del proyecto no sean solo académicos, sino que sean operacionales y funcionales en la gestión del riesgo de desastre.

3.2.2 Responsables de la implementación

1. Coordinación general

Investigador principal / director del proyecto: Será responsable de la planificación general, del seguimiento de todas las actividades, de la coordinación de los equipos técnicos y académicos, así como del cumplimiento de los objetivos del proyecto. Permite la integración de los distintos componentes: análisis espacial, social, de gestión del riesgo.

Equipo técnico multidisciplinario: formada por técnicos de SIG, de hidrología, de geografía, de ingeniería ambiental y de sociología, que se encargan de la obtención, el

tratamiento y el análisis de los datos, y de la producción de mapas de vulnerabilidad y de modelos hidrológicos.

2. Instituciones públicas y organismos relacionados

INDRHI (Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos): se encargará de la información operativa de la presa de Hatillo, de los niveles de agua, de los caudales desembalsados y del trabajo de coordinación de las medidas de prevención y de alertas tempranas y de la valoración del impacto hidráulico de las compuertas en las zonas aguas abajo.

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MIMARENA): Organismo responsable de verificar los componentes ambientales del proyecto, produce información sobre la utilización de los suelos y la vegetación ribereña, las recomendaciones de conservación y se asegura de que las recomendaciones que son parte del proyecto se encuentran en conformidad con las normativas relacionadas con temas ambientales.

Dirección provincial de Protección Civil y Gestión de Riesgos - Sánchez Ramírez: Entidad encargada de coordinar el desarrollo de los planes de emergencias, los simulacros de evacuación y los protocolos de evacuación; asegurando la interrelación del proyecto con los planes de contingencia de los gobiernos locales.

Gobiernos locales (municipales y distritales): Las recomendaciones de la planificación territorial; la infraestructura local y las recomendaciones de estructuras de mitigación y no estructurales; las mismas son de su competencia, pues ellos son quienes los habrán de implementar en las comunidades vulnerables visitas que en la práctica no tienen responsable dentro del proyecto.

Comunidad y actores locales

Líderes comunitarios y juntas de vecinos: Se involucrarán para validar la información sobre impactos sociales, las rutas de evacuación existentes y las prácticas de resiliencia. También harán las funciones de intermediar la comunicación entre el equipo

técnico y la población y serán los encargados de garantizar la aceptación social de las medidas preventivas.

Población residente en las zonas de riesgo: También serán actores, pues serán los responsables de llevar a cabo los planes de evacuación que serán familiares, de adoptar las medidas de mitigación correspondientes en las casas y de participar en los simulacros y capacitaciones. La población, como un agente que incide, se convierte en el nexo para la construcción de la resiliencia local y para garantizar la sostenibilidad de las intervenciones.

Rol de coordinación y seguimiento

Comité de seguimiento del proyecto: El comité de seguimiento y evaluación se ubica a la intersección entre el equipo técnico, las autoridades municipales, el INDRHI y las entidades comunitarias, sus funciones será la de hacer un seguimiento de los avances, de garantizar la aplicación de los cronogramas, y el de evaluar la efectividad de las estrategias adoptadas en el proceso de ejecutar el proyecto. Este comité también es un punto de integración entre la investigación aplicada en la gestión del territorio ante su respuesta comunitaria, es el canal mediante el cual las decisiones tomadas sobre cómo ejecutar el proyecto garantizan la sostenibilidad de las acciones.

3.3 Objetivos

3.3.1 Objetivo general

Diseñar una propuesta integral de soluciones para reducir la vulnerabilidad ante inundaciones de las localidades en el entorno del río Yuna de la provincia Sánchez Ramírez, en función de la operación de la presa de Hatillo, mediante medidas estructurales y no estructurales, así como de fortalecimiento de la comunidad con la intención de trabajar en la mejora de la seguridad, la resiliencia y la gestión territorial de las comunidades que experimentan dicha vulnerabilidad.

Objetivos Específicos

1. Identificar y priorizar las zonas críticas de inundación mediante la superposición de análisis espacial, modelación hidrológica y datos históricos de eventos extremos, para focalizar las intervenciones estructurales y no estructurales de forma eficiente.
2. Diseñar medidas estructurales de mitigación, tales como la mejora de drenajes pluviales, defensas ribereñas y obras hidráulicas complementarias, empleando para ello criterios técnicos y la topografía de las zonas de riesgo.
3. Proponer medidas no estructurales como protocolos de operación coordinada de la presa de Hatillo, sistemas de alerta, planificación de usos del suelo, planes de evacuación comunitaria y familiar, con la finalidad de reducir los impactos de esos eventos de inundación.
4. Fortalecer la resiliencia de las comunidades mediante programas de educación ambiental, capacitación y simulacros de emergencias, fomentando la participación de la población del área y el uso de redes locales para la comunicación y el apoyo.
5. Desarrollar un plan para la implementación y el seguimiento de los trabajos, en el que se definan responsables institucionales, mecanismos de coordinación interinstitucional y sistemas de seguimiento, para asegurar la sostenibilidad y la efectividad de las acciones propuestas a medio y largo plazo.

3.4 Plan de acción

Para garantizar el éxito del proyecto, es necesario la puesta en marcha de un conjunto de acciones, las cuales se describen en el siguiente cuadro

Metas	Objetivos	Acciones	Medios	Recursos	Responsables
Reducir la exposición de la población a inundación	Identificar y priorizar zonas críticas de inundación	- Realizar análisis espacial con SIG- Modelar escenarios de inundación	SIG, datos topográficos e hidrológicos, registros históricos	Computadoras con software SIG, datos pluviométricos y	Equipo técnico del proyecto, especialistas en

es en zonas críticas		- Evaluar historial de eventos extremos		geoespaciales	hidrología y SIG
Mejorar la infraestructura de mitigación de inundaciones	Diseñar medidas estructurales de mitigación	- Construir defensas ribereñas - Mejorar drenajes pluviales - Planificar obras hidráulicas complementarias	Planos de ingeniería, software de modelado hidráulico	Materiales de construcción, maquinaria, personal técnico	Autoridades municipales, Ministerio de Obras Públicas, equipo técnico
Incrementar la preparación y capacidad de respuesta de la población	Proponer estrategias no estructurales	- Elaborar protocolos de operación coordinada de la presa de Hatillo - Implementar sistemas de alerta temprana - Desarrollar planes familiares y comunitarios de evacuación	Manuales de procedimiento, sistemas de comunicación, talleres comunitarios	Radios, teléfonos, señalización, recursos educativos	INDRHI, Protección Civil, líderes comunitarios
Fortalecer la resiliencia comunitaria	Fortalecer la resiliencia comunitaria	- Realizar talleres de educación Ambiental - Capacitar a la población en gestión de riesgos	Material didáctico, guías, simulaciones prácticas	Recursos educativos, instructores, espacios comunitarios	Líderes comunitarios, Protección Civil, equipo de capacitación

		- Simulacros de emergencia			n del proyecto
Garantizar la sostenibilidad y seguimiento del Proyecto	Elaborar plan de implementación y seguimiento	- Definir indicadores de monitoreo- Establecer comité de seguimiento - Realizar evaluaciones periódicas de efectividad	Informes, actas de seguimiento, reuniones técnicas	Personal técnico, sistema de información, documentos de planificación	Comité de seguimiento, equipo técnico, autoridades locales

3.5 Cronograma de implementación del proyecto

Actividad	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Diagnóstico de la situación actual	■				
Análisis del diagnóstico y elaboración de mapas	■	■			
Revisión de antecedentes y marco teórico	■				
Planificación de viajes de campo	■	■			
1er viaje de campo – datos socioambientales		■			
2do viaje de campo – evaluación hidráulica		■	■		
Análisis de información recolectada			■		
Elaboración capítulos 1-3 (Introducción, Marco Teórico, Metodología)			■	■	
3er viaje de campo – validación mapas				■	
4to viaje de campo – talleres y simulacros				■	
Elaboración capítulo 4 – Resultados				■	■
Ajuste integral y propuesta de solución					■

5to viaje de campo – seguimiento piloto					■
Elaboración capítulo 5 – Propuesta y conclusiones					■■■
Entrega final					■

Leyenda:

- ■ = semanas activas aproximadas de ejecución por actividad.
- Cada bloque corresponde a 1-2 semanas según la complejidad de la tarea.

3.6 Presupuesto

Descripción	Precio Por viaje	Precio total
Hotel viaje de campo (1 noche por viaje)	7,000.00	42,000.00
Combustible (13 galones por viaje)	3,000.00	18,000.00
Dieta de campo	4,500.00	27,000.00
Material Gastable (PA)	1,500.00	9,000.00
Impresiones	6,000.00	6,000.00
Sub-total	22,000.00	102,000.00
Imprevisto (10%)		10,200.00
Total	112,200.00	

Fuente: Elaboración propia

3.7 Análisis de factibilidad

3.7.1. Factibilidad técnica

La factibilidad técnica del proyecto se aprecia como alta, ya que se cuenta con las herramientas suficientes para realizar el análisis espacial con SIG y modelación hidrológica, así como por los datos geoespaciales y pluviométricos de la cuenca del río Yuna, y por la información operativa de la presa de Hatillo que proporciona el INDRHI, lo que permite la obtención de mapas de vulnerabilidad y la modelación de escenarios de inundación. También existe personal formado en SIG, hidráulica, ingeniería ambiental y ciencias sociales que permite garantizar la correcta obtención, procesado y análisis de la información. La consideración de métodos cuantitativos y cualitativos para aumentar la

confiabilidad de los resultados y la validez de los hallazgos en la planificación territorial, así como la gestión de riesgos.

3.7.2. Factibilidad económica

Desde un enfoque económico, el proyecto implica una inversión moderada, destinada básicamente a la compra de insumos tecnológicos, al transporte de viajes de campo, a los materiales de los talleres comunitarios y a las acciones de comunicación y capacitación. La propuesta de soluciones estructurales (defensas ribereñas, mejoras de drenaje, etc.) puede ser comenzada de forma gradual y priorizando zonas críticas, optimizando así los recursos disponibles. La factibilidad económica también se ve respaldada con la opción de acudir en busca de recursos financieros. Éstos pueden provenir de instituciones gubernamentales (Reconstrucción, RDL, etc.), cooperación internacional o fondos de gestión de riesgos, garantizando la continuidad y la sostenibilidad del proyecto.

