

Artículo Original

Riesgo de inundación de la ciudad de Iquitos, Perú

[Flood risk the Iquitos city, Peru]

Henry Francisco Soria-Díaz^{1*}, Ana M. Camarasa-Belmonte², Pilar Carmona-González²

¹Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP). Pevás N° 584, Iquitos, Perú.

²Departamento de Geografía, Universidad de Valencia. Av. Blasco Ibañez N° 28, Valencia, España.

*e-mail: hfsoriad@gmail.com

Resumen

El presente trabajo constituye un diagnóstico aproximado sobre el riesgo de inundación de la ciudad de Iquitos. La finalidad del estudio fue identificar las áreas que presentan riesgos de inundación, en referencia al registro histórico del caudal del río Amazonas en el 2012, para establecer propuestas de gestión y ordenación territorial. La metodología empleada para la elaboración de la cartografía de riesgo se basó en el trabajo de Camarasa y Soriano (2008, 2012), como referencia para la identificación de las unidades de peligro de inundación y vulnerabilidad, a partir de las cartografías de geomorfología, uso actual del suelo, valoración económica del suelo y exposición humana.

Los resultados manifiestan que en la cartografía de riesgo de inundación, la unidad predominante fue el de riesgo "alto" que representó el 65,36% del área de estudio; en contraste, las unidades con riesgo "bajo y medio" constituyeron el 25,21%. Se propone el crecimiento urbano de la ciudad para los próximos veinte años hacia el área de influencia de la carretera Iquitos-Nauta, por tener condiciones de relieve alto, tales como las terrazas medias, altas, y colinas bajas.

Palabras claves: Amazonía Peruana, Iquitos, peligro, vulnerabilidad, riesgo de inundación.

Abstract

This work is an approximate diagnosis of the risk of flooding in Iquitos city. The areas with flood risk were identified, taking in consideration the historical record of the Amazon River flow in 2012, and proposals for land management and zoning were established. The risk mapping was elaborated based on the work of Camarasa and Soriano (2008, 2012) identifying units of flood hazard and vulnerability using maps of geomorphology, current land use, economic valuation of land and human exposure.

The results show that in the mapping of flood risk, the predominant unit at "high" risk accounted for 65.36% of the study area; whereas, the units at "low to medium" risk accounted for 25.21%. The urban growth of the city for the next twenty years needs to be directed to the area of influence of the Iquitos-Nauta road, where conditions of high relief such as mid and high terraces and low hills can be found.

Keywords: Peruvian Amazon, Iquitos, hazard, vulnerability, flood risk.

INTRODUCCIÓN

El fenómeno natural de las inundaciones, genera grandes pérdidas humanas e impactos negativos socioeconómicos, afectando principalmente a los países del tercer mundo o subdesarrollados. El riesgo se ha acentuado en las últimas décadas, debido a las condiciones de extrema pobreza de la población, que se ve obligada a establecerse en áreas muy expuestas al peligro de inundaciones, y por lo tanto, con un nivel de riesgo "alto" (Schanze, 2006; Pacheco, 2009). Durante los últimos 30 años el número de desastres naturales ha aumentado considerablemente a nivel mundial, siendo las inundaciones las de mayor incremento, porque han afectado un aproximado de 2 mil millones de personas y se estima que han causado daños económicos por más de 400 mil millones de dólares (EMDAT, 2009).

El riesgo es 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 (UN/ISDR, 2004; Pacheco, 2009). Otro de los términos relacionado al riesgo es el peligro, que es definido como la amenaza latente asociada con la probabilidad de la ocurrencia de un fenómeno físico, natural, socio-natural o de origen puramente antrópico que se espera tenga efectos adversos en las personas, producción, infraestructura, bienes, servicios y su entorno (ICSU, 2009; Pacheco, 2009). La vulnerabilidad es a menudo percibida como una característica intrínseca de un sistema o elemento, aunque la mayoría de los analistas reconocen que la vulnerabilidad está condicionada a un peligro, por ejemplo, con respecto a su frecuencia y gravedad, o que es inútil discutir la vulnerabilidad independiente de su contexto peligro (Adger, 2006). Medir la vulnerabilidad no se limita a los enfoques cuantitativos; sino que abarca métodos cuantitativos y cualitativos para describir y poner en funcionamiento la vulnerabilidad (Birkmann, 2006, 2007).

Uno de los problemas naturales que más frecuentemente afecta a la ciudad de Iquitos

son las inundaciones. La ciudad se ubica en un ambiente de bosque tropical húmedo, sobre una llanura amazónica y rodeada por los ríos Nanay, Itaya y Amazonas. Las crecidas comienzan a principios del mes de marzo y terminan hasta finales del mes de mayo, como proceso natural de los ríos amazónicos. Los sectores más afectados son las poblaciones periféricas de la ciudad, que además se encuentran en el rango socioeconómico de pobreza a extrema pobreza (distritos de Belén, Punchana y San Juan Bautista).

Hasta el día de hoy, no existen investigaciones sistemáticas sobre el nivel de riesgo de inundación de la ciudad de Iquitos. Sin embargo en el 2012, se produjo una de las más fuertes series de inundaciones de la historia de la ciudad, superando los niveles promedios alcanzados en el mes de mayo de 1999 (118,34 metros sobre el nivel del mar – m.s.n.m.), ya que el río Amazonas llegó a un promedio de 118,83 m.s.n.m. en el mes de abril (el registro máximo fue de 118,97 m.s.n.m.). El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) señaló que si se superaban los 119,20 m.s.n.m., las aguas del río Amazonas inundarían las calles de la ciudad de Iquitos y generaría el colapso total del sistema de desagüe o alcantarillado.

En este contexto el análisis de los procesos geomorfológicos y uso actual del suelo, complementado con el estudio de los registros históricos de niveles de crecidas (aumento de caudales) del río Amazonas, permitirá elaborar una aproximación de la cartografía de riesgo, con el fin de orientar el crecimiento y traslado de la población hacia zonas de altura o tierra firme, es decir, que estén fuera de este riesgo para evitar pérdidas y/o daños socioeconómicos.

Desde esta perspectiva, el presente trabajo tiene como objetivo general identificar el riesgo de inundación de la ciudad de Iquitos, mediante el uso y aplicación de las herramientas de Sistema de Información Geográfica (SIG) y Teledetección, con el fin de proponer mecanismos de gestión y ordenación territorial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La ciudad de Iquitos se halla inserta en la cuenca del río Amazonas, por lo que el área de estudio contempló una amplia superficie de 368,0427 km² (36 804,27 ha), rodeada por los ríos Nanay, Itaya y Amazonas, y limitando en dirección suroeste con la Reserva Nacional Allpahuayo-Mishana (RNAM). Políticamente abarca los distritos de Iquitos, Punchana, Belén y San Juan Bautista, provincia de Maynas, departamento de Loreto (Figura 1).

