



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DOCTORADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL
VALENCIA-VENEZUELA**



**PLAN DE GESTIÓN SUSTENTABLE DEL RIESGO DE INUNDACIÓN
EN LA CUENCA DEL RÍO PAO ESTADO CARABOBO DESDE
UNA PERSPECTIVA COMUNITARIA**

**Autor: MSc. Bettys Farías
Tutor: Dra. Adriana Marquez**

Valencia, abril 2023



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DOCTORADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL
VALENCIA-VENEZUELA**



**PLAN DE GESTIÓN SUSTENTABLE DEL RIESGO DE
INUNDACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO PAO ESTADO
CARABOBO DESDE UNA PERSPECTIVA COMUNITARIA**

**Tesis Doctoral presentada ante el Área de Estudios de Postgrado de la
Universidad de Carabobo para optar al título de Doctor en Ingeniería
Área Ambiente**

**Autor: MSc. Bettys Farías
Tutor: Dra. Adriana Marquez**

Valencia, abril 2023



**Acta de discusión y veredicto del Jurado en la
Presentación de Trabajo de Grado
en modalidad virtual**

TD-3



Valencia, 28 de Marzo de 2023

En atención a lo dispuesto en los artículos 148, 137 y 138 del Reglamento de Estudios de Postgrado de la Universidad de Carabobo, Gaceta 619, quienes suscribimos como jurado designado por el Consejo de la Facultad de Ingeniería y según oficio CFI- 793-6, de fecha 29/07/2022, para revisar y evaluar el Trabajo especial de Grado Titulado:

**PLAN DE GESTIÓN SUSTENTABLE DEL RIESGO DE INUNDACIÓN EN LA CUENCA DEL
RÍO PAO, ESTADO CARABOBO**

Bajo la línea de investigación: Hidrología

Presentado por el Estudiante Graduado **BETTYS FARIAS**, cédula de identidad **V-8.359.094**, para optar al título de Doctor en Ingeniería, ha decidido que el mismo está:

Apellidos y Nombres del Jurado	Cédula de identidad	Veredicto individual
DRA. CELESTE FERNÁNDEZ (PRESIDENTE)	V – 5.385.887	Aprobado
DR. SERGIO PÉREZ (JURADO INTERNO)	V – 4.872.947	Aprobado
DRA. BELKYS PÉREZ (JURADO INTERNO)	V – 10.577.808	Aprobado
DRA. NAHIR CARBALLO (JURADO EXTERNO)	V – 11.961.711	Aprobado
DR. JORGE BRICEÑO (JURADO EXTERNO)	V – 10.273.691	Aprobado
Veredicto final: Aprobado		

Tomando en cuenta que las razones que motivan la decisión son:

1. Respecto al análisis de la situación contexto o problema:
2. Respecto a la fundamentación teórica:
3. Respecto al método desarrollado:
4. Respecto a los análisis derivados:
5. Respecto al uso de fuentes bibliográficas:

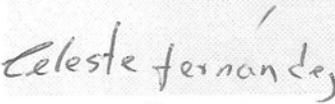
Cada miembro del jurado constituido de manera virtual, a viva voz expresó su veredicto individual el cual quedó grabado por el Administrador (Host – Hospedador)

El Presidente del Jurado, previamente identificado anteriormente, después de oír los miembros del Jurado, toma la palabra y expone: Estando dentro del lapso concedido al estudiante, y ya subsanado en cada una de las observaciones hechas con antelación, se da por cumplido los extremos establecidos en el artículo 140 del Reglamento de los Estudios de Postgrado de la Universidad de Carabobo. No habiendo más nada que tratar, se da por terminado el acto a las 9:00 am. Se leyó y conformes firman.

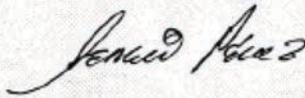


**Acta de discusión y veredicto del Jurado en la
Presentación de Trabajo de Grado
en modalidad virtual**

TD-3



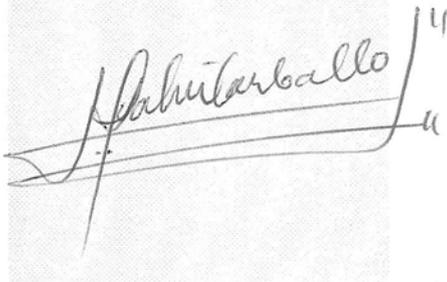
**Firma
Presidente del Jurado
Dra. Celeste Fernández**



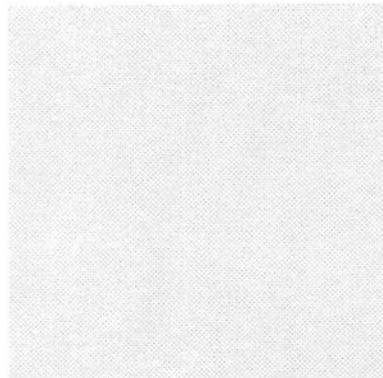
**Firma
Miembro del Jurado
Dr. Sergio Pérez**



**Firma
Miembro del Jurado
Dra. Belkys Pérez**



**Firma
Miembro del Jurado
Dra. Nahir Carballo**



**Firma
Miembro del Jurado
Dr. Jorge Briceño**



**Acta de discusión y veredicto del Jurado en la
Presentación de Trabajo de Grado
en modalidad virtual**

TD-3



Postgrado Ingeniería
Universidad de Carabobo

Comentarios adicionales:

Importante: Esta acta debe ser enviada en formato digital al presidente del jurado, con copia a todos los miembros del Jurado.



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DOCTORADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL**



VEREDICTO

Nosotros, miembros del jurado designado para la evaluación del Trabajo de Grado titulado: **PLAN DE GESTIÓN SUSTENTABLE DEL RIESGO DE INUNDACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO PAO ESTADO CARABOBO DESDE UNA PERSPECTIVA COMUNITARIA**, presentado por la Ing. MSc. **BETTYS FARIAS** para optar al grado de **DOCTOR EN INGENIERÍA, ÁREA AMBIENTE** estimamos que el mismo reúne los requisitos para ser considerado como

AGRADECIMIENTOS

A Dios por su presencia y su amor, contigo de compañero no hay meta imposible de lograr.

A la Universidad de Carabobo y al Area de Postgrado por permitirme continuar con mis estudios y lograr mis grandes metas.

Al Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales (CIHAM_UC) que me abrió las puertas de sus instalaciones para hacer esta investigación.

De igual forma, agradezco a los doctores que fortalecieron y apoyaron esta investigación.

Dra. Adriana Marquez, tutora de esta tesis, gracias a su experiencia académica, y a su magistral supervisión de todo el trabajo, así como la paciencia y dedicación demostrada en la discusión, corrección y sobre todo publicación de los resultados, su energía, su nivel de exigencia y sobre todo su cariño haciéndonos sentir parte de su vida han sido inmedibles.

Dr. Edilberto Guevara, co-tutor de esta tesis, mi eterno profesor, quien aportó valiosas correcciones, sabios comentarios, y apoyo incondicionalmente a la divulgación de los avances de la investigación, a Usted todo mi cariño y admiración.

Dr. Demetrio Rey, mi agradecimiento por formar parte de este equipo de trabajo desde sus inicios.

Agradezco la participación e interés de los habitantes de las comunidades del municipio Naguanagua que amablemente participaron, y fueron los protagonistas y razón de esta investigación.

Al personal de las dependencias que apoyaron esta investigación: Protección Civil Carabobo y Naguanagua, Bomberos Universitarios, Directoras y Docentes de los Colegios que conformaron este equipo.

Una mención especial para los co-investigadores que colaboraron en el trabajo de campo a ustedes mis mejores deseos.

DEDICATORIA

Alicia te mereces esta dedicatoria, eres el mejor ejemplo de amor, dedicación, empeño que hemos tenido en nuestras vidas. Mamaita sin ti no hubiese llegado a esta importante meta. ¡Gracias por estar allí siempre!

Reinaldo gracias por tu paciencia, por tu amor y dedicación, siempre apoyándome, no hay quien puede conocer más de mi esfuerzo para llegar aquí.

Daniel, Reinaldo y Andrea gracias por su amor, por estar aunque lejos siempre a mi lado, espero ser un ejemplo para ustedes, hay que vencer todos los obstáculos, no importa la edad para lograr tus sueños.

Marcos Tulio, Ana, Elisa y Marcelita gracias por tanto amor, alimento indispensable para lograr los sueños.

Bettys Farías

ÍNDICE GENERAL

	Páginas
LISTA DE TABLAS	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMEN	xj
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I EL PROBLEMA.....	9
1.1.- Planteamiento del problema	9
1.2.- Formulación del problema	15
1.3.- Objetivos de la investigación	14
1.3.1.- Objetivo General de la investigación	14
1.3.2.- Objetivos Específicos de la investigación.....	15
1.4.- Justificación de la investigación.....	16
1.5.- Alcance de la investigación.....	19
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	21
2.1 Antecedentes de la investigación	21
2.1.1- Aplicación de modelos matemáticos para simulación de Procesos Hidrológicos	21
2.1.2.- Implementación de planes de gestión de riesgos	28
2.2.- Bases Teóricas	34
2.2.1.- Dinámica de cuencas	35
2.2.2.- Comportamiento del flujo en una cuenca	37
2.2.3.- Modelos de simulación hidrológica.....	39
2.2.4.- Modelo del SCS (Soil Conservation Service).....	42
2.2.5.- Teoría del análisis geoestadístico	46
2.2.6.- Principios básicos de Teledetección.....	48
2.2.7.- Técnicas de detección de cambios de cobertura	49
2.2.8.-Imágenes Landsat	49
2.2.9.- Procesamiento de imágenes satelitales	51
2.2.10.- Aplicaciones de técnicas de detección de cambios	54
2.3.- Las inundaciones y su gestión	56
2.4.- El marco jurídico en torno a las inundaciones	57

2.5.- Definición de términos básicos	60
CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO	68
3.1.- Enfoque de la Investigación	66
3.2.- Tipo de investigación	69
3.3.- Diseño de la investigación	70
3.4.- Población y muestra	73
3.5.- Unidad de estudio	75
3.6.- Fases de la Investigación	
3.6.1.- Fase I. Caracterización espacio temporal de los usos de la Tierra en la cuenca del río Pao	78
3.6.2.- Fase II. Descripción de las variables hidrometeorológicas y Sociales asociadas al riesgo de inundación	87
3.6.3.- Fase III. Calibración de modelos matemático del proceso lluvia-escorrentía en la cuenca del río Pao.....	89
3.6.4.- Fase IV. Validación de modelos matemático del proceso lluvia-escorrentía en la cuenca del río Pao.....	8889
3.6.5.- Fase V. Análisis de riesgo de inundación desde una perspectiva comunitaria, en asentamientos no controlados, de la planicie de inundación en la cuenca del río Pao Estado Carabobo, Guárico y Cojedes, Venezuela 92	
3.6.6.- Fase VI. Diseño de un Plan de Gestión Sustentable de Riesgo de Inundación en la cuenca del río Pao, estado Carabobo, Guárico y Cojedes, Venezuela.....	96
CAPÍTULO IV DESCRIPCIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	
4.1.- Fase I. Caracterización espacio temporal de los usos de la Tierra en la cuenca del río Pao	103
4.2.- Fase II. Descripción de las variables hidrometeorológicas y Sociales asociadas al riesgo de inundación	117
4.3.- Fase III. Calibración modelos matemático del proceso lluvia-escorrentía en la cuenca del río Pao	124
4.4.- Fase IV. Validación modelos matemático del proceso lluvia-escorrentía en la cuenca del río Pao	131
4.5.- Fase V. Análisis de riesgo de inundación desde una perspectiva comunitaria, en asentamientos no controlados, de la planicie de inundación en la cuenca del río Pao, estado Carabobo, Guárico y Cojedes, Venezuela	139
4.6.- Fase VI. Diseño de un Plan de Gestión Sustentable de Riesgo de Inundación en la cuenca del río Pao, estado Carabobo, Guárico y Cojedes, Venezuela	228
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	233
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	250

LISTA DE ANEXOS

	Páginas
1. Cartas avales de suministro de información meteorológica del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH)	278
2. Características de imágenes de satélites Landsat correspondientes a la escena que contiene la cuenca del río Pao	279
3. Licencia de software de procesamiento de datos adquirida por el Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales de la Universidad de Carabobo.	280
4.- Condiciones iniciales de humedad del suelo	281
5.-Condiciones hidrológicas del suelo	282
6.- Número de curvas de escorrentía	283
7.- Ubicación geográfica de estaciones de monitoreo administradas por el MARNR Período 1980-2000	284
8.- Localización de estaciones de monitoreo de precipitación administradas por el MARNR período 1980-2000	287
9.- Localización de estaciones de monitoreo de evaporación administradas por el MARNR Período 1980-2000	288
10.- Localización de estaciones de precipitación administradas por INAMEH en el período 2015-2018	290
11.- Localización de estaciones de evapotranspiración administradas por INAMEH en el Período 2015-2018	291
12.- Carta de entrega de datos por parte de INAMEH	292
13.- Tabla de Operacionalización de variables de la investigación	293
14.- Carta de solicitud de pasantías	294
15.- Avales de pasantías	295

LISTA DE TABLAS

	Páginas
Tabla 1.- Marco legal sobre riesgo en Venezuela	58
Tabla 2.- Población y muestra	70
Tabla 3.- Resumen de la metodología empleada en la investigación	32
Tabla 4.- Red Telemétrica de estaciones climáticas en la cuenca	85
Tabla 5.- Identificación de la imagen del satélite Landsat 8 OLI	86
Tabla 6.- Matriz de error del mapa de clasificación 1986	103
Tabla 7.- Matriz de error del mapa de clasificación 2016	104
Tabla 8.- Modelos calibrados para la semivarianza de la precipitación mensual 2016 para la cuenca del río Pao, Venezuela	123
Tabla 9.- Modelos calibrados para la semivarianza de la evaporación mensual 2016 para la cuenca del río Pao, Venezuela	124
Tabla 10.- Modelos calibrados para la semivarianza de la infiltración mensual 2016 para la cuenca del río Pao, Venezuela	127
Tabla 11.- Modelos calibrados para la semivarianza de la escorrentía mensual 2016 para la cuenca del río Pao, Venezuela	128
Tabla 12.- Resultados del método de transformación de los principales componentes expresados por los valores eigenvalores	137
Tabla 13.- Vulnerabilidades que presentan las comunidades del MN	141
Tabla 14.- Descripción del escenario de riesgo por inundación	144

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1. Representación del ciclo hidrológico	37
Figura 2. Ubicación geográfica de la cuenca del río Pao	76
Figura 3. Diagrama de flujo mostrando la metodología de la fase I	77
Figura 4. Diagrama de flujo mostrando la metodología de la fase II	90
Figura 5. Diagrama de flujo mostrando la metodología de la fase V	95
Figura 6. Diagrama de flujo mostrando la metodología de la fase VI	98
Figura 7. Mapa de usos y coberturas terrestres de la cuenca del río Pao 1986	101
Figura 8. Mapa de usos y coberturas terrestres de la cuenca del río Pao 2016	102
Figura 9. Verificación de las clasificaciones de usos y coberturas de la cuenca	105
Figura 10. Predicción espacial de la precipitación mensual 2015-2017	108
Figura 11. Predicción espacial de la evapotranspiración mensual 2015-2017	109
Figura 12. Predicción espacial de la infiltración mensual 2015	110
Figura 13. Predicción espacial de la infiltración mensual 2016	110
Figura 14. Predicción espacial de la infiltración mensual 2017	111
Figura 15. Predicción espacial del volumen acumulado mensual 2015-2017	112
Figura 16. Predicción espacial de la precipitación efectiva mensual 2015-2017	113
Figura 17. Distribución de la población de la comunidad Las Adjuntas	115
Figura 18. Distribución de la vulnerabilidad de la población de la comunidad	116
Figura 19. Distribución de los servicios básicos existentes en la comunidad Las Adjuntas	117
Figura 20. Distribución de otros servicios con que cuenta la comunidad Las Adjuntas	117
Figura 21. Diagrama porcentual del fenómeno natural que ocurre con mayor frecuencia en comunidad Las Adjuntas.	118
Figura 22. Ubicación de las viviendas en planicies del río Cabrales	120
Figura 23. Materiales utilizados para construir viviendas	121

- Figura 24. Semivariograma de la evapotranspiración en el mes de enero 2016 orientado en cuatro ángulos del eje principal de la elipse de rango para modelo anisotrópico con aplicación en la cuenca del río Pao. 126
- Figura 25 Comparación de la infiltración estimada para tres condiciones de humedad en los suelos: baja (CN I), promedio (CN II) y alta (CN III) usando el método de US-SCS para el año 2016 en la cuenca del río Pao 129
- Figura 26 .Series temporales del riesgo de inundación de la vida de una obra hidráulica para n= 5 años. Fuente: Farías et al. (2020b) 131
- Figura 27 .Series temporales del riesgo de inundación de la vida de una obra hidráulica para n= 50 años 132
- Figura 28. Componentes principales (PC) obtenidos a partir de mapas de riesgo de inundación para el mes de mayo para la serie temporal 1980-2000 en la cuenca del río Pao, Venezuela: (a-d): PCs no 1 a N-4 durante n.= 5 años. 135
- Figura 29. Componentes principales (PC) obtenidos a partir de mapas de riesgo de inundación para el mes de mayo para la serie temporal 1980-2000 en la cuenca del río Pao, Venezuela: (e-h): PCs no 1 a N-4 durante n.= 50 años. 136
- Figura 30. Validación de resultados encontrados en el PC N°1 derivada del mapa de riesgo de inundación para la series de tiempo de 1980-2000 utilizando la serie temporal actualizada 2015-2018 de mapa de riesgo de inundación comprar aplicando la técnica de detección de cambios basada en la diferencia de PC No 1 en la cuenca del río Pao, Venezuela. Fuente: Farías et al.,(2020c). 138
- Figura 31. Mapas de riesgo de inundación en Colinas de Girardot y Las Adjuntas en las Planicies de inundación de los ríos y quebradas del Municipio Naguanagua. (Farías et al., 2020a) 142
- Figura 32. Clasificación de niveles de riesgo por inundación en la comunidad Girardot I en el Municipio Naguanagua. (Farías et al., 2020a) 143
- Figura 33. Mapa de Organización Comunitaria de comunidad colinas de Girardot. Municipio Naguanagua. Fuente: (Farías et al., 2020 a) 145



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DOCTORADO EN INGENIERÍA AMBIENTE**



**PLAN DE GESTIÓN SUSTENTABLE DEL RIESGO DE INUNDACIÓN EN LA
CUENCA DEL RÍO PAO ESTADO CARABOBO DESDE UNA PERSPECTIVA
COMUNITARIA.**

RESUMEN

Autor: MSc. Bettys Farías
Tutor: Dra. Adriana Marquez
Fecha: marzo 2023

En este estudio se propone como objetivo general formular un plan de gestión de riesgo de inundación para la cuenca del río Pao, estado Carabobo, Venezuela, desde una perspectiva comunitaria. La metodología involucró siete etapas: 1) caracterización espacio-temporal de usos de la tierra en la cuenca del río Pao, usando imágenes del grupo de satélites Landsat (L5TM, L7TM y L8OLI) en el período 1980 – 2018, clasificadas mediante ENVI V.4.7 y ArcGIS V.10.0, 2) descripción de variables hidrometeorológicas y sociales usando registros mensuales de 227 pluviografos en el período 1980-2000 colectados por el Ministerio de los Recursos Naturales. La precipitación diaria se colectó utilizando 25 pluviografos, la evaporación mediante 25 tinajas tipo A y 25 registradores de evapotranspiración, desde estaciones del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología en el período 2015-2018. Las variables sociales fueron descritas elaborando encuesta a la población en las zonas inundables, 3) la calibración se aplicó sobre modelos geoestadísticos para el proceso lluvia-escorrentía, 4) la validación del modelo lluvia-escorrentía se realizó comparando tres niveles de humedad del suelo, 5) el riesgo de inundación fue estimado mediante un método propuesto desde el Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales de la Universidad de Carabobo, 7) el diseño del plan de gestión sustentable del riesgo de inundación involucró predicción del riesgo de inundación, caracterización de escenarios de emergencia, inventario de recursos, organización de acciones de respuesta. Los resultados de la investigación muestran alta dinámica en la variación de la cobertura vegetal y el uso agropecuario en la cuenca del río Pao atribuida al patrón temporal de las estaciones seca y lluviosa en Venezuela, y baja dinámica en el uso urbano en el período 1980-2018. Los modelos geoestadísticos para las variables del proceso lluvia-escorrentía medidas en campo condujeron a establecer el rango de distancia donde existe autocorrelación significativa de las variables y carencia de anisotropía. El proceso de lluvia-escorrentía fue validado a través de la variable de infiltración, resultando en valores concordantes con los patrones temporales de la precipitación y cambios en usos de la tierra, los mapas de riesgo de inundación reprodujeron el patrón asociado a la probabilidad de ocurrencia de la

precipitación efectiva encontrando alto riesgo en áreas rurales donde no existen obras de control de eventos de inundación (coberturas naturales) y bajo a medio en áreas urbanas. A través del plan de gestión del riesgo de inundación se proporcionan mapas de riesgo de inundación, mapas de rutas de evacuación, evaluación de medidas estructurales y no estructurales; conduciendo a proponer alternativas de intervención correctivas y preventivas articuladas al desarrollo sostenible y al ordenamiento territorial. El aporte de esta investigación fue proporcionar al municipio Naguanagua, cuenca del río Pao, un plan de gestión de riesgo de inundación que permitió promover estrategias y criterios educativos enfocados en la reducción del riesgo, mediante la creación de capacidades en la población para superar amenazas y contribuir a formar una comunidad resiliente, contribuyendo con acciones que apoyen las recomendaciones propuestas en el Marco de Sendai, Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y el Acuerdo de París.

Palabras Clave: Riesgo de inundación, comunidades resilientes, modelos matemático.



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DOCTORADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL**



**SUSTAINABLE FLOOD RISK MANAGEMENT PLAN IN THE PAO STATE
CARABOBO RIVER BASIN FROM A COMMUNITY PERSPECTIVE**

Autor: MSc. Bettys Farias
Tutor: Dra. Adriana Marquez
Fecha: marzo 2023

ABSTRACT

This study proposes as a general objective to formulate a flood risk management plan for the Pao River basin, Carabobo state, Venezuela, from a community perspective. The methodology involved seven stages: 1) spatiotemporal characterization of land uses in the Pao river basin, using images from the Landsat group of satellites (L5TM, L7TM and L8OLI) in the period 1980 - 2018, classified by ENVI V. 4.7 and ArcGIS V.10.0, 2) description of hydrometeorological and social variables using monthly records of 227 pluviographs in the period 1980-2000 collected by the Ministry of Natural Resources. The daily precipitation was collected using 25 pluviographs, evaporation through 25 type a tubs and 25 evapotranspiration recorders, from stations of the National Institute of Meteorology and Hydrology in the period 2015-2018. The social variables were described by carrying out a survey of the population in flood-prone areas, 3) the calibration was applied to geostatistical models for the rain-runoff process, 4) the validation of the rain-runoff model was carried out by comparing three levels of soil moisture, 5) the flood risk was estimated using a method proposed by the Center for Hydrological and Environmental Research of the University of Carabobo, 7) the design of the sustainable flood risk management plan involved flood risk prediction, characterization of flood risk scenarios, emergency, inventory of resources, organization of response actions. The results of the research show high dynamics in the variation of plant cover and agricultural use in the Pao River basin attributed to the temporal pattern of dry and rainy seasons in Venezuela, and low dynamics in urban use in the period 1980- 2018. Geostatistical models for field-measured rain-run process variables led to the distance range where there is significant autocorrelation of variables and lack of anisotropy. The rain-runoff process was validated

through the infiltration variable, resulting in values consistent with precipitation temporal patterns and changes in land uses, flood risk maps reproduced the pattern associated with the probability of occurrence of effective precipitation finding high risk in rural areas where there are no flood event control works (natural coverages) and low to medium in urban areas. Flood risk management plan provides flood risk maps, evacuation route maps, structural and non-structural measures assessment; leading to the proposing alternatives of articulated corrective and preventive intervention to sustainable development and territorial ordering. The contribution of this research was to provide the Municipality of Naguanagua, Pao river basin, a Flood Risk Management Plan that allowed to promote educational strategies and criteria focused on risk reduction, by building capacities in the population to overcome threats and contribute to the form of a resilient community, contributing with actions that support the recommendations proposed in the Sendai Framework, Sustainable Development Goals (SDGs) and the Paris Agreement.

Keywords: Flood risk, resilient communities, and mathematical models.

INTRODUCCIÓN

El riesgo es una condición inherente a los seres humanos desde el inicio de la vida sobre el planeta. La falta de conocimientos sobre el comportamiento de la naturaleza y sobre los eventos extremos ha mantenido la vida cotidiana en una constante espera de una catástrofe. La probabilidad de ocurrencia un evento natural de condiciones catastróficas se ha asumido como un hecho cotidiano en el devenir de la sociedad actual (Farías, Márquez, Guevara, y Romero, 2017; Farías et al., 2020a, 2020c; Márquez, Farías y Guevara, 2020; Guevara, 2008, 2010, 2019, 2021; Olcina, 2009).

Ha sido un reto para el hombre encontrar las causas que originan las catástrofes. Desde el punto de vista científico, el estudio de estos eventos inician en la rama de la geografía, sin embargo este ha sido profundizado por otras ramas del conocimiento, y se le ha dado a este concepto de riesgo un enfoque global incorporando el factor humano en la consideración del grado o nivel de riesgo (Farías, Márquez, Guevara, y Romero, 2017; Farías et al., 2020a, 2020c; 2022; Guevara, 2008, 2010, 2021, González, 2008).

Durante la segunda mitad del siglo XX, la balanza se inclinó hacia el lado de la intervención del hombre sobre los efectos del riesgo y por esto se produjo un cambio de percepción social de los riesgos naturales; considerando como un hecho negativo algún peligro natural, o viéndolo como una contrariedad que ha puesto la naturaleza para impedir el desarrollo humano (Farías et al., 2020c, Guevara, 2008, 2010, 2019 2021, Lara, 2012).

En las últimas décadas del siglo XX el concepto de riesgo adquirió categoría de pensamiento científico. A partir de 1969, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), decide iniciar como una de

sus dos principales líneas de investigación, un programa de colaboración internacional para el estudio de los problemas planteados por los riesgos y los peligros del medio ambiente (Guevara, 2008, 2010, 2019 2021, Zabala y García, 2008).

En América Latina, el estudio social de los riesgos es un campo de investigación que había recibido muy poca atención. La literatura científica sobre el concepto, el análisis y la gestión del riesgo ha aumentado considerablemente desde la década de 1980, a su vez se le han dado diferentes enfoques según la disciplina científica que lo estudie. En los 80 se creía que los desastres eran eventos aislados que no tenían relación con los procesos sociales. Las intervenciones de los gobiernos y las organizaciones de colaboración humanitaria se orientaban a proporcionar ayudas de emergencia, que eran inadecuadas para abordar los impactos sociales, económicos y ambientales causados por los desastres (Watanabe, 2015).

Surgieron diferentes definiciones del riesgo por los científicos de la época. Para Wilches-Chaux, en 1993 el riesgo es cualquier fenómeno de origen natural o humano que signifique un cambio en el medio ambiente que ocupa una comunidad determinada, que sea vulnerable a ese fenómeno. Beck en su trabajo publicado en 1998 titulado: *Risk Society Towards a New Modernity* marca el inicio sobre la denominada “Sociedad del Riesgo”, basado en el criterio que el riesgo es consustancial a las sociedades industriales o post-industriales contemporáneas; relacionando el riesgo con el desarrollo. La sociedad del riesgo es un estado de la sociedad moderna en el que la producción de riesgos políticos, ecológicos, e individuales están cada vez más fuera del control de las instituciones encargadas de garantizar la seguridad de la sociedad. Mientras que Boholm, en 1998 planteaba que la sociedad humana por su diversidad y variedad, no podía tener una percepción igual del riesgo, esta era diferente para cada persona, en cada parte del mundo.

La sociedad tradicional y moderna ha estado condicionada por los peligros naturales, la sociedad post-moderna ha creado sus propios riesgos; generando un mundo donde los peligros creados por las personas aunadas a los peligros amenazantes del mundo exterior han obligado a gestionar el riesgo. Por ello, los daños ocasionados en un desastre serán directamente proporcionales al nivel de desarrollo de la comunidad afectada (Arrillaga, Grand y Busso, 2009; Blaikie et al., 1996; Lavell, 2004; Maskrey, 1993).

Según el Informe de Estrategia Internacional para la Reducción del Riesgo de Desastres EIRD (2009) titulado: “Riesgo y Pobreza en un Clima Cambiante”, el riesgo de desastres presenta una gran concentración geográfica. Hay una proporción muy reducida de la superficie de la tierra que engloba la mayor parte del riesgo, y la mayoría de los futuros desastres de gran envergadura ocurrirán en esas zonas. El riesgo seguirá aumentando si la exposición continúa incrementándose.

Las inundaciones son uno de los riesgos de desastres más frecuentes y ocurren anualmente. Las sociedades están sujetas a los riesgos de inundación desde trayectorias de flujo asociados a los ríos que se mueven a una distancia considerable en los canales principales y las zonas de desbordamiento, especialmente en las planicies de inundación (Guevara, 2010). Es común encontrar asentamientos humanos de diversos estratos sociales que viven bajo alto riesgo de inundaciones. Es necesario integrar acciones que permitan determinar los riesgos de inundaciones para alertar a la población que habita en áreas vulnerables sobre el peligro al que se encuentra expuesta.

De acuerdo al informe de la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR, 2015) titulado: “Impacto de los desastres en América Latina y el Caribe (1990-2013). Tendencias y estadísticas para 22 países” y a la base de datos de DESINVENTAR 2016, la mayor parte de las muertes

reportadas en el inventario de Venezuela, están asociadas con eventos hidrometeorológicos como inundaciones, avenidas torrenciales, deslizamientos y lluvias que representan el 67 % de total. De igual manera, estos eventos son los que registran mayor número de viviendas destruidas, representando más del 90% de las reportadas en toda la base de datos.

Según el Centro de Servicio de la Sección Popular (CESAP, 2011), en Venezuela existen muchas regiones que han sido afectadas por eventos hidrometeorológicos como: el alud torrencial del río El Limón (1987), estado Aragua (100 personas muertas, 300 lesionadas, desaparecidos, barrios inundados y vehículos arrastrados y tapiados). La tormenta Bret en 1993, que afectó toda la costa central del país (entre 184 hasta 200 muertos y 5.000 damnificados). El alud torrencial ocurrido en 1999, que afectó el Litoral Central, así como las costas de los estados Vargas, Miranda y Falcón, dando lugar a la inundación más letal ocurrida en diciembre de 1999 en la subregión de América del Sur (Bello, Bustamante y Pizarro, 2020). Específicamente en el estado Vargas, la inundación causó más de 30.0000 fallecidos.

Algunos de los eventos registrados durante siglo XXI fueron la vaguada ocurrida en 2005 sobre Caracas y otros estados del país, que causó lluvias intensas, crecidas y desbordamiento del río Guaire; deslizamientos por fuertes y prolongadas lluvias que tuvieron lugar en el estado Mérida afectando severamente comunidades como Santa Cruz de Mora. Así como también las lluvias ocurridas entre diciembre 2010 y enero 2011, considerada en Venezuela como la temporada con mayor intensidad y frecuencia de ocurrencia de lluvias en los últimos años. Por estos y otros muchos eventos ocurridos en Venezuela se hace necesario gestionar el riesgo de inundación de forma anticipada. Esta gestión de riesgos debe ser entendida como un proceso de mejora continua, donde la preparación de la sociedad, el conocimiento y rol de cada institución sobre sus acciones, tenga un

seguimiento continuo y esté integrada en los procesos de planificación y gestión del territorio.

El enfoque tradicional para hacer frente a los riesgos hidrológicos ha planteado soluciones estructurales; sin embargo, el uso de medidas estructurales ha dado escasa consideración a los impactos de tipo social, cultural y ambiental que provocan las obras hidráulicas (Farías et al., 2020a). Si bien los méritos históricos de las medidas estructurales han sido el control de inundaciones para la protección de asentamientos urbanos y la capacidad de utilizar las llanuras aluviales para actividades agrícolas, su importancia ha disminuido en las últimas décadas respecto a las medidas no estructurales, como los sistemas de alerta basados en técnicas de pronóstico en tiempo real, la restricción de ocupación de las planicies aluviales para ciertos usos y los sitios a prueba de inundaciones han recibido una atención creciente (Farías, Márquez y Romero, 2017a).

Desde principios del siglo XXI, la mayoría de los métodos para estimar el riesgo de inundación se han basado en análisis de amenazas y vulnerabilidad. El peligro se definió como la probabilidad asociada con los eventos hidrológicos que causan ~~la~~ una inundación, tal como la lluvia-escorrentía. La vulnerabilidad estuvo afectada por las características socioeconómicas de la población ubicada en la zona de inundación. De 2004 a 2016, el riesgo de inundación se había considerado una variable difusa, inferida desde la vulnerabilidad. Los estudios sobre el riesgo de inundación en ese período presentaron mapas de peligros y vulnerabilidades, ambos determinados mediante modelos empíricos (Farías, et al., Marquez, Guevara y Rey, 2020c).

El peligro se estimó mediante dos métodos (Farías et al., 2020c), (1) la zonificación de las áreas susceptibles a inundaciones (Garnica y Alcántara, 2004) y (2) la combinación de tres variables (Kwak, Hasegawa, Inomata, Magome, Takeuchi, 2011): (a) descarga extrema, (b) déficit de saturación y (c) profundidad

de inundación. La vulnerabilidad se ha estimado como características socioeconómicas (ob.cit.), población posiblemente afectada por inundaciones (ob.cit.), o la combinación de tres variables (Balica, Popescu, Beevers, Wright, 2013): (1) exposición, (2) susceptibilidad y (3) resiliencia.

Otros estudios propusieron la alerta de riesgo de inundación como herramienta de predicción hidrológica y un sistema de alerta en las cuencas (Hlavcova, Kohnova, Kubes, Szolgay, Zvolensky, 2015), así como la evaluación espacial del riesgo de inundación en una zona amenazada por múltiples fuentes de agua, incluido un enfoque basado en cópulas para la generación de lluvia con dependencia espacial y un modelo hidrológico integrado para inundaciones (Jiang, Tatano y Tomoharu, 2013). Todos estos estudios se caracterizaron por la no generación de mapas de riesgo de inundación.

Desde 2016 hasta el presente, los mapas de riesgo de inundación se incluyeron como una variable cualitativa derivada de la superposición empírica de amenaza y vulnerabilidad (Vu y Ranzi, 2017; Fiorillo y Tarchiani, 2017). Para 2016 y 2017, la amenaza estuvo representada por variables como la intensidad de la inundación y la probabilidad asociada a la ocurrencia del proceso lluvia-escorrentía, así como el índice de riesgo de inundación. La vulnerabilidad se ha asociado principalmente con el mapa de uso de la tierra (Allen, Randhawa, Singha, Huggel y Stoffel, 2018; Rawat, Pant y Bisht, 2017; Vojtek y Vojteková, 2016; Zúñiga y Magaña, 2018).

Ghosh, Das, T. Ghosh, y Hazra (2019) propusieron una variación de la definición tradicional de riesgo de inundación, propusieron una variación de la definición tradicional de riesgo de inundación, estimándose en base a tres variables, las dos tradicionales (amenaza y vulnerabilidad) y la inclusión como nueva variable: la exposición, la cual fue considerada a través de un índice que depende de la densidad de población y vivienda. Además, se crearon algunas herramientas informáticas donde se estima el riesgo de inundación con un enfoque

agrupado (Hlavcova et al., 2015; Winter et al., 2018). Principalmente, el riesgo de inundación se ha calculado utilizando modelos deterministas y, en menor medida, utilizando modelos mixtos y estocásticos (Garnica y Alcántara, 2004; Matheswaran, Alahacoon, Pandey y Amarnath, 2019).

El presente estudio plantea como propósito novedoso la creación de un método para estimar y pronosticar el riesgo de inundación en una cuenca tropical (Farías et al., 2020c). El método incluyó la estimación de la precipitación efectiva y las asociaciones de esta variable con el riesgo de que las estructuras hidráulicas diseñadas para mitigar los eventos de inundación sean rebasadas al menos una vez durante la vida útil de las obras hidráulicas.

La unidad de estudio donde se probará el método de estimación del riesgo de inundación es la cuenca del río Pao, Venezuela, ubicada en los estados Carabobo, Guárico y Cojedes, la cual está siendo afectada por eventos extremos de inundaciones en las planicies de los ríos que forman parte de su red hidrográfica durante las épocas de lluvia. Esta investigación constituye un trabajo realizado con el propósito de hacer un importante aporte para cubrir la necesidad evidente de fortalecimiento de actores sociales locales, e institucionales, quienes son clave imprescindible para alcanzar una efectiva gestión de riesgo de inundaciones.

Este documento está estructurado de la siguiente manera: en el Capítulo I se presenta el planteamiento del problema a estudiar, objetivos de la investigación, justificación de la investigación, alcances y limitaciones de la investigación. En el Capítulo II se presentan los antecedentes nacionales e internacionales de investigaciones relacionadas con el tema de estudio, el marco teórico está integrado por una base teórico-conceptual de los temas y conceptos que intervienen en la gestión del riesgo de inundación y los basamentos legales donde se fundamenta la investigación. En el Capítulo III se describe el marco metodológico para un novedoso procedimiento para la gestión del riesgo de

inundación. El contenido de este capítulo incluye: tipo y diseño de la investigación, muestra y unidad de estudio, así como las fases requeridas para desarrollar la investigación. En el Capítulo IV se exponen y discuten los resultados de la investigación para cada uno de los objetivos específicos propuestos y el objetivo general, mediante la comparación con los resultados de otros estudios. En el Capítulo V se presentan las conclusiones generales obtenidas de la investigación en relación con los objetivos que dieron origen a la tesis doctoral, así como las recomendaciones necesarias a ser implementadas en futuras investigaciones. Finalmente, se adicionan las fuentes bibliográficas en las cuales se ha basado esta investigación y los principales documentos anexos al texto principal que incluye los artículos publicados en congresos y revistas científicas como productos de esta investigación.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

En este capítulo se plantea el problema de la investigación y su justificación, explicando la incidencia e importancia de las inundaciones, su impacto en las comunidades y las consecuencias que ocasiona para su desarrollo, se presentan además el objetivo general y los objetivos específicos que enmarcan esta investigación.

1.1.- Planteamiento del problema

Las inundaciones son un desafío grave y creciente. Teniendo como telón de fondo el crecimiento demográfico, las tendencias de urbanización y los cambios climáticos, las causas de las inundaciones están cambiando y sus impactos se están acelerando (Jha, Block y Lamond, 2012).

Para comprender la magnitud de la problemática que generan las inundaciones en todo el mundo se requiere el conocimiento de la naturaleza y la magnitud de los riesgos, los factores que las generan, la probabilidad de ocurrencia, y su impacto en la sociedad, lo que permitirá identificar las medidas apropiadas para el manejo de riesgos por inundación que representan el peligro más costoso tanto en el término de pérdida de vidas humanas como de daños materiales. El análisis de inundaciones debe integrar principios hidrometeorológicos, hidrológicos e hidráulicos, sociales y políticos, con la ayuda de herramientas tecnológicas para la modelación y simulación, para con ello distinguir las causas probables de los daños

por inundación en una cuenca y poder documentar los factores clave implicados en dichos daños (Guevara y Cartaya, 2004; Ramírez y Herrera, 2015).

El enfoque tradicional al abordar los riesgos hidrológicos ha sido el de plantear soluciones estructurales, implementadas desde el establecimiento de las primeras civilizaciones a lo largo de los ríos más grandes. Las canalizaciones sistemáticas se iniciaron en Europa, en ríos como el Rin, el Danubio y sus afluentes como el Tisza, el Po, el Ródano, entre otros, y en algunos ríos de Norte América como el Ohio y el Mississippi; donde se construyeron tanto represas como reservorios de agua (Fokkens, s.f.). En estos casos, la solución estructural no siempre previno el daño ocasionado por las inundaciones como se ha esperado.

Este tipo de medida consiste en construcciones físicas para reducir o evitar los posibles impactos de las amenazas, o la aplicación de técnicas de ingeniería para lograr la resistencia y la resiliencia de las estructuras o de los sistemas frente a las amenazas (UNISDR, 2009 a).

Sin embargo el uso de las medidas estructurales ha otorgado poca o ninguna consideración a las repercusiones sociales, culturales y medioambientales que estas obras ocasionan, y a pesar de los méritos históricos de las medidas estructurales para el control de las inundaciones en la protección de los asentamientos urbanos y la permisividad en el uso de las planicies de inundación para actividades agrícolas, su importancia ha disminuido en las últimas décadas (Farías et al., 2017a), producto de la crisis de credibilidad por efecto de los nuevos desafíos surgidos de los procesos técnicos, económicos y sociales que ha generado y propagado el concepto de incertidumbre; influyendo sobre la opinión científica (Marchi y Ravetz, 1999; Ravetz 2004)

Es así como el enfoque hacia la implementación de las medidas de tipo no estructural es decir aquellas que no supongan una construcción física y que utiliza el conocimiento, las prácticas o los acuerdos existentes para reducir el riesgo y sus

impactos, especialmente a través de políticas y leyes, una mayor concientización pública, la capacitación y la educación (ob.cit.), empiezan a tomar importancia y a entrar en escena nuevos enfoques como el desafío de la participación comunitaria en el manejo de los desastres y de la habilitación comunitaria para la autodeterminación (empowerment), asume características importantes durante la década de los noventas.

Este reto, representado en la llamada corriente de pensamiento a favor de la "mitigación popular" (Maskrey, 1989), asume una importancia creciente entre algunos círculos de académicos y practicantes en el manejo de desastres y ha entrado en escena un nuevo enfoque denominado *la gestión integral del riesgo*, que involucra a un proceso social complejo a través del cual se pretende lograr una reducción de los niveles de riesgo existentes en la sociedad y fomentar procesos de construcción de nuevas oportunidades de producción y asentamiento en el territorio en condiciones de seguridad y sostenibilidad aceptables como lo afirman (Lavell y Argüello, 2003; Leonelli, 2000).

Para Eger y Aquino (2006) la gestión del riesgo es el proceso de adopción de políticas, estrategias y prácticas orientadas a reducir los riesgos de desastres o minimizar sus efectos e implica intervenciones en los procesos de planeamiento del desarrollo para reducir las causas que generan vulnerabilidades y que normalmente están asociadas a procesos sociales.

Las medidas estructurales y no estructurales no se oponen entre sí, y las estrategias más exitosas combinan ambos tipos. Es importante tener en cuenta el nivel y características de los riesgos existentes y los posibles cambios futuros en el nivel de riesgo, para lograr un equilibrio entre las inversiones a largo y corto plazo necesarias para manejar el riesgo de inundación (Jha et al., 2012).

Según Valdez (2018) en la mayoría de los países latinoamericanos los sistemas de gestión de desastres se iniciaron a través de los organismos gubernamentales para dar respuesta ante las emergencias, empezando por implementar planes de ordenamiento del territorio.

Colombia, cuenta con Planes de Ordenamiento Territorial en sus ciudades y municipios que actualiza con frecuencia, por ejemplo el de Bogotá 2020, el cual tiene entre sus metas reducir la vulnerabilidad territorial de la ciudad frente a las nuevas condiciones de amenazas, derivadas del cambio climático; Perú, presentó el Plan Urbano del Distrito de San Isidro de Lima (2012- 2022), es otro ejemplo de instrumento en funcionamiento para orientar los modelos de desarrollo urbano ambiental y socio económico local; Ecuador, posee el Plan Metropolitano de Ordenamiento Territorial de Quito (2012-2022), que define los programas y proyectos que incluyan el tema de amenazas, vulnerabilidad y riesgo, otro ejemplo es Costa Rica, que dispone de Planes Municipales de Desarrollo (2012- 2040), con incorporación de algunas amenazas de origen físico natural y socio natural como las inundaciones, deslizamientos, fallas locales e índices de fragilidad ambiental.

Venezuela presenta alta vulnerabilidad asociada a las condiciones socioeconómicas, a la situación de pobreza, a la deficiente planificación urbana, al deterioro ambiental; asimismo, por la existencia de asentamientos poblacionales y zonas comerciales e industriales en alto riesgo de inundación, que se han construido sin conocimientos técnicos, incumpliendo la normativa urbanística, en terrenos geológicamente inestables, en áreas cercanas a ríos y quebradas, con materiales y técnicas de construcción precarias, así como edificaciones de servicios e infraestructura pública y privada localizadas en zonas inadecuadas y que no cumplen con criterios de construcción sismo-resistente (EIRD, 2009; UNISDR, 2009b; UNISDR, 2015; Valdez, 2018).

En Venezuela, en el campo de la reducción del riesgo de desastres, se han aplicado técnicas geoestadísticas en el entorno de la tecnología de los sistemas de información geográfica (SIG) para analizar variables hidrológicas que son componentes para la estimación del riesgo de inundación. Por ejemplo, las poblaciones de Urama, Municipio Juan José Mora, estado Carabobo, y la cuenca del río Unare, estados Guárico y Anzoátegui han sido recurrentemente afectadas durante los periodos lluviosos por el desbordamiento de los ríos Urama (Márquez y Guevara, 2006) y Unare (Márquez y Guevara, 2013; Farías y Márquez, 2015), situación que desmejora la calidad de vida de los habitantes y pone en riesgo el normal desarrollo de las actividades económicas y sociales de la región.

Mediante la aplicación de los modelos HEC (Hydrologic Engineering Center, por sus siglas en inglés) en un entorno de trabajo SIG, Farías y Márquez (2015), obtuvieron las manchas de inundación correspondientes a eventos de crecientes con un período de retorno de 10 años en un estudio para la cuenca del río Unare, determinando que las viviendas que resultarían afectadas serían las que se encuentran por debajo de la elevación de terreno de 35 msnm; y para el período de retorno de 50 años, las viviendas afectadas serían que se encuentren por debajo de 36 msnm; y para 100 años, las ubicadas por debajo de 37 msnm.

A pesar de los avances en estudios de simulación de eventos de inundación, se ha encontrado carencia de estudios en la escala nacional para formular modelos de predicción espacio-temporal de eventos del proceso lluvia-escorrentía y su vinculación con la predicción del riesgo de inundación (Farías et al., 2020 c; Márquez, Farías y Guevara, 2020).

Adicionalmente, los desastres han demostrado la inexistencia de una cultura de prevención y han establecido la oportunidad para que se tome mayor conciencia ante el hecho que el riesgo y el desastre son una realidad nacional que hay que atender, lo que evidencia la necesidad de regular y organizar las actuaciones para

evitar la conflictividad de competencias entre los diferentes grupos (Farías et al., 2020a). Lamentablemente Venezuela no escapa de esa realidad, en la que las inundaciones son el riesgo de origen natural que causa más daños materiales y efectos socio-territoriales (Farías et al., 2020b), el país posee cuencas como la del río Pao, con una red fluvial que favorece que parte de las crecidas ocasionadas por las lluvias se desborden provocando que las inundaciones registradas en esta cuenca en todos los casos han demostrado poseer niveles de afectación elevados, provocando la inundación de diferentes focos de poblaciones y la destrucción de las vías de comunicación más importantes de la región (Márquez, H. 2009).

Por lo expuesto, en este estudio se crearon métodos espacio-temporales para predecir variables hidrológicas, así como el riesgo de inundación asociado a éstas dentro del entorno SIG, para dar soporte al Plan de Gestión Sustentable de Riesgo de Inundación (PGSRI) en la cuenca del río Pao; cuyo estudio está enmarcado en la línea de investigación “Evaluación de Riesgos Ambientales” del Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales de la Universidad de Carabobo (CIHAM-UC).

El PGSRI para la cuenca del río Pao estuvo basado en ofrecer instrucción y apoyo en comunidades significativamente afectadas que habitan en esta cuenca, ya que una valoración de la vulnerabilidad hacia el riesgo de inundación apuntaría que las pérdidas de vida y materiales, irían en disminución en virtud de la mayor cantidad de conocimientos de fácil acceso y entendimiento para la población. Es decir, si las poblaciones y los territorios seleccionados cuentan con mayores niveles de seguridad colectiva, lo que se traduce en cambios importantes en las nuevas políticas públicas sobre gestión del riesgo de inundación; orientando a la sociedad a convivir con éste, el logro de este objetivo involucra un mayor grado de compromiso de los ciudadanos en los procesos de planificación y toma de decisiones en la gestión del riesgo de las inundaciones.

1.2 .- Formulación del problema

De acuerdo al planteamiento anterior y para concretar el objetivo general y los objetivos específicos se plantean las interrogantes que se indican a continuación, relacionadas con cada objetivo a lograr en el desarrollo de la investigación.

1-¿Cómo ha evolucionado la distribución espacio-tiempo del uso de la tierra en la cuenca en estudio?

2-¿Cómo se distribuyen las variables hidrometeorológicas y sociales asociadas al riesgo de inundación?

3-¿Qué teorías, modelos existentes y conocimientos se deben aplicar para proponer un nuevo modelo de pronóstico de riesgo de inundación?

4-¿En qué grado se validarán los métodos y modelos de predicción del riesgo de inundación?

5-¿En qué grado saben las personas de las comunidades que habitan en la cuenca del río Pao la significancia de un Plan de Gestión Sustentable de Riesgos de Inundación?

6-¿Cuáles son los principales aspectos que se deberían considerar para formular un Plan de Gestión de Riesgo de Inundación en el municipio seleccionado?

1.3.- Objetivos de la investigación

1.3.1.- Objetivo general de la investigación

Formular un Plan de Gestión Sustentable del Riesgo de Inundación en la cuenca del río Pao ubicada en los estados Carabobo, Guárico y Cojedes desde una perspectiva comunitaria.

1.3.2.-Objetivos específicos de la investigación

1.- Caracterizar en el espacio y tiempo los usos de la tierra en la cuenca del río Pao, para seleccionar de acuerdo a los resultados la zona con mayor densidad poblacional y con riesgos de inundación.

2.- Describir las variables hidrometeorológicas y sociales asociadas al riesgo de inundación en asentamientos no controlados de la planicie de inundación en la cuenca del río Pao, ubicada en los estados Carabobo, Guárico y Cojedes.

3.- Calibrar los modelos matemáticos del proceso lluvia-escorrentía en la cuenca del río Pao, estados Carabobo, Guárico y Cojedes, Venezuela.

4.- Validar los modelos matemáticos del proceso lluvia-escorrentía en la cuenca del río Pao, estados Carabobo, Guárico y Cojedes, Venezuela.

5.-Analizar el riesgo de inundación desde una perspectiva comunitaria, en asentamientos no controlados, de la planicie de inundación en la cuenca del río Pao.

6.- Diseñar un Plan de Gestión Sustentable del Riesgo de Inundación en asentamientos no controlados, de las planicies de inundación de la cuenca del río Pao ubicada en los estados Carabobo, Guárico y Cojedes, Venezuela.

1.4.- Justificación de la investigación

En el ámbito institucional esta investigación está enmarcada dentro de las áreas prioritarias del Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales de la Universidad de Carabobo (Márquez, Guevara, Pérez y Rey; 2020) específicamente en la línea de investigación “*Evaluación de Riesgos Ambientales*”, así como en el área de investigación Ambiente en el propósito de Gestión Ambiental del Doctorado de Ingeniería, y del área prioritaria de investigación de la UC: Ambiente, donde plantea: promover el desarrollo sostenible como estrategia para lograr una adecuada calidad de vida, previniendo o mitigando los problemas ambientales, lo

cual implica un intercambio de conocimientos entre la Universidad y la Sociedad Civil.

El aspecto social está cubierto en el desarrollo de la fase dos de esta investigación donde se describen las variables sociales asociadas al riesgo de inundaciones, y donde se realizaron actividades que implican un contacto directo de intercambio con la ciudadanía por parte de personal de la Universidad de Carabobo y todos los entes involucrados, como: a) visitas a las comunidades para establecer contacto con los líderes comunitarios y autoridades municipales; b) ciclos de sesiones para visitas de reconocimiento de la zona con la presencia del personal de protección civil y bomberos universitarios con el propósito de identificar los lugares a intervenir; c) aplicación de entrevistas para conocer el nivel de conocimientos que sobre los riesgos tiene la comunidad; d) ciclo de charlas de prevención y primeros auxilios dictados por personal capacitado de protección civil y bomberos universitarios; e) elaboración colectiva de productos como pluviómetros caseros, mapas de: ubicación de servicios básicos, rutas de evacuación, sitios de refugios, ubicación de viviendas de líderes comunitarios; e) socialización de los trabajos desarrollados; f) aplicación de simulacro de un evento de inundación.

Desde el punto de vista técnico en este estudio se diseñan e implementan medidas no estructurales que colaboran a mitigar los efectos residuales de las inundaciones (planes de contingencia, planes de capacitación, planes de difusión, que aseguren que cada actor conozca qué hacer y cómo hacerlo tanto de forma preventiva como de respuesta ante un proceso de inundación).

Las medidas no estructurales implementadas fueron: a) organizar grupos de trabajo para revisar los cauces de los ríos y arroyos para mantenerlos libres de obstrucciones; b) ubicar y monitorear las zonas en los ríos o encauzamientos con posibles riesgos de erosión que exponen al riesgo de inundación alguna zona de la comunidad o la estabilidad de las márgenes; c) instruir a los miembros de la

comunidad con los conocimientos básicos para el recubrimiento y/o la creación de muros marginales, que consisten en colocar sobre la orilla de los cauces un material natural o artificial; d) diseñar sistemas de alerta temprana para reducir el grado de exposición y vulnerabilidad de la población y sus bienes ante la ocurrencia de un evento extremo, como pluviómetros caseros y medidores de nivel que pueden construirse con materiales económicos y de fácil acceso a la comunidad; e) educar a la población para que adquiera conciencia de no construir viviendas cerca de los ríos con peligro de desbordamiento.

Desde el punto de vista legal esta investigación posee un amplio basamento jurídico. La reducción de riesgo de desastres está contemplada en los artículos 55, 127 y 156 de la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999). En el artículo 55 se establece el derecho a la protección por parte del estado, al que pueden optar todos los venezolanos que se encuentren expuestos a condiciones de amenazas, vulnerabilidad o riesgos; en el artículo 127 se plantea el derecho de la ciudadanía a disfrutar de una vida y un ambiente seguro, sano y equilibrado, el artículo 156 establece el deber de toda persona de cumplir con sus responsabilidades sociales y participar solidariamente en la vida política social y comunitaria del país promoviendo los derechos humanos.

De igual forma, la política de protección ciudadana se aborda en otros instrumentos legales como la Ley Orgánica sobre Estado de Excepción 2001, Ley Orgánica de Seguridad de la Nación 2002, Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio 1983, Decreto con Fuerza de Ley de la Organización Nacional de Protección Civil y Administración de Desastres 2001, Ley Orgánica del Ambiente 2006, Ley de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos 2009, entre otras leyes orientadas a la reducción de desastres. Adicional a lo planteado esta investigación se adapta al quinto objetivo del Segundo Plan Socialista de Desarrollo Económico de la Nación, 2013-2019.

1.5.- Alcance de la investigación

Esta investigación está dentro del marco del área de investigación de Ambiente del programa de Doctorado en Ingeniería de la Universidad de Carabobo, en la línea de investigación correspondiente a Manejo Integrado de Cuencas y Gestión Ambiental. Siendo además un producto científico del Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales de la Universidad de Carabobo (CIHAM-UC), en la línea de investigación: Manejo Integrado de Cuencas.

El área de estudio de la investigación es la cuenca del río Pao ubicada entre los estados Carabobo, Guárico y Cojedes, considerándose la formulación de un Plan de Gestión Sustentable del Riesgo de Inundación en asentamientos no controlados, ubicados en las planicies de inundación de la cuenca, tomando la aplicación de la investigación en un caso de estudio producto de análisis técnicos y sociales que han de llevar a seleccionar el municipio más adecuado para la aplicación del plan.

Para poder entender la dinámica hidrológica del proceso que haya experimentado una zona, se debe realizar un análisis que considere la modelación integral del sistema hidrológico de la cuenca afectada y sus cuencas aportadoras. En esta investigación se modeló el proceso lluvia- escorrentía que depende de una gran variedad de parámetros, se debe caracterizar geomorfológicamente la cuenca mediante los parámetros físicos, como la longitud y pendiente de la cuenca y del cauce, y parámetros de relieve cómo las curvas hipsométricas, así como la información sobre el tipo y uso del suelo, y la cobertura vegetal, entre otros.

La investigación se planteó en tres etapas, una para el trabajo de campo que incluyó la recolección de información hidrometeorológica en el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) desde el año 2015 hasta el año 2020 (Anexo I). La adquisición y procesamiento de imágenes de satélite Landsat comprendió el período entre 2015 y 2018 (Anexo II). El trabajo de campo en la cuenca del río Pao

se llevó a cabo en el periodo desde el año 2017 al año 2019, y por último el procesamiento metodológico de toda la data hasta lograr dar respuesta al objetivo general se realizó desde año 2019 hasta finales del año 2021

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Después de haberse planteado el problema y definidos el objetivo general y los objetivos específicos que dan pie a la presente investigación, es necesario establecer el marco teórico, donde se plantean los antecedentes del tema de investigación, así como el marco legal que la sustenta. Los antecedentes de esta investigación presenta dos secciones: la primera plantea investigaciones referentes al desarrollo, calibración y validación de modelos matemáticos utilizados para el pronóstico de riesgo de inundación, y la segunda sección abarca investigaciones para la formulación de planes de gestión sustentable de riesgo de inundación. Igualmente el marco teórico de ambas secciones se separa de acuerdo al contenido conceptual de cada sección.

2.1- Antecedentes de la Investigación

2.1.1- Aplicación de modelos matemáticos para simulación de procesos hidrológicos

Múltiples son los estudios que se han realizado en diferentes cuencas del mundo con ayuda de modelos hidrológicos y variados las soluciones que han dado para su aplicación. La modelización se impone cuando se necesita plantear escenarios de los cambios de características en los drenajes de una cuenca y evaluar sus consecuencias hidrológicas, se pueden predecir los riesgos y anticiparse a los efectos negativos que estos ocasionan. Los modelos hidrológicos son unas de las opciones que se han tomado como instrumentos para el análisis de información de primera mano, brindando una percepción de la alteración climática global, por medio de componentes específicos o en conjunto dando una idea clara del

comportamiento del espacio territorial a estudiar. A continuación algunas investigaciones que sirvieron de referencia a este documento doctoral.

Márquez, Farías y Guevara (2022) aplicaron *la detección de cambios de uso de suelo y cobertura terrestre en una cuenca tropical*, evaluando 10 métodos de detección de cambio; nueve de estos se clasifican como métodos basados en píxeles y el último corresponde al método de objetos clasificados. Se adquirieron once imágenes del satélite Landsat en el período comprendido entre 1986 y 2016. Los porcentajes de área de cambio de acuerdo con cada método de detección de cambio de preclasificación fueron: (a) Diferencia de imagen: 7% - 10%, (b) Relación de imagen: 0.5% - 3%, (c) Diferencia de imagen NDVI: 1% - 4%, y (d) Diferencia de imagen del componente principal: 4% - 10%. Los métodos de postclasificación contribuyeron con los métodos de preclasificación en una mejor aproximación a la proporción de diferencia de área asociada a cada uso de suelo / cobertura de suelo ocurrida en la zona de estudio. Entre los métodos de postclasificación, se encontró que la máquina de vectores de soporte brinda resultados más aproximados entre estos y sus índices de precisión son superiores a los obtenidos mediante el algoritmo de máxima verosimilitud.

Es importante conocer los cambios de uso y cobertura de la tierra en una cuenca, para determinar zonas de riesgos e influencia de desastres ocurridos con anterioridad que permitan tomar medidas necesarias para la ubicación de futuras comunidades, es por esto que esta investigación se tomó como referente de esta investigación.

Márquez-Romance, López-Calatayud, Farías-De Márquez, Guevara-Pérez, (2022) realizaron *una aproximación a un nuevo método de predicción de variables hidrológicas en cuencas tropicales*. En esta investigación, se propone una aproximación a un nuevo método para la predicción espacio-temporal de variables hidrológicas en cuencas, denominada CIHAM-UC-SPF-HV. Utilizando como

variables hidrológicas la precipitación y la evaporación medidas en 174 y 82 estaciones de monitoreo respectivamente, durante el período 1960-2000 ubicadas en la zona UTM 19 Norte de Venezuela y la variable indirecta estimada por un balance hídrico. Comprende las etapas: 1) Recolección de datos hidrológicos, 2) Estimación de la predicción espacial de la variable hidrológica, 3) Predicción temporal de parámetros derivados del modelo estadístico de predicción espacial para variables hidrológicas, 4) Predicción espacio-temporal de variables hidrológicas, y 5) Validación de los resultados en las variables hidrológicas pronosticadas.

Las principales ventajas de este método son: 1) la combinación de componentes aleatorios deterministas y espacialmente correlacionados, ambos apoyados por registros históricos asociados a series temporales de variables hidrológicas, y 2) múltiples estructuras matemáticas contribuyen a predecir los parámetros del modelo de predicción espacial estadística de las variables hidrológicas, seleccionando aquello por el cual el patrón estacional y la tendencia son los más cercanos a los valores observados.

Concluyendo que el método es adecuado para reproducir el patrón espacio-temporal entre los valores observados y pronosticados por debajo de dos desviaciones estándar de los valores medios.

Farías, et al., (2020b) realizaron una investigación sobre la *modelación geoestadística del balance hídrico superficial, bajo condiciones variables de humedad del suelo en la cuenca del río Pao, Venezuela*. En esta se plantearon modelos matemáticos en combinación con SIG, con métodos de interpolación para lograr la interacción entre los datos topográficos y geográficos para generar mapas de variables de balance hídrico. Lo novedoso de la investigación consiste en identificar un modelo estadístico que prediga la variabilidad espacial de los datos

hidrometeorológicos en la cuenca. Se utilizan series de datos meteorológicos de 25 estaciones para el período 2015-2017 y la técnica de Kriging Ordinario.

La variable infiltración se analizó para diferentes condiciones de humedad del suelo: seco, normal y húmedo. Para representar las semi varianzas de las variables hidrometeorológicas, se utilizó la función J-Bessel. Se ha encontrado un ajuste matemático exitoso entre los valores observados y predichos de las variables del balance hídrico expresados por el coeficiente de correlación (R). Para precipitaciones, 0.54-0.81; para la infiltración, 0.68-0.95; para escorrentía, 0.68-0.92; para evapotranspiración, 0.53-0.86; y para el volumen acumulativo, 0.53-0.95.

Los resultados de esta investigación serán un insumo básico para el diseño de un Plan de Gestión de Riesgos de Inundación en la cuenca del río Pao, cuya implementación servirá para prevenir daños en las comunidades que están ubicadas tanto en las planicies de inundación de los 14 ríos principales, como en zonas aledañas de los tres embalses que existen en esta cuenca.

Farías et al., (2020c) desarrollaron una investigación para desarrollar un *método para estimar el riesgo de inundación en una cuenca tropical*. La unidad de estudio donde se probará el método es la cuenca del río Pao, Venezuela. Se utilizaron dos series temporales de precipitación. La primera serie temporal de precipitación se utilizó para probar el método correspondiente a los meses de la temporada de lluvias obtenidos de 58 estaciones de medición durante el período 1980-2000. La segunda serie temporal de precipitación se aplicó para la etapa de validación del método correspondiente al período 2015-2018. La novedad consiste en el uso de dos variables dinámicas representadas por la precipitación y el uso del suelo y la cobertura del suelo (LULC) para obtener las precipitaciones efectivas y su probabilidad de excedencia. El riesgo de inundación se determina mediante el uso de métodos determinísticos dependiendo de la probabilidad de excedencia de lluvias efectivas.

El método incluye la estimación de las precipitaciones efectivas y las asociaciones de esta variable con el riesgo de que las estructuras hidráulicas diseñadas para mitigar los eventos de inundación se superen al menos una vez durante la vida útil de las obras hidráulicas. La precipitación efectiva es una variable estimada utilizando el método del Servicio de Conservación del Suelo de los Estados Unidos (US-SCS). Los resultados de la validación permiten demostrar que hay un patrón espacio-temporal en el riesgo de inundación de ocurrencia. La comparación de los resultados de las series temporales de riesgo de inundación comprimidas a través de los PC entre dos períodos de tiempo 1980-2000 y 2015-2018 podría indicar que no hay una varianza espacio-temporal significativa en las dos variables principales que influyen en el riesgo de inundación, que consiste en la estimación de la precipitación y el uso de la tierra y la cobertura del suelo.

El método desarrollado en esta investigación representa una contribución para determinar la distribución espacio-temporal del riesgo de inundación que permite tomar decisiones para lograr medidas preventivas que contribuyan a la protección de los seres humanos y bienes, siendo un aporte importante en el diseño de planes de gestión de riesgos de inundación.

Márquez, Farías y Guevara (2020) proponen un *método para pronosticar el riesgo de inundación en un país tropical*. El método llamado CIHAM-UC-FFR se basa en el proceso de lluvia-escorrentía. Este método consta de tres etapas: (1) calibración y validación para el modelo de precipitación efectiva, denominado modelo CIHAM-UC-EP, (2) calibración de modelos de previsión para componentes del modelo CIHAM-UC-EP, (3) modelo propuesto para la previsión del riesgo de inundación denominado CIHAM-UC-FR. Este modelo estima la precipitación efectiva combinando el principio de conservación de masas junto con una ley de primer orden establecida por Fick para explicar la dinámica temporal de la tasa de consumo de sustancias asociada con el gradiente de disipación de la concentración

de sustancias a medida que sus moléculas se mueven en una dirección predominante dentro de un médium acuoso.

En la ecuación propuesta, este principio se aplica para explicar la dinámica de la tasa de atenuación de la profundidad del agua siguiendo una trayectoria de flujo específica mediante la estimación de un coeficiente de atenuación que representa la dinámica espacio-temporal. Mientras que el modelo CIHAM-UC-EP es una ecuación estocástica basada en la probabilidad de superación de la precipitación efectiva.

El método es un aporte importante para la investigación realizada, debido a que contar con una herramienta que permita pronosticar el riesgo de inundación, es importante para cualquier investigador que se plantee el diseño de planes de gestión de riesgos de inundación, ya que puede brindar planificar actividades adaptadas a esa realidad.

Farías et al., (2018) realizaron una investigación denominada: *caracterización espacio-temporal de usos de la tierra en la cuenca del río Pao usando técnicas de geomática*. Esta investigación aborda la caracterización de los usos del suelo y la cobertura terrestre que han ocurrido en la cuenca del río Pao entre los años 1986 y 2016. La metodología incluye: 1) Adquisición de dos imágenes de satélites Landsat, L5TM y L8OLI. 2). Procesamiento preliminar de imágenes. 3) Aplicación de la técnica de postclasificación para la detección de cambios. 4) Evaluación de la exactitud temática. 5) Validación de la clasificación de imágenes. El estudio muestra que las clases que presentan incrementos son: urbano: -1.37%, agropecuario: -22.99%, los descensos ocurren en las clases: agrícola: 1.12; agua: 0.55%; vegetación: 8.1%; suelo deforestado: 9.66 %; sombra: 2.28%. Concluyendo en esta investigación que la cuenca del río Pao ha sufrido cambios en el uso y cobertura de la tierra, el incremento de uso urbano se ubica predominantemente al norte, es decir en la cuenca alta del río Pao, entre los municipios Naguanagua y Valencia.

Los resultados de esta investigación serán un insumo básico para el diseño de un plan de gestión de riesgos de inundación, porque conocer el uso y cobertura de la tierra de una cuenca permite determinar la zonas que posea más densidad demográfica, y están más expuestas a riesgos, permitiéndole al investigador la mejor selección de las comunidades donde se implementará el plan de gestión de riesgos.

Farías y Márquez (2015) presentaron la metodología para realizar la *validación de modelos de estimación del proceso lluvia- escorrentía en la cuenca del río Unare (Guárico- Anzoátegui)*. Para el estudio de los modelos matemáticos de infiltración, escurrimiento, y tránsito de crecientes se analizaron datos de precipitación y caudal de las diferentes estaciones de monitoreo ubicadas en la cuenca del río Unare que permitieron analizar el comportamiento de los modelos para simular los escenarios de lluvia- escorrentía que facilitaran la identificación de las áreas de riesgo de inundación y con ello la validación de los modelos de estimación del proceso lluvia- escorrentía en la cuenca del río Unare, así como la generación de mapas de inundación y determinación de zonas de amenazas de inundaciones, utilizando herramientas de modelación hidrológica del software HEC y sus distintas extensiones, la determinación de las características físicas de la cuenca se hizo con la extensión HEC-GeoHMS, las crecientes de diseño con HEC-HMS, las planicies de inundación con HEC-RAS y por último se usó HEC-GeoRAS para la delimitación de zonas inundables.

El tipo de investigación fue correlacional, con un diseño no experimental. Obteniéndose como resultados que de los modelos de transformación empleados (SCS, CLARK, SNYDER), el modelo de transformación del hidrograma unitario de Snyder fue el que mejor se adaptó al comportamiento hidrológico de la cuenca del río Unare.

Esta investigación aunque supera los 5 años de realizada, se convierte en un antecedente valioso porque en esta se confirma la posibilidad de adaptar un modelo matemático para evaluar el comportamiento de un río, y se identifican zonas inundables, convirtiéndose en un aporte a la presente investigación donde también se emplea la modelación hidrológica, validación y calibración de modelos.

2.1.2 Implementación de planes de gestión de riesgos.

En Venezuela en el año 2012 con el auspicio de Cáritas Venezuela se presentó el Documento País 2012 sobre la Reducción del Riesgo de Desastres en Venezuela. Este documento pretendía brindar una visión integral sobre la situación actual de la Reducción del Riesgo de Desastres (RRD) en el ámbito nacional venezolano, los avances logrados en la gestión para reducirlos, la definición de prioridades y líneas estratégicas, los principales retos y desafíos a enfrentar para disminuir la pérdida de vidas humanas, así como los impactos económicos, sociales y ambientales que estos generan. Este informe fue actualizado durante el 2014 con el informe Documento País 2014. Avances de la Gestión de Riesgo en Venezuela y su Prospectiva; bajo el auspicio de Cáritas de Venezuela, tenía el propósito de sintetizar la información relevante sobre los avances de la Gestión de Riesgos en Venezuela y su visión a partir de la promulgación de la Ley de Gestión Riesgo Socionaturales y Tecnológicos 2009.

En lo que respecta a investigaciones sobre la gestión de riesgo, difusión y preparación de la población para enfrentar los riesgos de inundación y que sirvieron de aporte a este documento se mencionan las siguientes:

Farías, Márquez y Guevara (2022) plantearon una investigación titulada: *Pobreza, desigualdad social y vulnerabilidad a los desastres en Venezuela*. El objetivo planteado fue proponer la noción de la pobreza, la desigualdad social y la privación, como elementos que causan vulnerabilidad a los desastres, demostrando la forma en la que la construcción social del riesgo se relaciona se relaciona directamente con las políticas públicas nacionales de acceso a viviendas, empleos,

y ordenamiento territorial. Esta investigación fue de tipo descriptiva y el diseño un trabajo de campo, la información fue recabada con la aplicación de entrevistas, encuestas, y observación directa, con actividades orientadas a la identificación de escenarios de riesgo como indicadores del nivel de pobreza de los sectores más desasistidos del país. De esta experiencia se concluye que la idea general sobre la vulnerabilidad a los desastres está estrechamente ligada a la pobreza extrema y la significativa desigualdad económica y social que existe en Venezuela.

Aporta reflexiones sobre las acciones que permiten contar con una población convenientemente informada, con recursos para una vida digna, con instituciones responsables y eficientes, propósitos que deben ser el direccionamiento de cualquier comunidad.

Farías et al., (2020a) formularon un *Plan de Gestión Sustentable de Riesgo de Inundación como una Propuesta desde Carabobo, Venezuela*. El municipio Naguanagua, ubicado en el estado Carabobo fue el seleccionado para desarrollar la investigación, cuyo objetivo era mejorar la capacidad de preparación y de respuesta ante situaciones de desastres en las comunidades afectadas por las inundaciones. Su novedad se basó en el método de integración de miembros de la Universidad de Carabobo, Protección Civil, Alcaldía y las comunidades afectadas. Esta investigación fue de tipo descriptiva y el diseño un trabajo de campo, donde la información se obtuvo mediante la aplicación de entrevistas, encuestas y observación directa. Las actividades de investigación se orientaron a promover estrategias y criterios educativos encaminados a la reducción del riesgo de inundación mediante la creación de capacidades en la población para superar amenazas y contribuir, de ese modo, a formar una comunidad resiliente.

Desde esta experiencia se concluye que es posible desarrollar proyectos donde la alianza Universidad-Comunidad se fortalezca para lograr la sostenibilidad del desarrollo social y económico de una población, requiriendo la integración efectiva

de la gestión del riesgo de desastres en sus políticas, planes de desarrollo, proyectos y acciones dirigidas al conocimiento y comportamiento de la sociedad ante la presencia de fenómenos hidrometeorológicos.

Farías et al., (2017a) elaboraron *una metodología para prevenir y afrontar el riesgo hidrológico en la zona norte del municipio Naguanagua, estado Carabobo, República Bolivariana de Venezuela*, basada en conocer la percepción real de la sociedad frente a la gestión de riesgo de inundación en las zonas donde conviven y están expuestas a esta condición, su punto de vista sobre el rol que debe desempeñar una ciudadanía organizada al momento de desarrollar una gestión de riesgo, sus propuestas de acciones a fin de disminuir su grado de vulnerabilidad. El objetivo principal era mejorar la capacidad de preparación y de respuesta ante situaciones de desastres de las comunidades y de las autoridades, para lograrlo es necesario aumentar la resiliencia de las comunidades y de los líderes comunitarios, mediante la aplicación de medidas orientadas a la de gestión de riesgos de inundación.

Esta investigación fue de tipo descriptiva, con un diseño basado en un trabajo de campo. Las comunidades seleccionadas para esta investigación fueron: Brisas del Café, Carialinda I y Las Adjuntas. La información se obtuvo mediante la aplicación de entrevistas, encuestas y observación directa. Las actividades de este proyecto se orientaron a promover estrategias dirigidas al fortalecimiento de los miembros de la comunidad, para la preparación y toma de decisiones ante situaciones de emergencias producto de las inundaciones. Se desarrollaron en estas comunidades procesos de sensibilización y promoción de la organización comunitaria para la preparación ante situaciones de emergencia, evaluación del contexto global de las comunidades, construcción colectiva de productos y socialización de los mismos. Los resultados obtenidos después de las capacitaciones favorecieron a la gestión en un 90%, que se evidenció durante la realización de simulacros por evacuación ante un riesgo de inundación.

Concluyendo que la capacitación de los habitantes representa la base fundamental para la aplicación exitosa de una metodología para prevenir y afrontar los riesgos de inundación, esta debe ser un proceso continuo que busque proteger a las personas, economías, ambiente e infraestructuras, ya que al controlar los efectos negativos de la ocurrencia de eventos de origen natural, maneja las mismas variables.

Farías y Márquez (2017b) presentaron una *Propuesta de Gestión Sostenible del Riesgo de Inundación en la Comunidad El Retobo, municipio Naguanagua, Carabobo*. El objetivo principal de la investigación era instruir a las personas para gestionar el riesgo de inundación desde el punto de vista comunitario, para lograrlo se requiere del conocimiento e identificación de parámetros como: demografía, condiciones socio-económicas, nivel de vulnerabilidad, nivel de conocimiento que posee la comunidad sobre la exposición a riesgos y la gestión de estos, instituciones y autoridades encargadas de brindar apoyo en las emergencias, sitios de seguridad temporal y posibles refugios, sin obviar que es una actividad participativa que considera a la ciudadanía como el elemento clave del proceso de generación de información, respetando siempre el derecho a una participación directa, activa, decisoria y eficaz en todas las etapas del proceso de la gestión del riesgo.

Esta investigación era de tipo descriptiva, el diseño de la misma era un trabajo de campo, donde la información se obtuvo mediante la aplicación de entrevistas, encuestas y observación directa. Se han desarrollado procesos de sensibilización y promoción de la organización comunitaria para la preparación ante situaciones de emergencia, evaluación del contexto global de la comunidad, construcción colectiva de productos y socialización de los mismos. Esta propuesta surge de una evaluación preliminar sobre el grado de sostenibilidad de la aplicación de simulacros de gestión de riesgos de desastres en la comunidad El Retobo, los

resultados mostraron que a pesar de la vulnerabilidad existente por estar establecidas a las márgenes del río , solo un 12% de la población posee ciertos conocimientos sobre el tema, de allí surge el interés de proponer un plan de gestión de riesgos que será evaluado y consensuado con la comunidad para su implementación, y sea éticamente aceptable al ser el resultado de un amplio proceso dialógico de los sectores involucrados y afectados por los riesgos.

Los resultados obtenidos después de las capacitaciones favorecieron a la gestión en un 90%, que se evidenció durante la realización del simulacro por evacuación ante un riesgo de inundación.

Farías, Márquez y Guevara (2016a) presentaron una investigación sobre la *socialización de la gestión de riesgos de desastres a través de simulacros en dos estados de Venezuela*. El objetivo de la investigación era el análisis de la socialización de la gestión de riesgos de desastres en dos ciudades de Venezuela a través de los simulacros de ocurrencia de eventos catastróficos. La recolección de datos se realizó aplicando encuestas a diferentes estratos sociales de la población previas a los simulacros. Los resultados obtenidos en las zonas de estratos A y B muestran que el 90% de la población tiene conocimientos sobre desastres y sus implicaciones; mientras que en zonas de estratos tipo D y E sólo el 10% reconoce tener un vago conocimiento del tema.