3.7.3 Factibilidad social

La factibilidad social del componente del proyecto es alta, dado que se induce a un papel activo de las comunidades locales, las cuales han desarrollado prácticas informales de resiliencia. La proyección de la aceptación social es positiva, puesto que las acciones propuestas (simulacro, capacitación, planes de evacuación y mejora de la infraestructura local) son un buen ejemplo de que las acciones propuestas son respuestas a necesidades que emergen claramente del diagnóstico e indican la preocupación de la población sobre la seguridad y protección de los bienes. La implicación de los líderes de la comunidad y de las organizaciones locales hace que se legitime el proyecto y ayuda a poner en práctica las acciones de prevención y educación.

3.7.4. Factibilidad ambiental

El proyecto presenta una gran factibilidad ambiental, ya que las medidas propuestas son una combinación de acciones estructurales y no estructurales que minimizan los impactos negativos en los ecosistemas. La preservación de la vegetación ribereña, la ordenación del territorio basada en la vulnerabilidad, la correcta gestión de las obras

hidráulicas permite asegurar que las intervenciones no degraden el estado del río y su entorno. El proyecto contribuye a la sostenibilidad ambiental indirectamente, ya que contribuye a evitar la erosión y la contaminación por inundaciones.

3.7.5. Factibilidad institucional

Se considera positiva la factibilidad institucional considerando que existen marcos normativos y organismos responsables de la gestión de riesgos, como el INDRHI, Protección Civil y los gobiernos locales. La coordinación interinstitucional es importante para avanzar en accionar las acciones propuestas, y los protocolos de comunicación y alertas tempranas pueden ser flexibles y ser fortalecidos con la información generada por el proyecto.

3.8 Sostenibilidad

La sostenibilidad desde la vertiente ambiental es que el proyecto promueve la gestión responsable del territorio con la reducción de los impactos de las inundaciones en ecosistemas fluviales y ribereños. Las medidas propuestas tanto estructurales y no estructurales son construidas para minimizar la alteración de los hábitats y conseguir el salvaguardado de la vegetación ribereña, la que marca un elemento fundamental en el restablecimiento de la esorrentía, en la prevención de la erosión y el filtraje natural de contaminantes.

La protección y restauración de los márgenes del río ayudan a preservar la estructura ecológica del mismo, proponiendo un balance entre intervención humana y conservación de las condiciones ambientales. A su vez, el proyecto se constituye en una plataforma que propicia la implementación de prácticas de manejo del suelo de manera sostenible, evitando la ocurrencia de compactaciones y propiciando la infiltración natural del agua, factor que limita la ocurrencia de inundaciones.

La vertiente de sostenibilidad social está orientada a la resiliencia de la comunidad y a la participación ciudadana. Las acciones de capacitación, talleres y simulacros permiten que las poblaciones genuinamente adquieran conocimientos prácticos sobre gestión de

riesgos y hábitos preventivos, para crear una cultura de seguridad y preparación para inundaciones, además del impacto que tiene la capacitación de los líderes comunitarios y familias, los cuales aseguran que los tópicos no sean semejantes a las intervenciones ajenas, sino que estos se vayan constituyendo en prácticas locales sostenibles. La participación de la población en la fase de planificación y realización del proyecto refuerza la confianza, la colaboración y la capacidad de respuesta frente a eventos extremos, lo cual es indicativo de la sustentabilidad social a mediano y largo plazo.

El proyecto favorece la coordinación interinstitucional entre instituciones como el INDRHI, Protección Civil, los ministerios locales y los gobiernos municipales. Tal coordinación permite que los distintos protocolos de alerta, los planes de evacuación o las medidas de mitigación estructural sean implementados de forma coherente y se mantengan más allá del tiempo del proyecto. Los comités de seguimiento y de evaluación garantizan que las políticas y las prácticas logradas puedan incrustarse en los planes de gestión de riesgos locales y regionales. Así se logra un marco institucional que trasciende la vida del proyecto.

A pesar de que la inversión inicial puede requerir recursos para infraestructura, formación de los actores sociales y adquisición de equipos, la priorización de las zonas críticas y la progresión en la implementación del conjunto de medidas permiten un uso eficiente de los recursos económicos. Las medidas no estructurales, tales como planes de evacuación, sistemas de alerta o la formación comunitaria, representan las inversiones de menor costo y con mayor impacto preventivo, lo cual amplía la rentabilidad social de la intervención y reduce los gastos futuros relacionados con los daños que generen inundaciones. La sostenibilidad económica es favorecida por la potencial existencia de coordinación con organismos gubernamentales y/o fondos de cooperación internacional, de manera que se puede garantizar la continuidad y el respaldo financiero para mantener y mejorar las medidas de prevención implementadas.

El proyecto en su diseño incorpora el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), la modelación hidrológica y las bases de datos de fenómenos hidrometeorológicos, herramientas que pueden ser actualizables y transferibles para el desarrollo de análisis de

otras zonas del río Yuna o de las áreas de riesgo. La elaboración de mapas temáticos, la generación de indicadores de vulnerabilidad y el establecimiento de protocolos para su seguimiento constituyen un conjunto de productos tecnológicos y metodológicos que, por otra parte, podrían ser reutilizados en futuras investigaciones, en planificación territorial o en la gestión de emergencias.

3.9 Monitoreo y seguimiento

El control y seguimiento del proyecto son elementos claves para asegurar que las acciones planificadas se realicen correctamente y que se logre el cumplimiento de los objetivos definidos. Las acciones de control y seguimiento permiten evaluar la marcha del proyecto, identificar, si las hubiera, las desviaciones y proponer con carácter inmediato las correspondientes medidas correctivas, para hacer frente a la cuestión de la eficacia y sostenibilidad de las estrategias implementadas con la finalidad de reducir las vulnerabilidades a inundaciones. En este sentido, el esquema de control y seguimiento combina la acción de herramientas técnicas, la participación de la comunidad y la coordinación institucional, para lograr la superación de una actividad de control integral.

Desde la visión técnica, se implementará un sistema de monitorización físico-ambiental que prevea la revisión constante de los niveles del río Yuna y de los caudales desembalsados por la presa de Hatillo, el seguimiento de la funcionalidad de los drenajes pluviales, las defensas ribereñas y otras infraestructuras hidráulicas clave, la evaluación de las condiciones de márgenes ribereñas y la vegetación asociada, así como en la revisión de procesos de erosión, de cambios de usos del suelo y de factores que incrementen el riesgo ante futuras inundaciones. Este monitoreo técnico generará información actualizada, lo que facilitará la identificación de ajustes de operación y de planificación pertinente.

Con relación a la dimensión social, el seguimiento tendrá también el sentido de evaluar la percepción del riesgo de la población, la puesta en marcha de los planes familiares de evacuación así como la participación en talleres y simulacros en las denuncias e informes que evidencien la existencia de impactos de inundaciones sobre viviendas, cultivos y servicios básicos como la salud y la asistencia, de modo que se pueda evaluar la

capacidad de respuesta de las estrategias de mitigación puestas en marcha. La participación de líderes comunitarios como responsables del seguimiento asegura la obtención de datos sociales ajustados a la realidad y a las quejas reales, favoreciendo la apropiación local de las medidas de prevención.

El seguimiento institucional es igual de relevante, centrado en la coordinación interdependiente de organismos como el INDRHI, Protección Civil, gobiernos municipales y líderes comunitarios. Se evaluará el correcto funcionamiento de los protocolos de operación de la presa de Hatillo, de los planes de contingencia y de las medidas preventivas, de manera que las políticas y los planes de acción se traduzcan en resultados tangibles y sostenibles. La estructura de un comité de coordinación interinstitucional permitirá consolidar un marco de seguimientos y de supervisión, que pueda ser modificado en función de las observaciones que haya dejado el monitoreo.

Para asegurar una gestión robusta se definirán unos indicadores claros, medibles y específicos, como pueden ser el porcentaje de zonas críticas con mapas actualizados, el número de viviendas y escuelas protegidas, el número de simulacros que se realizan, el grado de coordinación institucional, el porcentaje de impacto social y económico durante las inundaciones. Los indicadores serán objeto de evaluaciones temporales, así como de trimestrales que sirvan para retroalimentar las estrategias y tomar decisiones de manera oportuna. El dinamismo del proyecto está garantizado por el enfoque sistemático, donde los procedimientos van modificándose en función de la información recolectada en campo y de la conducta del río y sus márgenes.

El seguimiento y monitoreo formará también parte de un sistema integral de gestión del riesgo basado en mediciones técnicas, percepción comunitaria y coordinación institucional, garantizando que las acciones del proyecto fueren efectivas, sostenibles y replicables, a la vez que se aseguran que las comunidades van siendo más resilientes y mejorando su capacidad de respuesta ante inundaciones, así como de facilitar que los beneficios pervivieran en el tiempo, contribuyendo al desarrollo sostenible y a la seguridad de la provincia de Sánchez Ramírez.

CAPÍTULO IV: GESTIÓN Y ORGANIZACIÓN DE LA SOLUCIÓN

4.1 Introducción

La reducción de la vulnerabilidad a inundaciones en los alrededores del río Yuna (provincia Sánchez Ramírez) no depende únicamente del diagnóstico físico y del análisis espacial, sino también de una estructura clara de gestión del proyecto, coordinación interinstitucional y organización operativa. En territorios fluviales con dinámica aluvial, la efectividad de una propuesta se define por la capacidad de articular: (i) evidencia geoespacial para priorizar intervenciones, (ii) protocolos de operación y comunicación (incluyendo la influencia de infraestructuras hidráulicas como la presa de Hatillo), y (iii) preparación comunitaria y monitoreo continuo.

Este capítulo presenta el modelo de gobernanza y la organización para implementar la solución propuesta. Se definen roles, fases de trabajo, mecanismos de coordinación, gestión de recursos, gestión de información geoespacial, gestión de riesgos del proyecto y un sistema de monitoreo y evaluación. El enfoque se orienta a asegurar que las medidas estructurales (obras e infraestructura) y no estructurales (protocolos, ordenamiento, alerta temprana y capacitación) se ejecuten de forma consistente, verificable y sostenible.

4.2 Enfoque de gestión para una solución geológico-territorial

El sistema de gestión de la solución se fundamenta en cuatro de los siguientes principios que tienen carácter de operativo:

Gestión en base a prueba espacial: todas las decisiones respecto de la gestión se sustentan en cartografía de temática, toma de decisiones en base a análisis multicriterio, y validación de campo (geomorfología, suelos, drenajes y exposición).