El área de influencia de la ciudad de Iquitos se caracteriza por estar emplazada en La Gran Planicie (llanura amazónica), y rodeado a su vez por los ríos Nanay, Itaya y Amazonas. Los principales ríos a través de millones de años, han ido formando mediante la dinámica fluvial la llanura de inundación, donde se establece en la actualidad la ciudad y sus alrededores.

El área de estudio se emplaza entre dos grandes unidades morfoestructurales, la Cordillera de los Andes y el Escudo Guayano Brasileño. Estas unidades controlaron el equilibrio de la cuenca sedimentaria en conjunción con el denominado "arco de Iquitos", una estructura menor con influencia directa sobre la cuenca. La formación Iquitos se manifiesta principalmente en los alrededores de la localidad de la población del mismo nombre y en los márgenes del río Nanay. Está formada por sedimentos fluviales pleistocenos muy encostrados, conformados por niveles de arenisca de cuarzo de color blanco o amarillento con intercalaciones de arcillas grises o rojizas. Estos materiales se corresponden con niveles fluviales producto de la erosión de las formaciones Pebas, Ipururo y Nauta que conforman el sustrato (Rasanen *et al.*, 1998).

El clima es cálido y lluvioso con promedios anuales de temperatura media entre 25,6 a 27,2 °C y humedad relativa de 78% al 96%. Presenta un régimen pluviométrico tropical con la estación más lluviosa entre octubre y mayo. La precipitación promedio anual es de 3000 mm (Marengo, 1998; IIAP y PROYECTO ARAUCARIA, 2002).

La red hidrográfica del área de estudio está formada por los ríos Nanay, Itaya y Amazonas. Los dos primeros se caracterizan por tener su origen en el Llano Amazónico, y

ser ríos muy meandrizantes (al igual que el Amazonas). Estos sistemas fluviales tienen abundantes recursos y están conformados por ríos, quebradas, cochas y humedales. La variabilidad en el nivel de agua de los ríos condiciona la existencia de dos grandes ecosistemas, uno inundable y el otro no inundable o de tierra firme, con sus características biofísicas peculiares. El régimen hidrológico anual de los mencionados ríos amazónicos presentan cuatro periodos: crecidas altas (marzo, abril y mayo), estiaje medio (junio y julio), estiaje (agosto, septiembre y octubre) y crecidas medias (noviembre, diciembre, enero y febrero). El nivel de agua más alto de estos ríos generalmente se presenta en el mes de abril, mientras que el más bajo ocurre en el mes de septiembre. El río Amazonas, cerca de la ciudad de Iquitos (aguas abajo), registra una velocidad media en época de crecidas de 2,2 m/s y en época de estiaje de 1,5 m/s; en época de crecida registra un caudal líquido de 55 000 m³/s, y en época de estiaje registra 5000 m³/s; además de caudal de sólidos que varían entre 150 000 a 4 000 000 tn/día (SEHINAV, 2006).

Históricamente, las actividades socioeconómicas se han basado en la explotación del sector agropecuario, caza, pesca, madera y, últimamente los hidrocarburos. Además, la ocupación humana de Iquitos ha evolucionado agresivamente desde inicios de los años sesenta del siglo XX hasta comienzos del siglo XXI, pasando de 57 777 a 370 962 habitantes en el 2007 (INEI, 2008). Por ser capital del departamento de Loreto (también conocido como región), las migraciones rurales (poblaciones campesinas y/o indígenas de diversos lugares de la región), debido a sus condiciones de pobreza se han establecido en la periferia de la ciudad, donde se ha ido incrementado la población en los últimos años (MPM, 2010).

Método

El presente trabajo está basado en el modelo propuesto por Camarasa y Soriano (2008, 2012), para el análisis de riesgo de inundación de ramblas (cauces con caudal temporal u ocasional, debido a las lluvias) de ambientes mediterráneos. Debido a la carencia de investigaciones afines al trabajo en Perú y a falta de datos hidrometeorológicos, se ha

seguido el trabajo de Camarasa y Soriano (2008, 2012) como documento de referencia, si bien se ha adaptado a las características del área de estudio.

La figura 2 pone de manifiesto el modelo cartográfico seguido para confeccionar primeramente el mapa de peligro y en segundo lugar el de vulnerabilidad. Finalmente, a partir de la combinación de ambos, se ha elaborado el mapa de riesgo. En los siguientes sub apartados se explican los procedimientos seguidos para elaborar una aproximación de la cartografía de riesgo de inundación de la ciudad de Iquitos.

- Cartografía de peligro de inundación

La cartografía de peligro de inundación se originó del análisis e interpretación, en términos de peligrosidad, de la geomorfología realizada por el IIAP (2011-2012) a escala 1:25 000, a nivel de detalle de la microzonificación del área de influencia de la carretera Iquitos-Nauta, además de las imágenes de satélite Landsat 4-5 y el Modelo Digital del Terreno (MDT), siendo en este último donde se trazaron perfiles topográficos. Finalmente, se asignaron cinco niveles, desde el peligro muy alto (cuerpos de agua, playas y otros) a peligro muy bajo (terrazas altas, colinas bajas y/o lomadas) (Tabla 1).

