

# Conocimiento de la dinámica fluvial como herramienta para la planificación territorial. Caso río Volcán, Buenos Aires, Puntarenas, Costa Rica

Knowledge of river dynamics as a tool for planning. Case Volcán River, Buenos Aires, Puntarenas, Costa Rica

*Laura Segura-Serrano<sup>1</sup>*

*Fecha de recepción: 24 de octubre del 2013  
Fecha de aprobación: 26 de enero del 2014*

Segura-Serrano, L. Conocimiento de la dinámica fluvial como herramienta para la planificación territorial. Caso río Volcán, Buenos Aires, Puntarenas, Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. VI Encuentro de Investigación y Extensión. Pág 12-21.

<sup>1</sup> Ingeniera Agrícola. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.  
Teléfono: (506)25502271. Correo Electrónico: lsegura@itcr.ac.cr.

## Palabras clave

Inundaciones; dinámica fluvial; planificación urbana.

## Resumen

Costa Rica es un país con alta oferta hídrica y una extensa red fluvial. Sin embargo el estudio de la dinámica de los ríos es rara vez considerado como herramienta para la toma de decisiones en los procesos de planificación urbana. Esta situación ha provocado consecuencias negativas a nivel de riesgo y a nivel ambiental.

A raíz de la inquietud de la comunidad de Volcán de Buenos Aires en Puntarenas, Costa Rica por validar el mapa de riesgos de la Comisión Nacional de Emergencias (CNE) a través de un estudio técnico específico para el río Volcán y en el marco del proyecto Plan de Gestión de la Cuenca del río Volcán, es que se realiza un estudio hidráulico del río para definir las áreas con mayor amenaza ante eventos con diferentes caudales. La finalidad es que la Municipalidad de Buenos Aires conozca estas zonas amenazadas y las tome en cuenta a la hora de conceder el uso de suelo y que la comunidad esté consciente de las áreas donde no es recomendable extender el desarrollo.

## Key words

Floods; river dynamics; urban planning.

## Abstract

Costa Rica has a high water supply and an extensive hydrographic network. Nevertheless studies of rivers dynamics are not considered as a tool for decision making in urban planning. This has led to negative consequences on environmental risks.

The community of Volcán, Buenos Aires, Puntarenas, Costa Rica wanted to validate the risk map of the National Emergency Commission (CNE) through a technical study. Through the project "Management Plan river basin Volcán" we were able to study the hydraulic response of the river Volcán to different flow data. The study revealed which were the areas with the greatest flood threat.

This information is available to assist the decision making of the Town Hall of Buenos Aires and the community.

---

## Introducción

Costa Rica es considerado un país con alta oferta hídrica. De acuerdo con el último balance hídrico nacional anual, elaborado en el año 2008, Costa Rica dispone de un volumen de agua de 113,1 km<sup>3</sup> al año, de los cuales se estima que 38 km<sup>3</sup> se infiltran produciendo la recarga de acuíferos. Según estos datos, Costa Rica posee un capital de 24 784 m<sup>3</sup> por persona por al año. GWP (2011), siendo el umbral de presión hídrica, según la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 1700 m<sup>3</sup> por persona al año.

De la información previa se destaca que 2/3 del volumen de agua disponible se encuentra como

agua superficial; por ello y gracias a su topografía es que el país cuenta con una amplia red hídrica. Sin embargo, es evidente el desconocimiento generalizado del comportamiento de los ríos que atraviesan el territorio; aunado a la falta de consideración de este en la planificación territorial.

Muestra de lo anterior es la escasa información disponible para la toma de decisiones que se traduce en contaminación y sobreuso de los cuerpos de agua, fallas de infraestructura hidráulica, intervenciones injustificadas de los cauces y la poca capacidad para definir criterios legales que especifiquen, con un alto grado de confianza, el distanciamiento de las construcciones a las márgenes de los ríos.

## La dinámica fluvial

Según Ollero (sf), la dinámica fluvial es un conjunto de procesos complejos activos y metamorfosis de los sistemas fluviales tanto en su componente espacial como en su evolución temporal; así mismo, la morfología fluvial es la subdisciplina de la dinámica fluvial que estudia y analiza las formas fluviales resultantes de los procesos fluviales (principalmente erosión, transporte y sedimentación).