Priorización espacial de microzonas críticas: la localización de intervenciones se hace en los espacios donde concurren las condiciones de baja altitud, la planicie de inundación, el drenaje, la erosión de márgenes y la alta exposición social.

Coordinando operatividad presa-territorio-comunidad: se establecen protocolos formales de aviso y alerta para situaciones en el espacio de eventos hidrometeorológicos y

operaciones de descarga, lo que provoca una disminución de la incertidumbre y un ajuste de los tiempos de reacción.

Gestión adaptativa: se pondrá en acción el ciclo Planificar-Hacer-Comprobar-Ajustar, permitiendo que la fase de "planificar" esté alimentada por los resultados del seguimiento de la variable del espacio de hidrometeorología, el informe de las auditorías técnicas, la perspectiva de los comunitarios.

4.3 Estructura organizativa y gobernanza del proyecto

La memorización de una página se verifica en tres niveles: dirección estratégica, coordinación técnico-operativa y participación/validación territorial. Dicha estructura permite mantener control técnico (SIG-hidrología y geología-geomorfología), coordinaciones institucionales y una apropiación comunitaria.

4.3.1 Organigrama funcional propuesto

Nivel I: Dirección y control

Director del proyecto/ Investigador principal (responsable máximo).

Comité de seguimiento interinstitucional (aprobación y control).

Nivel II: Coordinación técnica (núcleo operativo)

Coordinación SIG e hidrología/hidráulica.

Coordinación geología-geomorfología fluvial (ingeniería geológica aplicada).

Coordinación socio-territorial y gestión del riesgo.

Coordinación logística y administrativa (recursos, cronograma, compras).

Nivel III: Enlaces institucionales y comunitarios

INDRHI: datos operativos, caudales, articulación de alarmas y coordinación por operación de presa.

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales: componente ambiental, cobertura/uso del suelo y cumplimiento normativo.

Protección Civil/Defensa Civil: planes de emergencia, simulacros, evacuación y refugios.

Ayuntamientos y gobiernos locales: ordenamiento territorial, infraestructura local y mantenimiento.

Liderazgos comunitarios: validación territorial, puntos focales de alarma y apoyo a la implementación.

4.3.2 Comité de seguimiento: composición y funciones

Composición mínima recomendada:

Representante del equipo técnico (SIG/hidrología).

Representante geología/geomorfología.

Representante del INDRHI.

Representantes de ayuntamientos implicados.

Protección Civil provincial.

Representantes comunitarios de microzonas priorizadas.

Funciones principales:

Validar la priorización territorial y el cronograma.

Aprobar protocolos de comunicación y alertas.

Supervisar indicadores, revisar resultados y autorizar ajustes.

Promover la coherencia entre diseño técnico, obras y gestión social.

4.4 Planificación operativa por fases

La implementación se organiza por fases con el objetivo de evitar intervenciones aisladas y asegurar que la infraestructura, la gestión operativa y la preparación comunitaria se desarrollen de forma coordinada.

Fase 1. Preparación, acopio y control de calidad de datos (SIG + campo)

Objetivo: consolidar una base de datos geoespacial robusta, trazable y verificable.

Actividades clave:

Consolidación de MDE, pendientes, hidrografía, coberturas y uso del suelo.

Recuperación de registros históricos de inundación y afectaciones.

Diseño y ejecución de campañas de campo (puntos de control, fotografías, levantamiento GPS).

Control de calidad (QA/QC): consistencia espacial de la información, proyecciones, metadatos y validación cruzada.

Producto: Geodatabase del proyecto y protocolo de QA/QC.

Fase 2. Modelación y zonificación de vulnerabilidad/amenaza (priorización)

Objetivo: circunscribir y clasificar áreas de intervención de acuerdo con la amenaza potencial.

Actividades clave:

La modelación espacial con la que se busca determinar las áreas con baja altitud y alta susceptibilidad por anegamiento.

La validación y acondicionamiento de las microzonas vulnerables, validadas en el terreno y con evidencia que proviene de la comunidad.

La integración de los elementos que agravan la amenaza: erosión de márgenes, pérdida de vegetación ribereña, compactación del suelo, drenaje insuficiente.

El producto obtenido serán mapas temáticos finales (de amenaza; de vulnerabilidad física y social; de infraestructura expuesta y de rutas críticas).

Fase 3. Diseño de medidas estructurales y soluciones basadas en la naturaleza

Objetivo: reducir la exposición física de la población y mejorar la respuesta hidráulica del medio.

Actividades clave:

Diseño priorizado de drenajes pluviales, defensas ribereñas y obras complementarias de las microzonas críticas; recomendaciones de restauración ribereña (bioingeniería, revegetación, control de la erosión) para estabilizar márgenes y mejorar la infiltración.

Producto: cartera de obras y fichas técnicas por microzona (alcance, criterios de diseño, mantenimiento).

Fase 4. Medidas no estructurales: operación coordinada, alerta temprana y ordenamiento

Objetivo: disminuir las pérdidas a partir de la gestión preventiva y la coordinación presa-territorio.

Actividades clave:

Elaboración de los protocolos de operación coordinada y de comunicación: umbrales de aviso, cadena de llamada y comunicación estándar.

Implementación/reforzamiento de las alertas tempranas: radios, telefonía y puntos focales y señalización.

Lineamientos para el ordenamiento del territorio (método de los mapas): restricciones de uso en franjas inundables y criterios de mitigación/reubicación gradual.

Producto: protocolo operativo y guía territorial de uso del suelo para autoridades locales.

Fase 5. Preparación comunitaria: planes de evacuación, capacitación y simulacros

Objetivo: aumentar las capacidades de respuesta y disminuir el riesgo humano.

Actividades clave:

Elaboración de planes familiares y comunitarios de evacuación.

Talleres de educación ambiental y gestión del riesgo, métodos de base práctica.

Simulacros periódicos y coordinados con Protección Civil y los ayuntamientos.

Producto: planes de evacuación, rutas señalizadas y bitácoras de simulacros.

Fase 6. Seguimiento, evaluación y ajuste adaptativo

Objetivo: asegurar la sostenibilidad y la medición de la efectividad.

Actividades clave:

Actualización periódica de la cartografía y la revisión técnica de obras y drenajes.

Evaluación social e institucional: participación, cumplimiento de planes y desempeño de alertas.

Informes trimestrales y revisión de ajustes en el comité de seguimiento.

4.5 Matriz de responsabilidades (RACI) por componentes críticos

La matriz RACI asigna responsabilidades para garantizar claridad operativa. A = responsable final, R = ejecutor, C = consultado, I = informado.

Actividad / Entregable	A	R	C	I
Geodatabase QA/QC +	Investigador principal	Coord. SIG-H	Coord. GEO-GMF; MIMARENA	Ayuntamientos; INDRHI
Validación geomorfológica de microzonas de	Investigador principal	Coord. GEO-GMF	Coord. SIG-H; Comunidad	Ayuntamientos; PC
Modelos y mapas de vulnerabilidad de	Investigador principal	Coord. SIG-H	Coord. GEO-GMF; Coord. Social	INDRHI; Ayuntamientos
Diseño drenajes/defensas ribereñas de	Ayuntamientos	Equipo técnico (SIG-H/GEO)	MIMARENA; Comunidad	PC; INDRHI

Actividad / Entregable	A	R	C	I
Protocolo operación presa y alertas	INDRHI	INDRHI + Coord. Social	PC; Ayuntamientos	Comunidad
Planes de evacuación y simulacros	Protección Civil	Coord. Social	Comunidad; Ayuntamientos	INDRHI
Monitoreo e informes trimestrales	Comité de seguimiento	IP + Coord. SIG-H	PC; INDRHI; Comunidad	MIMARENA; Ayuntamientos

4.6 Gestión de recursos y control administrativo

4.6.1 Recursos humanos

Se requiere un número mínimo con competencias en SIG y teledetección; hidrología e hidráulica; geología/geomorfología fluvial (morfodinámica, erosión de márgenes, suelos e infiltración); y gestión social del riesgo (talleres, levantamiento de percepción, planes de evacuación).

4.6.2 Recursos logísticos y presupuesto

El control financiero tiene que garantizar continuidad de campañas de campo, talleres y productos cartográficos. Hay que registrar el gasto por actividad (campo, SIG, talleres, impresión y socialización), realizar revisión mensual y priorizar las microzonas.

4.6.3 Cronograma y control de tiempo

Se acepta un cronograma de línea base con reuniones técnicas quincenales (equipo) y reuniones mensuales del comité de seguimiento. Las dependencias críticas son: la zonificación validada como requisito para diseño de obras, y el protocolo de alertas como requisito para simulacros.

4.7 Gestión de la información geoespacial y trazabilidad

La información geoespacial ha de ser fiable, actualizable y compartible. Se sugiere una geodatabase con capas físicas (MDE, pendientes, hidrografía), geomorfológicas

(planicies aluviales, depresiones, erosión), ambientales (cobertura vegetal, uso del suelo), de exposición (viviendas e infraestructura crítica) y sociales (densidad, rutas y refugios).

Normas de calidad: metadatos a incluir obligatoriamente por capa (fuente, escala, fecha, precisión, responsable), control topológico, versionado y respaldos semanales con bitácora de cambios.

4.8 Plan de comunicación y coordinación operativa

4.8.1 Comunicación interinstitucional

Se fija un canal formal mediante el comité de seguimiento (mensual con actas), un canal técnico SIG-hidrología-geología (quincenal) y un canal operativo INDRHI-Protección Civil-Ayuntamientos para emitir alertas.

4.8.2 Comunicación comunitaria y alerta temprana

La comunicación debe ser redundante y sencilla, concediendo prioridad a la rapidez y claridad. Se aconseja: focal points comunitarios, mensajes predefinidos (alerta preventiva, evacuación, final de alerta), señalización de itinerarios seguros y lugares de encuentro.

4.9 Gestión de riesgos del proyecto

Se identifican una serie de riesgos clave y se plantean medidas de mitigación asociadas a los mismos:

Riesgo	Tipo	Prob.	Impacto	Medida de mitigación
Retraso en acceso a datos operativos/hidrometeorológicos	Institucional	Media	Alta	Acuerdo formal de intercambio y punto focal institucional; calendario de entregas.
Evento extremo durante campañas de campo	Operativo	Media	Alta	Protocolo de seguridad; suspensión por umbrales de

				lluvia; rutas alternas.
Baja participación comunitaria o conflictos sociales	Social	Media	Media	Trabajo con líderes; talleres por microzona; comunicación continua y transparente.
Inconsistencias SIG (proyección, topología, georreferenciación)	Técnico	Media	Media	QA/QC; revisión cruzada; metadatos completos; respaldos y versionado.
Impactos ambientales no previstos por obras	Ambiental	Baja-Media	Alta	Revisión ambiental; diseño con bioingeniería; manejo de sedimentos y mantenimiento.
Falla en cadena de comunicación de alertas	Operativo	Media	Alta	Redundancia (radio/telefonía); pruebas periódicas; simulacros trimestrales.