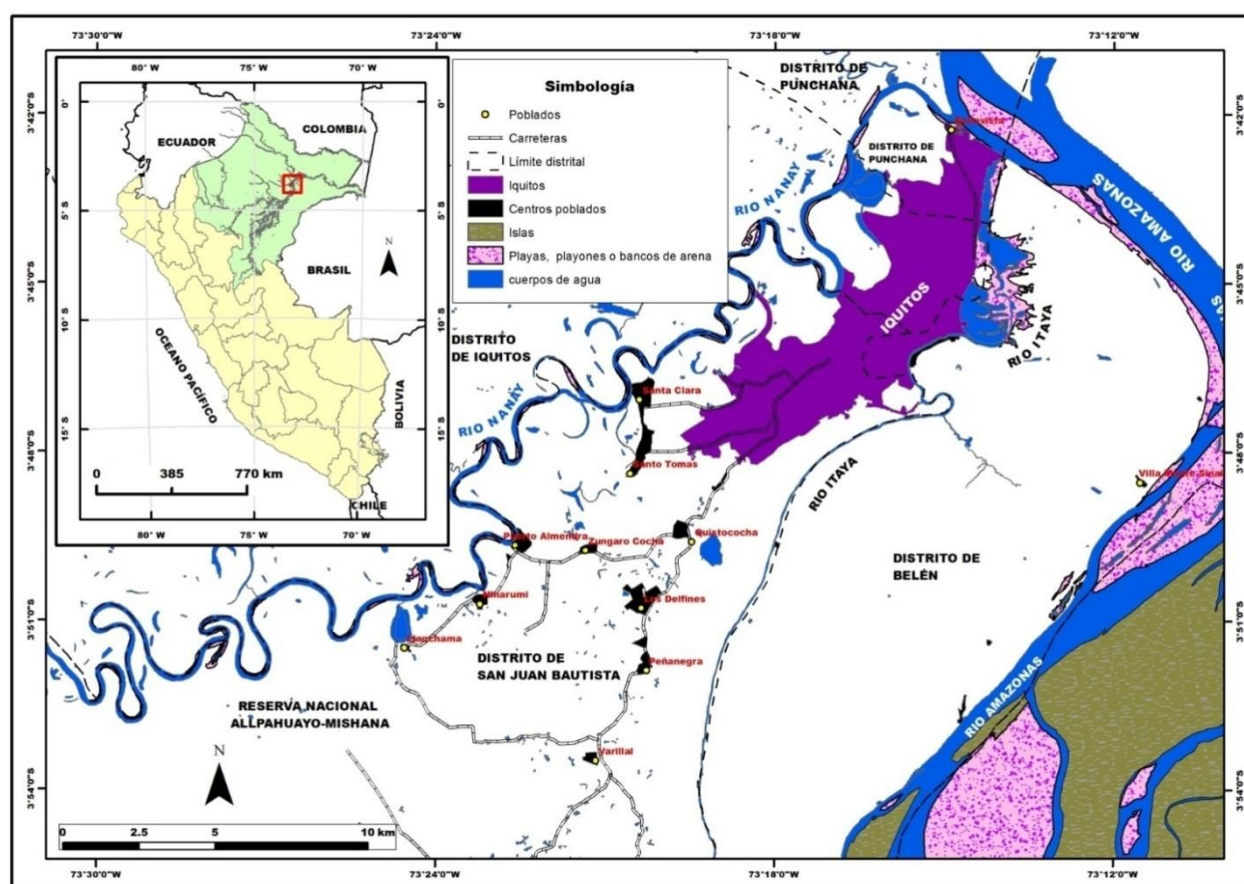
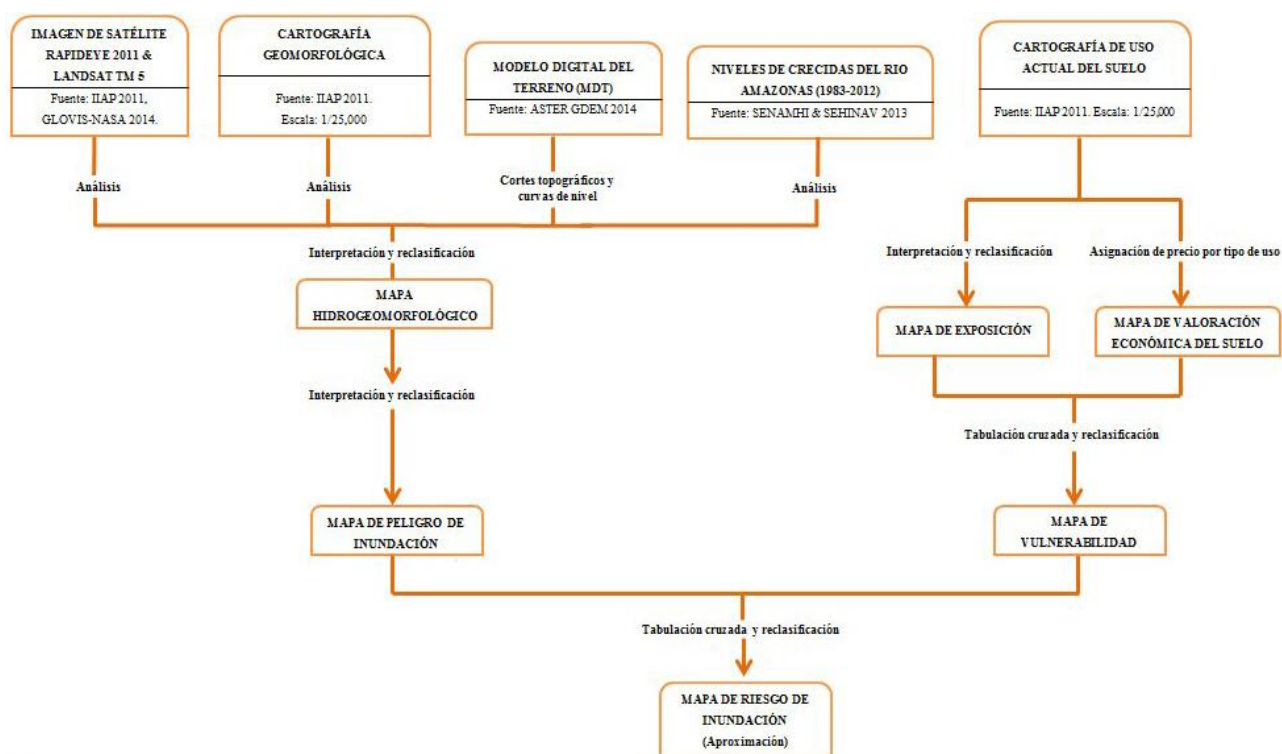


Figura 1. Ubicación del área de estudio y objeto de planificación de la ciudad de Iquitos, Loreto, Perú.
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 2.** Metodología empleada para la cartografía de riesgo.**Fuente:** Camarasa y Soriano (2008, 2012), modificado.**Tabla 01.** Valoración, en términos de peligro, de las formas o procesos asociados a inundación (geomorfología) en el área de estudio.

GEOMORFOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	GRADO DE PELIGRO
Cuerpos de agua	Están conformados por ríos, quebradas, lagos y/o cochas y humedales. El caudal del agua es muy alto en momentos de crecidas, donde influye la velocidad, volumen y tamaño de los materiales transportados.	Muy alto
Depósitos fluviales y/o aluviales	Son depósitos temporales que constituyen el material de carga de los ríos, emplazados en el canal principal o en la red de canales de los ríos Amazonas, Nanay e Itaya. Presentan pendiente baja y están ubicados a orillas de los cauces fluviales.	Muy alto
Orillar reciente y antiguo	Presenta estabilidad geomorfológica condicionada a las crecidas estacionales de los ríos, por lo que tienden a desaparecer en épocas de crecidas. La mayor parte de ellas presenta drenaje muy pobre y/o están parcialmente inundadas casi todo el año.	Alto
Terraza baja	Presentan superficies relativamente plana con pendiente que varía de 0% a 4%; inundable en periodos de crecidas. La evacuación de sus aguas es más lenta y deficiente que las unidades anteriores; ocasionalmente se encuentra saturada de agua.	Alto
Terraza media	Presenta una topografía relativamente plana y ligeramente ondulada con pendientes de 4% a 10% con drenaje bueno. Se hallan entre 10 y 14 m por encima del río; los niveles más bajos pueden ser inundados parcial y eventualmente por las crecidas mayores.	Medio

Terraza alta	Se encuentran a alturas de 15 a 20 m de los ríos. Presenta una topografía preferentemente plana, con pendientes de 15% a 25%. Es raro que se inunde o que sufra el impacto de las crecidas de los ríos.	Bajo
Colina baja	Constituido por áreas de mayor elevación con pendientes de 25% a 45%. Integrada por valles encajonados y colinas bajas de diferentes grados de disección.	Muy bajo

Fuente: Elaboración propia.

