

Parque inundable propuesta geosostenible para mitigar el riesgo de desastres en áreas urbanas: estudio de caso.

Flood Park geosostenible proposal to mitigate the risk of disasters in urban areas: case study.

Guerrero, Omar Antonio ^{1*}; Guerrero-Camargo, Omar Alejandro ²; Toro-Mora, Rosibeth ³; Camargo-Mora, María Gabriela⁴

¹Escuela de Geociencias – Universidad Técnica Particular de Loja.
Loja - Ecuador

²Empresa Constructora Habi, C.A.
San Luis Potosí - México.

³Escuela de Ingeniería Geológica - Universidad de los Andes.
Mérida - Venezuela.

⁴Escuela de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Técnica Particular de Loja.
Loja-Ecuador.

* oaguerrero37@utpl.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.53766/CEI/2022.43.03.09>

Resumen

El municipio Maneiro del Estado Nueva Esparta - Venezuela, corresponde con un territorio insular localizado en el Caribe venezolano, en este municipio se han registrado a lo largo de los últimos años recurrente inundaciones, que afectan directamente a la población, con pérdidas humanas y materiales. Para enfrentar esta problemática, se plantea una propuesta hidráulica sostenible, que busca mitigar las consecuencias que se generan debido a crecidas, a través del diseño y aplicación de técnicas innovadoras, conocidas como Sistemas Urbanos de Drenajes Sostenibles (SuDS). A través de esta, se plantea el prediseño de un sistema de captación de escorrentía para el amortiguamiento de la posible inundación y que, a su vez, en épocas de sequía, funcione como parque recreacional, complementado con infraestructuras de almacenamiento de agua para consumo humano y riego urbano. Por último, se realiza una comparación del impacto de las soluciones hidráulicas a través del tránsito de avenidas, para determinar su efectividad y sostenibilidad.

Palabras Clave: parques inundables, hidráulica, planificación urbana, riesgos.

Abstract

The Maneiro municipality of the Nueva Esparta State - Venezuela, corresponds to an insular territory located in the Venezuelan Caribbean, in this municipality recurrent floods have been registered over the last few years, which directly affect the population, with human and material losses. To overcome this problem, a sustainable hydraulic proposal is proposed, which seeks to mitigate the consequences that are generated due to floods, through the design and application of innovative techniques, known as Sustainable Urban Drainage Systems (SuDS). Through this, the pre-design of a runoff catchment system to cushion possible flooding and which, in turn, in times of drought, functions as a recreational park, complemented by water storage infrastructures for human consumption and irrigation urban. Finally, a comparison is made of the impact of hydraulic solutions through avenue traffic, to determine their effectiveness and sustainability.

Keywords: floodable parks, hydraulic, urban planning, risks.

1 Introducción

El Plan de desarrollo urbano local del municipio Maneiro del Estado Nueva Esparta (Alcaldía de Maneiro 2015), señala posibles zonas de riesgo por inundaciones que afectan la integridad de edificaciones urbanas y la calidad de vida de los habitantes. Las zonas críticas de inundación se caracterizan por tener topografía baja y espesores de suelos con altos contenidos de finos (arcillas y limos) y un régimen de precipitación de baja frecuencia, pero intensidad alta. Estas características impermeables del suelo predominante en las zonas de riesgo, aunado al efecto del nivel freático notablemente superficial, debido a un excedente de agua por precipitación pluvial, aguas subterráneas y saturación del suelo por incidencia del agua del mar, generan que el suelo se sature de humedad (Guerrero y col., 2019). En consecuencia, se forman, de manera permanente o esporádica, condiciones ambientales de tipo palustre (pantanos), que impiden la infiltración efectiva de la precipitación y permiten la permanencia del agua en la superficie del suelo propiciando la inundación.

Como solución para mitigar los riesgos por inundación, se plantea diseñar un parque inundable basado en las pautas establecidas por los SuDS (Valls y col., 2008), adaptado a las condiciones climáticas tropicales, para uso recreacional, almacenamiento de agua y a la vez, garantizar seguridad a las poblaciones aledañas a las zonas de riesgo. Esta propuesta de estudio considera a un SuDS, como sistema vertebrado compuesto por elementos integrantes de la infraestructura hidráulica urbana, preferiblemente vegetados y destinados a retener, transportar y almacenar agua de lluvia. Se enfoca principalmente en la idea de reducir la cantidad de escorrentía, disminuir la velocidad del agua de lluvia para permitir la infiltración y filtración, con sistemas permeables y proveer tratamientos al agua de lluvia antes de su descarga a estructuras de almacenamiento temporal como humedales, parques inundables, lagunas o ríos, entre otros (Charlesworth 2003).

Millán (2014), señala que el objetivo de los SuDS, es la gestión sostenible del agua pluvial urbana, con especial énfasis en el proceso de selección e implantación de las llamadas infraestructuras verdes (Valdés y col., 2016), incluyendo los cálculos hidrológicos e hidráulicos propios del diseño de una red de drenaje: el análisis pluviométrico, el estudio de las cuencas urbanas y la determinación de caudales. Además, en el proceso de diseño se tienen en cuenta otros factores muy importantes, relacionados

con el urbanismo, el paisajismo o la ecología (Angeoletto y Col 2015).

2 Marco Teórico

2.1 Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SuDS)

Los sistemas de drenaje sostenible son estructuras de innovación ingenieril que logran aunar la protección de los urbanismos y sus ciudadanos, con la proyección de parques o estructuras verdes que incentivan el ocio y la recreación (Millán 2014). Sin embargo, Valls y col (2008) proponen dar otro enfoque al tratamiento del agua en la ciudad, aplicando los nuevos medios y técnicas ingenieriles que plantean los SuDS. Por otra parte, Carrasco (2009) explica cómo se ha enfocado el estudio y la gestión de las aguas pluviales urbanas, limitándose principalmente al diseño e implementación de obras capaces de mejorar el sistema de drenaje natural que ha sido alterado por el avance de la impermeabilización de los suelos.

A nivel internacional, se reportan experiencias de mitigación a la problemática de inundaciones, a través de diseños de drenaje urbano utilizando la técnica de los SuDS en Suecia (Charlesworth 2003), país pionero en dicha técnica de drenaje y por más de 20 años han desarrollado satisfactoriamente variedad de técnicas de SuDS, en ciudades tales como Malmoe y Halmstad. Castro y col (2005) señalan que los Estados Unidos han aplicado la metodología de los SuDS, en las normativas de tratamiento de drenajes en algunos estados como Florida, Maryland y Wisconsin.

En Chile, el plan maestro de evacuación y drenaje de aguas lluvias del Gran Santiago (CADE 2001), propuso medidas de intercepción de las escorrentías mediante restricciones de uso de suelo y forestación, para la mitigación de los caudales generados por precipitaciones extraordinarias y medidas de retardo de las aguas a través de obras de almacenamiento. Millán (2014) presenta a la dirección de Obras Públicas del Ministerio de Obras Públicas de Santiago de Chile, la realización de “El Parque Inundable La Aguada”, el cual integra obras hidráulicas y espacios públicos. Este proyecto posee el objetivo de controlar los desbordes del Zanjón de La Aguada, principal cauce recolector de aguas lluvias de la ciudad de Santiago de Chile, evitando la inundación de la vialidad aledaña. Además, busca generar una renovación urbana y entregar un espacio recreacional y de esparcimiento para la zona centro-sur de Santiago de Chile.