Con respecto al conocimiento y el nivel de consciencia sobre las amenazas de riesgo, los resultados muestran que a pesar de la vulnerabilidad que presentan, en las comunidades de escasos recursos económicos solo un 12% de la población está interesada en el tema. Los resultados obtenidos sobre la aplicación de los simulacros demuestran que no poseen conocimientos sobre su aplicación.

Farias, Márquez y Guevara (2016b) presentaron una investigación sobre la *Percepción Social en la Gestión del Riesgo de Desastres del Estado Carabobo*.

Esta investigación presentó como objetivo principal el análisis de la percepción social de la gestión del riesgo de desastres en una comunidad ubicada en el municipio Carlos Arvelo, del estado Carabobo a través del simulacro de eventos de desastres. Los resultados arrojaron que el 95% de la población tenía poco conocimiento sobre la gestión de riesgos, y el 90% estaban en situación de vulnerabilidad ante inundaciones.

Concluyendo los autores que para lograr la sostenibilidad del desarrollo social y económico de un país se requiere de la integración efectiva de la gestión del riesgo de desastres en sus políticas, planes de desarrollo, proyectos y acciones dirigidas al conocimiento y comportamiento de la sociedad ante la presencia de eventos que involucren la probabilidad de ocurrencia de un nivel de consecuencias económicas, sociales o ambientales en un sitio particular en un tiempo determinado, producto de las interacciones entre las amenazas y las condiciones vulnerables que puedan existir.

Farías, Márquez, A y Márquez, M (2015) realizaron *la evaluación del grado de sostenibilidad en la aplicación de gestión de riesgo en los sectores la Cumaca, y El Paraíso ambos ubicados en el municipio San Diego y sector Araguita en Guacara*. La evaluación se realizó mediante la elaboración de mapas de riesgo por inundación, incendio, y sismo, mapas de organizaciones comunitarias, rutas de evacuación y refugio, adiestramiento de las comunidades sobre la prevención de desastres, simulacros para la prevención de desastres y la creación un sistema de información geográfica que permita al usuario saber a dónde debe recurrir al momento de encontrarse en una situación de peligro.

Se aplicó una encuesta antes de realizar las charlas y simulacros obteniéndose los siguientes resultados en promedio: las inundación es el evento que mayor frecuencia de ocurrencia se presenta en las zona con un 40%, los incendios forestales 26%, los sismos un 12% y otros 22%; en cuanto a la evaluación del

conocimiento previo de las comunidades sobre el comportamiento ante una situación de desastre el 60% respondió no saber qué hacer ante un siniestro, el 79% de los ciudadanos seleccionada para la aplicación de la encuesta reconoce que está expuesta a algún tipo de riesgo de los evaluados, el 90% no sabría la ruta de evacuación a utilizar si debe enfrentarse a una situación desastrosa, y el 100% reconoce no haber recibido nunca ningún tipo de entrenamiento o asistido a simulacros. Una vez aplicada la metodología seleccionada para el desarrollo de esta investigación los resultados de las encuestas post- simulacros mejoraron en el orden del 60% en las respuestas favorables del comportamiento de la comunidad ante un evento de desastre natural.

Todos los antecedentes mencionados en las secciones anteriores y referidas a la aplicación de medidas no estructurales como herramienta para gestionar los riesgos de inundación a nivel comunitario, son un aporte fundamental para esta investigación, ya que validan la metodología que se emplea en la presente investigación.

2.2.- Bases Teóricas

En esta sección constituye la base conceptual del tema de estudio acercando desde el punto de vista teórico a lo que será la investigación aplicada. Se establecen conocimientos, conceptos, teorías, entre otros; que se aplicaron al escenario de la gestión de riesgo de las inundaciones y su vinculación al marco legal existente en Venezuela.

Las inundaciones y sus consecuencias han alcanzado niveles críticos producto tanto a la exposición como a la vulnerabilidad de las comunidades ante la existencia de amenazas de origen natural y antrópico, que atentan contra su sostenibilidad. Es necesario conocer las concepciones, acciones o hechos, metodologías y herramientas empleadas para gestionar el riesgo de inundación y sus consecuencias por ello antes de analizar detalladamente la complejidad del riesgo

de inundación y su gestión, es primordial separar este marco teórico en dos secciones una correspondiente a la dinámica de cuencas y los modelos matemáticos empleados en los estudios hidrológicos y otra sección donde se detallará más el estudio del riesgo desde la percepción social como una herramienta indispensable para formular un plan de gestión de riesgo de inundación.

2.2.1.- Dinámica de cuencas

Según Milanés, Galbán y Olaya (2017) la inundación es la ocupación de un terreno por agua en el que habitualmente se encuentra la tierra seca. Se producen debido al efecto del ascenso temporal del nivel de los ríos o del mar, en cierta medida, pueden ser eventos controlables por el hombre, dependiendo del uso de la tierra cercana a las fuentes del fenómeno. Guevara (2010) establece algunas definiciones de inundación como un aumento anormal en el nivel de las aguas, que provoca un desbordamiento de los ríos que cubre en forma temporal, la superficie de las tierras que se ubican en sus márgenes. También la define como flujos o niveles extremadamente altos de los ríos, donde el agua inunda las planicies adyacentes al sobrepasar la capacidad de transporte natural de los cauces, y por último agrega que las inundaciones ocurren cuando los niveles de los lagos, embalses, acuíferos y estuarios exceden algún valor crítico inundando el valle adyacente.

Como lo afirma Bunge (1985) la investigación científica arranca a partir de la percepción de que el acervo de conocimientos disponibles es insuficiente para resolver determinados problemas. A lo largo de la tarea de investigación es necesario, a menudo, tener que realizar simplificaciones de los problemas que se intentan resolver, para poder reducirlos a una serie limitada de variables que puedan ser manejables. En las áreas de conocimiento relacionadas con el medio ambiente, al ser tan amplio y variable la cantidad de factores que determinan el comportamiento de cada sistema, este proceso de selección de las variables a las

que es más sensible el sistema y la eliminación del resto es una tarea imprescindible. Por ello, la forma más común de abordar estos problemas en el medio ambiente es utilizando modelos. Para Estrela (1996) un modelo es una representación simplificada de la realidad (un sistema complejo) que puede ser manipulado para analizar la misma.

En la investigación hidrológica los modelos de cuenca son fundamentales para la evaluación de los recursos hídricos disponibles permitiendo analizar la cantidad del flujo de agua, gestionar las reservas del recurso, proteger las aguas subterráneas, diseñar sistemas de distribución y elaborar estrategias adecuadas de manejo del conjunto de los recursos de aguas superficiales y subterráneas (Singh y Woolhiser, 2002).

De acuerdo a Aparicio Mijares (1992) una cuenca es la zona de la superficie terrestre en donde las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida; su modelación es un tópico importante ya que ésta permite representar de una manera relativamente barata, y potencialmente adecuada, el sistema estudiado y evaluar los efectos de escenarios de alteración sobre su comportamiento hidrológico (Duque-Yaguache y Vázquez-Zambrano, 2015).

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Dourojeanni, 1994) en el informe sobre la Gestión del Agua y las Cuencas en América Latina, define una cuenca hidrográfica como un territorio que está delimitado por la propia naturaleza, esencialmente por los límites de las zonas de escurrimiento de las aguas superficiales que convergen hacia un mismo cauce. La cuenca, sus recursos naturales y sus habitantes poseen condiciones físicas, biológicas, económicas, sociales y culturales que les confieren características peculiares, simular el comportamiento de una cuenca hidrológica con la ayuda de un modelo matemático cobra sentido cuando la información obtenida con el mismo resulta imprescindible para lograr un objetivo difícilmente alcanzable por otros medios menos costoso.

La modelación hidrológica constituye la representación simplificada de determinados procesos del ciclo hidrológico, por medio de un conjunto de conceptos hidrológicos expresados en forma matemática y ligados por una secuencia espacio temporal (Arias Lastre, 2015); a su vez la modelación facilita la manipulación de las variables que intervienen en el proceso de transformación lluvia-escorrentía, aportando datos sobre la distribución espacial de la escorrentía superficial y mejorando la cartografía temática sobre zonas inundables y zonas con riesgo de inundación (Morad y Triviño, 2004). Se requiere para modelar contar con análisis complejos que involucran variaciones temporales y o espaciales de precipitación, abstracciones hidrológicas y escurrimiento, muchos autores han realizado investigaciones en esta área (Abbot et al., 1986; Andreu, 1993; Buytaert, 2004; Célleri et al., 2010; Estrela, 1993; Estrela 1997; Estrela y Quintás, 1996; Fleischbein, et al., 2006; Llamas, 1993; Ponce y Hawkins, 1996).

2.2.2.- Comportamiento del flujo en una cuenca

El entendimiento del ciclo hidrológico es fundamental para la evaluación y planificación en cuencas hidrográficas. El conocimiento de éste como un sistema físico ayuda en el desarrollo de un buen modelo y en la determinación de su precisión. La estimación de la escorrentía resulta de gran interés para diversas aplicaciones: estudios de impacto ambiental, ordenamiento territorial, manejo de cuencas y recursos naturales, predicción de riesgos ante inundaciones e implementación de sistemas de alerta temprana.

Al respecto, Guevara y Cartaya (2004) lo discuten en los siguientes términos: una vez que la precipitación alcanza la superficie del terreno, el agua se infiltra hasta que las capas superiores del mismo se saturan. Posteriormente, se comienzan a llenar las depresiones del terreno y al mismo tiempo, el agua comienza a escurrir sobre su superficie. En su trayectoria hacia la corriente más próxima, el agua que fluye sobre el terreno se puede seguir infiltrando, e incluso se

evapora en pequeñas cantidades. Una vez que llega a un cauce bien definido, el escurrimiento se convierte en corriente. El flujo sobre el terreno junto con el escurrimiento en corriente forma el escurrimiento superficial. Una parte del agua de precipitación que se infiltra escurre cerca de la superficie del suelo y más o menos paralelamente a él, a esta parte del escurrimiento se le llama escurrimiento sub-superficial. La otra parte, que se infiltra hasta niveles inferiores al freático, se denomina escurrimiento subterráneo.

De los tres tipos de escurrimiento, el superficial es el que llega más rápido hasta la salida de la cuenca, es por ello que se relaciona directamente con una tormenta particular y entonces se dice que proviene de la precipitación en exceso o efectiva y que constituye el escurrimiento directo y que, dependiendo del estado y características de la cuenca, se desplaza a diferentes velocidades ocasionando diversos efectos negativos en el manejo de cuencas, como son la erosión y las inundaciones. El escurrimiento subterráneo es el que de manera más lenta llega hasta la salida de la cuenca puede tardar años en llegar, y en general, difícilmente se le puede relacionar con una tormenta particular, a menos que la cuenca sea demasiado pequeña y su suelo muy permeable. Debido a que se produce bajo el nivel freático, es el único que alimenta a las corrientes cuando no hay lluvias y por eso se dice que forma el escurrimiento base.

La Figura 1 representa el comportamiento del flujo en una cuenca.



Figura 1. Representación del ciclo hidrológico. Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos o USG.

2.2.3 Modelos de simulación hidrológica

El estudio de los modelos matemáticos de pronóstico de lluvia- escorrentía permite obtener información sobre el comportamiento del proceso de escurrimiento de los efluentes de una cuenca, con la información obtenida se pueden aportar soluciones a los problemas que se generan por la presencia de estos fenómenos naturales que causan daños en las cuencas hidrográficas las cuales se deterioran interrumpiendo el ciclo hidrológico. Los factores esenciales de los modelos son las variables, (las cantidades físicas de descarga, área de flujo, profundidad de flujo, velocidad media, entre otros) y los parámetros (cantidades que controlan el comportamiento de las variables).

Cada componente del modelo puede tener una o más variables y parámetros y éstos pueden ser de naturaleza determinística, conceptual o empírica (Ponce, 1989). Para Felicísimo (2001) la capacidad de predicción del modelo estará

condicionada principalmente por la buena selección de los factores relevantes para el problema y la adecuada descripción de sus relaciones funcionales.

Son múltiples las investigaciones realizadas con el uso de modelos de simulación, así como lo son también los diferentes modelos empleados. Para la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE) entre los modelos numéricos que simulan todas las fases relevantes del ciclo hidrológico los más empleados son: a) *los modelos de eventos* como: (1) HEC-1, desarrollado y respaldado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC), armada de Estados Unidos, Cuerpo de Ingenieros; (2) TR-20, respaldado por el Servicio de Conservación de Suelos (USDA) y (3) SWMM (Modelo de Gestión de Agua de Tormenta), desarrollado bajo los auspicios de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos; b) *los modelos de proceso continuo* como: (1) SSARR, desarrollado y respaldado por el Cuerpo de Ingenieros de la armada de los Estados Unidos División Pacífico Norte, (2) Modelo de Cuenca Stanford (SWM) desarrollado en la Universidad de Standford, y (3) el Modelo Sacramento desarrollado conjuntamente por el Servicio Meteorológico Nacional de Estados Unidos y el Departamento de California de Recursos Hídricos.

Se han desarrollado otros modelos como: PRMS; MIKE-SHE, ANSWERS, TOP MODEL, ATHYS, TREX, AQUA y JAMS MOD BRANCH y ECOFLOW. CRITERIA 3D e IRENE (Jorquera, Weber y Reyna 2012).

Entre algunas de las aplicaciones de modelado empleadas en Venezuela se pueden nombrar las siguientes: SWAT Y HEC-HMS. El modelo SWAT fue evaluado de manera exploratoria por Silva (2002) en una cuenca pequeña, de alta pendiente, ubicada en las cercanías de Macapo, estado Cojedes; Carmona (2007) en la simulación de la producción de agua en una cuenca de la quebrada El Guamal Macapo, estado Cojedes; Carvallo (2006) evaluó con este modelo el efecto que el ordenamiento de diversas coberturas vegetales y tipos de uso de la tierra, ocasionarían sobre los regímenes de escurrimiento y de producción de sedimentos

en una cuenca montañosa ubicada en la zona protectora de Los Teques, estado Miranda; López (2005) propuso evaluar los cambios en el comportamiento hidrológico de la cuenca del río Paya, estado Aragua, mediante la comparación de series de cincuenta años de la producción de agua y sedimentos; Rodríguez (2008) determinó la capacidad de regadío en la cuenca alta del río Chama a través de modelamientos hidrológicos y agronómicos con este modelo; Silva-Escobar (2009) evaluó el modelo de simulación SWAT para la producción de agua en una cuenca hidrográfica prioritaria de la región central de Venezuela. Caso: cuenca media del río Pao.

El software HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System) es el programa de mayor uso a nivel mundial en lo que respecta a la modelación hidrológica debido a que tiene implementados en su programación varios modelos hidrológicos del proceso lluvia-escorrentía. De igual forma, utiliza modelos semi-distribuidos, aislados o continuos, modela tanto cuencas rurales como urbanas, es de libre acceso, el más popular y potente de su tipo (Baldemar, 2005). En Venezuela se ha utilizado software HEC-HMS en muchas investigaciones, algunas de ellas son: Duque-Sarango, Patino y López (2019) evaluaron con este modelo la simulación de una cuenca andina; Barrios y Trompiz (2016) validaron las planicies de inundación del río Guacara en el estado Carabobo; Farías (2015) validó modelos lluvia-escorrentía en la cuenca del río Unare, estado Anzoátegui; Vega y Quines (2015) validaron el proceso lluvia-escorrentía en la cuenca del río Cabiliaes; Rincón y Perozo (2014) analizaron el comportamiento hidráulico de la quebrada Atarigua en el estado Lara.

En la actualidad los avances en ciencia y tecnología han permitido implementar el uso de métodos y herramientas más avanzadas que se emplearon en esta investigación como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que se han convertido en un instrumento fundamental en el modelado hidrológico debido a su

capacidad para manejar gran cantidad de información distribuida espacialmente de forma rápida y eficaz.

Algunas de sus aplicaciones en Hidrología se han basado en estudios y proyecciones del aprovechamiento del recurso hídrico involucrando las cuencas y todos los elementos que la integran, como la red fluvial y pluvial, mantos acuíferos, cuerpos de agua entre otros, (Alvarado, 2004; Cheng et al., 2006; DeWinnar, Jewitt y Horan 2007), acompañado de herramientas computacional como ArcGIS 10.0 que a través de algebra de mapas permite la estimación de mapas de lluvia efectiva, probabilidad de excedencia, riesgo de inundación, y la inclusión de herramientas geoestadísticas, se han desarrollado nuevas metodologías que incluyen en el procedimiento de interpolación variables topográficas y geográficas como información secundaria (Agnew y Palutikof, 2000).

Se ha utilizado además en esta investigación métodos geoestadísticos complejos por su utilidad en la interpolación de datos para predecir la distribución espacial de diversos fenómenos o elementos naturales. Entre ellos se distinguen: Kriging, co-Kriging y Spline (Apaydin, Kemal y Ersoy, 2004; Serrano, Sánchez y Cuadrat, 2003). Otras investigaciones han propuesto métodos de interpolación, para crear superficies continuas de variables climáticas como temperatura y precipitación, para tratar de identificar la metodología que genere el modelo que mejor se ajuste a la variable precipitación para un área determinada (Dressler et al., 2000). Estos métodos han sido probados logrando resultados satisfactorios para diferentes aplicaciones como estimación de variables de balance hídrico en acuíferos (Márquez y Guevara, 2018a), modelación de parámetros hidrogeoquímicos en acuíferos, (Márquez, Guevara y Rey, 2019; Márquez, Guevara y Rey, 2018c), así como en remediación de suelos y aguas subterráneas (Márquez, Guevara y Rey, 2018d).

2.2.4.-Modelo del SCS (Soil Conservation Service)

La agencia de conservación de suelos de los Estados Unidos (Soil Conservation Service SCS) desarrolló un método comúnmente conocido como el método del número de curva (CN) cuyo objetivo es calcular las abstracciones de agua de una tormenta. En este método la precipitación de excesos (profundidad de escorrentía superficial) es una función de la precipitación total en la cuenca, de un parámetro de abstracción y del número de curva de escorrentía (CN). El contenido presentado a continuación es en gran parte un resumen del capítulo 5 del libro de Hidrología Ambiental de Guevara y Cartaya (2004).

Para la aplicación de este modelo se requiere información básica necesaria como:

1.- Condiciones iniciales de la cuenca. Se reduce en establecer tres condiciones de humedad: Condición I (Suelo seco), Condición II (Suelo normal), condición III (Suelo húmedo). En el Anexo 1 se presentan las condiciones iniciales de humedad del suelo.

2.- Clasificación de los suelos según sus características hidrológicas. Los suelos se han clasificados en cuatro grupos: A, B, C y D, dependiendo de su potencial de escorrentía. En el Anexo 2 se presenta en forma detallada la infiltración de cada tipo de suelo.

3.- Condición Hidrológica. El tipo de cobertura vegetal tiene un marcado efecto sobre el proceso de interceptación, evapotranspiración, escurrimiento superficial e infiltración. La condición hidrológica, como indicador de la situación para la infiltración, se usa como índice de la cobertura vegetal.

4.- Uso de la tierra. Es otro parámetro que tiene efecto sobre la respuesta de la cuenca a los fenómenos hidrometeorológicos. Dependiendo de la clasificación de

los suelos, uso de la tierra, tratamiento o práctica y de la condición hidrológica, se determina el Número de Curva a la condición II de humedad antecedente ya que ésta es representativa de la condición del suelo. Esta información se muestra en el Anexo 3.

Formulación matemática del método S.C.S

Los valores de CN para las condiciones I y III se encuentran tabulados en la bibliografía o se estiman mediante las Ecuaciones (1) y (2):

$$CNI = \frac{4.2CNII}{10 - 0.058CNII} \quad (1)$$

$$CNIII = \frac{23CNII}{10 + 0.13CNII} \quad (2)$$

Dónde:

CN I = condición de humedad antecedente seca.

CN II = condición de humedad antecedente normal.

CN III = condición de humedad antecedente húmeda.

La relación fundamental estimada del método S.C.S es la siguiente:

$$\frac{F}{S'} = \frac{Q}{P_e} \quad (3)$$

Donde:

F = infiltración real (retención actual)

S' = infiltración potencial o parámetro de retención ($S' \geq F$)

P_e = escorrentía potencial o exceso de precipitación ($P_e \geq Q$)

Q = escorrentía real

En cuencas grandes, parte del agua infiltrada retorna como flujo sub-superficial o subterráneo, pero no son consideradas en el análisis de tormentas puesto que

tienen un tiempo de retardo suficientemente largo como para no influenciar el hidrograma de escorrentía directa. De acuerdo con lo anterior

$$Pe = P - I_a \quad (4)$$

$$F = Pe - Q \quad (5)$$

Combinando las ecuaciones anteriores se obtiene:

$$Q = \frac{(Pe)^2}{Pe + S'} \quad (6)$$

En esta relación se ignora la abstracción inicial. Como S depende de I_a , el estudio de una gran cantidad de eventos permitió la obtención de una relación empírica entre dichas variables, definida por:

$$I_a = 0.2S \quad (7)$$

Donde: $S = S' + I_a$

La Ecuación (7) que relaciona I_a con s, se basa en datos obtenidos experimentalmente en cuencas grandes y pequeñas. No es necesario obtener dicha ecuación con mayor exactitud, puesto que para poder fragmentar I_a en sus componentes, se requiere disponer de datos que normalmente no están disponibles. Por la misma razón se considera una buena aproximación el coeficiente 0.2 de la Ecuación (7).

Sustituyendo en las ecuaciones anteriores se obtiene:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (8)$$

El SCS luego de analizar gran cantidad de hidrogramas de cuencas experimentales ha confeccionado un procedimiento para estimar S en base a un valor llamado CN (Número de Curva), que se relaciona con S por la ecuación:

$$S = 25.4 \left(\frac{100}{CN} - 10 \right) \quad (9)$$

En la cual, S se expresa en mm. Cuando no existen datos de la cuenca o si los que existen son poco confiables, el valor de CN se obtiene utilizando los datos del Anexo 4. En cuencas con mediciones, el valor de CN se puede obtener para cada tormenta, mediante la siguiente expresión:

$$CN = \frac{100}{1 + 0.02(P + 2Q - \sqrt{(4Q^2 + 5PQ)})} \quad (10)$$

2.2.5.-Teoría del análisis geoestadístico

La geoestadística es una rama de la estadística que trata fenómenos espaciales (Journel y Huijbregts, 1978). Su interés primordial es la estimación, predicción y simulación de dichos fenómenos (Myers, 1998). Esta herramienta ofrece una manera de describir la continuidad espacial, que es un rasgo distintivo esencial de muchos fenómenos naturales, y proporciona adaptaciones de las técnicas clásicas de regresión para tomar ventajas de esta continuidad (Isaaks y Srivastava, 1989).

Cuando el objetivo es hacer predicción, la geoestadística opera básicamente en dos etapas. La primera es el análisis estructural, en la cual se describe la correlación entre puntos en el espacio, se estudian los datos muestrales sin tomar en cuenta su distribución geográfica. En esta etapa se comprueba la consistencia de los datos eliminando aquellos que sean erróneos, así mismo, se identifican las distribuciones de las cuales provienen. En la segunda etapa se hace predicción en sitios de la región no muestreados por medio de la técnica Kriging.

El Kriging Ordinario está basado en el auto correlación espacial de las variables. Asume que la media, aunque desconocida, es constante y que las variables son estacionarias y no tienen tendencias. Permite transformación de los datos, eliminación de tendencias y proporciona medidas de error. La ventaja teórica de este método es precisamente la posibilidad de modelar la dependencia espacial de los datos (Lloyd, 2005) por lo que aporta los mejores resultados entre los métodos puramente espaciales en la interpolación de la precipitación (Goovaerts, 2000).

El contenido presentado a continuación es en gran parte un resumen del libro de Introducción a la Geoestadística: Teoría y Aplicación de Giraldo, (2004).

Una de las aplicaciones más importantes de la geoestadística es la estimación espacial de una variable dada a partir de un conjunto de medidas, ya que la gran mayoría de las ocasiones en las que se desea obtener este tipo de estimaciones no se tiene la cantidad suficiente de información, por lo que se tiene la necesidad de darle un tratamiento estocástico al problema. La estimación espacial requiere de una función que describa la variabilidad espacial de la variable analizada. Con este fin se utilizan funciones como la covarianza o el semivariograma.

Para determinar la autocorrelación se utilizan semivariogramas y vecindades obtenidas a partir de un análisis exploratorio de los datos. El semivariograma permite a partir de la covarianza entre los puntos, representar la variabilidad de los mismos y su dependencia en función de la distancia y la dirección. La Ecuación general es:

$$Z(S) = \mu(S) + \varepsilon(S) \quad (11)$$

Donde $Z(S)$ es la variable de interés, $\mu(S)$ es una constante desconocida, $\varepsilon(S)$ son errores aleatorios de estimación y S son coordenadas espaciales (x, y) . La predicción de un punto está dada por:

$$Z(S_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(S_i) \quad (12)$$

Dónde: $Z(S_0)$ es el valor predicho, λ_i es el peso de cada valor observado y $Z(S_i)$ es el valor medido de un lugar.

Además se hacen estimaciones de la variable en los puntos no muestrales, considerando la estructura de correlación espacial seleccionada e integrando la información obtenida de forma directa, en los puntos muestrales, así como la conseguida indirectamente en forma de tendencias conocidas u observadas. También se pueden realizar simulaciones, teniendo en cuenta los patrones de continuidad espacial elegidos.

2.2.6.- Principios básicos de teledetección

La teledetección es aquella técnica que nos permite obtener información necesaria de los objetos situados sobre la superficie terrestre. Para que esta observación remota sea posible es preciso que entre los objetos y el sensor exista algún tipo de interacción (Chuvieco, 2002) y el resultado usualmente, pero no necesariamente, es almacenado como una imagen (fuente de datos). Para esto se requiere al menos tres componentes: foco energético, superficie terrestre y sensor (Bakker et al., 2001).

Una forma de clasificar los sensores es el procedimiento de recibir la energía procedente de las distintas cubiertas y ellos son: (1) pasivos, cuando se limitan a recibir la energía proveniente de un foco exterior a ellos, y (2) activos, cuando son capaces de emitir su propio haz de energía (ob. cit.)

La teledetección ha sido utilizada como valiosa herramienta y determinante a la hora de establecer indicadores de degradación y conservación de los recursos

naturales, de manera especial en evaluar dinámicas en los cambios de usos de suelo y coberturas vegetales.

En los últimos años los sensores a bordo de satélites se han convertido en la herramienta ideal para caracterizar el uso/cobertura del suelo sobre grandes extensiones de territorio (Townshend, Goff y Tuckey, 1985) desde mapas locales con gran nivel de detalle (Clark et al., 1998) hasta mapas globales de menor resolución espacial (DeFries, Foley y Asner, 2004). Las imágenes generadas por estos sensores proveen datos cualitativos y espacialmente continuos de la superficie, resultando así particularmente útiles para describir el uso de la tierra en grandes extensiones. La discriminación de tipos de cobertura (cultivos de verano, de invierno, montes forestales, cuerpos de agua, pasturas, etc.) se basa en la unicidad de su respuesta espectral y en los cambios temporales que en ellos pudieran operar (Guerschman, Paruelo y Burke, 2003).

2.2.7.- Técnicas de detección de cambios de cobertura y uso de la tierra con imágenes satelitales

Los cambios en la ocupación o en los usos del suelo juegan un papel fundamental en el desarrollo económico y social a escala local y regional, así como en la sostenibilidad regional.

Singh (1989) define la detección de cambios como el proceso de identificar diferencias en el estado de un objeto o fenómeno mediante la observación de éste en diferentes momentos en el tiempo. El estudio de la evolución que se ha producido a lo largo del tiempo de dichos cambios permite el análisis de procesos medioambientales y de problemas que han podido darse, como pueden ser desarrollos urbanísticos descontrolados, deterioro de la calidad ambiental, fragmentación de hábitats, inundaciones entre otros (Gallardo, 2014).

Es importante señalar las diferencias existentes entre los términos *cobertura* y *uso de suelo*. En forma pragmática, *cobertura*, describe los objetos que se distribuyen sobre un territorio determinado. Según Gregrio y Jansen (2000) la *cobertura de la tierra*, es la *cobertura biofísica* que se observa sobre la superficie de la tierra. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2005) define la *cubierta de la tierra* como la *cobertura física* de ésta, incluyendo la *vegetación* y las *construcciones humanas* que cubren dicha superficie.

Para la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA, 2006) la *cubierta del suelo* no es un simple atributo o cualidad de la tierra, es un conjunto de características naturales y antropogénicas que son, en gran medida, resultado de su uso. El uso del suelo, en cambio, se refiere a la actividad socioeconómica que se desarrolla (o desarrolló) sobre una *cobertura*. El término *uso del terreno* se aplica a los diferentes tipos de *cobertura* que el hombre crea para satisfacer sus necesidades materiales o espirituales (López-Granados, Bocco y Mendoza-Cantú, 2001).

Se puede concluir al respecto que la *cobertura de la tierra* puede ser definida como el estado biofísico de la superficie terrestre mientras que el *uso del suelo* es la forma en la que los atributos biofísicos de la tierra son manipulados u ordenados por la población (Baulies y Szejwach, 1998; Briassoulis, 2000; Cihlar y Jansen, 2001; Gulinck et al., 2001; Meyer y Turner, 1996).

Los cambios en la *cobertura terrestre* pueden ir desde la modificación del carácter paisajístico sin afectar a las clasificaciones generales existentes hasta el caso extremo, donde un tipo de *cobertura terrestre* sustituye por completo a otro. Este último se conoce a menudo como *conversión de tierras* (LC). La modificación de la *cobertura terrestre* se refiere a los cambios de la *cobertura de la tierra* (LCC), por ejemplo, *deforestación* para la expansión agrícola o causada naturalmente (por ejemplo, inundaciones, incendios forestales, enfermedades, epidemias). En ambos

casos, las entidades espaciales reemplazadas pueden caer en una categoría de cobertura terrestre diferente (Möllders, 2012).

El surgimiento de herramientas de teledetección y sistemas de información geográficos, que proveen una visión sinóptica espacialmente explícita de los atributos de la superficie del planeta, se han constituido en una fuente de información imprescindible al momento de la caracterización de la cobertura y uso del territorio y del estudio del cambio en el uso del mismo, a distintas escalas así como también, para la elaboración de cartografía y seguimiento de zonas de interés.

Estas herramientas, sumadas a otras geotecnologías tales como los sistemas de posicionamiento global brindan una nueva perspectiva para la cartografía monitoreo del territorio (Antes, Peri y Serafini, 2006).

2.2.8.- Imágenes satelitales Landsat

Los satélites Landsat han capturado información por más de tres décadas que ha permitido realizar estudios y evaluar los cambios producidos. Desde el lanzamiento del primer satélite en 1972 con el sensor *Multispectral Scanner (MSS)* los desafíos por contar con un mejor producto no ha cesado. Así desde 1984 se cuenta con el sensor *Thematic Mapper (TM)*, y a partir de 1999 con *Enhanced Thematic Plus (ETM+)*. Son estos últimos los que se mantienen operativos (ESRI, 2009).

2.2.9.- Procesamiento de imágenes

Normalmente, antes de comenzar cualquier análisis sobre la información recogida desde un sensor remoto es necesario un tratamiento previo de los datos en cuestión. Este proceso se conoce en la literatura como "*Image Preprocessing*" y está destinado a corregir el distorsionado de la imagen para crear una representación más fiel de la escena original. Esto típicamente involucra el

procesamiento inicial de datos crudos de las imágenes a corregir para distorsiones geométricas, calibración radiométrica, y correcciones atmosféricas presentes en los datos (Lillesand, Kiefer y Chipman, 2004).

a.- Correcciones radiométricas, atmosféricas y topográficas

En cuanto a la corrección radiométrica Jensen (1996), señala que idealmente, el flujo de radiación recogido por un sensor remoto, en varias bandas, es una representación precisa del flujo de radiación de las características de la superficie terrestre. Desafortunadamente esto no ocurre y pueden ingresar errores al sistema de recolección de información. Es en este punto donde se hace necesario realizar la corrección radiométrica pertinente.

Las correcciones radiométricas pueden ser absoluta y relativas. La primera considera aspectos de la transmitividad atmosférica, irradiancia difusa del cielo y ruta de la radiancia para así determinar cómo el efecto atmosférico afecta la radiancia medida por el sensor remoto. La segunda se utiliza para normalizar las intensidades entre las diferentes bandas dentro de una escena (por ejemplo para remover la respuesta errónea del sensor, líneas abandonadas o rayados) y para normalizar las intensidades de las bandas (ob. cit.).

Las correcciones atmosféricas se realizan a causa de que no todos los componentes se ven afectados de igual forma. El espesor de la atmósfera puede variar y las nubes pueden afectar la percepción del sensor producto que no recibe la radiancia que efectivamente sale desde el suelo (Chuvienco, 2002). Las correcciones topográficas permiten compensar las diferencias de iluminación solar, debido a la variación altitudinal del terreno. Las zonas de umbría presentan menos reflectividad de lo que debieran, mientras que las zonas soleadas presentaban una reflectividad más alta de lo esperado (ob. cit.).

b.- Clasificación de la imagen

Es el proceso mediante el cual los píxeles de una imagen satelital multibanda son etiquetados según la categoría a la que pertenecen. A partir de esta imagen puede generarse una cartografía temática y el inventario estadístico de la superficie involucrada en cada categoría. Esta clasificación digital distingue fases como: definición digital de las categorías (fase de entrenamiento), agrupación de los píxeles en una de esas categorías (fase de asignación), comprobación y verificación de resultados (Chuvienco, 2002).

La clasificación de los cambios se puede llevar a cabo de dos maneras diferentes: “a priori” o también denominada pre-clasificación, que incluye el análisis conjunto de dos imágenes en dos fechas diferentes, donde se clasifica el cambio; y “a posteriori” o post-clasificación, que incluye la clasificación temática de dos imágenes de dos fechas diferentes, cada una por separado. Así, en el primer método, primero se determina el cambio y luego se asignan las clases, y en el segundo, primero se asignan las clases y luego se determina el cambio, siendo este último el más utilizado en los estudios de cambios de usos del suelo. Para un mayor detalle sobre las diferentes técnicas que pueden utilizarse para la detección de esta información a través de imágenes satelitales puede consultarse el artículo de Lu et al., (2004), donde hacen una recopilación de 31 técnicas y modelos llevados a cabo hasta la fecha.

Una vez realizada la clasificación se recomienda comprobar que tan bien fue realizada ésta. Para ello, se utiliza como herramienta de medición una matriz de confusión la cual contempla tanto los píxeles clasificados, como los que no lo fueron. Se utilizan además los parámetros de exactitud global, exactitud del usuario, exactitud del productor e índice de Kappa (ENVI, 2005).

- *Exactitud global (overall accuracy)*: este índice es global e indica cómo la exactitud se reparte entre las diversas categorías individuales. Muchas veces las categorías individuales presentan exactitudes drásticamente diferentes pero se combinan de modo que esto no se refleja en la exactitud global.

- *Exactitud del usuario* (user's accuracy): se calcula dividiendo el número de píxeles correctamente clasificados en cada categoría por el número total de píxeles que fueron clasificados en dicha categoría (total de la fila). Se justifica este índice en el sentido de que el usuario está especialmente interesado en el porcentaje de cada clase que ha sido correctamente clasificado.
- *Exactitud del productor* (producer's accuracy): Resulta de dividir el número de píxeles correctamente clasificados en cada categoría por el número de píxeles de referencia utilizados para dicha categoría (total de la columna). El productor está más interesado en este índice pues le dice cuán bien los píxeles de referencia han sido clasificados.

Las medidas de exactitud señaladas, aunque simples de usar están basadas sea en la diagonal principal, sea en las filas y columnas de la matriz de confusión solamente. Estas medidas no aprovechan la información contenida dicha matriz considerada en conjunto. Más aún, puede ocurrir que una distribución totalmente aleatoria de los píxeles en las clases pueda conducir a resultados aparentemente correctos en la matriz de confusión. Buscando superar estos inconvenientes se ha propuesto un índice denominado coeficiente Kappa.

Este estadístico es una medida de la diferencia entre la exactitud lograda en la clasificación con un clasificador automático y la oportunidad de lograr una clasificación correcta con un clasificador aleatorio (Cerdeja y Villarreal, 2008).

2.2.10.- Algunas de las aplicaciones de técnicas de detección de cambios de cobertura y uso de la tierra con imágenes satelitales.

Este análisis de cambios de usos se enmarca junto a multitud de trabajos que utilizan imágenes de satélite para cuantificar y evaluar cambios en el tiempo o patrones de cambio de la vegetación (Duguay, 2003; Rey-Benayas y Pope, 1995; Schlesinger y Gramenopoulos, 1996; Zheng, Wallin y Hao, 1997). Por otra parte, también existen muchas referencias que tratan sobre los efectos de estos cambios

de usos, sobre todo desde el punto de vista agrícola (Field et al., 1996; García-Ruiz et al., 1996; Poudevigne y Alard, 1997; Siver et al., 1996) y cada una de ellas para su contexto socio-político.

En Venezuela se han realizado múltiples investigaciones utilizando estos procedimientos y técnicas de detección de cambios de cobertura y usos de la tierra, aplicación de sensores remotos y SIG. Algunos de ellos se mencionan a continuación:

Farías et al., (2018) presentaron una investigación sobre usos y cobertura de la tierra en la cuenca del río Pao; Márquez et al., (2018e) estudiaron los diferentes métodos de pronósticos de cambios de uso de la tierra usando técnicas de sensores remotos; Márquez et al., (2018f) realizaron modelos híbridos de pronóstico de cambios de uso y cobertura de la tierra usando técnicas de satélites; Márquez et al.,(2018g) evaluaron el uso de la tierra y detección de cambios de cobertura terrestre utilizando once técnicas de teledetección por satélite en la cuenca del río Pao; Márquez et al., (2018h) analizaron métodos para detectar cambios en la cobertura de los embalses de agua de la cuenca del río Pao.

Están también los trabajos de Aldana y Bosque (2008) quienes estudiaron los cambios ocurridos en la cobertura y uso de la tierra del Parque Nacional Sierra de la Culata, Mérida, utilizando datos de sensores remotos y SIG; Briceño (2003) estudió los cambios de usos de la tierra en el Valle del río Momboy estado Trujillo, a partir de información multitemporal y el uso de imágenes de satélite Landsat; Osorio, Lozano, Graterol (2009) realizaron la cartografía de la cobertura y uso de la tierra en la cuenca alta del río Santo Domingo, estado Mérida, empleando una imagen de alta resolución espacial ETM; Tarazona (2013) utilizó imágenes de satélites Aster en la interpretación de las variables vegetación y uso de la tierra en estudios de cuencas hidrográficas, río Canoabo, Bejuma.

Batista y Bustos (2009) a raíz de los eventos de lluvias extraordinarias en el estado Vargas hicieron un estudio de vulnerabilidad urbana en las cuencas La Zorra, Tacagua y Mamo; Cartaya, Méndez y Pacheco (2013) hicieron un análisis de susceptibilidad a los deslizamientos, con aplicación de los SIG e imágenes de satélite; Flores et al.,(2013) emplearon esta metodología para realizar un SIG de la cuenca del río Galipán en el estado Vargas; García y Vilachá (2013) usaron las tecnologías geoespaciales en el análisis y prevención de eventos naturales en las lluvias de 1999; Osorio y Pozzobon (2003), cuantificaron la superficie boscosa deforestada en la reserva forestal de Ticiporo, estado Barinas, empleando análisis multitemporal y diferentes técnicas de interpretación sobre imágenes TM-LANDSAT, HRV-SPOT; Reyes, Torres y Ruiz (2013) trabajaron en el análisis hipertemporal de la cobertura natural con imágenes de satélite de alta resolución temporal.

Rodríguez et al., (2013) emplearon sensores remotos en áreas prospectivas con escasa información geológica y geofísica; Salazar (2013) uso los sensores remotos al norte de los estados Anzoátegui y Monagas para la exploración petrolera del Anticlinal de Caruto.

2.3.- Las inundaciones y su gestión: una actividad en continua evolución

La gestión del riesgo de inundaciones ha adquirido mayor importancia en los últimos años en gobiernos locales y agendas internacionales. El Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres (MSRRD) es el resultado de la Tercera Conferencia Mundial de Naciones Unidas (ONU 2015), sobre la reducción del riesgo de desastres, realizada en Sendai, Japón, en marzo de 2015, enfatiza la gestión del riesgo de desastres, indica que la misma debe estar inmersa dentro de cada actividad de los planes de desarrollo municipal donde así corresponda, planificando el desarrollo del municipio considerando intrínsecamente aspectos de la Gestión Integral del Riesgo (GIR), debido a su influencia sobre el desarrollo socioeconómico de los municipios.

Los Objetivos del Desarrollo Sostenible 2015-2030 (ODS), abordan el tema de riesgos relacionados con el agua, el objetivo 11 está relacionado con la resiliencia de las ciudades y asentamientos humanos, y plantea:

“Para 2030, reducir de forma significativa el número de muertes y de personas afectadas por los desastres, incluidos los relacionados con el agua, y reducir sustancialmente las pérdidas económicas directas vinculadas al producto interno bruto mundial causadas por los desastres, haciendo especial hincapié en la protección de los pobres y las personas en situaciones vulnerables”

Así mismo, la Conferencia de las Partes No 21 (ONU 2015), (COP21) en París, reconoce la importancia de evitar, reducir y afrontar las pérdidas y los daños relacionados con los efectos adversos del cambio climático, incluidos los fenómenos meteorológicos extremos, también establece la evaluación y gestión integral del riesgo como una de las medidas para abordar los efectos adversos del cambio climático. (Global Water Partnership 2016).

2.4 El marco jurídico en torno a las inundaciones.

La legislación puede cumplir una función fundamental para establecer apropiadamente un régimen de gestión integrada de riesgo de inundación, debe proveer las consideraciones que se habrán de tener en cuenta en los diferentes procesos de adopción de decisiones y los detalles de los procedimientos pertinentes que se deberán seguir. La función de un régimen jurídico relativo al aprovechamiento de los recursos terrestres e hídricos es clave para el éxito de la gestión de este riesgo y puede influir en el funcionamiento de otros organismos que, de otra forma, podrían ver limitada su capacidad para adoptar programas orientados a la gestión de inundaciones. Según el Documento País 2014 en el caso venezolano, los primeros instrumentos legales orientan su mirada hacia la atención de fenómenos o amenazas particulares, como el caso de epidemias, inundaciones o terremotos, que son los eventos que han afectado el país, hasta cambiar la visión

paulatinamente hacia el tema del riesgos y sus causas en el proceso de desarrollo. Los instrumentos más resaltantes datan de finales de los años sesenta (60) y principios de los años setenta (70), aprobados luego del terremoto de Caracas en 1967.

Rastelli (2013) plantea que para referenciar las últimas décadas, durante los años 70, 80 y 90 se reguló el tema de la atención de desastres de manera dispersa en los instrumentos legales específicos de distintas instituciones, asignando a cada ente u organismo por separado funciones de coordinación, lo que generó en la práctica gran confusión, duplicidad de esfuerzos y por consiguiente, desorden en la actuación y dispersión de recursos.

En 1971, a través del Decreto Presidencial N° 702, se creó la “Comisión de Defensa Civil”. A través de otros instrumentos legales, en 1972 fueron creadas la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) y FUNDASOCIAL; luego la Comisión Nacional de Defensa Civil fue convertida posteriormente en la Dirección Nacional de Defensa Civil, adscrita al Ministerio de Relaciones Interiores.

En 1975, el Ministerio de la Defensa de aquel entonces emitió lineamientos para incluir el apoyo de las Fuerzas Armadas Nacionales, a las operaciones de Defensa Civil durante emergencias causadas por fenómenos naturales catalogados como calamidades públicas. En 1976 se promulgó la Ley Orgánica de Seguridad y Defensa. En las siguientes décadas se reguló el tema de los desastres, con gran tendencia a su atención y de manera dispersa generando en la práctica gran confusión, duplicidad de esfuerzos y por consiguiente desorden en la actuación y dispersión de recursos (Documento País, 2012).

En la Tabla 1 se presenta un resumen del marco legal existente en Venezuela.

Tabla 1. Resumen del marco legal existente sobre riesgo en Venezuela

INSTRUMENTO LEGAL	CONTENIDO EN RELACIÓN A LA GESTIÓN DE RIESGO
<p>CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA (1999)</p>	<p>Establece los lineamientos para una sociedad democrática y un Estado descentralizado, bajo el principio del desarrollo sustentable. Instauro los derechos a la protección del estado, comunicación libre, participación, acceso a la información, educación y disfrute de un ambiente sano y seguro. Igualmente define el deber de los ciudadanos de prestar servicios para la defensa, la organización por parte del ejecutivo del cuerpo de bomberos y de la administración de emergencias.</p>
<p>LEY ORGÁNICA DEL AMBIENTE (2006)</p>	<p>Establece disposiciones y principios rectores para la gestión del ambiente en el marco del desarrollo sostenible. Uno de los objetivos es contribuir a la seguridad y al logro de bienestar de la población. Define entre otros: ambiente seguro, riesgo ambiental, protección y vigilancia como parte de la gestión del ambiente. Incluye sistemas de prevención de riesgos entre los lineamientos de la planificación del ambiente y designa a los órganos del poder público nacional, estatal y municipal como los entes responsables de la aplicación de la Ley.</p>
<p>LEY DE AGUAS (2007)</p>	<p>Tiene por objeto establecer las disposiciones que rigen la gestión integral de las aguas, como elemento indispensable para la vida, el bienestar humano y el desarrollo sustentable del país, y es de carácter estratégico e interés de Estado. Además establece artículos sobre el control de riesgos de inundación, y el deber de la ciudadanía a proteger las fuentes de agua.</p>
<p>LEY ORGÁNICA PARA LA ORDENACIÓN DEL TERRITORIO (1983)</p>	<p>El riesgo no es involucrado directamente en ninguno de sus artículos, es mencionado indirectamente cuando se define que la Ordenación del Territorio comprende mejorar el uso de los espacios, el desarrollo regional armónico, la desconcentración urbana, la protección del ambiente y el fomento de la participación ciudadana.</p>
<p>LEY ORGÁNICA DE ORDENACIÓN URBANÍSTICA (1987)</p>	<p>La variable riesgo (ambiental o tecnológico) no es mencionada explícitamente para ser tomada en cuenta en la planificación urbana.</p>
<p>LEY ORGÁNICA SOBRE LOS ESTADOS DE EXCEPCIÓN (2001)</p>	<p>Comprende la regulación de los estados de excepción en sus diferentes formas: estado de alarma, estado de emergencia económica y estado de conmoción interna y externa. Describe las medidas que puede tomar el Ejecutivo para restablecer el orden.</p>

Continuación de Tabla 1.

<p>LEY DE GESTIÓN INTEGRAL DE RIESGOS SOCIO – NATURALES Y TECNOLÓGICOS (2009)</p>	<p>Plantea conformar y regular la gestión integral de riesgos socio-naturales y tecnológicos, estableciendo los principios rectores y lineamientos que orientan la política nacional, Estatal y Municipal en materia de gestión integral de riesgos. Define lineamientos de la política nacional, la creación del Consejo Nacional de Gestión Integral de Riesgos, los Gabinetes Estadales de Gestión Integral de Riesgos, los Gabinetes Locales y la Secretaría Técnica del Consejo Nacional.</p>
<p>LEY DE LA ORGANIZACIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL Y ADMINISTRACIÓN DE DESASTRES (2001)</p>	<p>Regula la organización, competencia, integración, coordinación y funcionamiento de la Organización de Protección Civil y Administración de Desastres en el ámbito nacional, estatal y municipal.</p>
<p>LEY DE COORDINACIÓN DE SEGURIDAD CIUDADANA (2001)</p>	<p>Regula la coordinación entre los órganos de Seguridad ciudadana, sus competencias concurrentes, cooperación recíproca y el establecimiento de parámetros en el ámbito de su ejercicio</p>
<p>LEY ESPECIAL DE REFUGIOS DIGNOS (2011)</p>	<p>Regula la acción corresponsable del Pueblo y del Gobierno de la República Bolivariana de Venezuela, en el marco del Estado Democrático y Social de Derecho y de Justicia, para la construcción, habilitación, acondicionamiento, organización, atención integral y gestión de los refugios en todo el territorio nacional, a fin de proteger a la población en casos de emergencias o desastres.</p>
<p>DECRETO CON FUERZA DE LEY DE LA ORGANIZACIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL Y ADMINISTRACIÓN DE DESASTRES (2001)</p>	<p>Tiene por objeto regular la organización competencia, integración, coordinación y funcionamiento de la Organización de Protección Civil y Administración de Desastres en el ámbito nacional, estatal y municipal.</p>

Fuente: Documento País (2014)

2.5 Definición de términos básicos

Es importante considerar en esta investigación las definiciones teóricas de: desastres, riesgo, gestión de riesgo, amenazas, vulnerabilidades, gestión local de riesgo, capacidad de afrontamiento, capacidad de adaptación, resiliencia, sostenibilidad, entre otros; que configuran los aspectos fundamentales en torno a los cuales gira la gestión del riesgo ya que además estos conceptos se encuentran

en constantes cambios y evolución, se considerarán definiciones de diferentes autores, perspectivas y en tiempos históricos.

Según Hewitt (1997) el riesgo es un proceso y no debe ser concebido como un fenómeno aislado en el tiempo y el espacio. Hay enfoques como el triángulo del riesgo de Crichton (1999) que cuantifica el riesgo con la fórmula: *Riesgo = Peligrosidad* Vulnerabilidad*, estableciendo el riesgo como el área comprendida dentro de un triángulo cuyos lados los representa la exposición, la amenaza, y la vulnerabilidad, así para disminuir el riesgo hay que disminuir cualquiera de estas tres variables.

Para Beck (2002) el riesgo es el efecto de causas, es producto de las consecuencias que genera la aplicación de determinadas actuaciones sobre un determinado aspecto. Mientras que Lavell (2004) define el riesgo como la relación entre las amenazas y las vulnerabilidades presentes en un determinado lugar, es la probabilidad de que se presenten consecuencias económicas, sociales o ambientales durante un período determinado de tiempo, coincidiendo con el planteamiento del informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres, identificado con el nombre de “Vivir con Riesgos”, preparado y publicado por Secretaría Interinstitucional de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, Naciones Unidas (EIRD/ONU 2004), donde se define el término riesgo como la probabilidad de consecuencias perjudiciales o pérdidas esperadas (muertes, lesiones, propiedad, medios de subsistencia, interrupción de actividad económica o deterioro ambiental) resultado de interacciones entre amenazas naturales o antropogénicas y condiciones de vulnerabilidad.

Con respecto a sus clasificaciones, hay diversos criterios para su clasificación pudiéndose agrupar según la naturaleza del riesgo, la importancia de los daños que se pueden producir, de la capacidad para enfrentarlos, de su probabilidad de ocurrencia entre otras. Hay autores como López y Luján (2000) quienes plantean otras perspectivas sobre la clasificación de los riesgos basadas en visiones

técnicas, psicológicas y sociológicas. Ellos plantean que el enfoque técnico es el que más predomina, presuponiendo que el riesgo es una propiedad objetiva de sucesos y actividades, con probabilidades concretas de ocurrencia que dependen del entorno en el cual se desarrollan. Sin embargo no se debe obviar la percepción individualista del riesgo, tomando en cuenta que la sociedad humana es diversa y variada, por lo tanto no se puede suponer que la percepción de un riesgo sea considerado de igual manera en todas partes del mundo, ni tampoco para todos los peligros por todas las personas (Boholm, 1998).

En este sentido, los análisis técnicos del riesgo no son necesariamente más relevantes que los realizados por otros enfoques, ya que también están en opiniones de grupos de expertos, intereses específicos de élites, valores y juicios implícitos. Por tanto, las consecuencias reales de los riesgos vienen dadas siempre a través de interpretaciones sociales, y están ligadas a valores e intereses de grupos. Las estrategias para reducir el riesgo de desastres incluyen ante todo una evaluación de la vulnerabilidad y del riesgo, así como una serie de capacidades institucionales y operativas. Los rasgos característicos de una estrategia de reducción del riesgo de desastres comprenden la evaluación de la vulnerabilidad de las instalaciones fundamentales para la infraestructura social y económica, el uso de sistemas eficaces de alerta temprana y la aplicación de diferentes tipos de conocimientos científicos, técnicos y especializados.

Un enfoque integrado de la gestión del riesgo es una combinación de medidas de gestión del riesgo que, tomadas como un todo, pueden reducir exitosamente los riesgos (Jha et al., 2012). Para Lavell (2011) la gestión de riesgos de desastres es un proceso complejo, que a través de políticas e instrumentos para la prevención, mitigación, preparación y atención a desastres, se orienta a impedir, reducir y controlar los efectos negativos de eventos adversos de origen natural sobre la población, los bienes o el ambiente.

La norma venezolana COVENIN 3661:2004, define gestión de riesgo como la capacidad de desarrollar y conducir una propuesta de intervención consciente, concertada y planificada, para prevenir o evitar, mitigar o reducir el riesgo en una localidad o en una región, para llevarle un desarrollo sostenible. Mientras que las Naciones Unidas a través de la “Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres” (EIRD 2009), indica que la gestión de riesgo se constituye en el enfoque y la práctica sistemática de gestionar la incertidumbre para minimizar los daños y las pérdidas potenciales.

Para la EIRD/ONU (2004) en su publicación “Vivir con Riesgo”, acordaron definir la gestión del riesgo de desastres como un conjunto de decisiones administrativas, de organización y conocimientos operacionales desarrollados por sociedades y comunidades para implementar políticas, estrategias y fortalecer sus capacidades a fin de reducir el impacto de amenazas naturales y de desastres ambientales y tecnológicos consecuentes. Esto involucra todo tipo de actividades, incluyendo medidas estructurales y no-estructurales para evitar (prevención) o limitar (mitigación y preparación) los efectos adversos de los desastres.

La Oficina del Coordinador de Naciones Unidas en Caso de Desastres (UNDRO) en conjunto con la UNESCO promovieron con expertos unificar definiciones a través de un documento que ha tenido mucha aceptación en los últimos años (UNDRO 79); entre los conceptos unificados se encuentra vulnerabilidad, establecido como el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo resultado de la probable ocurrencia de un evento desastroso, expresada en una escala desde 0 o sin daño a 1 o pérdida total, mientras que la norma COVENIN 3661: 2004, define vulnerabilidad como la susceptibilidad a la pérdida o daño de un elemento o grupo de elementos ante una amenaza específica. Esta definición la complementa la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Desastres (UNISDR 2009a) que define la vulnerabilidad como condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, económicos, y

ambientales, que aumentan la susceptibilidad de una comunidad al impacto de amenazas.

Otra definición importante son las amenazas, según el informe del PNUD (2004), que trata sobre reducción de vulnerabilidades, plantea que las amenazas naturales son los procesos de la biósfera, que pueden convertirse en sucesos dañinos, varían en función de magnitud, frecuencia, duración, extensión, velocidad de manifestación, distribución espacial y tiempo. En el contexto venezolano, según la norma COVENIN 3661:2004, la amenaza se define como: el peligro asociado a un fenómeno de origen natural, tecnológico o provocado por el hombre, que puede manifestarse en un sitio específico, dentro de un período determinado y con potencial para producir efectos adversos sobre las personas, bienes, servicios y el medio ambiente.

Por otra parte, otro factor a tomar en cuenta es la resiliencia como factor interno de vulnerabilidad y en este caso se puede proyectar en lo institucional; se define como el conjunto de capacidades aprendidas en cada interacción que un habitante o grupo humano tiene con su ambiente, que involucra elementos que van desde la memoria, la experiencia, hasta la llamada inteligencia organizacional y contempla tres aspectos fundamentales los cuales son: la capacidad de anticipación, respuesta, y recuperación de una comunidad ante una alteración ambiental (Delgado, 2007).

La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (1996), define en su documento Ciudades en Riesgo, la resiliencia como la capacidad de un sujeto para recuperarse después de ser afectado por un impacto desfavorable. El documento emitido por el grupo Banco Mundial (2014) sobre cómo hacer frente a la nueva realidad climática, define una comunidad resiliente como la que comprende sus amenazas potenciales, se desarrolla tomándolas en cuenta, mantiene informada y preparada a su población y forma una capacidad adecuada

de reconstrucción, prevista antes de ocurrido el evento. Olcina (2008) define la resiliencia como la capacidad social de recuperarse eficazmente y continuar con su dinámica normal, ante las alteraciones negativas producidas por los desastres.

Existen además otro conjunto de términos referidos a la manera de afrontar y adaptarse a una situación desastrosa, entre ellos está la combinación de todas las fortalezas, los atributos y los recursos disponibles dentro de una comunidad, sociedad u organización que pueden utilizarse para la consecución de los objetivos acordados es lo que define como capacidad el documento de terminología sobre reducción de riesgos de la UNISDR 2009b, así como también plantea diferentes tipos de capacidad. La capacidad de afrontamiento entendida como la habilidad de la población, las organizaciones y los sistemas, mediante el uso de los recursos y las destrezas disponibles de enfrentar y gestionar condiciones adversas, situaciones de emergencia o desastres. Esta capacidad se determina por la presencia o no de planes de gestión de riesgos que incluyen medidas orientadas a la reducción de daños, educación y concienciación a la población, actuaciones para los momentos de emergencia y evacuación, y una estructura organizada y de responsabilidad clara.

Mientras que la capacidad de adaptación es definida como la habilidad de un sistema para modificar o cambiar sus características o su comportamiento con el objetivo de afrontar de mejor manera las amenazas externas (Brooks, 2003); para El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) 2001, es la capacidad de un sistema para ajustarse al cambio climático incluida la variabilidad climática y los cambios extremos a fin de moderar los daños potenciales, aprovechar las consecuencias positivas, o soportar las consecuencias negativas humano o natural, explica como la capacidad de adaptación está estrechamente relacionada con la capacidad actual de enfrentar y responder a las amenazas para resguardar la calidad de vida.

Además existen otros tipos de capacidades en la terminología de la gestión del riesgo; la capacidad de anticipación y en el caso de la institucionalidad se refiere a la elaboración de políticas educativas dirigidas a fomentar una cultura de riesgo preventiva con la finalidad de anticiparse y beneficiarse de las perturbaciones ambientales, mientras que la capacidad de respuesta está asociada a los niveles de articulación y coordinación de los organismos e instituciones de atención primaria o de emergencia para reaccionar ante los eventos, además de la disposición y manejo de recursos y la capacidad de recuperación se relaciona con la utilización de fondos del estado para la inversión en materia de reconstrucción del daño físico de las estructuras afectadas que garantice su sustentabilidad, lo que incluye los procesos de gestión para una respuesta oportuna (Acuña, 2016).

La idea de un nuevo modelo de desarrollo o como respuesta a la crisis mundial, surge formalmente en el Informe y en la Cumbre de la Tierra (Río de Janeiro 1992), y ha estado creciendo el número de respuestas a este concepto, para Stiglitz (1998) buscando un nuevo paradigma para el desarrollo, afirma sobre la necesidad de redefinir una nueva estrategia basada en principios como la transformación de la sociedad, el aumento del PIB, la mejora de la calidad de vida, la salud, la educación, equidad en la distribución de los ingresos, sostenibilidad, y componente ambiental entre otros, en ese mismo orden; Gabaldón (2006) plantea que el nuevo modelo de desarrollo debe ofrecer a los hombres y mujeres libertad, en su sentido más integral, mediante el establecimiento de instituciones democráticas.

Para promover la sostenibilidad de la reducción de desastres es preciso reconocer y utilizar de la mejor manera posible las relaciones existentes entre las metas sociales, económicas y ambientales a fin de reducir el riesgo de amenazas importantes. Ello implica disponer de capacidad para disminuir la exposición y ayuda para la recuperación luego de eventos de origen natural o antrópicos, sean esporádicos de gran alcance o frecuentes de escala menor. La reducción de desastres se ha convertido en un requisito indispensable del desarrollo sostenible,

la Asamblea General de las Naciones Unidas ha venido incluyendo la reducción de desastres en el examen de los temas relacionados con el desarrollo sostenible, en la Tercera Conferencia Mundial de las Naciones Unidas celebrada en marzo de 2015 se aprobó El Marco Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres.

Esta conferencia permitió a los países adoptar las siguientes acciones:

- a) aprobar un marco para la reducción del riesgo de desastres después de 2015 conciso, específico, preparado con visión de futuro y orientado a la acción;
- b) concluir la evaluación y el examen de la aplicación del Marco de Acción de Hyogo para 2005-2015: aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres;
- c) examinar la experiencia adquirida mediante las estrategias, instituciones y planes regionales y nacionales para la reducción del riesgo de desastres y sus recomendaciones, así como los acuerdos regionales pertinentes para la aplicación del Marco de Acción de Hyogo;
- d) determinar las modalidades de cooperación basada en los compromisos para la aplicación de un marco para la reducción del riesgo de desastres después de 2015;
- e) determinar las modalidades para el examen periódico de la aplicación del Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se describe la metodología utilizada en la presente investigación, contiene la descripción y argumentación de las principales decisiones metodológicas para llevar a cabo el cumplimiento de todos los objetivos planteados. Así como tipo y diseño de investigación, población seleccionada, instrumentos para la recolección de datos.

3.1 Enfoque de la investigación

Esta investigación está enmarcada en la corriente del pensamiento conocido como *positivismo*. Creada por Comte, donde planteaba que todas las “cosas” que estudiaban las ciencias eran medibles, afirmando que el espíritu humano debe renunciar a conocer el ser mismo (la naturaleza) de las cosas y contentarse con las verdades que proporcionan la observación y la experimentación.; Comte consideró además como conocimiento científico todo aquello que se sustenta en la experiencia, es objetivo y puede ser generalizado.

De acuerdo a Palella y Martins (2012) la corriente o también conocido por algunos autores como paradigma del positivismo es la base del desarrollo formal del método científico y de la investigación cuantitativa. Para Hernández-Sampieri et al., (2017) en una investigación con este enfoque los datos utilizados son producto de mediciones, que se transforman en valores numéricos (datos cuantificables) y se analizarán por medio de la estadística; los fenómenos que se observan y/o se miden no deben ser transformados por el investigador; además es importante que

los estudios realizados puedan ser replicados por otros investigadores; estos estudios pretenden explicar y predecir los fenómenos estudiados; de tal forma que cumpliendo con las reglas lógicas del proceso de investigación los resultados generados posean validez y confiabilidad y que deriven en conclusiones que contribuyan a la generación y difusión del conocimiento. Además compartiendo el criterio de Hurtado (2010) que agrega que la investigación cuantitativa requiere el uso de instrumentos de medición y comparación, que proporcionan datos cuyo estudio necesita la aplicación de modelos matemáticos y estadísticos se fortalece el criterio para enmarcar esta investigación bajo el enfoque *cuantitativo*.

3.2. Tipo de investigación

La determinación del tipo de investigación alude al grado de profundidad y clase de resultado a lograr con ella. De acuerdo a los objetivos planteados en esta investigación se puede decir que se trata de una investigación es predominantemente de *tipo correlacional-explicativa*.

Según Hernández-Sampieri et al., (2017) los estudios correlacionales tienen como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular.

En este estudio, el proceso lluvia-escorrentía es explicado mediante ecuaciones que relaciona al factor de entrada al sistema representado por la precipitación, en forma de lluvia, influenciada por factores relacionados al uso de la tierra, la morfología de las redes de drenaje (por ejemplo, la geometría de los canales abiertos), y el proceso de infiltración. Así como también, el riesgo de inundación es estimado mediante funciones probabilísticas que explican la ocurrencia de la precipitación efectiva.

Adicionalmente, la investigación puede categorizarse como proyectiva. Como lo plantea Hurtado (Ob. cit.) al decir que una investigación proyectiva consiste en elaborar una propuesta, un plan, un procedimiento, como solución a un problema o necesidad ya sea por un grupo social de una región geográfica, por una institución, a partir de un diagnóstico de necesidades. Agregando que para que un proyecto se considere investigación proyectiva, la propuesta debe estar fundamentada en un proceso metódico de búsqueda e indagación de conocimiento nuevo, que recorre los estadios *descriptivo*, *comparativo*, *analítico*, *explicativo* y *predictivo* de la investigación.

Pero además la investigación proyectiva que genera como producto final una propuesta o un proyecto, suele confundirse con los proyectos factibles (Upel, 2016), que aun siendo productos de procesos investigativos, sólo pasan por el estadio descriptivo y no cubren los estadios analítico, comparativo, explicativo y predictivo, estos pasan del diagnóstico a la propuesta (Ob. cit.).

3.3 Diseño de la Investigación

Según Hernández-Sampieri et al., (2017), en la investigación no experimental, el investigador está más cerca de las variables formuladas hipotéticamente como “reales” y, en consecuencia, se tiene mayor validez externa (posibilidad de generalizar los resultados a otros individuos y situaciones comunes). Los diseños no experimentales se pueden clasificar en transeccionales y longitudinales. En particular, los diseños longitudinales de tendencia son aquellos que analizan cambios al paso del tiempo en categorías, conceptos, variables o sus relaciones de alguna población en general. En este trabajo, el diseño es no experimental-longitudinal debido a que se emplean series de tiempo para caracterizar a las variables hidrológicas, precipitación, evapotranspiración, infiltración, volumen almacenado, escorrentía y usos de la tierra.

3.4 Población y muestra

En este estudio, el muestreo llevado a cabo fue por racimos o conglomerados. En algunos casos en que el investigador se ve limitado por recursos financieros, tiempo, distancias geográficas y otros obstáculos, se recurre al muestreo por racimos o clusters (Hernández-Sampieri et al., 2017), definido como sigue:

Muestrear por racimos implica diferenciar entre la unidad de análisis y la unidad muestral. La unidad de análisis indica quiénes van a ser medidos, es decir, los participantes o casos a quienes en última instancia vamos a aplicar el instrumento de medición. La unidad muestral (en este tipo de muestra) se refiere al racimo por medio del cual se logra el acceso a la unidad de análisis. El muestreo por racimos supone una selección en dos o más etapas, todas con procedimientos probabilísticos. (p. 183)

En cuanto a la selección de las poblaciones y muestras empleada en esta investigación se cuenta con dos unidades muestrales presentadas en la Tabla 2.

1.- Las estaciones meteorológicas para la medición de las variables de precipitación y evaporación que permiten la predicción espacial de la esorrentía que causa inundación en la cuenca del río Pao.

2.- Las comunidades ubicadas en los sectores inundables.

Mientras que las dos unidades de análisis de este estudio se muestran también en la Tabla 2.

1.- Las variables hidrológicas a medir

2.- Factor de usos de la tierra

Tabla 2. Población y muestra para el presente estudio.

MUESTREO POR CONGLOMERADOS	COMPONENTES DEL MUESTREO	PERÍODO DE ESTUDIO
UNIDAD MUESTRAL	Estaciones de monitoreo de variables hidrológicas	1980-2018
	Comunidades ubicadas en los sectores vulnerables	Mapas de usos de la tierra (1980-2018)
UNIDAD DE ANÁLISIS	Variables hidrológicas - Precipitación - Evapotranspiración	1980-2018
	Factor de usos de la tierra conocido como número de curva (CN)	Mapas de usos de la tierra (1980-2018)

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de la población que se utilizó para desarrollar el objetivo 2 de esta investigación correspondiente a la determinación de las variables sociales asociadas al riesgo de inundación, se utilizaron los datos del censo del Instituto Nacional de Estadística INE, (2011), siguiendo el criterio planteado por Arias (2006) para el cálculo de la muestra de una población finita a través de la siguiente ecuación:

$$n = \frac{N * Ze^2 * p * q}{(N - 1) * e^2 + Ze^2 * p * q} \quad (13)$$

Dónde: n = tamaño de la muestra; N = tamaño de la población; Ze = nivel de confianza; p = proporción de elementos que presentan una determinada característica a ser investigada, es decir probabilidad a favor; q = proporción de

elementos que no presentan la característica que se investiga es decir probabilidad en contra; e = nivel de precisión o error muestral

Para la aplicación de esta ecuación se toma como referencias valores de $e, p, q,$ y Z , sugeridos por algunos autores. Silva (2014) sugiere los siguientes valores para estos parámetros estadísticos: $Z_e = 1.96$; $e = 0.05$; $q = 0.5$; $p = 0.5$. Con estos datos se puede determinar el tamaño de la muestra conociendo la población total, en este caso sería el número total de habitantes del sector a aplicar el plan de gestión, del cual se escogerá una porción o muestra para aplicar las encuestas para la recolección de información.

Con respecto a las estaciones de medición de variables meteorológicas, empleadas en esta investigación en el Anexo 4 se presenta la ubicación geográfica de las estaciones de monitoreo de precipitación y evaporación administradas por el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales Renovables (MARNR). En el Anexo 5 se muestra la localización de estaciones de monitoreo de precipitación administradas por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales Renovables en el período 1980-2000. El Anexo 6 muestra la localización de estaciones de monitoreo de evaporación administradas por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales Renovables en el período 1980-2000. Así mismo, el Anexo 7 muestra la localización de estaciones de monitoreo de precipitación administradas por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología en el período 2015-2018. En Anexo 8 se muestra la localización de estaciones de monitoreo de evaporación administradas por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología en el período 2015-2018, el Anexo 9 muestra las cartas aval suministradas por INAMEH validando el uso de esta información y autorizando su utilización para efectos de esta investigación.

Para cada objetivo de esta investigación se empleó un diseño, población, muestra, técnica e instrumento de recolección de datos, de acuerdo al resultado esperado con cada uno. Para facilitar la comprensión de la información manejada

en este capítulo, se presenta en el Anexo 10 la Tabla de Operacionalización de Variables diseñada para esta investigación. A continuación la Tabla 3 como un resumen de las fases de la investigación desarrollada en la Tesis Doctoral.

Tabla 3. Resumen de la metodología empleada en la investigación

OBJETIVO GENERAL					
Formular un Plan de Gestión Sustentable del Riesgo de Inundación en la cuenca del río Pao ubicada en los estados Carabobo, Guárico y Cojedes desde una perspectiva comunitaria					
Objetivos	Diseño	Población	Muestra	Técnica	Instrumento
FASE EXPLORATORIA 1.- Caracterizar espacio temporal los usos de la tierra	No experimental (Longitudinal) Documental	Unidad de estudio	Unidad de estudio	Observación Consulta bibliográfica Visitas de campo	Imágenes satelitales del lapso de estudio.
FASE DESCRIPTIVA 2.-Describir Variables hidrometeorológica y sociales	Documental Exploratorio	Estaciones meteorológicas ubicadas en el área de estudio Comunidades ubicadas en los sectores inundables del área de estudio	Estaciones meteorológicas ubicadas en el área de estudio Comunidades ubicadas en los sectores inundables del área de estudio	Consultas on line de páginas Web. Observación directa Visitas de campo	Datos obtenidos de la página de INAMEH. Imágenes satelitales del período de estudio. Cuestionarios Encuestas
FASE EXPLICATIVA 3.- Calibrar modelo matemático para el pronóstico del riesgo de inundación	Experimental Documental	N/A	N/A	Modelaje	Datos hidrometeorológicos históricos de eventos anteriores

Continuación Tabla 3

<p>FASE COMPARATIVA Y DE PRONOSTICO 4.-Validar modelo matemático para el pronóstico del riesgo de inundación</p>	Experimental	N/A	N/A	Simulación	Técnicas estadísticas
<p>FASE ANALÍTICA 5.-Analizar el riesgo de inundación desde una perspectiva comunitaria</p>	De campo	Comunidades ubicadas en los sectores inundables del área de estudio	Comunidades ubicadas en los sectores inundables del área de estudio	Observación directa Visitas de campo	Registros anecdóticos de inundaciones anteriores Entrevistas
<p>FASE PROYECTIVA 6. - Diseñar un plan de gestión de riesgos.</p>					

Fuente: Elaboración propia

3.5.- Unidad de estudio

A los efectos de esta investigación se considera como unidad de estudio la cuenca del río Pao, ubicada en la región centro-norte de la República Bolivariana de Venezuela adjunta al Mar Caribe, entre los estados Carabobo, Cojedes y Guárico.

El área total de la cuenca del río Pao es de 3018.54 km². Las coordenadas del recuadro que incluye a la cuenca son: 1) Esquina inferior izquierda: 68°17'35.54", 9°33'38.991", 2) Esquina inferior derecha: 67°48'319.348", 9°33'38.991", 3) Esquina superior izquierda: 67°48'319.348", 10°20'29.963", 4) Esquina superior derecha: 67°48'319.348", 10°20'29.963. La Figura 2 muestra la ubicación geográfica de la cuenca en estudio.

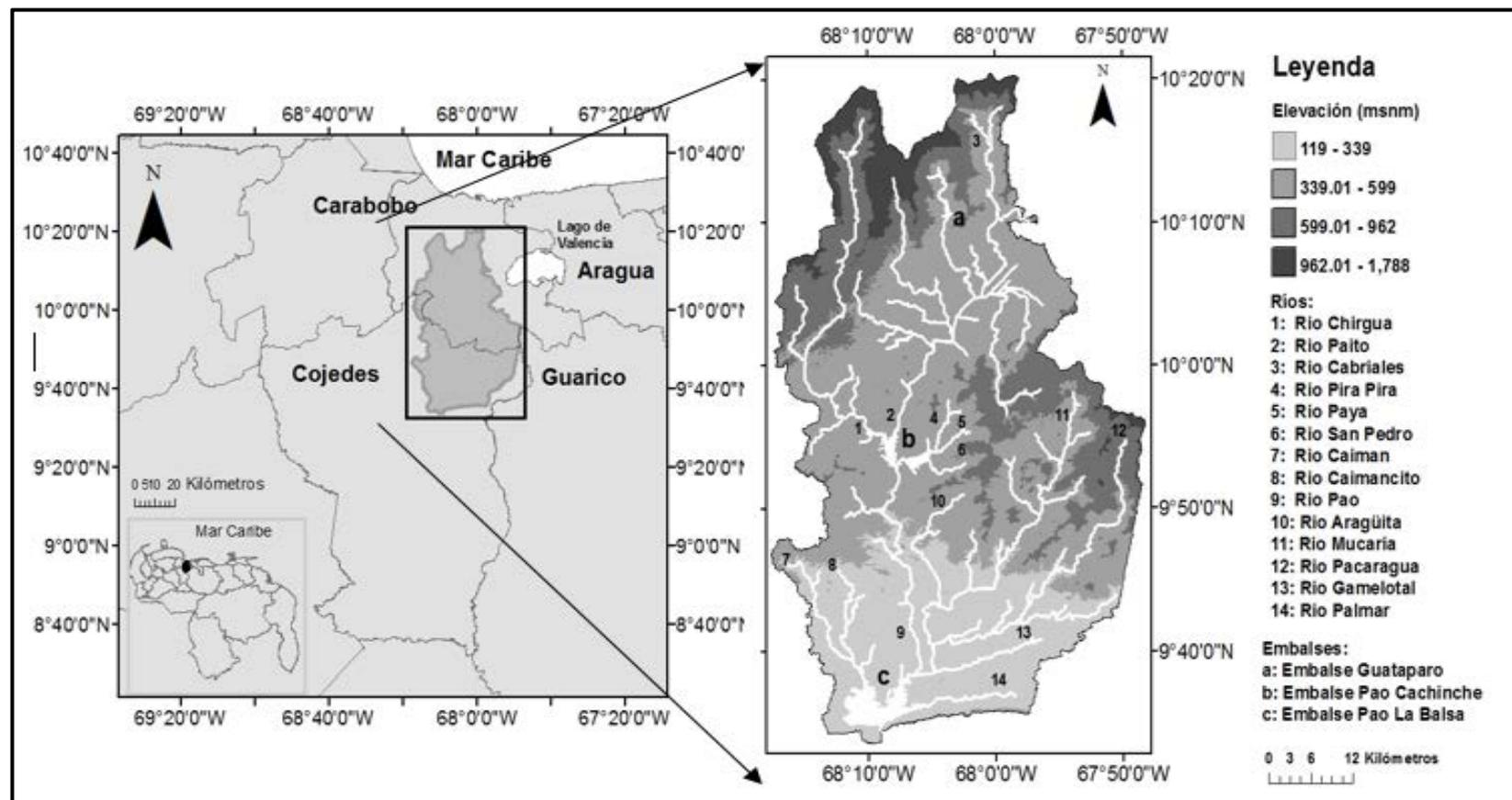


Figura 2. Ubicación geográfica de la cuenca del río Pao en la región espectral Centro-Norte de la República Bolivariana de Venezuela adjunta al Mar Caribe. Fuente: Farías et al., (2020 b), Márquez-Romance, Farías-De Márquez y Guevara-Pérez, (2022)

3.6 Fases de la investigación

3.6.1 Fase I. Caracterización espacio temporal de los usos de la tierra en la cuenca del río Pao.

En esta fase de la investigación se realizó una caracterización de los usos de la tierra en la cuenca del río Pao. El resultado obtenido en esta fase permitirá evaluar a partir de los usos y cobertura de la tierra en la cuenca donde existe mayor cantidad de población, y donde hay más riesgo de inundaciones producto de la presencia de cuerpos de agua.

La Figura 3 muestra un diagrama de flujo de la metodología utilizada en esta fase.