- Cartografía de vulnerabilidad

La cartografía de vulnerabilidad se origina a partir de la cartografía de uso actual del suelo, que ha sido analizado y delimitado por el IIAP. Los distintos usos han sido evaluados en valoración económica del suelo y de exposición humana.

Para la obtención del mapa de valoración económica del suelo, se utilizó la cartografía de uso actual del suelo, donde se ha modificado y reclasificado dicha cartografía, en base a criterios de los autovalúos de los usos urbanos, privados y rústicos de los distritos de Iquitos, Punchana, Belén y San Juan Bautista.

Por lo que respecta a la exposición, ésta se ha determinado por la densidad de ocupación humana del espacio (aquellos lugares que concentran más población presentan mayor vulnerabilidad en caso de ser inundados). La cartografía de vulnerabilidad se estimó a partir de la combinación de los mapas de exposición humana y el valor económico del suelo, es decir, a través de una matriz (tabla 3).

- Valoración económica del suelo

El mapa de valoración económica (precio del suelo) se elaboró mediante la asignación de precios a las distintas categorías de usos del suelo, en base a los autovalúos (valor catastral) de los usos urbanos, privados y rústicos de los distritos de Iquitos, Punchana, Belén y San Juan Bautista. Hay que tener en cuenta que estas tasaciones son solo aproximaciones del valor real de costo del suelo.

Se reclasificaron diez unidades o grupos según el valor económico de dólares americanos por metro cuadrado (dólares/m²). En total se establecieron cuatro grupos (A, B, C y D), divididos en 10 subgrupos (A1, A2, A3, B1, B2, B3, C1, C2, C3, D1). Además, se consideró cuerpos de agua como suelo no

valorado. Los grupos A1, A2 y A3 son exclusivamente las áreas donde está asentado la población de Iquitos actualmente; los grupos B1, B2 y B3 son áreas establecidas por el área de influencia de la carretera Iquitos-Nauta y la carretera de Zungarococha; los grupos C1, C2 y C3 son aquellas áreas que se encuentran adyacente a los ríos Amazonas, Nanay e Itaya, y por último, el grupo D1 está constituido por aquellas áreas donde las condiciones físicas del terreno, al igual que los del grupo C, se caracterizan por estar ubicados en terrazas bajas y complejos de orillares, sitios críticos de inundaciones.

- Exposición humana

Para la confección del mapa de exposición humana, se ha partido de la cartografía de uso actual del suelo, con el fin de establecer el grado de exposición de un determinado espacio. Asimismo, aquellos lugares que concentran más densidad poblacional presentan mayor exposición en caso de ser impactados por la inundación, siendo entre ellas la ciudad de Iquitos, y las menores aquellas que se encuentran ubicadas adyacente a la ciudad y a los ríos Amazonas, Nanay e Itaya (Tabla 2).

- Vulnerabilidad

El mapa de vulnerabilidad se obtuvo a partir de los cruces entre el mapa de valoración económica del suelo y la de exposición humana. La vulnerabilidad se estima, por tanto, en función del precio del suelo y de la ocupación humana del espacio (Camarasa y Soriano, 2008).

Producto del cruce entre las dos cartografías se estableció cinco niveles (muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo). Por lo general, los grupos C y D con vulnerabilidad baja están representados por usos rústicos de escaso valor económico y con densidad de ocupación baja y muy baja. El grupo A presenta una valoración económica muy elevada porque corresponden a uso urbano, con una vulnerabilidad muy alta en función de su alta densidad de ocupación humana (Tabla 3).

- Cartografía de riesgo

El mapa de riesgo se obtuvo a partir de la integración de la cartografía de peligro y de vulnerabilidad (tabla 4). Se han establecido un total de cinco grados de riesgo, en una escala cualitativa en la que el color rojo representa el más alto y el color verde el más bajo.

Las combinaciones que contienen el nivel de peligro más alto (cuerpos de agua, complejo de orillares y terrazas bajas) se les asignó el grado de "alto y muy alto", independientemente del valor de vulnerabilidad que tengan, porque son sitios muy propensos de sufrir inundaciones anualmente; en cualquier caso, mantenerse al margen de los usos urbanos. Por último, las áreas que incluyen una valoración de peligro bajo (terrazas altas y colinas bajas), se les ha considerado sin riesgo de inundación, porque aunque presenten regular y/o alta vulnerabilidad, están libres de sufrir el impacto de las inundaciones. El riesgo medio se le ha considerado a la ciudad de Iquitos, debido a sus condiciones físicas por su ubicación en una terraza media.

Tabla 2. Descripción en términos de exposición humana del área de estudio.

EXPOSICIÓN HUMANA	DESCRIPCIÓN
MUY ALTA	Está representado por la zona de uso urbano, donde está concentrada la mayor densidad poblacional, siendo en específico la ciudad de Iquitos.
ALTA	Está representada por aquellas zonas de expansión urbana, uso rural (comunidades campesinas), uso con carácter industrial y sanitario, y uso turístico de esparcimiento y recreación.
MEDIA	Zonas de uso con carácter oficial (centros de investigación), zonas con predominio de la actividad piscícola, zonas de crianza extensiva de ganadería, y zonas de crianza intensiva de aves de corral y porcinos.
BAJA	Zona de aprovechamiento informal de productos del bosque, zona de bosques secundarios (purmas), y zonas con predominio de cultivos de frutas y subsistencia, además de los cultivos ribereños en áreas inundables.
MUY BAJA	Está representada por islas, explayamientos y/o barras, bancos de arenas, y cuerpos de agua (ríos, lagos).

Tabla 3. Matriz de vulnerabilidad en función del precio del suelo y la exposición.

		EXPOSICIÓN				
PRECIO DEL SUELO	Cuerpos de agua	MUY ALTA	ALTA	MEDIA	BAJA	MUY BAJA
	D1 (5-1 dólares/m ²)	NO VALORADO	NO VALORADO	NO VALORADO	NO VALORADO	NO VALORADO
	C3 (10-15 dólares/m ²)	MUY BAJA	MUY BAJA	MUY BAJA	MUY BAJA	MUY BAJA
	C2 (20-30 dólares/m ²)	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	MUY BAJA
	C1 (50 dólares/m ²)	BAJA	BAJA	BAJA	BAJA	MUY BAJA
	B3 (60 dólares/m ²)	MEDIA	MEDIA	MEDIA	BAJA	MUY BAJA
	B2 (80 dólares/m ²)	MEDIA	MEDIA	MEDIA	BAJA	MUY BAJA
	B1 (100 dólares/m ²)	MEDIA	ALTA	MEDIA	BAJA	MUY BAJA
	A3 (150 dólares/m ²)	ALTA	ALTA	MEDIA	MEDIA	BAJA
	A2 (300 dólares/m ²)	MUY ALTA	ALTA	MEDIA	MEDIA	BAJA
	A1 (500 dólares/m ²)	MUY ALTA	ALTA	ALTA	MEDIA	BAJA
	A1 (500 dólares/m ²)	MUY ALTA	MUY ALTA	ALTA	ALTA	BAJA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Matriz de riesgo en función de la cartografía de peligro y la vulnerabilidad.