De igual modo en Europa, específicamente en España, también se han proyectado estructuras para el control de inundaciones, como es el caso del parque urbano inundable “La Marjal” en Alicante, Comunidad Valen-

ciana, el cual fue diseñado topográficamente para cumplir la función como depósito que retuviera temporalmente el volumen de agua que se puede acumular en la parte baja de la avenida Pintor Pérez Gil, ante un episodio de lluvias de fuerte intensidad. Esta infraestructura es única, pues junto a su función mitigar inundaciones, es capaz de almacenar 45000,00m³ de agua, además que, integra un espacio verde de esparcimiento que destaca por su sostenibilidad medioambiental.

Greenway (2015) estudia el caso de la construcción de dos humedales artificiales ubicados en la ciudad de Brisbane (Australia), que almacenan el agua de lluvia a través de canales de drenaje hechos de concreto. El autor describe los humedales como obras ingenieriles ecológicas ubicadas en el ambiente urbano, que proporcionan servicios al ecosistema y permiten la mitigación de inundaciones por lluvias torrenciales en la zona.

Finalmente, en Venezuela se han desarrollado diversos estudios y proyectos hidráulicos para la mitigación de inundaciones y la captación de aguas de lluvia. Las primeras estructuras hidráulicas para la recolección de agua de lluvia y control de drenajes se remontan al año 1874 en la Isla de Margarita, estado Nueva Esparta, cuando se ordenó al ingeniero Miguel Caballero construir cisternas para almacenar aguas pluviales (Grases y col., 1961). Del mismo modo, MOP (1967) de Venezuela, presentó el proyecto denominado “Control de aguas y recuperación de tierras en el Estado Apure”, que según Torres (2003), explica que el nacimiento de esta estructura hidráulica fue como consecuencia de la inundación acaecida en el año 1967 en el Estado Apure. Dicha estructura posee el objetivo de almacenar grandes volúmenes de agua en el Alto Apure y consecuentemente disminuir los volúmenes hídricos del Bajo Apure. Esta estructura conocida como los “Módulos de Apure” posee un concepto similar a la metodología de los sistemas de drenajes sostenibles, pero aplicada a áreas de gran extensión. Dicha estructura aporta un precedente en Venezuela del uso de drenajes sostenibles, teniendo como objetivos ayudar a prevenir posibles inundaciones a diferentes poblaciones ubicadas aguas abajo, preservar ecosistemas y ayudar al desarrollo económico y social de la zona.

2.2 Eventos por inundación en el municipio Maneiro, estado Nueva Esparta

El municipio Maneiro se encuentra ubicado en el este del estado Nueva Esparta, posee una población aproximada de 66715 Hab (INE 2021) y su capital es Pampatar (Figura 1). El Plan Urbano de Desarrollo Local del municipio Maneiro (Alcaldía de Maneiro 2015), señala inundaciones por lluvias torrenciales, principalmente en

los meses de noviembre y diciembre, que vulneran la calidad de vida de los habitantes y afecta a la infraestructura urbana. El sistema de drenaje pluvial urbano del municipio permite deducir que los primeros pobladores del municipio se asentaron, estratégicamente, sobre las llanuras costera, específicamente en Pampatar - Los Robles, respetando los cursos de agua naturales que desembocaban en Playa Moreno y Las Salinas.

2.3 Eventos por inundación en el municipio Maneiro, estado Nueva Esparta

El municipio Maneiro se encuentra ubicado en el este del estado Nueva Esparta, posee una población aproximada de 66715 Hab (INE 2021) y su capital es Pampatar (Figura 1). El Plan Urbano de Desarrollo Local del municipio Maneiro (Alcaldía de Maneiro, 2015), señala inundaciones por lluvias torrenciales, principalmente en los meses de noviembre y diciembre, que vulneran la calidad de vida de los habitantes y afecta a la infraestructura urbana. El sistema de drenaje pluvial urbano del municipio permite deducir que los primeros pobladores del municipio se asentaron, estratégicamente, sobre las llanuras costera, específicamente en Pampatar - Los Robles, respetando los cursos de agua naturales que desembocaban en Playa Moreno y Las Salinas.



Fig. 1. Localización del municipio Maneiro, estado Nueva Esparta (ESRI, 2020).

Con el crecimiento poblacional, el desarrollo urbano avanzó hacia el resto de las llanuras costeras y más recientemente, hacia los terrenos colinados. Se presume que la poca pluviosidad en la isla permitió que los pobladores, construyeran en áreas no apropiadas, ya reservadas, por la naturaleza, para el curso de las aguas. Este rápido crecimiento del municipio, aunado a la falta control y planificación apropiada, dio origen a modificaciones en los cursos naturales, así como embaulamientos y desvíos de los torrentes, sin tomar en cuenta un estudio global y detallado para los mismos. Es así, como la intervención antropogénica es evidente a lo largo del recorrido de las diferentes descargas de aguas y sus desembocaduras.

FUNVISIS (2017) indica registros de inundaciones en el municipio Maneiro debido a fuertes lluvias, entre los cuales destacan las inundaciones de los años 1942, 2010 y 2016, describiendo afectaciones a viviendas, vialidades y colapso de los sistemas de drenaje en los sectores La Caranta, La Salina, Guacuco y Puerto Moreno. Según López y Col (2014), identificaron patrones climáticos temporales en la Isla de Margarita, en periodos de tiempo entre 1966 y 2012, de la precipitación y evaporación acumulada, obteniendo una marcada estacionalidad, siendo los meses de enero a junio de sequía, caracterizada por bajas precipitaciones (95 mm/período) y de junio a diciembre lluvias moderadas (264 mm/período). Durante el año 2011, y en forma atípica ocurrieron las mayores precipitaciones de los 46 años de estudio (979 mm/año, Guerrero - Camargo y Col 2012).

Debido a dichos estudios y reportes, es preciso realizar un análisis exhaustivo para determinar la posible presencia de inundaciones y su magnitud, causada por lluvias extraordinarias, y plantear un sistema hidráulico capaz de mitigar las inundaciones en el municipio Maneiro para aportar seguridad y bienestar a sus ciudadanos.

Con el crecimiento poblacional, el desarrollo urbano avanzó hacia el resto de las llanuras costeras y más recientemente, hacia los terrenos colinados. Se presume que la poca pluviosidad en la isla permitió que los pobladores, construyeran en áreas no apropiadas, ya reservadas, por la naturaleza, para el curso de las aguas. Este rápido crecimiento del municipio, aunado a la falta control y planificación apropiada, dio origen a modificaciones en los cursos naturales, así como embalsamientos y desvíos de los torrentes, sin tomar en cuenta un estudio global y detallado para los mismos. Es así, como la intervención antropogénica es evidente a lo largo del recorrido de las diferentes descargas de aguas y sus desembocaduras.

