

Determinación del peligro y la vulnerabilidad ante la ocurrencia de inundaciones por las intensas lluvias en las líneas férreas de la zona central del nudo ferroviario de La Habana, La Habana, Cuba

REVISTA **MAPPING**
Vol. 27, 191, 48-53
septiembre-octubre 2018
ISSN: 1131-9100

Determination of hazard and vulnerability to the occurrence of flooding by heavy rains on the railway lines of the central area of the Havana railway knot, Havana, Cuba

Ana María López Costa, Diego R. Ulloa López, Liu Ramírez Morales

Resumen

El transporte ferroviario en Cuba ha sufrido afectaciones como consecuencia de la ocurrencia de inundaciones por las intensas lluvias en las líneas férreas que, en numerosas ocasiones interrumpen su función, y causan pérdidas, por lo que se hace necesario contar con información que satisfaga la necesidad de predecir esta amenaza. La investigación determinó el análisis de la intensidad del peligro de inundación por las intensas lluvias para periodos de retorno entre 5 y 100 años en la NFH (Zona Central del Nudo Ferroviario de La Habana). A partir de estos resultados se apreciaron las líneas férreas susceptibles, las cuales fueron detectadas de manera visual en un levantamiento de campo analizando parámetros como la calidad, presencia de sistemas de drenaje y la necesidad de reparación media o ligera, así como de mantenimiento, además de las revisiones bibliográficas. Estos resultados fueron cartografiados, ponderando el valor en dependencia de lo detallado. La sumatoria de estos elementos estableció la tipificación de la vulnerabilidad de las vías férreas. El estudio facilita a las autoridades ferroviarias los conocimientos necesarios para realizar las acciones pertinentes ante cualquier emergencia, permitiendo la consolidación de estrategias para la realización de etapas de prevención, preparativa, de respuesta y recuperación.

Abstract

Rail transport in Cuba has suffered effects as a result of the occurrence of floods by heavy rains in the railroads, repeatedly disrupts its function and cause losses, so, it is necessary to count with information that satisfies the need to predict this threat. The investigation determined the intensity of flood hazard identification by intense rainfall for return periods of between 5 and 100 years in the area Central of the knot railway from Havana. Based on these results the susceptible railroads appreciated to this danger, which were detected visually in a rising field of analyzing parameters such as quality, presence of drainage systems and the need to repair medium or light, so maintenance, as well as literature reviews. These results were mapped, pondering the value depending on analyst. The sum of these elements established a characterization by types of the vulnerability of the railways. Research facilitates the knowledge necessary to carry out the relevant actions in any emergency, in addition to the consolidation of strategies for the implementation of prevention, preparative stages, railway authorities of response and recovery.

Palabras clave: **inundación, peligro, vulnerabilidad, intensas lluvias, líneas férreas.**

Keywords: **flooding, hazard, vulnerability, heavy rainfall, railway lines.**

Centro de Investigación y Manejo Ambiental del Transporte
ana.costa91@nauta.cu
Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas
diego@instec.cu
ECOT Habana
liu.ramirez@nauta.cu

Recepción 29/09/2018
Aprobación 10/10/2018

1. INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico es esencial para todos los seres vivos, y su dinámica se convierte en una fuerza importante que ofrece constantemente grandes beneficios, aunque existen momentos, y sitios en los cuales, al sobrepasar la capacidad de asimilación de la cantidad de agua acumulada en los espacios en determinado tiempo, o de los objetos que existen sobre estos, se pueden generar las inundaciones. Su ocurrencia propicia impactos adversos y pérdidas económicas, ambientales y sociales en las poblaciones e infraestructuras próximas. El origen de esta amenaza puede estar asociado a la incidencia de las lluvias, conllevando a la modelación, y continua transformación de la superficie terrestre, mientras que, su variación está en dependencia de la intensidad, duración y características físico-geográficas. Razón por la cual se considera necesario un acercamiento a esta situación con los estudios de PVR (Peligro, Vulnerabilidad y Riesgos). Dichos proyectos permiten zonificar los espacios susceptibles a la inundación vistos como peligros, y conocer la capacidad de adaptación o respuesta, visto como vulnerabilidad. Todos estos factores interrelacionados entre sí determinan lo que se denomina riesgo.