4.10 Control, monitoreo y evaluación de desempeño

El monitoreo mezcla mediciones técnicas, coordinación institucional y seguimiento comunitario. Para evaluar la ejecución de la implementación y cómo esta afecta la reducción del riesgo, se aconsejan indicadores cuantificables.

Indicadores sugeridos:

Porcentaje de microzonas críticas que dispongan de cartografía actualizada y validada.

Número de obras/medidas de obras ejecutadas por microzonas y seguimiento de su estado de mantenimiento.

Promedio de tiempo entre el aviso de la descarga y la recepción comunitaria de la alerta.

Porcentaje de hogares de la muestra familiar que dispongan del plan familiar de evacuación y participa en simulacros.

Reducción de problemas recurrentes (vivienda, cultivos, servicios) a mediano plazo.

4.11 Cierre del capítulo

La gestión y organización de esta solución de convivencia requiere cautela en la gobernanza, una planificación por fases; el control de recursos, la trazabilidad de los datos geoespaciales, y una robusta estrategia de comunicación y alerta temprana. En este sentido, la propuesta se ha traducido en un esquema operativo aplicable que hace uso de la dimensión física (dinámica fluvial y geomorfología), dimensión institucional (coordinación y operación) y dimensión social (preparación y resiliencia) para reforzar la reducción del riesgo de inundaciones en los barrios del río Yuna.

CAPÍTULO V: CONSIDERACIONES FINALES

Este capítulo es producto de las conclusiones y recomendaciones surgidas del análisis espacial de la vulnerabilidad a inundaciones asociadas al río Yuna (provincia Sánchez Ramírez) y su vinculación con la operación de la presa de Hatillo. En este capítulo se exponen los objetivos alcanzados; se discuten críticamente los hallazgos a partir del contraste con el marco teórico y los antecedentes, y se formulan orientaciones prácticas para reforzar la gestión del riesgo en perspectiva de geología-territorio, institucional y comunitaria.

5.1 Conclusiones

5.1.1 Síntesis de objetivos logrados, hipótesis confirmada y metodología validada

Los objetivos propuestos para la investigación se consideraron cumplidos en su dimensión diagnóstica y de formulación de lineamientos, ya que se efectuaron: (i) la caracterización espacial de aquellas zonas expuestas a inundaciones utilizando herramientas SIG y análisis de relieves (altitudes, pendientes y proximidad al cauce); (ii) la evaluación integrada de factores físicos-ambientales (geomorfología aluvial, erosión de márgenes, cobertura vegetal y capacidad de infiltración) y sociales (exposición de asentamientos, preparación y acceso a información); (iii) la identificación de microzonas críticas para su intervención y priorización territorial; y (iv) el análisis de la relación de la operación de la presa de Hatillo en función de inundaciones recientes, en especial en episodios de lluvias extremas.

Con respecto a la hipótesis, se encuentra cierta evidencia empírica y contrasta los datos espaciales y comunitarios. Así, se hace eco de la idea cláusula que sugiere que la vulnerabilidad a inundaciones del medio del río Yuna tiene que ver con una interacción de variables (condiciones geomorfológicas y topográficas de planicies bajas, degradación, presión antrópica, debilidades institucionales) y que, bajo condiciones hidrometeorológicas concretas, la operación de la presa de Hatillo puede ser un factor amplificador del riesgo aguas abajo, en el momento en el que se realiza una descarga de caudal para mantener la integridad del embalse. Es de notar que una parte importante de los eventos considerados

vincula la actividad de las compuertas de la presa con precipitaciones extremas, lo cual pone de manifiesto el peso del componente operativo en la gestión del riesgo.

Se considera la metodología validada por su coherencia interna y su capacidad explicativa. El enfoque mixto ayudó a cruzar información cuantitativa (modelos de elevación, pendientes, delimitación de zonas inundables, indicadores de exposición) con información cualitativa (entrevistas, observación, percepción comunitaria), pero además la combinación del análisis multicriterio y de las actividades de campo fue muy importante para fortalecer la interpretación geológica de la susceptibilidad a inundaciones en particular en zonas de baja altitud y escaso drenaje.

5.1.2 Discusión crítica de resultados contrastados con el marco teórico y antecedentes

Los resultados obtenidos son coherentes con las expectativas que plantea el marco teórico que entiende la vulnerabilidad como la relación que se establece entre exposición, sensibilidad y potencial de adaptación. En relación con el componente de exposición, la identificación de sectores en planicies aluviales de baja altitud y pendiente escasa se ve confirmada por la literatura que reconoce a las llanuras, los fenómenos de inundación como cuestiones geológicas y geomorfológicas que tienen tendencia a la inundación o a la estenosis.

Dentro del componente de sensibilidad, la erosión de los márgenes, la disminución de la vegetación de ribera y la compactación del suelo aparente o asociada a prácticas antrópicas justifican el aumento del escurrimiento y el descenso de la infiltración; el mismo, pues, concuerda con los antecedentes que destacan el cambio en el uso del suelo y la degradación ambiental como factores sinérgicos que han concurrido a incrementar las crecidas.

Respecto de la capacidad de adaptación, las evidencias revelan limitaciones de tipo comunitarias e institucionales que son consistentes con otras evidencias sobre la gestión del riesgo en cuencas tropicales: predominancia de respuestas reactivas, déficits de coordinación y baja penetración de planes de evacuación y sistemas de comunicación de alertas. La falta de información y la percepción de escasa coordinación en las liberaciones de la presa evidencian una falta de gobernanza asociada a incrementar las pérdidas

económicas y sociales, aunque la amenaza física sea predecible bajo condiciones de precipitaciones intensas.

Un aspecto original que presenta este trabajo se refiere a la atención prestada a la interrelación presa-territorio, ya que considera que la regulación de los caudales no elimina el riesgo accidentológico cuando confluyen: (a) la confluencia de intensas precipitaciones en el marco de la cuenca, (b) una incapacidad de las condiciones de conducción del cauce por su desmedida escasez, (c) la ocupación humana en espacios que pueden inundarse y, (d) la carencia de protocolos de comunicación de carácter preventivo robustos. En suma, el resultado remarca que la infraestructura hidráulica por sí sola no puede hacer omitir la necesidad de la aplicación de ordenación territorial, la restauración de las riberas ni el refuerzo de las comunidades en alerta y en estado de preparación.

5.1.3 Implicaciones prácticas y teóricas, limitaciones y proyecciones futuras

Implicaciones prácticas. La elaboración de la zonificación de vulnerabilidad y la tipificación de microzonas críticas permite dar sentido a la ordenación del territorio y a la priorización de inversiones hacia aquellos sectores donde la fusión de amenaza física y exposición social son más elevadas. Desde el punto de vista de la gestión y organización (que se propone en el Capítulo IV), también se considera pertinente la existencia de una estructura interinstitucional (INDRHI, gobiernos locales, Ministerio de Medio Ambiente y Protección Civil, etc.), la creación de un comité de seguimiento y la existencia de una geodatabase actualizable para toma de decisiones. Las acciones que se proponen han de combinar medidas estructurales (drenajes, defensas ribereñas puntuales) y no estructurales (protocolos de comunicación, alerta temprana, educación, simulacros).

Implicaciones teóricas. El trabajo proporciona indicios aplicados de la utilidad del análisis multicriterio con SIG para representación de la vulnerabilidad por inundaciones, en combinación con el análisis de los factores físicos y los socioculturales. También refuerza la aproximación de vulnerabilidad como sistema socio-natural, donde los procesos geomorfológicos (planicies aluviales, erosión y sedimentación, etc.) y las decisiones de gestión (operación de presa; uso del suelo, gobernanza, etc.) co-determinan el riesgo.

Limitaciones. El trabajo solo se centra en los municipios de la provincia Sánchez Ramírez y en un horizonte temporal muy acotado en el tiempo, a pesar de que puede asignarse un significado explícito, de manera que no logra extrapolarse a toda la cuenca del Yuna. En cuanto a la precisión de los mapas, esta depende de la resolución que se les quite a los datos topográficos e hidrometeorológicos tratados, así como porque se trata, además, de un estudio con diseño transversal y ausencia de experimentación, por lo que los resultados que se extraen sobre la relación presa-inundaciones se justifican como asociación operativa a modo de la evidencia histórica y/o las percepciones por las dos relaciones que se extrapolan, y no obtenidos de forma cuantificada en causalidad determinista por medio de los modelos hidrodinámicos completos.

Evaluación para futuros trabajos. Añadir un periodo de análisis más extenso en series hidrometeorológicas, incluir la modelación hidráulica y la hidrodinámica, simulaciones 2D en tramos críticos, la dinámica de sedimentos del embalse y del cauce aguas abajo para evaluar la evolución morfológica y la influencia de la forma de su morfometría sobre la capacidad hidráulica. Además, se recomienda integrar la escenografía del cambio climático y los cambios en el uso del suelo, y realizar un seguimiento longitudinal del impacto real de las medidas aplicadas mediante indicadores contrastables de la reducción de pérdidas.

5.2 Recomendaciones

Las sugerencias han sido clasificadas de acuerdo con los ejes, priorizando aquellas intervenciones que se vislumbren de mayor impacto y de factibilidad para la reducción del riesgo de inundaciones en el área objeto de estudio:

a) Gestión territorial y ordenación del uso del suelo

Integrar el mapa de vulnerabilidad a inundaciones en los instrumentos de ordenación del territorio de cada uno de los municipios delimitando franjas inundables y áreas de restricción de ocupación en las márgenes del río Yuna.

Priorizar la intervención en microzonas críticas identificadas en el análisis espacial mediante la combinación del control de la ocupación, adecuación de drenajes y fortalecimiento comunitario.

Implementar corredores de ribera y zonas de amortiguación donde la viabilidad lo permita para disminuir la exposición y permitir que la energía de las crecientes se disipe. Gestión de la operación de la presa de Hatillo y coordinación interinstitucional

Formalizar un protocolo de comunicación y alerta anticipada en las conexiones a la apertura de las compuertas, a partir de umbrales de aviso, mensajes estandarizados y responsabilidades claramente definidas, entre el INDRHI, el Sistema de Protección Civil y los gobiernos locales.