FUNVISIS (2017) indica registros de inundaciones en el municipio Maneiro debido a fuertes lluvias, entre los cuales destacan las inundaciones de los años 1942, 2010 y 2016, describiendo afectaciones a viviendas, vialidades y colapso de los sistemas de drenaje en los sectores La Caranta, La Salina, Guacuco y Puerto Moreno. Según López y col. (2014), identificaron patrones climáticos temporales en la Isla de Margarita, en periodos de tiempo entre 1966 y 2012, de la precipitación y evaporación acumulada, obteniendo una marcada estacionalidad, siendo los meses de enero a junio de sequía, caracterizada por bajas precipitaciones (95 mm/período) y de junio a diciembre lluvias moderadas (264 mm/período). Durante el año 2011, y en forma atípica ocurrieron las mayores precipitaciones de los 46 años de estudio (979 mm/año, Guerrero - Camargo y Col 2012).

Debido a dichos estudios y reportes, es preciso realizar un análisis exhaustivo para determinar la posible presencia de inundaciones y su magnitud, causada por lluvias extraordinarias, y plantear un sistema hidráulico capaz de mitigar las inundaciones en el municipio Maneiro para aportar seguridad y bienestar a sus ciudadanos.

3 Procedimiento Experimental

La propuesta del Parque Urbano de Inundación Sostenible se basa en el concepto de los SuDS, y se sustenta en la evaluación de aspectos geológicos, topográficos, hidrológicos e hidrogeomorfológicos, para establecer los correctivos hidráulicos necesarios para el diseño y la ubicación óptima del parque inundable y otros sistemas urbanos de drenaje asociados. La modificación del balance hídrico en esta zona mediante correctivos hidráulicos busca controlar las zonas de inundación potencial, pendiente abajo, para mejorar la circulación de aguas de lluvia, evaluando un diseño hidráulico óptimo para el control de los afluentes pluviales.

Para la determinación de los caudales máximos y tiempos de concentración (T_c), se utilizó el método del Servicio de Conservación de Suelos – SCS (Francisco y Col 2010), ya que el método racional tiene limitantes por suponer una lluvia uniforme, por tal motivo, se reconocieron dos sitios de muestreo para el cálculo de los caudales y tiempos de concentraciones para cada punto de observación. Para el cálculo el tiempo de concentración para la microcuenca evaluada, se aplicó la ecuación de Kirpich (1940) y las propuestas por California Highways and Public Works (1942) y Carder y Col (1970) para cuencas hidrográficas pequeñas en zonas semi-montañasas

$$T_c = 0.0195 * L^{1.155} * H^{-0.385} \quad (1)$$

Mientras que, el cálculo de la precipitación total, se utilizó la ecuación: $P_t = I * T_c$. El valor de la intensidad se obtuvo de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia proporcionadas por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (2012), en la estación La Asunción, serial 0897 del estado Nueva Esparta.

Para el cálculo del número de curva (CN II), precipitación efectiva (P_e) e infiltración potencial se realizaron en las microcuencas Los Cerritos y los Robles. En cuanto al número de curva (CN), es un valor empírico adimensional variable entre 0 -100, que depende de la escurrentía, cobertura vegetal y condición de humedad del lugar en cuestión. Mientras, mayor sea el valor CN, mayor será el escurrimiento y viceversa, este procedimiento es necesario para determinar la infiltración po-

tencial del suelo y la precipitación efectiva (Ramírez 1999).

Con base en los tipos geomecánicos de suelos, se establece una clasificación por tipo a cada suelo, considerando la permeabilidad e infiltración que poseen (Ramírez 1999), los suelos arenosos se pueden clasificar como tipo B (permeable, regularmente drenable) y los suelos arcillosos como tipo C (poco permeables), las microcuencas en estudio se consideran de tipo B. Con el propósito de determinar el valor CN se requiere aplicar la siguiente ecuación;

$$CN(II) = \%Area1 * CN1 + \%Area2 * CN2 \dots \%Área_n * CN_n \quad (2)$$

El valor de infiltración potencial se obtiene de la ecuación de Ferrer y col. (1995); $S = (25400/CN(II)) - 254$ y para el cálculo de la precipitación efectiva (Pe) se empleó el criterio SCS, que determina una pérdida por infiltración de $0.2 * S$, considerando la ecuación de Monsalve (1999), siendo Pt: precipitación total anual en mm, donde;

$$Pe = (Pt - 0.2 * S) / (Pt + 0.8 * S) \quad (3)$$

Mientras que, para la determinación del uso de la tierra en las localidades de estudio, se realiza una fotointerpretación de los usos actuales en imágenes satelitales de la localidad y se establece una relación, entre el área con los usos establecidos y el área total de la microcuenca hidrográfica que será objeto de la propuesta de construcción del parque inundable, considerando la evaluación de potencial de saturación del suelo empleando el programa libre QGIS – GRASS y el programa HEC-RAS®, para cálculo de caudales.

4 Discusión y Resultados

4.1 Geología y geomorfología

En el territorio del municipio Maneiro afloran dos unidades de rocosas; La Formación Pampatar (Paleoceno-Eoceno) de mayor extensión areal, está compuesta por secuencias sedimentarias tipo turbiditas, donde alternan estratos de conglomerados, areniscas conglomeráticas, areniscas cuarzosas, lutitas arenosas y limolitas. Estas rocas conforman las colinas y lomas de gran parte de la Parroquia Maneiro, especialmente los sistemas de colinas y lomas que rodean a Pampatar, como son; La Caranta, Gasparico, El Vigía, entre otros. Mientras que, hacia la Parroquia Los Robles y en los límites con los municipios Arismendi, García y Mariño, se reconocen rocas metamórficas de tipos gneises, esquistos y cuarcitas de la Asociación Los Robles (Cretácico), que forma

parte del substrato rocoso de este sector de Paraguachoa (Figura 2).

La zona central y noroeste del municipio está disectada por fallas geológicas locales que recorren el territorio del municipio en dirección NW-NE a E-W. Hacia la parte central – sur del territorio de Maneiro, específicamente en la zona donde se emplaza la ciudad de Pampatar, se reconoce una estructura geológica tipo sinclinal, con eje en dirección NW-SE, que producen depocentro de sedimentos y acumulaciones de aguas subterráneas y superficiales sobre este corredor geológico. Los resultados de los sondeos eléctricos verticales permiten reconocer espesores de sedimentos de hasta 50m y profundidades variables de nivel freáticos (Guerrero y Col 2012).

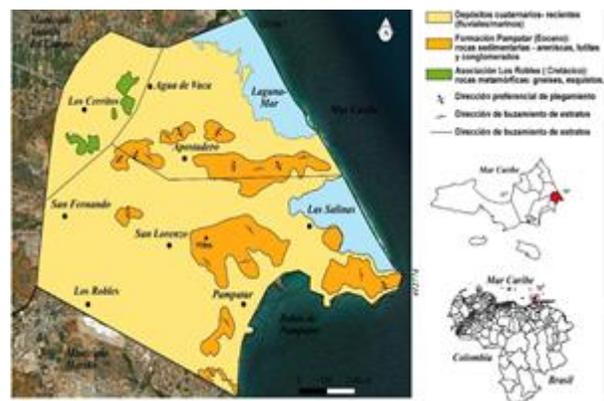


Fig. 2. Unidades geológicas del municipio Maneiro (Guerrero-Camargo y col., 2012).