Los ríos son entidades dinámicas que evolucionan por sí mismos (factores hidrológicos, meteorológicos y geomorfológicos); además sus cambios se ven afectados por la intervención humana (factores antrópicos).

Un error muy común es creer que los ríos son simples cuerpos de agua, desligados del ecosistema y que se pueden hacer alteraciones en el cauce, variar el caudal o modificar la calidad del agua, sin crear impactos significativos al ambiente.

La interrupción y la contaminación de los ríos pueden modificar y alterar el flujo normal del ciclo hidrológico, provocando serios trastornos en el clima de la tierra, en los procesos isostáticos y en la conservación de diversos ecosistemas (Campoblanco y Gomero, 2000).

## Aspectos básicos a contemplar y herramientas para estudiar la dinámica fluvial

Para lograr una comprensión del comportamiento de los ríos, es necesario hacer una definición y estudio hidrológico de la cuenca del río en cuestión, este estudio debe incluir el régimen fluvial (comportamiento del caudal según la época del año). Así mismo, se debe estudiar el cauce, su forma, su perfil transversal y longitudinal y los materiales de los cuales está constituido. A su vez hay que definir las planicies de inundación o áreas inundables.

Actualmente, existen modelos matemáticos que estiman el comportamiento de los ríos dependiendo de sus características morfológicas, caudal y estructuras adyacentes.

Hay modelos hidráulicos relativamente sencillos que brindan la altura del agua en el cauce según el caudal, hasta otros más complejos que permiten

calcular la dirección que tomará el agua y el nivel fuera del cauce.

Con los datos obtenidos, se pueden crear mapas de las con las áreas vulnerables y hacer el análisis de riesgos.

## Planificación territorial

La planificación territorial se entiende como una "herramienta dirigida a la ordenación del territorio sobre la base de un análisis técnico, un consenso ciudadano y un compromiso político. El objetivo es organizar la ocupación racional del suelo, respetando y garantizando un desarrollo humano sostenible" (Nicola, 2008).

Al investigar sobre el modelo de desarrollo urbano en Costa Rica, no se nota un panorama definido en cuanto a gestión del territorio y, en muy pocos casos, el estudio de la dinámica fluvial se contempla como parte de los análisis técnicos para definir el uso de suelo.

Arrieta (2010) menciona que, desde los años ochentas hasta la época actual, no estamos frente a una propuesta metodológica seria, sino de cara al uso de guías que discutiblemente se podrían llamar metodologías para diseñar proyectos de planificación. Por lo tanto, no hay procesos sistematizados para la toma de decisiones.

El problema se agrava cuando, sin criterios técnicos y por mera percepción, se crea un marco jurídico que define qué áreas son inundables o no, restringiendo las posibilidades de desarrollo de comunidades en las que, tal vez, el riesgo de inundación no es tan grande como se cree, o facilitando el desarrollo en otras, donde el riesgo es altísimo y no se ha calculado porque no se ha conocido un evento de inundación a gran escala.

## Algunas consecuencias del desconocimiento de la dinámica fluvial en la planificación territorial

Las consecuencias derivadas de definir el uso de suelo, sin tomar en cuenta el comportamiento de los ríos, podrían categorizarse en consecuencias debido al riesgo de inundación y en consecuencias ambientales.

El riesgo se define como:

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad} \quad (1)$$

Donde:

Amenaza=Probabilidad de un evento con una cierta magnitud.

Vulnerabilidad= grado de destrucción.

El grado de destrucción está en función de la magnitud del evento, y el tipo de elementos bajo riesgo.

Si no se conoce la probabilidad de ocurrencia de un evento determinado y la ubicación de los elementos bajo riesgo, es imposible calcular el riesgo de inundación.

Las consecuencias ambientales desgraciadamente, casi nunca se contemplan una vez que la población ha sufrido el embate de las inundaciones. Cuando las márgenes y las planicies de inundación de los ríos han sido invadidas, estas inevitablemente se degradan. Es imposible implementar medidas estructurales para la reducción del riesgo, sin provocar una alteración en el equilibrio del río. Es así como da inicio una cadena de obras tales como construcción de diques, dragado, rectificación de meandros, entre otras.