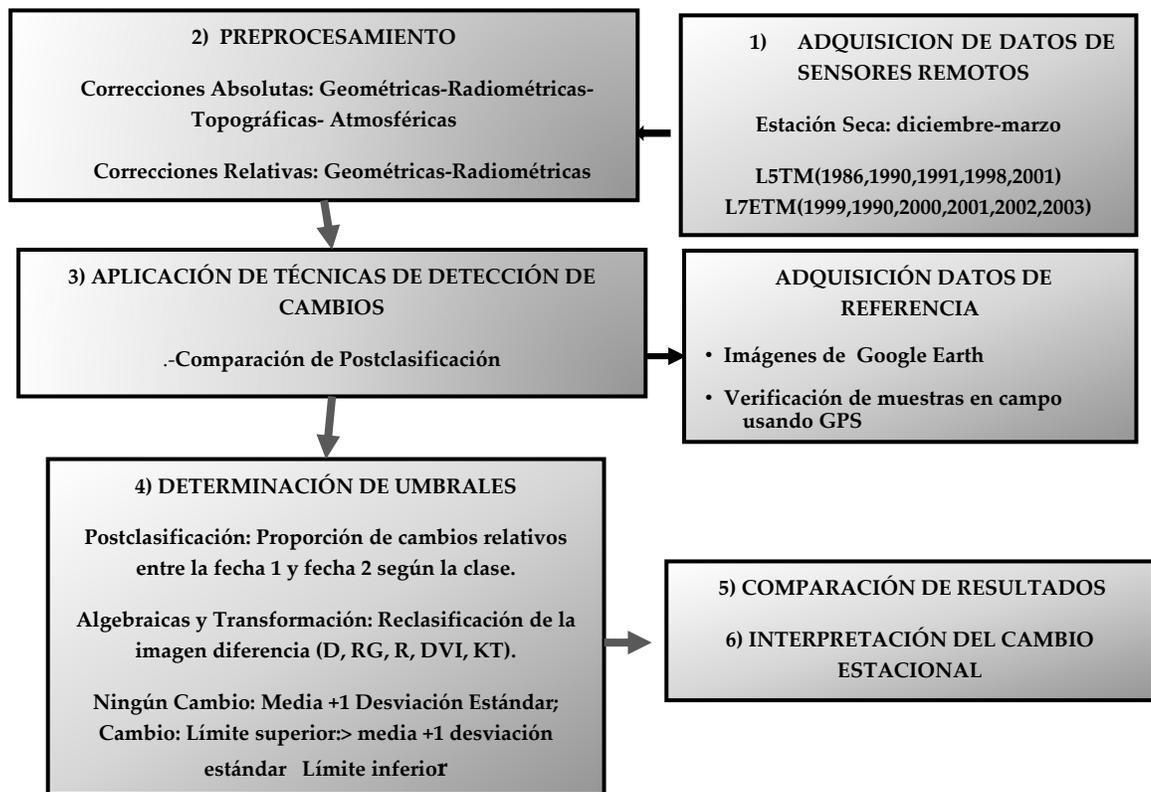


Figura 3. Diagrama de flujo de la metodología de la Fase I. Fuente: Farías et al., (2018)

1.- Adquisición de datos

1.1.- Adquisición de datos de imágenes de satelitales

Desde la página web: <https://earthexplorer.usgs.gov/> se descargaron once imágenes del conjunto de satélites Landsat, correspondientes a la estación seca comprendida entre diciembre y marzo de los años de estudio. La serie temporal de imágenes de tres satélites Landsat fue agrupada como sigue: 1) L5TM (1986, 1990, 1991, 1998, 2001), 2) L7ETM (1999, 2000, 2001, 2002, 2003) y 3) L8OLI (2015 y 2016).

1.2.- Adquisición de datos de referencia.

Los datos de referencia están constituidos por imágenes de Google Earth y fotografías de visitas de campo donde se observan los diferentes usos y coberturas de la tierra en el área de estudio. Las características de las imágenes adquiridas según cada satélite se identifican como sigue: 1) la identificación de la imagen, 2) la fecha de adquisición, 3) la latitud, 4) la longitud, 5) la cobertura y/o uso de la tierra.

2.- Preprocesamiento de imágenes

En este paso se realiza el procesamiento de las imágenes, es el proceso mediante el cual los píxeles de una imagen satelital multibanda son etiquetados según la categoría a la que pertenecen. El preprocesamiento de las imágenes de los satélites Landsat involucra realizar las correcciones absolutas y relativas de cada imagen, como sigue: geométricas, radiométricas, topográficas y atmosféricas. La aplicación de los algoritmos de las correcciones sobre el conjunto de las bandas espectrales que integran la imagen en una ejecución en lote secuencial requiere la composición de las bandas espectrales en cada imagen del satélite Landsat usando una herramienta computacional. Existen varios algoritmos basados en escenas disponibles para la eliminación o la reducción de la neblina de las bandas espectrales visibles. La substracción de objetos oscuros es un algoritmo basado en

imágenes para eliminar la niebla homogénea en toda la escena (Chávez, 1988, Teillet y Fedosejevs, 1995).

En esta investigación, las imágenes han sido obtenidas en una versión ya corregida geoméricamente absoluta desde el USGS. Mientras que las correcciones radiométricas, topográficas y atmosféricas absolutas aplicadas a cada imagen se ejecutaron en el entorno de la herramienta computacional de procesamiento de imágenes satelitales ENVI 4.7 (Licencia ESRI de Venezuela No 9F3GP-B8TB6-9F7MTFP8P4-94W92) (Anexo III).

3.- Aplicación de técnicas de detección de cambios

El método aplicado en esta investigación fue para la detección de cambios fue la postclasificación. Es aquel en el cual primero se asignan las clases a cada imagen de forma individual y posteriormente el cambio es determinado; realizando una comparación mapa a mapa (Singh, 1989). Es un método cuantitativo claro y provechoso, ya que proporciona una información de cambio (Bouziani, Goïta y He 2010; Im y Jensen, 2005). Basado en la clasificación temática de las dos diferentes imágenes de fechas de forma independiente. Los mapas temáticos se comparan y analizan posteriormente para correlacionar el tipo de cambio (Lunetta, 1999; Singh, 1989; Yuan et al., 2005).

4.- Determinación de umbrales para la detección de cambios

La tarea de la determinación de umbrales adecuados es uno de los pasos más críticos en la identificación y separación de las áreas de cambio y no-cambio. Un método comúnmente usado involucra la selección de los valores umbrales apropiados usando la desviación estándar desde la media y probando los resultados empíricamente (Macleod y Congalton, 1998; Lu et al. 2005; Sinha y Kumar, 2013).

En esta investigación el procedimiento para la determinación de los umbrales ha sido ejecutado en tres pasos en el entorno de trabajo ArcGis V. 10.0 (Licencia ESRI de Venezuela No 37105865) (Anexo III):

- 1) Una vez aplicada la técnica de detección de cambios, la imagen resultante es reclasificada en tres clases; que incluyen la clase de la media y clases donde los valores exceden 1 vez la desviación estándar.
- 2) El mapa de Cambio/Ningún Cambio es obtenido mediante un umbral asumido como una vez la desviación estándar.
- 3) Las estadísticas de las zonas de Cambio/Ningún Cambio son estimadas mediante el uso de la herramienta *Estadísticas Zonales como Tabla* se estima la cantidad de píxeles y el área correspondiente donde ha sido observado Cambio/Ningún Cambio.

5.- Comparación de resultados con técnicas convencionales

Esta sección incluye la evaluación de la exactitud y la validación de la clasificación de imágenes obtenidas.

5.1.-Evaluación de la exactitud temática

Una vez realizada la clasificación se recomienda comprobar que tan bien fue ejecutada ésta. Para ello, se utiliza como herramienta de medición una matriz de confusión la cual contempla los píxeles clasificados, como los que no fueron lo fueron. Con la matriz de confusión se generan tres tipos de exactitud: exactitud global, exactitud del usuario, exactitud del productor además del índice de Kappa. Este proceso se denomina clasificación de imágenes y se realizó según el método de clasificación supervisada.

5.2.- Validación de la clasificación de imágenes

Para la validación de métodos de clasificación, se sugiere realizar el análisis de la exactitud o aciertos de las clasificaciones, comparándola con otra que el investigador declare como absoluta, proceso realizado utilizando una Matriz de Confusión y el Coeficiente Kappa. La validación requiere información sobre la “condición real” del uso de la tierra en todo el área de estudio.

La información puede provenir de dos fuentes:

- 1) *datos de referencia*
- 2) *verificación de campo*

Los datos de referencia más comunes son las imágenes, que permiten la validación contra la clasificación de la cobertura terrestre y de los usos de la tierra. Para algunas unidades de superficie, son utilizados con frecuencia los mapamundis virtuales como Google Earth.

6.- Interpretación del cambio estacional

En esta sección se cuantifican los cambios en los usos y coberturas de la tierra en la cuenca del río Pao durante la estación seca en el período 1986-2016 según el método de detección de cambios postclasificación. Según Khorram et al., (1999) las distorsiones ambientales causadas por las condiciones atmosféricas, la humedad del suelo, los ciclos fenológicos de la vegetación y los ciclos hidrológicos deben mantenerse tan constantes como sea posible.

Si se desea profundizar en la metodología desarrollada para alcanzar este primer objetivo se pueden detallar el Anexo 4413 que corresponde al artículo publicado por la revista Ingeniería UC titulado: *Caracterización espacio-temporal del uso de tierras en cuencas mediante técnicas geomática*, y el Anexo 4215 que corresponde al artículo publicado en la Revista Environmental Quality Management titulado: *La detección de cambios de uso de suelo y cobertura terrestre en una*

cuenca tropical, donde se exploraron diferentes técnicas de detección de cambios de la superficie terrestre.

3.6.2.- Fase II. Descripción de las variables hidrometeorológicas y sociales asociadas al riesgo de inundación.

3.6.2.1.- Descripción de las variables hidrometeorológicas:

Para desarrollar esta sección del segundo objetivo de esta investigación, se requieren dos etapas, una correspondiente a la *modelación geoestadística* y la otra, comprende la *modelación de las variables de balance hídrico*.

Modelación geoestadística

La herramienta computacional ArcGIS 10.0 (Licencia ESRI de Venezuela No 37105865) (Anexo 3), se empleó para transformar registros tabulares en una capa de puntos, lo que representa la ubicación geográfica de las estaciones de medición de precipitación dentro y fuera de la cuenca del río Pao. Una herramienta espacial geoestadística se utilizó para aplicar el método Kriging Ordinario y así generar un mapa de precipitación mensual. La aplicación de técnicas geoestadísticas requiere el cumplimiento de los siguientes pasos: a) *análisis exploratorio*, b) *análisis estructural* y c) *predicciones*.

Con el *análisis exploratorio* se verifica el cumplimiento de los principios de estacionariedad, se identifican valores extremos, la normalidad de los datos mediante transformaciones, la evaluación de la distribución de las variables y la existencia de correlaciones entre ellas. Con el módulo Análisis Geoestadístico en ArcGis 10.0 (Licencia ESRI de Venezuela No 37105865) (Anexo 3), se desarrolló el proceso para elaborar los histogramas y determinar si los datos seguían una distribución normal. Para que la distribución sea normal la media y la mediana deben ser similares, se acepta una diferencia de (1) unidad entre ellas. El

coeficiente de sesgo debe presentar un valor entre 0 y 0.5. Si esto no se cumple se deben transformar los datos (Fuenzalida-Díaz, 2015).

El *análisis estructural* consiste en analizar los datos para conocer su variabilidad espacial, evaluar la presencia de anisotropía y determinar los modelos variográficos para cada variable, para posteriormente proceder a validarlos, mediante la técnica de validación cruzada (Villarreal, 2018). Aplicando el análisis estructural se ajustan modelos teóricos para representar la correlación espacial entre los datos (semivariogramas), y mediante técnicas de interpolación espacial (Kriging) se estima el valor que asume la variable de estudio para diferentes puntos dentro de la región (Villada y Londoño, 2015). En esta investigación se seleccionó el método de Kriging Ordinario que ha sido utilizado en otras investigaciones para modelar datos hidrometeorológicos. Es el mejor estimador lineal imparcial lo que lo convierte en la técnica óptima para la interpolación de cualquier tipo de variable espacial (Domínguez, 1999). La ventaja del Kriging Ordinario es la posibilidad de modelar la dependencia espacial de los datos por lo que aporta los mejores resultados entre los métodos puramente espaciales en la interpolación de la precipitación (Goovaerts, 2000; Lloyd, 2005). Los datos obtenidos fueron representados en un semivariograma empírico y los modelos matemáticos usados para su representación teórica (curva) corresponden a circular, esférico, exponencial, gaussiano, J-Bessel, K-Bessel, estable, por ser los que comúnmente se utilizan.

El último paso en el análisis geoestadístico son las *predicciones*. El ajuste de los variogramas experimentales, siempre trae incertidumbres sobre las hipótesis de estacionariedad y los modelos seleccionados entre otras, las cuales contribuyen al error en la estimación. Es así como una forma para diagnosticar algunos problemas en el ajuste obtenido es la validación cruzada, cuya idea básica es borrar un dato para predecir las observaciones borradas. Si el modelo teórico escogido es bueno o describe adecuadamente la dependencia espacial el valor predicho será cercano al

verdadero (Sánchez y Ramírez, 2012). El modelo a seleccionar será aquel que mejor reproduzca los datos conocidos, por lo tanto cumplirá con las siguientes condiciones: raíz cuadrada del error medio (RCEM): cuanto más pequeño sea, mejor serán las predicciones; error estándar promedio (ESP): pequeño, próximo a RCEM, la variabilidad de la predicción se calcula correctamente y la raíz cuadrada del error medio (RCEM): cerca de uno (1), si esto se cumple los errores de la predicción son válidos (Farías et al. 2020 b).

Modelación de las variables de balance hídrico

Para desarrollar esta etapa se requieren la recolección de los siguientes datos:

Datos meteorológicos:

Las variables precipitación y evapotranspiración se adquirieron en formato digital desde la página Web del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, (INAMEH) quien tiene a su cargo la administración de la red telemétrica que abarca las estaciones ubicadas en los estados alrededor de esta cuenca. Se utilizaron datos de 25 estaciones de monitoreo ubicadas alrededor de la cuenca del río Pao que fueron seleccionadas en función del grado de influencia que tienen sobre la cuenca desde el punto de vista climatológico. Se crearon series temporales de precipitación mensual para los meses de mayo a octubre dentro de la temporada de lluvias desde dos períodos, 1980-2000 y 2015-2018. En general, el período seco comienza en noviembre o diciembre y termina en abril o mayo en Venezuela (Ramírez, 1971).

Los datos correspondientes a la red telemétrica de control de estaciones climáticas en la cuenca del río Pao, estados Carabobo, Aragua, Guárico, Cojedes, Distrito Federal y Falcón se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Red telemétrica de control de estaciones climáticas en la cuenca del río Pao, estados Carabobo, Aragua, Guárico, Cojedes, Distrito Federal y Falcón.

N°	Coordenadas Proyectadas UTM Zona 19 N		Estación	Estado
1	613822	1154779	Hda Manglar	Carabobo
2	616988	1138671	San Diego	Carabobo
3	622148	1131688	Guacara	Carabobo
4	592724	1106863	Cpo Carabobo	Carabobo
5	622892	1135723	Vigirima	Carabobo
6	626026	1110365	Agua Blanca	Carabobo
7	608178	1131078	Valencia-Ofna	Carabobo
8	619290	1112277	Potabilizadora	Carabobo
9	598708	1124960	Guataparo	Carabobo
10	603183	1134833	Guaparo- Café	Carabobo
11	689996	1117236	San Fco del Pao	Aragua
12	727848	1097069	Valle Morin	Aragua
13	701139	1100351	San Sebastián	Aragua
14	690407	1136763	Quebrada Seca	Aragua
15	674382	1114218	El Cortijo	Aragua
16	677672	1026188	La Yeguera	Guárico
17	688034	1062987	Ortiz	Guárico
18	677610	1097000	Los Morros	Guárico
19	677610	1097000	Tinaquillo	Cojedes
20	548113	1071877	Unellez	Cojedes
21	546523	1066369	S.C Aeropuerto	Cojedes
22	735254	1160195	La Carlota	D. Federal
23	753237	1321474	Los Roques	D. Federal
24	814161	1306732	La Orchila	D. Federal
25	460647	1269171	Pto Cumarebo	Falcón

Fuente: INAMEH (Anexo II)

Datos satelitales:

La información satelital proviene de los satélites Landsat L5TM, L7ETM, y L8OLI, de los años 2015, 2016 y 2017 respectivamente. Las imágenes satelitales se obtuvieron desde la página web <https://earthexplorer.usgs.gov/> del Servicio Geológico de los Estados Unidos. La escena usada para la cuenca del río Pao se identifica bajo el Sistema de Referencia Mundial según la ruta y fila como sigue: 005 y 053; respectivamente. Los parámetros de la proyección de mapa según el

USGS son: 1) Proyección: UTM, 2) Datum: WGS 1984, 3) Elipsoide: WGS 84, 4) Zona UTM: 19 N, 5) Convulsión cúbica, como método de remuestreo.

Los datos correspondientes a la identificación y fecha de adquisición de las imágenes satelitales descargadas del satélite Landsat L8OLI, para el período enero-diciembre de 2015 se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Identificación de la imagen del satélite Landsat 8 OLI

N°	Identificación	Fecha de Adquisición
1	LC80050532015015LGN01	2015-01-15
2	LC80050532015047LGN01	2015-02-16
3	LO80050532015063LGN01	2015-03-04
4	LC80050532015111LGN01	2015-04-21
5	LC80050532015127LGN00	2015-05-07
6	LC80050532015175LGN01	2015-06-24
7	LC80050532015191LGN01	2015-07-10
8	LC80050532015223LGN01	2015-08-11
9	LC80050532015271LGN01	2015-09-28
10	LC80050532015303LGN01	2015-10-30
11	LC80050532015319LGN01	2015-11-15
12	LC80050532015335LGN01	2015-12-01

Fuente: Farías et al., (2020b)

Para obtener las pérdidas y estimar a partir de ellas el escurrimiento superficial, se utilizó el método del Servicio de Conservación de Suelos (SSC) (Chow, Maidment, y Mays, 1994).

Este método requiere conocer el tipo y uso de suelo de la cuenca en estudio para determinar el número de curvas, los registros pluviográficos, y otros factores como el tiempo transcurrido desde la última precipitación y la evapotranspiración durante el período de estudio. Para la detección de cambios de uso y cobertura del suelo (LULC) en la cuenca del río Pao durante el periodo 2015-2017, se utilizó el procesamiento de las imágenes satelitales aplicado a los píxeles de las imágenes

multiespectrales asignándole la categoría de LULC a la cual pertenecía, empleado para desarrollar el objetivo 1 de esta investigación (Farías et al., 2018).

El Centro de Investigaciones Hidrológicas Ambientales de la Universidad de Carabobo (CIHAM-UC) suministró los datos correspondientes al modelo de elevación Digital (DEM) georreferenciado de la zona de estudio con sistema de referencia UTM 19, datum y elipsoide WGS84.

Desde el procesamiento de datos de la herramienta geoestadística de ArcGis 10.0 se generaron los resultados que abarcan la creación de mapas de variables en el entorno SIG como: a) almacenamiento de agua en el suelo, b) precipitación efectiva.

a) Almacenamiento de agua en el suelo.

La ecuación utilizada para estimar el almacenamiento de agua en el suelo (S) requiere como variables de entrada al número de curva (CN).

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (14)$$

El CN se obtiene superponiendo el tipo de suelo y la información sobre el uso del suelo; estas dos variables se representan en mapas. El mapa de tipo de suelo para la cuenca del río Pao se obtiene de la página web del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales preparado para la República Bolivariana de Venezuela. Se hace referencia geográficamente a este mapa. Una herramienta SIG de extracción por máscara se aplica utilizando una capa poligonal con los límites de cuenca hidrográfica. Se crea una nueva capa poligonal para delinear el tipo de suelo dentro de los límites de la cuenca hidrográfica.

La capa de tipo de suelo se intercepta el mapa de uso y cobertura del suelo. El mapa LULC se genera a través de la aplicación del método de clasificación supervisada utilizando el algoritmo de probabilidad máxima (Farias et al., 2018). Una vez que se han interceptado el tipo de suelo y los mapas LULC, se crea un nuevo campo en la tabla de atributos de la capa denominada CN. Este campo CN está lleno de los valores dados por el Servicio de Conservación del Suelo de los Estados Unidos (US-SCS). Para rellenar el campo CN, se crea una tabla no espacial con los valores CN para el LULC y el tipo de suelo que se encuentran en el área de estudio. La tabla no espacial está vinculada con la tabla espacial de atributos de la capa intersectada de LULC y el tipo de suelo utilizando un campo común. La herramienta de reclasificación se aplica seleccionando el campo CN, generando el mapa CN. El mapa CN es una entrada en la ecuación (14) mediante la herramienta GIS Álgebra de Mapas se genera el mapa S.

b) Estimación de precipitación efectiva.

El mapa de precipitación efectiva es generado usando la herramienta calculadora de mapas contenida en el menú de álgebra de mapas en el programa ArcGIS 10.0. La ecuación requiere como variables de entrada la precipitación (P) y el almacenamiento del agua en el suelo (S), calculado con la ecuación 14.

$$Pe = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (15)$$

El balance hidrológico en esta investigación fue planteado según la siguiente ecuación:

$$\Delta S = I - ETR \quad (16)$$

Donde ΔS representa la variación de agua almacenada en el suelo (mm); I es la infiltración en (mm); ETR la evapotranspiración en (mm). Se considera que:

$$I = P - Pe \quad (17)$$

Dónde: P = precipitación y P_e = precipitación efectiva.

3.6.2.2. Descripción de las variables sociales

Las técnicas empleadas para el trabajo de campo, en la fase del cumplimiento con la asignatura de Pasantías del programa doctoral de Ingeniería, área Ambiente de la Universidad de Carabobo, se tituló como “Caracterización de variables sociales asociadas al riesgo de inundación en la cuenca del río Pao”, realizada a escala piloto en el Municipio Naguanagua, estado Carabobo, como una de las principales zonas inundables de la cuenca del río Pao. La pasantía involucró la participación en las actividades de campo correspondientes al levantamiento de información, antes y después de episodios de inundación en el municipio Naguanagua, estado Carabobo, determinación de vulnerabilidades de las comunidades, desarrollo de capacitación de los miembros de las comunidades, visitas y desarrollo de capacitación en las escuelas del Municipio Naguanagua, específicamente en la Unidad Educativa Instituto Educacional Venezuela y en el Instituto de Protección Civil, Municipio Naguanagua, estado Carabobo. En el Anexo 16 se incluye la solicitud de Pasantías desde el Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales de la Universidad de Carabobo (CIHAM-UC) y la certificación de cumplimiento desde el Instituto de Protección Civil del municipio Naguanagua, estado Carabobo, cuyas acciones permitieron obtener las variables sociales asociadas al riesgo de inundación incluyeron visitas frecuentes a las comunidades para realizar observaciones directas sobre los atributos del sistema físico natural y del sistema socioeconómico que caracteriza la zona de estudio y para el registro fotográfico de los daños a bienes personales, de las evidencias geomórficas de procesos de deslizamientos que han ocurrido productos de las lluvias.

Para conocer las actuaciones sociales frente a situaciones de riesgos y a los actores sociales protagonistas de las mismas, se efectuaron entrevistas a

miembros de las juntas comunales, vecinos de las comunidades, miembros de asociaciones civiles, públicas y personal de la alcaldía del municipio. Para complementar la información levantada en las entrevistas, se realizó además una investigación documental sobre diferentes fuentes tales como: marco legal vigente, notas periodísticas, revistas especializadas, información registrada en la alcaldía del municipio, material cartográfico entre otros.

Los métodos de gabinete abarcaron el análisis de los resultados de las encuestas aplicadas durante las entrevistas para conocer el nivel de conocimientos de la comunidad sobre los riesgos, y sus respuestas frente a estos.

En la Figura 4 se muestra el diagrama de flujo de la metodología empleada en esta etapa de la investigación, para obtener las variables sociales asociadas al riesgo de inundación.



Figura 4. Diagrama de flujo de la metodología empleada en la Fase II, para determinar variables sociales asociadas al riesgo de inundación. Farías et al., (2017)

Análisis y priorización de riesgos

En esta fase se aplicaron encuestas que permiten recabar información importante para el desarrollo de esta investigación, utilizando cuestionarios

impresos que respondieron los habitantes en visitas puerta a puerta cada familia de la comunidad.

Realizándose además en esta etapa una evaluación del contexto global de la vulnerabilidad, para lo cual se propiciaron la formulación de preguntas en los cuestionarios para dar respuesta a las siguientes interrogantes: ¿Cuál es el tamaño de la población?, ¿Cómo está distribuida?, ¿Cuántos hogares hay en la comunidad?, ¿Qué tan a menudo la comunidad se ve afectada por desastres y amenazas?, ¿Es la incidencia cada vez mayor?, ¿Cuáles son los motivos principales de la vulnerabilidad?

Caracterización del escenario de emergencia

En esta fase se evaluaron las siguientes actividades, en el marco de las acciones de cumplimiento de la asignatura de Pasantías del programa doctoral de Ingeniería, área Ambiente de la Universidad de Carabobo, titulada como “Caracterización de variables sociales asociadas al riesgo de inundación en la cuenca del río Pao”, realizada a escala piloto en el Municipio Naguanagua, estado Carabobo, como una de las principales zonas inundables de la cuenca del río Pao (Anexo 16): a) análisis de los antecedentes del escenario de inundaciones en el municipio en el periodo de estudio de esta investigación (2015-2017); b) los daños y pérdidas presentadas; c) descripción del fenómeno amenazante; d) causas el fenómeno amenazante; e) determinación de factores que favorecen la ocurrencia de las inundaciones; f) identificación de los actores involucrados en las causas del fenómeno.

Estas actividades se realizaron a través de búsqueda de material bibliográfico, de revisión de antecedentes de inundaciones en la zona de estudio reportadas por Protección Civil, así como trabajo de campo donde a través de observación directa, encuestas y entrevistas se recolectó la información necesaria.

Si se desea ahondar en la metodología desarrollada para la obtención de las variables sociales asociadas al riesgo de inundación, se presentan en forma explícita los procedimientos empleados en el Anexo 14 corresponde al artículo publicado por la Revista ENCUENTROS de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Ezequiel Zamora (UNELLEZ) en Venezuela, titulado: *Una metodología para prevenir y afrontar el riesgo hidrológico en la zona norte del municipio Naguanagua estado Carabobo Venezuela*. Además esta metodología se ha empleado en otras publicaciones como productos de esta investigación para la presente tesis doctoral: en el artículo presentado en el 4to Congreso de Ciencia y Tecnología de la ONTIC, titulado: *Evaluación del grado de sostenibilidad en la aplicación de simulacros de gestión de riesgos de desastres en el Estado Carabobo* (Farías et al 2015).

3.6.3.- Fase III.- Calibración de modelos matemático del proceso lluvia-escorrentía en la cuenca del río Pao, estados Carabobo- Cojedes, Venezuela

La calibración de los modelos se realizó utilizando los siguientes de datos: (a) serie temporal de precipitación máxima para una duración de seis horas para el período 1980-2018, (b) imágenes satelitales para el período 1979-2018, (c) modelo de elevación digital, (d) mapa de tipos de suelo, (e) mapa de usos y cobertura de la tierra.

a) Los datos de precipitación se adquirieron en formato digital desde la página web del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Venezuela. La información se registra cada cinco minutos. Los registros de lluvia en cada una de las 25 estaciones de medición seleccionadas se acumulan a escala mensual. Se crearon series temporales de precipitación mensual para los meses de mayo a octubre dentro de la temporada de lluvias desde dos períodos, 1980-2000 y 2015-2018.

Se aplicaron los modelos de predicción de la distribución espacial de las precipitaciones, utilizando el valor de la variable objetivo (z) en alguna ubicación s_0 . Las predicciones se basan en el modelo (Márquez et al., 2019):

$$Z(s) = \mu + \varepsilon'(s) \quad (18)$$

Donde μ es la función estacionaria constante (media global) y $\varepsilon'(s)$ es la parte estocástica espacialmente correlacionada de la variación. Las predicciones se hacen como en Matheron (1963) introduciendo al análisis de datos puntuales, la derivación y el trazado de las llamadas semivarianzas - diferencias entre los valores vecinos:

$$\gamma(h) = 1/2 E \left[(z(s_i) - z(s_{i+h}))^2 \right] \quad (19)$$

Donde $Z(s_i)$ es el valor de la variable objetivo en alguna ubicación muestreada y $Z(s_{i+h})$ es el valor del vecino a la distancia $s_i + h$. Las semivarianzas frente a sus distancias producen un variograma experimental estándar. A partir del variograma experimental, se puede ajustar utilizando algunos de los modelos de variograma utilizados como: lineal, esférico, exponencial, circular, Gaussiano, Bessel, estable y similares (Goovaerts, 2000).

b) La información satelital proviene de los satélites Landsat L5TM, L7ETM, y L8OLI, de los años 2015, 2016 y 2017 respectivamente. Las imágenes satelitales se obtuvieron desde la página web <https://earthexplorer.usgs.gov/> del Servicio Geológico de los Estados Unidos. La escena usada para la cuenca del río Pao se identifica bajo el Sistema de Referencia Mundial según la ruta y fila como sigue: 005 y 053; respectivamente. Los parámetros de la proyección de mapa según el USGS son: 1) Proyección: UTM, 2) Datum: WGS 1984, 3) Elipsoide: WGS84, 4) Zona UTM: 19 N, 5) Convolución cúbica, como método de remuestreo. Los datos correspondientes a la identificación y fecha de adquisición de las imágenes satelitales descargadas del satélite Landsat L8OLI, para el período enero-diciembre de 2015 se presentan en la Tabla 4 mostrada en la metodología del objetivo 2.

c) El modelo de elevación Digital (DEM) georreferenciado de la zona de estudio con sistema de referencia UTM 19, datum y elipsoide WGS84 fue adquirido por el satélite Alos Palsar y obtenido desde el sitio web Alaska Satellite Facility (ASF, 2015).

d) Para la detección de cambios de uso y cobertura del suelo (LULC) en la cuenca del río Pao durante el periodo 2015-2017, se realizó el procesamiento de las imágenes satelitales aplicado a los píxeles de las imágenes multiespectrales asignándole la categoría de LULC a la cual pertenecía, explicado en la metodología del objetivo 1.

e) El mapa ráster del tipo de suelo para la unidad de estudio se obtuvo mediante vectorización y procesos de rasterización subsiguientes a partir del mapa de origen hecho para Venezuela, estableciendo el tamaño de celda en 30 m (Farias et al. 2020b).

3.6.4.- Fase IV. Validación de modelos matemático del proceso lluvia-escorrentía en la cuenca del río Pao, estados Carabobo- Cojedes, Venezuela

La validación de los modelos basado en el proceso lluvia-escorrentía se llevó a cabo mediante la aplicación de tres condiciones de humedad para los suelos de la cuenca del río Pao (baja, media y alta). Las condiciones fueron variadas de acuerdo con el número de curva (CN) contenido en la Ecuación 14. Se realizó la comparación de los resultados de la variable de infiltración, como el componente de pérdidas en el balance hídrico superficial en el proceso lluvia-escorrentía.

3.6.5.- Fase V.- Análisis del riesgo de inundación desde una perspectiva comunitaria, en asentamientos no controlados, de la planicie de inundación en la cuenca del río Pao estado Carabobo-Cojedes, Venezuela

En esta fase se analiza el riesgo de inundación a través del desarrollo de un método para la estimación del riesgo de inundación en la cuenca, este método se

estima sobre la base del balance hídrico en la superficie del suelo ajustado por un factor de corrección teniendo en cuenta el agua previamente almacenada en la matriz del suelo, y vincula la lluvia efectiva con la probabilidad de excedencia en la ocurrencia de los eventos de lluvia efectiva y el tiempo de vida útil de la estructura hidráulica que sería diseñada para mitigar el riesgo de inundación.

El método propuesto para generar los mapas de riesgo de inundación sigue cinco etapas: 1) estimación del mapa de precipitación efectiva, 2) generación del mapa de valores clasificados asociados a la lluvia efectiva, 3) estimación del mapa de la probabilidad de excedencia de la lluvia efectiva, 4) estimación del mapa de riesgo de inundación (5) validación del método.

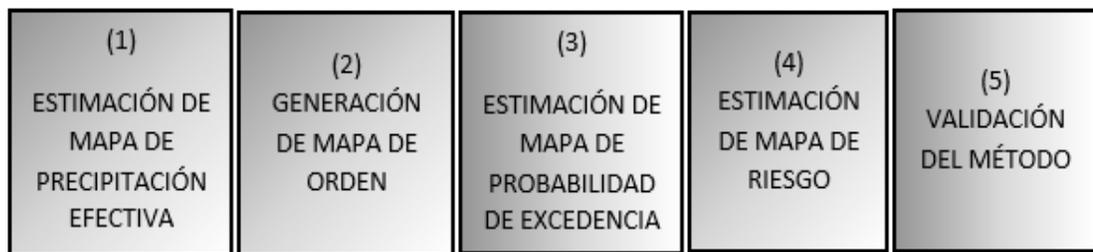


Figura 5. Diagrama de flujo de la metodología de la Fase V. Fuente: (Farías et al., 2020)

1.-Estimación del mapa de precipitación efectiva

La metodología para la estimación de esta variable se explicó en el objetivo 2 correspondiente a la obtención de las variables hidrometeorológicas.

2.- Generación de mapa del orden de la precipitación efectiva

El mapa del orden de la precipitación efectiva se produce aplicando la herramienta para la reclasificación contenida en las herramientas del módulo de análisis espacial del programa ArcGIS 10.0, que permite cambiar los valores de un mapa. De forma predeterminada, el ráster de entrada se clasifica en nueve clases para la tabla de reclasificación. Si el ráster de entrada es una capa, los valores

anteriores de la reclasificación se obtendrán del renderizador. Si el renderizador se extiende, la reclasificación se establecerá de forma predeterminada en 255 clases.

3.- Estimación del mapa de probabilidad de excedencia de precipitación efectiva.

Este mapa se obtiene utilizando el método empírico de diseño basado en eventos extremos hidrológicos expresados por la Ecuación (20) (Maidment y Djoikic 2000).

$$P(X \geq x_T) = m/n + 1 \quad (20)$$

Donde, m es el orden asociado a los datos de la serie de precipitación efectiva y representada en el mapa de clasificación de valores de lluvia efectiva obtenido en el paso 2 y n el número de datos en la serie de valores de lluvia efectiva. Se genera un mapa de órdenes asociado a los datos de la serie de precipitaciones efectivas. La herramienta 'reclasificar' se utiliza para generar el mapa de orden. Con esta herramienta, se establece una orden en cada valor de precipitación efectivo. El valor 1 está asociado al valor máximo de la serie Pe. La serie de precipitación efectiva se ordena de forma decreciente. El mapa de probabilidad de la precipitación efectiva se produce utilizando la herramienta de calculadora para ráster contenida en el menú álgebra de mapa del software ArcGIS 10.0 (Licencia ESRI de Venezuela No 37105865) (Anexo III), donde el mapa de orden de la precipitación efectiva es la entrada de ecuación 20.

4.- Estimación del mapa de riesgo hidrológico

El riesgo de inundación se determina utilizando la ecuación de diseño para eventos hidrológicos extremos (Maidment & Djoikic 2000) indicado en la Ecuación 21.

$$\bar{R} = 1 - [1 - (p(X \geq X_T))]^n \quad (21)$$

Donde, $(p(X \geq X_T))$ es la probabilidad de excedencia del evento de lluvia efectiva mensual, mediante su representación en mapa. La variable aleatoria 'X' es un evento extremo, cuando es mayor o igual que un determinado valor de umbral X_T . En esta ecuación, el término X_T corresponde al valor umbral determinado, n es la vida esperada de la estructura; R es la probabilidad de que un evento ocurra al menos una vez en n años. El período de retorno 'T' de un evento $X \geq X_T$, es el valor esperado de T, o el intervalo de recurrencia 'promedio' entre eventos extremos, igualando o superando una magnitud especificada $X \geq X_T$. Este mapa de riesgo hidrológico es producido aplicando la herramienta calculadora de raster contenida en el menú de álgebra de mapas del programa ArcGIS 10.0, al incluir la probabilidad de excedencia como entrada.

3.6.6.- Fase VI. Diseño de un plan de gestión sustentable del riesgo de inundación

El diseño del Plan de Gestión Sustentable del Riesgo de Inundación para el municipio Naguanagua, es un instrumento orientado a la planificación, administración, gestión y manejo de los recursos por parte de los grupos sociales, actores e interesados en contribuir a un mejor futuro a las comunidades establecidas en este municipio, incorporando la reducción del riesgo de inundación a las acciones de su desarrollo.

El diseño del plan de gestión sustentable del riesgo de inundación incluye 6 capítulos:

Capítulo I. Incluye los datos correspondientes a ubicación geográfica, límites, población, división político territorial y caracterización del Municipio.

Capítulo II. Incluye descripción de la metodología, incluyendo las fases y acciones que conforman el proceso participativo del plan enfocado a la resiliencia y disminución del riesgo de inundación.

Capítulo III. Corresponde al diagnóstico de las dimensiones del desarrollo del territorio, evaluando el riesgo de inundación. Se identifican problemas, sus orígenes, causas y efectos, e identificación de posibles soluciones, recursos necesarios y reflexiones retrospectivas y prospectivas.

Capítulo IV. Se presenta el contenido del PGSRI-MN, incluyendo: Objetivos, Lineamientos, Políticas, Fases, Estrategias, Programas y Proyectos.

Capítulo V. Se muestra la aplicación, evaluación y sostenibilidad del PGSRI-MN, indicaciones y estrategias para su aplicación. Caso de estudio Comunidad Las Adjuntas.

Capítulo VI. Validación y Seguimiento del PGSRI-MN.

Con la información que se generó de las fases anteriores se formuló el Plan de Gestión Sustentable del Riesgo de Inundación. Para desarrollar este objetivo se compilaron las metodologías empleadas para lograr los otros 5 objetivos de esta investigación.

En la Figura 6 se presenta el diagrama de flujo de la metodología empleada para diseñar el Plan de Gestión Sustentable del Riesgo de Inundación para el Municipio Naguanagua que incluyó las siguientes líneas a seguir: 1) Análisis y priorización de riesgos, 2) Caracterización del escenario de emergencia o desastre, 3) Inventario de los recursos locales, 4) Organización de acciones posibles de respuestas.

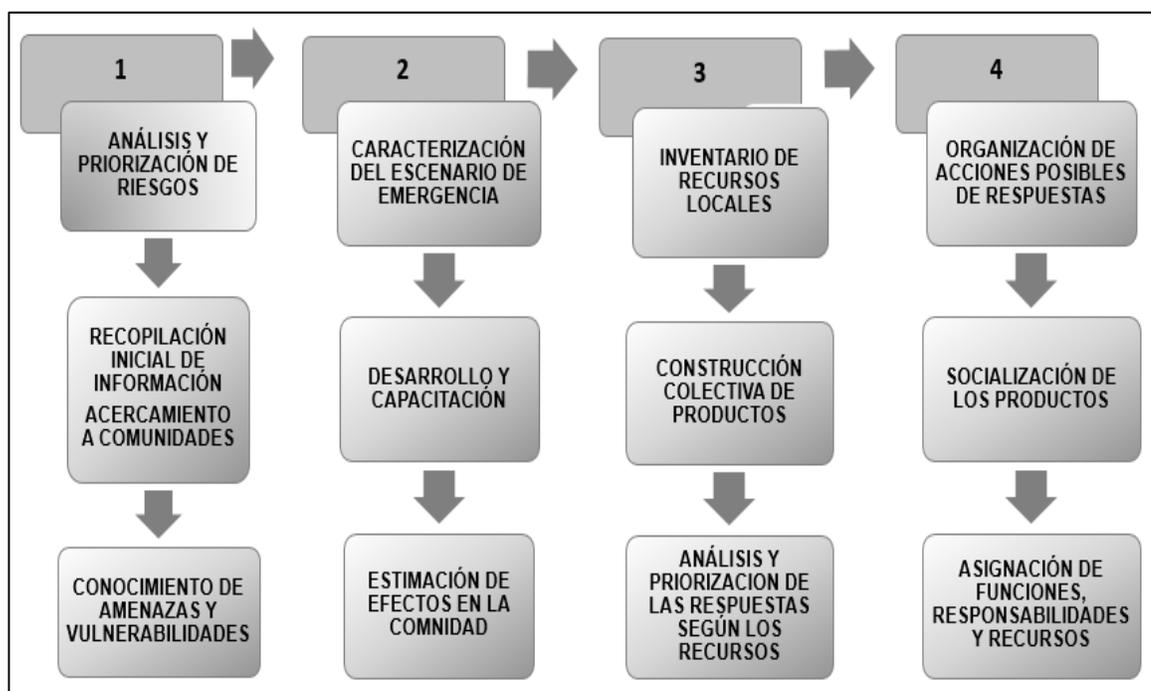


Figura 6. Diagrama de flujo de la metodología empleada en la Fase VI, para el diseño del Plan de Gestión Sustentable del Riesgo de Inundación. Farías et al., (2020)

Los pasos a seguir fueron explicados en el desarrollo de los objetivos 2 donde se expusieron las fases: 1) Análisis y priorización de riesgos, 2) Caracterización del escenario de emergencia o desastre. Quedando por desarrollar en esta fase la metodología para obtener el 3) Inventario de recursos locales y 4) Organización de posibles respuestas.

Inventario de recursos locales

En esta fase se realizó un inventario de recursos locales en la comunidad seleccionada. En esta etapa fue muy importante la participación de las comunidades para reconocer los recursos naturales y bienes productivos con que se cuentan y de esta forma lograr un plan de gestión de riesgos de inundación eficiente, ya que es necesario para determinar las zonas más propensas a la ocurrencia de inundaciones y /o emergencias. En esta fase se incluye la construcción colectiva de productos donde se elaboraron mapas de riesgo de

inundación, levantamientos y mapas comunitarios donde se refleja el inventario de recursos locales materiales y los recursos humanos con los que cuentan las comunidades para dar respuesta durante un desastre (ubicar zonas seguras, rutas de evacuación, albergues temporales, centros de acopio, centro de operaciones de emergencia local, centros de atención médica, iglesias, bodegas, farmacias, colegios y posibles refugios).

Además, se obtuvo la información correspondiente a la ubicación de las viviendas de los líderes comunitarios, miembros de juntas comunales y otras personas importantes para el desarrollo de estas actividades. Incluye además el análisis y priorización del riesgo de inundación en asentamientos no controlados, para lo cual es importante conocer cuáles son las zonas más propensas a la ocurrencia de desastres y/o emergencias, de allí la importancia de contar con herramientas como los mapas de riesgos, que son una representación gráfica de las amenazas y las vulnerabilidades presentes en la comunidad, además de reflejar la ubicación en las que se presentan.

Para la elaboración de los croquis de inundación se realiza un análisis de las experiencias pasadas, que permite recopilar información de campo, se tomaron criterios fundamentados en el Proyecto de ordenanza del Plan de Desarrollo Urbano Local y de Zonificación del Municipio Naguanagua, para ubicar las zonas de riesgo, este establece en la sección 2 en el artículo 152 del Capítulo VI: *De las variables urbanas fundamentales para las zonas con restricciones de usos: son las áreas de protección aledañas a los cauces los correspondientes a una franja de 25 metros a cada lado desde el borde del cauce de caños y ríos.*

4.-Organización de acciones posibles de respuestas

Al concluir las tres fases anteriores, que incluyen entre otros aspectos la construcción participativa de los diferentes mapas, se procede a capacitar y socializar con los habitantes de las comunidades los resultados obtenidos en fases

anteriores, con el propósito de dar *respuestas ante el riesgo* para esto es necesario realizar las siguientes actividades:

- 1.- Establecer proyectos prioritarios para la reducción del riesgo.
- 2.-Definir la metodología a aplicar para enfrentar y afrontar situaciones de riesgos de inundación.
- 3.- Asignar responsables para el cumplimiento de las actividades.

Esta metodología empleada para lograr este objetivo fue aplicada también en la investigación presentada en el Congreso Internacional de Ética y Ciudadanía de la Universidad de Carabobo. El artículo está titulado: *Propuesta de un plan de gestión sostenible del riesgo de inundación en la comunidad El Retobo en el municipio Naguanagua, estado Carabobo, Venezuela.*

CAPÍTULO IV

DESCRIPCIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1.- Caracterización espacio temporal de los usos de la tierra en la cuenca del río Pao

La caracterización espacio temporal de los usos del suelo y la cobertura terrestre que han ocurrido en la cuenca del río Pao en el año 1986 se muestra en la Figura 7 y la Figura 8 donde se muestra los cambios ocurridos en el año 2016.

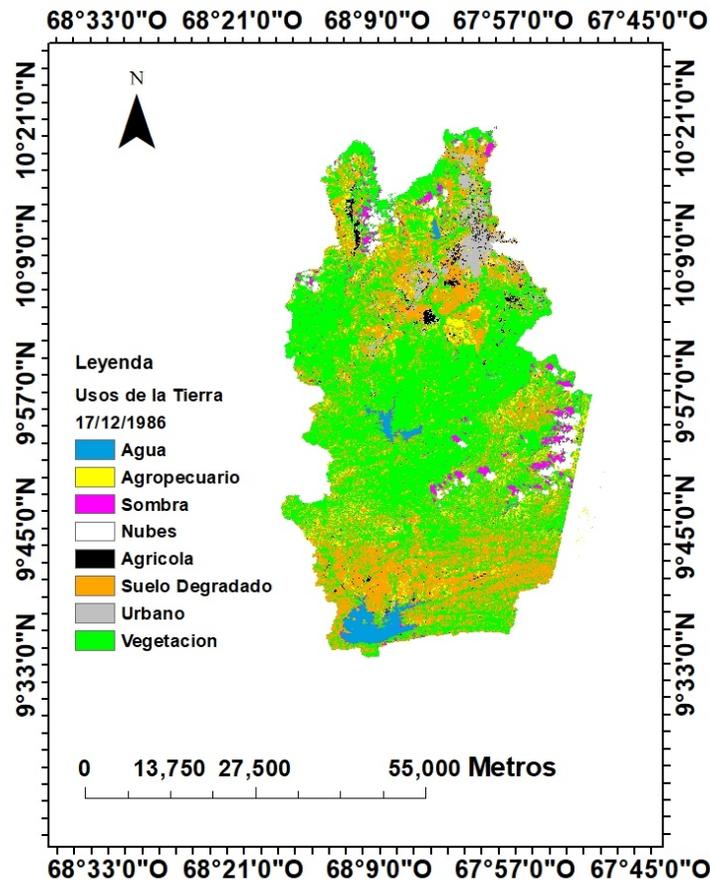


Figura 7. Resultados del método de la comparación postclasificación expresados mediante los mapas de los usos y coberturas terrestres de la cuenca del río Pao aplicado sobre imágenes de la reflectancia del satélite Landsat 5 TM, código LT50050531986351XXX03 adquirida por el satélite en fecha 17-12-1986, clasificada usando el algoritmo Maximum Likelihood en el entorno de software ENVI V 4.3 (9F3GP-B8TB6-9F7MT-FP8P4-94W92) y ArcGIS V. 10.0 (Licencia No: 31705865). Fuente: Farías et al. (2018), Márquez, Farías & Guevara, (2022).

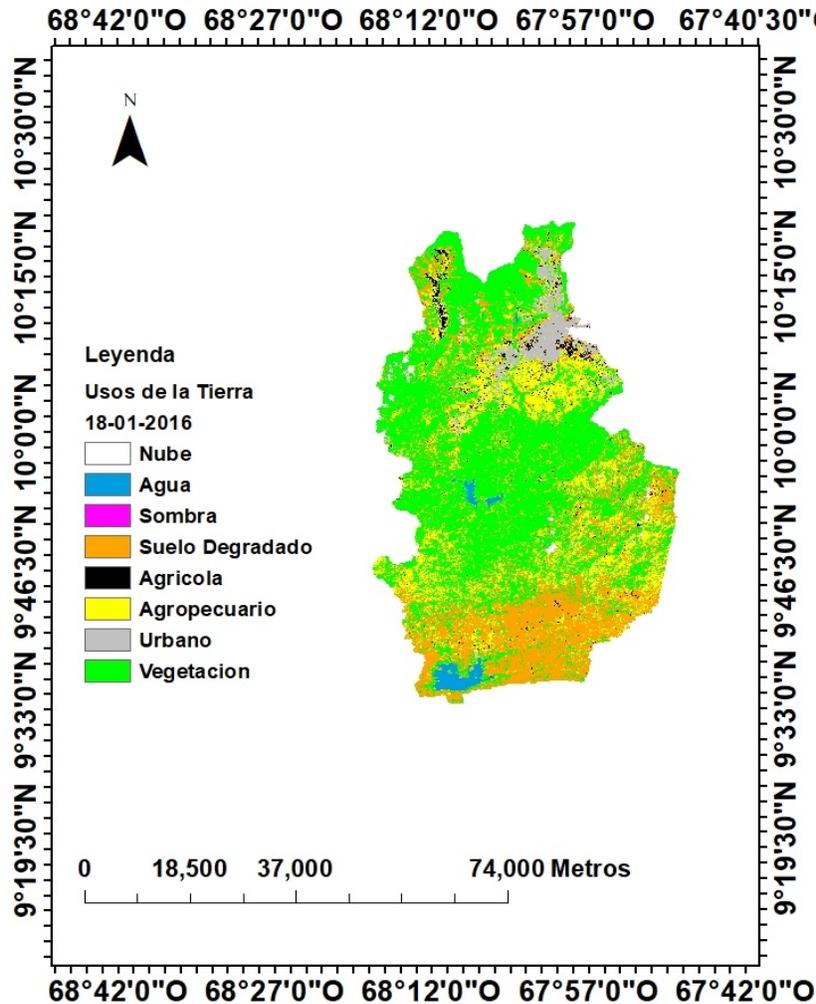


Figura 8. Resultados del método de la comparación postclasificación expresados mediante los mapas de los usos y coberturas terrestres de la cuenca del río Pao aplicado sobre imágenes de la reflectancia del satélite Landsat 8 OLI, código LC80050532016018LGN00 adquirida por el satélite en fecha 18-01-2016, clasificada usando el algoritmo Maximum Likelihood en el entorno de software ENVI V 4.3 (9F3GP-B8TB6-9F7MT-FP8P4-94W92) y ArcGIS V. 10.0 (Licencia No: 31705865). Fuente: Farías et al. (2018), Márquez, Farías & Guevara, (2022).

En la Tabla 6 se presentan los resultados del método de postclasificación expresados mediante la matriz de error correspondiente a los mapas de clasificación de los usos y las coberturas de la tierra obtenidos basados en las imágenes de la reflectancia en la cuenca del río Pao para 1986. Los resultados de la matriz de error incluyen la comparación de 256 píxeles seleccionados al azar

sobre la imagen de estudio –columna izquierda- con respecto a los usos observados en la imagen de referencia de Google Earth 1986 –fila superior-. Las clases son: 1) No Clasificado, 2) Urbano, 3) Agropecuario, 4) Agrícola ,5) Agua, 6) Vegetación, 7) Suelo degradado, 8) Nubes, 9) Sombras.

La diagonal principal muestra las celdas dentro de la imagen clasificada sin modificaciones, es decir que no sufrieron cambios. Por el contrario las clases que se encuentran fuera de la diagonal principal indican las áreas que han sufrido cambios durante dicho periodo de tiempo.

Tabla 6. Resultados del método de la comparación postclasificación para el año 1986.

Datos de Referencia													
1986													
	Uso de la Tierra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total en Filas	Exactitud de Usuario (%)	Kappa Total
Mapa Clasificado	1	66									66		1
	2		7					1			8	87.5	0.8715
	3			9				1			10	90	0.8694
	4				4						4	100	1
	5					3					3	100	1
	6						103				103	98.5	1
	7						2	54			56	96.43	0.9543
	8				1					4	5	80	0.7968
	9										1	100	1
Total en Columna		66	7	9	5	3	105	56	4	1	256		
Exactitud de Productor (%)		100	100	100	80	100	98.1	96.43	100	100		0.98046875	
Índice de Kappa Total													0.9728

Fuente: Farías et al. (2018).

Por ejemplo los píxeles en el mapa clasificado, la exactitud de usuario y el índice Kappa son: a) Urbano: 8, 87.5%, 0.8715 b) Agropecuario: 10, 90%, 0.8694 c) Agrícola: 4,100%,1, d) Agua: 3, 100%,1, e) Vegetación: 103, 98.5%,1, f) Suelo degradado: 56, 96.43%, 0.9543, g) Nubes: 5, 80%, 0.7968, h) Sombras: 1, 100%,1.

Los píxeles en la imagen de referencia y la exactitud de productor son: a) Urbano: 7, 100%, b) Agropecuario: 9, 100%, c) Agrícola: 5.80% d) Agua: 3, 100%,1, e) Vegetación: 105, 98.1%, e) Suelo degradado: 56, 96.43%, g) Nubes: 4, 100%, 1,

h) Sombras: 1, 100%. El índice de exactitud global es a 98.04% y el índice de Kappa Total es 0.9728.

En la Tabla 7 se presentan los resultados del método de postclasificación expresados mediante la matriz de error correspondiente a los mapas de clasificación de los usos y las coberturas de la tierra obtenidos basados en las imágenes de la reflectancia en la cuenca del río Pao para 2016. Los resultados de la matriz de error incluyen la comparación de 512 píxeles seleccionados al azar sobre la imagen de estudio –columna izquierda- con respecto a los usos observados en la imagen de referencia de Google Earth 1986 –fila superior-. Las clases son: 1) No Clasificado, 2) Urbano, 3) Agropecuario, 4) Agrícola, 5) Agua, 6) Vegetación, 7) Suelo degradado, 8) Nubes, 9) Sombras.

La diagonal principal muestra las celdas dentro de la imagen clasificada sin modificaciones, es decir que no sufrieron cambios. Por el contrario las clases que se encuentran fuera de la diagonal principal indican las áreas que han sufrido cambios durante dicho periodo.

Tabla 7. Resultados del método de la comparación postclasificación para el año 2016

Datos de Referencia													
2016													
	Uso de la Tierra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total en Filas	Exactitud de Usuario (%)	Kappa Total
Mapa Clasificado	1	164									164		1
	2		16	1				1			18	88.89	0.8853
	3			99			1				100	99	0.9875
	4				1						1	100	1
	5					4					4	100	1
	6						165				165	100	1
	7			1				56			57	98.25	0.9803
	8								2		2	100	1
	9									1	1	100	1
Total en Columna		164	16	101	1	4	165	57	2	1	512		
Exactitud de Productor (%)			100	98.02	100	100	99.4	98.25	100	100		99.22	
Índice de Kappa Total													0.9895

Fuente: Farías et al., (2018)

Por ejemplo los píxeles en el mapa clasificado, la exactitud de usuario y el índice Kappa son: a) Urbano: 18, 88.9%, 0.8853 b) Agropecuario: 100, 99%, 0.9875 c) Agrícola: 1,100%,1, d) Agua: 4, 100%,1, e) Vegetación: 165, 100%,1, f) Suelo degradado: 57, 98.25%, 0.9803, g) Nubes: 2, 100%, 1, h) Sombras: 1, 100%.

Los píxeles en la imagen de referencia y la exactitud de productor son: a) Urbano: 16, 100%, b) Agropecuario: 101, 98.02%, c) Agrícola: 1,100% d) Agua: 4, 100%,1, e) Vegetación: 165, 99.4%, e) Suelo degradado: 57, 98.25%, g) Nubes: 2, 100%, 1, h) Sombras: 1, 100%. El índice de exactitud global es igual a 99.22% y el índice de Kappa Total es 0.9895. Para la validación de estos resultados se realizan visitas de campo en la parte alta de la cuenca del río Pao, con el fin de comparar los resultados obtenidos de la clasificación con respecto al uso o cobertura real del terreno.

En la Figura 9 se muestran diferentes fotografías que validan la clasificación obtenida con el método de postclasificación empleado en este estudio, que reporta como usos de la tierra los siguientes: a) urbano, b) agrícola, c) agropecuario, d) agua, e) suelo degradado, f) vegetación, g) nubes, h) sombra, i) no clasificado. Las fotografías corresponden a imágenes del embalse Guataparó como muestra de uso de cobertura agua, fotografías de la zona urbana del municipio Naguanagua, zonas agrícolas, agropecuarias del municipio Bejuma.

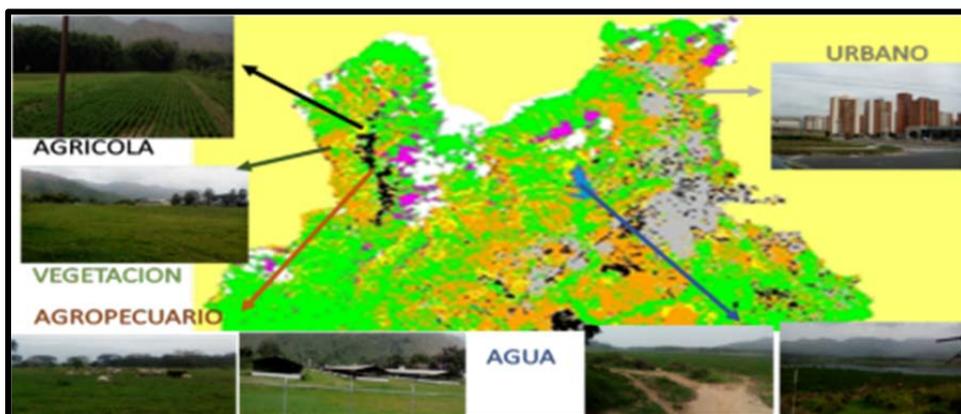


Figura 9. Verificación de las clasificaciones de usos y coberturas de la cuenca del río Pao.
Fuente: Farías et al., (2018)

Al comparar los resultados obtenidos para los índices de validación, Kappa y exactitud del productor con datos bibliográficos, los valores promedios obtenidos durante todo el periodo de estudio para el índice de exactitud del productor es 98.48% y el resultado del índice Kappa es de 0.9845. Para el resultado obtenido del índice kappa el resultado de la clasificación realizada está en la categoría de casi perfecta comparándola con el nivel de concordancia (Cerde et al., 2008). Para otros autores Kappa representa el valor de K o fuerza de concordancia, el valor obtenido cae en el rango de 0.81 a 1 que está catalogado como muy bueno.

De los resultados arrojados de la diferencia de las áreas ocupadas según cada clasificación de uso y cobertura de la cuenca se puede observar que hay dos clases que muestran un aumento entre los años 1986 y 2016. La clase urbana con un incremento de 1.37% y la clase agropecuaria con 23%. El resto de las zonas clasificadas en esta cuenca presentaron disminución a lo largo del periodo de estudio. En las Figuras 9 y 10 se puede observar que la clase urbana está alojada en mayor proporción en la zona norte de la misma, en la cuenca alta del río Pao, específicamente en el municipio Naguanagua.

En la página <http://www.ine.gov.ve> se establece que la población del municipio Naguanagua para el año 1986 estaba estimada en 94,408 habitantes, el censo del año 1990 reportó 97,572 habitantes, en el censo del año 2001 se reportaron 132,368 habitantes, en el último censo del año 2011 la población era de 157,437 habitantes. Reportándose un incremento en la densidad poblacional y la ubica con una densidad de 837.43 hab. /km², en comparación con los censos de los años anteriores. En fuentes más recientes como la generada por el Instituto Nacional de Estadística de Venezuela la proyección de la población al 30 de junio con base al censo 2011, según entidad federal y municipios, 2000-2050 no publicada; se establece que para el año 2016 la población del Municipio Naguanagua es de 183,804 habitantes con una proyección de 225,123 habitantes para el año 2050.

Discusión de resultados

Los suelos de la cuenca del río Pao tienen predominantemente partículas de muy finas a finas, siendo clasificados como clase C (escorrentía moderadamente alta) y clase D (escorrentía alta) según el sistema de clasificación hidrológica de US-SCS (United State - Soil Conservation Service). Los mapas raster de cobertura terrestre / uso de la tierra en el área de estudio se estimaron utilizando los satélites Landsat, encontrando los siguientes resultados (Farías et al., 2018; Márquez et al., 2018f, 2019; Farías et al., 2020b): (1) urbano (5%), (2) agrícola (0.6%), (3) pastizales (26%), (4) vegetación (40.5%), (5) suelo degradado (24.4%) y (6) cuerpos de agua (1.5%).

4.2.- Descripción de las variables hidrometeorológicas y las variables sociales asociadas al riesgo de inundación

4.2.1 Variables hidrometeorológicas

Las variables precipitación y evapotranspiración son medidas en las estaciones climáticas alrededor de la cuenca del río Pao, los mapas de estas variables se muestran en las Figuras 10 y 11 respectivamente.

Mientras que los resultados que representan la infiltración que ocurrió en la cuenca del río Pao durante el periodo 2015- 2017, y que fueron obtenidos con la aplicación de balance hídrico se muestran en las Figuras 12, 13, y 14; estos resultados se evaluaron de acuerdo a tres condiciones diferentes de humedad del suelo: suelo seco, suelo normal y suelo húmedo.

Precipitación

En la cuenca del río Pao se presentan dos temporadas climáticas una seca que corresponde a los meses diciembre a marzo con una precipitación mensual de baja intensidad desde 0 mm/mes a 48 mm/mes y una temporada lluviosa de abril a noviembre con una precipitación mensual que varía entre 11.58 mm/mes y 419.96

mm/mes. La Figura 10 muestra la predicción espacial de la precipitación mensual expresada en mm/mes que ocurrió en la cuenca durante el periodo 2015-2017.

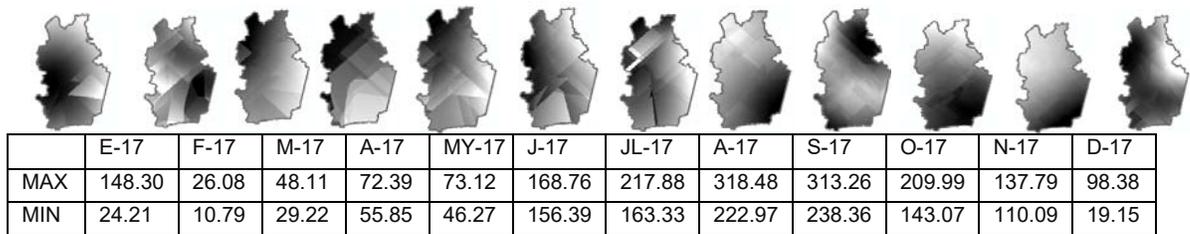
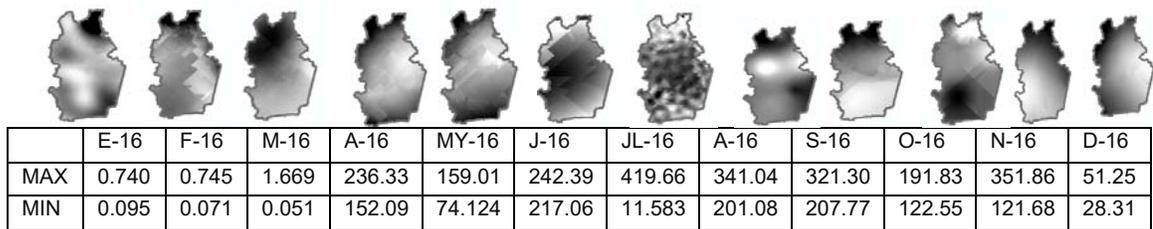
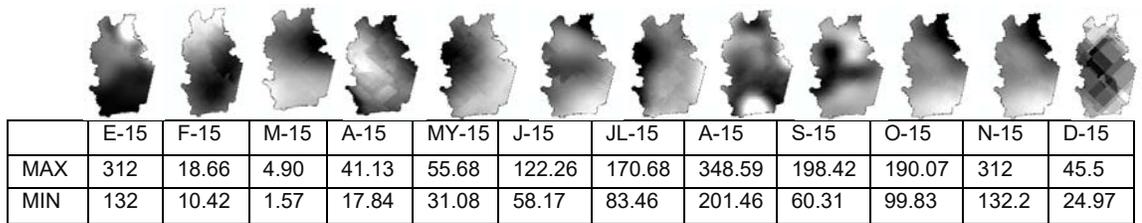


Figura 10. Predicción espacial de la precipitación mensual (mm/mes) que ocurrió en la cuenca del río Pao durante el periodo 2015-2017. Fuente: Farías et al., (2020b)

Evapotranspiración

En la zona de estudio se presentan dos temporadas una seca que corresponde a los meses diciembre a marzo con una evapotranspiración mensual que se distribuye espacialmente con una alta intensidad que alcanza hasta 1372.64 mm/mes y una temporada lluviosa de abril a noviembre con una evapotranspiración mensual que varía entre 0.00 mm/mes y 3627.8 mm/mes. La Figura 11 muestra la predicción espacial de la evapotranspiración mensual expresada en mm/mes que ocurrió en la cuenca durante el periodo 2015-2017.

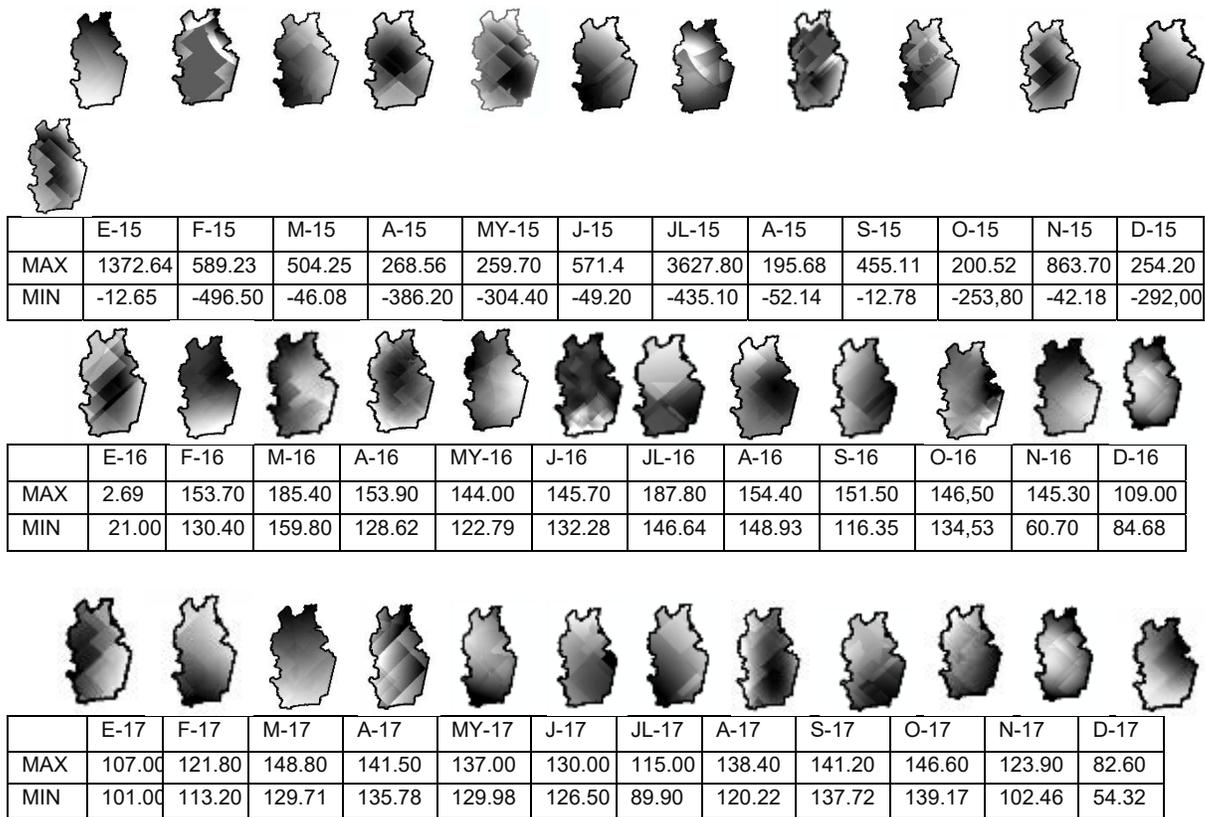


Figura 11. Predicción espacial de la evapotranspiración mensual (mm/mes) que ocurrió en la cuenca del río Pao durante el periodo 2015-2017 Figura E-15 – D-15: Enero-Diciembre 2015, Figura E-16-D-16 Enero-Diciembre 2016, Figura E-17-D-17 Enero – Diciembre 2017. Fuente: Farías et al., (2020b)

Infiltración

La infiltración mensual en la cuenca se evaluó de acuerdo a las condiciones de humedad del suelo, la condición I corresponde a suelo seco, la condición II a suelo normal y la condición III a suelo húmedo, los valores obtenidos en esta investigación del parámetro infiltración son bajos durante el período en estudio, acercándose más al valor mínimo. No se observan diferencias significativas de acuerdo a las diferentes condiciones de humedad del suelo.

Las Figuras 12,13 y 14 muestran la predicción espacial de la infiltración mensual expresada en mm/mes que ocurrió en la cuenca durante el periodo 2015-2017 bajo diferentes condiciones de humedad del suelo

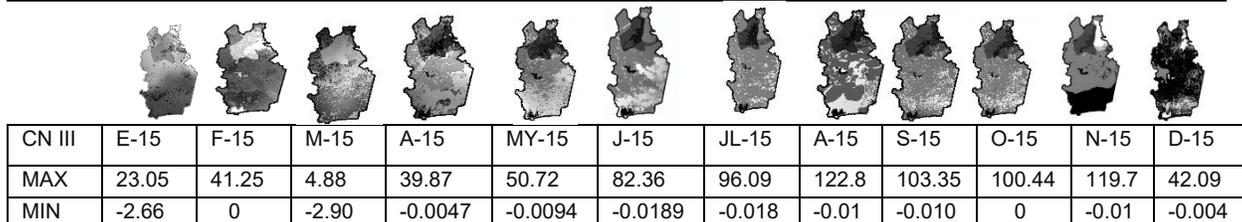
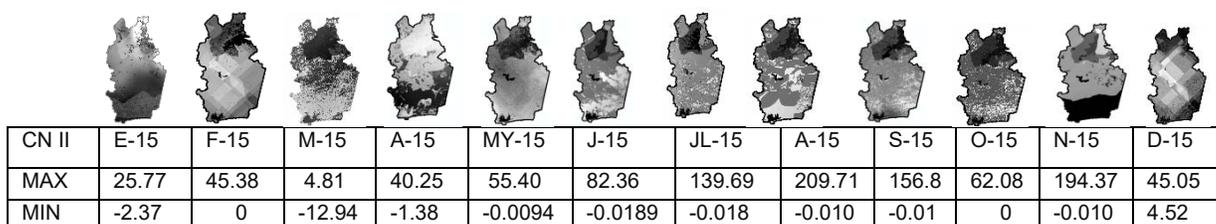
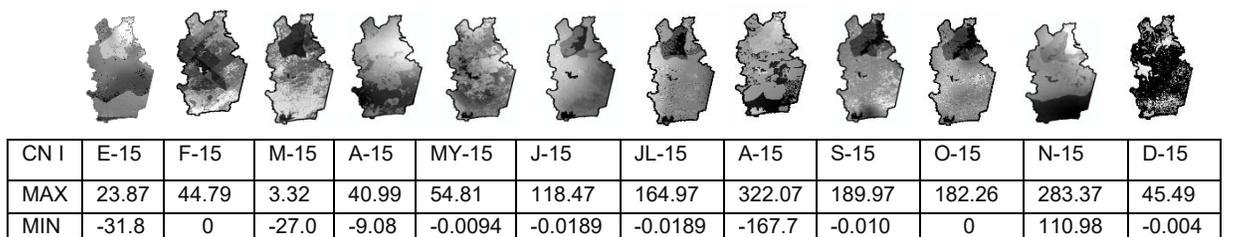
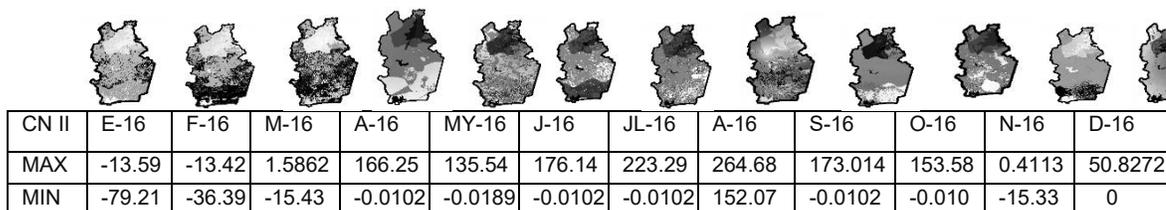
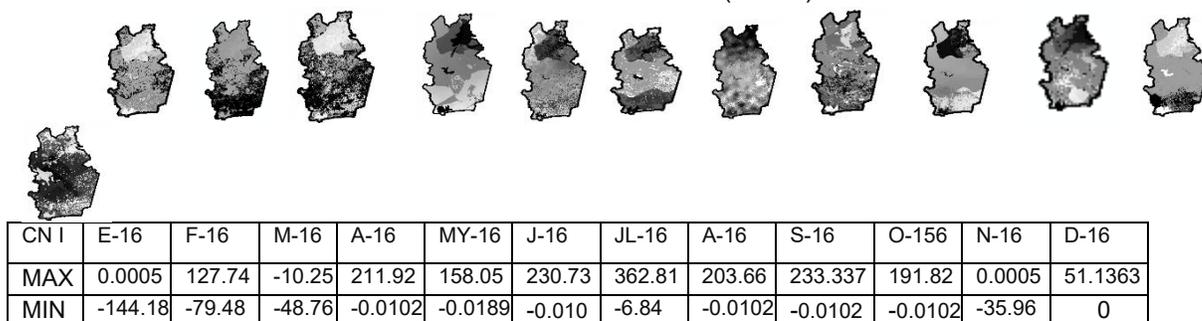


Figura 12. Predicción espacial de la infiltración mensual (mm) que ocurrió en la cuenca del río Pao durante el periodo 2015, basado en las condiciones de humedad del suelo, CN I: Suelo Seco, CN II: Suelo Normal CN III: Suelo Húmedo. Fuente: Farías et al. (2020b)



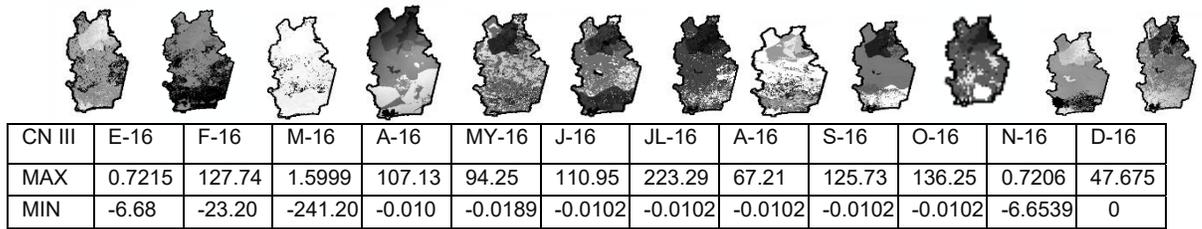


Figura 13. Predicción espacial de la infiltración mensual (mm) que ocurrió en la cuenca del río Pao durante el periodo 2016, basado en las condiciones de humedad del suelo, CN I: Suelo Seco, CN II: Suelo Normal CN III: Suelo Húmedo.

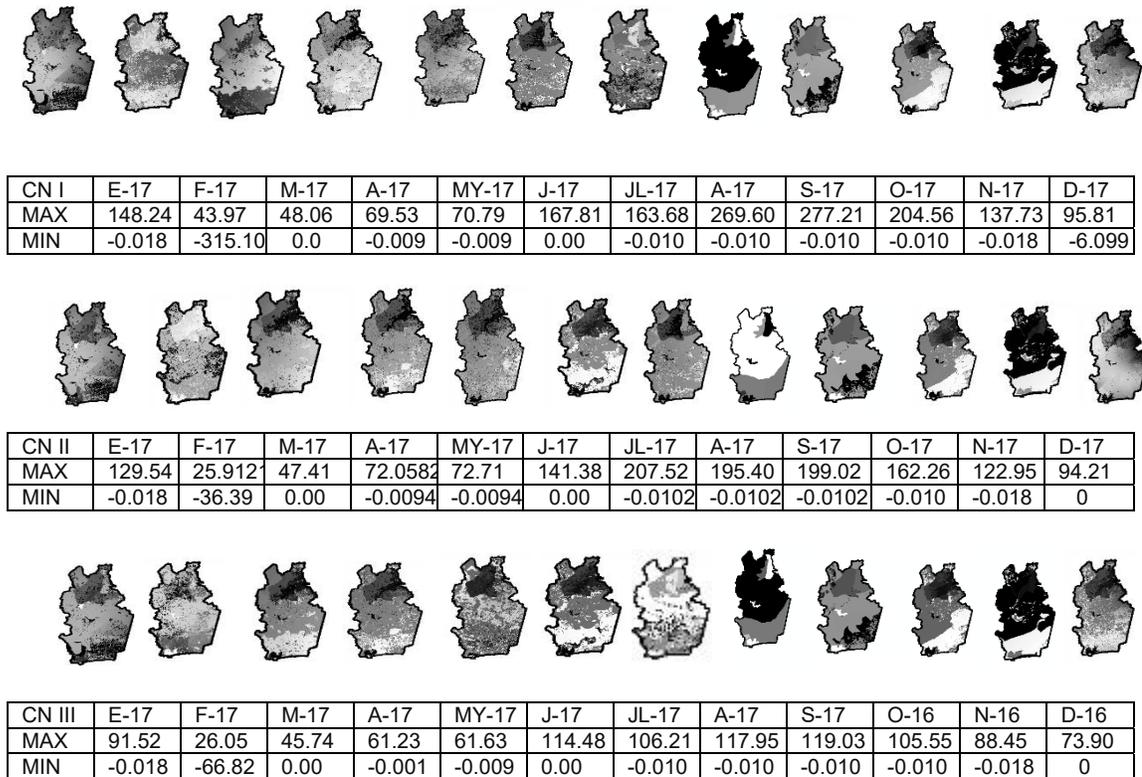


Figura 14. Predicción espacial de la infiltración mensual (mm) que ocurrió en la cuenca del río Pao durante el periodo 2017, basado en las condiciones de humedad del suelo, CN I: Suelo Seco, CN II: Suelo Normal CN III: Suelo Húmedo. Fuente: Farías et al. (2020b)

Tomando como ejemplo la temporada seca del período 2017 los valores obtenidos de la infiltración son los siguientes: enero: CI (0.0189-148.245), CII (0.00-129.54), CIII (0.0189-91.5297); febrero: CI (0.0-43.972), CII (0.00-25.912), CIII (0.00-26.047); marzo: CI (0.00-48.06), CII (0.00-47.41), CIII (0.0-45.743); diciembre: CI (0.00-95.81), CII (0.00-94.21), CIII (0.00-73.90). Durante la temporada lluviosa del

periodo 2017 se observó un aumento de la infiltración pero que no presenta diferencias significativas con las variaciones de las condiciones de humedad, el promedio máximo de infiltración fue de 227.92 mm.