Por el cual garantizar canales redundantes hacia las comunidades (radio comunitaria, telefonía móvil, altavoces de señales, focalización), realizando pruebas previamente a la llegada de la etapa de lluvias.

Fortaleciendo el monitoreo hidrometeorológico e hidro sedimentológico de la cuenca y el embalse, para anticipar escenarios de operación y disminuir la incertidumbre en la toma de decisiones.

b) Medidas estructurales y soluciones basadas en la naturaleza

Modificar y mantener sistemas drenantes de la lluvia en los sectores urbanos y periurbanos, garantizando que no se cierren y priorizando aquellos puntos que son recurrentemente anegados.

Implementar prácticas de bioingeniería y restaurar vegetación ribereña para estabilizar márgenes, disminuir la erosión lateral y favorecer la infiltración, como complemento a dársenas ribereñas cuando sea estrictamente necesario.

Implementar prácticas de manejo de suelos para disminución del escurrimiento y aporte de sedimentos al sistema fluvial en tierras agrícolas (coberturas, control compactación, barreras vivas).

c) Preparación comunitaria y fortalecimiento de capacidades Implementar y desarrollar planes comunitarios y familiares de evacuación, con rutas de acceso seguro, reunión de puntos y trabajo organizado para grupos vulnerables.

Implementar y desarrollar programas de educación y sensibilización para el riesgo de inundación y funcionamiento de la presa bajo el impulso de escuelas, juntas de vecinos y organizaciones comunitarias.

Implementar y desarrollar simulacros periódicos con los recursos de Protección Civil y los líderes comunitarios con incorporaciones de lecciones aprendidas y evaluaciones de finales.

d) Gestión de datos, seguimiento y evaluación Completar y actualizar una base geológica institucional compartida (municipios-INDRHI-MIMARENA) con metadatos y control de calidad, para mantener vigentes los mapas de vulnerabilidad y exposición.

Definir indicadores de cumplimiento (plazo de aviso, porcentaje de hogares con planes de evacuación, reducción de afectaciones recurrentes) y desarrollar informes trimestrales a vigente del comité de seguimiento propuesto en el Capítulo IV.

Completar estudios adicionales de modelación hidráulica y escenarios futuros (cambio climático y uso del suelo) para refinar la zonación y aumentar la precisión predictiva.

Referencias

- Aguilar, P., & Méndez, R. (2024). *Aplicaciones del modelo SWAT en la estimación de escorrentía y evaluación de riesgo de inundaciones en cuencas tropicales*. *Revista Internacional de Hidrología Aplicada*, 18(2), 77–95.
- Banco Mundial. (2021). *Evaluación del riesgo de desastres en República Dominicana*. <https://www.worldbank.org/>
- Bardin, L. (2021). *Análisis de contenido* (Ed. actualizada). Akal.
- Batista, L., Núñez, C., & Pérez, M. (2022). *Geomorfología y dinámica hidrográfica de las cuencas del Caribe insular: el caso del río Yuna*. *Revista Dominicana de Geociencias*, 8(2), 45–61.
- Benítez, L., Gallo, P., & Meneses, J. (2021). *Aplicación de los sistemas de información geográfica en el análisis de riesgo de inundaciones: avances y desafíos*. *Revista de Tecnología Ambiental*, 27(3), 64–81.
- Bigi, V., et al. (2021). *Flood vulnerability analysis in urban context: A socioeconomic sub-indicators overview*. *Climate*, 9(1), 12. <https://www.mdpi.com/2225-1154/9/1/12>
- Burrough, P. A., & McDonnell, R. A. (2015). *Principles of geographical information systems*. Oxford University Press.
- Campos, R., & Gómez, A. (2023). *Dimensiones económicas de la vulnerabilidad ante inundaciones en comunidades rurales latinoamericanas*. *Revista de Economía y Medio Ambiente*, 18(2), 84–101.
- Castillo, A., & Navarro, E. (2024). *Evaluación económica del impacto de inundaciones en comunidades rurales latinoamericanas*. *Revista de Desarrollo y Medio Ambiente*, 60(2), 44–61.

- Castillo, J., & Molina, R. (2022). *Comités locales de gestión de riesgos y resiliencia comunitaria frente a inundaciones en Nicaragua*. *Revista Centroamericana de Gestión del Riesgo*, 8(1), 55–74.
- Ceballos, D., Mena, F., & Vásquez, J. (2023). *Efectos hidrológicos y ecológicos de la regulación fluvial por presas en cuencas tropicales*. *Revista Internacional del Agua*, 19(3), 78–94.
- CEPAL. (2021). *Gestión del riesgo de desastres y cambio climático en América Latina y el Caribe*. <https://www.cepal.org/>
- CEPAL. (2021). *Gestión del riesgo de desastres y cambio climático en América Latina y el Caribe*. <https://www.cepal.org/>
- CEPAL. (2022). *Gestión del riesgo de desastres y desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://repositorio.cepal.org>
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE.
- Cruz, L., & Herrera, M. (2022). *Densidad poblacional y vulnerabilidad ante inundaciones en cuencas tropicales*. *Revista Latinoamericana de Estudios Sociales y Riesgo*, 10(2), 74–91.
- Delgado, R., Morales, D., & Pineda, S. (2021). *Enfoques integrados para el análisis de vulnerabilidad ante desastres naturales*. *Revista Latinoamericana de Gestión Ambiental*, 15(3), 77–91.
- Duarte, E., & Molina, F. (2021). *Cartografía del riesgo y vulnerabilidad ante inundaciones: una herramienta para la gestión territorial sostenible*. *Revista Latinoamericana de Estudios Ambientales*, 13(3), 112–130.

- Fernández, D., & Cabrera, L. (2022). *Modelación hidrológica y análisis espacial de inundaciones mediante integración de SIG y datos satelitales*. *Revista de Ingeniería Ambiental y Recursos Hídricos*, 10(1), 54–70.
- Fernández, J., & Martínez, V. (2022). *Modelos conceptuales de riesgo y vulnerabilidad: una revisión aplicada a los eventos hidrometeorológicos*. *Estudios Geográficos Contemporáneos*, 14(1), 29–46.
- Field, A. (2018). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (5th ed.). SAGE.
- Figueroa, P., Morales, J., & Ramírez, S. (2023). *Infraestructura y acceso a servicios básicos en la gestión del riesgo de inundaciones*. *Revista de Desarrollo Territorial y Gestión de Riesgos*, 12(1), 53–70.
- Flick, U. (2022). *An introduction to qualitative research* (6th ed.). SAGE.
- Flick, U. (2022). *An introduction to qualitative research* (6th ed.). SAGE.
- García, P., Ortega, M., & Sánchez, D. (2023). *Análisis espacial de la vulnerabilidad a inundaciones mediante SIG: aplicaciones en cuencas tropicales*. *Revista Internacional de Geoinformación Ambiental*, 9(2), 112–128.
- García, V., & Suárez, M. (2023). *Aplicación de inteligencia artificial para la modelación espacial del riesgo de inundaciones en cuencas tropicales*. *Revista Internacional de Geociencias Computacionales*, 10(1), 89–104.
- Gibbs, G. R. (2018). *Analyzing qualitative data* (2nd ed.). SAGE.
- Gómez Valenzuela, V., Bonilla-Duarte, S., Ramírez, K., Caballero González, C., & Pou Espina, A. (2024). *From ridge to reef: Land use dynamics and ecosystem services in the Yuna River basin: Insights for policymaking*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/382668715_From_ridge_to_reef_Land_use_dynamics_and_ecosystem_services_in_the_Yuna_River_basin_insights_for_policymaking

- Gómez, P., & Herrera, S. (2024). *Sedimentación y alteración morfológica en embalses de regulación hídrica: implicaciones para la gestión sostenible*. Revista Iberoamericana de Ingeniería Ambiental, 12(1), 102–119.
- Gómez, R., & Paredes, C. (2024). *Protocolos de emergencia y gestión de inundaciones en cuencas tropicales: experiencias en República Dominicana*. Revista Internacional de Gestión de Riesgos y Desastres, 16(2), 91–110.
- González, J. C. (2024). *Plan de adaptación a inundaciones influenciadas por el cambio climático Ciudad Colonial de Santo Domingo – República Dominicana*. Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado de <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Plan-de-adaptacion-a-inundaciones-influenciadas-por-el-cambio-climatico-Ciudad-Colonial-de-Santo-Domingo--Republica-Dominicana.pdf>
- González, P., & Herrera, S. (2023). *Vegetación ribereña y control de erosión en cuencas fluviales tropicales*. Revista Internacional de Ecología Aplicada, 21(2), 88–105.
- Gutiérrez, A., & Alvarado, R. (2022). *Factores económicos y resiliencia comunitaria frente a inundaciones en América Latina*. Revista de Economía y Medio Ambiente, 17(3), 105–123.
- Gutiérrez, D., Blanco, J., & Herrera, M. (2022). *Restauración ecológica y gestión de riberas como medida de mitigación ante inundaciones*. Revista de Ecosistemas y Medio Ambiente, 28(2), 75–90.
- Guzmán, A., Rivera, P., & López, M. (2023). *Educación ambiental y participación comunitaria en la mitigación de desastres: lecciones para cuencas tropicales*. Revista de Desarrollo Sostenible y Gestión del Riesgo, 15(2), 88–107.
- Hernández, F., & Morales, C. (2023). *Análisis multicriterio con SIG para la evaluación de vulnerabilidad a inundaciones en zonas urbanas latinoamericanas*. Revista Latinoamericana de Geografía Aplicada, 8(2), 72–90.

- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista, P. (2021). *Metodología de la investigación* (7ª ed.). McGraw-Hill.
- Herrera, P., & Pinto, G. (2024). *Factores ambientales y cambios en la cobertura del suelo asociados a la vulnerabilidad por inundaciones en cuencas tropicales*. *Revista de Ecología Aplicada*, 22(1), 55–73.
- INDRHI. (2020). *Informe técnico sobre la presa de Hatillo y su capacidad operativa*. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.
- INDRHI. (2020). *Informe técnico sobre la presa de Hatillo y su capacidad operativa*. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.
- IPCC. (2021). *Sixth Assessment Report*. Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/>
- Islam, M. B., et al. (2024). *Assessing the vulnerability of selected coastal informal settlements to flooding in Bangladesh*. *Sustainable Cities and Society*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212095524002748>
- Jiménez, L., Peña, C., & Méndez, R. (2023). *Índice socioambiental de vulnerabilidad a inundaciones en cuencas fluviales de la República Dominicana*. *Revista Caribeña de Ciencias Ambientales*, 18(1), 33–50.
- Jun, S.-M., Kang, M.-S., Hwang, S., Park, J., & Song, J.-H. (2020). *Flood vulnerability assessment for prioritizing and evaluating rehabilitation of ungauged reservoirs considering climate change*. *Water*, 12(7), 1901. <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/7/1901>
- López, D., & Zamora, L. (2022). *Desigualdad económica y exposición a riesgos hidrometeorológicos en asentamientos informales*. *Revista de Estudios Territoriales*, 16(3), 109–127.

- López, F., & Serrano, P. (2024). *Indicadores de vulnerabilidad ante inundaciones: una revisión global desde la perspectiva del cambio climático*. Revista Iberoamericana de Estudios del Riesgo, 21(3), 88–104.
- López, J., Herrera, M., & Vargas, D. (2023). *Uso de plataformas SIG de código abierto en la gestión del riesgo de inundaciones: experiencias en América Latina*. Revista de Tecnología y Territorio, 12(2), 45–63.
- López, J., Rivera, T., & Cruz, A. (2023). *Variabilidad hidrológica y manejo del caudal en la cuenca del río Yuna, República Dominicana*. Revista Caribeña de Recursos Hídricos, 7(1), 66–83.
- Luna, P., & Herrera, C. (2023). *Integración de SIG y mapas de vulnerabilidad en la gestión del riesgo de inundaciones en cuencas tropicales*. Revista Latinoamericana de Geografía y Medio Ambiente, 20(2), 77–96.
- Malczewski, J. (2020). *GIS and multicriteria decision analysis*. Wiley.
- Martínez, F., & Peña, J. (2021). *Vulnerabilidad social y resiliencia comunitaria ante inundaciones en zonas urbanas*. Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Desastres, 9(2), 92–110.
- Martínez, L., Suárez, F., & Rodríguez, A. (2023). *Impacto de la operación de presas en la vulnerabilidad a inundaciones: el caso de la presa de Hatillo*. Revista Dominicana de Ingeniería Hidráulica, 11(1), 45–63.
- Méndez, C., & Alarcón, V. (2022). *Análisis integral de los factores que determinan la vulnerabilidad ante desastres naturales*. Revista Internacional de Gestión del Riesgo, 15(4), 47–64.
- Méndez, C., & Quintero, J. (2023). *Estrategias de resiliencia frente a inundaciones en comunidades ribereñas*. Revista Latinoamericana de Planificación Territorial y Desastres, 11(3), 99–118.

- Mendoza, H., & Ortega, V. (2022). *Relación entre uso del suelo y escorrentía superficial en cuencas tropicales*. Revista Latinoamericana de Hidrología Aplicada, 15(2), 90–107.
- Mendoza, H., & Salazar, J. (2023). *Influencia del cambio de uso del suelo y la cobertura vegetal en la vulnerabilidad a inundaciones*. Revista de Gestión Ambiental y Territorio, 15(3), 67–84.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2021). *Estudio de la cuenca del río Yuna*. Gobierno de República Dominicana.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2021). *Estudio de la cuenca del río Yuna*. Gobierno de República Dominicana.
- Molina, F., & Reyes, J. (2021). *Percepción del riesgo y participación comunitaria en la reducción de desastres*. Revista Internacional de Gestión del Riesgo, 14(2), 89–104.
- Mora, T., & Quiroz, L. (2022). *Dimensiones sociales de la vulnerabilidad a inundaciones: una mirada desde la gestión comunitaria del riesgo*. Revista de Ciencias Sociales y Territorio, 10(2), 71–86.
- Muñoz, A. (2021). *Miradas sobre Centroamérica en el largo plazo*. Red de Acción Climática de América Latina y el Caribe. Recuperado de https://napglobalnetwork.org/wp-content/uploads/2023/06/ERCA-2021-Capitulo_6_Desastres.pdf
- Nahin, K. T. K., et al. (2023). *Flood vulnerability assessment in the Jamuna river floodplain*. PMC. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10068124/>
- Navarro, J., Torres, G., & Medina, S. (2023). *Integración de variables hidrológicas y sociales en la evaluación espacial de vulnerabilidad a inundaciones*. Revista de Geografía y Medio Ambiente, 29(4), 135–152.

- Núñez, K., & Cabrera, P. (2023). *Participación comunitaria en la gestión del riesgo de inundaciones: experiencias locales en el Caribe*. Revista Latinoamericana de Gestión Territorial, 14(3), 102–118.
- Oficina Nacional de Estadística. (2023). *Atlas de riesgos y vulnerabilidad territorial*. ONE.
- Ortega, S., Varela, N., & Ruiz, D. (2024). *Monitoreo satelital de inundaciones mediante sensores Sentinel y Landsat en regiones tropicales húmedas*. Revista de Observación Terrestre y Cambio Climático, 15(1), 55–71.
- Ortiz, M., Fernández, R., & Guzmán, L. (2023). *Mapas temáticos y análisis espacial para la evaluación de la vulnerabilidad urbana frente a inundaciones*. Revista Internacional de Gestión del Riesgo, 16(1), 54–71.
- Paredes, C., Morales, R., & Peña, T. (2024). *Efectos de la modificación del uso del suelo en la dinámica fluvial de cuencas tropicales*. Revista de Ingeniería Hidrológica, 12(1), 55–72.
- Paredes, C., Suárez, A., & Mejía, R. (2021). *Medidas de mitigación estructurales y no estructurales ante desastres hidrometeorológicos*. Revista de Ingeniería Ambiental, 9(1), 55–69.
- Pérez, D., & Delgado, S. (2022). *Uso de mapas de vulnerabilidad en la planificación territorial y mitigación de desastres*. Revista de Planificación y Desarrollo Territorial, 14(3), 89–108.
- Pineda, J., & Ramos, E. (2022). *Uso de modelos digitales de elevación en la delimitación de cuencas y análisis de escorrentía superficial*. Revista de Geomática y Recursos Naturales, 14(2), 101–116.
- PNUD. (2022). *Análisis de riesgo climático y vulnerabilidad en la República Dominicana*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

- Primelles, J. (2022). *Modelación cartográfica del peligro de inundaciones en la región de Ciego de Ávila, Cuba*. Revista Cubana de Geomática, 13(1), 45-58. Recuperado de <https://geomatica.geocuba.cu/rcg/article/view/53/10>
- Ramírez, F., & Castillo, R. (2024). *Transformaciones del uso del suelo y sus efectos en el balance hídrico de cuencas dominicanas*. Revista de Estudios Ambientales y Territoriales, 10(2), 120–136.
- Ramírez, F., & Valdez, L. (2022). *Geomorfología, altitud y exposición a inundaciones en regiones tropicales*. Revista de Ciencias de la Tierra, 18(2), 99–116.
- Ramos, A., & Delgado, S. (2023). *Integración de indicadores socioeconómicos y físicos en la evaluación espacial de vulnerabilidad a inundaciones mediante SIG*. Revista de Geociencias Aplicadas, 17(1), 88–102.
- Reyes, M., López, A., & Durán, T. (2024). *Mapas de riesgo y gestión territorial basada en datos espaciales: herramientas para la planificación adaptativa ante inundaciones*. Revista de Estudios Urbanos y Ambientales, 19(3), 119–135.
- Reynoso Vanderhorst, H. D. (2024). *Navigating flood resilience: Challenges, solutions, and lessons learnt from the Dominican Republic*. Water, 16(3), 382. <https://www.mdpi.com/2073-4441/16/3/382>
- Rivas, C., López, B., & Peña, T. (2023). *Análisis de datos pluviométricos e hidrometeorológicos para la simulación de eventos extremos en cuencas tropicales*. Revista de Climatología Aplicada, 11(2), 66–84.
- Rivera, R. (2022). *Estudio y mapeo de zonas bajo amenazas a inundaciones en la República Dominicana*. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de https://ambiente.gob.do/wp-content/uploads/2022/03/Zonas-Bajo-Amenazas-a-Inundaciones-24_3_2022.pdf

- Rivera, T., & López, D. (2022). *Coordinación interinstitucional y reducción del riesgo de inundaciones en cuencas fluviales*. *Revista de Políticas Públicas y Gestión del Riesgo*, 14(3), 78–95.
- Rodríguez, C., Pérez, A., & Rangel, S. (2023). *Vulnerabilidad física y exposición territorial ante eventos de inundación en América Latina*. *Geografía y Sociedad*, 11(1), 55–70.
- Rodríguez, H., González, E., & Cabrera, M. (2023). *Factores físicos de vulnerabilidad a inundaciones en cuencas urbanas tropicales*. *Revista de Ingeniería Civil y Ambiental*, 19(1), 73–88.
- Rodríguez, L., & Cedeño, P. (2024). *Aplicación de modelos digitales de elevación en la simulación de inundaciones fluviales mediante SIG*. *Revista Internacional de Hidrología y Gestión del Agua*, 9(3), 115–132.
- Rojas, E., & Medina, S. (2023). *Prevención del riesgo de desastres y planificación urbana sostenible en América Latina*. *Revista de Políticas Públicas y Territorio*, 17(1), 88–104.
- Ruiz, A., Flores, N., & Delgado, C. (2024). *Modelación hidrológica y análisis espacial del riesgo de inundaciones en cuencas fluviales tropicales*. *Revista Internacional de Geociencias Aplicadas*, 12(2), 66–81.
- Sánchez, C., & Torres, M. (2022). *Los sistemas de información geográfica como herramienta para la gestión integral del riesgo de desastres*. *Revista Latinoamericana de Estudios Ambientales*, 14(1), 33–49.
- Sánchez, T., & Molina, J. (2023). *Resiliencia y adaptación comunitaria ante el riesgo de desastres en contextos rurales latinoamericanos*. *Revista de Estudios Ambientales*, 19(2), 120–135.