Como el equilibrio del río es perturbado al modificar la pendiente y la velocidad del flujo, empiezan los cambios en el transporte de sedimentos, lo que provoca erosión o sedimentación, alterando la calidad del agua, dañando los ecosistemas fluviales y trasladando los problemas de inundación a otros sectores.

### Caso: río Volcán, Buenos Aires, Costa Rica

El interés por estudiar el comportamiento hidráulico del río Volcán, surge a raíz de la inquietud de los vecinos de Volcán por validar la información de los mapas de amenazas de la Comisión Nacional de Emergencias (CNE), que indica que la comunidad se encuentra dentro de un área con amenaza de inundación. Debido a esto, algunos vecinos afirman haber tenido dificultad en la tramitación de los permisos de construcción. Es así como en el marco del proyecto Plan de Gestión de la Cuenca del Río Volcán, se logra empezar el estudio hidráulico del segmento del Río aldeaño a la comunidad.

### Antecedentes

#### Subcuenca del Río Volcán

La subcuenca del río Volcán se ubica en la zona de Buenos Aires de Puntarenas (hojas cartográficas Durika, Buenos Aires y General). Cuenta con un área aproximada de 230 km<sup>2</sup> y es conformada por el río Volcán y sus dos principales tributarios, los ríos Ángel (longitud de 17 km) y Cañas (longitud aproximada de 22,5 km) (McConnell, 2008).

Las partes más altas de la cuenca son áreas protegidas del Parque Internacional La Amistad (PILA); mientras que en la zona de amortiguamiento del parque hay una fuerte presencia de ganadería de pastoreo, así como el cultivo del café. Gran parte de la cuenca (zonas más bajas y planas) es propiedad de la corporación piñera Pindeco (Del Monte), y está siendo utilizada para la producción de piña. Esta actividad provee de empleo a gran parte de la población. También hay presencia de caña de azúcar, cultivada por la cooperativa regional Coopeagri. Existen varias comunidades dentro de la subcuenca: Volcán, Altamira, Cordoncillo, Peje, Utrapez, Santa María, Santa Marta, Guadalajara, San Rafael y Santa Rosa (McConnell, 2008).

#### El río Volcán

El río Volcán pertenece a la Cuenca del Térraba. Nace en la cordillera de Talamanca a casi 3000 metros sobre el nivel del mar y recorre aproximadamente 30 km hasta desembocar en el río General (McConnell, 2008). Es un río que presenta una morfología trezada, lo que indica que no posee un solo cauce y que varía a lo largo de su recorrido y con las crecidas.

#### Estudios previos

Debido a la gran importancia hídrica de la cuenca del río Térraba, esta área ha sido ampliamente estudiada por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).

No obstante, no se han evidenciado estudios hidrodinámicos del río Volcán.

#### Objetivo del análisis hidráulico

##### Objetivo general

Estimar a través del modelo hidráulico HEC-RAS el caudal pico a partir del cual la comunidad de Volcán se vería afectada por inundaciones.

### Objetivos específicos

- Informar a la comunidad de Volcán y a las autoridades correspondientes, los resultados de la modelación hidráulica.
- Recomendar acciones a seguir para reducir la vulnerabilidad de la comunidad ante las inundaciones.

### Información base

#### Datos hidrológicos

Debido a los constantes cambios en la cobertura vegetal de la subcuenca del río Volcán, así como la evidencia de los cambios del régimen de lluvias y de caudal en los últimos años; se decidió no modelar caudales según diferentes periodos de retorno. Sin embargo, se tiene como referencia del ICE, caudales de hasta 10 m<sup>3</sup>/s por km<sup>2</sup> para las áreas dentro de la cuenca del río Térraba para 100 años de periodo de retorno, esto correspondería a 2300 m<sup>3</sup>/s en la subcuenca del río Volcán. Así mismo, para el río Volcán se estima un caudal de 900 m<sup>3</sup>/s para 50 años de periodo de retorno.

#### Secciones transversales

Se hizo un levantamiento topográfico de 7 secciones transversales. Las secciones se tomaron de aguas abajo hacia aguas arriba, y de izquierda a derecha.