El siguiente artículo presenta como objetivo la identificación del peligro de inundación por las intensas lluvias, y el análisis de la susceptibilidad en las líneas férreas por la ocurrencia de este fenómeno visto como vulnerabilidad.

Las inundaciones por las intensas lluvias en la provincia de La Habana se han incrementado, llegando en la actualidad a constituir un peligro de gran magnitud en determinadas zonas. Estos procesos por lo general son acelerados, o maximizados por problemas de carácter antrópico, como son la no compatibilización entre el drenaje natural y la urbanización, la construcción de barreras, etc.

Las líneas férreas en la NFH han sufrido a través de los años afectaciones considerables, como consecuencia de la ocurrencia de las inundaciones por las intensas lluvias, que en numerosas ocasiones interrumpen su función y causan pérdidas materiales. A pesar de, la realización de disímiles proyectos por diferentes entidades ya sea nacionales como internacionales analizando de una u otra forma los aspectos ambientales para la solución de esta amenaza, aún no se ha correlacionado los espacios susceptibles de inundación presentes en la zona, con las características estructurales, no estructurales y económicas de las vías férreas, visto como vulnerabilidad.

La utilización de SIG (Sistemas de Información Geográfica) para la identificación de las zonas susceptibles a ser inundadas brinda la posibilidad de determinar cuáles son los espacios que presentan condiciones a ser anegados frente a las intensas lluvias para diferentes periodos de retorno, y posteriormente ser correlacionado con el análisis de la vul-

nerabilidad. La delimitación de esos constituye verdaderas herramientas de trabajo en manos de los decisores para la elaboración de los planes de ordenamiento ambiental y territorial en municipalidades, provincias y consejos de cuencas hidrográficas. Además, aportan información relevante a las empresas dedicadas al aseguramiento del transporte terrestre y ferroviario, sobre aquellos lugares hacia donde se deben acometer acciones para prevenir el deterioro, accidentes y otros elementos en la vía producto de esta amenaza.

El trabajo proporciona a las autoridades ferroviarias y ambientales el conocimiento de la intensidad del peligro de inundación por las intensas lluvias para periodos de retorno entre 5 y 100 años, y la vulnerabilidad que pueda presentar las líneas férreas para resistir dichas afectaciones. La información adecuada y actualizada permite realizar las acciones pertinentes ante cualquier emergencia.

2. MATERIAL Y MÉTODO

2.1. Determinación de la intensidad del peligro de inundación por las intensas lluvias

Para determinar los espacios potencialmente susceptibles con peligro de inundación fue empleada la metodología descrita en (García et al., 2017)⁽¹⁾, a la cual se le modificaron algunos de sus parámetros, con el objetivo de adaptarla a las condiciones de Cuba. Estos se identifican a través de técnicas y herramientas calculadas en el SIG denominado SAGA (*System for Automated Geoscientific Analyses*) versión 6.4.0, el cual constituye un Software libre. Para su ejecución se establecieron dos criterios fundamentales: geomorfológico e hidrológico, tomando como punto de partida el MDE (Modelo Digital de Elevación) corregido, debido a que el relieve constituye el máximo responsable de la distribución del agua en la superficie. Estos resultados son estandarizados para la obtención del ICH (Índice de Contraste Hidromorfométrico). Posteriormente, se construye el histograma para determinar si la distribución es normal, si esto sucede, se le aplica el método de clasificación de la desviación estándar y, así poder obtener los espacios potencialmente susceptibles con peligro de inundación en cuatro categorías.