Volumen acumulado

La Figura 15 representa una muestra de los resultados obtenidos del volumen almacenado mensual expresado en mm/mes para las diferentes condiciones de humedad del suelo: seco (CN I), normal (CN II) y húmedo (CN III). Durante la temporada lluviosa del periodo 2016 se observó un aumento del volumen almacenado pero que no presenta diferencias significativas con las variaciones de las condiciones de humedad, el promedio máximo de volumen almacenado fue de -88.46 mm. Los resultados presentan déficit de almacenamiento en esta cuenca para los años 2016 y 2017.

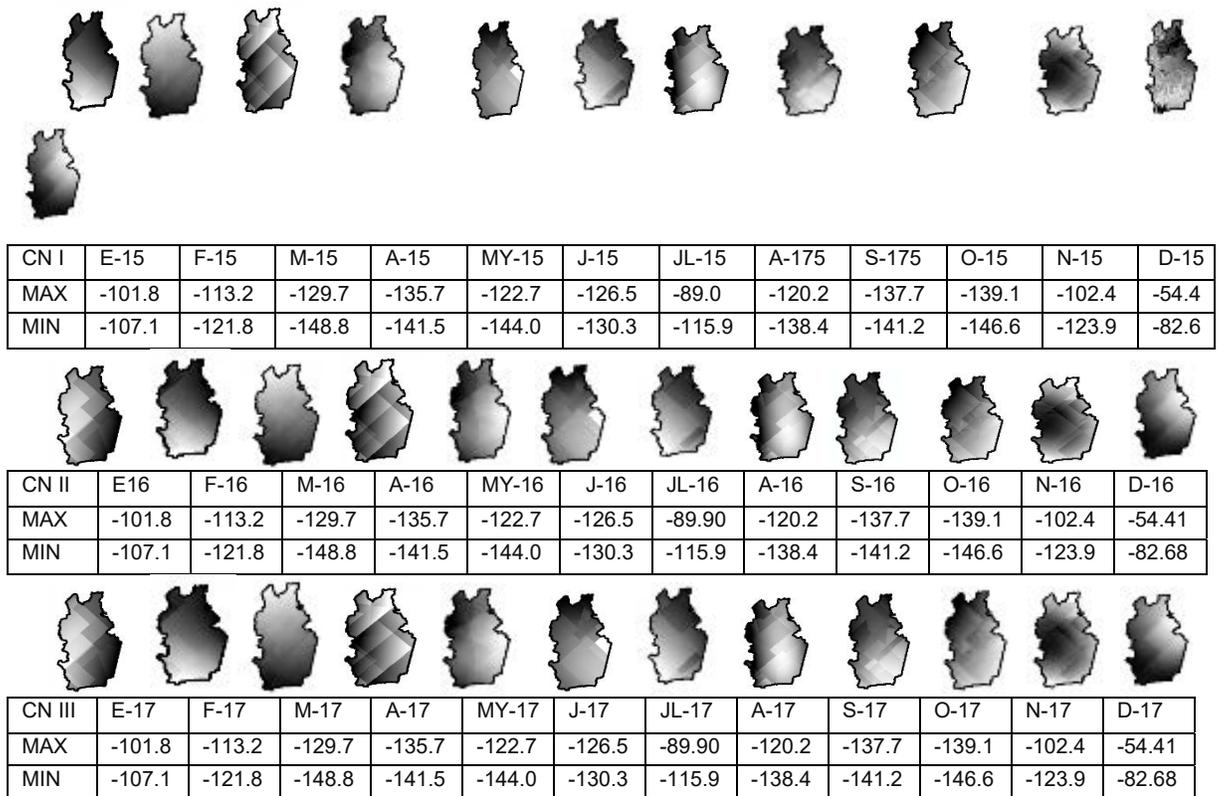


Figura 15. Predicción espacial del volumen acumulado mensual (mm) que ocurrió en la cuenca del río Pao durante el periodo 2015-2017. Fuente: Farías et al. (2020b)

Precipitación efectiva

A partir de la metodología indicada en la fase III, se obtiene la serie temporal de precipitación efectiva desde 2015- 2017 que es mostrada en la Figura 16.

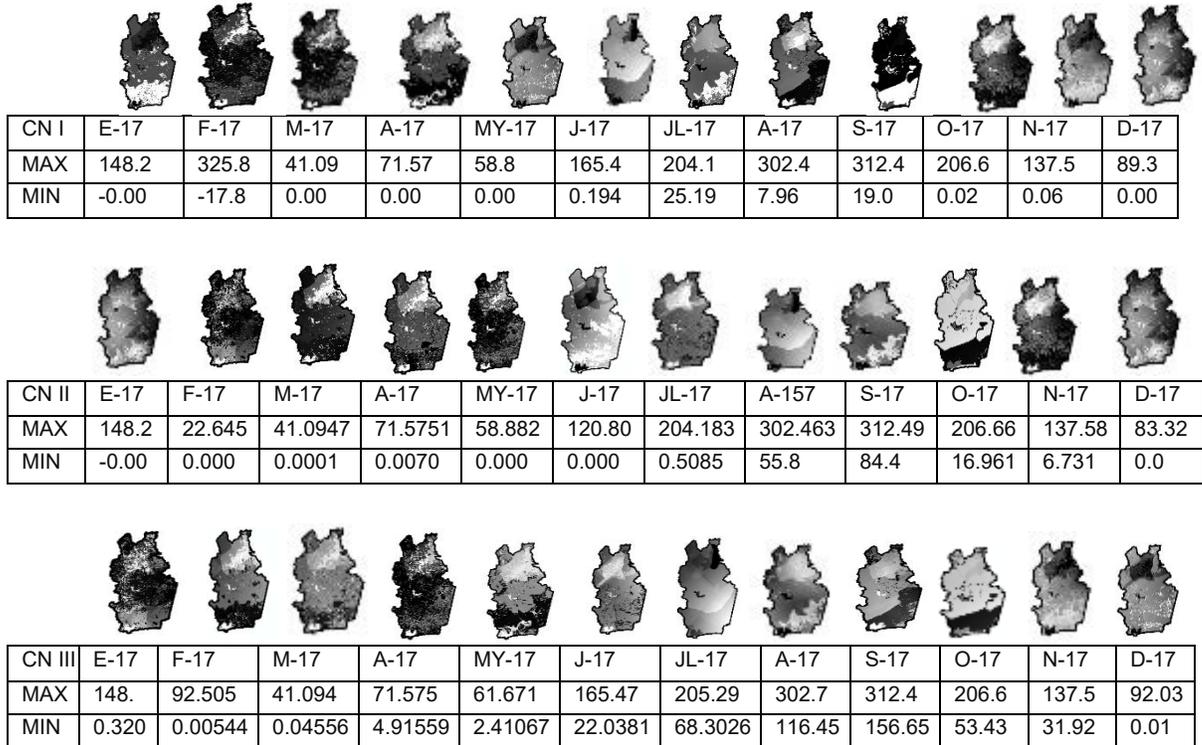


Figura 16. Predicción espacial de la lluvia efectiva mensual (mm) que ocurrió en la cuenca del río Pao durante el periodo 2015-2017. Fuente: Farías et al. (2020b).

Discusión de resultados

En cuanto a las precipitaciones, los resultados muestran que la temporada de lluvias concentra más del 85% de la precipitación anual total, mientras que en los meses secos apenas llueve con una precipitación mensual por debajo de la evapotranspiración, resultados que coinciden con los presentados por referencia Martelo (2003).

La infiltración mensual en la cuenca hidrográfica se evaluó de acuerdo con las condiciones de humedad del suelo: condición I para el suelo seco, condición II para el suelo normal y condición III para el suelo húmedo.

Durante el período estudiado en esta investigación, los valores de los parámetros de infiltración obtenidos son bajos, más cercanos al valor mínimo. No se observan diferencias significativas de acuerdo con diversas condiciones de humedad del suelo (Guevara et al., 2012). En la cuenca del río Pao, a efectos de estimación de la infiltración y escorrentía la mayor parte de la superficie está ocupada con limo orgánico del suelo, arena silty y arcilla silty que corresponde a suelos de potencial moderado para escorrentía (grupos hidrológicos C y D) los valores de la escorrentía superficial variable hace que el grado relativo que significa casi en toda la cuenca, que responde a la cubierta vegetal en temporada de lluvias y a los valores reportados déficit de almacenamiento en la cuenca (Silva-Escobar, 2009).

Los valores de escorrentía oscilan entre 0.0 y 370 mm/año en 2015; 0.0 mm a 389 mm/año en 2016, y de 0.0 a 312 mm por año en 2017, estos valores indican la cantidad potencial de precipitación que puede conducir a inundaciones en la cuenca, este parámetro es importante en esta investigación ya que es una entrada para el diseño de un Plan de Gestión de Riesgos Inundación en la cuenca. La distribución del almacenamiento en el suelo derivado del modelado del balance hídrico permite predecir espacialmente que la tendencia es hacia la ocurrencia de carga de agua hacia las montañas que delimitan la cuenca del río Pao, principalmente en la zona norte.

Para esta investigación, se seleccionó el modelo J-Bessel, representando una novedad del método utilizando variables hidrometeorológicas, ya que la literatura informa del uso de otros modelos. Esto representa una contribución de esta investigación a la comprensión de este tipo de variables hidrometeorológicas, que

se pueden aplicar a las previsiones operativas y a las acciones de prevención de inundaciones en zonas de alto riesgo.

4.2.2 Variables sociales

A partir del análisis de lluvia efectiva basado en variables intervinientes o básicas de balance hídrico y usos de la tierra efectuado sobre la cuenca del río Pao (Farías et al., 2020a, 2020b, 2020c) se encontró que el municipio Naguanagua, estado Carabobo estuvo entre las áreas de división política que abarca la cuenca del río Pao, asociado a los valores máximos de lluvia efectiva (89 a 205 mm/mes) ocurridos en la cuenca para el período 2015-2018 (Figura 16), lo que favoreció su selección para desarrollar un estudio piloto de variables sociales asociadas al riesgo de inundación, fundamentado en una experiencia de pasantía conducida por investigadores del Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales de la Universidad de Carabobo (CIHAM-U) en acuerdo con instituciones educativas y de Protección Civil del municipio Naguanagua, como se describió en la fases de investigación del Capítulo III, cuya certificación puede ser observada en el Anexo 16. Una vez definido el municipio para la aplicación del Plan de Gestión sería el municipio Naguanagua ubicado al norte del estado Carabobo, se seleccionaron las primeras 6 comunidades donde se aplicaría el plan: Colinas de Girardot I; II; y III; Las Adjuntas; Monte Sion; Brisas del Café.

El trabajo de campo realizado en esta investigación permitió recabar información correspondiente: a) distribución de la población, b) distribución de vulnerabilidad de las personas de la comunidad, c) distribución de los servicios básicos existentes en la comunidades, d) distribución de otros servicios de comunicación con que cuenta la comunidad, e) tipo de material de construcción de viviendas, f) ubicación de sitios seguros para ser utilizados como refugios, entre otros datos de importancia para la investigación. Se presentará en este documento un caso de estudio correspondiente a la Comunidad Las Adjuntas.

La distribución de la población en la comunidad Las Adjuntas se presenta en la Figura 17, donde se refleja que la comunidad está integrada por los porcentajes mostrados de personas de la tercera edad, niños y niñas, adolescentes y adultos.

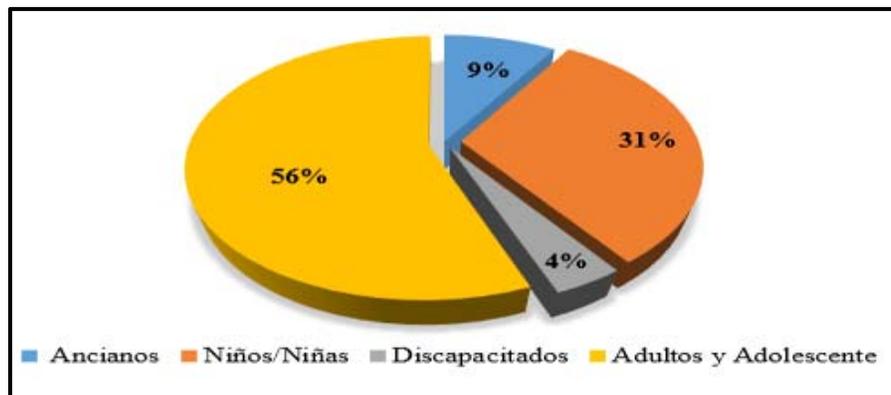


Figura 17. Distribución de la población de la comunidad Las Adjuntas.

Fuente: Farías et al. (2016b, 2017a, 2017b, 2020a, 2022)

La representación del porcentaje de personas en situación de mayor vulnerabilidad que habitan en la comunidad Las Adjuntas se muestra en la Figura 18. Las personas más vulnerables está representado por personas de tercera edad, niños, mujeres embarazadas y personas discapacitadas.

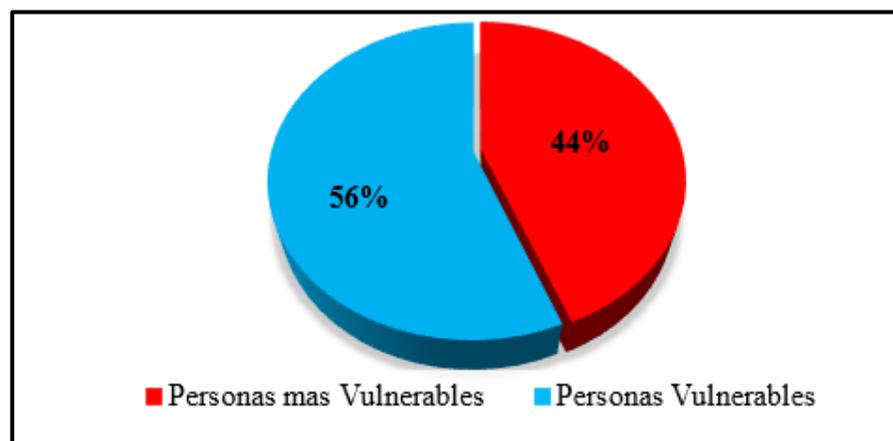


Figura 18. Distribución de la vulnerabilidad de la población de la comunidad Las Adjuntas.

Fuente: Farías et al. (2016b, 2017a, 2017b, 2020a, 2022)

Los resultados de la evaluación de la presencia o no de los servicios básicos con los que cuenta la comunidad se muestran en la Figura 19. Pudiendo observarse que la totalidad de las viviendas cuenta con los servicios básicos mínimos en la comunidad Las Adjuntas.

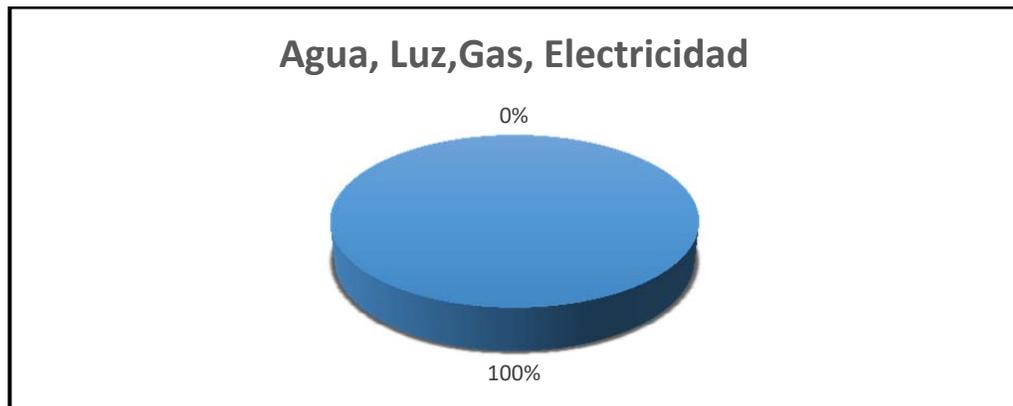


Figura 19. Distribución de los servicios básicos existentes en la comunidad Las Adjuntas.
Fuente: Farías et al. (2016b, 2017a, 2017b, 2020a, 2022)

La distribución de los servicios de comunicación con que cuentan los habitantes en la comunidad Las Adjuntas como telefonía local, Internet, telefonía por cable, tv por cable entre otros, se presenta en la Figura 20.

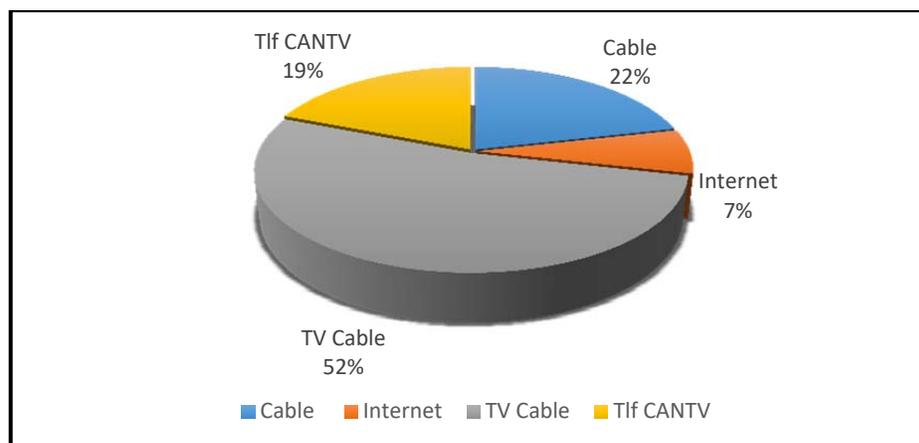


Figura 20. Distribución de otros servicios con que cuenta la comunidad Las Adjuntas.
Fuente: Farías et al. (2016b, 2017a, 2017b, 2020a, 2022)

Al recabar la información sobre cuál era el fenómeno natural que ocurría con más frecuencia en su comunidad, la respuesta fue 100% las inundaciones. Los resultados se muestran en la Figura 21.

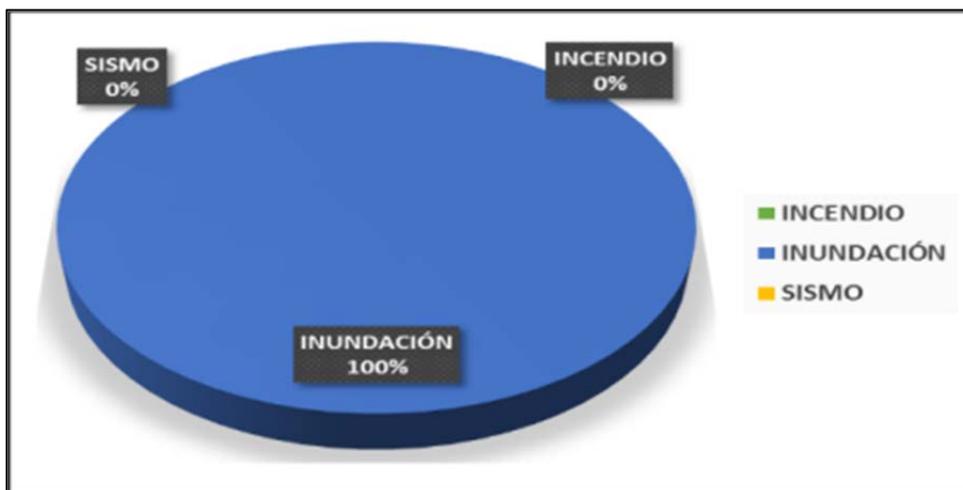


Figura 21. *Diagrama porcentual del fenómeno natural que ocurre con mayor frecuencia en la comunidad Las Adjuntas.* Fuente: Farías et al. (2016b, 2017a, 2017b, 2020a, 2022)

Del resultado del análisis a la respuesta obtenida por los miembros de todas las comunidades que formaron parte de esta investigación con respecto al fenómeno natural que los afecta con más frecuencia fue la siguiente: de una entrevista realizada al líder comunitario que prefirió mantener su nombre en incógnita se obtuvo esta respuesta:

“Las inundaciones es a lo que más le tememos, estamos más expuestos a las inundaciones, ya que la mayoría tenemos nuestras viviendas construidas en las orillas del río, hemos vivido con dolor y desesperación cómo se lleva el río nuestros familiares y bienes”.

Esto evidencia el hecho que apenas empieza la temporada de lluvias estas familias ven destruidas sus viviendas, y un alto porcentaje de estas familias pierden

sus enseres, aunado a la ubicación de las viviendas persiste el otro problema observado que es la disposición de los residuos sólidos generados en la comunidad, todo es depositado en los ríos desde desechos orgánicos hasta los escombros producto de construcciones y demoliciones.

Con respecto a la clasificación tipológica de las viviendas de los asentamientos, el resultado obtenido después de las visitas de diagnóstico a la comunidad se puede agrupar en un 80% de viviendas son tipo rancho construidas con material de desecho, recolectadas en la mayoría de los casos de sitios de disposición de basura, usan láminas de zinc deterioradas, maderas, troncos de árboles, paletas de madera entre otros, son los materiales más utilizados para construir sus viviendas.

Algunas imágenes que reflejan la ubicación de viviendas en las planicies de inundación del río Cabriales de diferentes comunidades del municipio Naguanagua se muestran en la Figura 22.





Figura 22. Ubicación de las viviendas en planicies del río Cabiliaes del Municipio Naguanagua Fuente: Farías et al. (2016b, 2017a, 2017b, 2020a, 2022)

La Figura 23 presenta algunas imágenes que reflejan los materiales utilizados para construir las viviendas en las comunidades en estudio.



Figura 23. Materiales utilizados para construir viviendas en las comunidades del municipio Naguanagua, que participaron en esta investigación. Fuente: Farías et al. (2016b, 2017a, 2017b, 2020a, 2022)

4.3.- Calibración de los modelos matemáticos del proceso lluvia-escorrentía en la cuenca del río Pao, estados Carabobo- Cojedes, Venezuela

Calibración de los modelos geoestadísticos para la predicción espacio-temporal de la precipitación

Las ecuaciones de la semivarianza de la precipitación mostradas en la Tabla 7, representando al componente estocástico de la Ecuación 22, están asociadas a la siguiente estructura general (Hengl, 2009):

$$\gamma(h) = \left\{ C_0 \text{ si } |h| = 0 \quad C_0 + C_1 \cdot J - \text{Bessel} \left(\frac{h}{R} \right) \text{ si } |h| > 0 \right\} \quad (22)$$

A continuación se presentan los parámetros de la Ecuación 22, los cuales son denominados empleando el vocabulario de los modelos de variogramas (Hengl, 2009, Gelfand et al., 2010), C_0 es el parámetro asociado a la semivarianza para $|h| = 0$ o también nugget, C_1 el parámetro umbral, R el parámetro de rango y h el parámetro del rango práctico.

En la Tabla 7 se presentan, como una muestra, los modelos calibrados para la semivarianza de la precipitación mensual para los meses dentro de la estación seca del año 2016, conteniendo los parámetros de la función de semivarianza de la precipitación mensual. La función más ajustada a las semivarianzas fue J-Bessel.

Con respecto al resultado del modelo de semivarianzas de precipitaciones ocurridas en los meses entre enero y marzo, el parámetro Nugget C_0 , representando a la semivarianza para un rango práctico ($h = 0$), resultó variar entre 0.02 y 0.16 mm, los cuales corresponden al orden en que se encontró el valor mínimo del semivariograma de las precipitaciones en las estaciones vecinas más cercanas, mientras que el parámetro umbral C_1 varió desde 0.02 hasta 0.26 mm, indicando que la estabilización en la curva de la función J-Bessel se logró para un

rango práctico (rango de dependencia espacial) que resultó variando entre 27431 y 55179 m.

La magnitud del parámetro C_0 con respecto al parámetro C_1 resultó en una diferencia de pequeña a nula, lo que se puede interpretar como un variograma que muestra tendencia a que no existe auto-correlación espacial en los datos de precipitación mensual derivados de las estaciones pluviográficas vecinas localizadas dentro de un rango R , y un significativo efecto de nugget.

Según Gelfand et al., (2010), el efecto Nugget describe la variabilidad a microescala, que ocurre a escalas tan pequeñas que no se puede distinguir del efecto del error de medición. La relación (h/R) se encontró entre 0.01 y 10.

En el caso de diciembre de 2016, existe una diferencia significativa entre C_0 y C_1 , evidenciando la correlación espacial de las precipitaciones en las estaciones pluviográficas ubicadas para un R de 121280 m, donde las diferencias entre los pares son más menos iguales a la varianza global (Hengl, 2009). Adicionalmente, en la Tabla 8 se muestran las ecuaciones de regresión lineal entre las observaciones y estimaciones de la precipitación mensual para la estación seca 2016.

Tabla 8. Modelos calibrados para la semivarianza de la precipitación mensual en la estación seca de 2016 para la cuenca del río Pao, Venezuela.

N°	MODELO	KRIGGING ORDINARIO
25	MEPE FR-OE	ENERO 2016 0.02*Nugget + 0.02* J-Bessel (27431,10) 0.55 * x + 0.13
26	MEPE FR-OE	FEBRERO 2016 0.16*Nugget + 0.26* J-Bessel (48347,1.86) 0.53 * x + 0.21
27	MEPE FR-OE	MARZO 2016 0.12*Nugget + 0.12* J-Bessel (55179,0.01) 0.52 * x + 0.15
28	MEPE FR-OE	DICIEMBRE 2016 8.33*Nugget + 159.98* J-Bessel (121280,10) 0.81 * x + 6.68

(MEPE): Modelo Estadístico de Predicción Espacial. FROE: Función de regresión entre estimaciones y observaciones. Fuente: Farias et al., (2020b).

En los resultados de la Tabla 8 se observa que la pendiente de la recta varió entre 0.52 y 0.55 para los meses entre enero y marzo de 2016, así como de 0.81 para el mes de diciembre 2016.

Estos resultados indican que se obtuvieron valores estimados en una relación desde media a alta con respecto a las observaciones de la variable precipitación mensual realizadas en la cuenca del río Pao.

.- Calibración del modelo geoestadístico para la predicción espacio-temporal de la evapotranspiración

La calibración del modelo geoestadístico para la predicción espacio-temporal de la evapotranspiración mensual en la temporada seca es mostrada en la Tabla 9, donde se observa que C_0 resultó entre 10 y 200 veces más grande comparado con C_0 para la precipitación mensual (Tabla 8), lo que implica mayor magnitud de esta variable comparada con la precipitación para los meses secos.

Tabla 9. Modelos calibrados para la semivarianza de la evapotranspiración mensual en la estación seca de 2016 para la cuenca del río Pao, Venezuela.

N°	MODELO	KRIGING ORDINARIO
29	MEPE FR-OE	ENERO 2016 1582*Nugget+ 901.4*Bessel-J(84022,0.01) 0.62 * x + 6.61
		FEBRERO 2016 31.39*Nugget+ 65.61*Bessel-J(82709,4.39) 0.56 * x + 62.27
31	MEPE FR-OE	MARZO 2016 18.187*Nugget+ 150.42*Bessel-J(57539,1.8517) 0.860 * x + 26.10
32	MEPE FR-OE	DICIEMBRE 2016 9.66*Nugget+ 59.79*Bessel-J(112880,0.01) 0.532 * x + 42.94

(MEPE): Modelo Estadístico de Predicción Espacial. FR-OE: Función de regresión entre estimaciones y observaciones. Fuente: Farias et al (2020b).

La variación entre C_0 y C_1 en los meses secos fue variada, en el orden del doble hasta ocho veces para R variando entre 57.539 y 135.640 m (Tabla 8).

En comparación con la Tabla 8, R de la evapotranspiración fue entre 2 y 2.5 mayor que R de precipitación, representando un mayor distanciamiento entre las estaciones de esta variable y la precipitación. El ajuste de las observaciones a las estimaciones resultó de medio a alto (Tabla 8).

En la Figura 22 se muestra los semivariogramas experimental y ajustado (trazado continuo de la función) de la evapotranspiración en el mes de enero 2016 para la cuenca del río Pao orientado hacia cuatro ángulos de dirección del eje principal de la elipse de rango en el modelo anisotrópico, donde se observa que los valores promedios observados del variograma experimental se aproximan satisfactoriamente al variograma ajustado en los ángulos de dirección entre 5 y 75° de las Figuras 24(a) a 24(d).

Así como se observa que los valores en una banda de error del 95% de confianza se mantienen dentro de la misma escala en cualquier dirección del eje mayor, por lo tanto la inclusión del parámetro de anisotropía no es necesario que sea considerada en el modelo del variograma ajustado. No existe una regla universal sobre si usar siempre modelos anisotrópicos o usarlos solo si el variograma muestra una anisotropía significativa.

Como regla general, si las bandas de confianza del variograma en las dos direcciones ortogonales (dirección mayor y menor) muestran una superposición <50%, entonces se debe considerar el uso de modelos anisotrópicos (Gelfand et al., 2010).

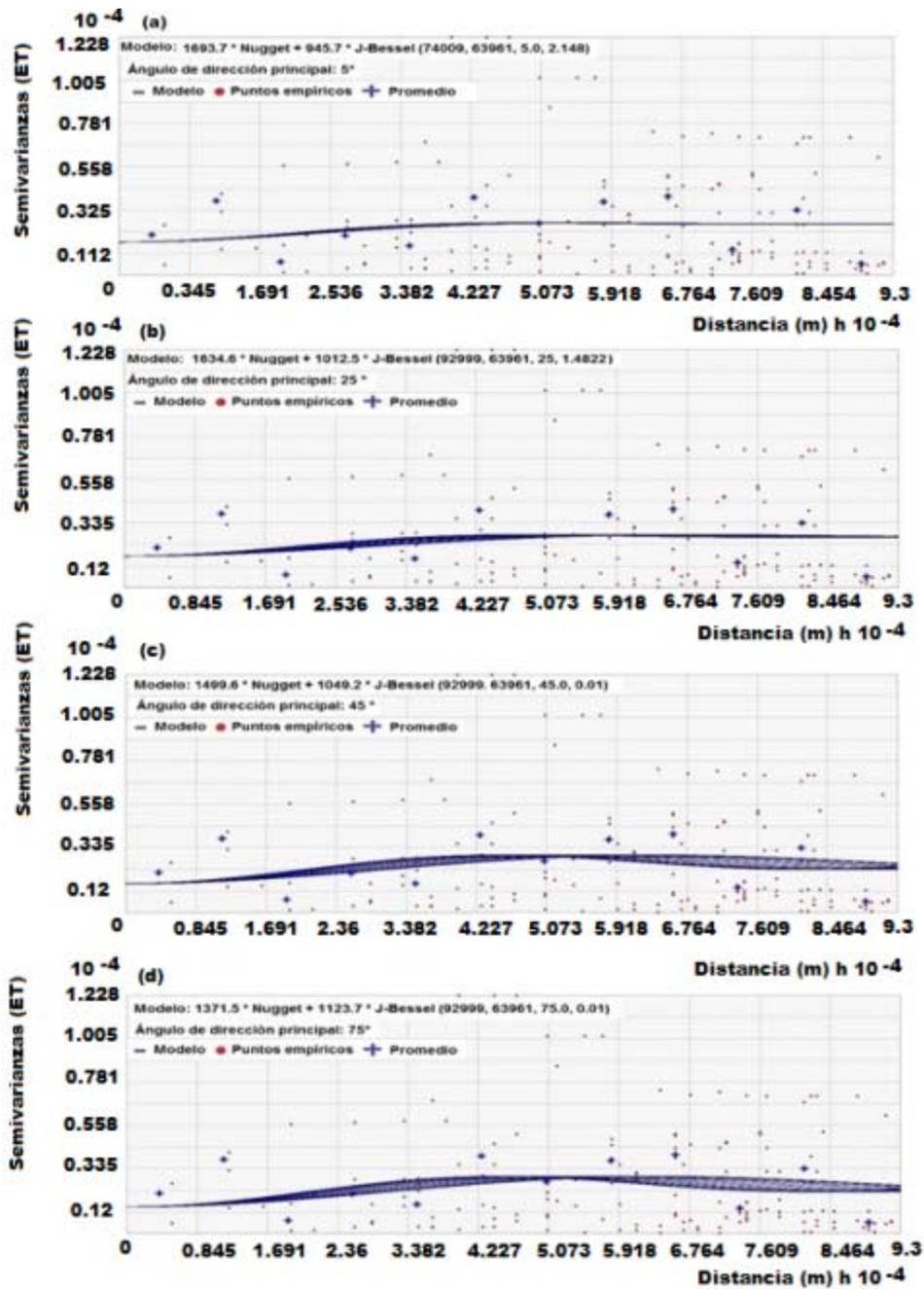


Figura 24. Semivariograma de la evapotranspiración en el mes de enero 2016 orientado en cuatro ángulos del eje principal de la elipse de rango para modelo anisotrópico con aplicación en la cuenca del río Pao. Fuente: Adaptado de Farías et al., (2020b)

Calibración del modelo geoestadístico para la predicción espacio-temporal de la infiltración mensual

La infiltración obtenida mediante el método de US-SCS (United State-Soil Conservation Service, por sus siglas en inglés) fue vectorizada y estimada a través de método geoestadístico obteniendo los resultados presentados en la Tabla 10, donde se observa que existe autocorrelación espacial de las estaciones vecinas en un R entre 4000 y 22322 m. El ajuste del mapa de infiltración observada a la estimada resultó de medio a alto (Tabla 10).

Tabla 10. Resultados del modelado estadístico de predicción espacial de la infiltración mensual durante la época seca para 2017.

N°	MODELO	KRIGING ORDINARIO
33	MEPE FR-OE	ENERO 2017 $643.4 \cdot \text{NUGGET} + 567.76 \cdot \text{BESSEL-J}(22001, 4.05)$ $0.82 \cdot X + 13.37$
34	MEPE FR-OE	FEBRERO 2017 $1469.5 \cdot \text{NUGGET} + 323.52 \cdot \text{BESSEL-J}(4202.2, 4.82)$ $0.69 \cdot X + -4.53$
35	MEPE FR-OE	MARZO 2017 $26.57 \cdot \text{NUGGET} + 29.47 \cdot \text{BESSEL-J}(20322, 4.42)$ $0.9105 \cdot X + 2.98$
36	MEPE FR-OE	DICIEMBRE 2017 $95.076 \cdot \text{NUGGET} + 205.6 \cdot \text{BESSEL-J}(23684, 3.51)$ $0.95 \cdot X + 3.140$

(MEPE): Modelo Estadístico de Predicción Espacial. FR-OE: Función de regresión entre estimaciones y observaciones. Fuente: Farias et al., (2020b)

Calibración del modelo geoestadístico para la predicción espacio-temporal de la precipitación efectiva mensual

La lluvia efectiva fue obtenida mediante el método de US-SCS (United State-Soil Conservation Service, por sus siglas en inglés), vectorizada y estimada a través de método geoestadístico obteniendo los resultados presentados en la Tabla 10, donde se observa que existe autocorrelación espacial de las estaciones vecinas en un R entre 316 y 99,638 m. El ajuste del mapa de escorrentía observada a la estimada resultó de medio a alto (Tabla 11).

Tabla 11 Resultados del modelado estadístico de predicción espacial de la escorrentía mensual durante la estación seca para 2016.

N°	MODELO	KRIGING ORDINARIO (CN II)
37	MEPE FR-OE	ENERO 2016 263.63*NUGGET+ 131.56*J-BESSEL(48774,0.63) 0.68* X + 15.32
38	MEPE FR-OE	FEBRERO 2016 40.97*NUGGET+ 55.57*J-BESSEL(99638,0.01) 0.78 * X + 5.20
39	MEPE FR-OE	MARZO 2016 29.52*NUGGET+ 14.91*J-BESSEL (76765,0.01) 0.65* X + 2.03
40	MEPE FR-OE	DICIEMBRE 2016 0*NUGGET+ 10.32*J-BESSEL(316.75,3.03) 0.96* X + 0.19

(MEPE): Modelo Estadístico de Predicción Espacial. FR-OE: Función de regresión entre estimaciones y observaciones. Fuente: Farías et al., (2020b)

4.4 Validar el modelo matemático del proceso lluvia-escorrentía en la cuenca del río Pao, estados Carabobo, Guárico y Cojedes, Venezuela.

La validación del modelo lluvia-escorrentía fue realizada estimando la variable infiltración para tres condiciones de humedad del suelo (baja, media y alta), a través del método del US-SCS, encontrando que la infiltración no varió considerablemente. La curva de infiltración para una condición de suelo baja superó a las curvas para humedades medias y bajas (Figura 25).

La respuesta observada en la curva fue debido a la influencia en la ocurrencia de los patrones anuales de variación de la precipitación y el uso y cobertura de la tierra, como se observó en las Figuras 11 a 13.

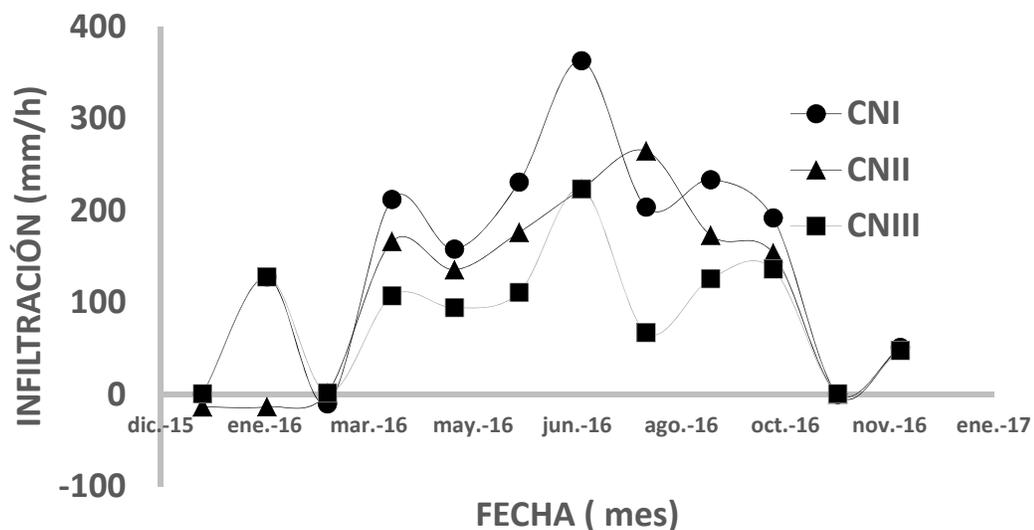


Figura 25. Comparación de la infiltración estimada para tres condiciones de humedad en los suelos: baja (CN I), promedio (CN II) y alta (CN III) usando el método de US-SCS para el año 2016 en la cuenca del río Pao. Fuente: Adaptado de Farías, (2020b).

Discusión de resultados

La tasa de infiltración se puede estimar a partir del método del US-SCS asumiendo las condiciones de humedad de suelos baja, media y alta, que ocurren en áreas con cobertura natural como bosques y suelos degradados. En las zonas agrícolas, vegetadas y boscosas de la cuenca del río Pao, la infiltración máxima mensual varió entre 0 y 400 mm/h (Figuras 12 y 27).

En estudios de campo realizados en suelos agrícolas de una de las subcuencas del río Pao, se realizaron pruebas de la tasa de infiltración tomando medidas en intervalos de tiempo de 2 y 137 minutos que oscilan en valores menores a 400 mm/h para una probabilidad acumulada del 75%, y valores atípicos entre 600 y 2,400 mm/h (Márquez, 2009; Márquez y Guevara, 2011; Guevara y Márquez, 2012). Al comparar las medidas de campo de la tasa de infiltración con los valores encontrados con aquellos obtenidos aplicado el método US-SCS para una determinada condición de humedad, se han encontrado resultados similares.

4.5 Analizar el riesgo de inundación desde una perspectiva comunitaria, en asentamientos no controlados, de la planicie de inundación en la cuenca del río Pao estado Carabobo, Guárico y Cojedes, Venezuela.

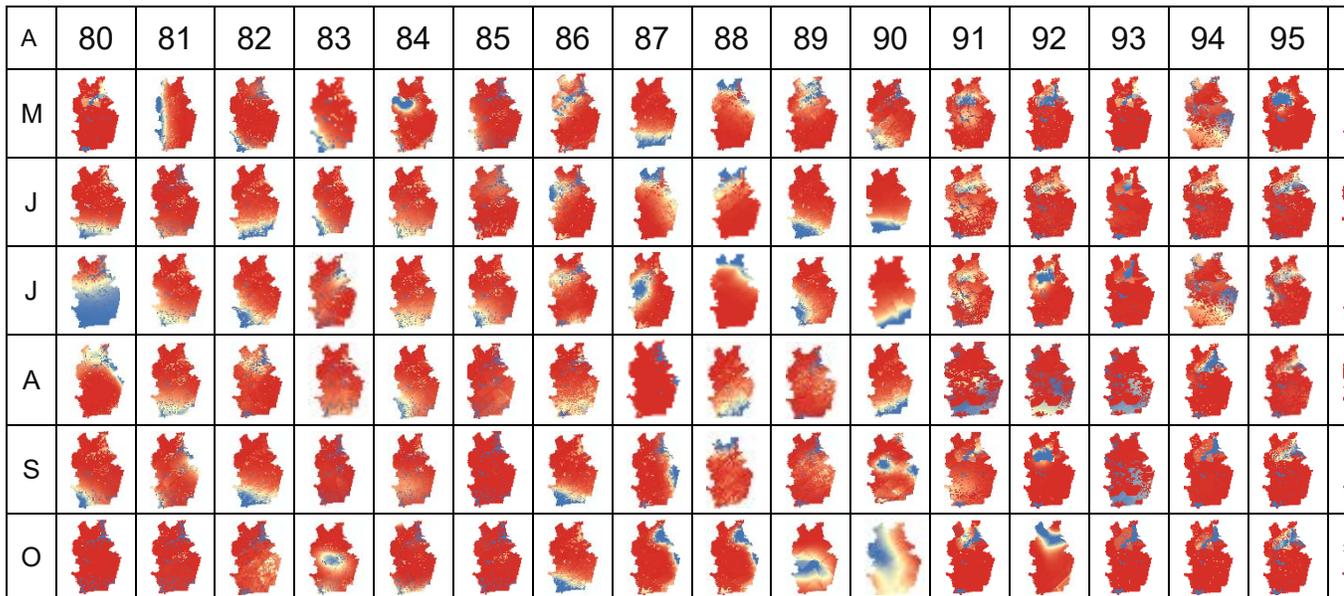
Generación de series temporales de riesgo de inundación

Los resultados del riesgo de inundación fueron obtenidos a partir de la probabilidad de excedencia de la precipitación efectiva (Ecuación 20), la cual fue obtenida mediante el modelo del US-SCS. El método propuesto para la estimación del riesgo de inundación fue calibrado usando la base de datos de precipitación en el período 1980-2000 del Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y validado con los datos registrados por la información meteorológica producida por las estaciones automatizadas del INAMEH en el período 2015-2018.

La Figura 26 muestra los mapas de riesgo de inundación obtenidos utilizando series temporales de meses lluviosos durante el período 1980-2000 para una vida útil de la estructura hidráulica de 5 años y la Figura 25 muestra los mapas de riesgo de inundación obtenidos utilizando series temporales de meses lluviosos durante el período 1980-2000 para una vida útil de la estructura hidráulica de 50 años. El riesgo de inundación se clasifica en cinco niveles, considerados como: muy alto (0.9–1), alto (0.9–0.7), medio (0.7–0.5), bajo (0.5–0.3) y muy bajo (0.3–0).

Con respecto a los mapas de riesgo de inundación obtenidos utilizando series temporales de meses lluviosos durante el período 1980-2000 para una vida de estructura hidráulica de 5 años, los resultados observados en los mapas durante el período de estudio sobre el riesgo de inundación indican que hay una tendencia que se encuentra, desde niveles que varían entre medio y muy bajo la zona urbana (región noreste) y los embalses de agua (cuenca media y baja).

En el resto de la cuenca, el riesgo de inundación se caracteriza por ser alto a muy alto donde el LULC corresponde a la agricultura y la vegetación, respectivamente.



Los resultados de la estimación del riesgo de inundación durante n= 5 años reproducen el patrón obtenido en los mapas de probabilidad de superación asociados a las precipitaciones efectivas.

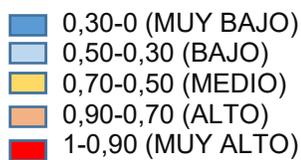
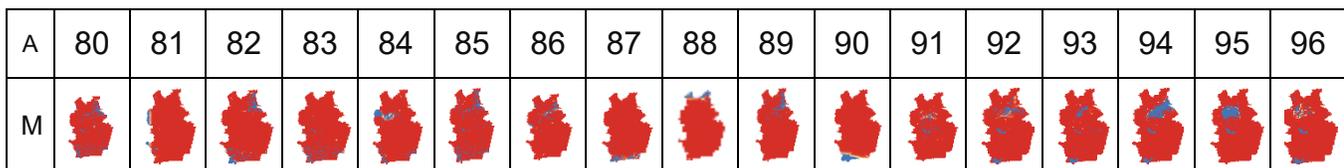


Figura 26 .Series temporales del riesgo de inundación de la vida de una obra hidráulica para n= 5 años. Fuente: Farías et al. (2020b)

La Figura 27 muestra los mapas de riesgo de inundación obtenidos utilizando series temporales de meses lluviosos durante el período 1980-2000 para una vida útil de la estructura hidráulica de 50 años



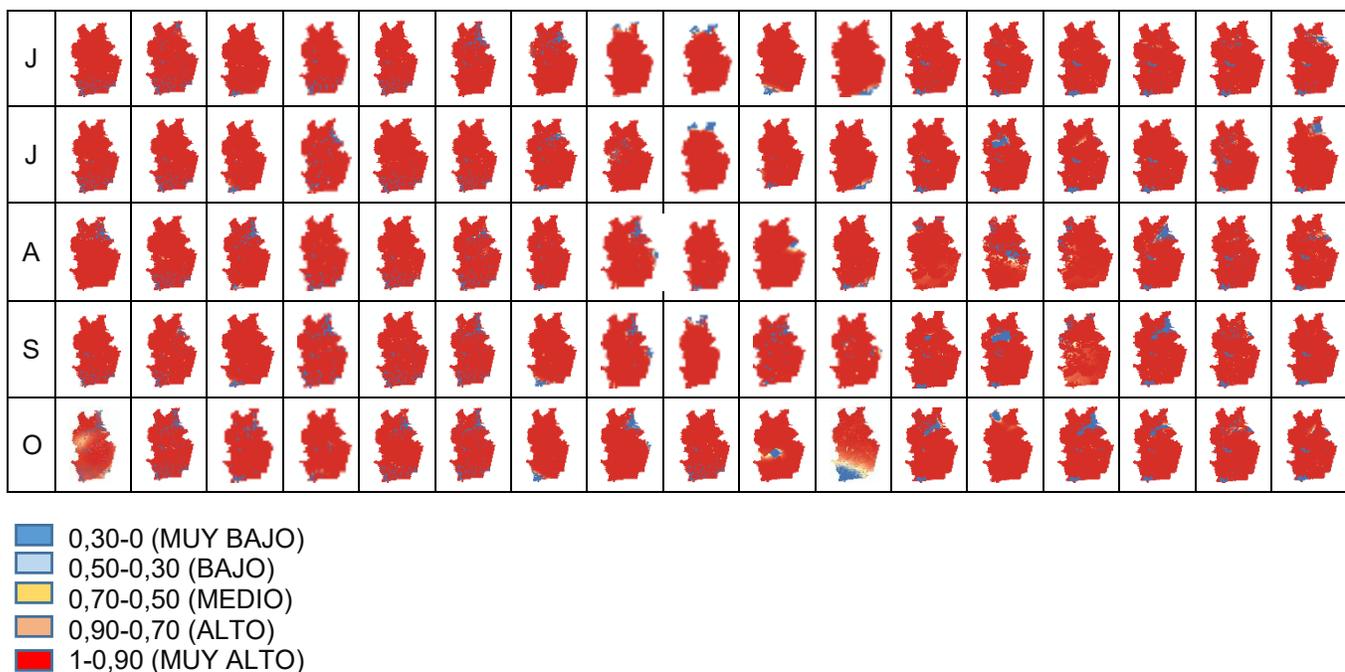


Figura 27 .Series temporales del riesgo de inundación de la vida de una obra hidráulica para n= 50 años. Fuente: Farías et al. (2020b)

Además, el riesgo de inundación representa un acercamiento a la probabilidad de superación cuando el exponente n posee tendencias para ser la unidad (Ecuación 19). La precipitación efectiva está influenciada por dos variables vinculadas a la precipitación y el parámetro CN (Ecuación 15), esta última se obtiene de los mapas LULC. Se ha encontrado que el parámetro CN ejerce una influencia para delimitar la distribución espacial de las precipitaciones efectivas; como resultado, los valores más altos se producen en las zonas pavimentadas, las zonas húmedas y cuerpos de agua de la cuenca.

Con respecto a los mapas de riesgo de inundación obtenidos utilizando series temporales de meses lluviosos durante el período 1980-2000 para una vida de estructura hidráulica de 50 años, los resultados observados en los mapas durante el período de estudio con respecto al riesgo de inundación indican que el término asociado a la expresión matemática de la probabilidad de no excedencia disminuye significativamente a medida que n se incrementa (Ecuación 20). La expresión

matemática final se aproxima a la probabilidad de superación, que representa el riesgo de inundación y se cierra a la unidad.

La mayor probabilidad de riesgo de que el trabajo hidráulico se supere al menos una vez se obtiene de la mayor zona de cuenca que cubre las áreas de uso agrícola y cubierta vegetal, que varían entre 0.92 y 1. En estas áreas de alto riesgo de inundación se produce una menor precipitación efectiva. El riesgo de excedencia de las obras hidráulicas proyectadas disminuye, oscilando entre 0 y 0.79 en las zonas urbanas donde se producen precipitaciones efectivas, con los valores más altos durante la temporada de lluvias.

El modelo de riesgo de inundación es sensible a la detección como áreas de riesgo moderado a bajo las de uso urbano y donde hay obras hidráulicas para el uso y control del agua. Este es el caso de los tres embalses de agua construidos en la cuenca para el suministro de agua para el consumo humano, la agricultura y como obras de mitigación de inundaciones. La sensibilidad del modelo está relacionada con el hecho de que la CN es una de las más altas en áreas urbanizadas y cuerpos de agua.

Resultados del análisis de la serie temporal de riesgo de inundación

Los resultados del análisis de la serie temporal de riesgo de inundación se muestran en la Figura 28, representada por los componentes principales (PCs) obtenidos de los mapas de riesgo de inundación para el mes de mayo para la serie temporal 1980-2000 en la cuenca del río Pao, Venezuela: (a–d): PCs N 1 a N 4 durante $n = 5$ años. (e–h): PC N 1 a N 4 durante $n = 50$ años. En cuanto a los PC N 1 a N 4 para una vida útil del trabajo hidráulico de $n = 5$ años (Tablas 1 y 2), PC1 recoge el 36% de la variación en el riesgo de inundación, PC2 contiene 15.81% (acumulado 51.81%), PC3 10.19% (62%) y PC4 7.86% por los componentes principales como la variable principal, las observaciones encontradas en la serie temporal de riesgo de inundación.

La Figura 28 (a) muestra que el riesgo estimado de inundación, basado en la serie temporal de precipitación y las imágenes satelitales clasificadas en el período 1980-2000, se encontró que se localizaban en la región noreste y central en un rango de muy bajo a bajo, que ocurre en las zonas donde los usos del suelo son urbanos y la cobertura del suelo está cubierta por los reservorios de agua. Este mapa PC1 (Figura 28 (a)) también muestra que el riesgo de inundación está categorizado entre medio y muy alto ocurrió en la mayor parte de la proporción de área en la cuenca a lo largo del período de estudio.

El PC2 muestra en una forma mejor delineada la distribución espacial del riesgo de inundación en la zona urbana evaluada a un nivel muy bajo (color negro). En general, el PC2 a PC4 muestra de una manera sucesivamente más difusa la ubicación de la ocurrencia de riesgo de inundación en la cuenca del río Pao. Los resultados de los principales componentes para el riesgo de inundación estimados asignando la vida útil de las obras hidráulicas como 50 años hasta el período 1980-2000 muestran un patrón con respecto a los encontrados durante $n = 5$ años (Figura 29(e)–29(h)).

Las zonas de usos y coberturas identificadas por usos urbanos y embalses de agua se corresponden principalmente con el bajo riesgo de inundación. En esta figura, el riesgo de inundación se clasifica en dos extremos, siendo muy bajo y muy alto. El PC1 (Figura 29(e)) contiene el 29.84% de varianza en el riesgo de inundación.

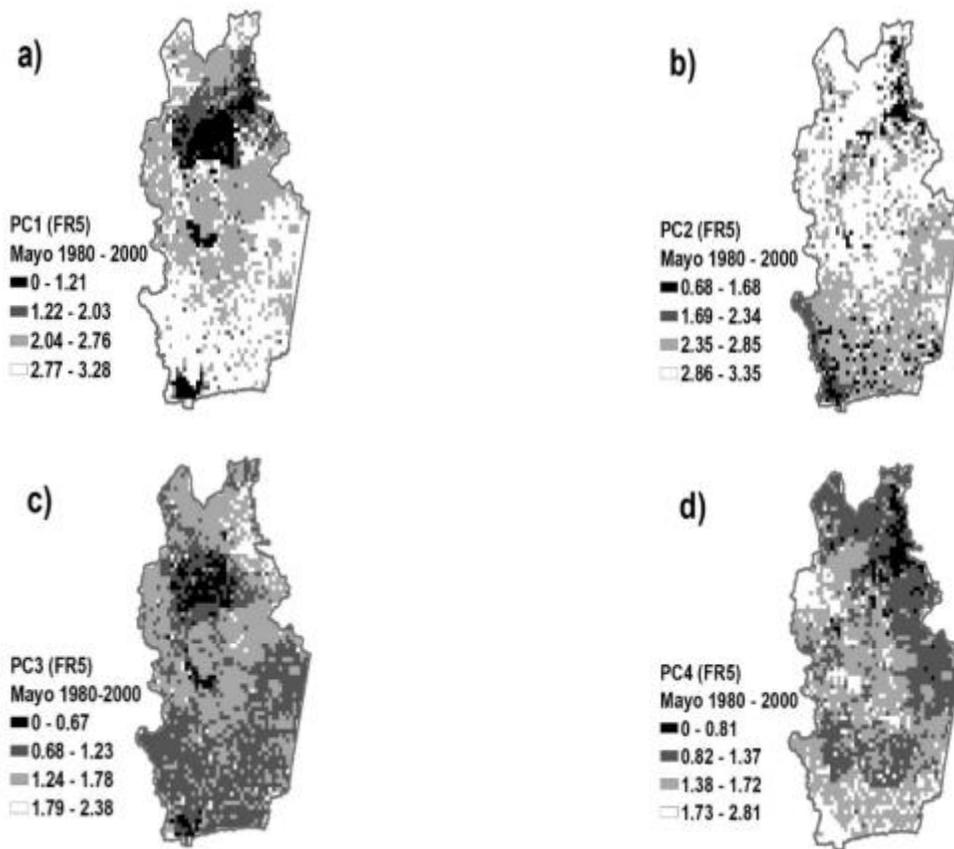


Figura 28. Componentes principales (PC) obtenidos a partir de mapas de riesgo de inundación para el mes de mayo para la serie temporal 1980-2000 en la cuenca del río Pao, Venezuela: (a-d): PCs no 1 a N-4 durante n.= 5 años. Fuente: Farías et al., (2020c)

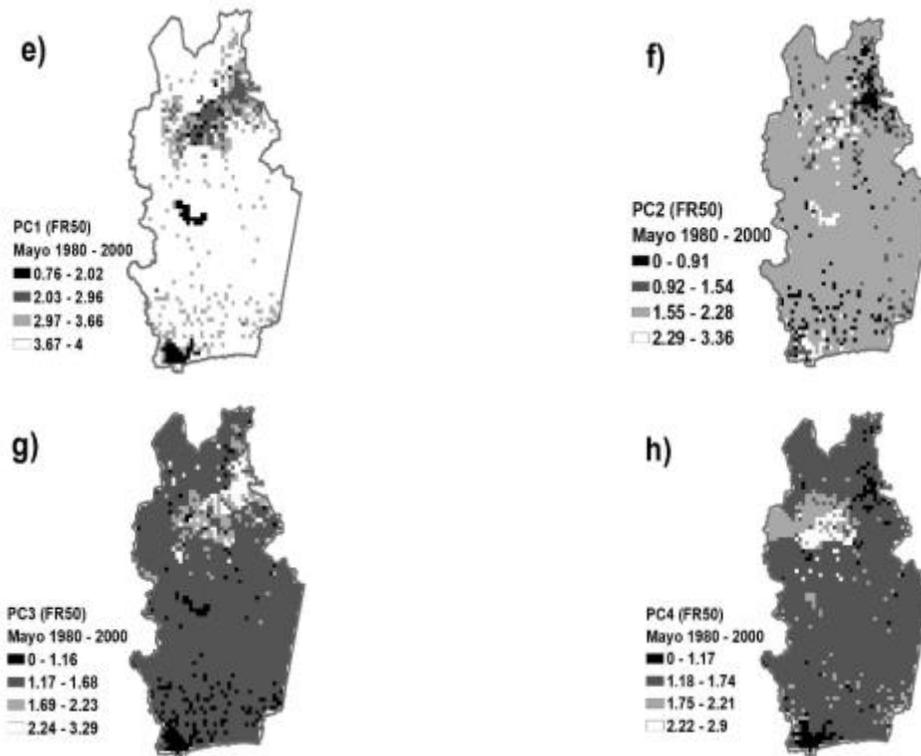


Figura 29. Componentes principales (PC) obtenidos a partir de mapas de riesgo de inundación para el mes de mayo para la serie temporal 1980-2000 en la cuenca del río Pao, Venezuela: (e-h): PCs no 1 a N-4 durante n.= 50 años. Fuente: Farías et al., (2020c)

La Tabla 12 muestra los resultados del método de transformación de los componentes principales expresados por eigenvalores, que representan las varianzas de cada PC derivadas de los mapas de riesgo de inundación durante el período 1980-2000, en la cuenca del río Pao, Venezuela, durante n =5 años y n = 50 años. El vector de varianzas de los PCs en los mapas de riesgo de inundación para un mes determinado dentro de la temporada de lluvias es similar a cada uno de los que se encuentran entre los seis meses dentro de la temporada de lluvias (mayo-octubre), lo que significa que la varianza no es significativa, y muestran un patrón espacio-temporal en la ocurrencia del riesgo de inundación. El porcentaje de varianza encontrado en el riesgo de inundación representado por PC1 varía

entre el 29 y el 36% durante el período de estudio. Como muestra, el vector de valores propios para mayo en la serie temporal 1980-2000 para $n = 5$ años es PC1 (0.34), PC2 (0.15), PC3 (0.098), PC4 (0.076), PC5 (0.059) y PC6 (0.045).

Tabla 12. Resultados del método de transformación de los principales componentes expresados por los valores eigenvalores a partir de mapas de riesgo de inundación durante el período 1980-2000

Periodo	Mes	Componentes Principal	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
1980-2000	Mayo	Eigenvalores	0.34	0.15	0.098	0.076	0.059	0.045
		Proporción Acumulada	36.00	51.81	62.00	69.86	76.03	80.68
1980-2000	Junio	Eigenvalores	0.25	0.19	0.085	0.077	0.052	0.045
		Proporción Acumulada	31.20	55.37	66.07	75.72	82.25	87.97
1980-2000	Julio	Eigenvalores	0.24	0.14	0.081	0.060	0.054	0.037
		Proporción Acumulada	31.72	49.66	60.05	67.82	74.76	79.61
1980-2000	Agosto	Eigenvalores	0.24	0.18	0.12	0.096	0.067	0.054
		Proporción Acumulada	28.70	50.25	65.22	76.40	84.17	90.47
1980-2000	Septiembre	Eigenvalores	0.26	0.19	0.08	0.07	0.05	0.04
		Proporción Acumulada	29.07	50.51	60.10	68.02	74.38	79.34
1980-2000	Octubre	Eigenvalores	0.32	0.18	0.12	0.06	0.05	0.04
		Proporción Acumulada	36.06	56.93	70.02	76.49	81.81	86.51
1980-2000	Mayo	Eigenvalores	0.17	0.09	0.06	0.04	0.027	0.023
		Proporción Acumulada	29.84	45.81	56.81	65.02	69.72	73.71
1980-2000	Junio	Eigenvalores	0.17	0.075	0.055	0.031	0.027	0.023
		Proporción Acumulada	37.98	54.23	66.03	72.80	78.71	83.77
1980-2000	Julio	Eigenvalores	0.16	0.092	0.038	0.029	0.027	0.024
		Proporción Acumulada	35.20	55.32	63.73	70.05	76.02	81.14
1980-2000	Agosto	Eigenvalores	0.13	0.086	0.064	0.029	0.022	0.017
		Proporción Acumulada	30.22	50.02	64.78	71.54	76.66	80.76
1980-2000	Septiembre	Eigenvalores	0.168	0.107	0.077	0.034	0.027	0.024
		Proporción Acumulada	31.14	50.92	65.20	71.64	76.71	81.22
1980-2000	Octubre	Eigenvalores	0.237	0.128	0.073	0.041	0.033	0.022
		Proporción Acumulada	37.84	58.25	69.99	76.56	81.90	85.42

Fuente: Farías et al. (2020c)

4.5.- Validación de modelos matemático del proceso lluvia-escorrentía en la cuenca del río Pao, estados Carabobo- Cojedes, Venezuela

Validación del método de estimación del riesgo de inundación

La validación del método de riesgo de inundación se deriva del mapa de riesgo de inundación para la serie temporal 1980-2000 utilizando la serie temporal actualizada del mapa de riesgo de inundación 2015-2018 aplicando la técnica de detección de cambios basada en la diferencia de PC N 1 en la cuenca del río Pao, Venezuela, se muestra en la Figura 30. En esta figura se puede observar que el riesgo de inundación no cambia la ocurrencia del patrón espacial de una manera significativa. La diferencia de PC1 para el período tomado como muestra, el mes de octubre, entre 1980-2000 Figura 30(a)) y 2015-2018 Figura 30(b), da como resultado el mapa de la Figura 28(c), que muestra que la diferencia de PC1 no es significativa. Este resultado puede explicarse porque el patrón encontrado en el período 1980-2000 corresponde a la distribución espacio-temporal actual observada en el período 2015-2018, validando el método propuesto y las áreas comprometidas en la extrema ocurrencia de riesgo de inundación.

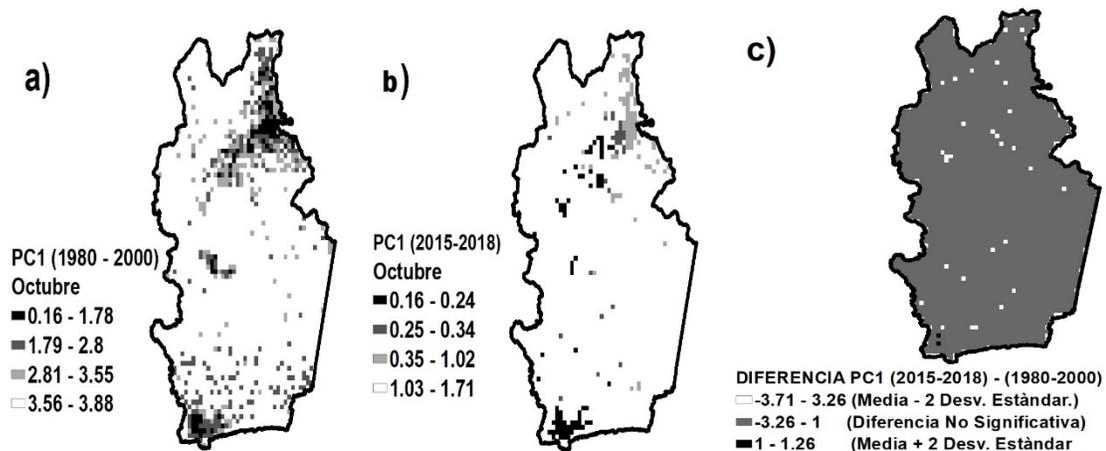


Figura 30. Validación de resultados encontrados en el PC N°1 derivada del mapa de riesgo de inundación para la series de tiempo de 1980-2000 utilizando la serie temporal actualizada 2015-2018 de mapa de riesgo de inundación comprar aplicando la técnica de detección de cambios basada en la diferencia de PC No 1 en la cuenca del río Pao, Venezuela. Fuente: Farías et al., (2020c).

Discusión de resultados:

Los métodos de riesgo de inundación generados en otros estudios difieren del método propuesto en esta investigación, en los siguientes aspectos:

(a) El riesgo de inundación no aparece como una variable directa representada de manera distribuida espacialmente o agrupada hasta 2016 (Garnica y Alcántara 2004; Hlavcova et al., 2005; Kwak et al., 2011; Balica et al., 2013).

(b) La combinación de las variables tradicionales para la estimación del riesgo de inundación, como el peligro y la vulnerabilidad (Garnica y Alcántara 2004; Kwak et al., 2011).

(c) (Criterios empíricos cualitativos para evaluar el nivel de riesgo de inundación basado en matrices con criterios de ponderación a escalas.

(d) (d) La falta de uso de herramientas tecnológicas, como la teledetección, que producen imágenes satelitales, modelos digitales de elevación, herramientas computacionales SIG utilizadas en técnicas de clasificación LULC, así como modelos geoestadísticos.

Las ventajas del método propuesto para la estimación del riesgo de inundación consisten en:

(1) Tener dinámicas inherentes de cambios en dos variables de medición directa en el campo como LULC y precipitación,

(2) Utilizar tecnología avanzada basada en teledetección, cuyos productos se constituyen de las imágenes satelitales de las que se obtiene una distribución espacio-temporal de LULC,

(3) Aplicar un método probabilístico para la determinación de la probabilidad de superación de precipitación efectiva.

(4) Aplicar el método en un software SIG mediante el uso de una ecuación determinista para obtener la distribución espacio-temporal del riesgo de inundación.

Discusión de resultados desde la perspectiva comunitaria

En el municipio Naguanagua la vulnerabilidad física de la población se materializa en el establecimiento de comunidades que viven a lo largo de los ríos Carialinda, Retobo y Cabriales. Esta situación se ve agravada por la falta de actividades de preparación, atención, equipamiento y mitigación que permitan hacer frente a las emergencias y desastres, desde las estructuras comunales hacia las municipales y viceversa.

Por otro lado el terreno de las comunidades está en un nivel bajo y por ende es fácil de inundar, a esto le sumamos todas las acciones realizadas para crear escenarios de alta vulnerabilidad ante las inundaciones y erosión debido a: precipitación excesiva que sobrepasa las capacidades normales de infiltración de agua, escorrentías y drenajes del área, y al hecho que en las márgenes de los ríos y en sus planicies inundables es común encontrar asentamientos humanos de diversos estratos sociales, construcciones y cultivos.

De acuerdo a los registros históricos, las inundaciones son la amenaza de mayor frecuencia del municipio Naguanagua, las que son originadas por ondas, vaguadas y tormentas tropicales; con patrón de distribución temporal de régimen unimodal, y su período lluvioso comprende de los meses de mayo a noviembre de cada año, en donde se descarga el 86.5% del total de lluvias y agosto como máximo módulo mensual.

Los deslizamientos también están presentes en estas comunidades, generalmente vienen acompañados por lluvias, en áreas que se ven proclives a venirse abajo por las condiciones topográficas, la inconsistencia del suelo e incluso por la acción humana.

En la Tabla 13 se presentan las diferentes vulnerabilidades o susceptibilidades ambiental, física, social, institucional, y económica que tiene la comunidad expuesta a inundaciones.

Tabla 13. Vulnerabilidades que presentan las comunidades del municipio Naguanagua

VULNERABILIDAD AMBIENTAL:	El río Retobo que forma parte de la comunidad presenta exceso de malezas, erosión del suelo y grandes cantidades de basura que contribuyen a su contaminación influyendo negativamente en el desarrollo de sus actividades.
VULNERABILIDAD FÍSICA:	Las infraestructuras más vulnerables son las viviendas construidas con material de desecho, ubicadas dentro de las planicies de inundación, ausencia de drenajes y de servicios públicos. La falta de vías de comunicación con el resto de las comunidades, lo que hace más vulnerable al momento de desalojar ante una inundación.
VULNERABILIDAD SOCIAL:	Existe poca o ninguna organización comunitaria que les permita estar bien preparados para el manejo del riesgo, la mitigación y la prevención ante los desastres asociados a las inundaciones.
VULNERABILIDAD INSTITUCIONAL:	Actualmente las comunidades no disponen de apoyo por parte de los organismos encargados de brindar tanto apoyo institucional como técnico, no poseen instrumentos para efectuar la medición de lluvia, monitoreo y alerta de los niveles de agua en el río, se requiere de programas de capacitación permanentes en materia de sistemas de alerta temprana, que deben ser apoyados por Alcaldía y otros entes gubernamentales.
VULNERABILIDAD ECONÓMICA:	Los habitantes de la comunidad son personas de escasos recursos económicos lo cual influye directamente en la capacidad de respuesta y recuperación ante situaciones de desastres.

Fuente: Farías et al., (2020a)

Como resultado de esta fase se presenta la Figura 31 que muestra las áreas de las comunidades expuestas a la amenaza de inundación, producto de su ubicación dentro de la planicie inundable de los ríos Retobo, Cabrales y Quebrada San Jea, demarcada en color azul.

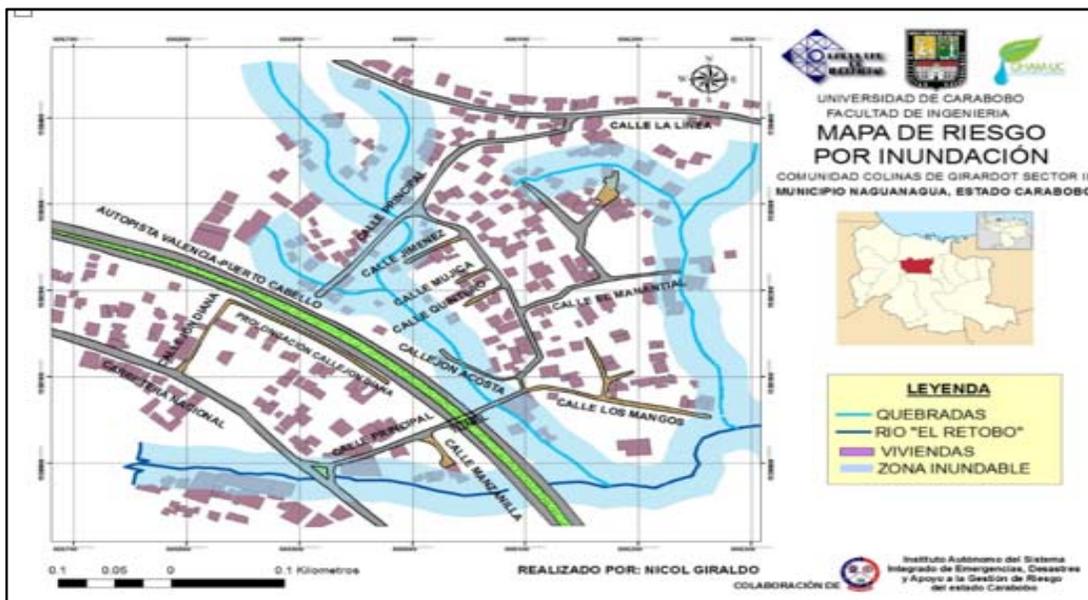
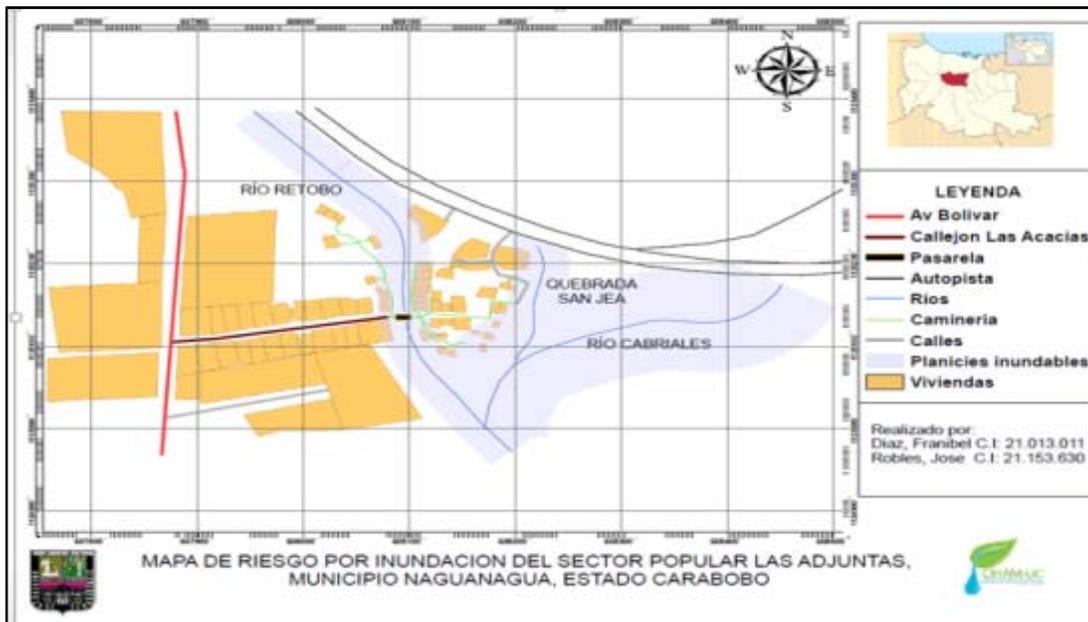


Figura 31. Mapas de riesgo de inundación en Colinas de Girardot y Las Adjuntas en las planicies de inundación de los ríos y quebradas del Municipio Naguanagua. (Farías et al., 2020a)

De acuerdo a la topografía del terreno se pudo clasificar el nivel del riesgo en las comunidades, las viviendas ubicadas en zonas con menores cotas o más bajas presentan mayor riesgo a inundarse, como se puede observar en la Figura 32.

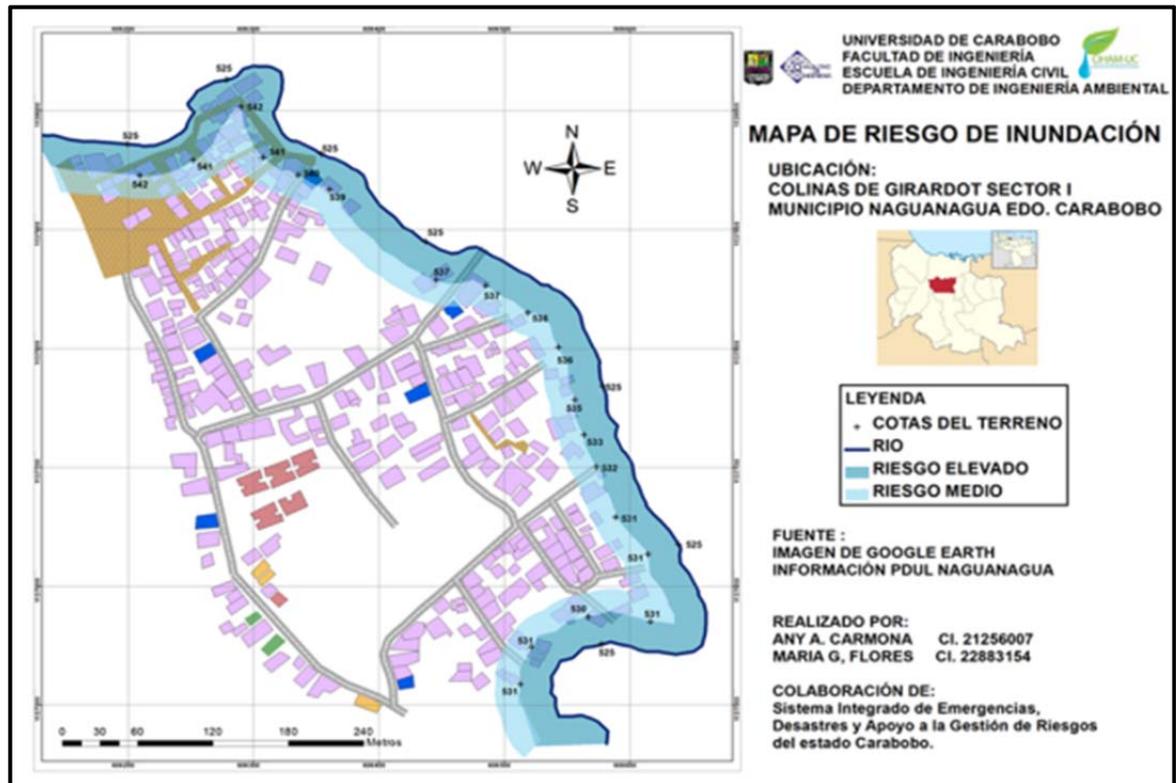


Figura 32. Clasificación de niveles de riesgo por inundación en la comunidad Girardot I en el Municipio Naguanagua. (Farías et al., 2020a)

En estas comunidades existe una amenaza o peligro latente de que un evento de origen natural, como las lluvias causantes de las inundaciones, se presente con una severidad suficiente para causar pérdidas de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales.