La sección 1 corresponde a la sección aguas abajo del segmento estudiado e inicia en las coordenadas (560939,203, 1017998,95) esta ubicación corresponde aproximadamente de la esquina sureste de la plaza de deportes, 100 m este.

La sección 7 es la sección aguas arriba del levantamiento; inicia en las coordenadas (561307,698, 1020677,674) y está ubicada aproximadamente 2300 m aguas arriba de la sección 1.

Las secciones tienen un ancho que varía entre 139-235 m.

En el cuadro 1 Se muestran las distancias entre secciones transversales.

### Consideraciones para modelación

#### Metodología utilizada

Para que un modelo de cualquier tipo sea confiable es necesario un proceso de calibración. Esto quiere decir que se necesita comprobar que los resultados del modelo sean consistentes con la realidad. Para ello, las alturas alcanzadas por el agua en las secciones transversales con determinado caudal tienen que ser similares en la realidad y en el modelo.

En este caso, para realizar la calibración, en el momento en que se levantaron las secciones transversales, se midió la altura del agua en determinados puntos de estas. Véase cuadro 2. Paralelamente, se hizo un aforo en la sección 2. Véase cuadro 3.

Se corrió el modelo de tal forma que el caudal del aforo (3,65 m<sup>3</sup>/s) junto con las alturas del agua coincidieran tanto como fuera posible con las alturas reales.

Se utilizó una condición de flujo permanente debido a que se están simulando crecidas y un régimen de flujo mixto.

Cuadro 1. Separación entre secciones transversales.

Secciones	Distancias (m)		
	Banco Izquierdo	Canal	Banco Derecho
7-6	1 115,59	1 098,37	1 082,66
6-5	272,55	322,47	374,14
5-4	173,88	155,8	137,73
4-3	293,99	324,84	358,13
3-2	166,24	139,84	118,01
2-1	235,67	241,47	247,8

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 2. Elevación del nivel del agua en las secciones transversales.

Sección	Margen Izquierda		Margen Derecha	
	Punto x (m)	Elevación del nivel del agua (m)	Punto x (m)	Elevación del nivel del agua (m)
7	46,779	485,445	57,459	485,727
6	53,280	438,073	71,820	438,100
5	116,500	428,000	138,634	428,030
4	83,090	425,450	104,540	424,690
3	97,016	417,248	108,440	417,248
2	67,0771	413,1148	84,7	413,039
1	53,73	409,257	78,52	409,257

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 3. Aforo realizado en el río Volcán Mayo 2013.

Sección	Velocidad (m/s)		Ancho sección de aforo (m)	Profundidad (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /s)
	0,6 D	Media				
3	0	0,00	1	0,4	0,200	0,000
4	0	0,00	1	0,007	0,007	0,000
5	0	0,00	1	0,3	0,300	0,000
6	0.1	0,05	1	0,5	0,500	0,025
7	0.3	0,20	1	0,5	0,500	0,100
8	0.5	0,40	1	0,9	0,900	0,360
9	0.9	0,70	1	0,7	0,700	0,490
10	0.9	0,90	1	0,7	0,700	0,630
11	1	0,95	1	0,8	0,800	0,760
12	0.8	0,90	1	0,6	0,600	0,540
13	0.4	0,60	1	0,7	0,700	0,420
14	0.5	0,45	1	0,52	0,520	0,234
15	0	0,25	1	0,37	0,370	0,093
16	0	0,00	1	0,23	0,230	0,000
17	0	0,00	1	0,25	0,250	0,000
18	0	0,00	1	0,2	0,100	0,000
Total					7,38	3,651500

Fuente: Ing. Andrea Tapia, Ing. Mario Zúñiga.

La “n” de Manning sugerida por la literatura y corroborada en la calibración fue 0,08 para el cauce y 0,45 para las planicies de inundación.

Se utilizó la pendiente normal (m) como condición de frontera, aguas arriba  $m=0,0439$  y aguas abajo  $m=0,0147$ . También, se hizo una corrida indicándole la altura del agua conocida para el caudal de aforo. De ambas corridas, se obtuvieron resultados similares.

Posteriormente, se empezó a correr el modelo con diferentes caudales hasta sobrepasar los bancos de las secciones transversales.