Para que existan inundaciones, además de la susceptibilidad del terreno, debe estar presente el factor externo lluvias, denominado FD (Factor de disparo). Para su cálculo se tomó como base la metodología citada en (Agencia de Medio Ambiente, 2014)⁽²⁾, con algunas modificaciones debido a la extensión del área. Los datos tomados para el análisis constituyen las precipitaciones máximas mensuales registradas

⁽¹⁾ https://www.ripublication.com/ijaer17/ijaerv2n19_144.pdf

⁽²⁾ <http://dipecholac.net/docs/files/475-libro-metodologia-riesgo-ama.pdf>

Tabla 1. Características de los pluviómetros utilizados

Pluviómetros	Municipios	Coordenadas	
		Longitud (°)	Latitud (°)
No.10 CAI Martínez Prieto	Marianao	-82,4256	23,0545
No.15 Estación Meteorológica Santiago de Las Vegas	Boyeros	-82,389	22,9772
No.144 Casablanca	Regla	-82,3504	23,1491
No. 147 CAI Sergio González	Habana del Este	-82,1188	23,1310
No. 185 Guadalupe	Guanabacoa	-82,2230	23,0923

Fuente: (Instituto de Meteorología, 2005)

en cinco pluviómetros de la provincia de La Habana, para el periodo histórico de 1961-1991 (Instituto de Meteorología, 2005) (Tabla 1).

A los registros máximos mensuales de las lluvias se le calcula la media y la desviación estándar. La suma de estos valores es multiplicada por los coeficientes de los periodos de retorno (5, 10, 15, 20, 50 y 100 años), siendo posible obtener el FD para cada periodo. Posteriormente se determinan los mapas isoyéticos para cada periodo de recurrencia, a los cuales se les realiza una división en tres intervalos de precipitación, tomando un acumulado mínimo y uno máximo caído en el territorio, y a estos a su vez, se le asigna un valor peso.

Seguidamente, se combinan las capas de factores de susceptibilidad o espacio del peligro y el FD, que en este caso se corresponde con los mapas isoyéticos para la obtención de la intensidad del peligro.

2.2. Determinación de la vulnerabilidad de las líneas férreas

Una vez identificados los espacios susceptibles con peligro de inundación por las intensas lluvias se aprecia las líneas férreas situadas en estos, por lo que, a esas vías se le analiza la vulnerabilidad, debido a que constituyen las más débiles a la ocurrencia de ese fenómeno. La vulnerabilidad es multifactorial, y depende de la interacción de varios factores, siendo solo tomados para el siguiente estudio los estructurales, no estructurales y económicos.

El análisis de la vulnerabilidad fue adquirida a través de la defectación visual realizada por los autores en un levantamiento de campo por las líneas férreas del área de estudio, y por revisión bibliográfica. Además, este se realizó 24 horas después de la ocurrencia de lluvias en la provincia de La Habana. A partir de estos resultados se identificó, reconoció y reunió evidencias de la capacidad que presentan dichas infraestructuras a la ocurrencia de las inundaciones por las intensas lluvias. Posteriormente fueron cartografiados, y asignados un peso en dependencia del análisis de los factores.

La Ve (Vulnerabilidad estructural) analiza la capacidad resistiva de las líneas férreas a las fuerzas destructivas de las inundaciones. De los elementos de las vías solamente fueron detallados las traviesas, fijaciones, balasto y plataforma, así como la presencia de hierba y acumulación de agua. No fueron desarrollados otros componentes debido a que requieren de un inventario más profundo realizado por varios especialistas y con la utilización de instrumentos de medición.

Para la Vne (Vulnerabilidad no estructural) se consultó el trabajo de la (Agencia de Cooperación Internacional del Japón y Grupo de Trabajo del Estado para el saneamiento, conservación y desarrollo de la bahía de La Habana, 2004)⁽³⁾ con el objetivo de determinar la presencia de un sistema de drenaje o redes de alcantarillados cercanos a las líneas expuestas, los cuales permiten la evacuación de agua. Además, de la revisión de las bases cartográficas de las infraestructuras ferroviarias brindadas por el (Centro de Investigación y Manejo Ambiental del Transporte, 2014) para la identificación de la presencia de obras de fábrica en la plataforma.