4.2 Características hidroclimatológicas

Las condiciones climáticas del municipio Maneiro (Figura 3), presenta un comportamiento de precipitación bimodal con máximas en los meses de noviembre - enero y moda secundaria en los meses de julio-agosto, siendo el mes con máxima de precipitación diciembre y un periodo seco entre los meses de marzo – mayo y el mes de septiembre.

El comportamiento del coeficiente de humedad determinar máximos en los meses de diciembre y enero, los cuales representan valores que superan entre un 20% a 120% la capacidad de reserva del suelo (nivel freático), indica posibles fenómenos de avulsión e inundación.



Fig. 3. Climograma de la estación Maneiro, serial 0897.

Los meses de diciembre y enero representan meses de excedente de agua efectiva en los sistemas hídricos del municipio Maneiro, los cuales aporta un volumen de sedimentos en tránsito, hacia los canales principales de las microcuencas de Los Robles y Los Cerritos (Figura 4), se estima que en mes de enero se provocan avulsiones, debido a un incremento ligero del 20% de la capacidad de reserva del suelo. Mientras que, en el mes de diciembre el excedente de agua supera 120% de la capacidad de reserva del suelo, por lo tanto, las zonas de subcuenca medias y bajas son sometidas a eventuales procesos de inundaciones (Figura 3).

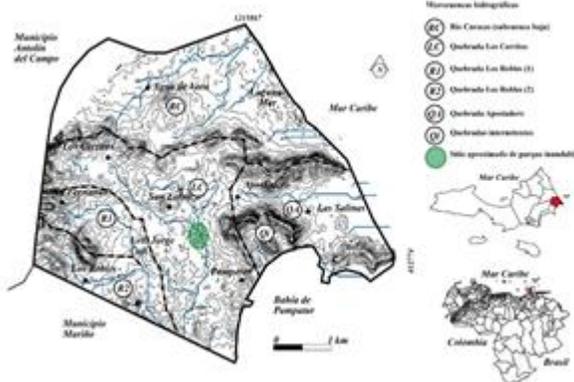


Fig. 4. Microcuencas hidrográficas principales del municipio Maneiro, localización aproximada del parque inundable sostenible.

Los datos de caudales reportados para las microcuencas en estudio (Tabla 1), reflejan caudales de microcuencas de pequeño tamaño (100has), con periodos de respuesta relativamente corta y tiempos de concentración relativamente altos, los cuales serán calculados más adelante.

Tabla 1. Caudales estimados para las principales microcuencas hidrográficas del municipio Maneiro (Alcaldía de Maneiro, 2015).

Quebradas	Gasto Prom. (l/s)	Gasto min. (l/s)	Gasto máx. (l/s)	Prof. min. (m)	Prof. máx. (m)	Gasto (l/s) En.	Gasto (l/s) Dic.
Los Robles	2.0	1.5	2.0	0.1	0.8	2.4	4.4
Los Cerritos	2.0	1.7	2.5	0.2	0.9	2.4	4.4

4.3 Morfometría de la Microcuenca hidrográfica de Los Cerritos

Debido a las características de potencial amenaza y vulnerabilidad a la población, así como las características hidrológicas, se consideró evaluar las microcuencas de Los Cerritos y Los Robles, abarca a las poblaciones de Los Cerritos, Jorge Coll, Playa Moreno y Los Robles, entre otras. Tiene una geometría de tipo dendrítico a subdendrítico en su parte alta, en las partes bajas la quebrada se encuentra embaulada parcialmente (Figura 5). La relación de forma es ensanchada ($R_f = 0.70$), relación de bifurcación 2.75 (Bien drenada con potencial de crecidas violentas) y orden de jerarquía $n = 3$ (Tabla 2).

Tabla 2. Factor de forma y relación de bifurcación de las microcuencas

Microcuencas hidrográficas	Los Cerritos (LC)	Los Robles (R1)	Los Robles (R2)
Área (km ²)	6,55	2,53	8,11
L (Km)	4,12	2,79	5,64
Rf (adim)	0,39	0,33	0,25
Forma obtenida	Ni alargada, ni ensanchada	Ligeramente alargada	Alargada
Número de orden (N)	3	3	3
Número de drenes (Nu)	10	9	24
Relación de bifurcación	2,75	2,50	4,38
Condición de drenaje	Bien drenadas con posibles crecidas violentas		
Densidad de drenaje (Km/Km ²)	1,74	2,73	2,32
Categoría de drenaje	Densidad de drenaje moderado	Densidad de drenaje alto	Densidad de drenaje alto
Pendiente media (%)	6,4	8,5	5,5
Tipo de terreno	Accidentado medio		
Pendiente de la corriente (cauce) principal (%)	2,5	4,0	1,8
Tiempo de concentración (h)	1,56	0,79	1,91

El cambio de patrón de drenaje se debe a una variación local de la litología entre rocas metamórficas (dominan la parte alta de la microcuenca) a sedimentario,

en la parte media y baja. La geometría del colector principal tiene una longitud aproximada de 7,26 Km, con pendientes variables entre 6% a 4%o. Esta microcuenca esta subdividida en (Figura 5).

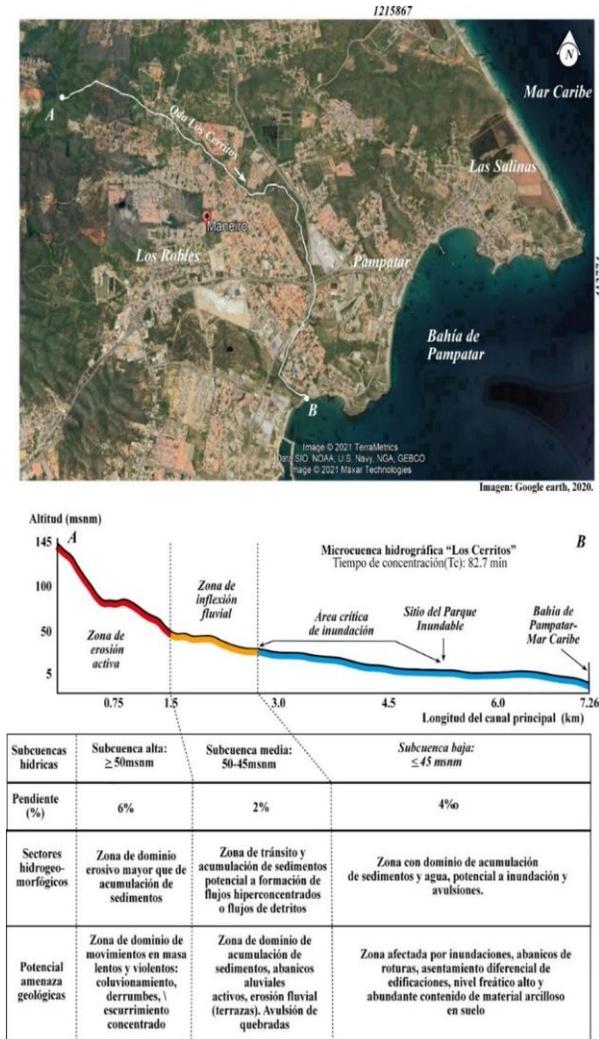


Fig. 5. Análisis morfométrico y de los controles hidrogeomorfológicos de la microcuenca Los Cerritos

Subcuenca alta localizada entre las cotas 50 – 145 msnm, con una pendiente promedio de 6%, donde existe un dominio erosivo, eventual arrastre de sedimentos tipo gravas – arenas de unidades geológicas metamórficas, el proceso hidrogeomorfológico más abundante está relacionado con erosión intensa vertical (carcavamiento), coluvionamiento y eventuales derrumbes en zonas con pendientes (30° y mayores). El colector principal mantiene una geometría recta y encajada en roca.