		VULNERABILIDAD				
PELIGRO	MUY ALTO	MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
	ALTO	MUY ALTO	MUY ALTO	MUY ALTO	MUY ALTO	MUY ALTO
	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
	BAJO	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO
	MUY BAJO	MUY BAJO	MUY BAJO	MUY BAJO	BAJO	BAJO
	MUY BAJO	MUY BAJO	MUY BAJO	MUY BAJO	BAJO	BAJO

Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

- Peligro de inundación

La figura 3 señala la cartografía de peligro de inundación del área de estudio. El mayor grado de peligro (color rojo) está asociado a los cauces fluviales, lagos, cochas y depósitos fluviales y/o aluviales. El grado de peligro alto (color anaranjado) está ligado a los complejos de orillares (orillar reciente y antiguo) y las terrazas bajas, característico por lo que en época de crecidas de los ríos amazónicos éstas desaparecen bajo el nivel de las aguas. El grado medio (color amarillo) representa

aquellas áreas de terrazas medias, superficies con drenaje moderado a bueno. Aquellas áreas con grados bajo y muy bajo están representadas por las terrazas altas y colinas bajas, respectivamente.

- Vulnerabilidad

El mapa de vulnerabilidad se representa en la figura 4. Asimismo, la ciudad de Iquitos, en especial la zona histórica o céntrica, es la que presenta el precio de suelo más alto y una elevada densidad humana, que se traduce en una alta exposición.

- Riesgo de inundación

La figura 5 representa el riesgo de inundación de la ciudad de Iquitos durante la época de crecidas de los ríos amazónicos (marzo, abril y mayo), específicamente del Amazonas, Nanay

e Itaya. Asimismo, los contornos de la ciudad (excepto el área de influencia de la carretera Iquitos-Nauta) son áreas donde el riesgo es más alto.

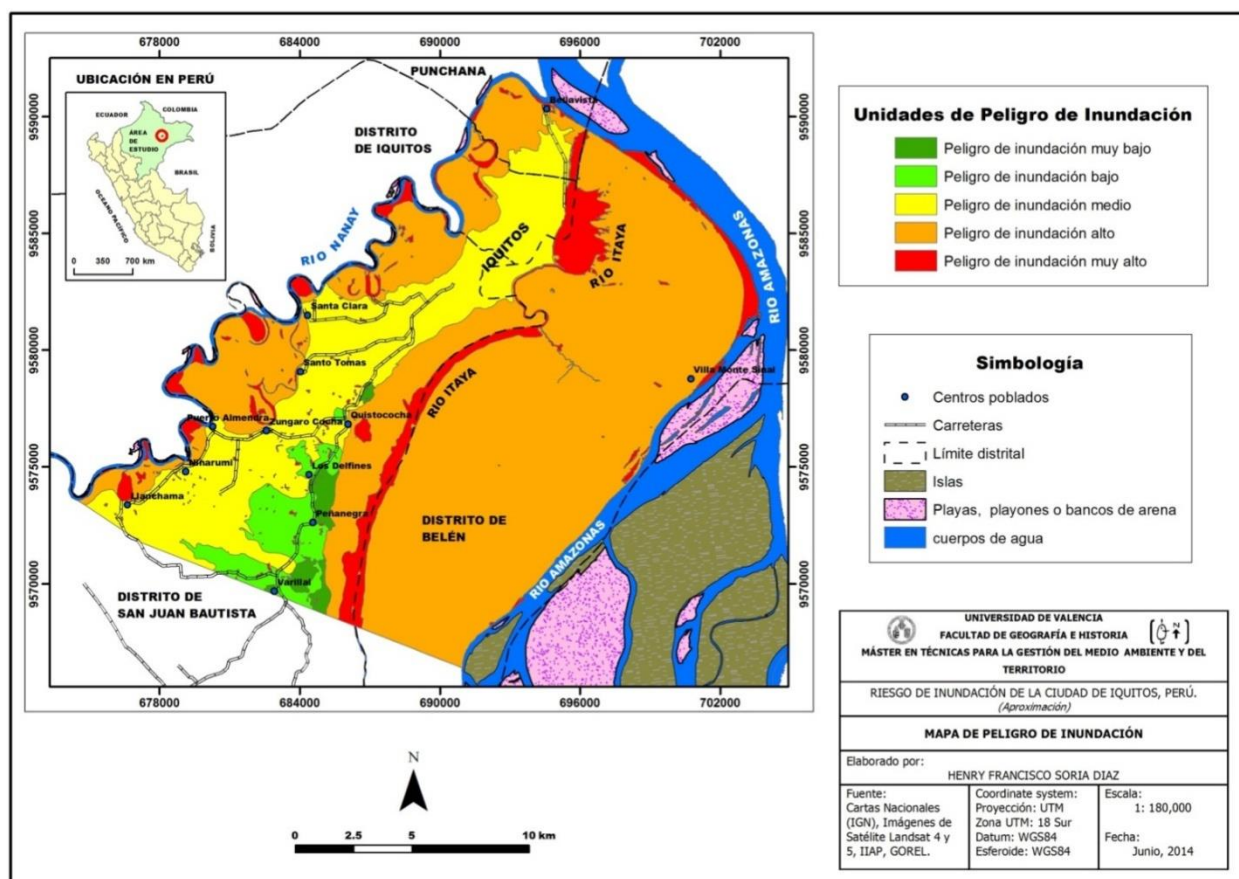


Figura 3. Cartografía de peligro de inundación del área de estudio.