El análisis de la Vecn (Vulnerabilidad económica) se basa en la determinación de los costos de los trabajos a ejecutar (reparación y mantenimiento) para el mejoramiento de la capacidad resistiva de las líneas férreas susceptibles. Existen tres tipos de reparación según (Cadenas & Martínez, Inédito): capital, media y ligera, las cuales varían en dependencia del tipo de afectación de la vía. De estos tipos, solo se estudia la ligera y media, debido a que no fue identificado ningún daño elevadamente grave que conlleve a la sustitución total de la superestructura (reparación capital).

Los trabajos de mantenimiento según (Cadenas & Martínez, Inédito) están referidos a las necesidades de prevenir el surgimiento de irregularidades geométricas o estructurales, o rehabilitar las cualidades de la vía pero en un nivel bajo.

Los costos de la reparación media y ligera, así como del mantenimiento fueron calculados según estudios de la UFC (Unión de Ferrocarriles de Cuba), estableciendo precios por kilómetro de línea férrea en mcup (miles de peso cubano).

La vulnerabilidad (V) de las líneas férreas de la NFH resulta de la suma de todos los pesos establecidos, es decir:

$$V = Ve + Vne + Vecn$$

⁽³⁾ http://open_jicareport.jica.go.jp/pdf/11767233_01.pdf

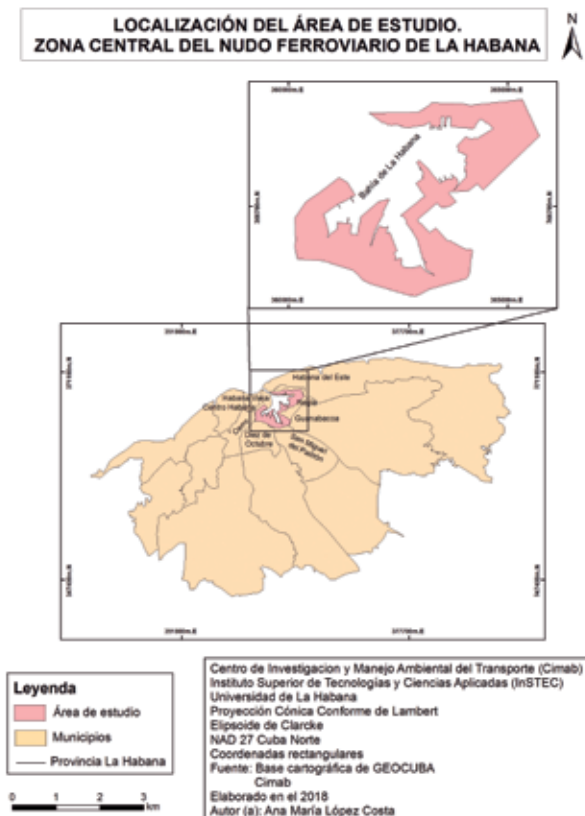


Figura 1. Mapa de localización de NFH

2.3. Localización del área de estudio

La NFH se ubica en la provincia de La Habana, en los márgenes de la bahía de La Habana y su denominada Zona de protección según (Plan Maestro, Oficina del Historiador de la Ciudad de La Habana, 2017). Ocupa un área de 8.74 km², y limita al N con los municipios de la Habana del Este, Habana Vieja y Centro Habana; al E con Regla y Guanabacoa; al S con San Miguel del Padrón, y al W con Cerro y Diez de Octubre (Figura 1).

3. RESULTADOS

A partir del cálculo de los criterios hidrológicos y geomorfológicos, y la posterior estandarización de sus resultados se obtiene el ICH, con valores que oscilan entre 5 y -5. Mientras más cercanos a -5 la susceptibilidad se considera mínima, y a 5 susceptibilidad máxima para inundarse. A partir de la construcción del histograma se determinó que presenta una distribución normal siendo posible clasificar los valores, y posteriormente se obtienen los espacios potencialmente susceptibles con peligro de inundación (Figura 2).