### Limitaciones del modelo

El HEC-RAS trabaja como un modelo en 1D (unidimensional). Por lo tanto, no se toman en cuenta gradientes de velocidades marcados, flujos transversales o zonas de recirculación.

### Resultados de modelación

#### Calibración

Las alturas en la calibración fueron muy similares en la modelación y en la realidad. En la calibración, las alturas que no coincidieron, siempre se subestimaron. Esto sucedió en las secciones 6-4 y 3.

Por lo tanto, hay que tener en cuenta a la hora de modelar otros caudales que la altura en esas secciones en la realidad podría aumentar (ver cuadro 4).

#### Modelación en condiciones actuales

Como se explicó anteriormente se fueron modelando caudales que sobrepasaran los bancos.

A partir de un caudal de 150 m<sup>3</sup>/s ya se presentan desbordamientos en la margen izquierda de la sección 1 (ver figura 1).

Cuando el caudal se duplica (300 m<sup>3</sup>/s), se presentan desbordamientos en las secciones 1 (ambas márgenes) y en las secciones 5 y 7 en la margen derecha (ver figuras 2, 3 y 4).

En la figura 5 se observa la vista de planta del segmento modelado del río Volcán y se señalan, con cuadros rojos, las secciones que eventualmente se afectarían a partir de un caudal de 300 m<sup>3</sup>/s. Es importante rescatar que como el modelo es unidimensional no muestra el camino que seguiría el flujo una vez se salga del cauce. Sin embargo, si se siguen las curvas de nivel, el flujo desde la sección 5 tendería a moverse hacia el oeste del pueblo.

### Conclusiones

- La población de Volcán es un área con amenaza de inundación; sin embargo es posible emplear medidas no estructurales y estructurales que permitan reducir el riesgo ante inundaciones.
- Las secciones 1-5 y 7 son las que tienden a presentar problemas inclusive con los caudales más bajos 150 y 300 m<sup>3</sup>/s.
- A partir de los 300 m<sup>3</sup>/s la amenaza de la comunidad ante inundaciones se hace mayor.

Cuadro 4. Comparación entre las alturas para el caudal de aforo con la modelación y las alturas reales.

Sección	Aforo		Calibración	
	Punto x (m) Margen izquierda	Elevación del nivel del agua (m)	Punto x (m) Margen izquierda	Elevación del nivel del agua (m)
7	46,779	485,445	46,779	485,5
6	53,280	438,073	53,280	437,47
5	116,500	428,000	116,500	427,84
4	83,090	425,450	83,090	424,58
3	97,016	417,248	97,016	415,54
2	67,0771	413,1148	67,0771	413,01
1	53,73	409,257	53,73	409,07

Fuente: elaboración propia.

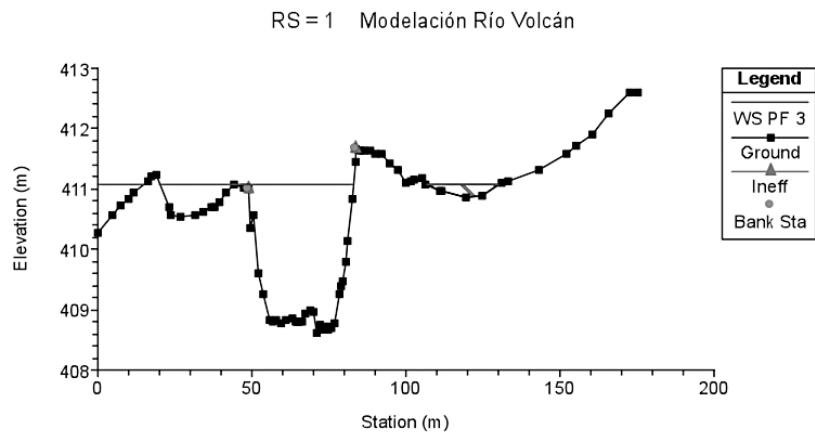


Figura 1. Sección I del río Volcán con un caudal de 150 m<sup>3</sup>/s.  
 Fuente: elaboración propia.