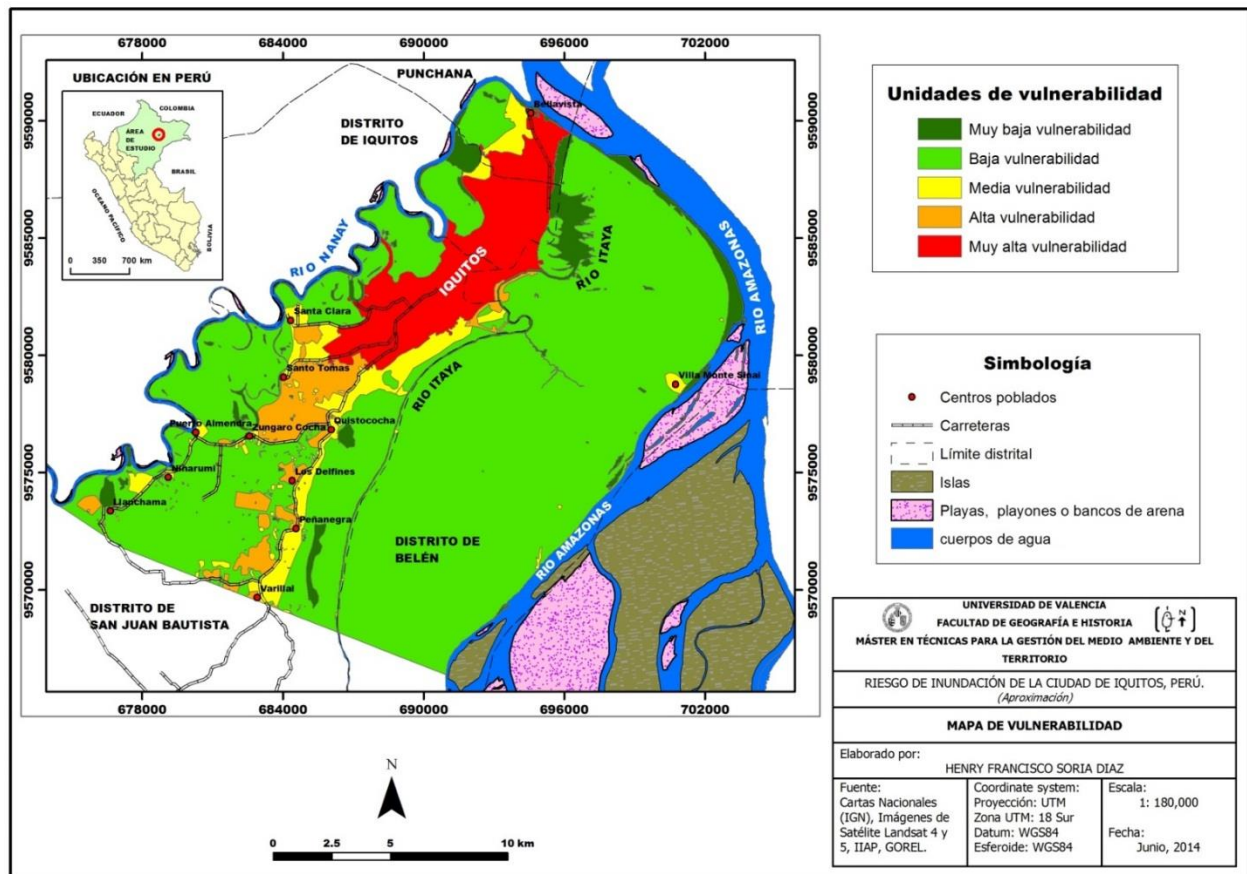


Figura 4. Cartografía de vulnerabilidad del área de estudio.

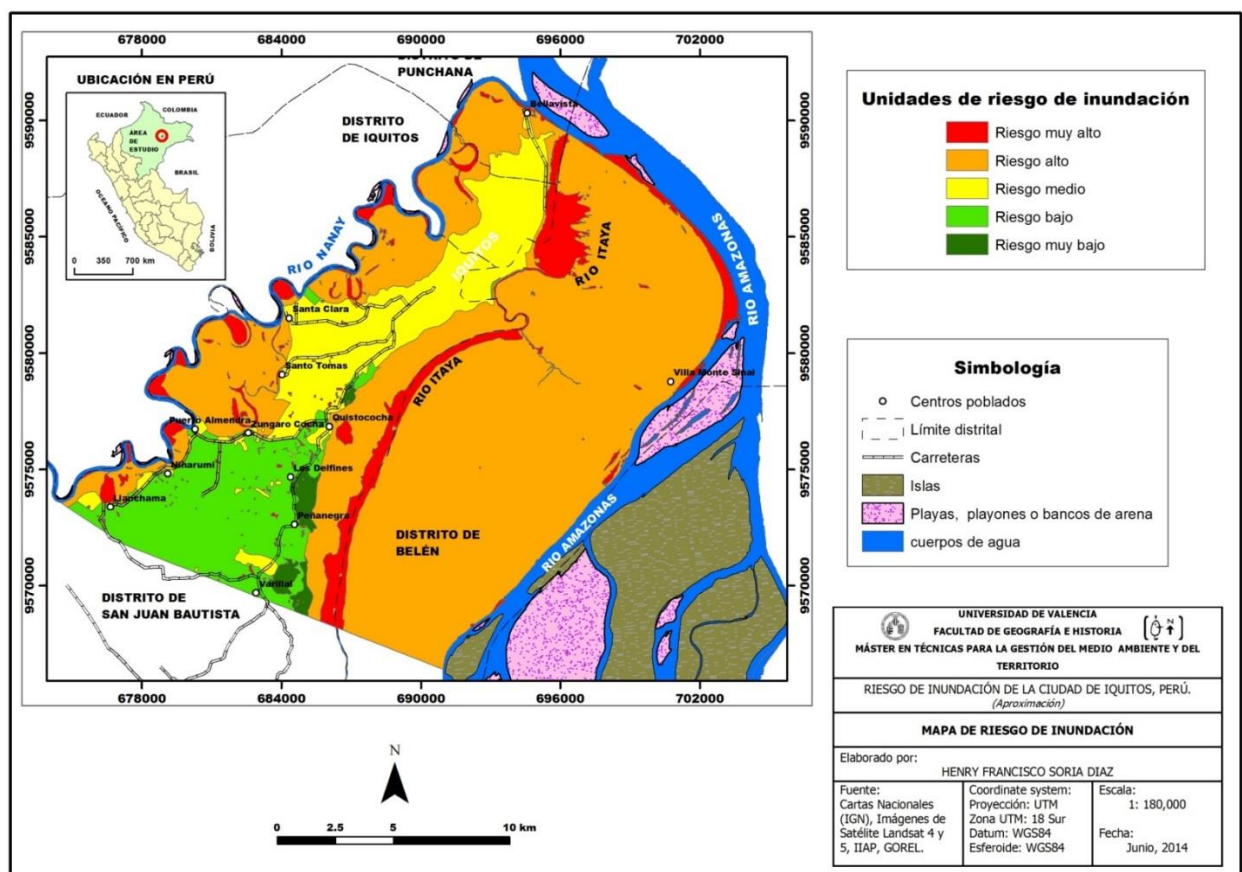


Figura 5. Cartografía de riesgo de inundación del área de estudio.

DISCUSIÓN

Peligro de inundación

La unidad de peligro de inundación alto es el que más predomina (23 837,88 ha), lo cual representa el 64,77% del área de estudio, constituido por depósitos fluviales y/o aluviales, complejos de orillares y terrazas bajas; mientras que el menor predominio lo tiene la unidad de peligro de inundación muy bajo (470,16 ha), representado el 1,28% del área de estudio, caracterizado por abarcar áreas como las colinas bajas y/o lomadas.