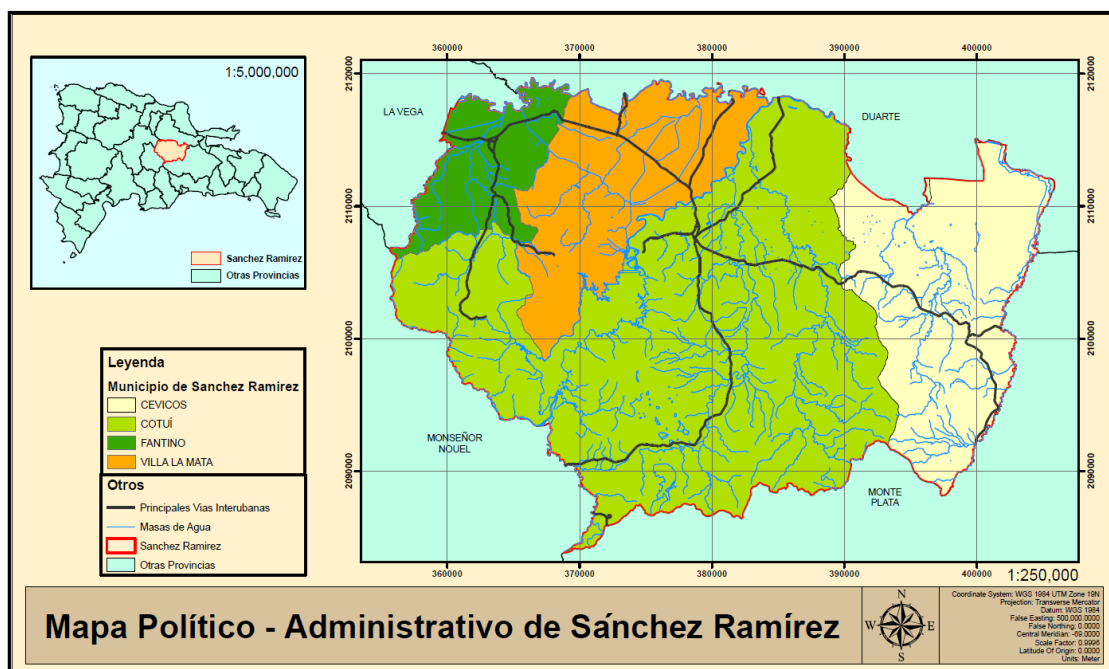
- Santos, E., Delgado, R., & Pardo, N. (2021). *Erosión y sedimentación en cuencas agrícolas del Caribe: causas y consecuencias*. Revista de Suelos y Agua Tropical, 5(3), 88–103.
- Santos, J., & Velázquez, F. (2024). *El papel de los mapas temáticos en la toma de decisiones ante riesgos hidrometeorológicos*. Revista de Políticas Públicas y Gestión Ambiental, 18(2), 101–120.
- Santos, R., & Figueiredo, L. (2023). *Adaptación y resiliencia en cuencas fluviales urbanas: experiencias en Brasil*. Revista Brasileña de Ingeniería Ambiental, 19(1), 67–85.
- Silva, J., Morales, C., & Rivera, T. (2023). *Gobernanza del riesgo y planificación territorial en contextos de alta vulnerabilidad a inundaciones*. Revista de Políticas Públicas y Territorio, 11(2), 120–139.
- Silva, M., & Torres, J. (2022). *Evaluación espacial de la vulnerabilidad y resiliencia ante inundaciones en el Caribe insular*. Revista Internacional de Gestión del Riesgo, 12(4), 98–115.
- Tamayo, M., & Tamayo, M. (2019). *El proceso de investigación científica* (5ª ed.). Limusa.
- Tami, C., Corzo, G., & Pérez, F. (2025). *Multi-objective optimization of reservoir operation using machine learning models: Case study of the Hatillo Reservoir in the Dominican Republic*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/363797096_Multi-Objective_Optimization_of_Reservoir_Operation_using_Machine_Learning_Models_Case_study_Hatillo_Reservoir_in_the_Dominican_Republic
- Taylor, S. J., Bogdan, R., & DeVault, M. (2016). *Introduction to qualitative research methods: A guidebook and resource* (4th ed.). Wiley.

- Tiepolo, M., et al. (2025). *Flood damage risk mapping along the River Niger: Integrating citizen science, hydrology and geomatics*. *Climate*, 13(4), 80. <https://www.mdpi.com/2225-1154/13/4/80>
- Torres, E., & Rojas, M. (2022). *Resiliencia comunitaria y adaptación frente a inundaciones: perspectivas para cuencas tropicales*. *Revista de Estudios Comunitarios y Gestión del Riesgo*, 10(2), 75–92.
- Torres, F., & Acosta, G. (2021). *Mapeo de zonas de riesgo por inundación mediante análisis espacial: métodos y aplicaciones*. *Revista de Ciencias de la Tierra y el Ambiente*, 25(4), 72–89.
- UNDRR. (2022). *Informe regional sobre desastres naturales y resiliencia*. Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres.
- UNDRR. (2022). *Informe regional sobre desastres naturales y resiliencia*. Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres.
- UNDRR. (2023). *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2023*. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. <https://www.undrr.org>
- Vargas, D., & Paredes, C. (2023). *Capacidades locales de respuesta ante inundaciones: lecciones desde cuencas tropicales*. *Revista de Estudios Comunitarios y Gestión del Riesgo*, 9(1), 61–78.
- Wekpe, V. O. (2024). *Assessment of flood vulnerability characteristics of streams and urbanized river basins in Southern Nigeria*. *ZBRFNA*, 5(2), 102–107. <https://ideas.repec.org/a/zib/zbrfna/v5y2024i2p102-107.html>
- Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6th ed.). SAGE.

Zhang, R., et al. (2025). *Exposure-sensitivity-adaptability (ESA) framework based flood vulnerability assessment in China*. Ecological Indicators.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X25005928>

Anexos

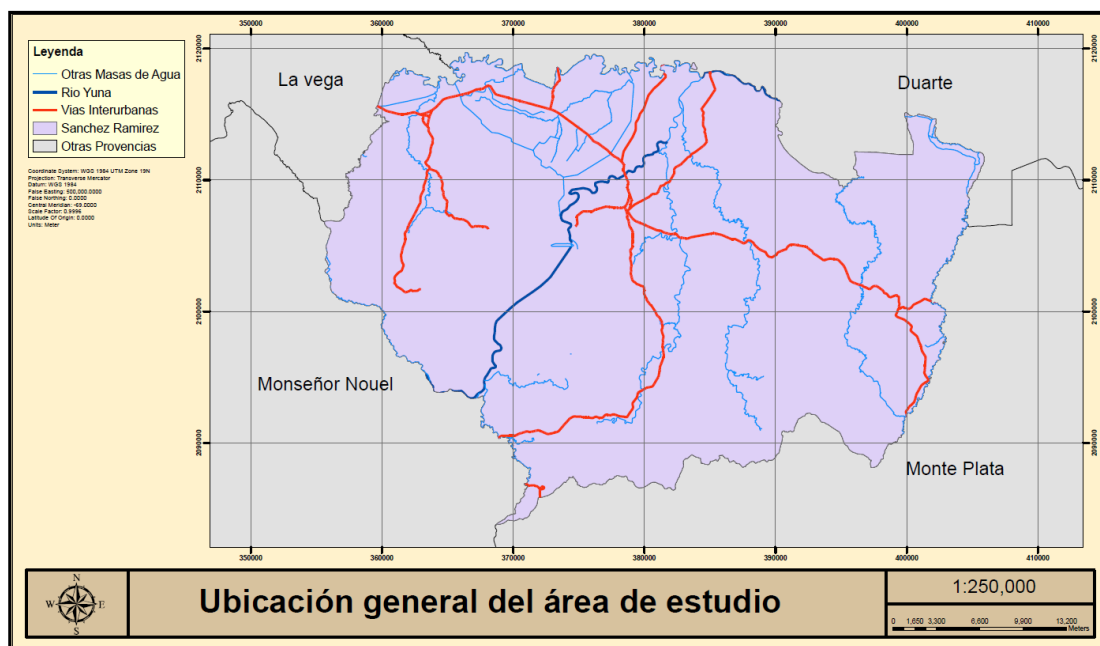
Anexo 1: Mapa político-Administrativo de Sánchez Ramírez



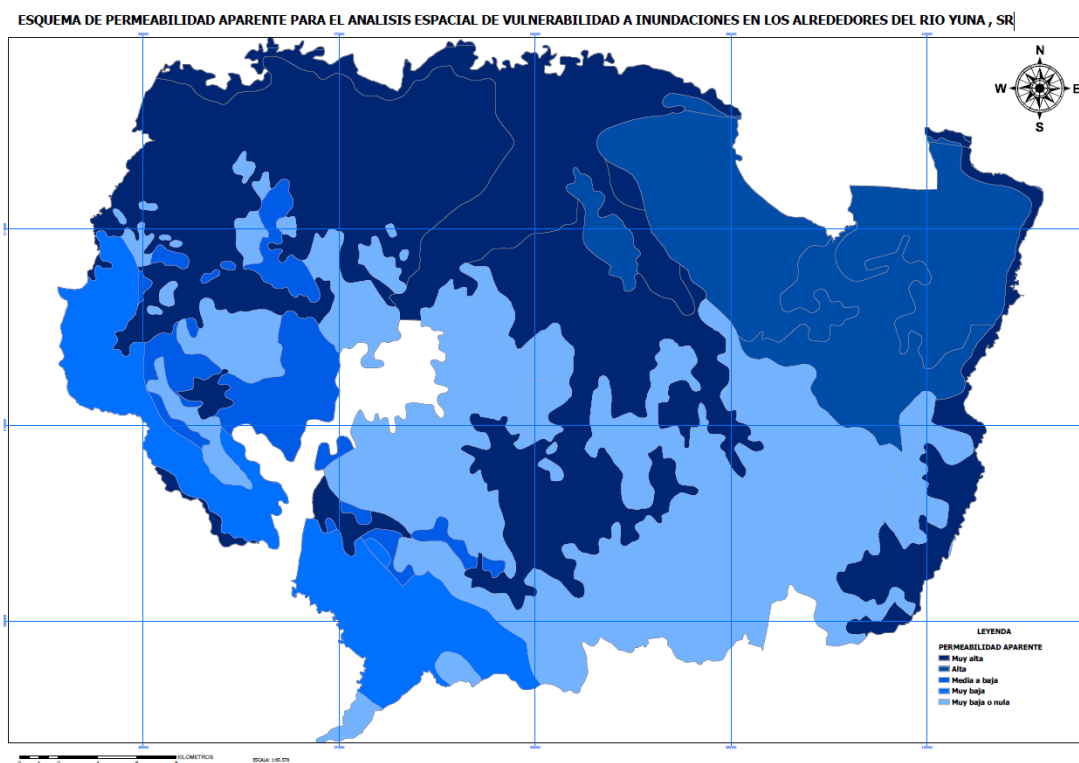
Anexo No. 2: Ubicación general del área de estudio