La Tabla 14 presenta los resultados de la descripción del escenario de riesgo por inundación para las comunidades del municipio Naguanagua.

<p>ANTECEDENTES ESCENARIO DEL RIESGO, DAÑOS Y PÉRDIDAS PRESENTADOS:</p>	<p>“En el mes de agosto de 2015, producto de las fuertes lluvias en el sector popular Las Adjuntas 20 viviendas fueron prácticamente devastadas este desastre fue atendido por representantes de Protección civil y colaboradores de todo el Estado.” (J. Vásquez, entrevista personal, Enero 27,2018)</p> <p>“La comunidad Las Adjuntas se encuentra en una vulnerabilidad latente debido a su cercanía al río Retobo, en el mes de abril del 2016 donde una crecida causada por una lluvia intensa ocasionó la socavación de las orillas del río, dejando cuatro hogares con posibilidad de caer al vacío y aproximadamente a 30 familias afectadas, como consecuencia de la construcción de viviendas en zonas con alto riesgo.” (J. Velásquez, entrevista personal, Marzo 15, 2018)</p>
<p>DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO AMENAZANTE:</p>	<p>El municipio presenta riesgos considerables por inundaciones, está asentada en un terreno que limita con los ríos El Retobo y Cabriales, siendo el primero el que causa mayor impacto a la comunidad.</p>
<p>IDENTIFICACIÓN DE CAUSAS DEL FENÓMENO AMENAZANTE:</p>	<p>El cambio climático destrucción de la capa vegetal por factores antrópicos o naturales (sequía, incendios), disminución de la infiltración, incremento de la escorrentía y erosión masiva, ocurrencia de sismos desestabilizadores de masas de materiales.</p>
<p>IDENTIFICACIÓN DE FACTORES QUE FAVORECEN LA CONDICIÓN DE AMENAZA:</p>	<p>Las pendientes, constitución de los suelos, la tectónica local y regional, así como la actividad antrópica, representada en la deposición de sólidos, el mal manejo de aguas, canalizaciones de aguas, rellenos, sistema vial deficiente.</p>
<p>IDENTIFICACIÓN DE ACTORES SIGNIFICATIVOS EN LA CONDICIÓN DE AMENAZA:</p>	<p>Las autoridades locales responsables de la protección del medio ambiente y las organizaciones comunitarias y sociales. De igual forma las comunidades que viven en áreas de riesgo de inundación.</p>

Tabla 14. Descripción del escenario de riesgo por inundación

Fuente: (Farías et al., 2020 a)

En esta etapa fue muy importante la participación de las comunidades para reconocer los recursos naturales y bienes productivos con que cuentan y de esta forma lograr un análisis objetivo y veraz del riesgo de inundación desde una perspectiva comunitaria, es necesario su participación para determinar las zonas

más propensas a la ocurrencia de inundaciones y /o emergencias. Entre los resultados obtenidos esta fase se muestran los mapas de organización comunitaria como el mostrado en la Figura 31, elaborados con la intervención de las comunidades, donde se refleja el inventario de recursos locales y los recursos humanos con los que cuentan las comunidades tales como: centros de atención médica, iglesias, bodegas, farmacias, colegios, zonas seguras y posibles refugios, se levanta la información correspondiente a los recursos humanos: ubicación de las viviendas de los líderes comunitarios, miembros de juntas comunales y otras personas importantes para el desarrollo de estas actividades.

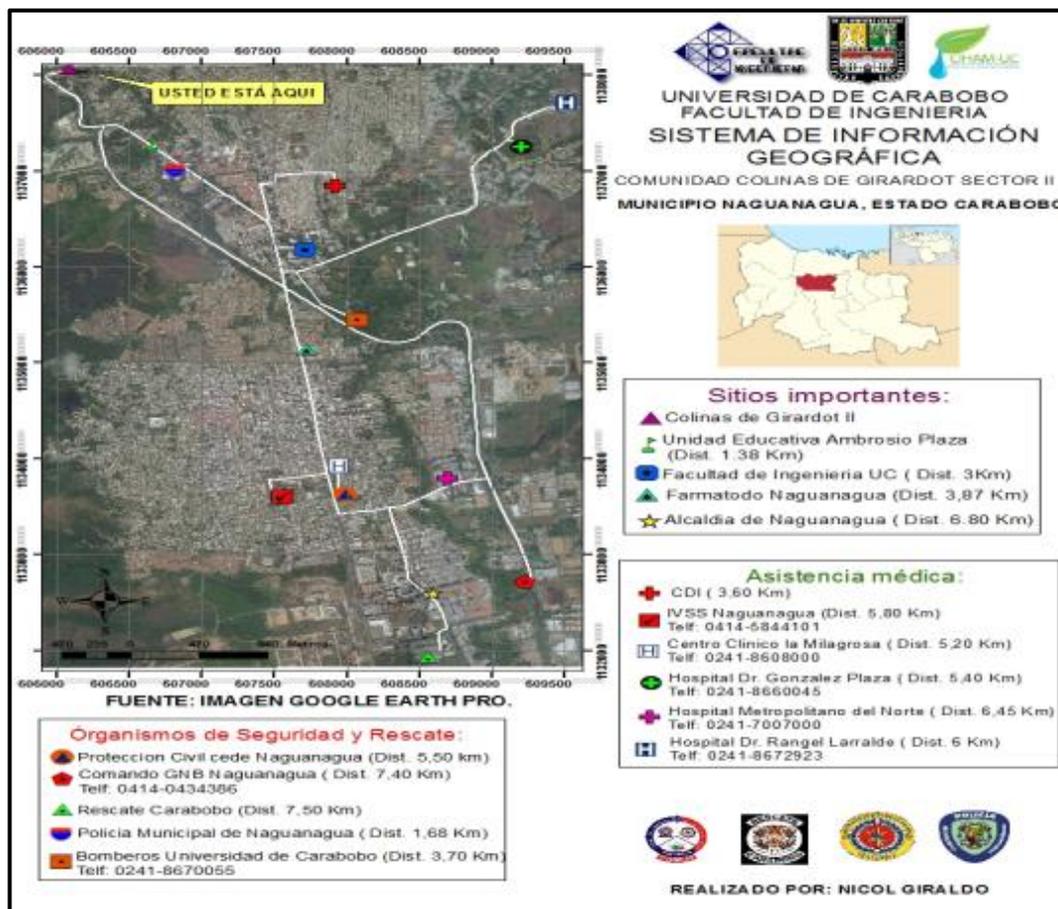


Figura 33. Mapa de Organización Comunitaria de comunidad colinas de Girardot. Municipio Naguanagua. Fuente: (Fariás et al., 2020 a)

4.6 Formulación del Plan de Gestión Sustentable del Riesgo de Inundación en la cuenca el río Pao

Como resultado de este objetivo se formuló el Plan de Gestión Sustentable del Riesgo de Inundación en la cuenca el río Pao, presentado a continuación.

PLAN DE GESTIÓN SUSTENTABLE DE RIESGO DEL INUNDACIÓN MUNICIPIO NAGUANAGUA ESTADO CARABOBO



TABLA DE CONTENIDO

	Página
PRESENTACIÓN DEL PLAN	135
CONTENIDO DEL PLAN	136
1.-CARACTERIZACIÓN DEL MUNICIPIO NAGUANAGUA	137
1.1 DESCRIPCIÓN DEL MUNICIPIO Y SU ENTORNO	137
2.-DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA	141
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA DEL PROCESO	141
2.2 MARCO LEGAL Y NORMATIVO EN VENEZUELA	142
2.3 ELEMENTOS CONCEPTUALES DEL PGSRI-MN	144
2.4 METODOLOGÍA UTILIZADA	144
2.5 FASE I: ANÁLISIS Y PRIORIZACIÓN DE RIESGOS	144
2.6 FASE II: CARACTERIZACIÓN DEL ESCENARIO DE EMERGENCIA	144
2.7 FASE III: INVENTARIO DE RECURSOS LOCALES	145
2.8 FASE IV: ORGANIZACIÓN DE ACCIONES	145
2.9 FORMULACIÓN DE PROGRAMAS Y PROYECTOS	146
2.10 DEFINICIÓN DE LA PROPUESTA DEL PLAN	146
2.11 PARTICIPACIÓN CIUDADANA	146
2.12 VALIDACIÓN DEL PGRI-MN	147
3.- ORGANIZACIÓN DEL DIAGNÓSTICO (FODA)	148
3.1 ORGANIZACIÓN DEL PROCESO	149
3.2 DIAGNÓSTICO DEL PROCESO	149
3.3 DIAGNÓSTICO TERRITORIAL	151
3.3.1.-FORTALEZAS DEL MUNICIPIO	151
3.3.2.-DEBILIDADES DEL MUNICIPIO	151
3.3.3 OPORTUNIDADES EN EL MUNICIPIO	152
3.3.4.-CONSIDERACIONES	152
4.- PROPUESTA: "PLAN PARA LA GESTIÓN SUSTENTABLE DEL RIESGO DE INUNDACIÓN EN EL MUNICIPIO NAGUANAGUA PGSRI-MN"	154
4.1 OBJETIVOS Y ALCANCES	154
4.2 OBJETIVO GENERAL	154
4.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	154
4.4 POLÍTICAS DEL PLAN	155
4.5 ALCANCE DEL PLAN	155
4.6 ETAPAS DEL PLAN	156
4.6.1 ANÁLISIS Y PRIORIZACIÓN DEL RIESGO	156
FASE I. ANÁLISIS GENERAL DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL MN	156
FASE II. IDENTIFICACIÓN DEL ESCENARIO	171
4.6.2 CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL ESCENARIO DE RIESGO	173
4.6.3 INVENTARIO DE RECURSOS LOCALES	177
4.6.4 ORGANIZACIÓN DE ACCIONES POSIBLES DE RESPUESTAS	180
4.7 PROGRAMAS Y ACCIONES	181
5.- APLICACIÓN DEL PLAN PARA LA GESTIÓN SUSTENTABLE DEL RIESGO DE INUNDACIÓN EN EL MUNICIPIO NAGUANAGUA (PGSRI)	183
5.1 CASO DE ESTUDIO COMUNIDAD LAS ADJUNTAS	184
5.1.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	184
5.2 ANÁLISIS Y PRIORIZACIÓN DE RIESGOS	184

5.3 CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL ESCENARIO DE RIESGO	188
5.4 INVENTARIO DE RECURSOS LOCALES	191
5.5 ORGANIZACIÓN DE ACCIONES POSIBLES DE RESPUESTAS	200
6.- EVALUACIÓN Y MONITOREO DEL PGSRI	217

ÍNDICE DE TABLAS

Páginas	
TABLA 1. RED TELEMÉTRICA DE CONTROL DE ESTACIONES CLIMÁTICAS EN LA CUENCA DEL RÍO PAO	160
TABLA 2. DIFERENTES TIPOS DE PARCELAS UBICADAS EN EL MUNICIPIO NAGUANAGUA	167
TABLA 3. DIFERENTES TIPOS DE VÍAS EN EL MUNICIPIO NAGUANAGUA	168
TABLA 4. DISTRIBUCIÓN Y LONGITUD DE ACUEDUCTOS EN EL MUNICIPIO NAGUANAGUA	169
TABLA 5. IDENTIFICACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGO SEGÚN EL CRITERIO DE FENÓMENO AMENAZANTE	171
TABLA 6. DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO DE RIESGO POR INUNDACIÓN	171
TABLA 7. CONSOLIDACIÓN Y PRIORIZACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGO	172
TABLA 8. ANTECEDENTES DEL ESCENARIO DE INUNDACIONES EN EL MUNICIPIO EN EL PERIODO DE ESTUDIO	173
TABLA 9. DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO DE RIESGO DE INUNDACIONES EN EL MUNICIPIO NAGUANAGUA	176
TABLA 10. DAÑOS O PÉRDIDAS OCASIONADAS POR LAS INUNDACIONES	177
TABLA 11. ANÁLISIS A FUTURO E IDENTIFICACIÓN DEL ESCENARIO	178
TABLA 12. MEDIDAS DE REDUCCIÓN DEL RIESGO	180
TABLA 13.-ESTRATEGIA: GESTIÓN Y PLANIFICACIÓN COMUNAL	180
TABLA 14.-ESTRATEGIA: PARTICIPACIÓN CIUDADANA	181
TABLA 15.- ESTRATEGIA: INTEGRACIÓN PARA UN MUNICIPIO RESILIENTE	181
TABLA 16.- DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO DE RIESGO DE INUNDACIÓN	186
TABLA 17. DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO DE ANTECEDENTES	188
TABLA 18. DISTRIBUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DEL PGSRI	189
TABLA 19. MEDIDAS Y ACTIVIDADES ANTE EL RIESGO DE INUNDACIÓN	193

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

FIGURA 1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA CUENCA DEL RÍO PAO	139
FIGURA 2. MAPA DE FALLAS DEL ESTADO CARABOBO	140
FIGURA 3. METODOLOGÍA EMPLEADA PARA DESARROLLAR EL PGSRI	146
FIGURA 4. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL MUNICIPIO NAGUANAGUA	156
FIGURA 5. MAPAS DE USOS Y COBERTURAS DE LA CUENCA DEL RÍO PAO	157
FIGURA 6. RESULTADO DE LAS VISITAS DE CAMPO	158
FIGURA 7. RED HÍDRICA DE LA CUENCA DEL RÍO PAO	159
FIGURA 8. RED HÍDRICA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO CABRIALES	162
FIGURA 9. PREDICCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (MM/MES)	163
FIGURA 10. RELIEVE DE LA CUENCA DEL RÍO PAO	164
FIGURA 11. TOPOGRAFÍA DE LA CUENCA DEL RÍO PAO	165
FIGURA 12. PORCENTAJES DE BARRIOS Y URBANIZACIONES DEL MN	165
FIGURA 13. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS EN LA CUENCA DEL RÍO PAO	166
FIGURA 14. USO Y COBERTURA DE LA TIERRA EN LA CUENCA DEL RÍO PAO	167
FIGURA 15. USO Y COBERTURA DE LA TIERRA EN LA CUENCA DEL CABRIALES	168
FIGURA 16. CLASIFICACIÓN DE LA VIALIDAD EN EL MUNICIPIO NAGUANAGUA	169
FIGURA 17. DIFERENTES TIPOS DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	170
FIGURA 18. DIFERENTES DIÁMETROS DE TUBERÍAS DEL SISTEMA DE CLOACAS	174
FIGURA 19. DIFERENTES ESCENAS DE INUNDACIÓN OCURRIDAS EN EL MN	184
FIGURA 20. UBICACIÓN DE LA COMUNIDAD LAS ADJUNTAS, MN	185
FIGURA 21. DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN DE LA COMUNIDAD	185
FIGURA 22. PORCENTAJE DE LA OCURRENCIA DE EVENTOS NATURALES	185
FIGURA 23. PORCENTAJE DE LA SITUACIÓN DE RIESGO DE INUNDACIÓN	186
FIGURA 24. VISTA DESDE UNA IMAGEN SATELITAL UBICACIÓN	186
FIGURA 25. IMÁGENES CORRESPONDIENTES A VISITAS DE CAMPO	187
FIGURA 26. IMÁGENES DE LA COMUNIDAD A LOS TALLERES	190
FIGURA 27. UBICACIÓN DE RECURSOS LOCALES EN LA COMUNIDADES	192
FIGURA 28. MEDIOS UTILIZADOS PARA LA INVITACIÓN A LA COMUNIDAD	194
FIGURA 29. PROTECCIÓN CIVIL CARABOBO Y EL EQUIPO TÉCNICO	195
FIGURA 30. UBICACIÓN DE LOS RÍOS RETOBO Y CABRIALES EN LA CLA	196
FIGURA 31. RUTAS DE EVACUACIÓN EN CASO DE INUNDACIÓN EN CLA	196
FIGURA 32.- UBICACIÓN DE LOS RECURSOS EN CLA	197
FIGURA 33. VIVIENDAS E LOS LÍDERES COMUNITARIOS DE CLA	197
FIGURA 34. PERSONAS QUE POSEEN CONOCIMIENTOS SOBRE LOS SAT	198

FIGURA 35.	PERSONAS DISPUESTAS A IMPLEMENTAR UN SAT	198
FIGURA 36.	DISPOSITIVOS QUE CONFORMAN EL SAT DE LA CLA	199
FIGURA 37.	REUNIONES CON VECINOS	199
FIGURA 38.	MAPAS DE PRONÓSTICO EL RIESGO DE INUNDACIÓN	201
FIGURA 39.	INSTALACIÓN DE LA ESCALA LINNIMÉTRICA	203
FIGURA 40.	INSTALACIÓN DE LOS PLUVIÓMETROS	204
FIGURA 41.	INSTALACIÓN DEL DISPOSITIVO DE CONTROL DE NIVEL	205
FIGURA 42.	LIMPIEZA DEL CAUCE DEL RÍO	205
FIGURA 43.	DIAGNÓSTICO DE LAS OBRAS HIDRÁULICAS	206
FIGURA 44.	ESTUDIO HIDRÁULICO DEL RÍO RETOBO	206
FIGURA 45.	PERFIL HIDRÁULICO DEL RÍO RETOBO	207
FIGURA 46.	PLANICIES DE INUNDACIÓN DEL RÍO RETOBO	209
FIGURA 47.	DISEÑO DEL MURO DE GAVIONES PARA EL RÍO RETOBO	209
FIGURA 48.	PERSONAS QUE CONSIDERAN UN BENEFICIO UN SAT	210
FIGURA 49.	ESCENAS DEL PERSONAL TÉCNICO APLICANDO LAS ENCUESTAS	210
FIGURA 50.	DIFERENTES ESCENAS DE LAS CHARLAS EN LOS COLEGIOS	211
FIGURA 51.	DISTRIBUCIÓN DE EDUCADORES ENCUESTADOS	213
FIGURA 52.	DISTRIBUCIÓN DE ENCUESTADOS INSTITUCIONALES	214
FIGURA 53.	ENTRENAMIENTO Y VISITAS DE CAMPO CON PC	216
FIGURA 54.	COMPONENTES DEL SAT AUTOMATIZADO	216
FIGURA 55.	UBICACIÓN DE LA PASARELA	216
FIGURA 56.	PROTOTIPO DE SAT DE CPLA-MN	217

PRESENTACIÓN DEL PLAN

El Plan de Gestión Sustentable del Riesgo de Inundación en el Municipio Naguanagua (PGSRI-MN), Estado Carabobo, República Bolivariana de Venezuela, es un instrumento orientado a la planificación, administración, gestión y manejo de los recursos por parte de los grupos sociales, actores e interesados en contribuir a un mejor futuro a las comunidades establecidas en este municipio, incorporando la reducción del riesgo de inundación a las acciones de su desarrollo.

Esta propuesta ha sido elaborada en el marco de La Agenda 2030 de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible y el Marco de Sendai para la Reducción de Riesgo de Desastres 2015-2030 que ofrece una guía orientadora que permite a los países fortalecer sus procesos de planificación con miras a alcanzar el desarrollo sostenible mediante la búsqueda de soluciones a las amenazas que trae consigo la exposición y vulnerabilidad ante los desastres.

La iniciativa plantea la toma de conciencia de los actores locales, funcionarios municipales, cuerpos de asistencia comunitarias entre otros, acerca de incorporar la variable del riesgo de inundación a los procesos de planificación del mencionado Municipio.

Aparte de dar cumplimiento a las leyes venezolanas y conociendo los inminentes problemas generados por fenómenos naturales, y la importancia que representa la reducción de los riesgos asociados a estos fenómenos y con la convicción que solo con la aplicación de una política integral de la gestión del riesgo de inundación el Municipio Naguanagua será un territorio seguro y sostenible en términos de desarrollo, entendido este como una condición social en la cual las necesidades básicas de la población son satisfechas bajo el uso racional de los recursos de los que dispone, la Universidad de Carabobo y los miembros del Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales (CIHAM-UC) han participado activamente en todo el proceso correspondiente a la formulación, elaboración, aplicación y validación del PGRI del Municipio Naguanagua, aportando nuestro interés, compromiso y voluntad ciudadana. Seguro estamos de contribuir al fortalecimiento de la inclusión ciudadana en los procesos de planificación y desarrollo local, enfocados a la gestión del riesgo de inundación.

Este plan de gestión sustentable del riesgo de inundación, se apoya en la normativa legal de la República Bolivariana de Venezuela, así como de instrumentos internacionales orientados hacia este objetivo. Entre los instrumentos jurídicos más importantes destacan la Constitución Nacional de la República Bolivariana de Venezuela, Leyes Orgánicas de la República, Mecanismos Regionales y Multilaterales suscritos por el Estado Venezolano

CONTENIDO DEL PLAN

Este documento contiene los lineamientos del PGSRI-MN, el cual consta de seis de capítulos que desarrollan en su orden aspectos relativos a objetivos, alcances, normatividad, conceptualización, estrategias.

En este sentido, implementar el PGSRI-MN resulta ser un instrumento local importante dentro del cual se definen una serie de acciones, sistemas de organización y procedimientos generales prácticos para enfrentar de manera oportuna y eficiente las situaciones de emergencia de una comunidad. El contenido del PGSRI-MN es el siguiente:

Capítulo I. Incluye los datos correspondientes a ubicación geográfica, límites, población, división político territorial y caracterización del Municipio.

Capítulo II. Incluye descripción de la metodología, incluyendo las fases y acciones que conforman el proceso participativo del plan enfocado a la resiliencia y disminución del riesgo de inundación.

Capítulo III. Corresponde al diagnóstico de las dimensiones del desarrollo del territorio, evaluando el riesgo de inundación. Se identifican problemas, sus orígenes, causas y efectos, e identificación de posibles soluciones, recursos necesarios y reflexiones retrospectivas y prospectivas.

Capítulo IV. Se presenta el contenido del PGSRI-MN, incluyendo: Objetivos, Lineamientos, Políticas, Fases, Estrategias, Programas y Proyectos.

Capítulo V Se muestra la aplicación, evaluación y sostenibilidad del PGSRI-MN, indicaciones y estrategias para su aplicación. Caso de estudio Comunidad Las Adjuntas.

Capítulo VI. Validación y Seguimiento del PGSRI-MN



1.-CARACTERIZACIÓN DEL MUNICIPIO NAGUANAGUA

1.- CARACTERIZACIÓN DEL MUNICIPIO

La caracterización del municipio Naguanagua (MN) plantea la identificación de elementos claves, como: la forma en que el MN se abastece de agua, el tipo de fuentes existentes, las estrategias de protección y la conservación de la microcuenca, la cobertura forestal, las principales actividades productivas, las condiciones de la red de abastecimiento y distribución, el porcentaje de la población con acceso al agua, la cantidad de población, las principales comunidades, la geología regional y local, entre otros. La caracterización del municipio identifica la situación de la población, sus realidades y circunstancias o atributos peculiares que lo distinguen de los demás.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL MUNICIPIO Y SU ENTORNO

UBICACIÓN

El MN está ubicado en la zona Centro - Norte del Estado Carabobo. Su ubicación según las coordenadas geográficas es la siguiente: 68° 08' y 67° 58' de Longitud Oeste. Y 10° 22' con 10° 14' de Latitud Norte

LÍMITES

El MN limita por el Norte con el Municipio Puerto Cabello; al Sur con los Municipios Valencia y Libertador; al Este con el Municipio San Diego; y al Oeste con los Municipios Bejuma y Libertador.

POBLACIÓN

Según la última proyección realizada a partir del Censo Nacional del año 2011 la población actual del MN es de 157.437 habitantes. Según las proyecciones de la Alcaldía de Naguanagua la población para el año 2018 es de 187.563 habitantes.

DIVISIÓN POLÍTICO TERRITORIAL

La superficie del MN es de 188 Km², representando un 4.3% de la superficie de todo el Estado Carabobo, distribuidas en 83 sectores definidos: 42 urbanizaciones, 26 barrios, 04 sectores urbanizados no clasificados y 11 sectores sin información.

RELIEVE

El MN pertenece a la porción Occidental de la Cordillera de la Costa, alcanza una cota de 1680 msnm en la Teta de Hilaria. Se destacan en el Noreste las filas de Aguacatal con 1500 msnm y la del Café con 1200 msnm.

La topografía pasa de suavemente inclinada a plana en los fondos del valle y la planicie del Lago de Valencia, con una pendiente promedio del 3% al 5%, y en las elevaciones circundantes alcanza entre el 14% al 30%.

GEOLOGÍA Y SUELOS

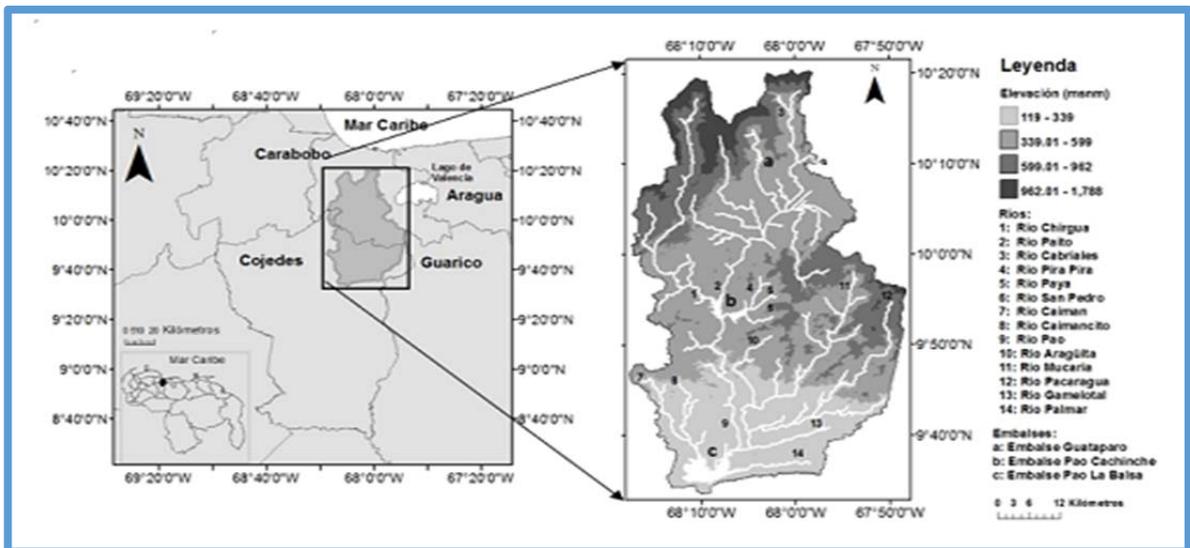
La litología del MN está compuesta por conglomerados metamórficos, cuarcitas y algunas filitas cuarzosas y cuarzo-micáceas, capas de anfibolitas granatíferas asociadas con calizas, muy meteorizadas en superficie. Existe una aptitud variable del suelo como material de fundación, dependiendo básicamente del grado de alteración de los esquistos; en especial en aquellos residuales y poco profundos. Hacia el valle el suelo es de textura predominante franco arcillo-arenosa/ gravosa (por aportes laterales), generalmente bien drenados.

CLIMA

El clima del MN está caracterizado por la ocurrencia en promedio de las siguientes variables meteorológicas: precipitación promedio de 1.223 mm al año; con patrón de distribución temporal de régimen unimodal, período lluvioso Mayo a Noviembre, en donde se descarga el 86.5% del total de lluvias y Agosto como máximo módulo mensual. La temperatura oscila entre los 22° C y 25°C.

HIDROGRAFÍA

El MN pertenece a la Cuenca del río Pao (Figura 1). Las principales corrientes fluviales son los ríos Cabriales, Aguas Calientes, Retobo y Guataparó. El río Cabriales es el más importante curso de agua de la ciudad, recorre la ciudad de norte a sur por su parte oriental. Nace a 1650 m de altitud en el cerro Hilaria desembocando, originalmente, en la Ciénaga Guanabanal (desparramadero «El Paito») afluente este último del río Paito; actualmente desemboca directamente en el río Paito, afluente del río Pao. Sin embargo, entre 1979-2006 el Ministerio del Ambiente desvió el curso del río hacia el Lago de Valencia para mitigar el descenso del nivel de las aguas.



VEGETACIÓN

La cobertura vegetal en el MN está formada por bosques tropófilos basimontados deciduos altura baja media (10- 20 metros) con uno o dos estratos arbóceos un sotobosque denso que ocupa laderas hasta los 600 m.s.n.m., se desarrollan bosques ombrófilos sub montanos, semideciduos estacionales y bosques “alisios” con dos a tres estratos arbóreos densos de altura media (Cuenca alta del río Guataparo).

SISMICIDAD

La sismicidad en el MN está basada en el mapa de Zonificación Sísmica del Instituto Autónomo del Sistema Integrado de Emergencias, Desastres y Apoyo a la Gestión de Riesgos del Estado Carabobo (I.A.S.I.E.D.A.G.R.E.C), el municipio se encuentra en una región que se caracteriza por presentar peligro sísmico medio (zona 3), debido a la influencia que ejercen las fallas de Morón y la Victoria (Figura 2).



Figura 2. Mapa de fallas del estado Carabobo



2.- DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA Y ORGANIZACIÓN DEL PROCESO DE PLANIFICACIÓN TERRITORIAL PARTICIPATIVA

2.1.- DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA Y ORGANIZACIÓN DEL PROCESO

La formulación del PGSRI-MN, es producto de una investigación iniciada desde enero 2015 hasta enero 2018, auspiciada por la Universidad de Carabobo, desde el Centro de Investigaciones Hidráulicas y Ambientales de la Universidad de Carabobo (CIHAM-UC), se constituyó en un instrumento de participación e integración para el análisis, formulación de su diseño, evaluación, difusión e implementación.

Este proyecto inicia con reuniones en el Instituto Autónomo del Sistema Integrado de Emergencias, Desastres y Apoyo a la Gestión de Riesgos del Estado Carabobo (I.A.S.I.E.D.A.G.R.E.C), y el Cuerpo de Bomberos de la Universidad de Carabobo, donde se planificaron y ejecutaron cursos al personal docente que integraba el proyecto y al grupo de estudiantes que conforman el equipo de trabajo.

Posteriormente se incorporaron al proyecto el personal de protección civil del MN, que por conocer el MN establecieron cuales serían las comunidades más vulnerables al riesgo de inundación, así como también se unieron otras dependencias de la Universidad de Carabobo interesadas en la difusión de planes sociales y trabajos comunitarios.

2.2-MARCO LEGAL Y NORMATIVO DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN VENEZUELA

La formulación de todos los lineamientos de políticas y acciones para la gestión del riesgo se inscribe en el marco de las leyes y las normas internacionales, nacionales, regionales y locales, en una perspectiva de derechos humanos, y específicamente de los derechos a una vivienda digna y a un ambiente sano.

- Este PGSRI-MN está sustentado en un marco legal referencial orientado a la administración de emergencias, la gestión del riesgo para la prevención y mitigación de desastres, de acuerdo a la normativa vigente a nivel nacional, regional y local; contemplando los siguientes instrumentos jurídicos:
 - .- Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999) en sus artículos: 332, 55, 134, 156, 178, 326, 338, 339.
 - .- Ley del Plan de la Patria. Segundo Plan Socialista de Desarrollo Económico y Social de la Nación 2013-2019.
 - .- Ley Orgánica de Seguridad de la Nación (2002) en sus artículos: 23, 24, 25.
 - .- Ley de Coordinación de Seguridad Ciudadana (2001) en sus artículos: 2, 15.
 - .- Ley Orgánica Sobre Estado de Excepción (2001) en sus artículos: 2, 7.13.
 - .- Ley de Gestión de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos (2009)
 - .- Ley de Tierras Urbanas en su artículo 12

- .- Ley Orgánica del Poder Municipal
- .- Ley Orgánica de Ordenación urbanística
- .- La Ordenanza del Plan de Desarrollo Urbano Local
- .- Decretos con Rango, Valor y Fuerza de Ley Especial de Refugios Dignos para proteger a la población en casos de emergencias y desastres, Decreto N° 8001. 18 de enero 2011.
 - .- Decretos con Fuerza de Ley de la Organización Nacional de Protección Civil y Administración de Desastres, en sus artículos 1,3.
 - .- Decretos con Fuerza de Ley de los Cuerpos de Bomberos y Bomberas y Administración de Emergencias de Carácter Civil.

2.3.- ELEMENTOS CONCEPTUALES PARA LA ELABORACIÓN DEL PGSRI-MN

La ocurrencia de fenómenos naturales que producen cambios en el medio ambiente requiere de organización, planificación y estrategias para afrontar y enfrentar las amenazas y los riesgos, que se originan en las comunidades y ecosistemas situaciones críticas.

La República Bolivariana de Venezuela está expuesta a la ocurrencia de estos fenómenos naturales que producen impactos y cambios profundos en el ambiente, sin obviar las actividades implícitas en el desarrollo humano, lo cual conlleva a generar estrategias mundiales, nacionales y locales que permitan reducir la vulnerabilidad y el riesgo. Una de estas estrategias son los Planes de Gestión de Riesgos de Desastres, donde es conveniente adquirir los conocimientos básicos y diferenciar entre los principales términos que se manejan en este tema.

Fenómeno natural

Nos ocuparemos exclusivamente de los fenómenos naturales, en especial de aquellos que están relacionados con la dinámica de la Tierra y como resultado del funcionamiento sistémico entre la litosfera, la atmósfera, y la hidrósfera, de tal manera que su ocurrencia en algún lugar poblado, puede llegar a poner en riesgo la vida del hombre, su economía, sus bienes y propiedades, y todo cuanto se encuentre a su alrededor que sea tenido como medio de sustento, supervivencia y de vida armónica con la naturaleza

Amenaza

La amenaza natural es entendida como un evento, fenómeno, suceso o proceso de origen natural, que puede causar daños y pérdidas a una población expuesta. Sin embargo, para efectos de su evaluación se interpreta como la probabilidad de que un evento natural de determinadas características, que pueda causar daño, ocurra en un lugar determinado dentro de un tiempo dado.

Vulnerabilidad

La vulnerabilidad de una población o sistema, se refiere al grado en que un sistema o asentamiento está expuesto a alguna amenaza y la capacidad que

tienen para manejar los daños, sin que les afecte. Esta capacidad está relacionada con la manera como la población o el sistema son afectados, y con el tiempo de afectación. De esta manera, la vulnerabilidad está intrínsecamente relacionada con la amenaza, y la sensibilidad y capacidad de adaptación de quienes están expuestos. En otras palabras, la vulnerabilidad es una condición interna de las relaciones y acciones de los miembros de la sociedad.

Riesgo

El riesgo se refiere a la probabilidad, la estimación y la cuantificación de la magnitud y las consecuencias de los daños ambientales, sociales, económicos o culturales y/o pérdidas humanas, de bienes, especies, prácticas culturales, sitios simbólicos y lugares de rituales, entre otras, en un lugar y tiempo determinados, resultado del desencadenamiento de una amenaza.

Gestión del Riesgo

Es un proceso social complejo cuyo fin último es la reducción o la previsión y control permanente del riesgo de desastre en la sociedad, e integrada al logro de pautas de desarrollo humano, económico, ambiental y territorial, sostenibles. En principio, admite distintos niveles de intervención que van desde lo global, integral, lo sectorial y lo macro-territorial hasta lo local, lo comunitario y lo familiar. Además requiere de la existencia de sistemas o estructuras organizacionales e institucionales que representan estos niveles y que reúnen bajo modalidades de coordinación establecida y con roles diferenciados acordados, aquellas instancias colectivas de representación social de los diferentes actores e intereses que juegan un papel en la construcción de riesgo y en reducción, previsión y control.

Mitigación

Corresponde al conjunto de medidas que se deben tomar para reducir las consecuencias o impacto de los desastres; se logra mediante la intervención del contexto social y obras o elementos expuestos. Su propósito es el de reducir los riesgos, es decir disminuir o atenuar los daños potenciales sobre la vida y los bienes.

Alerta

Esta es una etapa de mucha responsabilidad, donde se debe contar con la información más completa y verás posible para que sea decretada. Es la etapa previa a la ocurrencia del fenómeno que puede ser el detonante de la situación de desastre.

2.4.- METODOLOGÍA UTILIZADA

El PGSRI-MN se llevó a cabo en cuatro fases:

- 1.-Análisis y priorización de riesgos
- 2.- Caracterización del escenario de emergencia o desastre
- 3.- Inventario de los recursos locales
- 4.- Organización de acciones posibles de respuesta

2.5.- FASE I: ANÁLISIS Y PRIORIZACIÓN DE RIESGOS

En esta primera fase se realizan consultas comunitarias e institucionales desarrolladas mediante la aplicación de encuestas y conversatorios con los habitantes en visitas puerta a puerta a cada familia de las distintas comunidades del MN, para recabar información importante para el desarrollo del PGSRI-MN.

Realizándose además en esta fase una evaluación del contexto global de la vulnerabilidad, para lo cual se propician la formulación de preguntas en los cuestionarios para dar respuesta a las siguientes interrogantes: ¿Cuál es el tamaño de la población? ¿Cómo está distribuida?, ¿Cuántos hogares hay en la comunidad? ¿Qué tan a menudo la comunidad se ve afectada por inundaciones y amenazas?, ¿Es la incidencia cada vez mayor?, ¿Cuáles son los motivos principales de la vulnerabilidad?

2.6.- FASE II: CARACTERIZACIÓN DEL ESCENARIO DE EMERGENCIA

En esta fase se identifican los grupos más vulnerables de la comunidad del MN, evaluando situaciones como: ubicación de los hogares- personas más vulnerables de la comunidad, los peligros naturales a los que son particularmente vulnerables los miembros de la comunidad a lo largo del tiempo. Se desarrollaron talleres para conocer los **Escenarios de Riesgo del MN**, con estos se pretendía:

- 1.- Reflexionar sobre la situación de la comunidad, como punto de partida para la elaboración de la metodología para afrontar y enfrentar los riesgos de inundación
- 2.- Interiorizar los conceptos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo para la elaboración de los escenarios de riesgo
- 3.- Elaborar croquis de riesgo por inundación
- 4.- Determinar las acciones necesarias para la reducción del riesgo

2.7.- FASE III: INVENTARIO DE RECURSOS LOCALES

Es necesario conocer los recursos naturales y bienes productivos con que cuentan las comunidades. En esta fase se realizan mapas donde se representan los recursos humanos y materiales con que cuenta la comunidad. Se desarrolla un taller denominado **Preparación y Respuesta Local** con los siguientes objetivos:

- 1.- Identificar la estrategia para responder a una situación de emergencia o desastre

2.- Construir mapas que identifiquen los recursos existentes (humanos, y materiales) en la comunidad, para dar respuesta durante una inundación.

3.- Identificar zonas seguras, rutas de evacuación, albergues temporales, centros de acopio y centro de operaciones de emergencia local.

2.8.- FASE IV: ORGANIZACIÓN DE ACCIONES POSIBLES DE RESPUESTAS

Al concluir los procesos de capacitación y de construcción participativa de los mapas, en esta fase se procede a socializar con los habitantes de las comunidades los resultados obtenidos en fases anteriores.

Dentro de esta etapa de la investigación, se desarrolla el taller denominado **Respuestas ante el Riesgo** que tiene como objetivos:

1.- Establecer proyectos prioritarios para la reducción del riesgo.

2.- Definir la metodología a aplicar para enfrentar y afrontar situaciones de riesgos de inundación.

3.- Asignar responsables para el cumplimiento de las actividades.

La planificación fue diseñada siguiendo directrices establecidas por la Unión Europea en materia de prevención y riesgo, e incluye los siguientes aspectos:

La Figura 3 muestra un diagrama de flujo de la metodología utilizada en la formulación del PGSRI-MN.



Figura 3. Metodología empleada para desarrollar el PGSRI-MN

2.9.- FORMULACIÓN DE PROGRAMAS Y PROYECTOS.

El equipo de investigadores de este proyecto estructuró de la siguiente forma:

- .- Identificación de los problemas, sus causas y consecuencias.
- .- Definir Objetivo General y Objetivos Específicos.
- .- Establecer las acciones a ejecutar durante la ejecución del PGSRI-MN.
- .- Identificar los entes responsables del funcionamiento del PGSRI-MN.
- .- Definir los indicadores de la medición de programas y proyectos.

2.10.- DEFINICIÓN DE LA PROPUESTA DEL PLAN

- .- Recopilación y clasificación de la información suministrada por las comunidades del MN durante la fase de diagnóstico.
- .- Procesamiento de resultados de las consultas comunitarias.
- .- Redacción de versión preliminar del PGSRI-MN.

2.11.- PARTICIPACIÓN CIUDADANA

Las consultas comunitarias, así como las reuniones con los entes involucrados en el proyecto constituyeron una acción fundamental para la evolución del PGSRI, y su contenido era orientado a:

- .- Conocer sobre principios, enfoques, conceptos, metodologías, y herramientas para fortalecer capacidades y su aplicación práctica en la reducción del riesgo de inundación y generación de resiliencia en el territorio.
- .- Manejo de conceptos, origen y tendencias de las amenazas y vulnerabilidades como elementos generadores de riesgo y factores del desarrollo en el quehacer territorial y laboral.
- .- Conocer la importancia que tiene la evaluación del riesgo de inundación en la planificación del desarrollo, la seguridad territorial, la metodología, pasos del proceso de evaluación y su aplicación práctica.
- .- Conocer y manejar herramientas de gran utilidad para la gestión territorial, reducción del riesgo, manejo de información como los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

2.12.- VALIDACIÓN DEL PLAN

En esta fase se evaluó el PGSRI-MN desarrollado a las comunidades del MN involucradas representadas por sus líderes comunitarios, personal de Protección Civil, bomberos del MN, personal administrativo y docente de las escuelas.



3.- DIAGNÓSTICO DEL PROCESO (FODA). PROGRAMAS Y PROYECTOS ESTRATÉGICOS

3.1.-ORGANIZACIÓN DEL PROCESO

El MN, por sus potencialidades, pero también por sus vulnerabilidades amerita del esfuerzo y la voluntad de los ciudadanos, gobiernos locales e instituciones a iniciar la búsqueda de la sostenibilidad, seguridad y resiliencia del MN.

El proceso de elaboración del PGSRI-MN incluye aspectos como:

- .- Identificación y convocatoria de diversos activistas locales.
- .- Inclusión de sectores vulnerables de las comunidades del MN invitándolos a las réplicas y procesos de Planificación Territorial Participativa.

POR LA ALCALDÍA DEL MUNICIPIO NAGUANAGUA:

- .- Cuerpo de Bomberos del Municipio Naguanagua.
- .- Personal de Protección Civil del Municipio Naguanagua.

INSTITUCIONES REGIONALES:

- .- Universidad de Carabobo
- .- Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales(CIHAM-UC)
- .- Instituto Educativo Venezuela
- .- Unidad Educativa Nuestra Señora de Fátima
- .- Unidad Educativa Maribel Caballero de Tirado
- .- Unidad Educativa Armando Reverón
- .-Unidad Educativa Enrique Barrios Sánchez

3.2.-DIAGNÓSTICO DEL PROCESO

Construcción de las condiciones para la capacitación y participación de los actores, desde una visión integral de las realidades en el territorio:

.- Capacitación sobre desarrollo local sostenible, amenazas, vulnerabilidad, riesgo, desastres, inundación, evaluación del riesgo de desastres y resiliencia en el MN.

.- Visitas a las comunidades el MN, en compañía de líderes comunitarios, instructores de protección civil y bomberos, para realizar la matriz de amenaza, mediciones de capacidades y mapeo de riesgos.

Crear conciencia y lograr la voluntad política para intervenir y dirigir el territorio a una situación diferente.

.- Dentro de este marco de acción se promovieron reuniones con el Alcalde del Municipio Naguanagua para promover y dar a conocer las actividades que se estaban realizando desde la Universidad de Carabobo, con el

propósito de incorporar al gobierno local en las actividades propias de la gestión del riesgo, y a la vez promover la inclusión del PGRSI-MN en las políticas de planificación y desarrollo territorial del Municipio Naguanagua.



EQUIPO TÉCNICO

3.3.- DIAGNOSTICO TERRITORIAL (FODA)

3.3.1.- FORTALEZAS DEL MUNICIPIO

a. -Dimensión Económica Productiva:

.- Excelente ubicación geográfica en el contexto nacional que favorece las actividades de intercambio. La conexión vial del MN depende de la local 01 redoma de San Blas-Naguanagua- Las Trincheras- El Palito; la autopista Naguanagua- Puerto Cabello (vía Panamericana) y la local 05 Naguanagua- San Diego-Yagua, donde se conecta a la autopista Regional del Centro (ARC). Cuenta en su totalidad con 1543 Km de vías de comunicación distribuidos de la siguiente manera: 368.07 km de vialidad, 3 Autopistas (Autopista Del Este, Valencia – Puerto. Cabello, Bárbula – Guacara) y 3 Distribuidores (Mañongo, Bárbula y Naguanagua). Además se encuentran en proyecto varias estaciones del Metro de Valencia que atraviesan Naguanagua, como son: Estación La Granja (en proyecto), Estación Paramacay (en proyecto), Estación La Campiña (en proyecto), Estación Simón Bolívar.

.-Alta vocación comercial, industrial y de servicios. Por su infraestructura de servicios y la estratégica ubicación entre Valencia y Puerto Cabello, el MN basa su economía en la actividad comercial intensa. De un total de aproximadamente 15.680 parcelas que conformaban el MN en el año 2016 estas se distribuían de la siguiente manera: 22 corresponden a Centros Comerciales, 5 Estaciones de Servicio, 55 locales de comida rápida, 01 Mercado Municipal, 04 Moteles, 04 Edificaciones Gubernamentales. El MN cuenta además con lugares de interés turístico como: Balneario Las Trincheras, El Camino de los Españoles construido en 1782.

En lo que respecta a servicios públicos cuenta con una fuente primaria de abastecimiento proveniente del Acueducto Regional del Centro, I etapa- Alto Cabriales distribuida a través de 183.32 km de tubería de acueducto y doce (12) pozos profundos y 02 estaciones de bombeo.

b.- Dimensión Sociocultural

El MN cuenta con 11 Centros de Salud, 05 Instituciones Universitarias, 91 Institutos de educación inicial, media y diversificada que proveen recurso humano capacitado al municipio, posee además variado equipamiento deportivo de alta competencia como: “El complejo Deportivo Bicentenario Simón Bolívar” que cuenta con canchas de tenis, gimnasio de esgrima, judo, karate, campo de arco y flecha y pista de bicicross, ”El Patinodromo de

Caprenco,” ”Complejo Deportivo de la Universidad de Carabobo, ”El Domo de la Universidad de Carabobo entre otros. Cuenta este municipio también con 11 parques distribuidos en el Municipio de la siguiente manera: 09 en la zona sur- este, 01 en la zona noreste, 01 zona sur-oeste, entre los parques están: Plaza Bolívar, parque Los Guayabitos, Jardín Botánico de Naguanagua, parque Paseo La Granja, Paseo Carabobo entre otros.

c.- Dimensión Ambiental

Dentro del MN se encuentran las siguientes Áreas Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE), lo que proporciona un alto valor ambiental al MN.

.- **Área Crítica con Prioridad de Tratamiento Pico Jengibre (Cuenca del Lago de Valencia)**. Posee una superficie de 303.500 ha fue creada bajo el Decreto presidencial N° 304 de fecha 20 de septiembre de 1979 y fue publicado en la Gaceta Oficial N° 31.829 de fecha 26 de septiembre de 1979. En la actualidad cuenta con un Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso vigente, la última actualización que se realizó fue publicada en la Gaceta Oficial N° 37.050 con fecha de 04 de octubre del año 2000.

.- **Área de Protección de Obras Públicas “Sistema de Transmisión de Hidrocarburos Altagracia - Morón”**. Posee una superficie de 5.800 ha, fue creada bajo el Decreto presidencial N° 2.390 de fecha 28 de enero de 1998 y fue publicado en la Gaceta Oficial N° 5.221-E de fecha 16 de marzo de 1998, además cuenta con un Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso que se publicó en Gaceta Oficial bajo el N° 37.496 de fecha 01 de agosto de 2002, esta figura es manejada por el Ministerio del Poder Popular para la Energía y Minas.

.- **Zona Protectora Cuenca Alta y Media del Río Pao**, se encuentra ubicada en la región centro-sur del estado Carabobo, abarca los municipios Bejuma, Naguanagua, Libertador y Valencia, además de los municipios Falcón y Pao San Juan Bautista del estado Cojedes. Posee una superficie de 151.038 por el Decreto N° 2.320 de fecha 05 de junio de 1992 y publicado en Gaceta Oficial N° 35.112 de fecha 14/12/1992.

.- **Parque Nacional San Esteban**, está ubicado en el estado Carabobo, tramo occidental de la Serranía del Litoral de la Cordillera de la Costa Central, entre los municipios Naguanagua, San Diego, Guacara y Puerto Cabello. Posee una superficie de 43.500 hectáreas por decreto N° 1714 de fecha 27 de junio de 1991 y publicado en Gaceta Oficial N° 34759 el 19/09/1991.

3.3.2.- DEBILIDADES DEL MUNICIPIO

a.- Dimensión Económica Productiva:

.- Poco empleo productivo, crecimiento del sector informal en forma anárquica.

- .- Paralizado proyecto de transporte masivo Metro de Valencia que afecta a este MN.
- .- Incremento de mercados informales.
- .- Disminución de la inversión privada.
- .- Vialidad insuficiente e inadecuada entre los centros poblados del MN.
- .- Deterioro de las unidades de transporte público y privado, y ausencia de sistemas de vialidad de medios de transporte alternativos como bicicletas.
- .- Alto índice de escasez de los productos de primera necesidad.
- .- Servicios públicos deficientes.
- .- Altos índices de pobreza y exclusión social.

b.- Dimensión Ambiental

- .- Ausencia de drenajes
- .- Deficiencias en el servicio de aguas blancas.
- .- Viviendas ubicadas en planicies de inundación.
- .- Falta de cultura ambiental para el tratamiento y aprovechamiento de los desechos sólidos.
- .- Limitadas acciones para la recuperación y conservación de los cuerpos de agua.
- .- Ausencia de plantas de tratamiento para aguas blancas.
- .- Ausencia de plantas de tratamiento para aguas servidas que son descargadas a los cuerpos sin agua sin tratamiento previo.

c.- Dimensión Sociocultural

- .- Alta deserción escolar. Baja matrícula en los niveles de educación diversificada y profesional.
- .- Deterioro de salud física y mental de los habitantes.
- .- Tasa de natalidad mayor en zonas marginales.
- .- Alto índice de embarazos adolescentes

3.3.3.- OPORTUNIDADES EN EL MUNICIPIO

a. Dimensión Económica Productiva:

- .- Mejorar la calidad y cobertura de los servicios de infraestructura urbana.
- .- Gestionar financiamiento empresarial extranjero para la reactivación de las PYMES locales.
- .- Propiciar la formación técnico-profesional para el desarrollo de la industria local.
- .- Involucrar al sector privado en la prestación de servicios a la comunidad.

b. Dimensión Ambiental

- .- Espacios abiertos para la participación ciudadana.
- .- Algunos centros poblados como La Entrada, Las Trincheras por sus condiciones naturales y ambientales cuentan con alto potencial turístico.

3.3.4.- CONSIDERACIONES

En cuanto al tema de Reducción del Riesgo de Inundación, el gobierno local y el Concejo Municipal son los responsables de la formulación de las políticas públicas, la toma de decisiones y la organización de instrumentos que permitan abordar de manera eficaz el riesgo de inundación.

Actualmente este MN carece de una instancia dedicada a la gestión integral de riesgos a pesar de la existencia de problemáticas que lo colocan en situación de riesgo tales como:

- .- Personal de organismos de prevención y atención ciudadana carentes de recursos.
- .- Carencia de cultura preventiva.
- .- Ausencia de planes de prevención y atención.
- .- Ocupaciones ilegales y construcción de viviendas en zonas de alto riesgo.
- .- Edificaciones esenciales como escuelas y hospitales con vulnerabilidades por su ubicación cercana a ríos y quebradas.
- .- En los colegios del MN no se ha incluido en sus programas contenidos programáticos sobre gestión de riesgos.

En vista de la situación de vulnerabilidad en la que se encuentra el MN, se plantean una serie de acciones a tomar para lograr la mitigación del riesgo de inundación.

- .- Crear un Gabinete de Gestión Integral de Riesgo en el municipio.
- .- Fortalecer el PDUL como herramienta de planificación del desarrollo del municipio, con enfoques de reducción de riesgo de desastres y resiliencia.
- .- Promover la participación ciudadana en la evaluación y reducción de riesgo de desastres.



4.- PROPUESTA: “PLAN PARA LA GESTIÓN SUSTENTABLE DEL RIESGO DE INUNDACIÓN EN EL MUNICIPIO NAGUANAGUA” (PGSRI-MN)

4.1.-OBJETIVOS Y ALCANCES DEL PGSRI-MN

El proceso de planificación del PGSRI-MN debe estar basado en un Mapa Estratégico, debe balancear la argumentación técnica con la interpretación social y política en la definición y priorización de los problemas municipales, así como en el planteamiento de las soluciones. Igualmente, debe ajustar los objetivos y metas según la disponibilidad de recursos, manteniendo la visión sobre el futuro deseado y posible y fortaleciendo la identidad cultural. Si la gestión del riesgo no está implícita y explícita en la planeación territorial cualquier proceso de desarrollo se podría ver truncado, por la ocurrencia de desastres que pudieron ser evitados, mitigados o controlados.

4.2.- OBJETIVO GENERAL

Generar condiciones de seguridad, bienestar y calidad de vida en el M- N para todos sus habitantes, abordando adecuadamente la gestión del riesgo de inundación, desde su conocimiento y reducción, así como desde el manejo de posibles desastres.

4.3.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- .- Revisar y actualizar los estudios de amenazas, vulnerabilidad y riesgos de inundación en el municipio.
- .- Identificar y emprender acciones de mitigación y reducción de riesgos, abordados en la caracterización de escenarios de riesgos.
- .- Propiciar e incentivar la participación de todos los actores de la gestión de riesgo de inundación en la formulación, ejecución y seguimientos de los diferentes instrumentos de gestión del riesgo.
- .- Desarrollar mecanismos e instrumentos de documentación de eventos desastrosos y lecciones aprendidas que permitan conservar la memoria histórica del municipio.

4.4.- POLÍTICAS DEL PGSRI-MN

1.-**Política de Participación:** Debe promoverse la participación de todas las comunidades que conforman el MN.

2.- **Política de Igualdad:** No habrá discriminación de ningún tipo en la atención.

3.- **Política de la Solidaridad Social:** Todas las personas naturales y jurídicas apoyaran las acciones humanitarias en situaciones de peligro y desastres.

4.- **Política de Auto conservación:** Toda persona natural o jurídica tienen la obligación de salvaguardarse de situaciones de peligro o riesgo.

5.- Política de la Sostenibilidad Ambiental: La Gestión del Riesgo se asume como un proceso que conduce a la búsqueda del desarrollo sostenible del MN.

4.5.- ALCANCE DEL PLAN

El alcance del PGSRI-MN se define de manera propositiva los lineamientos básicos en materia de conocimiento del riesgo, intervención del mismo y manejo de inundaciones para el MN; así como las acciones concretas, los modelos de organización y los procedimientos generales aplicables para afrontar eficientemente una situación de desastre o emergencia previamente identificada y evaluada, con el fin de mitigar y reducir el impacto negativo sobre una comunidad como consecuencia de la ocurrencia de un evento potencialmente dañino.

4.6.- ETAPAS DEL PGSRI-MN

4.6.1.- ANÁLISIS Y PRIORIZACIÓN DEL RIESGO

En esta fase se aportan las herramientas necesarias para elaborar un análisis general del estado actual del MN en materia de riesgos. Refleja el panorama actual del MN en cuanto a los escenarios que se consideran potencialmente dañinos para la comunidad. Como segunda fase de esta etapa se desarrolla todo el proceso de conocimiento del riesgo y sus respectivas actividades.

a.- Fase I. Análisis General de la situación Actual del Municipio Naguanagua

Descripción de la cuenca del río Pao y su entorno

La Cuenca del río Pao, está ubicada en la región centro-norte de la República Bolivariana de Venezuela adjunta al Mar Caribe, entre las coordenadas geográficas: 9°33'38.991 y 10°20'29.963 de latitud Norte y 67°48'319.348 y 68°17'35.54", de longitud Oeste.

El Municipio Naguanagua pertenece a la Cuenca del río Pao, ubicada entre las coordenadas geográficas: 10° 22' con 10° 14' de Latitud Norte y 68° 08' y 67° 58' de Longitud Oeste. Su extensión aproximada es de 188 Km, ² pertenece a la porción Occidental de la Cordillera de la Costa, alcanza una cota de 1680 m.s.n.m en la Teta de Hilaria. Los límites del municipio son: al norte con el municipio Puerto Cabello, al sur con los municipios Valencia y Libertador, al este con el municipio San Diego y al oeste con los municipios Bejuma y Libertador. En relación con el Estado Carabobo (E C) el municipio cubre el 4,3% de la superficie total del Estado

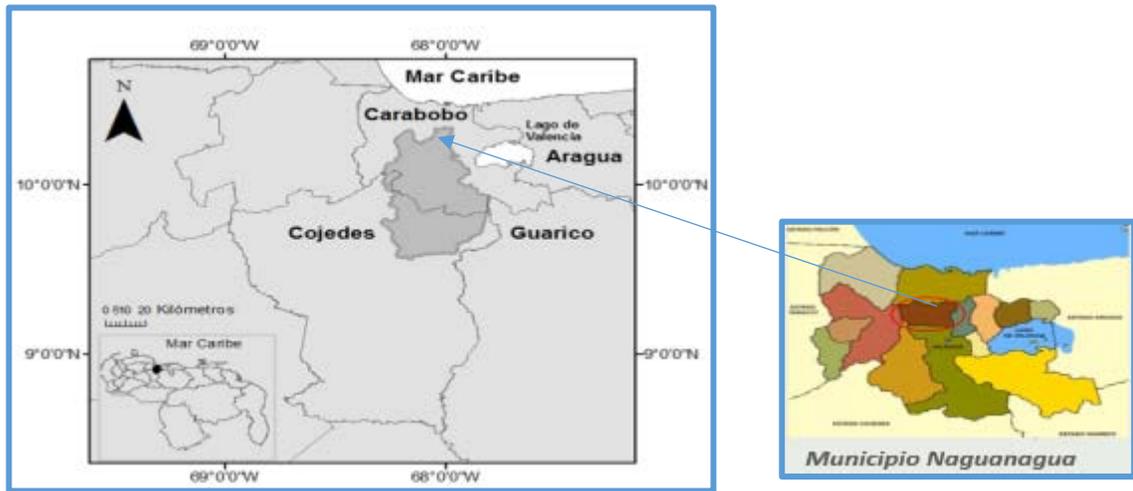


Figura 4. Ubicación geográfica del municipio Naguanagua en la región Centro-Norte de la Cuenca del río Pao.

La selección del MN para la aplicación del PGSRI-MN fue producto de una investigación que abordó la caracterización de los usos del suelo y la cobertura terrestre que han ocurrido en la cuenca del río Pao entre los años 1986 y 2016. La metodología incluyó: 1) Adquisición de dos imágenes de satélites Landsat, L5TM y L8OLI. 2) Procesamiento preliminar de imágenes. 3) Aplicación de la técnica de postclasificación para la detección de cambios. 4) Evaluación de la exactitud temática. 5) Validación de la clasificación de imágenes. El estudio muestra que las clases que presentan incrementos en la cuenca son: urbano: 1.37%, agropecuario: 22.99%, los descensos ocurren en las clases: agrícola: 1.12; agua: 0.55%; vegetación: 8.1%; suelo deforestado: 9.66 %; sombra: 2.28%. Concluyendo en esta investigación que la cuenca del río Pao ha sufrido cambios en el uso y cobertura de la tierra, el incremento de uso urbano se ubica predominantemente al norte, es decir en la cuenca alta del río Pao, entre los municipios Naguanagua y Valencia.

Aunado a la ubicación geográfica del MN donde dos importantes ríos y muchas quebradas conforman su red hídrica y de acuerdo a los registros históricos se han registrado numerosas inundaciones en sus comunidades, se decidió en esta investigación seleccionar este municipio para la aplicación de un PGSRI-MN.

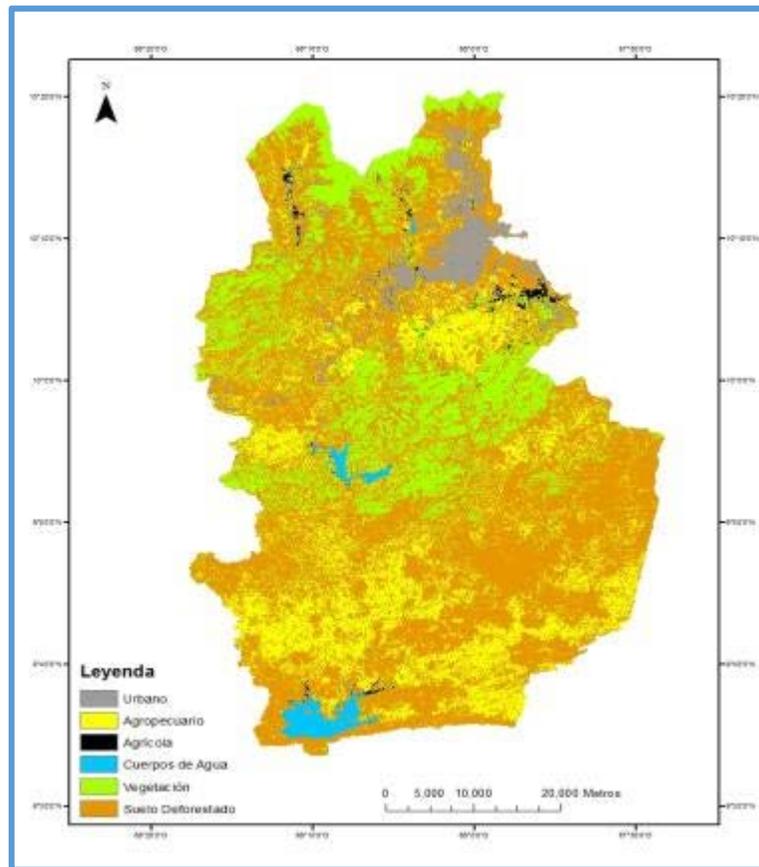


Figura 5. Mapas de usos y coberturas terrestres de la Cuenca del río Pao

Los resultados de esta investigación se validaron con visitas de campo donde se comprobaron estos usos y coberturas de la tierra en la cuenca del río Pao.

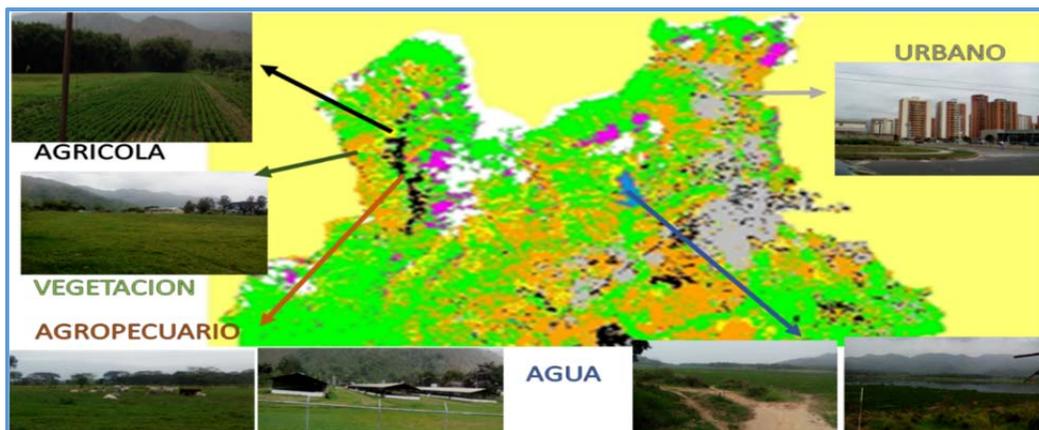


Figura 6. Resultado de las visitas de campo para la verificación de las clasificaciones de usos y coberturas de la cuenca del río Pao y comprobación de zona urbana del municipio Naguanagua

Caracterización biofísica de la cuenca

Cuerpos de agua:

La cuenca del río Pao cuenta con catorce ríos principales y tres embalses que la convierten en una de las principales fuentes de abastecimiento de agua para la región central del país. Los tres embalses son: Embalse Guataparo, Embalse Pao Cachinche y Embalse Pao La Balsa. Los ríos son: 1.- Río Chirgua, 2.- Río Paito, 3.- Río Cabriales, 4- Río Pira Pira, 5.- Río Paya, 6.- Río San Pedro, 7.- Río Caimán, 8.- Río Caimancito 9.- Río Pao, 10.-Río Araguaita, 11.-Mucaria, 12.- Río Pacaragua, 13.- Río Gamelotal, .- 14.- Río Palmar.

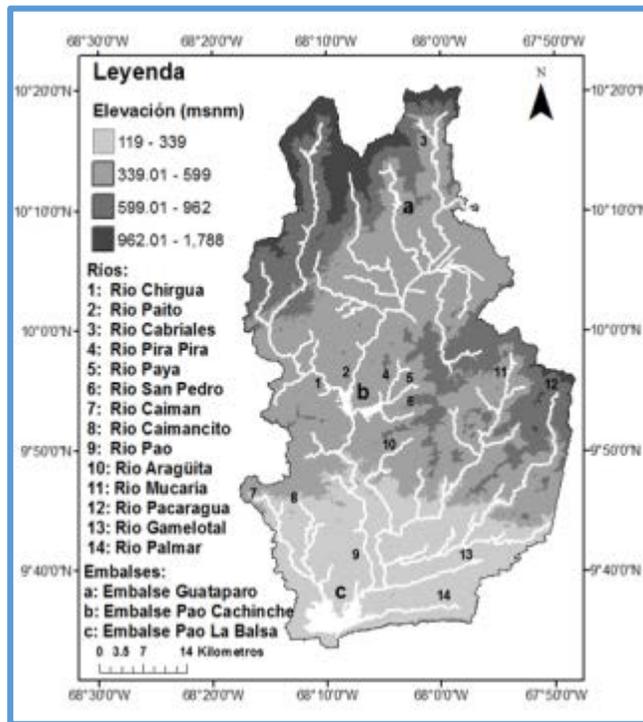


Figura 7. Red hídrica de la cuenca del río Pao.

Las principales corrientes fluviales del MN son los ríos Cabriales, Aguas Calientes, Retobo y Guataparo. El nacimiento del río Cabriales se encuentra en la vertiente sur de la serranía del litoral a una cota aproximada de 1.650 msnm; recorre la ciudad de Valencia de norte a sur hasta llegar a su desembocadura en el Lago de Valencia; tiene una longitud de 33 Km y drena un área de 140 Km². El río El Retobo nace en La Mora – la sabana de Bárbula y se extiende por todo el norte de Naguanagua hasta su confluencia con el río Cabriales, en frente de la Urbanización Los Caracaros.

En la figura 8 se presenta la red hídrica de la cuenca del río Cabrales que es la subcuenca donde está ubicada el MN.

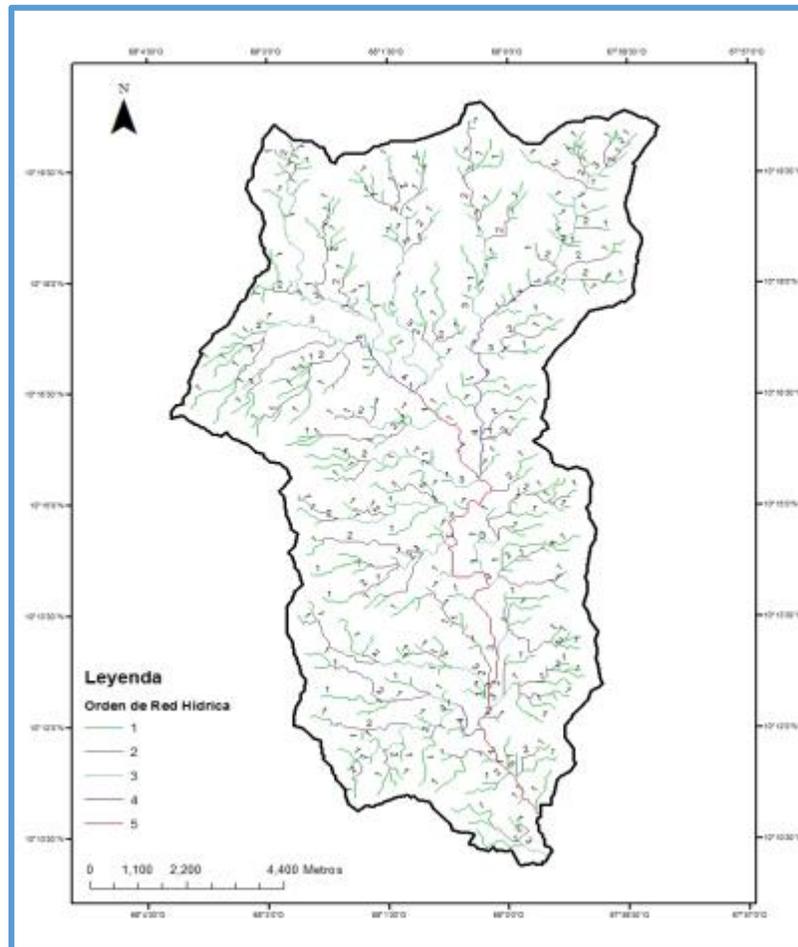


Figura 8. Red hídrica de la subcuenca del río Pao (Cabrales)

Condiciones climáticas:

Se realizó un estudio a partir de la información meteorológica proveniente de 25 estaciones de monitoreo ubicadas en los seis estados que circundan la cuenca, pertenecientes al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH).

Los datos fueron obtenidos de la página web del Instituto para el período enero 2015 -diciembre 2017, los mismos que se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Red telemétrica de control de estaciones climáticas en la cuenca del río Pao, estados Carabobo, Aragua, Guárico, Cojedes, Distrito Federal y Falcón.

N	Coordenadas Proyectadas UTM Zona 19 N		Nombre Estación	Estado
1	613822	1154779	Hda Manglar	Carabobo
2	616988	1138671	San Diego	Carabobo
3	622148	1131688	Guacara	Carabobo
4	592724	1106863	Cpo Carabobo	Carabobo
5	622892	1135723	Vigirima	Carabobo
6	626026	1110365	Agua Blanca	Carabobo
7	608178	1131078	Valencia-Ofna	Carabobo
8	619290	1112277	Potabilizadora	Carabobo
9	598708	1124960	Guataparo	Carabobo
10	603183	1134833	Guaparo- Café	Carabobo
11	689996	1117236	San Fco del Pao	Aragua
12	727848	1097069	Valle Morin	Aragua
13	701139	1100351	San Sebastián	Aragua
14	690407	1136763	Quebrada Seca	Aragua
15	674382	1114218	El Cortijo	Aragua
16	677672	1026188	La Yeguera	Guárico
17	688034	1062987	Ortiz	Guárico
18	677610	1097000	Los Morros	Guárico
19	677610	1097000	Tinaquillo	Cojedes
20	548113	1071877	Unellez	Cojedes
21	546523	1066369	S.C Aeropuerto	Cojedes
22	735254	1160195	La Carlota	D. Federal
23	753237	1321474	Los Roques	D. Federal
24	814161	1306732	La Orchila	D. Federal
25	460647	1269171	Pto Cumarebo	Falcón

La información satelital proviene de los satélites Landsat L5TM, L7ETM, y L8OLI, de los años 2015, 2016 y 2017 respectivamente. Las imágenes satelitales se obtuvieron desde la página web <https://earthexplorer.usgs.gov/> del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS: U.S. Geological Survey, por sus siglas en inglés).

La escena usada para la cuenca del río Pao se identifica bajo el Sistema de Referencia Mundial (WRS: World Reference System, por sus siglas en inglés) según la ruta y fila como sigue: 005 y 053; respectivamente. Los parámetros de la proyección de mapa según el USGS son: 1) Proyección: UTM, 2) Datum: WGS 1984, 3) Elipsoide: WGS 84, 4) Zona UTM: 19 N, 5) Convulsión cúbica, como método de remuestreo.

En este estudio fue necesario el uso de varias técnicas y herramientas computacionales para el procesamiento preliminar de las imágenes de los

satélites Landsat, que incluye correcciones absolutas y relativas de cada imagen.

Las correcciones radiométricas, topográficas y atmosféricas aplicadas a cada imagen se ejecutaron en el entorno de la herramienta computacional de procesamiento de imágenes satelitales ENVI 4.7. El método de clasificación empleado fue clasificación supervisada mediante el algoritmo de la Máxima Probabilidad, fundamentado en el previo conocimiento de las clases y de estadísticos que se relacionan a cada clase. Para la detección de cambios, el método aplicado fue el de post-clasificación basado en la clasificación temática de dos diferentes imágenes de fechas de forma independiente. Para obtener las pérdidas y estimar a partir de ellas el escurrimiento superficial, se utilizó el método del Servicio de Conservación de Suelos (S.C.S: Soil Conservation Service, por sus siglas en inglés).

Este método requiere conocer el tipo y uso de suelo de la cuenca en estudio para determinar el número de curva (CN: Curve Number, por sus siglas en inglés), los registros pluviográficos, y otros factores como el tiempo transcurrido desde la última precipitación y la evapotranspiración durante el período de estudio. El balance hidrológico en esta investigación fue planteado según la siguiente ecuación:

$$\Delta S = I - ETR \quad (1)$$

Donde ΔS representa la variación de agua almacenada en el suelo (mm); I es la infiltración en (mm); ETR la evapotranspiración en (mm). Se considera que:

$$I = P - ES \quad (2)$$

Desde el procesamiento de datos de la herramienta geoestadística de ArcGis 10.0 se generaron los resultados que abarcan la creación de mapas de variables en el entorno SIG como: a) precipitación, b) evapotranspiración, c) infiltración, d) precipitación efectiva, e) volumen acumulado.

Precipitación

La precipitación mensual en forma de lluvia durante la temporada seca que en Venezuela corresponde a los meses de Diciembre a Marzo se distribuye espacialmente con una baja intensidad desde 0 mm/mes a 48 mm/mes.

Durante la temporada lluviosa de Abril a Noviembre la precipitación mensual varía entre 11.58 mm/mes y 419,96 mm/mes concentrándose en este periodo lluvioso más del 85% del total anual de precipitación. (Figura 9).



Figura 9. Predicción espacial de la precipitación mensual (mm/mes) que ocurrió en la cuenca del río Pao durante el período 2015-2017 Figura E-15 – D-15: enero a diciembre de 2015, Figura E-16-D-16 de enero a diciembre 2016, Figura E-17-D-17 enero – diciembre de 2017

Con respecto al clima en el municipio se presentan tipos mesoclimáticos, de subhúmedo seco y subhúmedo húmedo. La temperatura media anual es de 23.4 °C.

Relieve

La Figura 10 muestra una representación del relieve en la cuenca del río Pao. Donde se puede destacar que el MN que pertenece a la porción Occidental de la Cordillera de la Costa, alcanza una cota de 1680 msnm en la Teta de Hilaria. Se destacan en el Noreste las filas de Aguacatal con 1500 msnm y la del Café con 1200 msnm.

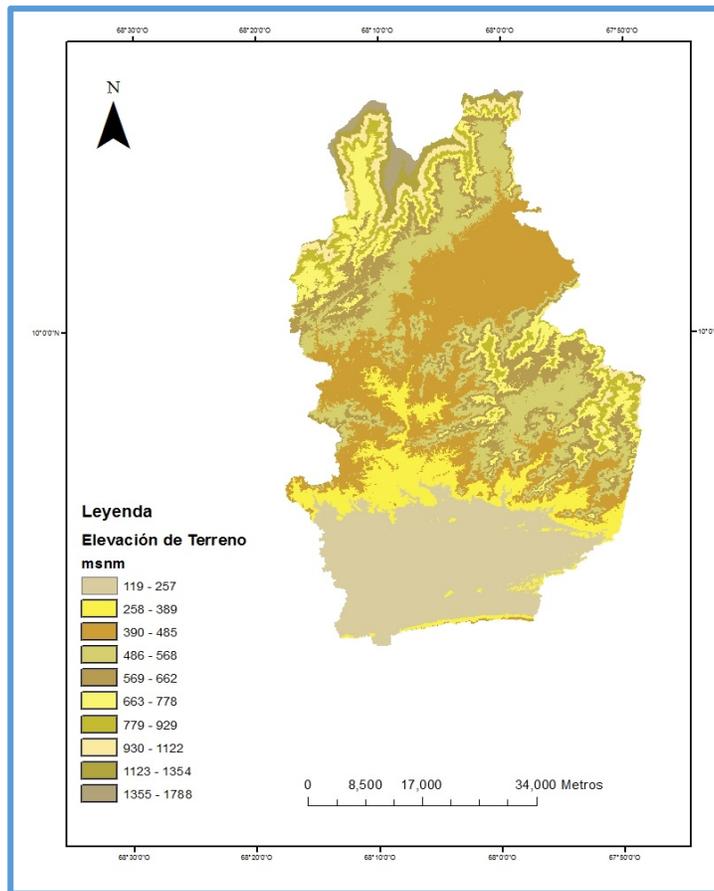


Figura 10. Relieve de la cuenca del río Pao

La Figura 11 es una representación de la topografía en la cuenca del río Pao. La topografía del MN pasa de suavemente inclinada a plana en los fondos del valle y la planicie del Lago de Valencia, con una pendiente promedio del 3% al 5%, y en las elevaciones circundantes alcanza entre el 14% al 30%.

Crecimiento urbano

El MN está conformado por 83 sectores definidos: 42 urbanizaciones, 26 barrios, 04 sectores urbanizados no clasificados y 11 sectores indefinidos o sin información. Según la última proyección realizada a partir del Censo Nacional del año 2011 la población actual del MN es de 157,437 habitantes. Según las proyecciones de la Alcaldía del Municipio Naguanagua la población para el año 2019 es de 189,358 habitantes.