En el NFH 1.13 km² se caracteriza por constituir espacios potencialmente susceptibles con peligro de inundación con cotas que oscilan entre 2-5 m. Estos se localizan en los consejos populares de Loma-Modelo, Casablanca y Guaicanimar del

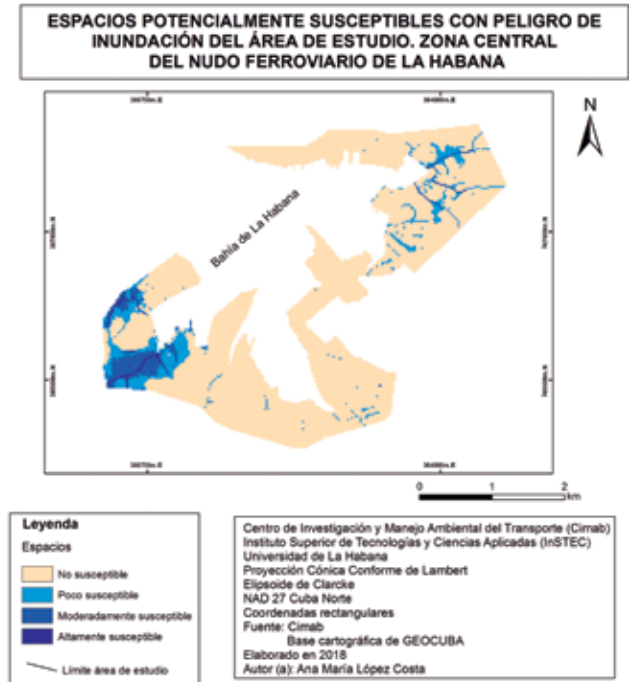


Figura 2. Mapa de los espacios potencialmente susceptibles con peligro de inundación del NFH

municipio de Regla; y Tallapiedra y Jesús María de la Habana Vieja. La mayor extensión se clasifica como un espacio poco susceptible y la menor altamente.

Una vez que se consiguen los espacios de susceptibilidad por peligro de inundación y el FD categorizados, se realiza la sumatoria de todos los mapas, obteniendo las intensidades del peligro de inundación por las intensas lluvias para periodos de recurrencia de 5 a 100 años (Figura 3).

La mayor extensión de los espacios se caracteriza por presentar una intensidad del peligro baja con un periodo de recurrencia de menor frecuencia, es decir, de 50-100 años; mientras que, la menor una intensidad media con un periodo de retorno medio de 10- 50 años.

Es importante aclarar que la concepción de las inundaciones en los espacios identificados como susceptibles en ocasiones no está relacionada únicamente con la ocurrencia de las intensas lluvias, debido a que, a partir del levantamiento de campo realizado 24 horas después de la caída de lluvias con acumulados pocos significativos se apreciaron zonas de anegamiento. Por lo cual, sería recomendable realizar este análisis con registros de precipitaciones mínimas y medias, para determinar con exactitud cuál sería el acumulado de lluvia que conlleva a la generación de las inundaciones en la NFH.

Finalmente, a partir de este análisis se determinaron las líneas férreas que se ubican en los espacios con peligro de inundación por las intensas lluvias. De ellas, una longitud de 7,57 km se localiza en dichas áreas.

A partir de la sumatoria de los tres tipos de factores que inciden en la capacidad de respuesta de las vías se estableció la vulnerabilidad de las líneas férreas susceptibles de inundación