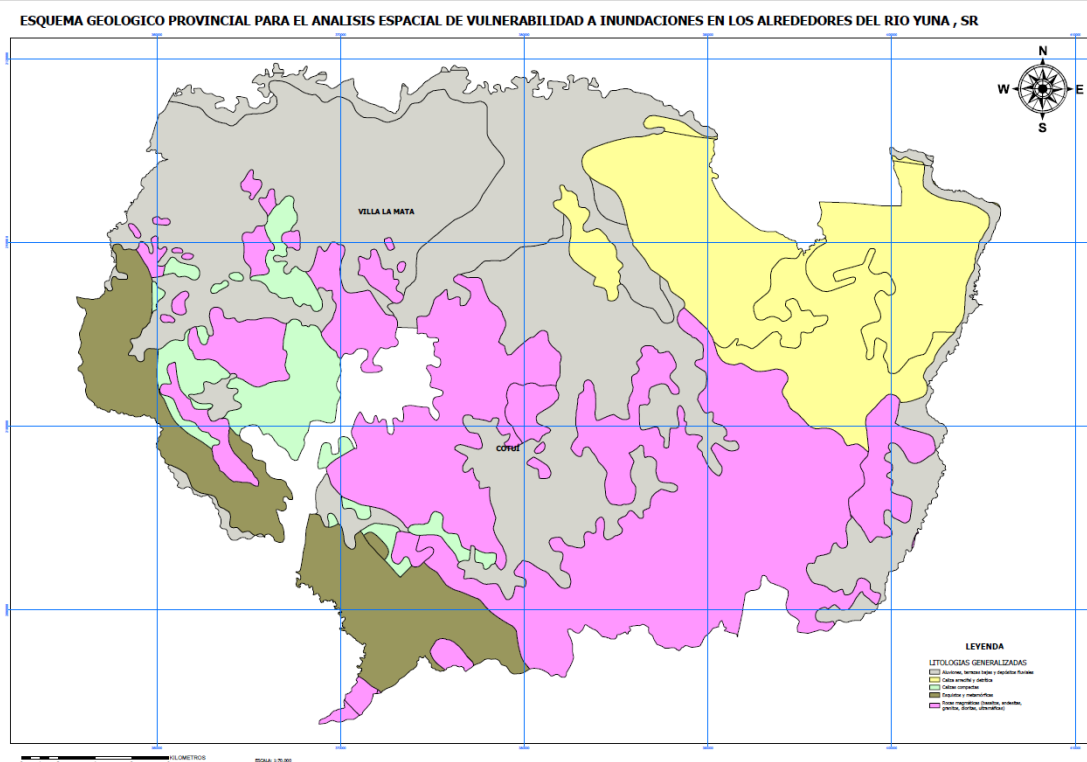
Anexo No. 3: Ubicación general del área de estudio



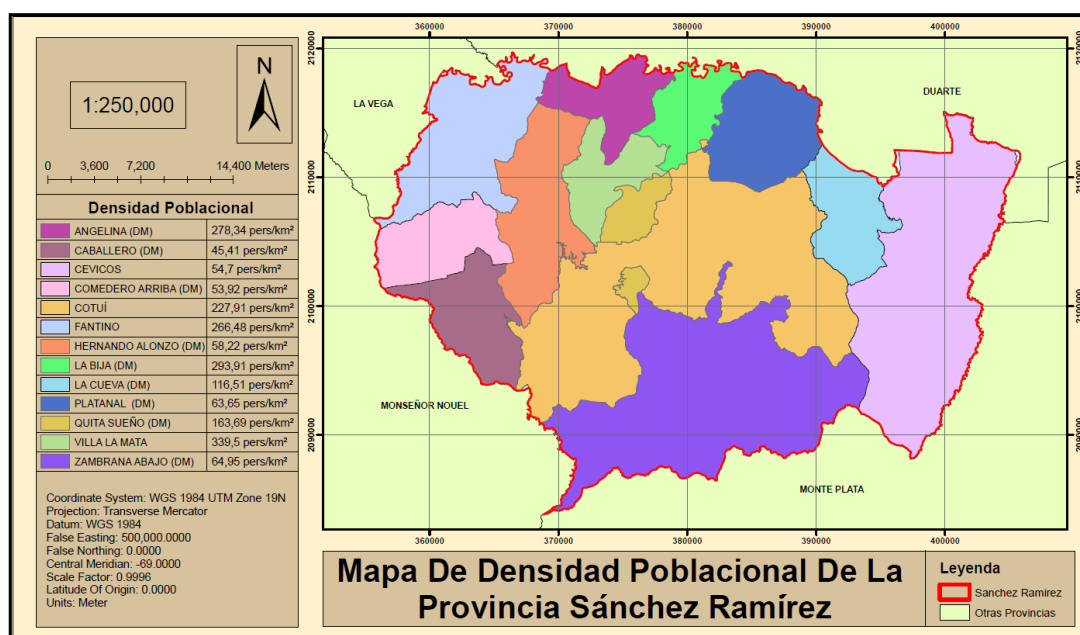
Anexo No. 4: Esquema de permeabilidad aparente para el análisis espacial de vulnerabilidad a inundaciones en los alrededores del rio Yuna.



Anexo No. 5: Esquema geológico provincial para el análisis espacial de vulnerabilidad a inundaciones en los alrededores del río Yuna.



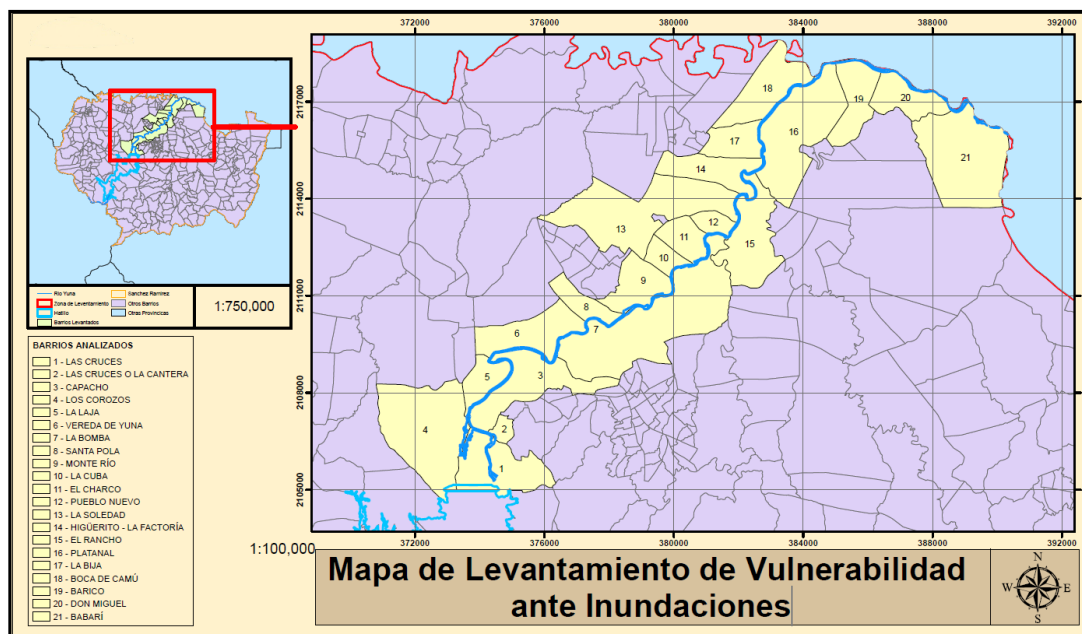
Anexo No. 6: Mapa De Densidad Poblacional De La Provincia Sánchez Ramírez



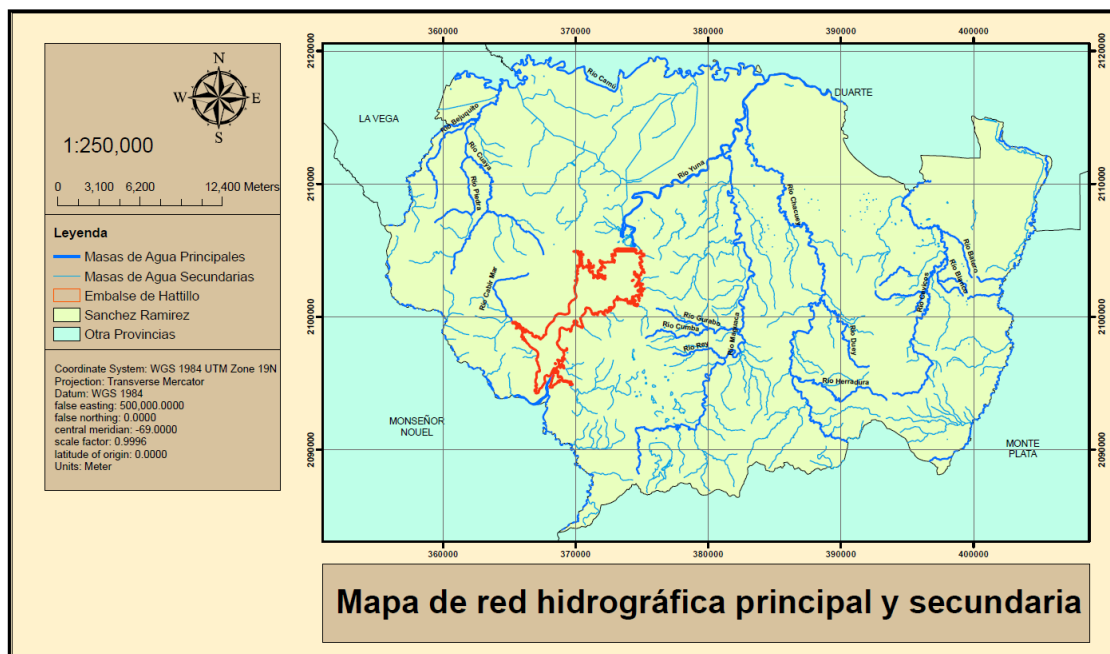
Anexo No. 7: Mapa de infraestructura crítica y servicios básicos



Anexo No. 8: Mapa de Levantamiento de Vulnerabilidad ante Inundaciones



Anexo No. 9: Mapa de red hidrográfica principal y secundaria



Anexo No. 10: Mapa de vulnerabilidad física a inundaciones