Además, los cortes topográficos transversales del área de estudio representan una aproximación relativa sobre la configuración actual del terreno (debido a los errores de altimetría del ASTER GDEM), donde la ciudad de Iquitos se ubica a una altitud promedio > 120 m.s.n.m. (excepto las zonas que se inundan), y las áreas adyacente a ella se encuentran a una altitud promedio \leq 90 m.s.n.m., lo que corresponde a los complejos de orillares y terrazas bajas. Sumado a ello, los registros históricos de crecidas del río Amazonas corroboran que las áreas periféricas de la ciudad (excepto hacia el área de influencia de la carretera Iquitos-Nauta) se inundan durante la época de crecidas (marzo, abril y mayo), siendo entre ellos el más desastroso el 2012.

Vulnerabilidad

Las unidades con muy baja vulnerabilidad están representados por los cuerpos de agua (cauce, cochas y/o meandros abandonados) y depósitos fluviales y/o aluviales (explayamientos y/o barras), debido a la deficiente población e infraestructuras; las unidades con baja vulnerabilidad están constituidos mayormente por los bosques secundarios, cultivos de frutas y subsistencia (terrazas bajas), donde la vulnerabilidad sigue sin tener mayor importancia; aquellas unidades de media vulnerabilidad están representados por aquellos sectores donde rigen la actividad piscícola, crianza extensiva de ganadería, aves de corral, porcinos y otros, localizados en el área de influencia de la carretera Iquitos-Nauta, carretera Zungarococha, carretera Santo Tomás y Santa Clara, y un pequeño sector del distrito de Punchana; y finalmente, las unidades con alta y muy alta vulnerabilidad están constituidos por aquellos usos urbanos, expansión

urbanística, industriales, usos rurales y usos de esparcimiento y recreación, debido a su alto índice poblacional, y por la presencia de infraestructuras.

Las áreas inundables que rodean la ciudad de Iquitos, constituyen con ella una unidad ambiental indesligable, calificadas por el Plan Director vigente como Zona de Protección Ecológica (ZPE) de la ciudad. Sin embargo, viene siendo intervenida de manera progresiva, primero con fines de usos agrícolas temporales y posteriormente como asentamientos humanos precarios; la presión demográfica sobre la ciudad, "extiende o expande" la ciudad hacia sus costados (MPM, 2010).

Riesgo de inundación

Las unidades de riesgo muy alto son aquellas áreas de peligro como los cuerpos de agua (ríos, cochas y/o meandros abandonados), depósitos fluviales y/o aluviales (explayamientos y/o barras), y donde la ocupación humana es muy baja; las unidades de riesgo alto considera las áreas de peligro como los complejos de orillares y terrazas bajas, y donde la ocupación humana sigue siendo baja; las unidades de riesgo medio señala aquellas áreas como las terrazas medias, en especial la ciudad de Iquitos y las zonas de expansión urbana, usos industriales, rurales y recreación, localizados en el área de influencia de la carretera Iquitos-Nauta y las carreteras de Zungarococha, Santo Tomás y Santa Clara, debido a su elevado índice de ocupación humana; y finalmente, las unidades de riesgo de inundación bajo y muy bajo, son aquellas áreas adyacente de la carretera Iquitos-Nauta y la carretera Zungarococha, caracterizados por ser terrazas medias y altas, incluido colinas bajas, por lo que son considerados como áreas sin riesgo. Además, para la realización de la matriz prevaleció el criterio de la cartografía de peligro de inundación, debido a las condiciones del terreno.

La presente cartografía de riesgo es solo una aproximación, por lo que necesita más estudios de detalle para que la evaluación sea más concreta y precisa. Además de contar con fuentes de poca precisión (como el MDT), hace que solo sirva para hacer un diagnóstico general, por lo que se propone como estudios de base.

La historia de la ciudad de Iquitos y el departamento de Loreto señala que los desastres naturales más frecuentes han sido originados por desborde de los ríos en época de crecidas (marzo, abril y mayo), y la erosión ribereña causada por el cambio de curso de la dinámica fluvial, afectando poblaciones asentadas en sus orillas y perjudicando infraestructura física como centros educativos, puestos de salud, viviendas y áreas de cultivo. Las lluvias torrenciales y la deforestación en las cabeceras de cuencas, originan el incremento de las crecidas (caudales y sedimentos) de los ríos amazónicos, donde la población de bajos recursos económicos es afectada por la inseguridad alimentaria y la calidad de vida domiciliaria, durante y después de dicho evento natural.

Por eso mismo, la propuesta es establecer el crecimiento urbano de la ciudad de Iquitos por el área de influencia de la carretera Iquitos-Nauta, por tener condiciones de terreno de relieve alto, tales como las terrazas medias y altas, y colinas bajas. Asimismo, el trabajo propone el traslado en los próximos veinte años de las poblaciones que viven en las periferias de la ciudad a lugares con condiciones sin riesgo de inundación. Las áreas ideales para dirigir la expansión urbana es direccionar hacia el área de influencia de la carretera Iquitos-Nauta y la carretera de Zungarococha. La finalidad es fomentar el crecimiento urbano, específicamente, hacia los centros poblados de Quistococha, Los Delfines, Peñanegra y Varillal (carretera Iquitos-Nauta), y todo el sector de los centros poblados de Zungarococha (carretera Zungarococha-Puerto Almendras), ya que a partir de cierto límite se encuentran los predios (sede administrativa, facultades y escuelas profesionales) de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP).

CONCLUSIONES

El presente trabajo aplicó una metodología de otra realidad (ambiente mediterráneo) para determinar la cartografía del riesgo de inundación en ambientes tropicales. Sin embargo en Iquitos se parte de una falta de precisión de las fuentes (como el MDT), que hace que los resultados no lleguen más allá de un diagnóstico general. La metodología es adecuada y aplicable, pero la falta de precisión de las fuentes y carencia de datos

hidrometeorológicos se propone para estudios de base. No obstante, nos ha permitido obtener una cartografía de diagnóstico de riesgo de inundación, que sirve para orientar la ordenación territorial de la ciudad de Iquitos.

En el MDT se ha identificado la actual configuración topográfica del área de estudio (aunque con falta de precisión y/o errores de altimetría del ASTER GDEM), donde las periferias de la ciudad (excepto por el área de influencia de la carretera Iquitos-Nauta) se inundan durante la época de crecidas (marzo, abril y mayo), lo cual señala como áreas más propensas a inundarse aquellas que están a una cota promedio ≤ 90 m.s.n.m.

En base a la presente cartografía de riesgo (aproximación), se propone establecer el crecimiento urbano de la ciudad de Iquitos hacia el área de influencia de la carretera Iquitos-Nauta, por tener condiciones de relieve alto, tales como las terrazas medias, altas, y colinas bajas, por el período de veinte años (visión futura).