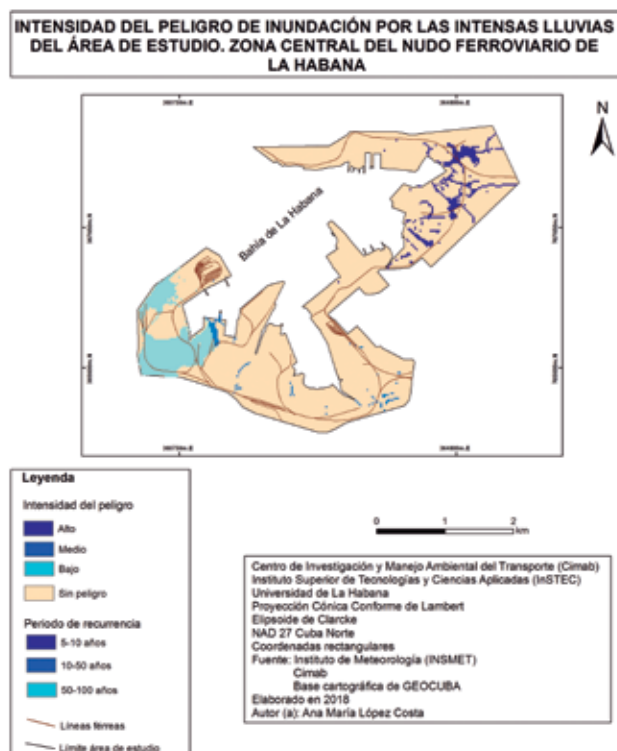


Figura 3. Mapa de la intensidad del peligro de inundación por las intensas lluvias del NFH

por las intensas lluvias (Figura 4).

La vulnerabilidad de las líneas férreas se clasifica en:

Vulnerabilidad baja: Posee una longitud de 2.25 km de líneas férreas caracterizadas por el buen estado técnico de sus elementos estructurales, presencia de sistemas de drenaje en algunos de sus campos, y solamente requiere el mantenimiento a la geometría de la vía de forma periódica con un costo de 18.15 mcup.

Vulnerabilidad media: Posee una longitud de 3.95 km de líneas férreas caracterizadas por presentar moderados daños estructurales en la geometría de la vía. Presencia de sistemas de drenaje en algunos de sus campos, y necesidad de reparación ligera con un costo de 138.25 mcup. Se observaron zonas de anegamiento durante el levantamiento.

Vulnerabilidad alta: Posee una longitud de 1.37 km de líneas férreas caracterizadas por daños estructurales elevados en la geometría de la vía, conllevando a una reparación media con un costo de 68.0 mcup, y sin presencia de sistemas de drenaje que faciliten el escurrimiento de las aguas generadas por las lluvias. Se apreciaron zonas de anegamiento durante el levantamiento.

4. CONCLUSIONES

1. En la NFH existe un área de 1.13 km² con potencialidades de susceptibilidad de peligro de inundación con



Figura 4. Mapa de la vulnerabilidad de las líneas férreas por las inundaciones provocadas por las intensas lluvias del NFH

cotas que alcanzan hasta los 4.7 m, de los cuales 0.05 km² constituyen los más susceptibles.

2. Las mayores extensiones de los espacios susceptibles con peligro de inundación por las intensas lluvias presentan una intensidad baja para un periodo de recurrencia de menor frecuencia, de 50 a 100 años, mientras que la menor media con un periodo de retorno de 10-50 años.
3. Las inundaciones en los espacios identificados como susceptibles de inundación en ocasiones no están relacionadas únicamente con la ocurrencia de las intensas lluvias, debido a que, a partir del levantamiento de campo realizado 24 horas después de la caída de lluvias con acumulados pocos significativos se apreció anegamiento.
4. Una longitud de 7.57 km de líneas férreas se localizan en los espacios de peligro de inundación por las intensas lluvias, de las cuales, la mayor longitud se caracteriza por presentar una vulnerabilidad media siendo necesario un proceso de reparación ligera y la menor alta, requiriendo de la reparación media.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a todo el claustro de profesores de la Facultad de Medio Ambiente (FAMA) del Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (INTEC) por todos los conocimientos brindados en las clases impartidas en el di-

plomado de Gestión Ambiental Territorial, los cuales posibilitaron la realización de esta investigación. Además, al Centro de Investigación y Manejo Ambiental del Transporte (Cimab) por conceder información necesaria para este estudio.

REFERENCIAS

Agencia de Cooperación Internacional del Japón y Grupo de Trabajo del Estado para el saneamiento, conservación y desarrollo de la bahía de La Habana. (2004). Estudio del desarrollo del alcantarillado y el drenaje pluvial en la cuenca tributaria de la bahía de La Habana en la República de Cuba. Recuperado el 25 de abril de 2018, de http://open_jicareport.jica.go.jp/pdf/11767233_01.pdf

Agencia de Medio Ambiente. (2014). Cuba. Metodologías para la determinación de riesgos de desastres a nivel territorial. Primera parte. 17-18. Recuperado el 15 de julio de 2018, de <http://dipecholac.net/docs/files/475-libro-metodologia-riesgo-ama.pdf>

Cadenas, I., & Martínez, W. (Inédito). Vías férreas. La Habana. Libro de la asignatura de Vías férreas de la Facultad de Ingeniería Civil del Instituto José Antonio Echeverría (CUJAE).