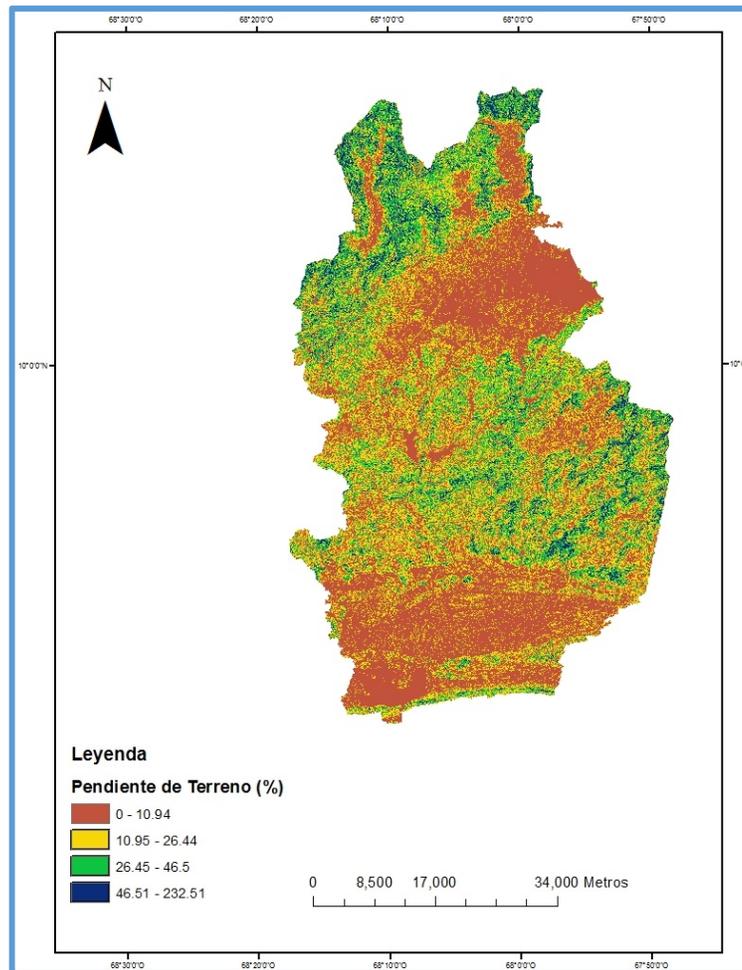


Figura 11. Topografía de la cuenca del río Pao

La población del municipio Naguanagua se encuentra distribuida en los siguientes sectores: Sector 190; Agua Linda; Arturo Ramírez; Av. 181 Valencia ; Barrio Unión; Barrio Oeste; Bella Vista Brisas de Carabobo; Brisas del Café ;Campus Bárbula - Ciudad Universitaria; Capremco; Carialinda; Chaguaramal; Ciudad Jardín Mañongo; Centro Histórico de Naguanagua; Colinas de Girardot I; Colinas de Girardot II; Colón; Democracia; El Cafetal; El Naranjal I; El Naranjal II; El Pinar; El Piñal; El Retobo; El Rincón; Guayaba; Guaparo Norte; Güere; González Plaza; La Begoña; La Campiña I; La Campiña II; La Campiña III; La Cidra; La Entrada; La Florida; La Granja I; La Granja II; La Llovizna; La Luz; La Querencia; La Sabana; La Coromoto; Las Palmeras; Las Quintas I; Las Quintas II; Las Quintas III; Quintas del Norte; Lorenzo Fernández; Los Candiles; Los Caracaros; Los Guayabitos; Malagón; Mañongo; Montesión; Negra Matea; Nueva Esparta; Palma Real; Parque Naguanagua; Puente Bárbula; Rotafé;

Santa Ana; Santa Eduvigis; Vivienda Rural Bárbula; Santa Marta; Simón Bolívar; Tarapio; Tazajal; Terrazas de Naguanagua.

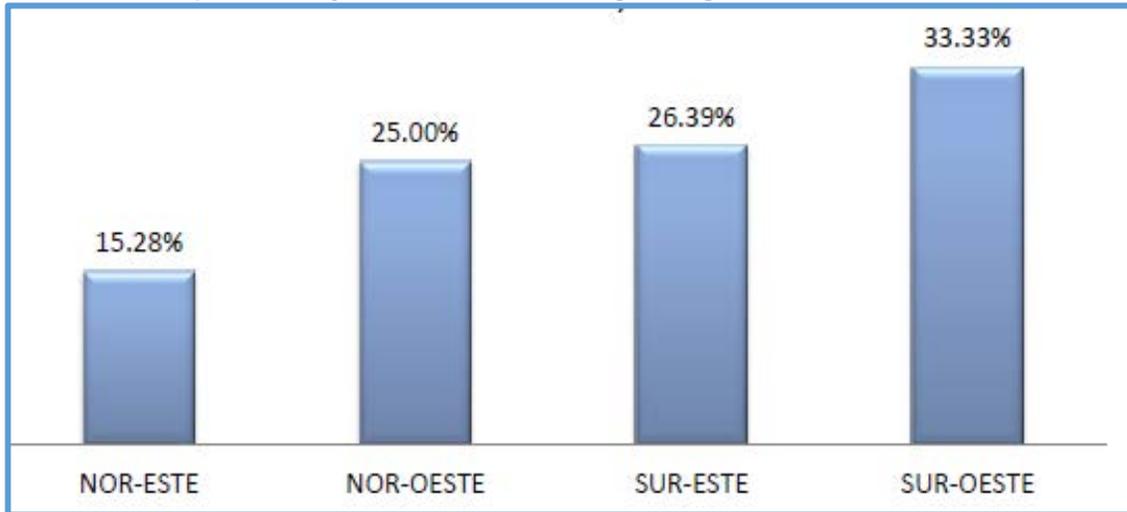


Figura 12. Porcentajes de barrios y urbanizaciones del Municipio Naguanagua según su ubicación geográfica Geología y uso del suelo.

De acuerdo al mapa de suelos de Venezuela, la cuenca del río Pao presenta los siguientes tipos de suelos:

- Inceptisoles
- Alfisoles
- Mollisoles

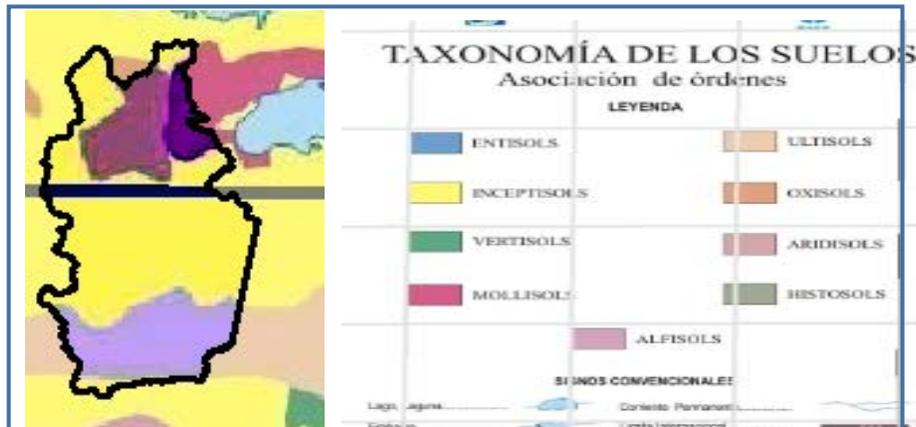


Figura 13. Clasificación de los suelos de la cuenca del río Pao

En el área correspondiente al MN prevalece hacia el valle suelos de textura predominante franco arcillo-arenosa/ gravosa (por aportes laterales), generalmente bien drenados.

Uso del suelo

La Figura 14 presenta el resultado del uso y cobertura de la cuenca del río Pao durante el periodo 2015-2017. Se observan los siguientes usos de la tierra: urbano, agrícola, agua, vegetación, suelo deforestado. Se observa el incremento de suelos degradados en la cuenca, así como la presencia de vegetación y uso agrícola como clase predominante.

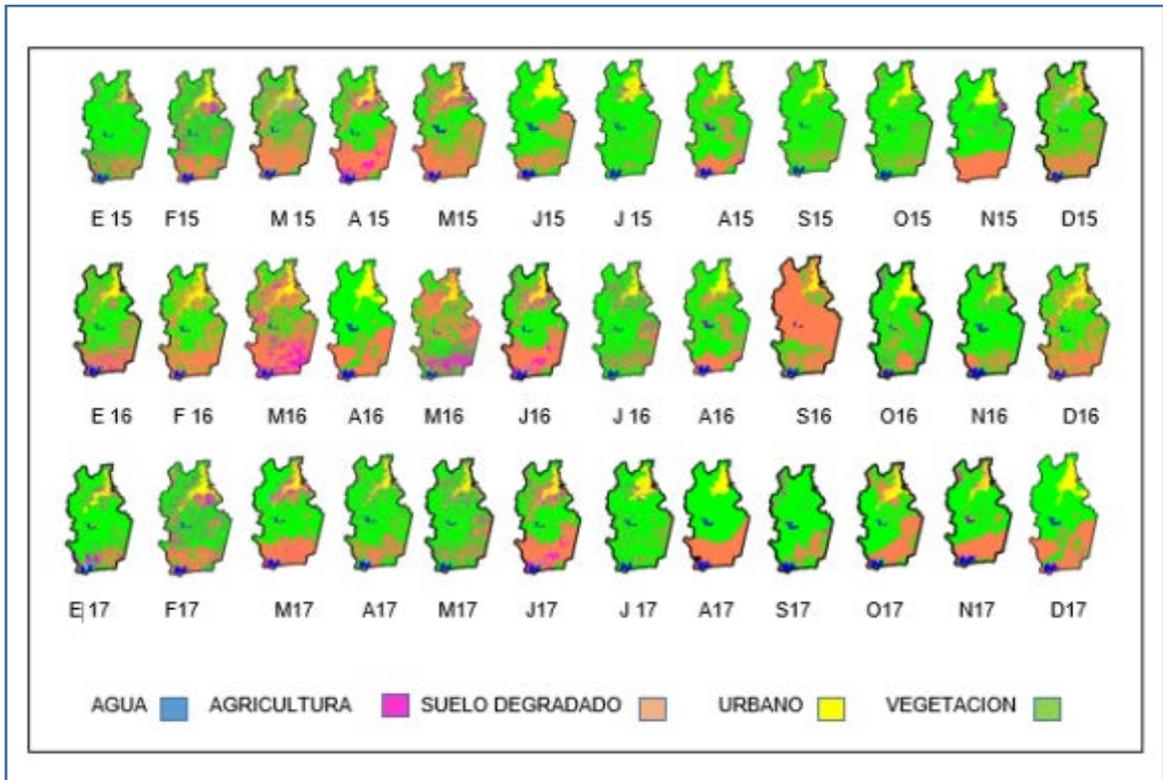


Figura 14. Uso y cobertura de la tierra en la Cuenca del río Pao durante el periodo entre Enero 2015 y Diciembre 2017

La Figura 15 representa el uso y cobertura de la tierra de la subcuenca del río Cabriales donde se puede apreciar con más detalles los usos y coberturas del suelo predominantes del MN urbano, agropecuario, vegetación, suelo deforestado.

Un alto porcentaje en el MN está representado por el uso urbano donde predominan el uso destinado a:

- Zona Residencial General
- Zona Comercial
- Zona de Actividad Múltiple

- Zona Institucional
- Zona Turística

En cuanto al parcelamiento del MN está distribuido de la siguiente manera:

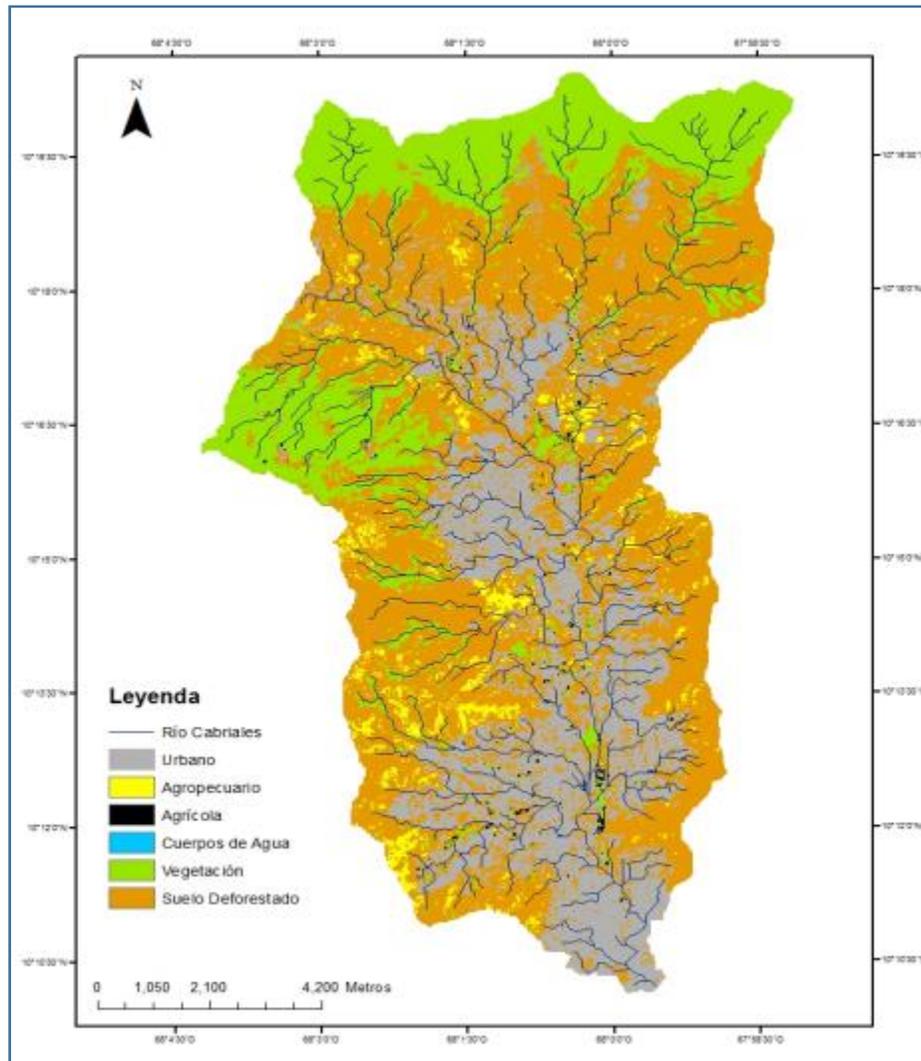


Figura 15. Uso y cobertura de la tierra en la subcuenca del río Pao (Cabriales)

Tabla 2. Diferentes tipos de parcelas ubicadas en el municipio Naguanagua.

TIPO	Número de parcelas	% DE OCUPACION
Residencial	14943	95.29
Comercial	326	2.08
Educativo	249	1.59
Recreacional	58	0.37
Hospitalario	39	0.25
Gubernamental	34	0.22
Hospeaje	19	0.12
Religioso	11	0.07
Cultural	3	0.02

Actividades Económicas

Por su infraestructura de servicios y su estratégica ubicación entre Valencia y Puerto Cabello, el MN basa su economía en la actividad comercial intensiva. Numerosos centros comerciales operan en el Municipio.

Infraestructura vial

La conexión vial del Municipio depende de la local 01 redoma de San Blas-Naguanagua-Las Trincheras- El Palito; la autopista Naguanagua- Puerto Cabello (vía Panamericana) y la local 05 Naguanagua- San Diego, donde se conecta la Autopista Regional del Centro. El MN cuenta con 1543 vías de comunicación distribuidas en 368km de vialidad, 03 autopistas: la del Este, Valencia- Puerto Cabello, y la autopista Bárbula- Guacara, posee además 03 Distribuidores: Manongo, Bárbula y Naguanagua.

Tabla 3. Diferentes tipos de vías en el Municipio Naguanagua, Estado Carabobo

Tipo de vía	Longitud Total (Kms)	%
Troncal	5.06	1.37
Autopista	14.63	3.98
Rampa de acceso	6.18	1.68
Arteria principal	24.10	6.55
Arteria menor	28.79	7.82
Colectora	97.47	26.48
Local	127.58	34.66
Servicio	6.95	1.89
4W	2.85	0.77
Férrea	0.32	0.09
Otras	54.15	14.71

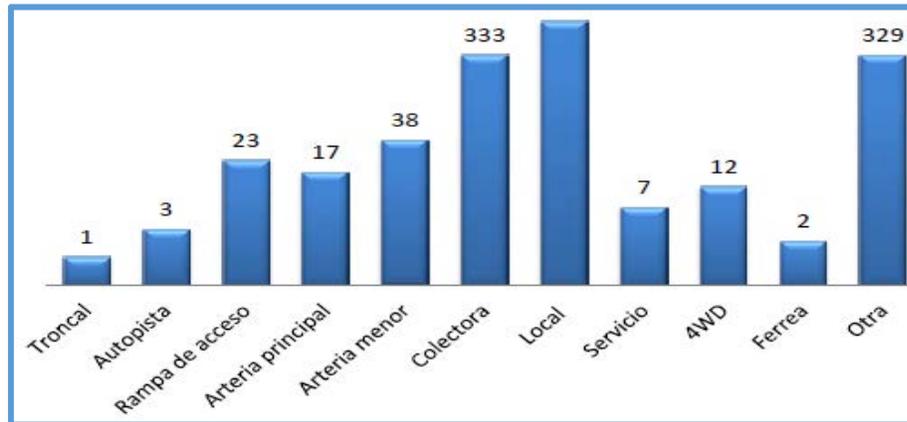


Figura 16. Clasificación de la vialidad en el Municipio Naguanagua según su funcionalidad

Situación socioeconómica

Educación:

En el MN existen 91 planteles educativos lo que equivale al 6,5% del total estatal que son 1.395 planteles; de los cuales 47 poseen una dependencia pública y 44 son privados. Este municipio cuenta además con 05 Instituciones Universitarias.

Salud:

En el MN existen 11 centros de salud entre hospitales y centros de atención médica.

Servicios Públicos:

Agua Potable

La fuente primaria de abastecimiento es el Acueducto Regional del Centro I etapa-Alto Cabriales y doce (12) pozos profundos y dos estaciones de bombeo. En total existen 183.32 km de acueductos con la siguiente distribución:

Tabla 4. Distribución y longitud de acueductos en el municipio Naguanagua

Ubicación	Longitud (Kms)	%
Nor oeste	29.73	16.22
Sur oeste	70.09	38.23
Nor este	42.55	23.21
Sur este	40.95	22.34

La Figura 17 representa los diferentes tipos de material de fabricación de los acueductos instalados en el municipio Naguanagua.

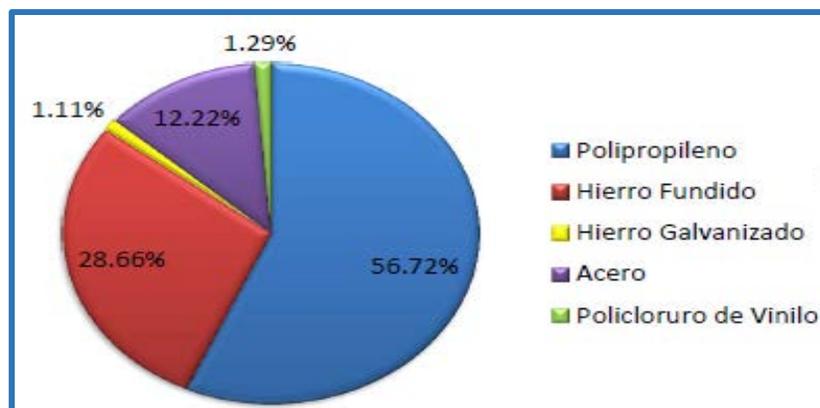


Figura 17. Diferentes tipos de tuberías según el material de construcción.

Cloacas

En el MN existen aproximadamente 87.13 km de colectores. La Figura 18 presenta los diferentes diámetros de tuberías y sus longitudes instaladas en el MN.

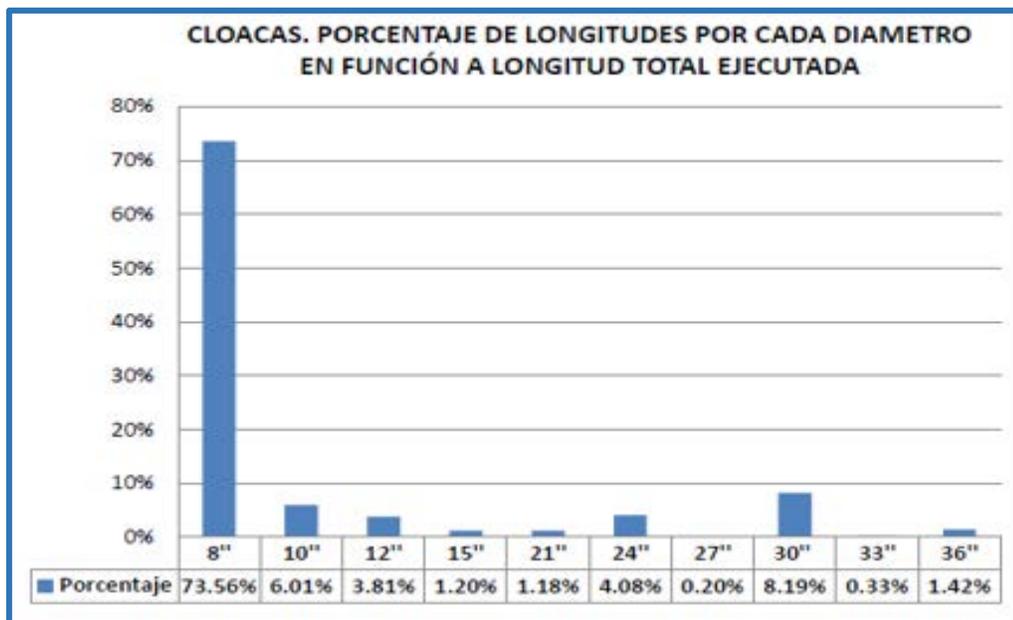


Figura 18. Diferentes diámetros y longitudes de tuberías del sistema de cloacas instaladas en el municipio Naguanagua

Drenajes

En el MN la red de drenaje está formada por elementos tubulares: 1.908 ml de tubería que van desde 11" hasta 54", que representan el 80.21%; y secciones tipo cajón formada por 516.42 ml de colectores de sección 1.2x1,2 m, que representan el 19.79%.

Recolección de residuos sólidos

De acuerdo al último reporte de la Alcaldía del Municipio Naguanagua se recolectan 187.800 kg/diarios de residuos sólidos, con un total de 22 rutas de recolección y 18 unidades operativas. La cantidad de usuarios son 8811 habitantes.

Para la disposición final de los residuos y desechos sólidos es utilizado un vertedero medianamente controlado de la ciudad de Valencia, denominado La Guásima. La tasa de generación per cápita de residuos y desechos sólidos en él se sitúa en 1193 kg/hab./día.

Parques

En el MN existen 11 parques recreacionales ubicados de la siguiente manera: 09 zona sureste que representan el 81.8%, en la zona noreste que representan el 9.1%, y en la zona suroeste que representan el 9.1%.

b.- Fase II. Identificación del escenario según el criterio amenazante

En esta fase del PGSRI-MN es necesario identificar los posibles escenarios de riesgos asociados en este caso a los fenómenos de origen hidrometeorológicos.

Tabla 5. Identificación de escenarios de riesgo según el criterio de fenómeno amenazante

<p>ESCENARIOS DE RIESGO ASOCIADOS CON FENÓMENOS DE ORIGEN HIDROMETEOROLÓGICOS</p>	<p>RIESGO POR: INUNDACIONES AVENIDAS TORRENCIALES CONTAMINACIÓN BIOLÓGICA Y QUÍMICA COLAPSO ESTRUCTURAL EN VÍAS, EDIFICIOS, VIVIENDAS ENTRE OTROS AHOGAMIENTO INTERRUPCIÓN DE SERVICIOS ESENCIALES BLOQUEO DE VÍAS EPIDEMIAS PÉRDIDAS ECONÓMICAS</p>
--	---

Tabla 6. Descripción del escenario de riesgo por inundación

<p>DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO DE RIESGO POR INUNDACIÓN CONDICIÓN DE AMENAZA</p>
<p>Descripción del fenómeno amenazante: El MN presenta riesgos considerables por inundaciones, especialmente en las partes bajas o planas, los centros poblados más importantes del municipio se encuentran en las márgenes de los ríos que atraviesan el municipio.</p>
<p>Identificación de causas del fenómeno amenazante: El cambio climático destrucción de la capa vegetal por factores antrópicos o naturales (sequía, incendios), disminución de la infiltración, incremento de la escorrentía y erosión masiva, ocurrencia de sismos desestabilizadores de masas de materiales.</p>
<p>Identificación de factores que favorecen la condición de amenaza: Las pendientes, constitución de los suelos, la tectónica local y regional, así como la actividad antrópica, representada en el disposición de sólidos, el mal manejo de aguas, canalizaciones de aguas, rellenos, sistema vial deficiente</p>
<p>Identificación de actores significativos en la condición de amenaza: Las autoridades locales responsables de la protección del medio ambiente y las organizaciones comunitarias y sociales. De igual forma las comunidades que viven en áreas de riesgo de inundación.</p>

Tabla 7. Consolidación y priorización de escenarios de riesgo

INUNDACIONES	
Breve descripción del escenario:	
<p>Este escenario se ha presentado por fuertes variaciones de la precipitación anual, irregularidad de los caudales del río Cabriales y sus afluentes, la presencia de comunidades en las planicies de inundación de los cuerpos de agua del municipio. Dada las condiciones de vulnerabilidad, las cifras reportadas en el año 2015-2017 ilustra esta situación:</p> <p>Aproximadamente unas 30.000 personas afectadas, 2000 viviendas afectadas, sin incluir las que quedaron destruidas, 4 centros educativos con daños en sus infraestructura, pérdidas económicas considerables en centros comerciales donde se inundaron estacionamientos con muchos vehículos que quedaron totalmente cubiertos por el lodo, e incluso pérdidas totales que deben cubrir los propietarios de estos establecimientos.</p>	

4.6.2.- CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL ESCENARIO DE RIESGO

Tabla 8. Antecedentes del escenario de inundaciones en el Municipio en el periodo de estudio

DESCRIPCIÓN DE SITUACIONES DE DESASTRE O EMERGENCIAS ANTECEDENTES (2015-2016-2017)
1.- “En el MN las calles se inundaron con más de 50 centímetros de agua, principalmente en la avenida 190, Barrio Unión, Puente Bárbula y comunidades aledañas donde varios vehículos fueron arrastrados por la corriente”
2. El MN sufrió las consecuencias de las lluvias, presentándose inundaciones que originaron el colapso de calles y avenidas, la evacuación de 500 alumnos de la U. E María Teresa Coronel, debido al colapso del sistema recolector de aguas, y el desbordamiento de varios ríos. El sector Brisas del Café es una de las comunidades del municipio afectadas por las inundaciones, producto del desbordamiento de las aguas del río Retobo.
3.-Según el censo realizado en las zonas inundadas la lluvia afecto a 4,718 personas, 942 viviendas quedaron anegadas y 205 vehículos arrastrados, siendo Naguanagua el municipio más afectado desbordamiento del río Cabriales. El desbordamiento de la quebrada Carialinda anegó más de 300 viviendas en los sectores El Rocío, El Café I y II y La Estancia, Simón Bolívar, Los Próceres, Colinas de Girardot que fue donde se registró la situación más crítica debido al derrumbe de las viviendas.

<p>4.-“Las fuertes precipitaciones con ráfagas de viento y descargas eléctricas, registradas este domingo 22 de septiembre de 2016 en horas de la noche, causaron deslizamientos de tierra y piedras en varios tramos de la autopista Valencia- Puerto Cabello, entre Trincheras y El Cambur. Además de propiciar el desbordamiento del río del sector Montesión de Naguanagua aproximadamente a las 10:00 de la noche, donde varias personas de comunidades aledañas a este se vieron afectadas por el fenómeno.</p>
<p>5.-La comunidad El Retobo se encuentra en una vulnerabilidad latente debido a su cercanía al río Retobo, en el mes de abril del 2016 donde una crecida causada por una lluvia intensa ocasionó la socavación de las orillas del río, dejando cuatro hogares con posibilidad de caer al vacío y aproximadamente a 30 familias afectadas, como consecuencia de la construcción de viviendas en zonas con alto riesgo.</p>
<p>6.- Fuertes lluvias registradas la noche de este miércoles 10 agosto 2017 en Carabobo causaron inundaciones en el municipio Naguanagua. Uno de los malls más perjudicados fue el Centro Comercial Sambil Valencia, donde en áreas del estacionamiento el agua superó hasta los 30 centímetros, por lo cual los propietarios se vieron forzados a sacar sus vehículos en prevención para evitar mayores daños. Asimismo, en el Centro Comercial Vía Veneto el agua ingresó en espacios interiores afectando establecimientos, el ambulatorio Miguel Franco sufrió anegaciones por la fuerte lluvia.</p>
<p>Factores que favorecieron la ocurrencia de los fenómenos: .-Inadecuada planificación, construcción sobre las márgenes de las corrientes hídricas, fallas en diseños de obras hidráulicas, falta de mantenimiento en las obras.</p>
<p>Actores involucrados en las causas del fenómeno: La Alcaldía del MN, las autoridades locales responsables de la protección del medio ambiente, las organizaciones comunitarias y sociales, y las poblaciones que viven en áreas de riesgo.</p>
<p>Daños y pérdidas presentadas: Personas damnificadas, viviendas destruidas, centros educativos con enseres dañados, centros comerciales con pérdidas incalculables.</p>
<p>Factores que favorecieron la ocurrencia de los daños: La falta de preparación y conocimiento de los fenómenos hidrometeorológicos, poca inversión del estado en prevención.</p>
<p>Crisis social incurrida: Estos fenómenos han incrementado la crisis económica de pequeños comerciantes, han empobrecido aún más a los habitantes de las</p>

comunidades en riesgo.

Desempeño institucional de la respuesta:

La alcaldía del MN cuenta con un PDUL, no obstante no cuentan con un plan de gestión de riesgos del municipio donde se zonifiquen las amenazas, tampoco poseen estudios detallados de riesgo por inundación.

Impacto cultural derivado:

Las inundaciones han logrado crear conciencia ambiental en la población, sin embargo se mantienen las prácticas generadoras sobre el fenómeno amenazante.

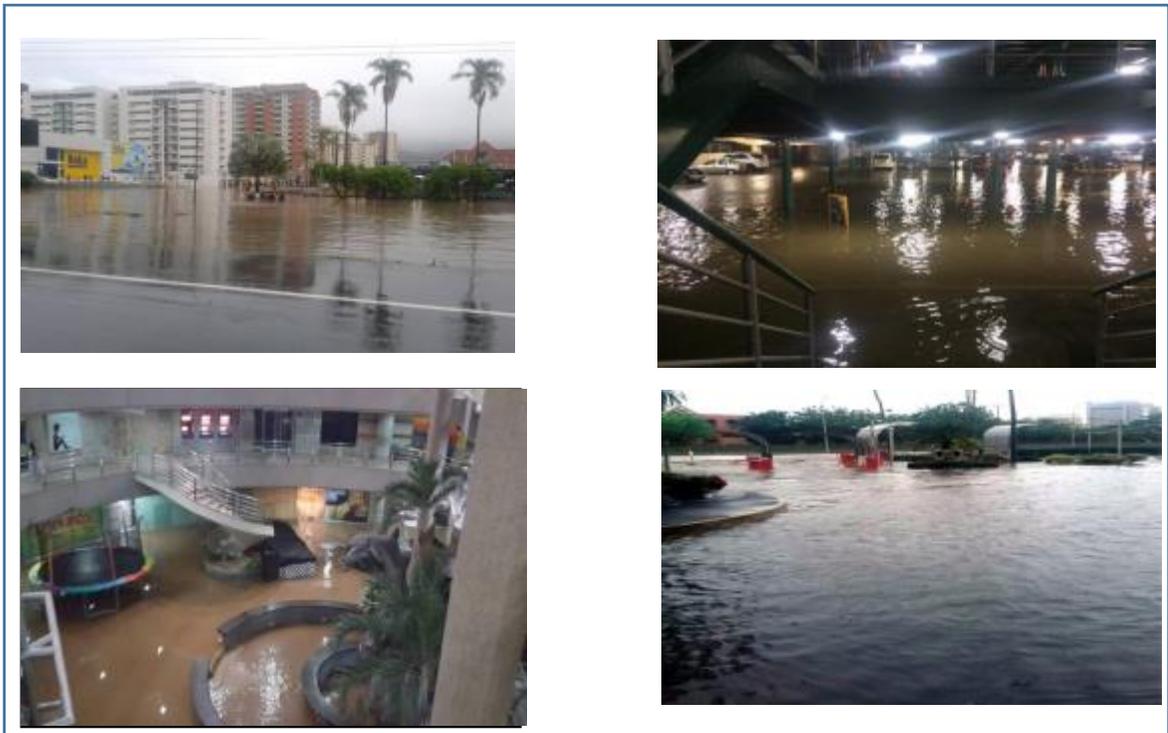


Figura 19. Diferentes escenas de inundación ocurridas en el Municipio Naguanagua

Tabla 9. Descripción del escenario de riesgo de inundaciones en el Municipio en el periodo de estudio

DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO DE RIESGO POR INUNDACION CONDICIÓN DE AMENAZA
<p>Descripción del fenómeno amenazante:</p> <p>De acuerdo a los registros históricos, las inundaciones son la amenaza de mayor frecuencia del municipio Naguanagua, las que son originadas por ondas, vaguadas y tormentas tropicales; con patrón de distribución temporal de régimen unimodal, y su período lluvioso comprende de los meses de Mayo a Noviembre de cada año, en donde se descarga el 86.5% del total de lluvias y Agosto como máximo módulo mensual. Los deslizamientos también están presentes en estas comunidades, generalmente vienen acompañados por lluvias, en áreas que se ven proclives a venirse abajo por las condiciones topográficas, la inconsistencia del suelo e incluso por la acción humana.</p>
<p>Identificación de causas del fenómeno amenazante:</p> <p>El cambio climático, destrucción de la capa vegetal por factores antrópicos o naturales (sequía, incendios), disminución de la infiltración, incremento de la escorrentía y erosión masiva, ocurrencia de sismos desestabilizadores de masas de materiales.</p>
<p>Identificación de factores que favorecen la condición de amenaza:</p> <p>Las pendientes del terreno, la constitución de los suelos, la tectónica local y regional, así como la actividad antrópica, representada en el disposición de sólidos, el mal manejo de aguas, canalizaciones de aguas, rellenos, sistema vial deficiente</p>
<p>Identificación de actores significativos en la condición de amenaza:</p> <p>Las autoridades locales responsables de la protección del medio ambiente y las organizaciones comunitarias y sociales. De igual forma las comunidades que viven en áreas de riesgo de inundación.</p>

4.6.3.-INVENTARIO DE RECURSOS LOCALES

Tabla 9 . Descripción de los elementos expuestos y su vulnerabilidad

ELEMENTOS EXPUESTOS Y SU VULNERABILIDAD
<p>Identificación general: En el municipio se han definido comunidades que requieren reubicación urgente por el riesgo no mitigable y los eventos ocurridos recientemente. Entre estos sectores están: Comunidad Las Adjuntas, Montesión, Carialinda I, II, y III. Estos sectores están en las márgenes del río Cabriales y el río Retobo. Se requiere tomar acciones rápidamente en busca de solución a su problemática.</p>
<p>.-Incidencia de la localización: Las zonas más vulnerables coinciden con las más pobladas e intervenidas por los habitantes, por esta razón los estragos causados por el agua se concentran en estas comunidades, afectando de manera directa construcciones y vías.</p>
<p>.-Incidencia de la resistencia: La localización de las viviendas en zonas inundables, la falta de obras de mitigación, la falta de mantenimiento del cauce, y el incremento de factores que favorecen las causas del fenómeno, haciendo que la vulnerabilidad aumenta con el tiempo.</p>
<p>.-Incidencias de las condiciones socio-económicas de la población expuesta: Los habitantes de la comunidad no cuentan con servicios de recolección de desechos sólidos, y descargan los mismos al cauce del río, aumentando la vulnerabilidad y las causas generadoras del fenómeno. La situación de pobreza extrema los obliga a seguir construyendo en las zonas inundables a medida que va aumentando su núcleo familiar.</p>
<p>.- Incidencias de las prácticas culturales: Existe resistencia al cambio por parte de la población expuesta, lo que no permite que las campañas de educación ambiental generen comportamientos preventivos.</p>
<p>Población y Viviendas: Cercano a las 200,000 personas del municipio, están expuestas de manera directa e indirecta a las afectaciones generadas por los procesos de inundación, las poblaciones más pobres presentan más riesgos de ser afectadas de manera directa por el fenómeno, en épocas de lluvia aumenta la alarma en todo el municipio.</p>
<p>Infraestructura y bienes económicos y de producción, públicos y privados: Existe una situación muy delicada desde la perspectiva social y económica con empresas, centros comerciales, hoteles y hospitales ubicados en áreas aledañas al río Cabriales, sin contar con establecimientos de comercios que</p>

<p>impactan sobre el empleo en el municipio.</p>
<p>Infraestructura de servicios sociales e Institucionales: Se encuentran alrededor de 15 escuelas afectadas de riesgo de inundación y de anegación. Así como dos Centros Comerciales.</p>
<p>Bienes Ambientales: En cada precipitación se incrementa el proceso de erosión y arrastre de material constituyentes de los suelos.</p>

Tabla 10 . Daños o pérdidas ocasionadas por las inundaciones

DANOS Y /O PERDIDAS QUE PUEDAN PRESENTARSE
<p>En las personas: Muertos, heridos, desaparecidos y damnificados al producirse precipitaciones como las ocurridas en el municipio.</p>
<p>En bienes materiales particulares: Destrucción de viviendas</p>
<p>En bienes inmuebles colectivos: Destrucción de calles, vías, escuelas, canchas deportivas, redes eléctricas, acueductos y alcantarillados.</p>
<p>En bienes de producción: Pérdidas de bienes en centros comerciales.</p>
<p>En bienes ambientales: Afectación de flora y fauna de la zona colapsada.</p>
<p>Identificación de la crisis social asociada con los daños y/o pérdidas estimadas: Cercano a los 200.000 personas del municipio, están expuestas de manera directa e indirecta a las afectaciones generadas por los procesos de inundación, las poblaciones más pobres presentan más riesgos de ser afectadas de manera directa por el fenómeno, en épocas de lluvia aumenta la alarma en todo el municipio.</p>
<p>Identificación de la crisis institucional asociada a la crisis social: Pérdida de confianza de la población en las autoridades locales, agudización de los problemas sociales, reducción de la capacidad de inversión por parte del estado venezolano para atender emergencias.</p>

Tabla 11. Análisis a futuro e identificación de medidas de intervención del escenario riesgo

ANÁLISIS A FUTURO
<p>Las inundaciones son la amenaza de mayor frecuencia del municipio Naguanagua, las que son originadas por ondas, vaguadas y tormentas tropicales. Las emergencias por inundaciones han estado asociadas primordialmente a factores físicos, urbanísticos y de uso del suelo, como la utilización urbanística de zonas de inundación, el desborde de caños y canales, la obstrucción de redes de alcantarillado, aumento de escorrentías en áreas urbanizadas y laderas deforestadas.</p> <p>Además de la eliminación de la cobertura vegetal realizada para construir viviendas, ha ocasionado en algunos casos que las aguas de escorrentía arrastren gran cantidad de sedimentos hacia los cauces, presentándose colmatación en las zonas de poca pendiente.</p> <p>La no intervención de este fenómeno amenazante originará las siguientes consecuencias:</p> <ul style="list-style-type: none"> .-Erosión acelerada de orillas y cauces .-Socavamiento lateral acelerado de orillas y cauces .-Socavamiento del lecho o fondo del río o corriente (profundidad de fondo-cambio de nivel de base). .-Inestabilidad de las vertientes .-Inundaciones repentinas fuera del promedio .-Desbordes atípicos de materiales arrastrados por el río o por la corriente afectada por el flujo de escombros. .- Profundización de cauces .- Cambios de la dinámica fluvial de las corrientes afectadas por un flujo de escombros .-Inicios el proceso de remoción en masa en las vertientes de los ríos o corrientes afectadas.
MEDIDAS DE CONOCIMIENTO DEL RIESGO
<p style="text-align: center;">Estudio de análisis del riesgo</p> <ul style="list-style-type: none"> .-Elaborar mapas de zonificación de amenazas, exposición, vulnerabilidad y riesgo por inundación, teniendo en cuenta el río Cabriales y sus afluentes. .-Revisar estudios geomorfológicos de los suelos. .-Elaborar estudio pluviométrico en las comunidades afectadas. .-Elaborar estudios de reubicación de asentamientos ubicados en zonas de riesgo <p style="text-align: center;">Sistema de monitoreo</p> <ul style="list-style-type: none"> .- Conformar las bases de datos de las estaciones hidrometeorológicas de monitoreo ubicadas en el área de influencia del municipio. .- Red pluviométrica de las comunidades. .- Instalación de SAT.
<p style="text-align: center;">Medidas especiales para la comunicación del riesgo:</p> <ul style="list-style-type: none"> .- Capacitación de líderes comunales y comunitarios .-Programas radiales y visitas domiciliarias.

4.6.4.- ORGANIZACIÓN DE ACCIONES POSIBLES DE RESPUESTAS

Tabla 12. Medidas de reducción del riesgo

MEDIDAS DE REDUCCION DEL RIESGO – INTERVENCIÓN CORRECTIVA (RIESGO ACTUAL)	
<p>Medidas de reducción de la amenaza: Medidas no estructurales y Medidas estructurales.</p> <p style="text-align: center;">Medidas no estructurales:</p> <ul style="list-style-type: none"> .-Implementar acciones y medidas sobre gestión del riesgo de inundación, identificadas en los planes de ordenamiento del municipio y manejo de cuencas. .-Realizar mantenimiento a las obras hidráulicas de control y protección. .-Diseñar e implementar SAT. <p style="text-align: center;">Medidas de reducción de la vulnerabilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> .-Vigilancia y control de los proyectos construcción de nuevas viviendas en zonas de riesgo .-Educación Ambiental y divulgación de las acciones a realizar en el municipio. <p style="text-align: center;">Medidas estructurales:</p> <ul style="list-style-type: none"> .-Revestir en concreto el cauce del río El Retobo en el sector de la comunidad Las Adjuntas. .- Realizar estudios hidrológicos. .- Diseño de muro de gaviones para proteger márgenes del cauce. <p style="text-align: center;">Medidas de reducción de la vulnerabilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> .- Recuperación de las franjas forestales protectoras del río Cabriales y sus afluentes. <p style="text-align: center;">Medidas de efecto conjunto sobre amenaza y vulnerabilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> .-Diseño de recuperación de la morfología fluvial del río Cabriales en áreas vulnerables. 	
MEDIDAS DE REDUCCIÓN DEL RIESGO – INTERVENCIÓN PROSPECTIVA (RIESGO FUTURO)	
<p style="text-align: center;">Medidas no estructurales:</p> <ul style="list-style-type: none"> .-Realizar capacitación pública sobre las ordenanzas territoriales del municipio enfocadas a la gestión del riesgo. <p style="text-align: center;">Medidas de reducción de la vulnerabilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> .-Actualizar el censo de familias y viviendas en las comunidades ubicadas en zonas de riesgo. .- Fortalecimiento e inclusión de esquemas de vacunación en los habitantes de las comunidades con riesgo de inundación. .-Fortalecimiento del recurso humano en la red hospitalaria del municipio, así 	

como la dotación de medicinas e insumos necesarios para personas expuestas a inundaciones.

Medidas estructurales:

- .- Proteger las áreas de interés ambiental
- .- Construir estaciones de aforo en la cuenca del río Cabriales.
- .- Construir sistemas de separación de aguas servidas y aguas de lluvia de acuerdo a planes maestros de alcantarillado del municipio.

Medidas de reducción de la vulnerabilidad:

- .- Modificar o eliminar estructuras que no cumplan con los estudios hidráulicos y causen daños.

Medidas de efecto conjunto sobre amenaza y vulnerabilidad:

- .- Fortalecer institucionalmente la Dirección Municipal de Gestión de Riesgo de Desastres del municipio, dotándolo de una estructura administrativa con los recursos humanos, técnicos, financieros y logísticos que le permitan operar eficientemente.
- .- Construir el sistema de regulación hidráulica del río Cabriales, con un periodo de retorno que permita encauzar y regular los caudales máximos instantáneos en la cuenca del río Cabriales.

MEDIDAS PARA EL MANEJO DEL DESASTRE

Medidas de preparación para la respuesta:

- .- Plan de atención y recuperación psicosocial ante situaciones de desastres.
- .- Capacitación en salvamento.
- .- Capacitación Comunitaria en inundaciones, deslizamientos y avenidas torrenciales.
- .- Dotación de carpas como alternativas de alojamiento temporal y baterías sanitarias móviles.
- .- Dotación de vehículos rústicos para la unidad de gestión de riesgo de desastres.
- .- Creación de centro de reserva para atención de emergencias.
- .- Alianzas estratégicas para la disponibilidad de alimentos y medicinas en casos de emergencias y desastres.

Dentro de la estructura del PGSRI-MN, se contempla la definición de programas y acciones las cuales corresponden a las medidas de intervención de los diferentes escenarios caracterizados y priorizados anteriormente.

4.7.- PROGRAMAS Y ACCIONES

Tabla 13. Estrategia: gestión y planificación comunal en materia de reducción del riesgo de inundación.

PROGRAMA: PLANIFICAR PARA PREVENIR EL RIESGO DE INUNDACIÓN
<p>Acción General: Organizar la gestión comunal en el proceso sistemático de la planificación en base a la vulnerabilidad para la reducción del riesgo de inundación en el municipio Naguanagua.</p> <p>Acciones Específicas: .- Crear grupo comunitario encargado de velar por el cumplimiento de los programas de planificación en materia de prevención de riesgos de inundación. .- Establecer mecanismos de planificación y comunicación entre los miembros de Protección Civil del municipio y este grupo organizado. .- Establecer mecanismos de comunicación entre el grupo comunitario organizado y la Alcaldía del municipio.</p>

Tabla 14. Estrategia: participación ciudadana para la prevención reducción del riesgo de inundación.

PROGRAMA: NECESITO CAPACITARME PARA SER MEJOR CIUDADANO
<p>Acción General: Promover los procesos sistemáticos sobre la importancia que tiene la resiliencia y la sostenibilidad ante la amenaza de inundación.</p> <p>Acciones Específicas: .- La divulgación de los procesos sistemáticos de la resiliencia y de la sostenibilidad a los habitantes de las comunidades. .- Incentivar a los entes gubernamentales del municipio Naguanagua promuevan la resiliencia y la sostenibilidad. .- Impulsar la cultura de resiliencia y sostenibilidad en los habitantes de las comunidades del municipio y especialmente las que se encuentran en zonas vulnerables. .- Impulsar la cultura de resiliencia y sostenibilidad en las de las comunidades educativas del municipio y especialmente las que se encuentran en zonas vulnerables.</p>

Tabla 15. Estrategia: integración institucional para un municipio resiliente.

PROGRAMA: GESTIONANDO EL RIESGO
<p>Acción General: Articular los procedimientos de programas y proyectos de los entes municipales para el control de situaciones de riesgo de inundación en el municipio Naguanagua.</p> <p>Acciones Específicas:</p> <ul style="list-style-type: none">.- Generar mecanismos de formación y participación para ejecutar planes de prevención de riesgos de inundación..-Facilitar las herramientas metodológicas para el empoderamiento comunal en la ejecución de estudios en zonas vulnerables y de alto riesgo..-Promover los mecanismos de ejecución por los entes municipales e integración de los programas de reducción de riesgo de inundación..- Elaborar mapas de zonificación de amenaza, exposición, vulnerabilidad y riesgo por inundación en coordinación de los entes gubernamentales y protección civil..- Elaborar estudios geomorfológicos de los suelos del municipio Naguanagua..- Conformar un Sistema de Información Municipal para la gestión del riesgo de inundación..- Conformar la base de datos de las estaciones meteorológicas de monitoreo sobre las principales cuencas en el área de influencia del municipio..- Instalar y monitorear red pluviométrica en la zona urbana el municipio.



**5.- APLICACIÓN DEL PLAN PARA LA GESTIÓN
SUSTENTABLE DEL RIESGO DE INUNDACIÓN EN EL
MUNICIPIO NAGUANAGUA
(PGSRI-MN)**

MODELO DE PLAN DE GESTIÓN SUSTENTABLE DE RIESGO DE INUNDACIÓN



LAS ADJUNTAS MUNICIPIO NAGUANAGUA

APLICACIÓN PLAN DE GESTIÓN SUSTENTABLE DE RIESGO DE
INUNDACIÓN
CASO DE ESTUDIO COMUNIDAD LAS ADJUNTAS

5.1.- UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO:

La comunidad popular de “Las Adjuntas” se encuentra ubicada al norte del Municipio Naguanagua (CPLA_MN), estado Carabobo, más específicamente en el sector La Campiña, al final del callejón las Acacias. Esta comunidad está asentada en un terreno que limita con los ríos El Retobo y Cabriales, siendo el primero el que causa mayor impacto a la comunidad. El río El Retobo nace en La Mora – La sabana de Bárbula y se extiende por todo el norte del MN hasta su confluencia con el río Cabriales, en frente de la Urbanización Los Caracaros.

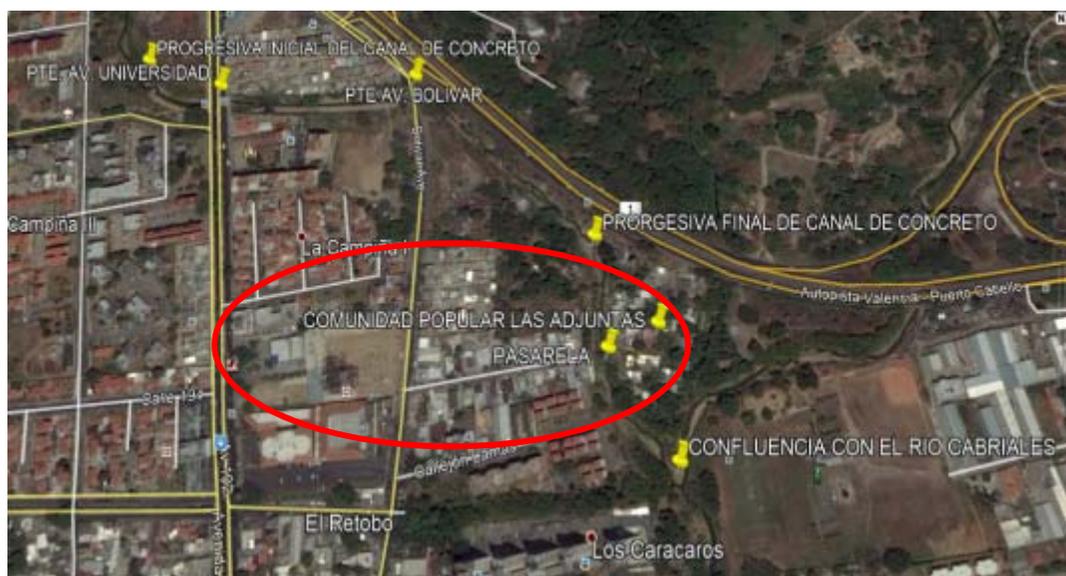


Figura 20. Ubicación de la comunidad Las Adjuntas, Municipio Naguanagua.

5.2.-ANÁLISIS Y PRIORIZACIÓN DE RIESGOS

En esta fase se aplican encuestas que permiten recabar información importante para la implementación de PGSRI-MN, utilizando cuestionarios impresos que respondieron los habitantes de la CPLA-MN en visitas puerta a puerta a cada familia de la CPLA-MN, con esta información obtenida se evalúa el contexto global de la vulnerabilidad para lo cual se propician la formulación de preguntas en los cuestionarios para dar respuesta a las siguientes interrogantes:

¿Cuál es el tamaño de la población? ¿Cómo está distribuida?, ¿Cuántos hogares hay en la CPLA-MN? ¿Qué tan a menudo la CPLA-MN se ve afectada por desastres y amenazas?, ¿Es la incidencia cada vez mayor la CPLA-MN? ¿Cuáles son los motivos principales de la vulnerabilidad en la CPLA-MN?

La CPLA-MN está conformada por 46 viviendas, y 368 personas, con una población integrada por adultos mayores, mujeres embarazadas, niños y

personas discapacitadas que representan los más vulnerables ante la presencia de un desastre.

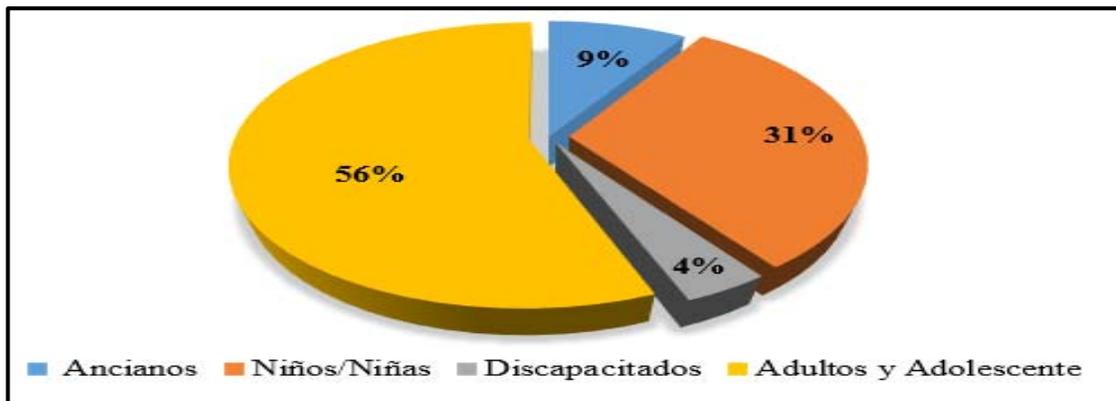


Figura 21. Distribución de la población de la comunidad Las Adjuntas, Municipio Naguanagua (CPLA_MN)

De acuerdo a lo expuesto por los habitantes de CPLA-MN el evento que ha ocurrido con mayor frecuencia en la comunidad son las inundaciones con 83% de frecuencia con respecto a los otros eventos evaluados.

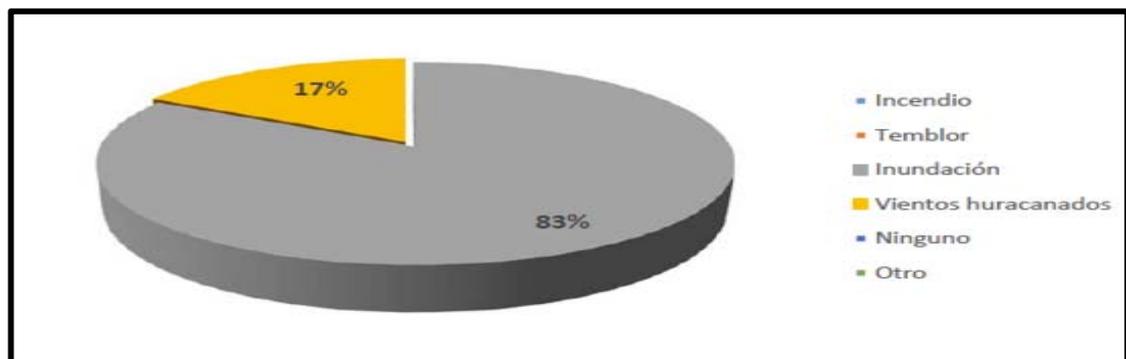


Figura 22. Porcentaje de la frecuencia de ocurrencia de eventos naturales ocurridos en CPLA-MN

Con respecto a la percepción de su situación de riesgo en la CPLA-MN el 87% de las personas encuestadas reconocen sentirse en situación de riesgo ante la presencia de las inundaciones.

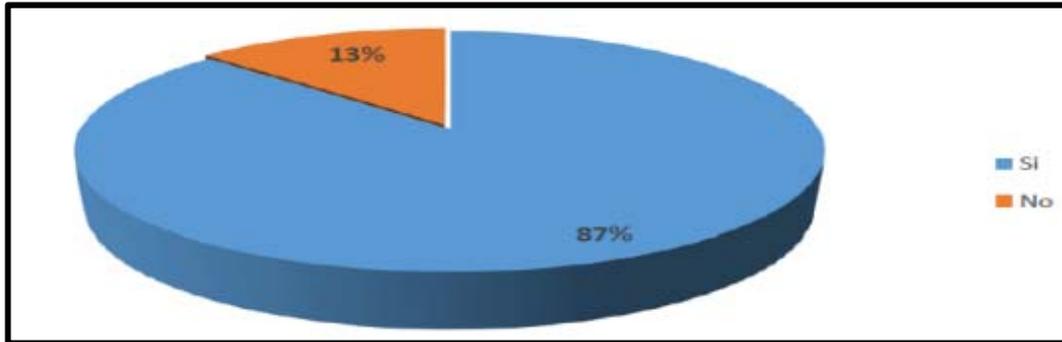


Figura 23. Porcentaje de personas que sienten estar en situación de riesgo de inundación en CPLA-MN

Esta respuesta de las personas de CPLA-MN es justificada, tomando en cuenta la ubicación geográfica de la comunidad Las Adjuntas. En la Figura 25 se puede observar desde una imagen satelital la ubicación de la comunidad entre los ríos Cabriales y El Retobo.



DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO DE RIESGO POR INUNDACIÓN CONDICIÓN DE AMENAZA	
Descripción del fenómeno amenazante:	La CPLA-MN presenta riesgos considerables por inundaciones, está asentada en un terreno que limita con los ríos El Retobo y Cabriales, siendo el primero el que causa mayor impacto a la comunidad
Identificación de causas del fenómeno amenazante:	El cambio climático, incremento de la escorrentía y erosión masiva.
Identificación de factores que favorecen la condición de amenaza:	Las pendientes, constitución de los suelos, la actividad antrópica, representada en el disposición de sólidos, el mal manejo de aguas, canalizaciones de aguas, rellenos, sistema vial deficiente.
Identificación de actores significativos en la condición de amenaza:	Las autoridades locales responsables de la protección del medio ambiente y las organizaciones comunitarias y sociales. De igual forma las comunidades que viven en áreas de riesgo de inundación.

En esta fase se propician los levantamientos de la información para determinar las vulnerabilidades de esta comunidad, así como las visitas puerta a puerta para lograr un acercamiento con los habitantes de la comunidad.

Entre las vulnerabilidades detectadas en la comunidad Las Adjuntas se observaron Vulnerabilidad: natural, física, social, económica y técnica.



Figura 25.- Imágenes correspondientes a visitas de campo para realizar los levantamientos de información en la CPLA-MN.

5.3.- CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL ESCENARIO DE RIESGO

En esta fase se contó con el apoyo de los líderes comunitarios en la CPLA-MN, personal de protección civil, bomberos universitarios, Universidad de Carabobo, para la organización de grupos de trabajo para el inicio de los adiestramientos de los habitantes de la comunidad.

Se sumó al proyecto la Unidad Educativa Nuestra Señora de Fátima ubicada en la zona de estudio cercana a la comunidad y donde asisten el mayor número de niños del sector Las Adjuntas, para involucrar en el PGSRI-MN al personal de la comunidad educativa.

Tabla 17. Descripción del escenario de situaciones antecedentes ocurridas en la comunidad

DESCRIPCIÓN DE SITUACIONES DE DESASTRE O EMERGENCIAS ANTECEDENTES
<p>“En el mes de agosto de 2015, producto de las fuertes lluvias en el sector popular Las Adjuntas varias viviendas fueron prácticamente devastadas este desastre que fue atendido por representantes de Protección civil y colaboradores de todo el Estado.”</p> <p>“La CPLA-MN se encuentra en una vulnerabilidad latente debido a su cercanía al río Retobo, en el mes de abril del 2016 donde una crecida causada por una lluvia intensa ocasionó la socavación de las orillas del río, dejando cuatro hogares con posibilidad de caer al vacío y aproximadamente a 30 familias afectadas, como consecuencia de la construcción de viviendas en zonas con alto riesgo.”</p>

Se inician las actividades con el programa denominado:

PLANIFICAR PARA PREVENIR EL RIESGO DE INUNDACIÓN con el objetivo de promover estrategias orientadas a fortalecer las capacidades de actores locales, de instituciones públicas y privadas para la preparación y respuesta ante situaciones de emergencia.

Se organiza un **1er Taller** donde se pretende que la comunidad:

- .- Conformen un Comité Comunitario de base.
- .- Conozca y distinga los conceptos de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo.
- .-Entiendan la importancia del manejo de los recursos ambientales para la prevención de las inundaciones.

Tabla 18. Distribución de las actividades de los actores del PGSRI-MN en CPLA-MN

SOCIO	PROYECTO	UBICACIÓN	SECTOR DE INTERVENCIÓN	HERRAMIENTA	ÁREA TEMÁTICA
PROTECCIÓN CIVIL	Preparación comunitaria para la reducción de la vulnerabilidad ante inundaciones	Municipio Naguanagua	Información Educación Comunicación	Pequeñas obras de mitigación para mejorar la capacidad de respuesta frente a las inundaciones	Infraestructura de soporte y estructuras de mitigación a pequeña escala
BOMBEROS	Construcción de una cultura de preparación a fin de disminuir el impacto de las inundaciones en la vida de los más vulnerables	Universidad de Carabobo	Información Educación Comunicación	Charlas Simulacros Entrenamientos	Socialización comunitaria en la gestión de riesgo de inundación
CIHAM-UC	Fortalecimiento del trabajo comunitario para la reducción del riesgo de inundación	Universidad de Carabobo	Fortalecimiento de las relaciones universidad-Comunidades	Elaboración y socialización de mapas comunitarios para la gestión del riesgo de inundación	Elementos de gestión local del riesgo
UNIDAD EDUCATIVA NUESTRA SRA. DE FÁTIMA	Construcción de una cultura de preparación a fin de disminuir el impacto de las inundaciones en las comunidades educativas	Unidad Educativa Nuestra Sra. de Fátima. Naguanagua	Información Educación Comunicación	Charlas Simulacros Entrenamientos	Socialización educativa en la gestión de riesgo de inundación

El proceso de fortalecimiento continúa con el programa que lleva por nombre: **NECESITO CAPACITARME PARA SER MEJOR CIUDADANO** con la finalidad de desarrollar planes comunitarios elaborados

y asumidos por los actores locales, conscientes de que el riesgo es algo que puede suceder.

Se organiza un **2 do Taller** con los siguientes objetivos:

.- Reflexionar la situación de la comunidad, como partida para la elaboración del PGSRI-MN.

.- Profundizar los conceptos de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo para la elaboración de los escenarios de riesgo.

.-Determinar las acciones necesarias para la reducción del riesgo.



Figura 26.- Imágenes correspondientes a la asistencia de la CPLA-MN a los talleres y entrenamientos

5.4.- INVENTARIO DE RECURSOS LOCALES

En esta fase es muy importante la participación de la CPLA-MN, para lograr un PGSRI-MN eficiente porque es necesario determinar las zonas más propensas a la ocurrencia de inundaciones y /o emergencias. Se elaboran croquis, levantamientos y mapas con la intervención de las personas de las comunidades, donde se refleja el inventario de recursos locales y los recursos humanos con los que cuentan las comunidades tales como: centros de atención médica, iglesias, bodegas, farmacias, colegios, zonas seguras y posibles refugios, se levanta la información correspondiente a ubicación de las viviendas de los líderes comunitarios, miembros de juntas comunales y otras personas importantes para el desarrollo de estas actividades.

Siguiendo con el proceso de preparación a la comunidad se continúa con el programa que lleva por nombre: **GESTIONANDO EL RIESGO** con el objetivo de lograr la preparación y respuesta local a partir del escenario de riesgo de inundación.

Con los mapas se establece una representación gráfica de las amenazas y las vulnerabilidades presentes en la comunidad, además de la ubicación en las que se presentan. Esta información que se genera a nivel de las comunidades locales, es incorporada en la planificación del desarrollo municipal y regional con el objetivo de establecer mecanismos adecuados de alerta temprana, respuesta y rehabilitación.

Se organiza un **3 er Taller** para desarrollar las actividades de mapeo del riesgo con los siguientes objetivos:

- .-Identificar la estrategia para responder a una situación de emergencia o desastre.
- .- Instruir a las comunidades en la construcción de pluviómetros comunitarios.
- .- Construir mapa de riesgo de inundación.
- .- Construir mapas que identifiquen los recursos humanos existentes en la comunidad para dar respuesta durante un desastre.
- .- Construir mapas que identifiquen zonas seguras, rutas de evacuación, albergues temporales, centros de acopio, y centros de operaciones de emergencia local.



Figura 27.- Ubicación de recursos locales en las comunidades del Municipio Naguanagua

Tabla 19. Medidas y actividades a ejecutar ante el riesgo de inundación

MEDIDAS DE CONOCIMIENTO DEL RIESGO POR INUNDACIÓN
<p>Estudio de análisis del riesgo</p> <ul style="list-style-type: none"> .-Elaborar mapas de zonificación de amenazas, exposición, vulnerabilidad y riesgo por inundación, teniendo en cuenta el río Cabriales y sus afluentes. .-Revisar estudios geomorfológicos de los suelos. .-Elaborar estudio pluviométrico en las comunidades afectadas. .-Elaborar estudios de reubicación de asentamientos ubicados en zonas de riesgo <p>Sistema de monitoreo</p> <ul style="list-style-type: none"> .- Conformar las bases de datos de las estaciones hidrometeorológicas de monitoreo ubicadas en el área de influencia del municipio. .- Red pluviométrica de las comunidades. .- Selección de un Sistema de Alerta Temprana (SAT)
<p>Medidas especiales para la comunicación del riesgo:</p> <ul style="list-style-type: none"> .- Capacitación de líderes comunales y comunitarios .-Programas radiales y visitas domiciliarias

Para lograr con éxito la participación e interés de los miembros de la comunidad se entregaron volantes de casa en casa, se colocaron afiches invitando las charlas, se hicieron invitaciones con megáfonos en las calles, se pasaron mensajes de textos, entre otros.

En la Figura 28 se muestran escenas de los medios empleados para la divulgación y socialización de los productos obtenidos.

En la Figura 29 se muestran escenas de la socialización con la comunidad de los productos obtenidos en esta fase, se repasan con los miembros de la comunidad las rutas de evacuación seleccionadas, así como los sitios seguros que existen en la comunidad y puedan ser utilizados como refugios ante una eventual inundación



Figura 28. Medios utilizados para la invitación a participar a CPLA-MN.



Figura 29. El personal de Protección Civil Carabobo y el equipo técnico exponiendo sobre las rutas de evacuación en caso de inundación en la CPLA-MN

En las Figuras 30,31, 32 y 33 se presentan los diferentes mapas generados por las comunidades, que fueron digitalizados y entregados a los líderes comunitarios.

Culminada esta etapa de mapeo se procede a la inducción sobre los sistemas de alerta temprana, escoger con los miembros de la CPLA-MN el más adecuado para ellos, tomando en cuenta también el factor económico.

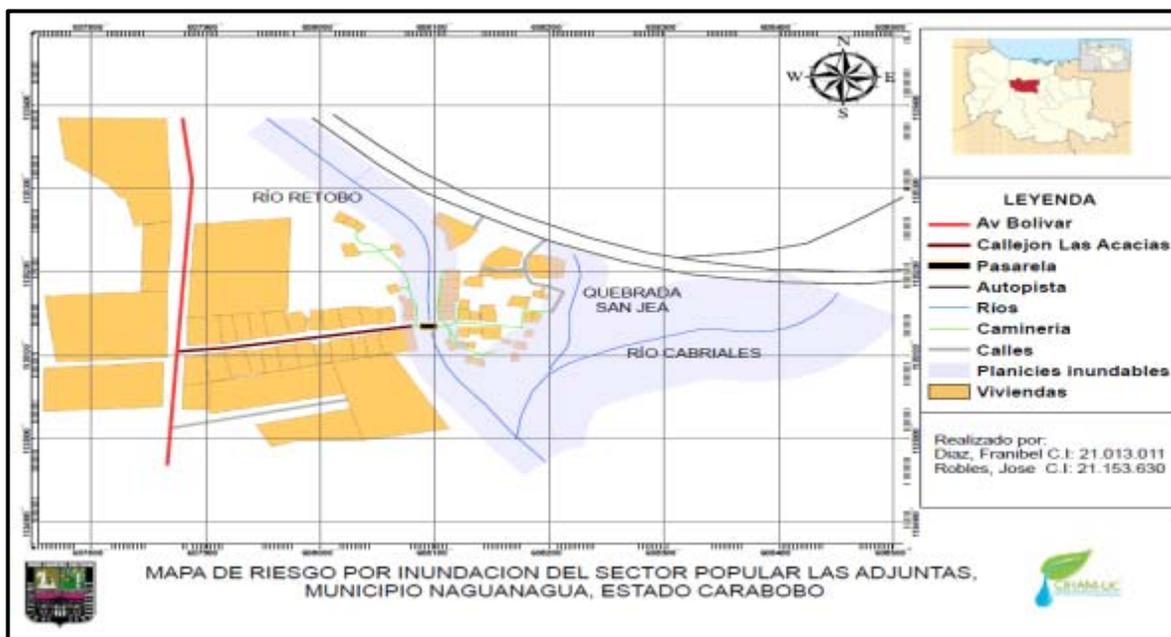


Figura 30. Croquis de la ubicación de los ríos Retobo y Cabrales en la CPLA-MN

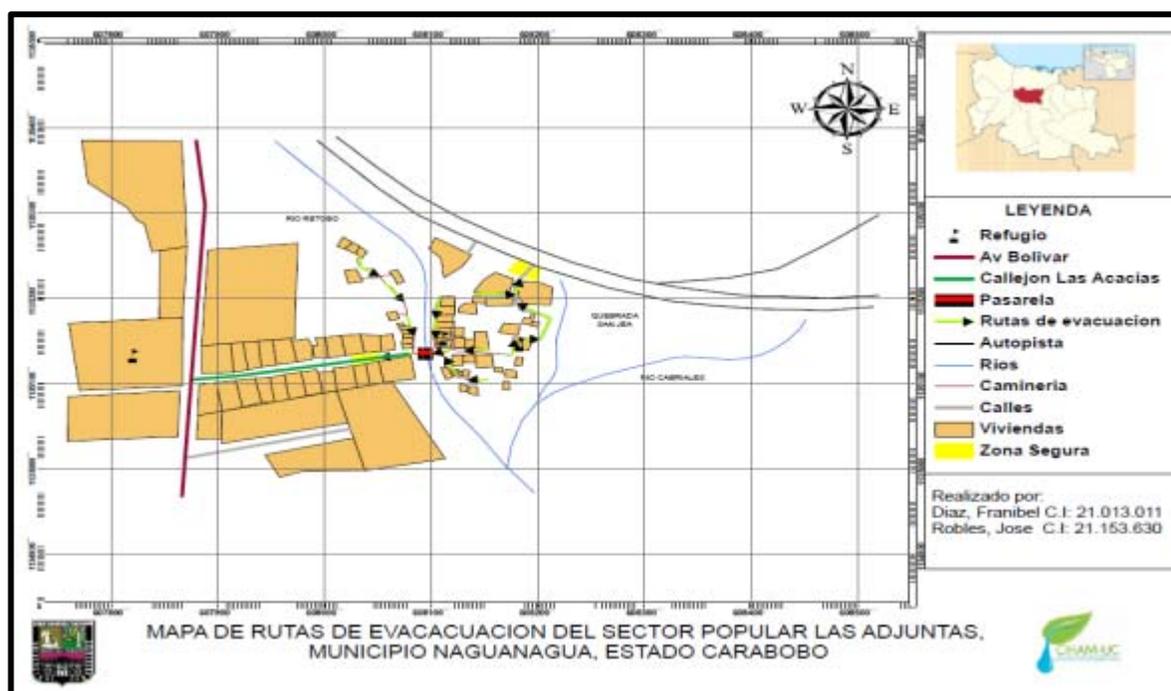


Figura 31. Rutas de evacuación en caso de inundación en la CPLA-MN

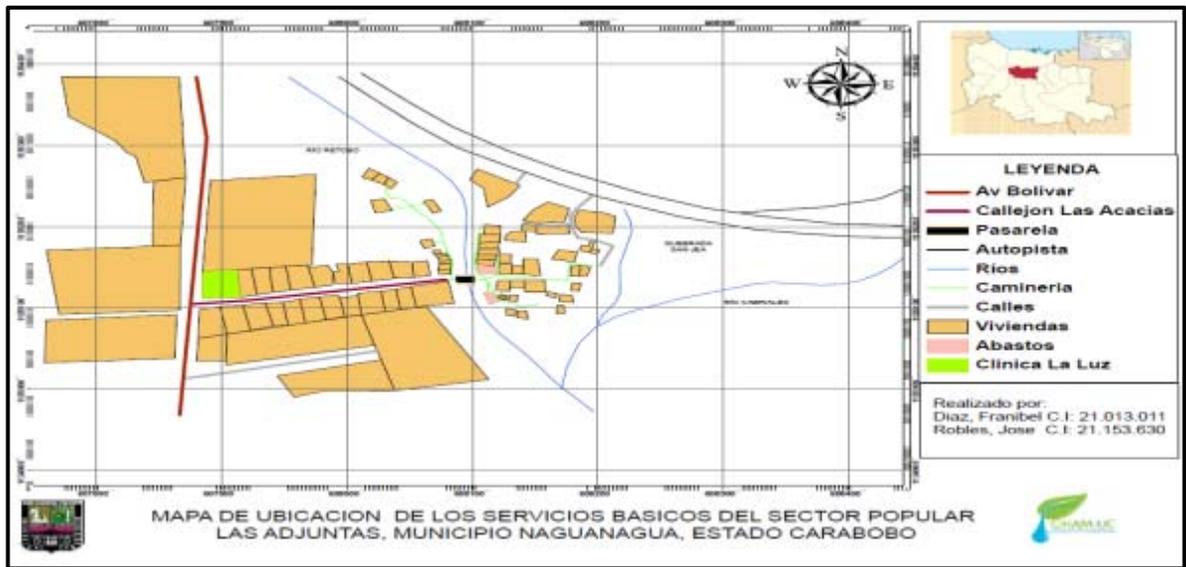


Figura 32. Ubicación de los recursos en la CPLA-MN

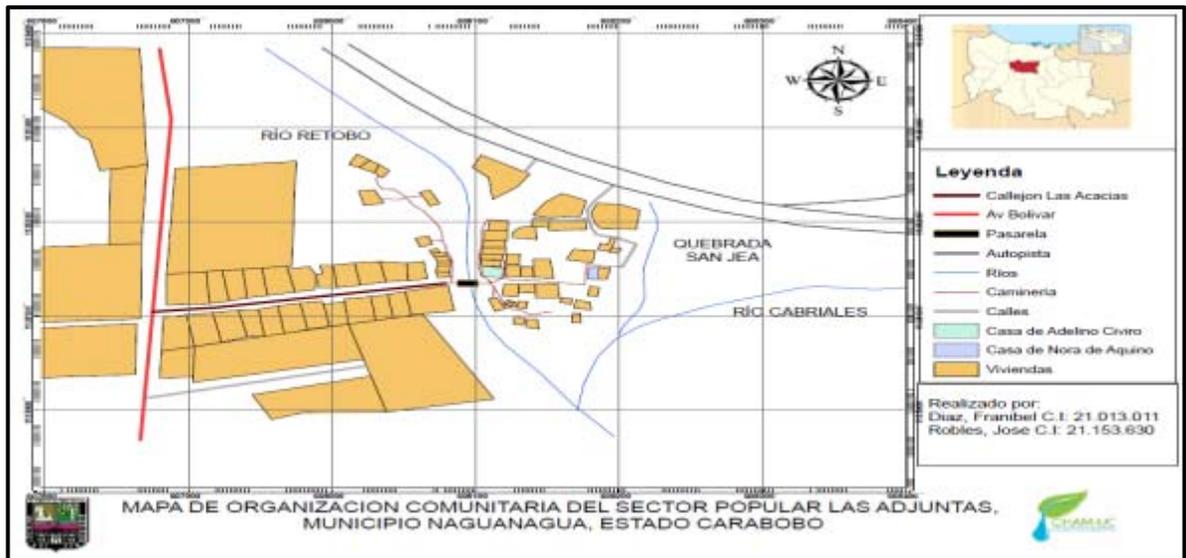


Figura 33. Ubicación de las viviendas e los líderes comunitarios de la CPLA-MN

Sistemas de Alerta Temprana

En esta fase se realizan encuestas para evaluar el nivel de conocimientos de la CPLA-MN con respecto a los sistemas de alerta temprana. A la pregunta si sabían que era un SAT la respuesta obtenida fue que el 61% de los encuestados no sabía que era un SAT, y el 39% restante respondió si saber que era un SAT.

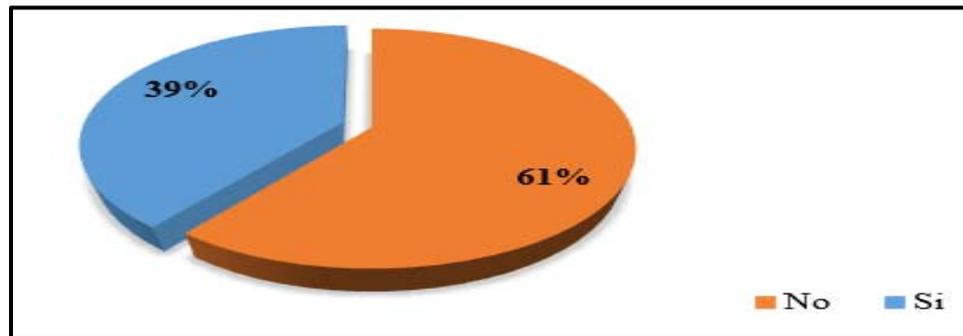


Figura 34. Distribución de personas que poseen conocimientos sobre los SAT en la CPLA-MN

A la pregunta si estaban dispuestos a implementar un SAT en la comunidad la respuesta obtenidas están representadas en la Figura 33. En esta fase se continúa con el entrenamiento a través de charlas dirigidas al conocimiento de medición de la lluvia, medición de nivel en los ríos, y la selección de un dispositivo sonoro y visual para alertarlos en caso de inundación.