Las subcuenca media y baja, se encuentra la zona de inflexión y el punto crítico se ubica en la cota 50 msnm, con pendiente de 2%, estos sectores pueden estar

sujeito a procesos de avulsión y/o inundación por precipitaciones extremas (meses de enero – diciembre), debido a una geometría de canal de tipo trenzado de arena a meandriforme de baja sinuosidad (parcialmente embaulado-canalizado).

4.4 Amenazas hidrogeomorfológicas

La amenaza hidrogeomorfológico sobre el territorio del municipio Maneiro está relacionado con la integración de los parámetros morfométricos de las cuencas hidrográficas, las características dominantes de la geomecánica de los suelos, la profundidad del nivel freático y la precipitación sobre la cuenca (Figura 6, Tabla 3). La integración de estas variables permite concluir de manera general, los siguientes aspectos;

La microcuenca Los Cerritos se caracteriza de manera general en la subcuenca alta y media por tener altitudes > 45 msnm, con densidad de drenaje moderado (1,74 Km/Km²), posee un nivel freático ≤ 6 m de profundidad, con suelos mecánicamente muy inestables de tipo CL y CH (limos y arcillas de baja plasticidad), en estas subcuencas se localizan los sectores más populosos del municipio Maneiro, como son Los Cerritos, Los Chacos y las urbanizaciones Jorge Coll y Maneiro. Mientras que, hacia la subcuenca baja las condiciones de suelos son esencialmente arcillosos. Creando potencial de amenaza por asentamiento de estructuras y eventual licuación de suelos, con profundidad de nivel freático aproximado de 9m.

Tabla 3. Características morfométricas – nivel freático de la microcuenca Los Cerritos. Fuente: Alcaldía de Maneiro, 2015

Micro Ccas	Sub Ccas	Cotas (msnm)	Pend (%)	Long. de canal (km)	Suelos Domin.	NF (m)	Sectores urbanos
Los Cerritos	Alta	>50	6	1,5	SW-SC-SM-ML	13	Los Cerritos, Los Chacos
	Media	50-45	2	1,3	CL-CH	6	Jorge Coll, Urb. Maneiro
	Baja	<45	0,004	4,48	MH-ML-CL-CH	9	Playa El Ángel
Los Robles	Alta	>60	18,10	0,3	SW-SC-SM-CL	0	Los Robles
	Media	60-40	2	1,9	SM-ML-CL-CH	12	La Auyama, Cdad. Sigo
	Baja	<40	1,30	3,34	MH-CL-CH-OL-PT	1	Playa Moreno

5 Propuesta parque inundable geosostenible

La zona donde se proyecta ubicar la propuesta del parque inundable es en el terreno ubicado en la intersección de las Avenidas Jóvito Villalba y Luisa Cáceres de Arismendi en el municipio Maneiro (Figuras 4 y 6). Dicho terreno, es propuesto como una zona de uso institucional - recreativo en el Plan de Desarrollo Urbano Local del municipio Maneiro (Alcaldía de Maneiro 2015), con graves problemas de inundación.

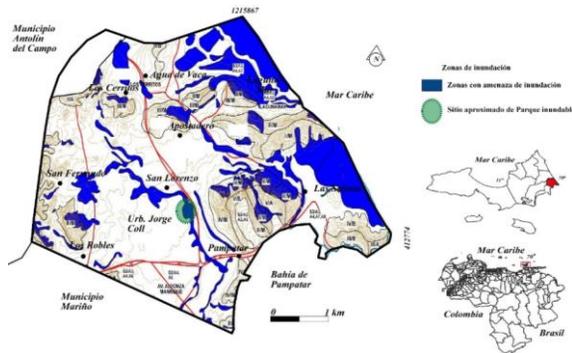


Fig. 6. Zona con amenazas por inundación dominantes en el municipio Maneiro (Guerrero-Camargo y Col 2012).

5.1 Estimación del caudal máximo y tiempos de concentración

Para obras de drenaje urbano, establece rangos entre 25 y 100 años de periodo de retorno, por lo tanto, la precipitación total se determinó para 25, 50 y 100 años. Mientras que, el tiempo de concentración se asume igual a la duración de la lluvia, puesto que, para esta duración, todas las ramas de las microcuencas están aportando escorrentía y, por lo tanto, se presentan caudales máximos. En base a los resultados se estima que la precipitación total (mm) y el tiempo de concentración, es la siguiente (Figura 7, Tabla 4).

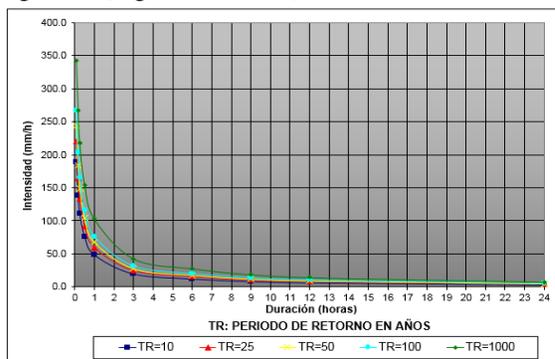


Fig. 7. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia estación La Asunción, Serial 0897. (MINEA 2012).

Tabla 4. Datos de tiempos de concentración (h), intensidad (mm/h) y precipitación total (mm) para 25,50 y 100 años.

Micro-Ccas	Tiempo Concent. (h)	Intensidad (mm/h)			Precipitación Total (mm)		
		25 años	50 años	100 años	25 años	50 años	100 años
Los Cerritos (LC)	1,56	45	51	60	70,4	79,8	93,9
Los Robles (R1)	0,79	64	73	81	50,7	57,9	64,2
Los Robles (R2)	1,91	40	45	50	76,4	86,0	95,5

5.2 Determinación del número de curva (CN) e infiltración potencial

Se establece para obras de drenaje urbano en áreas menores a 1000 ha, así como también para drenaje vial y aliviadero de presas, los periodos de retorno entran en un rango de 25 a 50 años (MOP 1967). Al ser estos casos los presentes en la zona de estudio, se decidió trabajar con caudales para periodos de retorno (Tr) de 25 años.

Obtenido el valor de CN(II), se define una condición de humedad según Chow (1995) y Monsalve (1999) de tipo humedad antecedente de grado II, en base a los usos de la tierra dominantes y alcanzo el valor de CN (II: 74. Mientras que, la infiltración potencial obtenida es de 89,4 mm, considerando que la cantidad máxima de agua puede ser retenida en superficie, el valor de infiltración potencial (mm) es inversamente proporcional al valor de CN (Tabla 5).