Centro de Investigación y Manejo Ambiental del Transporte. (2014). Plan de ordenamiento urbano de la bahía de La Habana y su área de influencia. Informe técnico. La Habana.

García, A., Olivera, J., Salinas, E., Yuli, R., & Bulege, W. (2017). Use of Hydrogeomorphic Indexes in SAGA-GIS for the Characterization of Flooded Areas in Madre de Dios, Peru. *Research India Publications*, 12(9), 9079-9080. Recuperado el 8 de agosto de 2018, de https://www.ripublication.com/ijaer17/ijaerv12n19_144.pdf

Instituto de Meteorología. (2005). Atlas agrometeorológico de disponibilidades hídricas para una agricultura de secano. La Habana. Cuba. La Habana, La Habana, Cuba.

Plan Maestro, Oficina del Historiador de la Ciudad de La Habana. (2017). Plan de manejo paisaje cultural de la bahía de La Habana. Avance. La Habana.

Sobre los autores

Ana María López Costa

Graduada de Licenciatura en Geografía en la Facultad de Geografía de la Universidad de La Habana, en el año 2014. Durante tres años trabajó en GEOCUBA Estudios Marinos en el Departamento de Medio Ambiente participando en la realización de estudios ambientales tales como, *Licencia Ambiental*, *Estudios de Impacto Ambiental* e investigaciones oceanográficas. Desde el año 2017 trabaja en el Cimab en el departamento de Geomática realizando investigaciones relacionadas con la temática del transporte y todas sus modalidades, con un análisis tanto espacial, económico como ambiental a través de la utilización de SIG. Curso el diplomado de Gestión Ambiental Territorial, el cual ha posibilitado los conocimientos necesarios en la materia de medio ambiente, economía y estudios de PVR para realizar este artículo. Además, presenta experiencia en la utilización de SIG, tales como SAGA y otros.

Diego Rafael Ulloa López

Profesor universitario con 33 años de experiencia. Ha dirigido varias tesis de Licenciatura en la carrera de Geografía y en Meteorología, así como catorce Tesis de Maestría y también tesis de diplomados. Consultor y Especialista de Primera en GEOCUBA IC, (1997-2002). Ha dirigido y desarrollado diversos proyectos de investigación en Geoecología y en temáticas ambientales relacionados con la evaluación de impacto am-

biental como las de zonas urbanas en conflicto ambiental, vulnerabilidad, riesgos y peligros, sistemas de información geográfica, ordenamiento territorial, entre otros. Ha realizado estudios de impacto ambiental a industrias, zonas de desarrollo turístico del país, tanto en Cuba como en México. Especialista de alto nivel de la Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba (UNAICC) Sección de Ciencias Naturales y Medio Ambiente (2007), Experto (miembro permanente) en el Grupo Integral de desarrollo de la ciudad de la Habana hasta el 2016.

Liu Ramírez Morales

Graduado de la carrera de Ingeniero Civil en la Universidad José Antonio Echeverría (CUJAE) en el año 2015. Desarrolló junto con otros especialistas la defectación técnica de algunas líneas férreas y viales en la provincia de La Habana. Durante tres años trabajó en GEOCUBA Estudios Marinos en el Departamento de Ingeniería de costas como Especialista de estructura realizando proyectos de movimientos de tierra, defectación estructural de muelles y marinas, además, de proyección de delfinarios y pasarelas. También participó como especialista principal en la ejecución de obras como delfinarios y pasarelas. Desde el año 2018 se encuentra en el cargo de especialista de estructura para la ejecución de proyectos dirigidos por la ECOT Habana. Es miembro de la UNAICC y se encuentra certificado por el Registro Cubano de Buques (RCB).