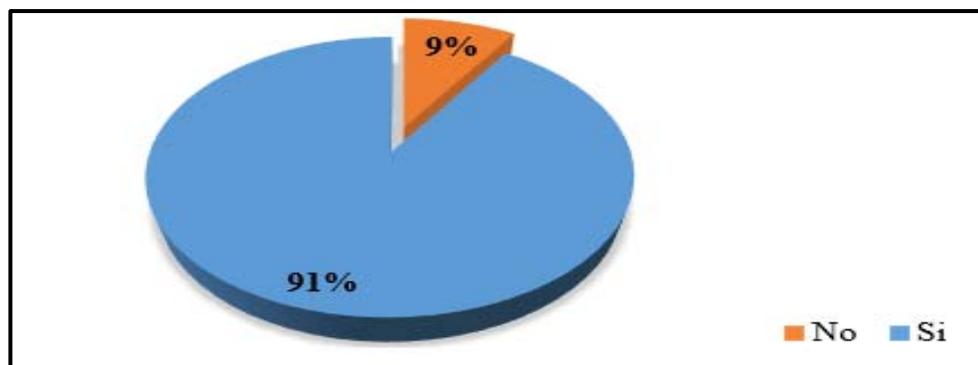


Figura 35. Distribución de personas dispuestas a implementar un SAT en la CPLA-MN

Se implementaron reuniones con los miembros de la comunidad para explicar los beneficios y aportes de la implementación de un SAT comunitario, las charlas y talleres incluían instrucciones para mostrarles cómo construir pluviómetros, linnímetro y cómo medir la lluvia y niveles del río.

Es importante destacar la participación activa de la comunidad durante esta etapa, apoyaron en trabajos de electricidad, albañilería, soldadura, desmalezados entre otros.

Se seleccionaron los sitios donde se instalaron dos pluviómetros, un linnímetro y un tablero de control con una sirena y un bombillo de señal que funcionara sensando los niveles del río. La Figura 34 muestra la ubicación geográfica del SAT que se implementa en la comunidad.

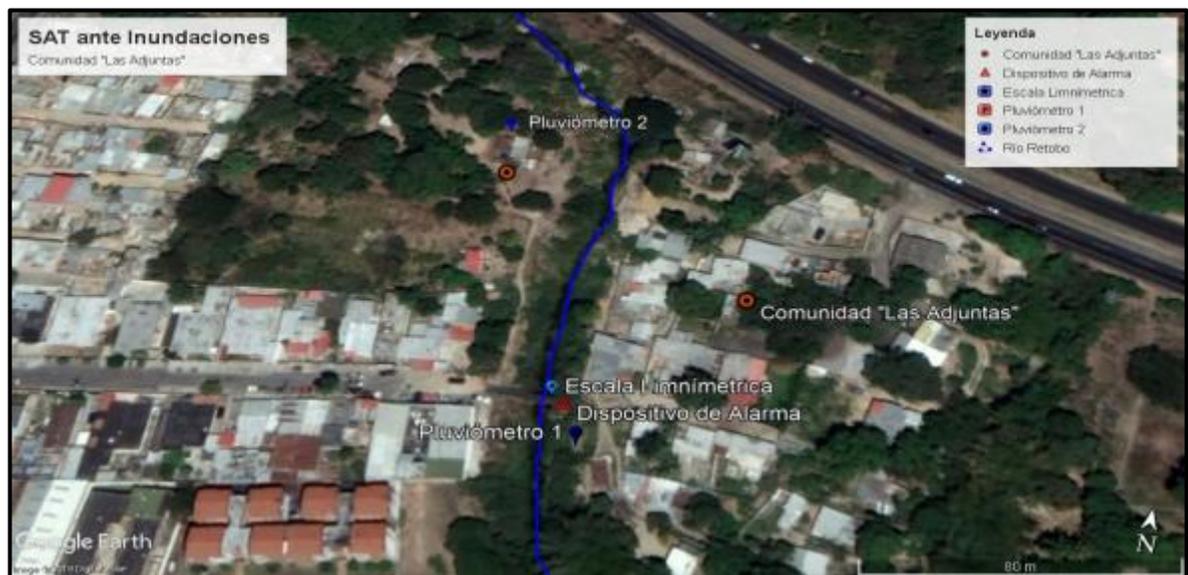


Figura 36. Ubicación de los dispositivos que conforman el SAT de la CPLA-MN.

La metodología empleada para la construcción del SAT se fundamentó en las instrucciones y recomendaciones presentadas en el Manual para Sistemas de Alerta Temprana de Inundaciones en Cuencas Menores de la Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y la Media Luna Roja. En la Figura 37 se aprecian escenas de las reuniones con los vecinos explicándoles la ventaja de contar con un SAT.



Figura 37. Reuniones con vecinos explicándoles las ventajas de los SAT en la CPLA-MN

4.5.- ORGANIZACIÓN DE ACCIONES POSIBLES DE RESPUESTAS

Al concluir los procesos de capacitación y de construcción participativa de los mapas, en esta fase se procede a socializar con los habitantes de la CPLA-MN los resultados obtenidos en fases anteriores.

Continuando con el proceso de preparación a la comunidad se continúa con el programa que lleva por nombre: **ESCENARIOS DEL RIESGO** con el objetivo de lograr la preparación y respuesta local a partir del escenario de riesgo de inundación.

Se organiza un **4to Taller** para desarrollar las actividades de mapeo del riesgo con los siguientes objetivos:

- .-Establecer proyectos prioritarios para la reducción del riesgo
- .-Definir la metodología a aplicar para enfrentar y afrontar situaciones de riesgo de inundación.
- .-Asignar posibles responsables para el cumplimiento de las actividades de seguimiento y monitoreo de esta etapa.
- .-Establecer proyectos prioritarios para la reducción del riesgo mediante la aplicación de medidas de reducción de la amenaza: medidas no estructurales y medidas estructurales.

Medidas no estructurales

En esta fase se implementan como medidas no estructurales:

- 1.-Se propone un método de pronóstico del riesgo de inundación
- 2.- Se construye e instala el SAT seleccionado en la fase 3.
- 3.-Se realiza mantenimiento al cauce del río Cabriales

Medidas estructurales:

- .- Diseño de muro de gaviones para proteger márgenes del cauce
- .- Diseño de canalización del fondo del cauce.

Medidas no estructurales

a.- Método de pronóstico de riesgo de inundación

Se propone un método para estimación del riesgo de inundación en la cuenca del río Pao, representando un aporte debido a que vincula la lluvia efectiva con la probabilidad de excedencia en la ocurrencia de los eventos de lluvia efectiva y el tiempo de vida útil de la estructura hidráulica que sería diseñada para mitigar el riesgo de inundación. La unidad de estudio es la cuenca del río Pao, Venezuela. La serie de tiempo usada en la precipitación ocurrida durante los meses de la estación lluviosa en el período 2015-2017. La precipitación es estimada usando el método de Kriging Ordinario aplicado sobre 25 estaciones pluviográficas en el entorno de la cuenca. Se incluyen la precipitación, y la cobertura de la tierra como factores dinámicos, monitoreados usando datos de sensores de precipitación en tiempo real, así como imágenes multiespectrales producidas por tecnología de sensoramiento remoto instalados en satélites. Incluye factores relativamente estables como el uso de la tierra y las pendientes de terreno. Proporciona información espacio-temporal que permite tomar decisiones para lograr medidas preventivas contribuyendo a la protección de vidas y bienes.

La Figura 38 se muestran los mapas de pronóstico del riesgo de inundación en la cuenca del río Pao para el año 2019, obtenidos según la metodología indicada, donde se observa que los requerimientos de control de inundaciones deben ser aplicados en la zona urbana del MN.

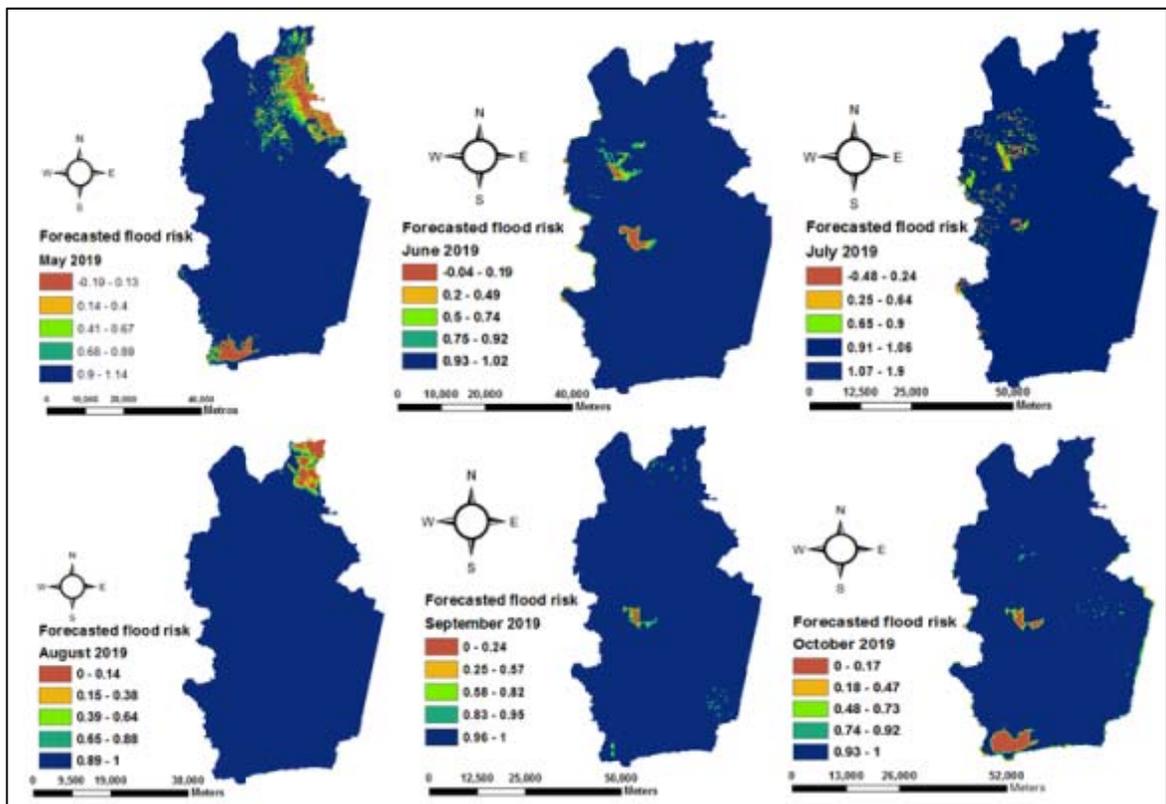


Figura 38.- Mapas de pronóstico el riesgo de inundación en la cuenca del río Pao para el año 2019.

b.- Construcción e instalación de SAT

El SAT seleccionado por la CPLA-MN está formado por linnímetro, pluviómetros y control de nivel.

Linnímetro

En la Figura 39 se muestran escenas de la fabricación e instalación del linnímetro



Figura 39.- Instalación de la escala linnimetrica en la CPLA-MN

Pluviómetros

En la Figura 40 se muestran escenas de la fabricación e instalación de los pluviómetros para la CPLA-MN.



Figura 40. Instalación de los pluviómetros en la CPLA-MN

Dispositivo de control de nivel

En la figura 41 se muestran escenas de la fabricación e instalación del dispositivo de control del nivel en la CPLA-MN.



Figura 41.- Instalación del dispositivo de control de nivel en la CPLA-MN

c.- Mantenimiento del cauce de los ríos

Se limpiaron los cauces de los ríos con el apoyo de los concejales del municipio Naguanagua, como un apoyo a la CPLA-MN prestaron equipo pesado y volteos para recolección y bote de escombros y material removido del fondo del río, como una actividad preventiva antes del inicio de la temporada de lluvias. Se realizó desmalezado con los habitantes de la comunidad.



Figura 42.- Limpieza del cauce del río y mantenimiento de áreas perimetrales en la CPLA-MN

Medidas estructurales

Se realizó un diagnóstico de la situación del cauce del río que permitió determinar una situación de desgaste de los márgenes del río Retobo en las zonas colindantes con la CPLA-MN. Así como grave deterioro de la canalización de sección trapezoidal de concreto armado la cual fue socavada y fracturada.



Figura 43. Diagnóstico de la situación de las obras hidráulicas existentes en la CPLA-MN

Se realizó un estudio hidráulico con el software HEC-RAS.

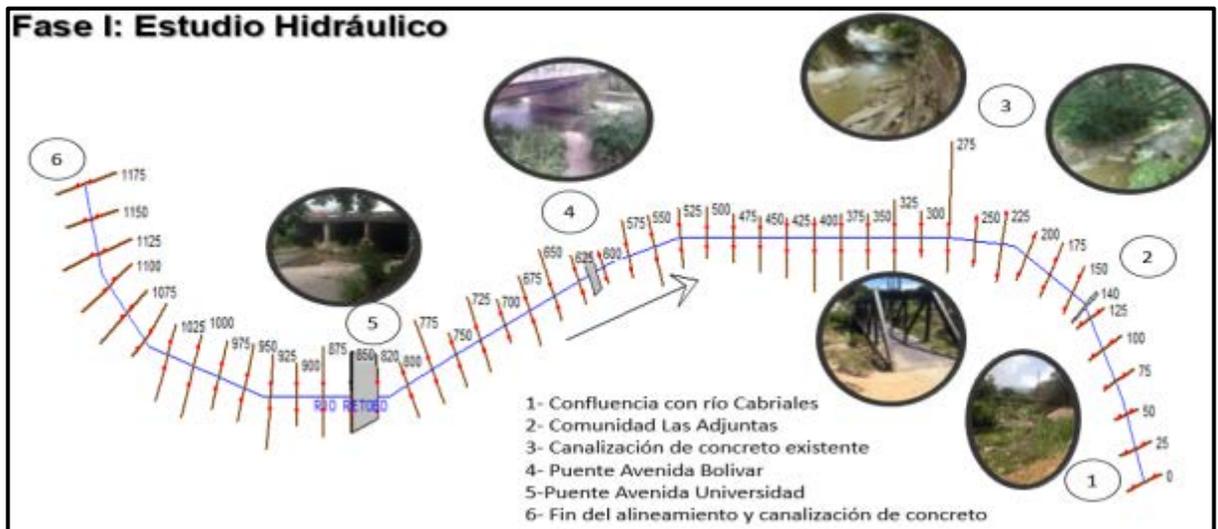


Figura 44. Resultado del estudio hidráulico al cauce del río Retobo en la CPLA-MN

A partir de un estudio hidrológico se obtiene el perfil del cauce en la CPLA-MN

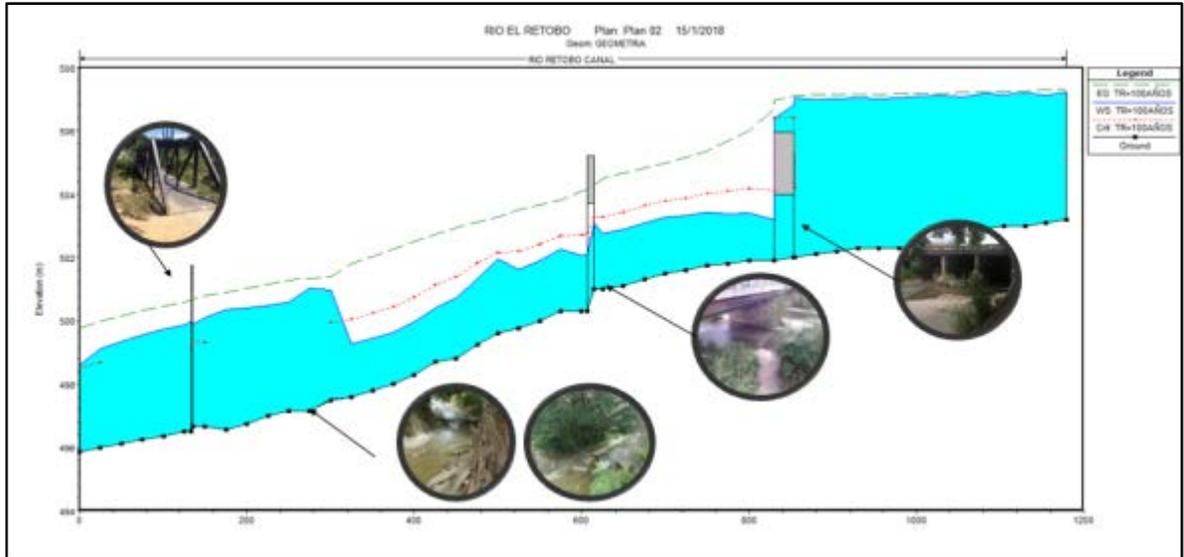


Figura 45. Perfil hidráulico del río Retobo

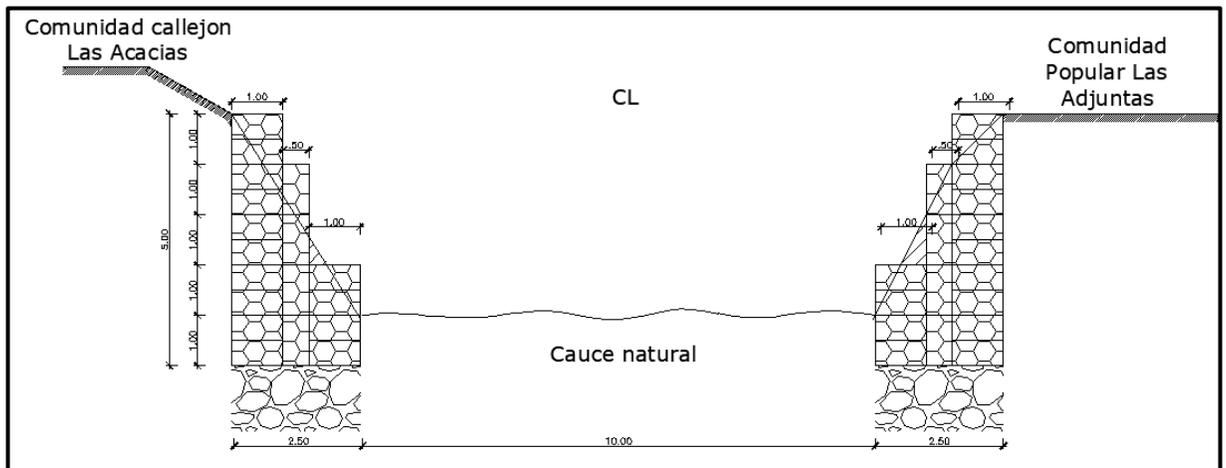
A partir de las cotas de inundación para diferentes periodos de retorno se determinan las planicies de inundación en la CPLA-MN.



Figura 46. Planicies de Inundación del río Retobo

Se proyectó una canalización de fondo móvil con márgenes revestida en muro de gaviones, ya que este tipo de estructuras comprende ventajas que se adaptan a las necesidades del proyecto.

La canalización se prolongará desde la confluencia con el río Cabriales, hasta la progresiva final de la canalización de concreto existente (300 metros aguas arriba desde la confluencia con el río Cabriales), procurando el encauzamiento del río y protegiendo así los márgenes. La canalización no aumentará la capacidad hidráulica del cauce, esta se adaptará a las condiciones geomorfológicas actuales.





6. EVALUACIÓN Y MONITOREO DEL PLAN DE GESTIÓN DE RIESGO DE INUNDACIÓN

6.1.- VALIDACIÓN

Durante esta fase se aplicaron encuestas a los líderes y miembros de las diferentes comunidades que han sido beneficiadas con el PGSRI-MN, así como al personal docente y administrativo de los colegios del municipio que han participado en este proyecto, bomberos y personal de protección civil, personal de la Universidad de Carabobo, miembros de la alcaldía del municipio entre otros.

A la pregunta realizada a los miembros de la **CPLA-MN**

¿Considera Usted que es fue un beneficio para la CPLA-MN el PGSRI?

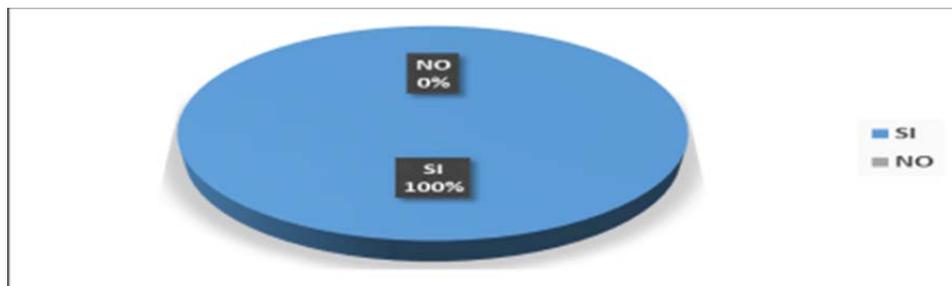


Figura 48. Distribución de personas que consideran un beneficio un SAT para CPLA-MN dentro del PGSRI-MN.

La totalidad de las personas encuestadas respondieron que si se sienten beneficiados con este PGSRI-MN, estas son algunas opiniones recogidas a los entrevistados.

Para los representantes de las comunidades de los municipios:

1.-“Ha sido una luz de esperanza que al menos los estudiantes de la Universidad nos apoyen, ante esta situación tan dura como son las inundaciones de este río.”

2.-“Nos sentimos más seguros y sabemos cómo responder cuando el río crezca”

3.-“Ya no se volverán a ahogar nuestro hijos por nuestra ignorancia.



Figura 49. Escenas del personal técnico aplicando las encuestas de validación en la CPLA-MN dentro del PGSRI-M

Para el personal docente y administrativo de las escuelas participantes del PGSRI-MN aplicado en el Municipio Naguanagua. A la pregunta realizada:

¿Consideran Ustedes que beneficia a sus alumnos conocer sobre el PGSRI?

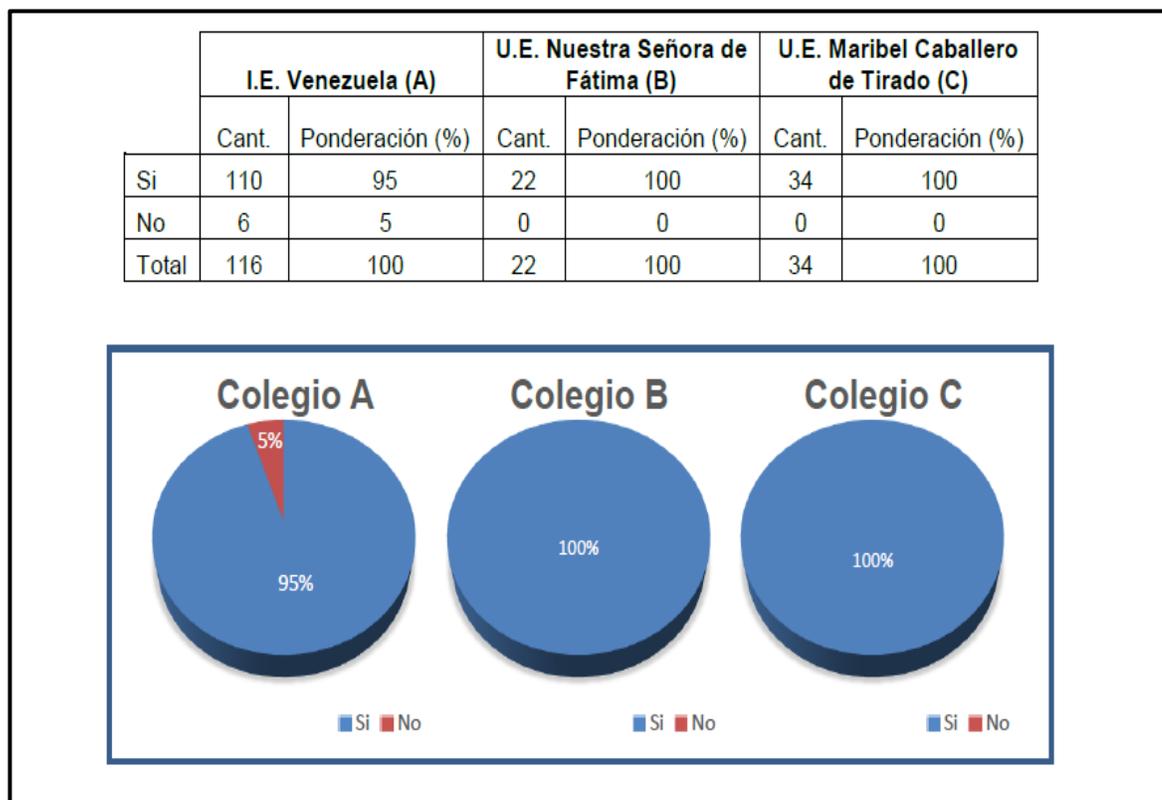


Figura 50. Distribución de educadores que consideran un beneficio que sus alumnos conozcan sobre SAT para la CPLA-MN dentro de PGSRI-MN

La Figura 51 muestra escenas de las charlas y experiencias con los alumnos de las escuelas del MN que participaron en estas actividades entre las que aprendieron a construir pluviómetro casero, con juegos didácticos aprendieron jugando, y participaron en simulacros.



Figura 51. Diferentes escenas de las charlas en los colegios del MN

El 95% del personal entrevistado responden que si consideran un beneficio para sus alumnos los conocimientos adquiridos durante las charlas y simulacros.

.- “Ha sido de mucha ayuda contar con el personal de protección civil y los bomberos para estas actividades”

.- “Los alumnos están muy motivados e interesados en el tema”

.-“Debe profundizarse más en este tema”

Para el personal de protección civil y bomberos organismos que participaron activamente en este proyecto del PGRI aplicado en el municipio Naguanagua. A la pregunta realizada:

¿Consideran Ustedes que los beneficia que las comunidades se preparen y conozcan sobre el PGSRI-MN?

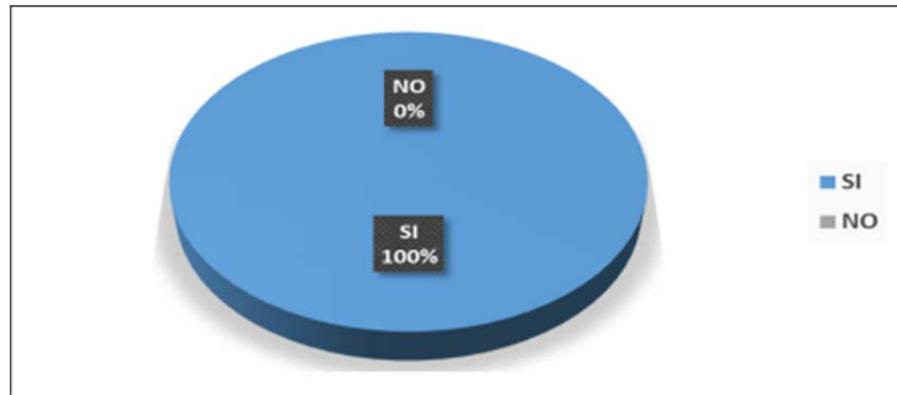


Figura 52. Distribución de encuestados de los entes institucionales que consideran un beneficio que las personas se preparen en gestión de riesgos.

La totalidad de los funcionarios de estos cuerpos de protección ciudadana encuestados respondieron que si se sienten beneficiados con este PGRI puesto que a medida que las comunidades están más preparadas su gestión y propósitos de salvar vidas será más eficiente.

Este personal de Protección Civil Carabobo, Protección Civil Naguanagua, Bomberos de la Universidad de Carabobo, Bomberos del municipio Naguanagua han trabajado en forma continua en este Plan, antes de iniciar este proyecto se realizó con ellos con un curso de 4 semanas al personal técnico que estaba incluido en el proyecto, donde el entrenamiento incluyó prácticas de salvamento, primeros auxilios, y participación en simulacros.



Figura 53. Escenas de entrenamiento y visitas de campo con personal de protección

6.2.- SEGUIMIENTO

El control y monitoreo de las diferentes fases de desarrollo del Plan de Gestión de Riesgo de Inundación, tiene como finalidad obtener información necesaria para tomar decisiones adecuadas en la ejecución de las diferentes acciones, tales como planificar, asignar recursos, incorporar recursos humanos y tecnológicos, desarrollar estrategias, generar una base de datos. Esta fase del Plan pretende fortalecer la ejecución del mismo dando cumplimiento a los objetivos planteados.

Se proponen mecanismos de monitoreo de los indicadores de desempeño, basado en la evaluación de los procesos en relación con la teoría (Conocimientos Técnicos), mediante la aplicación de encuestas formales

(usuarios/ beneficiarios) o la ejecución de procesos evaluativos mediante la participación ciudadana, análisis del costo-beneficio y la eficacia en función de los costos de los procesos para la realización de estudios de inversión local en la gestión del riesgo de desastres.

Un aspecto muy importante es tomar en cuenta la preparación que debe tener el personal técnico de los organismos involucrados en los proyectos destinados a construir municipios resilientes. Esta preparación incluye conocimientos en el área del manejo de software y herramientas computacionales que les permitan desarrollar: mapas de variables hidrometeorológicas, mapas de las comunidades, mapas de recursos, mapas de riesgos, mapas de pronósticos, mapa de planicies de inundación, entre otros.

Como un apoyo a esta etapa se presenta a la comunidad una planificación de las diferentes actividades a cumplir para seguir manteniendo el incentivo en las comunidades y convertirlo en un objetivo sustentable, como lo establecen los Objetivos del Desarrollo Sostenible.

6.3.- RETOS PENDIENTES

Desde el CIHAM-UC nos planteamos nuevos retos para implementarlos en beneficio de esta CPLA-MN entre ellos podemos destacar:

a.- Actualización del PGSRI-MN 2020-2025

Uno de los principales retos es la actualización del PGSRI-MN que fue diseñado para el periodo 2016- 2019, en este aspecto ya el equipo técnico del CIHAM-UC tiene personal trabajando en un proyecto de nombre: Evaluación del grado de sostenibilidad de la aplicación del Plan de Gestión Sustentable del Riesgo de Inundación en el Municipio Naguanagua, que tiene como objetivo general evaluar la efectividad del PGSRI-MN 2016-2019, y determinar si es sostenible su aplicación a lo largo del tiempo.

b.- Continuar con el programa de instalacion de SAT

Se implementará un SAT automatizado del cual ya se construyó un prototipo que cuenta con la integración de una tecnología de punta del uso en conjunto del software Arduino, un buzzer y un sensor de ultrasonido para las lecturas de la altura de la lámina de agua del río, que se compararan con el umbral predeterminado generando la información necesaria para activar una alarma acústica, con el fin de alertar a los miembros de las comunidades y reducir las pérdidas potenciales de vidas.

Este prototipo está integrado por una placa Arduino, un sensor ultrasonido, un buzzer piezoeléctrico

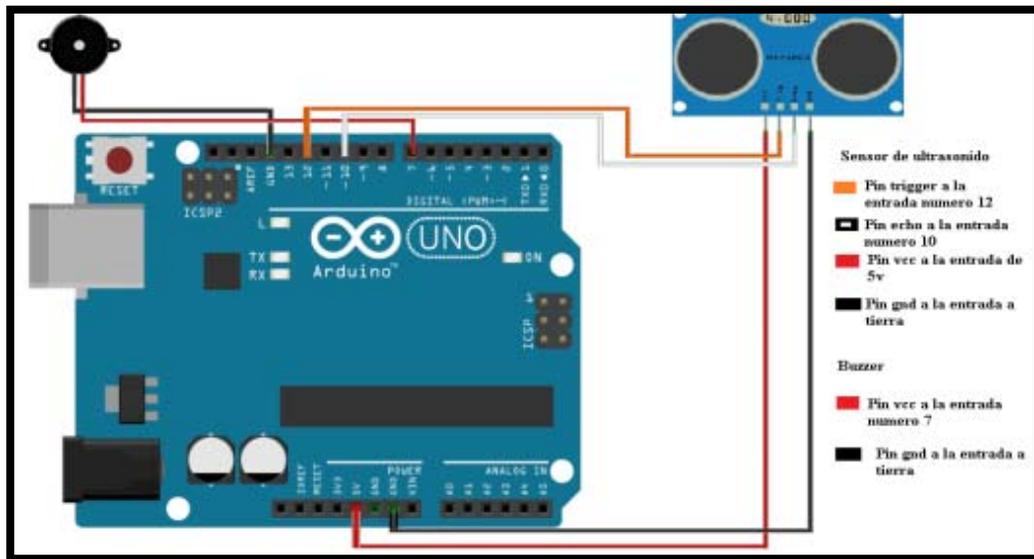


Figura 54. Diagrama de conexiones de componentes del SAT

Es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software fácil de usar. Las placas Arduino pueden leer entradas (luz en un sensor, un dedo en un botón o un mensaje de Twitter) y convertirlo en una salida, activar un motor, encender un LED y publicar algo en línea. Puede decirle a su tablero qué hacer enviando un conjunto de instrucciones al microcontrolador en el tablero. Para hacerlo, utiliza el lenguaje de programación Arduino (basado en el cableado) y el software Arduino (IDE), basado en el procesamiento.

Estructura	Altura Libre (m)	Ancho Total (m)	Esquema de la pasarela
Pasarela	3.35	25.70	

Figura 55. Esquema de la ubicación de la pasarela para definir los umbrales.



Figura 56. Prototipo de SAT de CPLA-MN

c.- Ampliar la cobertura del programa de los Planes Escolares para la Gestión de Riesgos

El reto es aumentar el número de escuelas interesadas en aplicar los Planes para la Gestión del Riesgo de Inundación, tomando en cuenta que en este municipio los ríos y quebradas están ubicadas en muchos casos en sus patios traseros, pero además se desarrollaran programas docentes de formación sobre el tema para los educadores, tomando en cuenta que desde el CIHAM-UC se cuenta con profesionales capacitados para brindar este apoyo a las comunidades educativas.

d.- Desarrollar programas para la socialización de la prevención y la mitigación de desastres.

Es muy importante el desarrollo de actividades con las organizaciones de la sociedad civil. Se deben apoyar los organismos no gubernamentales y otras formas de organización y participación ciudadana, para que la sociedad se apropie de procesos de prevención y atención de desastres y promocionar procedimientos de respuesta y reacción ciudadana.

La capacitación de los funcionarios a través de cursos para el manejo de todas las herramientas computacionales que se requieren para el desarrollo de un proyecto de este tipo es muy importante, promoviendo eventos de capacitación a nivel de todos los organismos involucrados en la gestión de riesgos.

Se deben poner en marcha programas de saneamiento básico y de protección ante amenazas ambientales de carácter antrópico, además de impulsar planes de protección y de ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas deterioradas.



POR UN MEJOR MUNICIPIO



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Sobre la base de los resultados obtenidos se pueden extraer las siguientes conclusiones y recomendaciones.

1.-La técnica de detección de cambios postclasificación se adapta al logro del objetivo que aborda la caracterización espacio- temporal de los procesos dinámicos de cambios en el uso del suelo y la cobertura terrestre de la cuenca del río Pao entre 1986 y 2016. La evaluación de exactitud o aciertos de las clasificaciones realizadas mediante las matrices de confusión y el índice Kappa permitió calificar los resultados como muy buenos, los mismos a su vez fueron verificados en campo. Se puede concluir que la clase urbana está alojada en mayor proporción en la zona norte o la cuenca alta del río Pao, específicamente en el municipio Naguanagua, lo cual favorece a la aplicación de un Plan de Gestión Sustentable del Riesgo de Inundación en el mencionado Municipio.

2.- La gestión de riesgos requiere del conocimiento e identificación de las características de la zona en la que pueden ocurrir los desastres, tales como demografía, condiciones socio-económicas, nivel de vulnerabilidad, nivel de conocimiento que posee la comunidad sobre los impactos probables y la gestión de riesgos, instituciones y autoridades encargadas de las emergencias, sitios de seguridad temporal y refugios entre otros. Para lograr este objetivo se debe promover el acceso a las tecnologías apropiadas. Entre las tecnologías los SIG son una alternativa viable, económica y dinámica que permiten contar con la información necesaria para tomar decisiones en la gestión de riesgos de desastres y ordenación del territorio. La elaboración de mapas de riesgo, mapas de rutas de

evacuación, ubicación de posibles sitios de refugios, son algunos de los aportes importantes que esta tecnologías brinda a este tipo de investigación, generándose una herramienta valorada por los habitantes, ya que estos mapas representan un análisis cartográfico del riesgo que afecta a territorios y comunidades específicas, significan una consideración pormenorizada de las amenazas y vulnerabilidades, que puedan ser la base para una mejor comprensión y toma de decisiones sobre la intervención en la reducción, previsión y control del riesgo.

3. La calibración del modelo geoestadístico de lluvia-escorrentía condujo a establecer el rango mayor de la elipse para la cual las variables medidas en campo como precipitación y evapotranspiración se encuentran auto-correlacionadas. Mediante las técnicas de los modelos geoestadísticos de las variables involucradas en el proceso lluvia-escorrentía (lluvia, infiltración, evapotranspiración, escorrentía) se comprobó que la anisotropía no es un parámetro significativo para ser considerado en la modelación, implicando que no existe diferencia significativa de la semivarianza de las variables hidrometeorológicas para el rango principal.

4. La validación del modelo geoestadístico de lluvia-escorrentía se realizó a través de la variable infiltración estimada para tres condiciones de humedad de suelos (baja, media y alta), la cual resultó en valores concordantes con los patrones de precipitación y distribución de usos de la tierra en la cuenca del río Pao, siendo una evidencia satisfactoria de la predicción espacio-temporal del proceso lluvia-escorrentía para la cuenca del río Pao.

5.- El método propuesto para la estimación del riesgo de inundación en la cuenca del río Pao representa un aporte importante debido a que vincula la lluvia efectiva con la probabilidad de excedencia en la ocurrencia de los eventos de lluvia efectiva y el tiempo de vida útil de la estructura hidráulica que sería diseñada para mitigar el riesgo de inundación. La estimación de la lluvia efectiva toma en cuenta dos factores dinámicos asociados a la precipitación, el uso y cobertura de la tierra,

los cuales son monitoreados y actualizados usando datos de sensores de precipitación en tiempo real, así como imágenes multiespectrales producidas por tecnología de sensoramiento remoto instalados en satélites. Adicionalmente, incluye factores relativamente estables como el uso de la tierra y las pendientes, los cuales son involucrados como variables indirectas para la selección del número de curva. La ponderación de la clasificación de la lluvia efectiva vincula a la magnitud de la variable con una probabilidad de excedencia de ésta distribuida espacialmente.

El método proporciona información espacio-temporal que permite tomar decisiones para lograr medidas preventivas contribuyendo a la protección de vidas y bienes. A través de la calibración y validación de un método para pronosticar el riesgo de inundación, se demostró que la variable precipitación se puede utilizar para validar la relación entre la precipitación observada y la pronosticada. Las zonas observadas con media alta y baja probabilidad de inundación en el mapa de predicción de riesgo de inundación durante la temporada de lluvias son un patrón de las observadas en el mapa de riesgo de inundación para el período en el que se midieron las variables. En la etapa de validación, el coeficiente de correlación es cercano a 1, lo que significa que el método puede ofrecer excelentes resultados para el mapa de riesgo de inundación.

5.- La gestión de riesgo, como un proceso continuo que busca proteger a las personas, economías, ambiente e infraestructuras, al controlar los efectos negativos en caso de presentarse eventos de origen natural, maneja las mismas variables principales que el desarrollo sostenible: integralidad y continuidad en el tiempo. La capacitación de los habitantes representa la base fundamental para la aplicación de un sistema de gestión de riesgos, siendo siempre más eficiente reducir desde el origen, la conformación de las condiciones de riesgo y de esta forma prevenir que la ocurrencia de eventos se convierta en desastres.

Se intenta conseguir que lo que antes representaba un proceso de logística

para atender las consecuencias de los desastres, se convierta en un proceso que se inserta en el propio modelo de desarrollo de las sociedades, para identificar y trabajar aspectos ambientales, sociales, políticos, económicos que generen vulnerabilidad. Mediante la aplicación de simulacros se concientiza a la población sobre la importancia de tener una cultura preventiva de desastres y prepararse para enfrentarlos.

La sostenibilidad del Plan de Gestión Sostenible del Riesgo de Inundación formulado para el municipio Naguanagua, involucra la toma de acciones que conlleven a la integración genuina de las comunidades en la planificación e implementación de este. Además de la coordinación que debe existir entre las autoridades y organismos competentes que promuevan acciones interinstitucionales en busca de la sostenibilidad del Plan de Gestión Sustentable del Riesgo de Inundación.

RECOMENDACIONES

1.- La gestión del riesgo es fundamental para consolidar los objetivos de reducción de la pobreza, debido a que las poblaciones de escasos recursos son las más susceptibles de ser afectadas y poseen menor capacidad de resiliencia frente a los desastres. Es importante que la información y los entrenamientos lleguen a mayor cantidad de personas y su participación sea masiva, mediante la aplicación de simulacros se concientiza a la población sobre la importancia de poseer una cultura preventiva de desastres, y cómo actuar ante ellos.

2.-Tal como se ha desarrollado en esta investigación, el concepto de sostenibilidad, involucra intrínsecamente dos variables principales: integralidad, porque valora aspectos de diferente índole con la misma relevancia y continuidad en el tiempo, porque no sólo involucra satisfacer las necesidades de la población actual, sino que también involucra a las generaciones futuras. Es un hecho factible la sostenibilidad de las gestiones de riesgo como lo demostraron los resultados obtenidos y la participación comunitaria, por lo que se sugiere aplicar las herramientas que permitan la sostenibilidad de este tipo de proyectos con la comunidad.

3.-Desde la Universidad de Carabobo se debe promover este tipo de investigaciones que demuestran la conectividad social entre esta casa de estudios y las comunidades cercanas, permitiendo además la integración y aplicación de los conocimientos impartidos en beneficio de la sociedad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abbott, M. B., Bathurst, J. C., Cunge, J. A., O'connell, P. E., & Rasmussen, J. (1986). An introduction to the European Hydrological System—Systeme Hydrologique Europeen, “SHE”, 2: Structure of a physically-based, distributed modelling system. *Journal of hydrology*, 87(1-2), 61-77. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0022169486901150>

Abreu, J. (2012). Hipótesis, método & diseño de investigación (hypothesis, method & research design). *Daena: International Journal of Good Conscience*, 7(2), 187-197. Disponible: [http://www.spentamexico.org/v7-n2/7\(2\)187-197.pdf](http://www.spentamexico.org/v7-n2/7(2)187-197.pdf)

Acuña, J. (2016). Análisis de la vulnerabilidad institucional en el Distrito Metropolitano de Caracas. *Terra. Nueva Etapa*, 32(52), 151-175. Disponible: <https://www.redalyc.org/pdf/721/72148468007.pdf>

Allen, S. K., Ballesteros-Canovas, J., Randhawa, S. S., Singha, A. K., Huggel, C., & Stoffel, M. (2018). Translating the concept of climate risk into an assessment framework to inform adaptation planning: Insights from a pilot study of flood risk in Himachal Pradesh, Northern India. *Environmental science & policy*, 87, 1-10. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.05.013>

Alvarado, E. (2004). *Modelación del proceso lluvia escorrentía usando sistemas de información geográfica* [Documento en línea]. Trabajo de grado para optar al Título de Ingeniero Civil. Disponible: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1186/ICI_110.pdf?sequence=1&sAllowed=y [Consulta: 2019, mayo]

Andreu, J. (1993). *Análisis de sistemas y modelación en conceptos y métodos para la planificación hidrológica* [Libro en línea]. Ed. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE). Barcelona. Disponible: [https://www.google.com/search?q=Andreu%2C+J.++\(1993\).+An%3%A1lisis+de+sistemas+modelaci%3%B3n+en+conceptos+y+m%3%A9todos+para+la+planificaci%3%B3n+hidrol%3%B3gica](https://www.google.com/search?q=Andreu%2C+J.++(1993).+An%3%A1lisis+de+sistemas+modelaci%3%B3n+en+conceptos+y+m%3%A9todos+para+la+planificaci%3%B3n+hidrol%3%B3gica) [Consulta: 2019, mayo]

Antes, M. E., Peri, J. A., y Serafini, M. C. (2006). *Detección de cambios a través del análisis multitemporal de imágenes satelitales en un sector de la provincia de San Luis. Buenos Aires. Argentina* [Documento en línea]. Publicación Monográfica INTA, EEA San Luis. Disponible: file:///C:/Users/58424/Downloads/Antes-Peri_An%3%A1lisis%20Multitemporal.pdf [Consulta: 2019, mayo]

Aparicio Mijares, F. (1992). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. México [Libro en línea]. Limusa. Disponible: http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/adamoren/HIDRO/Fundamentos_de_hidrologia_de_superficie_-_Aparicio.pdf [Consulta: 2019, mayo]

Apaydin, H., Sonmez, F. K., y Yildirim, Y. E. (2004). Spatial interpolation techniques for climate data in the GAP region in Turkey. *Climate Research*. 28(1):31-40. DOI: 10.3354/cr028031. Disponible: <https://www.int-res.com/abstracts/cr/v28/n1/p31-40/>

Arias, F. G. (2006). El proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica [Libro en línea]. 5ta Edición. Episteme, Caracas, Venezuela: <http://scholar.google.com/citations?user=RRgHmSsAAAAJ&hl=es> [Consulta: 2019, mayo]

Arias Lastre, P. (2015). Guía de Aplicaciones del HEC-HMS en cuencas cubanas. [Documento en línea]. Trabajo de grado para optar al Título de Ingeniero Hidráulico no publicado. Instituto Superior Politécnico Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Disponible: https://www.researchgate.net/profile/Pedro_Arias_Lastre/publication/318306574_Guia_de_Aplicaciones_del_HECHMS_en_cuencas_cubanas [Consulta: 2019, mayo]

Arrillaga, H., Grand, M. L., y Busso, G. (2009). Vulnerabilidad, riesgo y desastres. Sus relaciones de causalidad con la exclusión social en el territorio urbano santafesino. En: Herzer, H. Arrillaga, h. (Comp.). *La construcción social del riesgo y el desastre en el aglomerado Santa Fe*. Santa Fe: Universidad Nacional del Litoral, p. 59-104. Disponible: <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar/publicaciones/index.php/PAMPA/article/download/3187/4716/>

Baldemar, A. (2005). *Aplicación hidrológica de los radares meteorológicos* [Documento en línea]. Trabajo de Grado de Maestría no publicado. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F. Disponible: <http://132.248.9.195/pd2006/0602483/0602483.pdf> [Consulta: 2019, mayo]

Balica, S. F., Popescu, I., Beevers, L., y Wright, N. G. (2013). Parametric and physically based modelling techniques for flood risk and vulnerability assessment: a comparison. *Environmental modelling & software*, 41, 84-92. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.11.002>

Barrios, Guevara K. A., y Trompiz Guillen L. D. (2016). Validación de zonas de planicie inundable en el río Guacara, parroquia San Agustín de Guacara, municipio Guacara, estado Carabobo [Documento en línea]. Trabajo de grado para optar al Título de Ingeniero Civil. Universidad de Carabobo. Valencia. Disponible: <http://www.riuc.bc.uc.edu.ve/handle/123456789/8439> [Consulta: 2019, mayo]

Batista, R., y Bustos, X. (2009). Sistema de información geográfica y teledetección. Determinación de vulnerabilidad urbana. Caso estado Vargas-Venezuela. *Terra Nueva Etapa*, 25(38), 167-190. Disponible: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72112047008>

Baulies, X., y Szejwach G. (Eds.) (1998). *LUCC data requirements workshop. Survey of needs, gaps and priorities on data for land-use/land-cover change research* [Documento en línea]. In LUCC Report Series No. 3. Institut Cartogràfic de Catalunya, Barcelona. 143 pp. Disponible:

<https://www.worldcat.org/title/lucc-data-requirements-workshop-survey-of-needs-gaps-and-priorities-on-data-for-land-use-land-cover-change-research-barcelona-11-14-november-1997/oclc/41394140> [Consulta: 2019, mayo]

Beck, U. (1998). *La sociedad del riesgo: Hacia una nueva modernidad*, [Libro en línea]. Paidós. Barcelona, Disponible: <https://www.gub.uy/sistema-nacional-emergencias/sites/sistema-nacionalemurgencias/files/documentos/publicaciones/La%2Bsociedad%2Bdel%2Briesgo%2Bhacia%2Buna%2Bnueva%2Bmodernidad%20-BECK.pdf> [Consulta: 2019, mayo]

Beck, U., y Rey, J. A. (2002). *La Sociedad del Riesgo Global*, [Libro en línea]. Siglo Veintiuno. Madrid: Disponible: <http://www.scielo.org.mx/pdf/polcul/n44/n44a12.pdf> [Consulta: 2019, mayo]

Bello, O., A. Bustamante, A., y Pizarro, P. (2020). *Planificación para la reducción del riesgo de desastres en el marco de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible* [Documento en línea]. Documentos de Proyectos (LC/TS.2020/108), Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2020. Disponible: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/46001-planificacion-la-reduccion-riesgo-desastres-marco-la-agenda-2030-desarrollo>. [Consulta: 2019, mayo]

Bello, F. (2006). Reflexión: La investigación Tecnológica o cuando la solución es el problema. *Revista Faces*. Universidad de Carabobo. Disponible: <http://servicio.bc.uc.edu.ve/faces/revista/a6n13/6-13-3.pdf>

Blaikie, P., Cannon, T., Davies, I., y Wisner, B. (1996). *Vulnerabilidad: el entorno social, político y económico de los desastres*. [Libro en línea]. Primera edición. Bogotá: Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Disponible: <https://www.desenredando.org/public/libros/1996/vesped/> [Consulta: 2019, mayo]

Boholm, A. (1998). Comparative studies or risk perception: a review of twenty years de research. *Journal of Risk Research*, 1 (2), 135-163. Disponible: <https://doi.org/10.1080/136698798377231>. [Consulta: 2020, abril 18].

Bouziani, M., Goïta, K., y He, D.C. (2010). Automatic change detection of buildings in urban environment from very high spatial resolution images using existing geodatabase and prior knowledge. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 65, 143–153. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2009.10.002

Briassoulis, H. (2000). Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches. In *The Web Book of Regional Science*. S. Loveridge, editor. Regional Research Institute, West Virginia University, Morgantown. Disponible: <http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents.htm>

Briceño, F. (2003). Cambios de la cobertura de la tierra en el valle del río Momboy, estado Trujillo. *Geoenseñanza*. 8 (1). 91-100. Universidad de los Andes. Trujillo. Disponible: <https://www.redalyc.org/pdf/360/36080108.pdf>

Brooks, N. (2003). Vulnerability, Risk and Adaptation: A Conceptual Framework. *Tyndall Centre for Climate Change Research, Working Paper No. 38(38)*, 1-16. Disponible: https://www.researchgate.net/publication/200032746_Vulnerability_Risk_and_Adaptation_A_Conceptual_Framework

Bunge, M. (1981). *La Ciencia: su método y su filosofía* [Documento en línea]. Escuela de Filosofía, Universidad Artes y Ciencias Sociales (ARCIS), Santiago, Chile, Disponible: <https://www.der.unicen.edu.ar/wp-content/uploads/2021/06/05.-BUNGE-1.pdf> [Consulta: 2019, mayo]

Bunge, M. (1985). *La Investigación Científica* [Libro en línea]. Editorial Ariel. Madrid. Disponible: https://www.academia.edu/11189579/58600342_Mario_Bunge_La_Investigacion_Cientifica. [Consulta: 2019, mayo]

Buytaert, W. (2004). *The properties of the soils of the south Ecuadorian paramo and the impact of land use changes on their hidrology* [Documento en línea]. Tesis de Doctorado. Katholieke Universiteit Leuven, Bélgica. Disponible: <https://library.wur.nl/WebQuery/titel/1729203> [Consulta: 2019, mayo]

Calventus, J. (2000). Acerca de la relación entre el fundamento epistemológico y el enfoque metodológico en la investigación social: la controversia "Cualitativo vs. Cuantitativo". *Revista Ciencias sociales*, 1(2), 7-16. Disponible: <http://files.mytis.webnode.cl/200000015-574ca5868d/Calventus%3B%20Acerca%20de%20la%20relaci%C3%B3n.pdf>.

Carmona, A. (2007). *Ajuste de la producción de agua simulada por el modelo SWAT y análisis de sensibilidad ante características hidrológicas del suelo en una cuenca pequeña de alta pendiente* [Documento en línea]. Trabajo de grado para optar al título de Ing. Agrónomo no publicado. Disponible: <https://www.researchgate.net/publication/48223873>. [Consulta: 2019, mayo]

Cartaya, S., Méndez, W., Pacheco, H. (2013). *Análisis de la Susceptibilidad a los Deslizamientos, con Aplicación de la Herramienta SIG, caso: Cuenca de Drenaje de la Quebrada Curucuti, Estado Vargas, Venezuela* [Documento en línea]. Geomática

Universidad Pedagógica Experimental Libertador – Instituto Pedagógico de Caracas. Disponible: https://www.academia.edu/22266135/An%C3%A1lisis_de_la_susceptibilidad_a_los_deslizamientos_con_aplicaci%C3%B3n_de_la_herramienta_SIG_caso_Cuenca_de_drenaje_de_la_quebrada_Curucut%C3%AD_estado_Vargas_Venezuela [Consulta: 2019, mayo]

Carvajal, L. (2019). *Metodología de la Investigación* [Libro en línea]. Poemía. Cali. Colombia. Disponible: <https://www.lizardo-carvajal.com/wpcontent/uploads/2019/02/Metodologi%CC%81a-de-la-investigacio%CC%81n.pdf> [Consulta: 2019, mayo]

Carvalho, E. (2006). Evaluación del efecto de los cambios de cobertura sobre la producción de agua y sedimentos en la microcuenca quebrada La Virgen, Los Teques, Estado Miranda. Trabajo de Grado no publicado Facultad de Agronomía. UCV. Maracay.

Célleri, R., Buytaert, W., De Bièvre B., Tobón, C., Crespo, P., Molina, J., y Feyen, J. (2010). Understanding the hidrology of tropical Andean ecosystems through an Andean network of basins. *IAHS-AISH Publication*, Vol: 336, (209-212), ISSN: 0144-7815. Disponible: <https://www.imperial.ac.uk/people/w.buytaert/publications.html?id=00610263&limit=30&person=true&respub-action=search.html&page=4>

Cerda, J., y Villarroel, L. (2008). Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. *Revista Chilena de Pediatría*, 79(1), 54-58. Disponible: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-41062008000100008

CESAP (2011, agosto). *Informe País – Venezuela. Red Global De Organizaciones de la Sociedad Civil para la Reducción de Desastres. Caracas*

Chávez Jr, P. S. (1988). An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multi-spectral data. *Remote Sensing of Environment*, 24(3), 459-479. DOI: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90019-3](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90019-3) Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0034425788900193>

Cheng, Q., KO, C., Yuan, Y., Ge, Y., y Zhang, S. (2006). GIS modeling for predicting river runoff volume in ungauged drainages in the Greater Toronto Area, Canada. *Comput. Geosciences*. 32 (8), 1108–1119. DOI <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2006.02.005>. Disponible: https://www.researchgate.net/publication/223448369_GIS_modeling_for_predicting_river_runoff_volume_in_ungauged_drainages_in_the_Greater_Toronto_Area_Canada

Chow, V. T., Maidment, D., y Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada* [Libro en línea]. McGraw-Hill. Santafé de Bogotá, Colombia. Disponible: <https://baixardoc.com/documents/hidrologia-aplicada-ven-te-chow-5cae52662105a> [Consulta: 2019, mayo]

Chuvieco, E. (2002). Teledetección ambiental: la observación de la Tierra desde el Espacio [Libro en línea]. Barcelona: Ariel Ciencia. Disponible: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=286798> [Consulta: 2019, mayo]

Cihlar, J., y Jansen, L. J. (2001). From Land Cover to Land Use: A methodology for efficient land use mapping over large areas. *Professional Geographer*, 53(2), 275-289. <https://www.sciencebase.gov/catalog/item/50578288e4b01ad7e027fef9>

Clark, J. S., Fastie, C., Hurtt, G; Jackson, S. T., Johnson, C., King, G. A., Lewis, M., Lynch, J., Pacala, S., Prentice, C., Schupp, E. W., Webb, T., y Wyckoff, P. (1998) Reid's paradox of rapid plant migration – Dispersal theory and interpretation of paleoecological records. *BioScience*, 48, 13–24. Disponible: <https://academic.oup.com/bioscience/article-pdf/48/1/13/919920/48-1-13.pdf>

Constitución República Bolivariana de Venezuela (1999). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 5453, marzo 2000.

COP 21. (2015). Convención Marco sobre el Cambio Climático. 12 de diciembre 2015. Conferencia de las Partes. 21er período de sesiones. París, 30 de noviembre al 11 de diciembre 2015. Tema 4b del programa. Disponible: <https://reliefweb.int/report/world/convenci-n-marco-sobre-el-cambio-clim-tico-fcccp201519>

Crichton, D. (1999). The Risk Triangle. In: Ingleton, J; Ed; *Natural Disaster Management, or Rose*, London, 102(3), 102-103.

COVENIN, 3661. (2004). Gestión de riesgos, emergencias y desastres, definición de términos. Disponible: <https://pandectasdigital.blogspot.com/2018/07/norma-covenin-3661-2004-gestion-de.htm> [Consulta: 2019, mayo]

Dourojeanni, A. (1994). La gestión del agua y las cuencas en América Latina. Revista de la CEPAL. Disponible: <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/11953>

DeFries, R. S., Foley, J A., y Asner, G. P. (2004). Land-use choices: Balancing human needs and ecosystem function. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(5), 249-257. Disponible: https://www.researchgate.net/publication/271786003_LandUse_Choices_Balancing_Human_Needs_and_Ecosystem_Function

Delgado, J. (2007). La Vulnerabilidad Humana: Del Paradigma de la Resistencia, al Paradigma de la Resiliencia [Documento en línea]. Tesis Doctoral. Facultad de Arquitectura, UCV, Caracas, Venezuela. Disponible: http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_terr/article/download/14434/14123 [Consulta: 2019, mayo]

DESINVENTAR. (2016). *Venezuela-Inventario Histórico de Desastres* [Documento en línea]. Disponible: <http://online.desinventar.org>. [Consulta: 2020, enero 15]

DeWinnaar, G., Jewitt, G. P. W., y Horan, M. (2007). A GIS-based approach for identifying potential runoff harvesting sites in the Thukela River basin, South Africa. *Physics. Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 32(15-18), 1058–1067. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S209563391830114X> [Consulta: 2019, mayo]

Documento País 2012 sobre la Reducción del Riesgo de Desastres en Venezuela [Documento en línea]. Disponible: <http://dipecholac.net/docs/files/198-venezuela-documento-pais2012.pdf> [Consulta: 2019, mayo]

Documento País 2014 sobre la Reducción del Riesgo de Desastres en Venezuela [Documento en línea]. Disponible: <http://meridariesgos.blogspot.com/2014/11/gobierno-junto-caritas-presentan.html> [Consulta: 2019, mayo]

Domínguez Izquierdo, P. (1999). Cuantificación Geoestadística de la contaminación por mercurio en el distrito minero de Pablo Enríquez (Provincia Azuay), y evaluación de los impactos en el Medio Ambiente, *Quito, Ecuador*. Disponible: <https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=4007>

Duguy, B. (2003). *Interacción de la historia de usos del suelo y el fuego en condiciones mediterráneas. Respuesta de los ecosistemas y estructura del paisaje* [Documento en línea]. Tesis doctoral. Universidad de Alicante. Disponible: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/3423/1/Duguy-Pedra-Beatriz.pdf> [Consulta: 2019, mayo]

Duque-Sarango, P., Patino, D. M., y López, X. E. (2019). Evaluación del Sistema de Modelamiento Hidrológico HEC-HMS de una microcuenca andina tropical, *Información Tecnológica*, 30(6), 351-362. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642019000600351

Duque-Yaguache, L., y Vázquez-Zambrano, R. F. (2015). Modelación de la oferta hídrica en una cuenca de montaña tropical en función de su cobertura del suelo. *Aqua-LAC*, 7(1), 63-76. Disponible:

<http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/pdf/08Modelaciondelaofertahidircaenunacuencademontana.pdf>

Dressler, K. A., Fassnacht S. R., Bales, R. C., Davis, R. E., Lampkin, D., D. E. Myers, D. E. (2000). Geostatistical interpolation of point-measured SWE in the Colorado River Basin. *EOS Transactions. American Geophysical Union*, Fall Meet. Suppl. 81 (48): F 397. Disponible: <http://www.scielo.org.mx/scieloOrg/php/reflinks.php?refpid=S0568-2517200800030000200003&lng=en&pid=S0568-25172008000300002>

EEA. (2006). *Land accounts for Europe 1990-2000*. In EEA Technical Report. Vol. 11, European Environment Agency, Copenhagen. 107 pp

EIRD (2009). Informe de evaluación global sobre la reducción del riesgo de desastres. Naciones Unidas, Ginebra, Suiza.

EIRD/ONU. (2004). *Vivir con Riesgo. Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres* [Documento en línea]. Secretaría Interinstitucional de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, Naciones Unidas. Disponible: <https://www.eird.org/vivir-con-el-riesgo/index2.htm> [Consulta: 2019, mayo]

Eger H., y Aquino A. (2006). Actuar ante el riesgo, porque los desastres no son naturales. *Importancia de la gestión del riesgo para el desarrollo sostenible de la Región Amazónica*. Lima, PE, GTZ. Disponible: <https://docplayer.es/10047108-Actuar-ante-el-riesgo-porque-los-desastres-no-son-naturales.html>.

Estrela M., T. (1993). *Estimación de parámetros de recarga y descarga en un modelo de flujo subterráneo en un manantial cárstico* [Documento en línea]. Tesis Doctoral. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Madrid. Disponible: https://www.todostuslibros.com/libros/estimacion-de-parametros-de-recarga-y-descarga-en-un-modelo-de-flujo-subterráneo-en-un-manantial-carstico-m-31_978-84-7790-153-2 [Consulta: 2019, mayo]

Estrela, T. (1996). Los SIG en Hidrología. Curso sobre la Utilización de los Sistemas de Información *Geográfica en Hidrología*. Cedex. Madrid

Estrela, T. (1997). Máster en Hidrología general y aplicada. Tomo II [Documento en línea]. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Madrid. Disponible: https://www.google.com/search?rlz=1C1GCEA_enVE916VE916&sxsrf=ALeKk014QxoPiLHzCy02gLQJIXSHwNQ%3A1602539662166&ei=jtCEX7XJCcKJ5wLnopXACw&q=Estrela%2C+T.+%281997%29.+M%C3%A1ster+en+Hidrolog%C3%ADa+general+y+aplicada.+Tomo+II.+Centro+de+Estudios+y+Experimentaci%C3%B3n+de+Obras+P%C3%ABlicas.+Madrid&oq [Consulta: 2019, mayo]

Estrela, T., Quintás, L. (1996). El modelo de flujo bidimensional GISPLANA. *Ingeniería Civil, Revista Digital del Cedex*, 104, (13-23). Disponible: <http://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/view/1150>

Fuenzalida-Díaz, M. (2015). Evaluación de modelos geoestadísticos aplicados a la exposición al contaminante atmosférico PM10 en Chile. *Ciencias Espaciales*, 8(1), 441-457, DOI: <https://doi.org/10.5377/ce.v8i1.2060>

F.A.O. (2005). *Sistema de clasificación de la cobertura de la Tierra* [Documento en línea]. Conceptos de clasificación y manual para el usuario. Versión 2 del programa. Roma. 226. Pp. Disponible: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2567871> [Consulta: 2019, mayo]

Farías, B., y Márquez A. (2015). *Validación de modelos de estimación del proceso lluvia- escorrentía en la cuenca del río Unare (Guárico-Anzoátegui)* [Documento en línea]. Trabajo de grado de maestría. Universidad de Carabobo, Valencia. Disponible: <http://mriuc.bc.uc.edu.ve/handle/123456789/1802> [Consulta: 2019, mayo]

Farías B., Márquez A., y Márquez M. (2015). *Evaluación del grado de sostenibilidad en la aplicación de simulacros de gestión de riesgos de desastres en el Estado Carabobo*. 4to Congreso de Ciencia y Tecnología. Caracas, Venezuela.

Farías, B., Márquez, A., y Guevara, E. (2016a). *Socialización de la gestión de riesgos de desastres a través de simulacros en dos estados de Venezuela* [Documento en línea]. Ponencia presentada en el XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Lima, Perú. Septiembre 2016. Disponible: http://www.mediafire.com/file/bey3nxxgap3tp83w/LIBRO_RESUMENES_EXTENDIDOSLADHI2016-APIHA_%2528ultimo%2529.pdf/file [Consulta: 2019, mayo]

Farias, B., Márquez, A., y Guevara, E. (2016b). *Percepción social en la gestión del riesgo de desastres del estado Carabobo* [Documento en línea]. Ponencia presentada el XI Jornadas de Investigación y Postgrado y III Encuentro Internacional de Investigadores. "Ciencia para la paz y el desarrollo". Universidad del Zulia. Punto Fijo, 2- 4 Noviembre 2016. Disponible: https://reddolac.org/events/s-02-al-04-de-noviembre-de-2016-www-pf-luzxi-jornadas-de?xg_source=activity [Consulta: 2019, mayo]

Farías, B., Márquez, A., Guevara, E., y Romero, A. (2017a). Una metodología para prevenir y afrontar el riesgo hidrológico en la zona norte del municipio Naguanagua estado Carabobo-Venezuela. *Revista encuentros*, 1(1), 86-102. Disponible: <https://revistaencuentros.cies.wordpress.com/2018/06/10/volumen-1-n-1-julio-diciembre-2017/>

Farías, B., Márquez, A. (2017). *Propuesta de gestión sostenible del riesgo de inundación en la comunidad El Retobo* [Documento en línea]. Ponencia presentada en el 1er Congreso Internacional de Ética y Ciudadanía. 16-17 marzo 2017. Universidad de Carabobo Venezuela. Disponible: <http://www.eventos.bc.uc.edu.ve/> [Consulta: 2019, mayo]

Farías, B., Márquez, A., Rey, D., y Guevara, E. (2018). Caracterización espacio-temporal del uso de tierras en cuencas mediante técnicas geomáticas. *Revista Ingeniería UC*, 25(1), 19-30. Disponible: <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/v25n1/vol25n12018.pdf>

Farías, B., Márquez, A., Guevara, E., y Rey, D. (2020a). Plan de gestión sustentable de riesgo de inundación: una propuesta desde Carabobo Venezuela. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres. REDER* 4(1), pp. 67-79. Disponible: <http://revistareder.com/ojs/index.php/reder/article/view/4>

Farías, B., Márquez, A., Guevara, E., y Rey, D. (2020b). Geostatistical modeling of surface water balance (SWB) under variable soil moisture conditions in the Pao river basin, Venezuela. *DYNA*, 87 (213), 192-201. Disponible: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/80446#.XtHUwvx3o5g.gmai>

Farías, B., Márquez, A., Guevara, E., y Rey, D. (2020c). Method for flood risk estimation in a tropical basin. *Water Supply*, 20(2), 712-723. Doi:10.2166/ws.2019.202. <https://doi.org/10.2166/ws.2019.202>

Farías, B., Márquez, A., Guevara, E. (2022). Pobreza, desigualdad social y vulnerabilidad a los desastres en Venezuela. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres. REDER* 6(1), pp. 51-65. Disponible: <http://doi.org/10.55467/reder.v6i1.84>

Felicísimo, A. (2001). *Modelos digitales del terreno* [Documento en línea]. Disponible: <http://www.etsimo.uniovi.es>

Field, C. K., Siver, P. A., y Lott, A. M. (1996). Estimating the effects of changing land use patterns on Connecticut Lakes, *Journal Environ. Qual.* 25.(2). 325-333 Disponible: https://fmp.conncoll.edu/Silicasecchidisk/PDF_Publications/1996-Field-Siver-Lott.pdf

Fiorillo, E., y Tarchiani, V. (2017). A Simplified Hydrological Method for Flood Risk Assessment at Sub-basin Level in Niger. *Renewing Local Planning to Face Climate Change in the Tropics*, Springer, Turin, Italy, p. 247.247. DOI: 10.1007/978-3-319-59096-7_12

Fleischbein, K., Wilcke, W., Valarezo, C., Zech, W., Knoblich K. (2006). Water budgets of three small catchments under montane forest in Ecuador: experimental and modelling approach. *Hydrological Processes: An International Journal*, 20(12), 2491-2507. Disponible: <https://doi.org/10.1002/hyp.6212>

Flores, H., García R., Cáceres A., y Bello, M. (2013). *Sistema de Información Geográfica de la Cuenca del Río Galipan, en el Estado Vargas (SIGAL)*. [Documento en línea]. Disponible: <https://docplayer.es/61437311-Memorias-de-las-i-ii-iii-y-iv-jornadas-nacionales-de-geomat.html> [Consulta: 2019, mayo]

Fokkens, B. (2011). Prevención de inundaciones y restauración de ríos: espacio para el río. *SAUCE 15, boletín de la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos*. (5), 14-15. Disponible: https://www.miteco.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_SAU/SAU51415

Gabaldón, A. (2006). *El Desarrollo Sostenible. La salida de América Latina* [Libro en línea]. Editorial Melvin, Caracas. Disponible: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-29142008000100012. [Consulta: 2019, mayo]

Gallardo Beltrán, M. (2014). *Cambios de usos del suelo y simulación de escenarios en la Comunidad de Madrid* [Documento en línea]. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid Facultad de Geografía e Historia. Disponible: <https://eprints.ucm.es/25253/> [Consulta: 2019, mayo]

García, J., y Vilachá, V. (2013). *Uso de las Tecnologías Geoespaciales en el Análisis y Prevención de Eventos Naturales, Caso Lluvias de Diciembre 1999* [Documento en línea]. Ponencia presentada en las I, II, III, y IV Jornadas de Geomática. 28-30 septiembre 2013. Disponible: https://www.researchgate.net/profile/Santiago_Yopez/publication/307156006_Characterization_of_kimberlitic_structures_using_hyperspectral_analysis_techniques/links/57c2f32a08ae2f5eb3395fb5/Characterization-of-kimberlitic-structures-using-hyperspectral-analysis-techniques.pdf [Consulta: 2019, mayo]

Ghosh, A., Das, S., Ghosh, T., y Hazra, S. (2019). Risk of extreme events in delta environment: a case study of the Mahanadi Delta. *Science Total Environmet*, 664,713-723. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.390>

Gallardo, M. (2014). *Cambios de usos del suelo y simulación de escenarios en la Comunidad de Madrid* [Documento en línea]. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid Facultad de Geografía e Historia. Disponible: [Consulta: 2019, mayo]

Giraldo, R. (2004). *Introducción a la Geoestadística: Teoría y Aplicación*. Facultad de Ciencias y Estadísticas. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

Global Water Partnership (2016). *Lineamientos para la incorporación del riesgo con enfoque de recursos hídricos en los Planes de Desarrollo Municipal* [Documento en línea]. Disponible: http://www.cac.int/sites/default/files/GWP._2016.Lineamientos_Gesti%C3%B3n_riesgo_en_recursos_h%C3%ADricos_en_planes_municipales.pdf [Consulta: 2019, mayo]

Grupo Banco Mundial (2014). *Bajemos la temperatura: Cómo hacer frente a la nueva realidad climática* Municipal [Documento en línea]. Disponible: <http://documents1.worldbank.org/curated/es/602511468226209555/pdf/927040v10Spani09SPAspa0010NOEmbargo.pdf> [Consulta: 2019, mayo]

González Mora, Ania. (2008). El fenómeno de los desastres. Perspectiva transdisciplinar con el enfoque de los Sistemas Complejos. *Humanidades Médicas*, 8(1). Disponible: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-738623>

Goovaerts, P. (2000). Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of Rainfall. *Journal of Hydrology* 228 (1-2), 113-129. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002216940000144X>

Guerschman, J. P., Paruelo, J M., Burke, I. (2003). Land use impacts on the normalized difference vegetation index in temperate Argentina. *Ecological Applications*. 13(3), 616–628 https://www.researchgate.net/publication/228606111_Land_use_impacts_on_the_Normalized_Difference_Vegetation_Index_in_temperate_Argentina

Gulinck, H., Múgica M., de Lucio J.V., y Atauri J.A. (2001). A framework for comparative landscape analysis and evaluation based on land cover data, with an application in the Madrid region (Spain). *Landscape and urban planning*. 55(4), 257-270 Disponible: http://www.academia.edu/download/50863850/s0169-2046_2801_2900159-120161213-9261-182vc58.pdf

Guevara, E. (2021). *Fundamentos sobre el estudio de los impactos ambientales* [Libro en línea]. Autoridad Nacional del Agua. Lima. Perú. 403 pgs. ISBN: ISBN: 978-612-4273-29-2. Disponible: URI. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/4743>

Guevara, E. (2019). *Gestión Integrada de Recursos Hídricos por Cuenca y Cultura del Agua* [Libro en línea]. Autoridad Nacional del Agua. Lima. Perú. 855 pgs. ISBN: 978-612-4273-27-8. Disponible: URI: <https://hdl.handle.net/20.500.12543/4302>

Guevara, E., y Cartaya, H. (2004). *Hidrología Ambiental*. Venezuela: Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo. ISBN: 980-328-505.

Guevara, E. (2008). *Educación para afrontar desastres*. Dirección General de Postgrado. Vicerrectorado Académicos, Universidad de Carabobo. ISBN: 978 – 980 – 123214 – 8. Depósito Legal: lf55320083702050

Guevara, E. (2010). *Gerencia de desastres*. Venezuela: Asociación de Profesores Universidad de Carabobo (APUC).

Guevara, E., y Márquez, A. (2012). Modelación de la infiltración en un campo agrícola de la cuenca del río Chirgua, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola*. 12 (2): 365-388. Disponible: <http://www.udoagricola.orgfree.com>

Gregrio A., y Jansen, J. (2000). Land Cover Classification System (LCCS); *Classification Concepts and User Manual for software version 1* [Documento en línea]. Rome: FAO. Disponible: https://www.researchgate.net/publication/229839605_Land_Cover_Classification_System_LCCS_Classification_Concepts_and_User_Manual [Consulta: 2019, mayo]

Hengl, T. (2009). *A practical guide to geostatistical mapping*. (Vol. 52). Amsterdam, The Netherlands: University of Amsterdam.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado C., Baptista L., P. (2014). *Metodología de la Investigación* [Libro en línea]. Mc Graw Hill. México DF: Interamericana Editores. Disponible: https://www.academia.edu/25455344/Metodolog%C3%ADa_de_la_investigaci%C3%B3n_Hernandez_Fernandez_y_Baptista_2010 Consulta: 2019, mayo]

Im, J., y Jensen, J. R. (2005). A change detection model based on neighborhood correlation image analysis and decision tree classification. *Remote Sensing of Environment*, 99(3), 326–340. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425705002919>

INE. (2011). *Instituto Nacional de Estadística de Venezuela*. [Documento en línea]. Disponible: www.ine.gov.ve/ [Consulta: 2019, mayo]

IPCC. (2001). *Climate Change 2011. Working group II: impacts, adaptations vulnerability*. Disponible: http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/climate/ipcc_tar/wg2/index.html. [Consulta: enero, 2019].

Isaaks, E. H., y Srivastava, R. M. (1989). *An Introduction to Applied Geostatistics*, Oxford University Press.

Jensen, J. R. (1996). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. Prentice Hall, Toronto 318 p. ISBN: 978-0-13-205840-7.

Jha, A K., Block R., y Lamond J. (2012). *Ciudades e Inundaciones. Guía para la Gestión Integrada del Riesgo de Inundaciones en ciudades del Siglo 21* [Documento en línea]. The World Bank: Washington, D.C. Disponible: https://www.researchgate.net/publication/272793713_Cities_and_Flooding_A_guide_to_integrated_urban_flood_risk_management_for_the_21st_Century. [Consulta: enero, 2019].

Jiang, X., Tatano, H., y Tomoharu, H. (2013). A Methodology for Spatial Flood Risk Assessment Taking Account of Spatial-Temporal Characteristics of Rainfall. *IDRiM Journal*, 3(1), 75-91. <http://idrimjournal.com/index.php/idrim/article/view/57>

Jorquera, E., Weber, J., y Reyna, S. M. (2012). Revisión del estado del arte en la modelación hidrológica distribuida e integrada. *Primer Encuentro de investigadores en formación en Recursos Hídricos. Ezeiza, Bs. As.*

Journel, A. G., y Huijbregts, C J. (1978). *Mining Geostatistics*, Academic Press, London–New York–San Francisco, 1, 600. Disponible: <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/5214736>

Lara, A. (2012). *Percepción social en la gestión del riesgo de inundación en un área mediterránea (Costa Brava, España)* [Documento en línea]. Tesis doctoral. Universidad de Girona. España. Disponible: <https://www.tdx.cat/handle/10803/98249> [Consulta: enero, 2019].

La Red. (1996). *Ciudades en riesgo*. [Documento en línea]. Disponible: http://www.desenredando.org/public/libros/1996/cer/CER_Intro_ene-7-2003.pdf [Consulta: enero, 2019].

Lavell, A., y Argüello, M. (2003). Gestión de riesgos: un enfoque prospectivo [Documento en línea]. *Colección Cuadernos de Prospectiva* 3, 1-37 Honduras: PNUD. Disponible: <https://es.scribd.com/document/143612587/Gestion-del-riesgo-un-enfoque-prospectivo> [Consulta: 2020, enero, 25]

Lavell, A. (2004). *Antecedentes, formación y contribución al desarrollo de conceptos, estudios y la práctica en el tema de los riesgos y desastres en América Latina: 1980-2004*. San José: Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.