Tabla 5. Valores de CN (II) e infiltración potencial (mm)

Microcuencas hidrográficas	CN (II)	Infiltración potencial (mm)
Los Cerritos (LC)	74	89,4
Los Robles (R1)	72	101,0
Los Robles (R2)	70	107,2

Finalmente, se obtiene el valor de precipitación efectiva a través del criterio de la SCS que determina una perdida por infiltración de $0.2 \cdot S$, considerando la ecuación de Monsalve (1999), donde:

$$Pe = (Pt - 0.2 \cdot S) / (Pt + 0.8 \cdot S) \tag{4}$$

Por tal motivo, el caudal máximo o pico (Q_p) queda definido como; $Q_p (l/s) = (1.91 \cdot Pe \cdot \text{Área}) / T_c$ (Tabla 6).

Tabla 6. Cálculo estimado de precipitación efectiva (mm) y caudal máximo (l/s).

Microcuencas hidrográficas	Precipitación efectiva (mm)			Caudal (l/s)		
	25 años	50 años	100 años	25 años	50 años	100 años
Los Cerritos (LC)	19,4	25,3	34,9	15531	20240	27897
Los Robles (1)	7,1	10,2	13,4	4316	6230	8132
Los Robles (2)	18,6	24,3	30,3	15102	19648	24530

5.3 Determinación de los hidrogramas triangular y curvilíneo

Para representar de forma gráfica los caudales máximos, se procedió a construir hidrogramas triangulares para la suma de los caudales máximos para $T_r = 25$ años, se escogieron las estaciones Los Cerritos y Los Robles (CR2), por ser los máximos y representativos. Además, la selección de estos caudales estuvo directamente vinculada con la solución hidráulica a ejecutar para cada zona, en favor de poder realizar una comparación del impacto de las obras de mitigación a inundación, se tiene que:

$$Q_{\text{máx}} (\text{LC}) + Q_{\text{máx}} (\text{R2}) = 19,8 \text{ m}^3/\text{s} \quad (5)$$

En la ejecución de obras hidráulicas, se debe garantizar un caudal ecológico equivalente al 10% del caudal máximo, por lo tanto, el caudal total será:

$$Q_{\text{total}} = 19,8 \text{ m}^3/\text{s} * 0,90 = 17,8 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Tiempo de concentración (Tc)} = T_c (\text{LC}) + T_c (\text{R2}) = 1,56\text{h} + 0,79\text{h} = 2,35\text{h}$$

Por lo tanto, el tiempo pico (T_p), la base (B) y el tiempo base (T_b), necesarios para construir el hidrograma triangular:

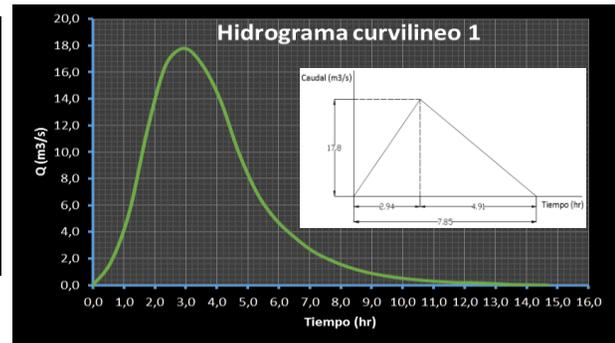
$$T_p = \sqrt{2,35 + 0,6 * 2,35} = 2,94\text{h}$$

$$B = 1,67 * 2,94\text{h} = 4,91\text{h}$$

$$b = 2,67 * 2,94\text{h} = 7,85\text{h}$$

Mientras que en el diagrama curvilíneo (Figura 8), se aprecia que el caudal máximo se presenta aproximadamente a las 3 horas desde el inicio de la precipitación, con una duración total de casi 15 horas. El área bajo la curva representa el volumen total de caudal producido por la tormenta. La pendiente pronunciada de la primera parte del hidrograma demuestra que el tipo de precipitación presentada en la zona es brusco en forma de tormenta, pudiendo ocasionar el colapso de las redes de drenaje y por ende, inundaciones a pesar de que la for-

ma de las microcuencas sea ligeramente alargada.

**Fig. 8.** Gráficas del hidrograma triangular y curvilíneo para el diseño del parque inundable geo sostenible

6 Predimensionamiento de soluciones hidráulicas del parque inundable.

La propuesta plantea una solución hidráulica innovadora para el control y mitigación de inundaciones, y que adicionalmente en épocas de sequía, permita un espacio de recreación para los residentes de la comunidad. A su vez, estas estructuras deben ser amigables con el medio ambiente.

El caudal de diseño del parque inundable se determinó, sumando los caudales máximos determinados anteriormente, para un periodo de retorno (T_r) de 25 años, obteniéndose un caudal de diseño igual a $19,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Debido a la ausencia de información relacionada con la red de drenaje existente en el municipio, se decidió establecer una estructura de captación de escorrentía, asumiendo que pudiera captar en su totalidad los caudales máximos de cada cuenca menos el 10% del caudal máximo desviado para garantizar el caudal ecológico que representa un $17,8 \text{ m}^3/\text{s}$.

6.1 Dimensiones del parque inundable

Para poder establecer un área acorde al caudal de diseño, primero se estimó el volumen total de escorrentía que ingresa al parque, a través de la sumatoria de todos los caudales y dividiéndolo entre el intervalo de tiempo, tenemos que:

$$\text{Vol. total agua} = \Delta t * \sum Q = 0,6\text{h} * 3600\text{s} * 118,7 \text{ m}^3/\text{s} = 256392 \text{ m}^3$$

A partir de este valor, y considerando el área propuesta por la Alcaldía de Maneiro (2015) para el proyecto, se estableció un área total para el parque de 18.158 m^2 (Figura 9). Considerando las curvas de nivel y la pendiente necesaria para la descarga del parque, se estableció una profundidad total de $4,05 \text{ m}$. La inclina-

ción del talud se definió como 2,5:1, considerando 11,25 m en la horizontal + 1,75 m de caminera y 4,05 m verticales. El caudal máximo del hidrograma de entrada es de 17,8 m³/s y el caudal máximo de salida después del tránsito disminuye a 13,2 m³/s. Se puede afirmar que se reduce en un 26 % el pico y hay un retardo en el flujo.

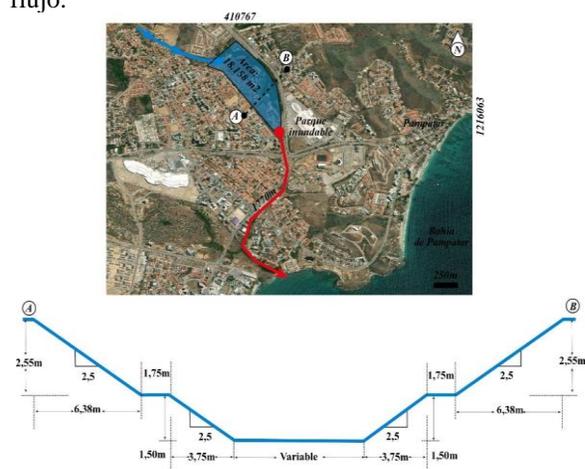


Fig. 9. Localidad y diseño de parque inundable del municipio Maneiro y perfil transversal del mismo.