AGRADECIMIENTOS

Al Programa Nacional de Becas y Crédito Educativo (PRONABEC), Universidad de Valencia (España), Servicio Nacional de Hidrología y Meteorología (SENAMHI) y al Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP) por el apoyo y realización del presente trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adger NW. 2006. Vulnerability. *Global Environmental Change* 16, 268-281.
- Arellano J. 2012. La creciente del Amazonas y las inundaciones en Loreto. Disponible en: <http://arellanojuan.com/la-creciente-del-amazonas-y-las-inundaciones-en-loreto/> [Consultado Junio 19, 2014].
- ASTER GLOBAL DIGITAL ELEVATION MODEL- ASTER GDEM- Y MINISTERIO DE ECONOMÍA, COMERCIO E INDUSTRIA DE JAPÓN. 2014. Modelos Digitales de Terreno (MDT). Disponible en: <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/> [Consultado Junio 19, 2014].
- Birkmann J. 2006. *Measuring Vulnerability to Natural Hazards— Towards Disaster-Resilient Societies*. UNU Press, Tokyo, New York. 98 pp.

- Birkmann J. 2007. Risk and vulnerability indicators at different scales: Applicability, usefulness and policy implications. *Environmental Hazards* 7, 20-31.
- Camarasa AM, Soriano J. 2008. Peligro, vulnerabilidad y riesgo de inundación en ramblas mediterráneas: Los llanos de Carraixet y Poyo. Cuaderno de Geógrafos N° 83:001-026. Valencia, España. 26 pp.
- Camarasa AM, Soriano J. 2012. Flood risk assessment and mapping in peri-urban Mediterranean environments using hydrogeomorphology. Application to ephemeral streams in the Valencia region (eastern Spain). *Landscape and Urban Planning*, 104(2), 189-200.
- EM-DAT: OFDA/CRED International Disaster Database. 2009. Université Catholique de Louvain, Brussels. Disponible en: <http://www.emdat.be> [Consultado Mayo 19, 2014].
- GOBIERNO REGIONAL DE LORETO (GOREL). 2010. Diagnóstico del Cambio Climático de la Región Loreto. Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente. Informe Técnico. Iquitos, Perú. 108 pp.
- Hewlett JD. 1969. Principles of forest hydrology. The University of Georgia Press. Athens, Ga. 183 pp.
- ICSU (INTERNATIONAL COUNCIL FOR SCIENCE). 2009. Understanding and managing risk associated with natural hazards: an integrated scientific approach in Latin America and the Caribbean. Regional Office for Latin America and the Caribbean, ICSU. 39 pp.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA AMAZONÍA PERUANA (IIAP) & PROYECTO ARAUCARIA AMAZONAS-NAUTA. 2002. Zonificación Ecológica Económica del área de influencia de Iquitos-Nauta 2000-2001. Informe técnico. Iquitos, Perú. 102 pp.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL DEL PERÚ (IGN). 2014. Datos geográficos del Perú a una escala de 1:100 000. Disponible en: www.ign.gob.pe [Consultado Marzo 22, 2014].
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA (INEI). 2008. Datos de censo poblacional de la ciudad de Iquitos 2007. Iquitos, Perú. 1 pp.
- Marengo AJ. 1998. Climatología de la zona de Iquitos. Capítulo 3. En: Geología y desarrollo amazónico: estudio integrado en la zona de Iquitos. Perú, Kalliola, R. y Paitán, S. (eds.). *Annales Universitatis Turkuensis Ser A II* 114:35-57.
- MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE MAYNAS (MPM). 2010. Plan de Desarrollo Urbano Sostenible de Iquitos 2011-2021. Apoyo: Municipalidad Provincial de Maynas, Corporación Andina de Fomento, Centro Interuniversitario ABITA-Sede Università Degli Studi Di Firenze & Asociación Civil ABITA-Perú. Iquitos, Perú. 171 pp. Disponible en: <http://www.munimaynas.gob.pe/transparenciae/PDU%20maynas/PDU%20Tomo%201.pdf> [Consultado Junio 18, 2014].
- NRC (National Research Council). 2007. Tools and methods for estimating populations at risk from natural disasters and complex humanitarian crises. Committee on the Effective Use of Data, Methodologies, and Technologies to Estimate Subnational Populations at Risk, NRC. The National Academies Press. Washington, D.C.
- Pacheco C. 2009. Identificación de riesgos por inundación en Tlapa, Guerrero. Doctoral dissertation, Tesis Maestría. CIGA-UNAM. México. 96 pp. Formato PDF. Disponible en: http://www.ciga.unam.mx/ciga/images/stories/tesis/c_pacheco.pdf [Consultado Junio 21, 2014].
- Rasanen M, Linna A, Irion G, Rebata HL, Vargas HR, Wesslingh F. 1998. Geología y Geoformas de la zona de Iquitos. En Kalliola, R. y Flores Paitan S. (Eds). *Geoecología y Desarrollo Amazonico: Estudio integrado en la zona de Iquitos, Peru. Annales universitatis turkuensis ser A II* 114: 59 - 114 p.

- Rodrich R. 2012. La peor inundación en la historia de Iquitos. Disponible en: <http://rodrigorodrich.wordpress.com/2012/05/14/la-peor-inundacion-en-la-historia-de-iquitos/> [Consultado Junio 19, 2014].
- Rodríguez M. 1994. Crecimiento urbano de Iquitos: Condicionamientos estructurales en la década del 70 y sus perspectivas. Documento Técnico N° 8. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Iquitos, Perú. 109 pp. Disponible en: www.iiap.org.pe/Upload/Publicacion/S_T008.pdf [Consultado Junio 21, 2014].
- Schanze J. 2006. Flood risk management; a basic framework. En: J. Schanze et al. (editores.). 2006. Flood Risk Management: Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures: 1–20 p.
- SERVICIO DE HIDROGRAFÍA Y NAVEGACIÓN DE LA AMAZONÍA (SEHINAV). 2012. Carta de inundación histórica 2012. Disponible en: <https://www.dhn.mil.pe/shna/inundacion/InundacionIquitos.pdf> [Consultado Mayo 18, 2014].
- SERVICIO DE HIDROGRAFÍA Y NAVEGACIÓN DE LA AMAZONÍA (SEHINAV). 2013. Datos de niveles de crecientes o crecidas (m.s.n.m.) del río Amazonas del período 1983-2011. Iquitos, Perú. 2 pp.
- SERVICIO DE HIDROGRAFÍA Y NAVEGACIÓN DE LA AMAZONÍA (SEHINAV). 2006. Variaciones morfológicas y antecedentes de crecientes históricas del río Amazonas. Dirección de Hidrografía y Navegación. Marina de Guerra del Perú. Iquitos, Perú. 38 pp. Disponible en: <https://www.dhn.mil.pe/shna/descarga/dinamica.pdf> [Consultado Mayo 18, 2014].
- SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA (SENAMHI). 2013. Datos de niveles de crecientes o crecidas (m.s.n.m.) del río Amazonas del período 1983-2011. Iquitos, Perú. 2 pp.
- UN/ISDR (United Nations-International Strategy for Disaster Reduction). 2004. Living with Risk: a global review of disaster reduction initiatives 2004 version. Inter-Agency Secretariat of the International Strategy for Disaster Reduction. Ginebra.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS) Y NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). 2014. Imágenes de satélite Landsat 4 y 5. Disponible en: www.glovis.usgs.gov [Consultado Mayo 12, 2014].