Lavell, A. (2011). *Desempacando la adaptación al cambio climático y la gestión del riesgo: Buscando las relaciones y diferencias: Una crítica y construcción conceptual y epistemológica* [Documento en línea]. Secretaría General de la FLACSO y La Red para el Estudio Social de la Prevención de Desastres en América Latina. Elaborado en el marco del Proyecto UICN-FLACSO sobre Gestión del Riesgo y Adaptación al Cambio Climático. Disponible:

http://www.desenredando.org/public/varios/2011/2011_UICN-FLACSO_Lavell_Adaptacion_Cambio_Climatico.pdf [Consulta: 2020, enero, 23]

Leonelli, M. (2000). *Prevención, atención y mitigación de desastres: un enfoque global*. Ponencia presentada en el Taller de mitigación de desastres naturales. San Pedro Sula Honduras.

Ley Orgánica de Seguridad de la Nación (2002). Gaceta oficial de la República Bolivariana de Venezuela N°37.594, 18-12-02 [Documento en línea]. Disponible: http://www.minpet.gob.ve/images/biblioteca/leyes/Ley_Organica_de_Seguridad_de_la_Nacion.pdf [Consulta: 2020, enero, 25]

Ley de la Organización Nacional de Protección Civil y Administración de Desastres (Decreto N° 1.557). (2001, Noviembre). Gaceta oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 5.557 (Extraordinaria).

Ley de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos (2009) [Documento en línea]. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 39.095. Enero 09, 2009. Disponible: https://www.ifrc.org/docs/IDRL/Venezuela-ley_G.I.R.S.T.pdf [Consulta: 2020, enero, 25]

Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio. Gaceta Oficial N° 3.238 Extraordinario de fecha 11 de agosto de 1983.

Ley Orgánica sobre los estados de Excepción 2001.

Ley Orgánica del Ambiente. Diciembre de 2006. No. 5.833 Extraordinario [Documento en línea]. Disponible: http://euroclimaplus.org/intranet/_documentos/repositorio/Ley%20Org%C3%A1nica%20del%20Ambiente_2006Venezuela.pdf [Consulta: 2020, enero, 25]

Ley de la Organización Nacional de Protección Civil y Administración de Desastres, (Decreto No 1557). (2001, Noviembre 13) [Transcripción en línea]. Disponible: https://www.preventionweb.net/files/9608_LeyProteccionCivilyadministracionde.pdf [Consulta: 2019, mayo]

Lillesand, T., Kiefer, R., Chipman, J. (2004). *Remote Sensing and Image Interpretation* [Libro en línea]. Jhon Wiley & Sons. Inc. 5ta. Edición. 748 pp. Disponible: <https://www.wiley.com/enus/Remote+Sensing+and+Image+Interpretation%2C+7th+Edition-p-9781118343289> [Consulta: 2020, enero, 25]

López Granados, E. M., Bocco, G., y Mendoza Cantú, M. E. (2001). Predicción del cambio de cobertura y uso del suelo. El caso de la ciudad de Morelia. *Investigaciones Geográficas*. (45), 39-55. DOI <https://doi.org/10.14350/rig.59145>.

Disponible:

<http://www.investigacionesgeograficas.unam.mx/index.php/rig/article/view/59145>

Llamas, J. (1993). *Hidrología General. Principios y Aplicaciones* [Libro en línea]. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco, Bilbao. Disponible: <https://www.agapea.com/libros/Hidrologia-general-Principios-y-aplicaciones-9788475854359-i.htm> [Consulta: 2020, enero, 25]

Lloyd, C. D. (2005). Assessing the effect of integrating elevation data into the estimation of monthly precipitation in Great Britain. *Journal of Hydrology* 308(1-4), 128-150. Disponible:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002216940400527X>

López, J. A., y Luján López, J. L. (2000). *Ciencia y política del riesgo*. 1ª Edición. Madrid: Alianza. Disponible:

https://www.researchgate.net/publication/40942028_Ciencia_y_politica_del_riesgo

López, L. (2005). *Simulación del comportamiento hidrológico de la Cuenca del río Paya, utilizando modelos agroambientales*. Tesis de Postgrado UCV, FAGRO.

López, L., Duarte V. (2005). *Análisis Multitemporal del Uso y Cobertura de la Tierra en la Cuenca del Río Paya, Turmero-Venezuela, utilizando diferentes Técnicas de Geoprocesamiento con Imágenes Landsat y SPOT* [Documento en línea]. Ponencia presentada en las I, II, III, y IV Jornadas de Geomática. 28-30 septiembre 2005. Disponible: https://www.researchgate.net/profile/Santiago_Yepez/publication/307156006_Characterization_of_kimberlitic_structures_using_hyperspectral_analysis_techniques/links/57c2f32a08ae2f5eb3395fb5/Characterization-of-kimberlitic-structures-using-hyperspectral-analysis-techniques.pdf [Consulta: 2020, enero, 25]

Lu, D., Mausel P., E. Brondizios E., y Moran E. (2004). Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*. 25 (12), 2365-2407. DOI: 10.1080/0143116031000139863. Disponible:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0143116031000139863>

Lu, D., Mausel, P., Batistella, M., Moran, E. (2005). Land-cover binary change detection methods for use in the moist tropical region of the Amazon: a comparative study. *International Journal of Remote Sensing* 26(1), 101–114. Disponible: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431160410001720748>

Lunetta, R. S., (1999). Applications, Project formulation, and analytical approach. In: Lunetta, R.S., Elvidge, C.D. (Eds.), *Remote Sensing Change Detection: Environmental Monitoring Methods and Applications* [Documento en línea]. Taylor & Francis, London, pp. 1–19. Disponible: <https://cmc.marmot.org/Record/.b23120769> [Consulta: 2020, enero, 25]

Macleod, R. D., y Congalton, R. G. (1998). A quantitative comparison of change-detection algorithms for monitoring eelgrass from remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 64 (3), 207–216.

Márquez, A. M., y Guevara E. (2006). *Aplicación de los modelos HEC en el análisis de variables hidrológico-ambientales. Caso de estudio de zonificación de las manchas de inundación en la cuenca del Río Urama-estado Carabobo*. Master's thesis Disponible: <http://riuc.bc.uc.edu.ve/handle/123456789/8439>

Márquez, H. (2009). *Análisis de rotura de la presa Ing. Carpóforo Olivares Sosa – Pao La Balsa. Estimación de llanura de inundación*. Trabajo de grado para optar al título de Ing. Civil. Universidad Católica Andrés Bello. Caracas. http://w2.ucab.edu.ve/tesis-digitalizadas2/th_s_grade/ingeniero-civil.html

Márquez-Romance, A. M., Farías-De Márquez, B. E., & y Guevara-Pérez, E. (2022). Land use and land cover change detection using satellite remote sensing techniques in a tropical basin. *Environmental Quality Management*, 31(4), 183-196. Disponible: <https://doi.org/10.1002/tqem.21802>

Márquez-Romance, A., López-Calatayud N., Farías-De Márquez, B., y Guevara-Pérez, E. (2022). Approach to a new forecasting method of hydrological variables in tropical basins. *Environmental Quality Management*, 31(4), 433-448. <https://doi.org/10.1002/tqem.21829>

Márquez, A., Farías, B., y Guevara, E. (2020). Method for forecasting the flood risk in a tropical country. *Water Supply*. 20(6), 2261-2274. Disponible: <https://doi.org/10.2166/ws.2020.129>

Márquez, A., Guevara, E., Pérez, S., y Rey, D. (2020). Avances de la Universidad de Carabobo en formación de recursos humanos y estudios sobre recursos hídricos. *Memorias Primer Simposio Nacional de Recursos Hídricos*. Disponible: http://acading.org.ve/info/comunicacion/pubdocs/1er_Simposio_Nacional_de_Recursos_Hidricos/I-SNRH2020-Resumenes-Ponentes-publico.pdf

Márquez A., Guevara E., y Rey D. (2018a). Spatio-Temporal Forecasting Model of Water Balance Variables in the San Diego Aquifer, Venezuela. *Journal of Remote Sensing GIS & Technology*, Volume 4 Issue 3. Disponible: <http://matjournals.in/index.php/JORSGT/article/view/2864>

Márquez A., Guevara E., y Rey D. (2018b). “Soil and groundwater remediation proposal in an aquifer of Venezuela by hydrocarbon transport geostatistical modeling”. *Journal of Remote Sensing GIS & Technology*, Volume 5 Issue 1. Disponible: DOI: 10.5281/zenodo.1492031, <https://zenodo.org/record/1492031> <http://matjournals.in/index.php/JORSGT/article/view/2965>.

Márquez A., Guevara E., y Rey D. (2018c). "Spatio-temporal Geostatistical Modeling of Hydrogeochemical Parameters in the San Diego Aquifer, Venezuela". *Journal of Remote Sensing GIS & Technology*, Volume 4 Issue 3. Disponible: <http://matjournals.in/index.php/JORSGT/article/view/2799>.

Márquez A., Guevara E., y Rey D. (2018d). "Modeling of Physico-Chemical and Biological Parameters of Pao Cachinche Water Reservoir, Venezuela, using the Surface Reflectance from Landsat Satellite Images". *Journal of Remote Sensing GIS & Technology*, Volume 5 Issue. Disponible: <http://matjournals.in/index.php/JORSGT/article/view/2906>

Márquez A., Guevara E., y Rey D. (2018e). Method for Forecasting of Changes in Land Use and Land Cover Using Satellite Remote Sensing Techniques. *Journal of Remote Sensing GIS & Technology*, Volume 4 Issue 3. Disponible: <http://matjournals.in/index.php/JORSGT/article/view/2771>

Márquez A., Guevara E., y Rey D. (2018f). "Hybrid model for forecasting of changes in land use and land cover using satellite techniques. *IEEE-Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 12(1), 252–273. Acceptance letter. Disponible: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8605374/>

Márquez A., Guevara E., y Rey D. (2018g). Assessment of Land Use and Land Cover Change Detection Using Eleven Techniques of Satellite Remote Sensing in the Pao River Basin, Venezuela. *Journal of Remote Sensing GIS & Technology*, Volume 4 Issue 2. Disponible: <http://matjournals.in/index.php/JORSGT/article/view/2764>

Márquez A., Guevara E., y Rey D. (2018h). "Analysis of Methods to Detect Changes in Coverage from Water Reservoirs of the Pao River Basin, Venezuela". *Journal of Remote Sensing GIS & Technology*, Volume 4 Issue 2. Disponible: <http://matjournals.in/index.php/JORSGT/article/view/2734>

Márquez, A. M., Guevara, E., y Rey, D. (2019). Hybrid model for forecasting of changes in land use and land cover using satellite techniques. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 12(1), 252–273. Disponible: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8605374/>

Márquez, A. M., y Guevara, E. (2013) Rainfall Runoff model calibration for floodplain zoning in Unare River basin, Venezuela. *Proceedings of the 35th IAHR World Congress*. Chengdu, China. International Association for Hydro-Environment Engineering and Research. Disponible: <https://www.iahr.org/library/infor?pid=14573>
<https://www.tib.eu/en/search/id/BLCP%3ACN086216199/Rainfall-Runoff-Model-Calibration-for-the-Floodplain>

Márquez, A. M., y Guevara, E. (2011b). Modeling of erosion and sediment transport in furrows in a farm field under irrigation in Venezuela. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 2 (2), 125–156, Disponible: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222011000200009&script=sci_abstract&tlng=en

Márquez, A. M., y Guevara, E. (2011a). Estimating infiltration parameters based on soil physical properties of agricultural land in Venezuela. *Revista Ingeniería UC*, 18 (1), 65–79.

Disponible: <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/V18n1/art08.pdf>

De Marchi, B., y Ravetz J. R. (1999). Risk Management and Governance: a post – normal science approach. *Futures* (31 (7)), 743-757. Disponible: <https://scholar.google.es/citations?user=6DEcCQQAAAAJ&hl=es>

Matheron, G. (1963). Principles of Geostatistics. *Economic Geology*, 58 (8), 1246-1266. Disponible: <http://dx.doi.org/10.2113/gsecongeo.58.8.1246>

Maidment, D. R., y Djokic, D. (2000). *Hydrologic and Hydraulic Modeling Support: With Geographic Information Systems*. ESRI Inc., Redlands, CA, USA. https://proceedings.esri.com/library/userconf/proc15/tech-workshops/tw_382-228.pdf

Martelo, M. T. (2003). Metodología para la selección de Modelos de Circulación General de la Atmósfera y Escenarios Climáticos a incluir en la Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela [Documento en línea]. *Proyecto MARN–PNUD VEN/00/G31, Dirección de Hidrología y Meteorología*, Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales. Caracas – Venezuela. Disponible: <http://unfccc.int/resource/docs/natc/vennc01.pdf>

Maskrey, A. (1989). El Manejo Popular de los Desastres. En A. Maskrey (Comp.). *Viviendo en riesgo comunidades vulnerables y prevención de desastres en América Latina cap.1* (pp. 14-38) [Documento en línea]. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina Colombia: Tercer mundo Disponible: <http://www.desenredando.org> [Consulta: 2020, enero, 25]

Maskrey, A. (1993). Vulnerabilidad y Mitigación de Desastres. En A. Maskrey (Comp.) *Los Desastres No Son Naturales* (pp. 93-109) [Documento en línea]. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Colombia: Tercer mundo Disponible: <http://www.desenredando.org> [Consulta: 2020, febrero, 25]

Matheswaran, K., Alahacoon, N., Pandey, R., y Amarnath, G. (2019). Flood risk assessment in South Asia to prioritize flood index insurance applications in Bihar, India. *Geomatics, Natural Hazards and Risk* 10 (1), 26–48. <https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1500495>.

Méndez, C (2005). *Metodología: diseño y desarrollo del proceso de investigación con énfasis en ciencias empresariales*. 4ta Edición, Editorial Limusa. México. Disponible:https://www.esup.edu.pe/descargas/dep_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%20ta%20Edici%C3%B3n.pdf

Meyer, W. B., Turner, B. L. (1996). Land-use/land-cover change: challenges for geographers. *GeoJournal*. 39, 237-240. Disponible:<https://asu.pure.elsevier.com/en/publications/land-useland-cover-change-challenges-for-geographers>

Milanés Batista, C., Galbán Rodríguez, L., y Olaya Coronado, N. (2017). *Amenazas, riesgos y desastres: una visión teórico – metodológica y experiencias reales* [Libro en línea]. Corporación Universidad de La Costa Barranquilla ISBN: 987-958-8921-44-0. Disponible: <https://core.ac.uk/download/pdf/211162841.pdf> [Consulta: 2020, enero 15]

Möllders, N. (2012). *Land-Use and Land-Cover Changes. Impact on Climate and Air Quality* (Vol. 44). Springer Science & Business Media. Dordrecht Heidelberg London New York. ISBN 978-94-007-15264

Morad, M., y Triviño P., A. (2004). Sistemas de Información Geográfica y Modelización Hidrológica [Documento en línea]. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles No 31, (23-46). Disponible:<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/1122528.pdf> [Consulta: 2018, Enero 10].

[https://books.google.co.ve/books?hl=es&lr=&id=Petq_bdTaFcC&oi=fnd&pg=PR3&dq=.+Molders,+N.+\(2012\).+LandUse+and+LandCover+Changes.+Impact+on+Climat e+and+Air+Quality.+Springer+Dordrecht+Heidelberg+London+New+York.+ISBN+978-94-007-1526-4.&ots=jsfQ73VtbO&sig=CCNGr2ycWfrPhYSf0sDwP1zy-08#v=onepage&q=.%20Molders%2C%20N.%20\(2012\).%20Land-Use%20and%20Land-Cover%20Changes.%20Impact%20on%](https://books.google.co.ve/books?hl=es&lr=&id=Petq_bdTaFcC&oi=fnd&pg=PR3&dq=.+Molders,+N.+(2012).+LandUse+and+LandCover+Changes.+Impact+on+Climat e+and+Air+Quality.+Springer+Dordrecht+Heidelberg+London+New+York.+ISBN+978-94-007-1526-4.&ots=jsfQ73VtbO&sig=CCNGr2ycWfrPhYSf0sDwP1zy-08#v=onepage&q=.%20Molders%2C%20N.%20(2012).%20Land-Use%20and%20Land-Cover%20Changes.%20Impact%20on%20)

Mousalli Kayat, G. (2015). Métodos y Diseño de la Investigación Cuantitativa [Documento en línea]. Mérida. Disponible: <https://docplayer.es/55828585-Metodos-y-disenos-de-investigacion-cuantitativa-gloria-mousalli-kayat.html> [Consulta: 2020, febrero, 25]

Myers, D. (1998). Multivariable Geostatistical Analysis for Environmental Monitoring, Geomathematical and Geostatistics Analysis Applied to Space and Time Dependent Data", *en Sci de la Terre*, (27), 411-427.

ODS (2015-2030) *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Naciones Unidas. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.un.org/sustainabledevelopment> [Consulta: 2020, febrero, 25]

Olcina, J. (2008). Cambios en la consideración territorial, conceptual y de método de los riesgos naturales. *Scripta Nova*, 12(270). Disponible: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3159767>

Olcina, J. (2009). Prevención de riesgos: Cambio climático, sequías e inundaciones. Instituto Universitario de Geografía de la Universidad de Alicante, Alicante.
Disponible: https://www.researchgate.net/publication/242563647_PREVENCION_D_E_RIESGOS_CAMBIO_CLIMATICO_SEQUIAS_E_INUNDACIONES

ONU 2015. El Marco de Trabajo de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030. Naciones Unidas. Disponible: http://www.unisdr.org/files/43291_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf

Osorio, R., y Pozzobon, E. (2003). Cuantificación de la superficie boscosa deforestada en la reserva forestal de Ticoporo, estado Barinas. *Revista Forestal Latinoamericana*. 34, 87-116 Disponible: <http://cetus.saber.ula.ve/handle/123456789/24119>

Osorio, R. A., Lozano, E., y Graterol, G. (2009). Cartografía de la cobertura y uso de la tierra en la cuenca alta del río Santo Domingo, estado Mérida, Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*, 53(2), 183-191.

Parella, S., y Martins, F. (2012). *Metodología de la investigación cuantitativa*. [Libro en línea]. FEDUPEL. Disponible: <https://es.calameo.com/books/000628576f51732890350>. [Consulta: 2020, febrero, 25]

Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá. Colombia (2020). [Documento en línea]. Disponible: <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/planeacion/pot-de-bogota> [Consulta: 2020, febrero, 25]

Plan Metropolitano de Ordenamiento Territorial de Quito (2012-2022),

Plan Nacional de Ordenamiento Territorial 2012-2040. Costa Rica Documento en línea]. Disponible: https://www.mivah.go.cr/Documentos/transparencia/Informes_Gestion/Inf_Ges_Min_Irene_Campos/PNOT_2012-10-22_Aprobada.pdf [Consulta: 2020, febrero, 25]

Plan Socialista de Desarrollo 2013-2019 [Documento en línea]. Disponible: <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/planes/plan-de-la-patria-2013-2019-de-venezuela> [Consulta: 2020, febrero, 25]

Plan Urbano Distrital de San Isidro de Lima (2012- 2022). [Documento en línea]. Disponible:

<http://msi.gob.pe/portal/wp-content/uploads/2015/10/PLAN-URBANO-DISTRITAL-DE-SAN-ISIDRO-2012-2022> [Consulta: 2020, febrero, 25]

Proyecto de ordenanza del plan de desarrollo urbano local y de zonificación del Municipio Naguanagua. (s.f.). Gaceta Municipal.

PNUD (2004). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Sostener el Progreso Humano: Reducir vulnerabilidades y construir resiliencia [Documento en línea]. Informe sobre desarrollo humano. Disponible: <http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr14-report-es.pdf> [Consulta: 2020, febrero, 25]

Ponce, V. M. (1989). *Engineering hydrology: Principles and practices* [Libro en línea]. Traducción: Lagrost, L. (Vol. 640). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall. Disponible <http://www.ing.unne.edu.ar> [Consulta: 2018, Enero 10].

Ponce, V. M.; y Hawkins, R. (1996). Runoff Curve Number: has it reached Maturity? *Journal of Hydrologic engineering* .ASCE 1(1): 11-19.

Poudevigne, I., y Alard, D. (1997). Landscape and Agricultural Patterns in Rural Areas: a Case Study in the Brionne Basin, Normandy, France. *Journal of Environmental Management*. 50(4). 335-349. Disponible: https://www.researchgate.net/publication/223327875_Landscape_and_Agricultural_Patterns_in_Rural_Areas_a_Case_Study_in_the_Brionne_Basin_Normandy_France

Ramírez, A., y Herrera-Lozano, L. A. (2015). Análisis forense de inundaciones: una guía metodológica. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 6(1), 25-8. Disponible: <https://www.redalyc.org/pdf/3535/353539900002.pdf>

Ramirez, L. E. (1971). Development of a Procedure for Determinin Spacial and Time Variations of Precipitation in Venezuela. Reports. Paper 145.

Ramirez G., Alberto. (s.f.). *Metodología de la Investigación Científica* [Libro en línea]. Bogotá: Universidad Pontificia Bolivariana. Disponible: <http://www.javeriana.edu.co/ear/ecologia/documents/ALBERTORAMIREZMETODOLOGIADELAINVESTIGACIONCIENTIFICA.pdf> [Consulta: 2018, Enero 10].

Rastelli, V. (2013). *Estrategias para integrar la reducción del riesgo en la gestión municipal de Chacao como elemento de la sostenibilidad*. [Documento en línea]. Trabajo de grado de maestría, Universidad Simón Bolívar. Caracas. Disponible en: <http://www.vua.grupos.usb.ve/sites/default/files/tesis%20doctoral%20septiembre%202013%20final%20%20victoria%20rastelli.pdf>. [Consulta: 2019, febrero 22].

Ravetz, J. (2004). The Post- Normal Science of Precaution. *Futures*, 36(3), 347-357. Disponible: [http://dx.doi.org/1016/S0016-3287\(03\)00160-5](http://dx.doi.org/1016/S0016-3287(03)00160-5)

Rawat, P. K., Pant, C., Bisht, S. (2017). Geospatial analysis of climate change and emerging flood disaster risk in fast urbanizing Himalayan foothill landscape. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8 (2), 418–447. Disponible: <https://doi.org/101080/19475705.2016.1222314>.

Rey-Benayas J.M., y Pope K.O. (1995). Landscape ecology and diversity patterns in the Season al tropics from Landsat TM imagery. *Ecological Applications*, 5(2). 386-394 Disponible: <http://www.umich.edu/~ifri/Publications/R031-32.pdf>

Reyes, A., Torres, W., Ruíz, A. (2013). Análisis Hipertemporal de la Cobertura Natural con Imágenes de Satélite de Alta Resolución Temporal . [Documento en línea]. Ponencia presentada en las I, II, III, y IV Jornadas de Geomática. 28-30 septiembre .Disponible: https://www.researchgate.net/profile/Santiago_Yepez/publication/307156006_Characterization_of_kimberlitic_structures_using_hyperspectral_analysis_techniques/links/57c2f32a08ae2f5eb3395fb5/Characterization-of-kimberlitic-structures-using-hyperspectral-analysis-techniques.pdf[Consulta: 2018, Enero 10].

Rietveld, F., Alamo, G., Natera, L. (2006). Hacia una metodología para la investigación tecnológica. *Astro Data*. Maracaibo, Venezuela

Rincón, J. C., y de los Angeles Perozo, M. (2014). Comportamiento hidráulico de la quebrada Atarigua en el cruce con el puente ubicado sobre la troncal 7, municipio Jiménez, estado Lara. *Revista Ingeniería UC*, 21(1), 77-86.Disponible: <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/v21n1/art08.pdf>

Rodríguez; B., Sánchez, A., Salas-Rodríguez; C., Acosta, J. (2013). Uso de los Sensores, Remotos en Áreas Prospectivas con Escasa Información Geológica y Geofísica [Documento en línea]. Ponencia presentada en las I, II, III, y IV Jornadas de Geomática. 28-30 septiembre 2005 Disponible:https://www.researchgate.net/profile/Santiago_Yepez/publication/307156006_Characterization_of_kimberlitic_structures_using_hyperspectral_analysis_techniques/links/57c2f32a08ae2f5eb3395fb5/Characterization-of-kimberlitic-structures-using-hyperspectral-analysis-techniques.pdf [Consulta: 2018, Enero 10].

Rodríguez, M. J. (2008). Determinación de la capacidad de regadío en la cuenca alta del río Chama a través de modelamientos hidrológicos y agronómicos con el modelo SWAT. Mérida – Venezuela. Tesis de Maestría no publicada Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado (CEFAP). Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela

Salazar, J (2013). Imágenes Satelitales en el Norte de los Estados Anzoátegui y Monagas para la Exploración Petrolera del Anticlinal de Caruto [Documento en

línea]. Ponencia presentada en las I, II, III, y IV Jornadas de Geomática. 28-30 septiembre 2013 Disponible: https://www.researchgate.net/profile/Santiago_Yepez/publication/307156006_Characterization_of_kimberlitic_structures_using_hyperspectral_analysis_techniques/links/57c2f32a08ae2f5eb3395fb5/Characterization-of-kimberlitic-structures-using-hyperspectral-analysis-techniques.pdf [Consulta: 2018, Enero 10].
Sánchez Arredondo L., y Ramírez Bolívar, G. I. (2012). Aplicación del método del intervalo de confianza como técnica geoestadística no lineal a la modelación espacial de variables geotécnicas. Colombia. *DYNA*, 79, (173), 15-24, 2012. ISSN electrónico 2346-2183. ISSN impreso 0012-7353.

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/20648>
Sánchez, H., y Reyes, C. (2013). *Metodología y Diseños en la Investigación* Caruto [Documento en línea]. Editorial Científica Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú. [Consulta: 2018, Enero 10]. Disponible: <https://www.monografias.com/docs/METODOLOGIA-Y-DISE%C3%91OS-EN-LA-INVESTIGACION-CIENTIFICA-FKY2964JMY>

Serrano, V., Sánchez, S., y Cuadrat, J. M. (2003). Comparative analysis of interpolation methods in the middle Ebro Valley (Spain): application to annual precipitation and temperature. *Climate research* 24(24), 161-180 Disponible: <https://www.researchgate.net/publication/200472059>

SCS. Soil Conservation Service (1986). Urban hydrology for small watersheds [Documento en línea], Technical Release 55. USDA, Springfield, VA 22. Disponible: https://www.oregon.gov/odot/GeoEnvironmental/Docs_Hydraulics_Manual/Hydraulics-07-G-Urban-Hydrology-Small-Watersheds.pdf

Silva, O. (2002). Evaluación de los componentes de erosión de los modelos EPIC y WEPP y de producción de agua del modelo SWAT en condiciones de sabana y altas pendientes [Documento en línea]. Trabajo de Ascenso no publicado Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. 132 p. Caracas. Disponible: https://www.researchgate.net/profile/Oscar-Silva-6/publication/48225816_Evaluacion_de_los_componentes_de_erosion_de_los_modelos_EPIC_y_WEPP_y_de_produccion_de_agua_del_modelo_SWAT_en_condiciones_de_sabana_y_altas_pendientes/links/0912f5105947b67199000000/Evaluacion-de-los-componentes-de-erosion-de-los-modelos-EPIC-y-WEPP-y-de-produccion-de-agua-del-modelo-SWAT-en-condiciones-de-sabana-y-altas-pendientes.pdf

Silva, J (2014). Metodología de la investigación. Ediciones CO-BO, Caracas, Venezuela. ISBN: 9802627399. <http://sisbiv.bnv.gob.ve/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=499618>

Sinha, P., y Kumar L. (2013). Independent two-step thresholding of binary images in inter-annual land cover change/no-change identification, *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 81, 31–43. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2013.03.010

Singh, A., (1989). Change detection techniques using remotely- sensed data. *International Journal of Remote Sensing* 10(6), 989–1003 Disponible: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431168908903939>

Singh, V. P., y Woolhiser, D. A. (2002). Mathematical Modeling of Watershed Hydrology. *Journal of hydrologic engineering*, 7 (4). 270-292. www.researchgate.net

Silva-Escobar, O. (2009). *Evaluación del Modelo de Simulación SWAT para la Producción de Agua en una Cuenca Hidrográfica Prioritaria de Región Central de Venezuela. Caso: Cuenca Media del Río Pao*. Trabajo de ascenso a Profesor Agregado, Universidad Central de Venezuela. Disponible: https://www.researchgate.net/profile/Oscar-Silva-6/publication/48225893_Evaluacion_del_modelo_de_simulacion_SWAT_para_la_produccion_de_agua_en_una_cuenca_hidrografica_prioritaria_de_la_region_central_de_Venezuela_caso_cuenca_media_del_rio_Pao/links/0fcfd510597d25a386000000/Evaluacion-del-modelo-de-simulacion-SWAT-para-la-produccion-de-agua-en-una-cuenca-hidrografica-prioritaria-de-la-region-central-de-Venezuela-caso-cuenca-media-del-rio-Pao.pdf

Siver, P. A., Canavan, R. W., Field, C.K., Marsicano, L.J., Lott, A. M. (1996). Historical changes in Connecticut lakes over a 55-year period. *Journal of Environmental Quality*, 25. (2). 334-345. Disponible: <https://www.researchgate.net/publication/225841957>

Schlesinger, W. H., y Gramenopoulos, N. (1996). Archival photographs show no climate-induced changes in woody vegetation in the Sudan, 1943-1994. *Global Change Biology*, 2.(2), 137-141. Disponible: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2486.1996.tb00058.xi>

Stiglitz, J. E. (1998). Towards a new paradigm for development: strategies, policies and processes [Documento en línea]. Presbich Lecture UNCTAD, Geneve. Disponible: <https://unctad.org/en/Docs/prebisch9th.en.pdf> [Consulta: 2018, Enero 10].

Tarazona Álvarez J. (2013). Utilización de Imágenes de Satélite Aster en la Interpretación de las Variables Vegetación y Uso de la Tierra en Estudios de Cuencas Hidrográficas: La Experiencia en la Cuenca del Río Canoabo. Municipio Bejuma. Estado Carabobo. ESRI de Venezuela - Caracas, Venezuela geomática

Teillet, P. M., y Fedosejevs, G. (1995). On the dark target approach to atmospheric correction of remotely sensed data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 21(4),

374–386.

Disponible:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07038992.1995.10855161>

Townshenjd, J. R., Goff, T. E. y Tucker C. J. (1985). Multitemporal dimensionality of images of the nonnalised difference vegetation index at Continental scales. *I.E.E.E. Transactions on Geoscience and Remote sensing*, 6, 888-895 Disponible: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4072392>.

UNDRRO. (1979). Desastres preparativos y mitigación para las Américas Oficina del Coordinador de Naciones Unidas en Caso de Desastres [Documento en línea]. Disponible:

<http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/ASH/pdf/spa/doc1201/doc1201-introduccion.pdf> [Consulta: 2018, Enero 10].

UNISDR. (2009a). Informe de Evaluación Global Sobre la reducción del riesgo de desastres 2009. Riesgo y pobreza en un clima cambiante [Documento en línea]. Disponible: <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/19779> [Consulta: 2018, Enero 10].

UNISDR. (2009b). *Terminología sobre la reducción del riesgo de desastres* [Documento en línea]. Disponible: [www.Unisdr.Org/publications](http://www.unisdr.org/publications) [Consultado: 2019, enero 17] [Consulta: 2018, Enero 10].

UNISDR. (2015). Impacto de los desastres en América Latina y el Caribe, 1990-2013. Tendencias y estadísticas para 22 países [Documento en línea]. https://www.unisdr.org/files/48578_impactodesastresamericalatinacaribe.pdf. [Consultado: julio 2019]

UNNE. Universidad Nacional del Nordeste. (sf.). Apuntes de Hidrología. Modelos Hidrológicos [Documento en línea]. Cátedra de Hidrología- Traducción: Dra. Luisa E. Lagrost Corresponde a la traducción del capítulo nº13 del libro "Engineering Hydrology", Víctor M. Ponce, Editorial Prentice Hall, 1989. Disponible: http://ing.unne.edu.ar/pub/Modelos%20hidrologicos_Tema9.pdf [Consulta: 2018, Enero 10].

UPEL. (2016). Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales [Libro en línea]. FEDUPEL. 5ta ed. Caracas. Venezuela. Disponible: <https://es.slideshare.net/mirnalitaguirrez/manual-upel-2016-1> pdf [Consulta: 2018, Enero 10].

Valdez, J. (2018). Transversalizando la Reducción de Riesgos y la Resiliencia a Desastres en el Territorio. *Caracas* [Documento en línea]. *Grupo Social CESAP*. Venezuela. Disponible: <http://gruposocialcesap.org/prevenimos-desastres-planificando-seguro>. [Consulta: 2018, Enero 10].

Vega, A., Quines, V., Guevara, E. (2015). Validación de modelos del proceso lluvia-escurrentía. *Revista Ingeniería UC*, 22(3), 89-104. Disponible: <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/v22n3/art09.pdf>

Villada-Arias, Al., y Londoño-Ciro L. (2015). Aplicación de métodos geostatísticos para la caracterización de la calidad química de un depósito de material calcáreo. *Boletín Ciencias de la Tierra*, (35), 15-24. Medellín 2014. ISSN 0120-3630. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169531421002> [Consulta: 2018, Enero 10].

Villarreal-Macés, S. G., Díaz-Viera, M. A. (2018). Estimación geoestadística de la distribución espacial de la precipitación media mensual y anual en Nuevo León, México (1930-2014). *Tecnología y ciencias de agua*, 9(5), 106-130, DOI: 10.24850/j-tyca-2018-05-05.

Vojtek, M., y Vojteková, J. (2016). Flood hazard and flood risk assessment at the local spatial scale: a case study. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(6), 1973-1992. <https://doi.org/10.1080/19475705.2016.1166874>

Vu, T. T., Ranzi, R. (2017). Flood risk assessment and coping capacity of floods in central Vietnam. *Journal of Hydro-Environment Research*, 14, 44–60. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.jher.2016.06.001>.

Watanabe, M. (2015). Gestión del riesgo de desastres en ciudades de América Latina. *Apuntes de Investigación*, 4, 1-17. Disponible: <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc2564/doc2564>. [Consulta 2019, marzo 15].

Wilches-Chaux, G. (1993). La vulnerabilidad global, p. 11-44. En: Maskrey, A. (Comp.). *Los Desastres no son Naturales* (libro en línea). Edit. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Disponible: www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/html/cap2.htm. [Consulta: 2019, abril 8].

Winter, B; Schneeberger, K; Huttenlau, M; Stötter, J. (2018). Sources of uncertainty in a probabilistic flood risk model. *Natural Hazards* 91 (2), 431–446. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-017-3135-5>.

Yuan, F., Sawaya, K. E., Loeffelholz, B. C., y Bauer, M. E. (2005). Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 98(2-3), 317-328. Disponible: https://www.researchgate.net/publication/222568016_Land_cover_classification_and_change_analysis_of_the_Twin_Cities_Minnesota_Metropolitan_Area_by_multitemporal_Landsat_remote_sensing

Zabala, I., y García, M. (2008). Historia de la Educación Ambiental desde su discusión y análisis en los congresos internacionales. *Revista de Investigación*, 32(63), 201-218 Disponible:

http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-29142008000100011&lng=es&tlng=es

Zuñiga, E., y Magaña, V. (2018). Vulnerability and risk for heavy rain in Mexico: the effect of the change in the coverage of the land use. *Geographical research*, (95). <http://dx.doi.org/10.14350/rig.59465>

Zheng, D., Wallin, D. O., Hao, Z. (1997). Rates and patterns of landscape change between 1972 and 1988 in the Changbai Mountain area of China and North Korea. *Landscape Ecology* 12, 241-254. Disponible: <http://andrewsforest.oregonstate.edu/pubs/pdf/pub2258.pdf>

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Cartas avales de suministro de información meteorológica del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH).

ANEXO 2. Características de imágenes de satélites Landsat correspondientes a la escena 005, 053 que contiene la cuenca del río Pao

ANEXO 3. Licencia de software de procesamiento de datos adquirida por el Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales de la Universidad de Carabobo (CIHAM-UC).

ANEXO 4. Condiciones iniciales de humedad del suelo

ANEXO 5. Condiciones hidrológicas del suelo

ANEXO 6. Número de curvas de escorrentía

ANEXO 7. Ubicación geográfica de estaciones de monitoreo de precipitación y evaporación administradas por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales Renovables en el período 1980-2000.

ANEXO 8. Localización de estaciones de monitoreo de precipitación administradas por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales Renovables en el período 1980-2000.

ANEXO 9. Localización de estaciones de monitoreo de evaporación administradas por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales Renovables en el período 1980-2000.

ANEXO 10. Localización de estaciones de monitoreo de precipitación administradas por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología Ambiente en el período 2015-2018.

ANEXO 11. Localización de estaciones de monitoreo de evaporación administradas por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología en el período 2015-2018.

ANEXO 12. Carta Aval de INAMEH

ANEXO 13. Tabla de operacionalización de variables

ANEXO 14. Carta de pasantías

ANEXO 15. Aval de pasantías de la tesis doctoral

ANEXO 1

Cartas avales de suministro de información meteorológica del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH).



Maracay, 28 de Enero de 2021

Doctora
Adriana Mercedes Márquez Romance
Coordinadora
Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales (CIHAM-UC)
Universidad de Carabobo
Presente. -

Estimada Dra. Márquez

Reciba un cordial saludo, mediante la presente se avala que la ciudadana, Adriana Mercedes Márquez Romance, C.I.:V-12.604.007, Coordinadora del Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales de la Universidad de Carabobo (CIHAM-UC), por medio de la presente le realizo entrega de información meteorológica de la red de estaciones meteorológicas automatizadas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) adscrito al Ministerio del Poder Popular para Relaciones Interiores, Justicia y Paz de la República Bolivariana de Venezuela. La primera entrega de datos suministrado desde la Gerencia de Climatología del INAMEH, incluye datos de Serial de la estación, Nombre de la estación, Coordenadas geográficas, Código del elemento, Elemento, Fecha, Hora de observación, Valor registrado,

Los Datos suministrados son horarios de Evotranspiración y Tina de Evaporación para el período 2010-2015 en formato CSV, se anexan archivo en Excel de los elementos climatológicos y listado de las estaciones.

El aval que se ofrece por este medio, es para que la información suministrada por el INAMEH sea utilizada única y exclusivamente, para dar soporte a los trabajos especiales y de investigación de los estudiantes de la Universidad de Carabobo y miembros del CIHAM UC

El INAMEH requiere que los estudios realizados con el uso de la base de datos suministrada serán compartidos para incentivar el fortalecimiento de la red interinstitucional CIHAM-UC-INAMEH y otras Instituciones del Estado, para el desarrollo científico de la República Bolivariana de Venezuela. Cabe destacar que su uso, no deberá ser utilizados con fines comerciales, sin la autorización del INAMEH.

Así mismo, en todo momento se debe dar a conocer la fuente de los datos suministrados, la institución debe enviar una copia en digital de la investigación, para ser archivadas en la biblioteca del INAMEH, como material bibliográfico.

Agradeciendo la atención, se despide.


Cnel. Richard Núñez
Gerente de Climatología
Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

"Hidrometeorología al servicio de nuestra Patria y la Gestión de Riesgos"



GCIA-CLIMATOLOGIA N° S/N -2021.

Maracay, 22 de Junio de 2021

Doctora
Adriana Mercedes Márquez Romance
Coordinadora
Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales (CIHAM-UC)
Universidad de Carabobo
Presente. -

Estimada Dra. Márquez

Reciba un cordial saludo, mediante la presente se realiza entrega información climatológica a la ciudadana, Adriana Mercedes Márquez Romance, C.I.:V-12.604.007, Coordinadora del Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales de la Universidad de Carabobo (CIHAM-UC), dicha información meteorológica tiene como origen, la red de estaciones meteorológicas automatizadas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) adscrito al Ministerio del Poder Popular para Relaciones Interiores, Justicia y Paz de la República Bolivariana de Venezuela. Es la Segunda entrega de datos suministrado desde la Gerencia de Climatología, incluyen datos de Serial de la estación, Nombre de la estación, Coordenadas geográficas, Código del elemento, Elemento, Fecha, Valor registrado,

Los datos suministrados son mensuales de precipitación para el período 2016-2020 en formato PDF, se anexan archivo de los elementos climatológicos y listado de las estaciones.

El aval que se ofrece por este medio, es para que la información suministrada por la Gerencia de Climatología, sea utilizada única y exclusivamente, para dar soporte a los trabajos especiales e investigaciones de los estudiantes de la Universidad de Carabobo y miembros del CIHAM UC.

El INAMEH requiere que los estudios realizados con el uso de los datos suministrados sean compartidos para incentivar el fortalecimiento de la red interinstitucional CIHAM-UC-INAMEH y otras Instituciones del Estado, para el desarrollo científico de la República Bolivariana de Venezuela. Cabe destacar que su uso, no deberá ser utilizados con fines comerciales, sin la autorización del INAMEH.

Así mismo, en todo momento se debe dar a conocer la fuente de los datos suministrados, la institución debe enviar una copia en digital de la investigación, para ser archivadas en la biblioteca del INAMEH, como material bibliográfico.

Se agradece acuse de recibo formal de la información suministrada.

Agradeciendo la atención, se despide.

Cnel. Richard Núñez
Gerente de Climatología
Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
"Hidrometeorología al servicio de nuestra Patria y la Gestión de Riesgos"



Maracay, 04 de septiembre de 2021

Doctora
Adriana Mercedes Márquez Romance
Coordinadora
Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales (CIHAM-UC)
Universidad de Carabobo
Presente. -

Estimada Dra. Márquez

Reciba un cordial saludo, mediante la presente se hace entrega a la ciudadana, Adriana Mercedes Márquez Romance, C.I.:V-12.604.007, Coordinadora del Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales de la Universidad de Carabobo (CIHAM-UC), información meteorológica de la red de estaciones meteorológicas automatizadas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) adscrito al Ministerio del Poder Popular para Relaciones Interiores, Justicia y Paz de la República Bolivariana de Venezuela. La Segunda entrega de datos suministrado desde la Gerencia de Climatología del INAMEH, incluye datos de Serial de la estación, Nombre de la estación, Coordenadas geográficas, Código del elemento, Elemento, Fecha, Hora de observación, Valor registrado,

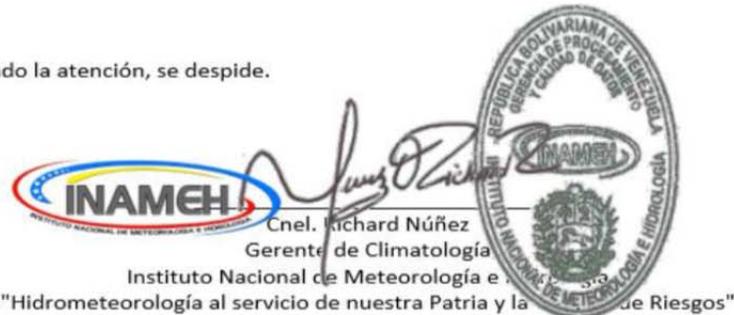
Los Datos suministrados son horarios de Evotranspiración y Tina de Evaporación para el período 2015-2019 en formato pdf, se anexan archivo en Excel de los elementos climatológicos y listado de las estaciones.

El aval que se ofrece por este medio, es para que la información suministrada por el INAMEH sea utilizada única y exclusivamente, para dar soporte a los trabajos especiales y de investigación de los estudiantes de la Universidad de Carabobo y miembros del CIHAM UC

El INAMEH requiere que los estudios realizados con el uso de la base de datos suministrada serán compartidos para incentivar el fortalecimiento de la red interinstitucional CIHAM-UC-INAMEH y otras Instituciones del Estado, para el desarrollo científico de la República Bolivariana de Venezuela. Cabe destacar que su uso, no deberá ser utilizados con fines comerciales, sin la autorización del INAMEH.

Así mismo, en todo momento se debe dar a conocer la fuente de los datos suministrados, la institución debe enviar una copia en digital de la investigación, para ser archivadas en la biblioteca del INAMEH, como material bibliográfico.

Agradeciendo la atención, se despide.


Cnel. Richard Núñez
Gerente de Climatología
Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
"Hidrometeorología al servicio de nuestra Patria y la Defensa de Riesgos"

ANEXO 2

Características de imágenes de satélite Landsat correspondientes a la escena 005, 053 que contiene la cuenca del río Pao

No	1	2	3	4	5	6
1	LT50050531986351XX03	1986-12-17	20.00	7	134.93	42.24
2	LT50050531990010CPE03	1990-01-10	11.00	7	131.96	41.77
3	LT50050531991077CPE01	1991-03-18	28.00	7	104.58	51.37
4	LT50050531998032CPE00	1998-02-01	33.00	9	127.94	46.11
5	LT50050531999019CPE00	1999-01-19	23.00	9	132.94	45.23
6	LE70050532000014SGS01	2000-01-14	7.00	9	137.52	47.22
7	LT50050532001008AAA02	2001-01-08	10.00	9	135.84	44.77
8	LE70050532002051AGS00	2002-02-20	22.00	9	122.73	52.13
9	LE70050532003022PFS00	2003-01-22	10.00	9	134.07	47.15
10	LO80050532015063LGN00	2015-03-04	13.13	9	119.09	57.19
11	LC80050532016018LGN00	2016-01-18	6.09	9	138.18	48.77

1) Código de identificación de la escena, 2) fecha de adquisición, 3) cobertura de nubes, 4) calidad de imagen, 5) ángulo de azimut solar y 6) ángulo de cenit solar

Fuente: Márquez, Farías y Guevara, (2022)

ANEXO 3

Licencia de software de procesamiento de datos adquirida por el Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales de la Universidad de Carabobo (CIHAM-UC)

Software	Licencia	Proveedor
ArcInfo Primario Labkit+3DAnalysis+Spatial Analyst+Geostatistical	37105865	ESRI DE VENEZUELA
ENVI V. 4.3 ENVI V. 4.7	9F3GP-B8TB6- 9F7MT-FP8P4-94W92	ESRI DE VENEZUELA
MATLAB	731996	MATHWORKS

5/11/2020 MathWorks - License Center - MathWorks América Latina



License Center

Seleccionar una licencia Exportar datos de la licencia

[Asociar una licencia](#)

Licencia ▼	Etiqueta de licencia ⌵	Opción ⌵	Uso ⌵
731996		Individual	Academic

mathworks.com
© 1994-2020 The MathWorks, Inc. MATLAB and Simulink are registered trademarks of The MathWorks, Inc. See mathworks.com/trademarks for a list of additional trademarks. Other product or brand names may be trademarks or registered trademarks of their respective holders.

https://fa.mathworks.com/licensecenter/?s_tid=mwa_osa_a 1/1

ANEXO 4

CONDICIONES DE HUMEDAD DEL SUELO

Condición de humedad antecedente (CHA).	Precipitación acumulada de los 5 días previos al evento en consideración (P_{a5})
I	0 - 35 mm
II	35 - 50 mm
III	más de 50 mm

Fuente: Guevara y Cartaya (2004). P. 152

ANEXO 5

Clasificación Hidrológica de los Suelos

Los suelos han sido clasificados en cuatro grupos: A, B, C y D, de acuerdo con el potencial de escorrentía:

Bajo potencial de escorrentía. Suelos que tienen alta tasa de infiltración, aun cuando muy húmedos. Consisten de arenas o gravas profundas, bien o excesivamente drenadas. Esos suelos tienen una alta tasa de transmisión de agua.

Moderadamente bajo potencial de escorrentía. Suelos con tasas de infiltración moderadas, cuando muy húmedas. Suelos moderadamente profundos a profundos, moderadamente bien drenados a bien drenados, suelos con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas y permeabilidad moderadamente lenta a moderadamente rápida. Son suelos con tasas de transmisión de agua moderadas.

Moderadamente alto potencial de escorrentía. Suelos con infiltración lenta cuando muy húmedos. Un estado que impide el movimiento del agua hacia abajo; texturas moderadamente finas a finas; infiltración lenta debido a sales o álcali o suelos con niveles freáticos moderados. Esos suelos pueden ser pobremente, o bien, moderadamente bien drenados con estratos de permeabilidad lenta a muy lenta a poca profundidad (50-100 cm).

Alto potencial de escorrentía. Suelos con infiltración muy lenta cuando muy húmedos. Consiste de suelos arcillosos con alto potencial de expansión; nivel freático alto permanente; suelos con “claypan” o estrato arcilloso superficial, con infiltración muy lenta debido a sales o álcali y poco profundo sobre material casi impermeable. Estos suelos tienen una tasa de transmisión de agua muy lenta

Fuente: Guevara y Cartaya (2004). P. 155

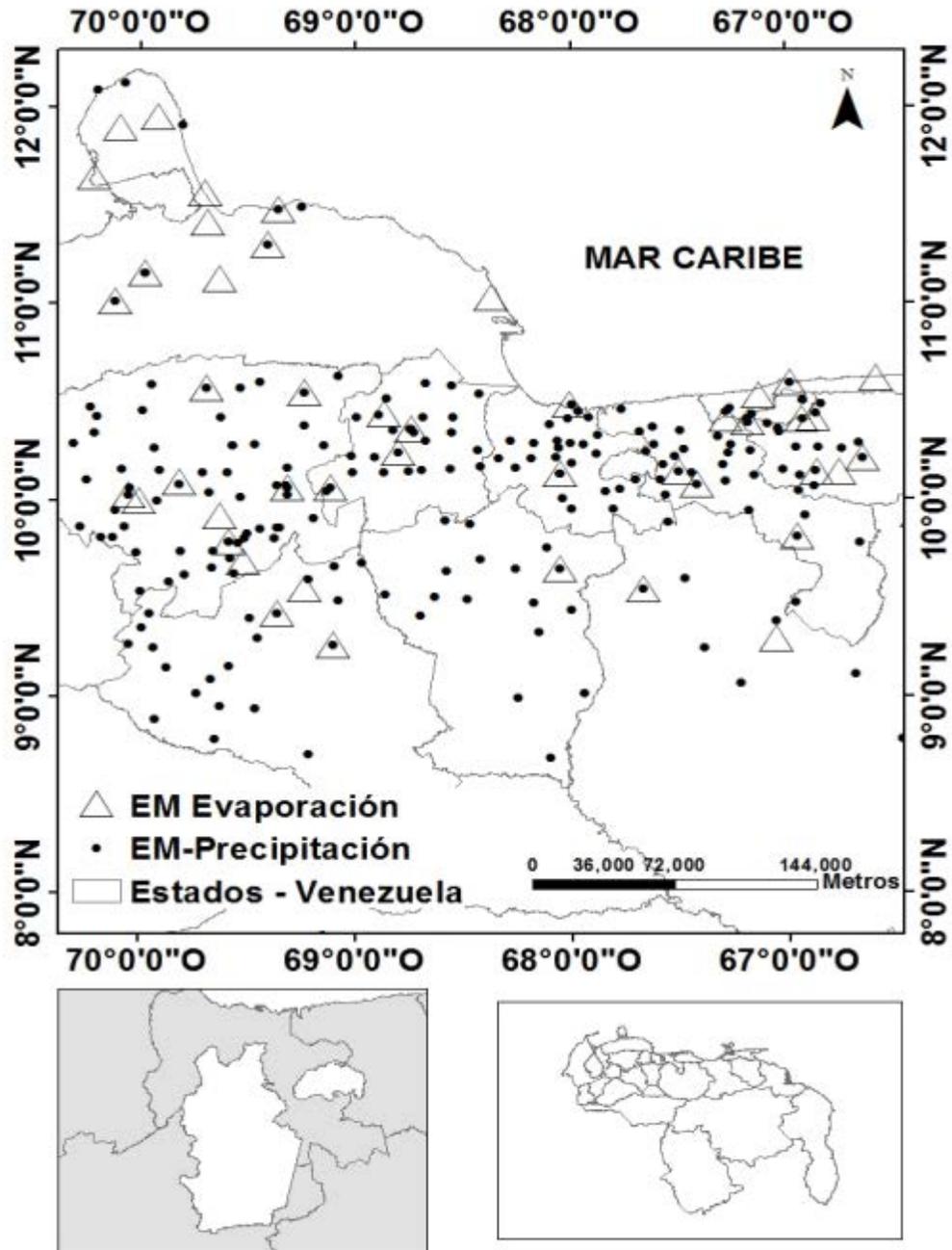
ANEXO 6

Número de curvas de escorrentía para usos agrícola, suburbano y urbano

Condición II de humedad antecedente		Grupo de Suelo			
Uso de la tierra		A	B	C	D
Tierra cultivada	Sin tratamiento Conservacional	72	81	88	91
	Con tratamiento Conservacional	62	71	78	81
Pradera o pastizal	Condición mala	68	79	86	89
	Condición buena	39	61	74	80
Sabanas	Condición buena	30	58	71	78
Bosques	Ralo, Cobertura, pobre	45	66	77	83
	Cobertura buena	25	55	70	77
Espacios abiertos, jardines, parques, campos de golf, cementerios ,etc.					
Condición buena	Cobertura de grama de 75% o más al área	39	61	74	80
Condición regular	Cobertura de grama de 50% a 75% del área	49	69	79	84
Áreas comerciales y de negocios (85% impermeable)		89	92	94	95
Áreas industriales (72% impermeables)		81	82	91	93
Residencial					
Parcela promedio	% de Impermeabilidad				
500 m ² o menos	65	77	85	90	92
1000 m ²	38	61	75	83	87
1500 m	30	57	72	81	86
2000 m	25	54	70	80	85
4000 m	20	51	68	79	84
Estacionamientos, parcelas, techos, autopistas, etc.		98	98	98	98
Calles y caminos	Pavimentados con cunetas y Alcantarillas	98	98	98	98
	granzón	76	85	89	91
	Tierra	72	82	87	89

Fuente: Guevara y Cartaya (2004). P. 157

ANEXO 7



Ubicación geográfica de estaciones de monitoreo de precipitación y evaporación administradas por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales Renovables en el período 1980-2000 (Marquez, Farias et al, 2020 a)

ANEXO 8

Localización de estaciones de monitoreo de precipitación administradas por el MARNR en el período 1980-2000

X	Y	Z	Serial	Hombre	Estado
607634	1151648	60	1390	SAN ESTEBAN -OC	CARABOBO
605394	1107133	467	1395	AGUACATES	CARABOBO
630928	1100902	640	2404	MANUARE	CARABOBO
658982	1093780	620	2501	CARTANAL	CARABOBO
579080	1139132	300	CA01370CP1	CANOABO	CARABOBO
545344	1094384	930	2303	LA SIERRA	COJEDES
558564	1092315	469	CO02308CP1	VALLECITO	COJEDES
515335	1052684	150	2342	SANTA TERESA	COJEDES
581370	1067388	122	2348	MORITA-CASERÍO	COJEDES
590529	1047905	180	2350	GALERA	COJEDES
546629	1065731	140	2358	EL RETAZO	COJEDES
540305	1051044	115	2364	VEGAS-CHARCOTE	COJEDES
593039	1031571	160	2378	CAÑO BENITO	COJEDES
616326	996986	70	2411	ARAGUANEYES	COJEDES
609996	1043840	120	2461	SAN JOSÉ DE CHIRGUA	COJEDES
532936	1040932	136	3303	PALO QUENADO	COJEDES
556710	1049928	140	3304	HATO LAS BABAS	COJEDES
582714	994323	102	3309	BAUL-CARRETERA	COJEDES
599529	960422	95	3332	JOBALITO	COJEDES
563258	1072666	159	CO02336CP1	TINACO	COJEDES
597371	1079036	249	CO02338CP1	EL PAO PLANTA	COJEDES
604230	1066861	170	CO02349CC1	EL PAO-OFICINA	COJEDES
726822	1162211	1035	531	CARACAS-OBSERVATORIO CAGIGAL	DISTRITO CAPITAL
726822	1162211	1035	531	CARACAS-OBSERVATORIO CAGIGAL	DISTRITO CAPITAL
701411	1154647	2101	1425	ALTO DE LEÓN	DISTRITO CAPITAL
455651	1249857	111	226	RICOA-LAS DOS BOCAS	FALCÓN
460828	1269447	13	225	PUERTO CUMAREBO	FALCÓN
472736	1271124	160	224	TOCOPERO	FALCÓN
412883	1317464	213	1	ADICORA	FALCÓN
378011	1218049	169	148	PEDREGAL	FALCÓN
393178	1234247	195	85	AGUA CLARA	FALCÓN
393178	1234247	195	85	AGUA CLARA	FALCÓN
323503	1235843	45	182	CAPATARIDA	FALCÓN
383540	1341127	32	116	JUAN LORENZO	FALCÓN
369436	1337222	20	115	PUNTA MACOYA	FALCÓN
781339	1112287	710	2505	GUATOPO	GUÁRICO
696008	1002703	136	2493	PALO SECO	GUÁRICO
713531	1037824	152	2469	EL SOMBRERO	GUÁRICO
687901	1155677	205	2448	ORTIZ	GUÁRICO
646336	1055942	171	2431	RIO VERDE	GUÁRICO
677593	1022894	118	2426	LA YEGUERA	GUÁRICO
786982	1076607	190	2425	LEZAMA	GUÁRICO
667352	1061559	195	2419	LA PALMITA	GUÁRICO
785104	1098451	422	2415	GUANAPITO	GUÁRICO
777782	971833	155	2414	VAQUERITO	GUÁRICO
802136	900984	135	2413	SANTA RITA	GUÁRICO

(Cont.) Localización de estaciones de monitoreo de precipitación administradas por el MARNR en el período 1980-2000

X	Y	Z	Serial	Hombre	Estado
314699	1118055	470	1117	PALMARITO	LARA
368865	1153081	645	1147	LOS PEDERNALES	LARA
365785	1158747	937	1148	EL CARRIZAL	LARA
332275	1132807	615	1174	QUEBRADA ARRIBA	LARA
340934	1116239	520	1175	PURICAURE	LARA
357218	1138135	470	1176	SAN FRANCISCO	LARA
367585	1144238	479	1177	ALTAGRACIA	LARA
363679	1117404	430	1186	BURERE	LARA
381477	1123607	413	1187	CARORA-LA GRANJA	LARA
385825	1112965	523	1198	SABANA GRANDE TS	LARA
384715	1108607	551	1199	LOS ARANGUES	LARA
431563	1152808	550	1203	CAMBURAL	LARA
441948	1107646	658	1204	CANAPÉ	LARA
465212	1114336	604	1207	BARQUISIMETO-C.B.	LARA
460555	1114218	605	1209	BARQUISIMETO-FERROCARRIL	LARA
444074	1084663	1560	1220	AGUA NEGRA	LARA
445387	1086688	1330	1221	LAS TABLAS	LARA
440501	1081504	1355	1222	EL ZANCUDO	LARA
491068	1175869	120	1227	LAS GUABINAS	LARA
424241	1169287	270	1233	SIQUISIQUE	LARA
396924	1170771	383	1231	BARAGUA	LARA
473894	1166295	190	1238	MOROTURO	LARA
441563	1169253	550	1240	EL COPEY	LARA
451717	1172062	532	1241	LA UNIÓN	LARA
465302	1112800	614	80410	BASE AÉREA BARQUISIMETO	LARA
397792	1135260	667	LA01261CP1	RÍO TOCUYO	LARA
449266	1137544	660	1265	BOBARE	LARA
437949	1136794	645	1266	BOBARE-UVERAL	LARA
483910	1136681	750	1268	DUACA	LARA
437949	1136794	645	1266	BOBARE-UVERAL	LARA
400708	1122873	428	1271	ARENALES	LARA
435154	1121718	787	1272	BANCO DE BARAGUA	LARA
422676	1121252	720	1273	TURTURIA SAN PABLO	LARA
425635	1110065	582	1274	GUADALUPE	LARA
465312	1123857	620	1278	EL CUJI	LARA
410913	1114798	510	1280	EL CULEBRERO	LARA
377206	1084886	1499	2106	EL JABON	LARA
378263	1100150	475	2108	SICARIGUA	LARA
382802	1091288	1440	2109	SAN PEDRO	LARA
345829	1107677	539	2110	PRIETO LOS LOPEZ	LARA
360382	1091090	844	2118	EL EMPEDRADO	LARA
370808	1084878	559	2119	TRENTINO-LA PASTORA	LARA
388789	1076741	1952	2124	LAS CUATRO	LARA
405628	1059893	1388	2139	SABANA GRANDE -GUAGO	LARA
399320	1105461	627	2201	CURARIGUA	LARA
435967	1082373	657	LA02225CC1	CUBIRO	LARA
461930	1090598	945	2205	RIO CLARO	LARA

(Cont.) Localización de estaciones de monitoreo de precipitación administradas por el MARNR en el período 1980-2000

X	Y	Z	Serial	Hombre	Estado
478927	1095437	415	2208	MAPORAL	LARA
465481	1108930	656	2209	PLANTA EL MANZANO	LARA
438131	1064433	1161	2219	MIRACUY	LARA
451787	1089904	1845	2221	CRUZ MACHADERA	LARA
435967	1082373	657	LA02225CC1	CUBIRO	LARA
458908	1084674	1050	2226	CAPILLA BUCARAL	LARA
483186	860655	278	2229	SARARE	LARA
427378	1067830	1300	2231	CASPITO	LARA
436743	1073219	1484	2232	PARQUE YACAMBU	LARA
427975	1077012	1330	2234	SANARE	LARA
460164	1090324	1280	2237	RIECITO	LARA
413442	1064082	1117	2245	GUÁRICO	LARA
391864	1156319	950	2251	HUMOCARO ALTO-VIVERO	LARA
390470	1054476	1195	2252	LA MESA	LARA
411492	1077263	694	2268	EL TOCUYO-DOS CERRITOS	LARA
736477	1160463	861	MI00544CC3	CARACAS-LA CARLOTA	MIRANDA
755739	1138838	140	549	SANTA EPIFANÍA	MIRANDA
723617	1135668	620	560	PARACOTOS	MIRANDA
725815	1120285	480	570	MACAGUITA	MIRANDA
746539	1135575	200	571	TUMUZA	MIRANDA
734818	1135680	400	572	CHARALLAVE	MIRANDA
757445	1130305	158	578	SANTA TERESA DEL TUY	MIRANDA
733748	1122549	230	582	CUA-TOVAR	MIRANDA
725110	1111307	340	585	CASA AMARGA	MIRANDA
733255	1114094	570	588	ONZA HACIENDA VILLEGAS	MIRANDA
717057	1123427	395	589	RIO ARRIBA	MIRANDA
753949	1008149	780	597	QUIRIPITAL	MIRANDA
733592	1155157	962	623	CARACAS-LA TRINIDAD	MIRANDA
699463	1149627	1741	1436	AGUA FRÍA	MIRANDA
714326	1146827	1240	1441	INSTITUTO PIGNATELLI	MIRANDA
709019	1149007	1446	1628	SITIO OROPEZA	MIRANDA
715343	1144774	1090	1448	LOS TEQUES	MIRANDA
815013	1166318	10	1508	CARENERO	MIRANDA
726982	1151732	980	MI00563CC1	CARACAS-LA MARIPOSA	MIRANDA
810268	1159511	30	MI01516CP1	CURIEPE	MIRANDA
498175	1130934	632	YA01205CP1	MIRAFLORES	YARACUY
487216	1112786	375	1295	YARITAGUA-EXPERIMENTAL	YARACUY
485176	1110944	312	1297	RODEO-EXPERIMENT. OCCIDENTE	YARACUY
527611	1146025	371	YA01300CP1	SAN FELIPE-PLANTA	YARACUY
548894	1170190	40	1304	PUEBLO NUEVO	YARACUY
563123	1165821	25	1307	HACIENDA MACAGUITA	YARACUY
535704	1171617	258	YA01312CP1	YUMARE	YARACUY
515805	1162879	190	1313	EL HACHA	YARACUY
500790	1152802	320	1321	CAYURE	YARACUY
511765	1153572	278	1322	AROA DISPENSARIO	YARACUY

ANEXO 9

Localización de estaciones de monitoreo de evaporación administradas por el MARNR
Durante el período 1980-2000

X	Y	Z	Serial	Identificación	Estado
177914	806111	250	4090	EL NULA	APURE
462196	884928	80	4292	BRUZUAL	APURE
484556	835904	79	4296	MANTECAL	APURE
691504	766729	78	5408	HATO URANON	APURE
671500	683721	47	5484	PUERTO PAEZ	APURE
671500	683721	47	5484	PUERTO PAEZ	APURE
687924	1151994	2026	AR01435CC3	COLONIA TOVAR	ARAGUA
724171	1085825	299	AR02520CC1	EMBALSE DE CAMATAGUA	ARAGUA
664357	1122038	438	1494	EMBALSE TAIGUAIGUAY	ARAGUA
673352	1114830	490	9350	EL CORTIJO	ARAGUA
386321	982849	205	3120	LARGA-ZONA	BARINAS
608490	1159760	2	CA01328CC4	PUERTO CABELLO-BASE NAVAL	CARABOBO
603954	1120951	470	1387	VALENCIA- SAN LUIS	CARABOBO
604230	1066861	128	2349	EL PAO-OFICINA	COJEDES
367377	1288136	12	FA00107CC4	PUNTO FIJO-OBSERVAT. CAGIGAL	FALCÓN
393178	1234247	85	195	AGUA CLARA	FALCÓN
378011	1218049	169	198	PEDREGAL	FALCON
399889	1321652	80	216	PUEBLO NUEVO PARAGUANA	FALCON
460828	1269447	13	225	PUERTO CUMAREBO	FALCON
455651	1249857	111	226	RICOA-LAS	FALCON
425455	1262139	16	232	CORO	FALCON
431007	1230884	72	247	NEGRITA-ISIRO	FALCON
423677	1278731	2	255	LA ENRAMADA	FALCON
380598	1315946	70	FA00117CC1	JADACAQUIVA	FALCON
569120	1219953	6	FA00396CC1	TOCUYO DE LA COSTA	FALCON
785104	1098451	474	GU02415CC1	GUANAPITO	GUARICO
822445	1046022	134	GU02513CC1	PRESA TAMANACO	GUARICO
646336	1055942	171	2431	RIO VERDE	GUARICO
713531	1027824	152	2469	EL SOMBRERO	GUARICO
824597	1072734	176	2539	SAN ANTONIO TAMANACO	GUARICO
685106	982374	86	3400	BIOLOGICA LOS LLANOS	GUARICO

(Cont.) Localización de estaciones de monitoreo de evaporación administradas por el MARNR en el período 1980-2000

X	Y	Z	Serial	Identificación	Estado
465302	1112800	614	80410	BASE AÉREA BARQUISIMETO	LARA
390399	1105579	821	LA01187CC1	CARORA-GRANJA	LARA
384715	1108607	786	LA01199CC1	LOS ARANGUES	LARA
424241	1169287	776	LA01233CC1	SIQUISIQUE	LARA
473894	1166295	518	LA01238CC1	MOROTURO	LARA
410917	1116334	780	LA01280CC1	EL CULEBRERO	LARA
431211	1096602	901	LA02204CC1	QUIBOR	LARA
435967	1082373	657	LA02225CC1	CUBIRO	LARA
443383	1071150	609	LA02227CC1	PASO ANGOSTURA	LARA
726466	1151637	1092	MI00563CC1	CARACAS-LA MARIPOSA	MIRANDA
734054	1122305	246	MI00582CC1	CUA-TOVAR	MIRANDA
757445	1130305	158	578	SANTA TERESA DEL TUY	MIRANDA
699463	1149627	1741	1436	AGUA FRIA	MIRANDA
799493	1152621	65	1534	EL CAFÉ	MIRANDA
789141	1138236	80	1555	CAUCAGUA	MIRANDA
745629	1121922	170	5037	VERANIEGA	MIRANDA
732089	1152473	1225	5057	CARACAS-USB	MIRANDA
459960	1042075	255	2253	HACIENDA GUACHE	PORTUGUESA
474393	1055668	226	2264	ACARIGUA-AEROPUERTO	PORTUGUESA
488590	1023998	275	2277	COLONIA TUREN-IAN	PORTUGUESA
419398	996776	163	2299	GUANARE-AEROPUERTO	PORTUGUESA
421216	989401	125	3241	BANCO DE LOS CEDROS	PORTUGUESA
321620	1057155	110	2132	AGUA VIVA	TRUJILLO
344555	1065410	272	2146	GUAMAS DE MONAY	TRUJILLO
720643	1172466	43	503	MAIQUETÍA-AEROPUERTO	VARGAS
764057	1175303	15	5011	LOS CARACAS	VARGAS
704270	1164989	972	9311	CARAYACA	VARGAS
487216	1112786	375	1295	YARITAGUA-EXPERIMENTAL RODEO	YARACUY
528706	1145658	300	YA01343CC1	SAN FELIPE	YARACUY
521568	1132876	269	YA01354CC1	GUARABAO	YARACUY
514258	1154249	564	YA01381CC1	CENTRAL MATILDE	YARACUY

ANEXO 10

Localización de estaciones de monitoreo de precipitación administradas por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología en el período 2015-2018

X	Y	Z	Serial	Nombre	Estado
655057	621016	86	80457	PUERTO AYACUCHO-BASE AÉREA	AMAZONAS
389543	773866	131	80448	BASE AÉREA GUASDALITO	APURE
647852	1133364	437	80413	BASE AEREA SUCRE	ARAGUA
648392	1140698	565	AR07241AP1	FORESTAL EL LIMÓN	ARAGUA
366124	952685	204	80440	BARINAS-AEROPUERTO	BARINAS
613822	1154779	20	CA00412CC1	HACIENDA EL MANGLAR	CARABOBO
622892	1135723	557	CA00423CP1	VIGIRIMA	CARABOBO
616988	1138671	460	CA00451CP1	SAN DIEGO	CARABOBO
608178	1131078	460	CA00461CP1	VALENCIA-GFV	CARABOBO
626026	1110365	515	CA00489CP1	AGUA BLANCA	CARABOBO
603183	1134833	1200	CA01310CP1	GUATAPARO-EL CAFE	CARABOBO
608490	1159760	2	CA01328CC4	PUERTO CABELLO-BASE NAVAL	CARABOBO
592724	1106863	490	CA01397CP1	CAMPO DE CARABOBO	CARABOBO
616848	1124032	431	80431	VALENCIA BASE AEREA	CARABOBO
604230	1066861	170	CO02349CC1	EL PAO-OFICINA	COJEDES
546523	1066369	149	CO07320AS3	SAN CARLOS AEROPUERTO	COJEDES
720643	1172466	48	80415	CARACAS/MAIQUETIA AEROP.	DISTRITO CAPITAL
697568	1056175	429	80431	BASE AÉREA SAN JUAN DE LOS MORROS	GUÁRICO
465302	1112800	614	80410	BASE AÉREA BARQUISIMETO	LARA
474393	1055668	225	80427	BASE AÉREA ACARIGUA	PORTUGUESA
419398	996776	163	80428	BASE AÉREA GUANARE	PORTUGUESA
322457	1033955	582	80426	BASE AÉREA VALERA	TRUJILLO

ANEXO 11

Localización de estaciones de monitoreo de evapotranspiración administradas por el
Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología en el período 2015-2018

X	Y	Z	LATITUD	LONGITUD	SERIAL	NOMBRE	ESTADO
647852	1133364	437	1015	6739	80413	MARACAY BASE SUCRE	ARAGUA
814161	1306732	3	1148	6611	80405	LA ORCHILA	
720643	1172466	48	1036	6659	80415	MAIQUETIA AEROPUERTO	VARGAS
731663	1161475	835	1030	6653	80416	CARACAS-LA CARLOTA	MIRANDA
682730	1096657	429	955	6720	80431	SAM JUAN DE LOS MORROS	GUARICO
474393	1055668	225	933	6914	80427	ACARIGUA	PORTUGUESA
465302	1112800	614	1004	6919	80410	BARQUISIMETO	LARA
425455	1262139	17	1125	6941	80403	CORO	FALCON
419398	996776	163	901	6944	80428	GUANARE	PORTUGUESA
366124	952685	204	837	7013	80440	BARINAS	BARINAS
674546	873574	48	754	6725	80450	SAN FERNANDO DE APURE	APURE
322457	1033955	582	921	7037	80426	VALERA	TRUJILLO
301257	799936	131	714	7048	80448	GUASDUALITO	APURE

ANEXO 12 MUESTRA DE CORRESPONDENCIA CON INAMEH

Maracay, 28 de Enero de 2021

Doctora
Adriana Mercedes Márquez Romance
Coordinadora
Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales (CIHAM-UC)
Universidad de Carabobo
Presente. -

Estimada Dra. Márquez

Reciba un cordial saludo, mediante la presente se avala que la ciudadana, Adriana Mercedes Márquez Romance, C.I.:V-12.604.007, Coordinadora del Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales de la Universidad de Carabobo (CIHAM-UC), por medio de la presente le realizo entrega de información meteorológica de la red de estaciones meteorológicas automatizadas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) adscrito al Ministerio del Poder Popular para Relaciones Interiores, Justicia y Paz de la República Bolivariana de Venezuela. La primera entrega de datos suministrado desde la Gerencia de Climatología del INAMEH, incluye datos de Serial de la estación, Nombre de la estación, Coordenadas geográficas, Código del elemento, Elemento, Fecha, Hora de observación, Valor registrado,

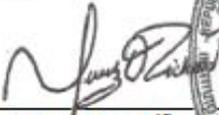
Los Datos suministrados son horarios de Evotranspiración y Tina de Evaporación para el período 2010-2015 en formato CSV, se anexan archivo en Excel de los elementos climatológicos y listado de las estaciones.

El aval que se ofrece por este medio, es para que la información suministrada por el INAMEH sea utilizada única y exclusivamente, para dar soporte a los trabajos especiales y de investigación de los estudiantes de la Universidad de Carabobo y miembros del CIHAM UC

El INAMEH requiere que los estudios realizados con el uso de la base de datos suministrada serán compartidos para incentivar el fortalecimiento de la red interinstitucional CIHAM-UC-INAMEH y otras Instituciones del Estado, para el desarrollo científico de la República Bolivariana de Venezuela. Cabe destacar que su uso, no deberá ser utilizados con fines comerciales, sin la autorización del INAMEH.

Así mismo, en todo momento se debe dar a conocer la fuente de los datos suministrados, la institución debe enviar una copia en digital de la investigación, para ser archivadas en la biblioteca del INAMEH, como material bibliográfico.

Agradeciendo la atención, se despide.



Cnel Richard Núñez

ANEXO 13

OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICA	INSTRUMENTO
1.- Caracterizar espacio temporal los usos de la tierra	Demografía Vegetación Cuerpos de agua Vialidad Zonas comerciales Zonas industriales	Área de estudio	Ubicación Superficie Relieve Población	Observación directa	Imágenes satelitales.
2.-Describir las variables hidrometeoro lógicas y variables sociales	Morfología de la cuenca Complejo suelo-vegetación. Precipitación Tipo de viviendas Demografía Servicios Básicos	Área de estudio	Área Caudal cauce Precipitación Pendiente del Cauce Velocidad del flujo Nivel de agua Perímetro de la cuenca	Muestreos de campo Encuestas	Equipos de medición Cuestionarios
3.- Calibrar el modelo matemático para el pronóstico del riesgo de inundación				Prueba de calibración	
4.- Validar el modelo matemático para el pronóstico del riesgo de inundación				Prueba de validación	
5.-Analizar el riesgo de inundación desde una perspectiva comunitaria	Ubicación de viviendas Presencia de servicios básicos Ubicación de instituciones públicas Datos históricos de eventos anteriores	Área de estudio	Datos históricos de eventos anteriores.	Observación y encuestas personales	Cuestionarios
6.- Diseñar un plan de gestión de riesgos.				Diseño del plan	

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 14



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO DE INVESTIGACIONES HIDROLÓGICAS Y AMBIENTALES
(CIHAM-UC)



Bárbula, 15 de Junio de 2017

Ciudadana
Lic. Merlys Martínez de Otero
Directora de U.E. Instituto Educativo Venezuela
Municipio Naguanagua

Me es grato dirigirme a usted para solicitar la realización de la Pasantía titulada: **Caracterización de variables sociales asociadas al riesgo de inundación en la cuenca del río Pao** por parte de la Ing. Bettys Farias CI: 8359094, en la U.E. **Instituto Educativo Venezuela**, como parte de su tesis doctoral que incluye la formulara un plan de gestión de riesgos de inundación a aplicarse en este municipio.

Ing. Adriana Márquez
Universidad de Carabobo
Sub-Proyecto I



Adriana Márquez, Ing. MSc. Ph.D.
C.I.: 12.604.007
Profesor de Ingeniería Civil y Ambiental
Coordinador del Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales (CIHAM-UC)
Universidad de Carabobo
Valencia, Venezuela
Telef. 58-241-8672829/8427929
Movil: 58-414 4165856
E. Mail: ammarquez@uc.edu.ve; ammarqueztzis2@gmail.com, adriana@cihamuc.com.ve
Dirección web: <http://www.cihamuc.com.ve>



ANEXO 15



Valencia, 12 de Marzo de 2017

AVAL DEL COORDINADOR

Quien suscribe Lic. Juan Flores, en mi carácter de Director Municipal de Protección Civil del Municipio Naguanagua Estado Carabobo hago constar que la ciudadana BETTYS FARIAS titular de la cédula de identidad N° 8.359.094 con mi autorización y asesoría realizará su pasantía doctoral en el Instituto de Protección Civil con sede en el Municipio Naguanagua estado Carabobo, en la ciudad de Valencia.

Durante las pasantías la ciudadana Bettys Farias participará en las actividades de campo correspondientes al levantamiento de información antes, durante y después de episodios de inundación en el municipio Naguanagua, determinación de vulnerabilidades de las comunidades, desarrollo de capacitación de los miembros de las comunidades, visitas y desarrollo de capacitación en escuelas del municipio Naguanagua

Constancia que se emite a los veintitrés días del mes de marzo de dos mil diecisiete.

Atentamente,

Lic. Juan Flores



Director Municipal de Protección Civil Naguanagua Estado Carabobo