Para realizar el tránsito, se asumió la salida mediante un conducto en cajón parcialmente lleno con entrada sumergida y escurrimiento supercrítico. El U.S. Bureau of Reclamation (1981), establece que para cumplir esto, la relación de altura de agua (H) y altura del cajón (D), debe ser mayor a 1,2 y adicionalmente, para garantizar que la sección no se inunde en su totalidad, se debe condicionar la entrada con aristas vivas entre 30° a 75° y la pendiente longitudinal debe ser mayor a la pendiente crítica. Los resultados obtenidos determinan un coeficiente de descarga con valor de 0,6 y la aceleración de la gravedad es de 9,81 m/s². La base del cajón es de 2 m y la altura de 1,3 m. Adicionalmente al diseño, se planteó una tubería auxiliar PEAD de 0,4 m de diámetro a 3,75 m de altura medida desde el piso con descarga hacia el drenaje actual del municipio, como sistema de seguridad. Después de hallar el caudal de salida (Q) para las diferentes alturas, se determinó el valor del término $2S/t + Q$. Como resultado, se puede realizar una gráfica comparativa entre el hidrograma de entrada y el hidrograma de salida (Figura 10).

El caudal máximo del hidrograma de entrada es de 17,8m³/s y el caudal máximo de salida después del tránsito disminuye a 13,2 m³/s. Se puede afirmar que se reduce en un 26 % el pico y hay un retardo en el flujo. La tubería auxiliar, permite descargar un caudal de 0,3m³/s hacia el drenaje actual de la zona, que sumado al 10% caudal máximo usado como ecológico (1,55m³/s), daría un total de 1,85 m³/s. Este valor representa un porcenta-

je del 20% de la capacidad del drenaje urbano ya existente, considerando que se diseñó para un caudal máximo con periodo de retorno de 10 años (9,2m³/s). El valor de caudal de salida de 13,2m³/s se puede corroborar empleando el Nomograma para cajones con control en la entrada expuesto en el Manual de drenaje (MOP 1967) entrando con un valor de HE/D igual 3,12 y un cajón de altura de 1,3m, se obtiene un caudal unitario Q/B = 6,6m³/s. Al despejar el valor de Q para un ancho de 2 m, se obtiene un valor de Q = 13,2m³/s, valor que se ajusta al valor máximo obtenido por la metodología aplicada.

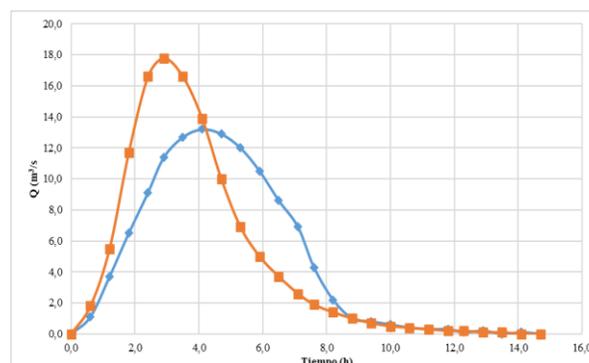


Fig. 10. Curvas comparativas de hidrograma de entrada (línea naranja) y salida (línea azul)

Considerando que el drenaje urbano actual de la zona es insuficiente, el cajón planteado se extendió hasta descargar al mar. La longitud de descarga al mar es de 1770,0m, y desnivel de 10,95m, lo que generó una pendiente de 0,6%. El material a utilizar es concreto armado de pared lisa, con coeficiente de Manning de 0,010. Esto con el fin de disminuir las pérdidas por fricción y favorecer el movimiento del flujo. Al aplicar la ecuación de Manning para los valores anteriores y la sección del cajón de 2 m de ancho por 1,3m de alto, se obtuvo que el conducto en cajón tiene una capacidad para transportar un caudal igual a 13,8m³/s, mayor que los 13,2m³/s producidos en el tránsito de avenidas, corroborando que la sección del cajón se mantendrá siempre parcialmente llena. Adicionalmente, estudiando el tránsito del canal en el programa HEC-RAS®, se determinó que la pendiente es mayor a la pendiente crítica y la altura de agua crítica es mayor a la altura normal, por lo tanto, el flujo es supercrítico y no se llenará la sección del cajón.

7 Conclusiones

Las características morfométricas y el tipo de suelo en general impermeable con niveles freáticos altos, condiciona una baja infiltración de la superficie, que asociada a la presencia de precipitaciones constantes y de

alta intensidad en los meses de diciembre-enero, contribuyen a la saturación del suelo y, en consecuencia, a la creación de escorrentía con posibilidad de inundaciones.

Los tiempos de concentración en las cuencas son breve, arrojando valores menores a 2h. Estos tiempos, influyen directamente sobre la estimación del caudal máximo, ya que, a menor tiempo de concentración, la intensidad apreciada en las curvas IDF aumenta, dando lugar a que la magnitud del caudal sea mayor.

El drenaje urbano existente en el municipio Maneiro, fue diseñado para precipitaciones con un periodo de retorno de 10 años y presenta serias deficiencias para canalizar la escorrentía de la zona de forma efectiva, generando constantes inundaciones. Por lo tanto, el predimensionamiento de las soluciones hidráulicas se realizó en base a un periodo de retorno de 25 años. Los caudales máximos estimados utilizando la metodología SCS, para un periodo de retorno de 25 años, alcanzan valores máximos de 15,5m³/s para las microcuencas Los Robles y Los Cerritos.

La comparación de los datos de caudales de entrada y salida del parque inundable, se aprecia el impacto positivo que podría tener la obra. La atenuación al realizar el tránsito fue del 26%, de 17,8 m³/s a 13,2 m³/s, sin embargo, como la salida del caudal es directa al mar, la efectividad del sistema es del 100% del caudal que recibe. Además, como el municipio sufre un grave problema de escasez de agua, el parque inundable propuesto en este trabajo puede ser adecuado para que la captación del caudal sirva como una fuente alternativa de abastecimiento de agua potable y de riego urbano.

El pre-diseño de este parque, además de su función hidráulica, deja abierta la posibilidad de plantear un espacio para desarrollar un trabajo arquitectónico, que brinde a los residentes un área amigable con el medio ambiente y útil para realizar actividades recreacionales, cumpliendo con el fundamento de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles (SuDS).

Referencias

- Alcaldía de Maneiro. (2015). Plan de Desarrollo Urbano Local 2012-2026. Pampatar, estado Nueva Esparta – Venezuela.
- Angeletto, F., Essy, C., Ruiz, J., Fonseca, F., Massulo, R., Maciel-Correa, J. (2015). Ecología Urbana: la Ciencia Interdisciplinaria del Planeta Ciudad. *Desenvolvimento em Questão*. 2015; 13 (32): 6-20. ISSN: 1678-4855. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75241745002>. Fecha de Consulta 2 de diciembre de 2021.
- CADE - Consultores en Ingeniería. (2001). Plan maestro de evacuación y drenaje de aguas lluvias del Gran Santiago. Chile. Dirección de Obras Hidráulicas. Disponible en: <http://www.sectra.gob.cl/biblioteca/detalle1.asp?mfn=894>. Consultado el 20 noviembre 2021
- California Highways and Public Works. (1942). California Culvert Practice (2da Ed.). Sacramento. Dept. of Public Works. USA.
- Carder D, Spencer G, Soil Conservation Service (1970). Soil Conservation Handbook. Department of Agriculture and Food, Western Australia: Perth.
- Carrasco, S. (2009). Análisis y propuesta de la gestión institucional de las aguas lluvia Urbanas del Gran Santiago. Tesis de maestría publicada. Universidad Católica de Chile, Santiago. Castro D, Rodríguez J, Rodríguez J, Ballester, F, 2005, Sistemas urbanos de drenaje sostenible (suds) *Interciencia*. INCI. 30(5). <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33910403>
- Charlesworth, S. (2003) A review of sustainable drainage systems (SuDS). *Geography Urbanas del Gran Santiago*. Trabajo de licenciatura, Universidad Católica de Chile, Santiago.
- Chow, T. (1995). Hidrología Aplicada. México: McGraw-Hill.
- ESRI – Imágenes satelitales (2021). Imágenes del estado nueva Esparta. Disponible en: <https://www.esri.com/es-es/home>.
- Ferrer, M., Rodríguez J., Estrela T. (1995). Generación automática del número de curva con sistemas de información geográfica. *Ingeniería del agua*, 2 (4), pp 43-58. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/revista?codigo=2011>.
- Francisco, N., Turrent, A., Flores, H., Martínez, M., Enríquez, J. (2010). Estimación del escurrimiento superficial con el método SCS-CN en el trópico subhúmedo de México. *Revista Terra Latinoamericana*, 28 (1). http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792010000100008. Fecha de consulta 20 noviembre 2021.
- Fundación Venezolana para investigaciones sismológicas – FUNVISIS. (2017). Inventarios de riesgos geológicos del estado Nueva Esparta, Venezuela.
- Grases, J., Gutiérrez, A., Salas, R. (1961). Historia de la Ingeniería estructural en Venezuela. Colegio de Ingenieros de Venezuela.
- Greenway, M. (2015). Stormwater wetlands for the enhancement of environmental ecosystem services: Case studies for two retrofit wetlands in Brisbane, Australia. *Journal of*

- Cleaner Production, 163 (10), pp. 10-16. https://www.researchgate.net/publication/288872796_Stormwater_wetlands_for_the_enhancement_of_environmental_ecosystem_services_Case_studies_for_two_retrofit_wetlands_in_Brisbane_Australia.
- Guerrero, O., Toro, R., Guerrero-Camargo O.A., (2019). Métodos geológicos no invasivos en la solución de problemas geotécnicos de estabilidad de taludes: Estudio de caso. *Respuestas*, 24(2), pp 56-64. <https://doi.org/10.22463/0122820X.1831>
- Guerrero-Camargo O., Cantos, G., Uzcátegui, A., Guerrero, O. (2012). Sectorización geomorfológica-geomecánica: base del plan de desarrollo urbano local del municipio Maneiro, Estado Nueva Esparta, Venezuela. *Geominas*, 40 (59), pp 59+. <https://issuu.com/geominas/docs/geominas59/28>
- Instituto nacional de estadística – INE. (2021). Proyecciones de población municipio Maneiro, estado Nueva Esparta. http://www.ine.gov.ve/index.php?option=com_content&view=category&id=98&Itemid. Consultado el 1 de diciembre de 2021.
- Kirpich, Z. (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds. *Civil Eng*, 10 (6), pp.362.
- López, F., Troccoli, L. (2014). Aproximación sobre la climatología de la isla de Margarita y su importancia en los procesos oceánicos. *Revista Saber*, 26 (4), pp 99-107. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_issueoc&pid=1315-016220140004&lng=es&nrm=iso
- Ramírez, M. (1999). Hidrología Aplicada. Trabajo de ascenso publicado. Universidad de los Andes, Mérida.
- Millán, M. (2014). Cauces urbanos y parques inundables. Ponencia presentada en el Ministerio de Obras Públicas. Chile.
- Ministerio de Obras Públicas. (1967). Manual de drenaje. Mérida: Oficina de publicaciones, Universidad de los Andes.
- Ministerios del poder popular ecosocialismo y agua – MINEA. Datos climatológicos. (2021). <http://www.minec.gob.ve/>
- Monsalve, G. (1999). Hidrología en la Ingeniería. Santafé de Bogotá D.C. (2da ed). Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Torres, R. (2003). Efectos en métodos de pastoreo sobre sabanas moduladas. *Zootecnia Trop*, 21(4), pp 45-448. <https://www.researchgate.net/journal/Zootecnia-Tropical-0798-7269>
- Valls, G. y Perales, S. (2008). Integración de las aguas pluviales en el paisaje urbano: un valor social a fomentar. 1er congreso nacional de urbanismo y ordenación del territorio. Simposio llevado a cabo en el Bilbao, España.
- U.S. Bureau of Reclamation (1981). Concrete manual. A water resources technical publication. US, Department of the interior water and power resources service. https://books.google.com.ec/books?id=66m0AAAIAAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.
- Valdés, P., Foulkes, M. (2016). La infraestructura verde y su papel en el desarrollo regional. Aplicación a los ejes recreativos y culturales de resistencia y su área metropolitana. Cuaderno urbano. Espacio, cultura, sociedad. Universidad Nacional del Nordeste. 20 (20). Pp 45-70. <https://www.redalyc.org/journal/3692/369246715003/html/> Consultado el 1 de diciembre de 2021.

Recibido: 13 de febrero de 2022

Aceptado: 31 de julio de 2022

Guerrero, Omar Antonio: Geógrafo. Profesor de la Universidad de Los Andes, Escuela de Ingeniería Geológica en el área de geomorfología y riesgos de cuencas hidrográficas. Postgrado y estudios doctorales en ciencias geológicas.

<https://orcid.org/0000-0002-8859-2906>

Guerrero – Camargo, Omar A.: Ingeniero Civil. Especialista en obras hidráulicas, ingeniero en proyectos de construcción y desarrollo en la empresa Habi, CA. – México.

Correo electrónico: omar.guerrero@habi.com.mx

<https://orcid.org/0000-0001-8377-1019>

Toro – Mora, Rosibeth: Ingeniera geóloga. Especialista en Gestión de Abastecimiento, recolección y tratamiento de agua (CIIAT-ULA) y doctorado en Ciencias Geológicas (Zaragoza-España). Profesora en el área de geología de campo y colaborador en Hidrogeología y Geofísica en la Escuela de Ingeniería geológica de la ULA-Mérida. *Correo electrónico:* rosibeth@ula.ve

<https://orcid.org/0000-0002-1252-3584>

Camargo – Mora, María: Geógrafa. Profesora de Urbanismo y Ordenamiento Territorial en la Universidad técnica Particular de Loja – Ecuador. Doctora en Ordenamiento territorial. *Correo electrónico:* mgcamargo@utpl.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-2984-5675>