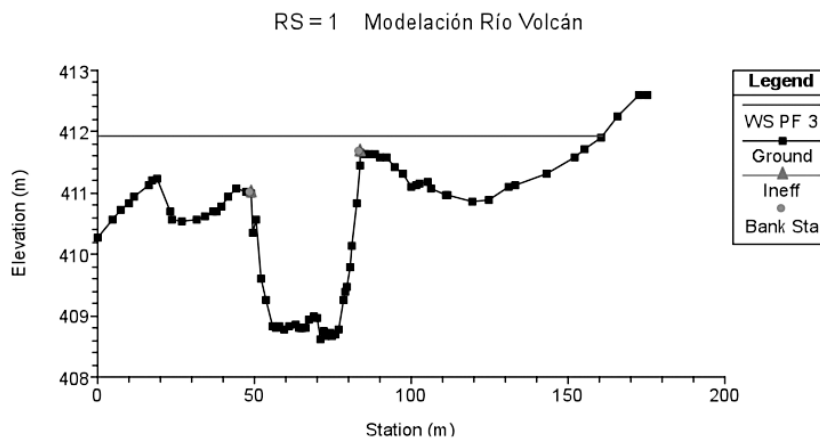


Figura 2. Sección I del río Volcán con un caudal de 300 m<sup>3</sup>/s.  
 Fuente: elaboración propia.

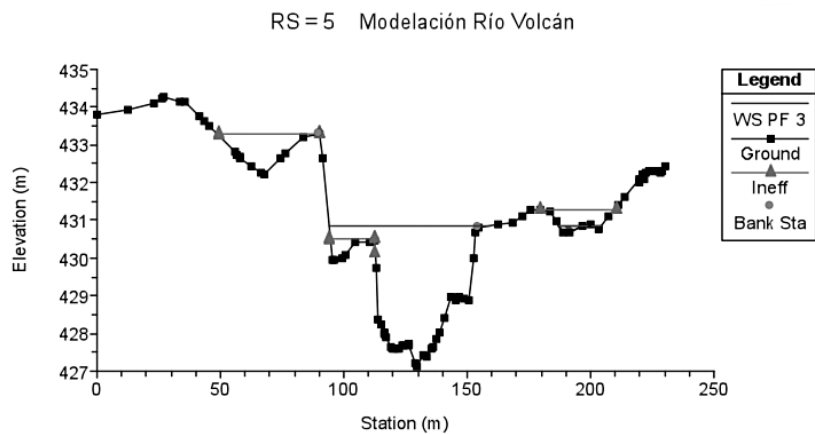


Figura 3. Sección 5 del río Volcán con un caudal de 300 m<sup>3</sup>/s.  
 Fuente: elaboración propia.



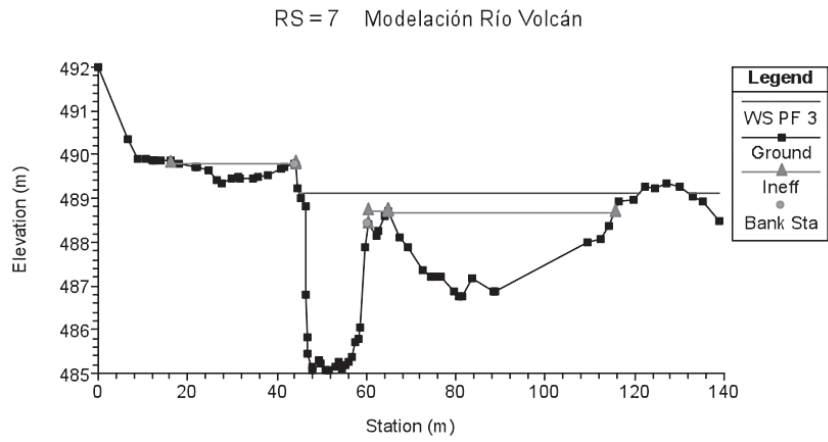


Figura 4. Sección 7 del río Volcán con un caudal de 300 m<sup>3</sup>/s.

Fuente: elaboración propia.



Figura 5. Vista de planta del segmento modelado del río Volcán.

Fuente: elaboración propia.

## Recomendaciones

- Diseñar e implementar un Sistema de Alerta Temprana SAT, basado en los resultados de la modelación.
- Implementar un modelo en 2D para definir claramente las planicies de inundación.
- Mejorar la sección hidráulica del río, eliminando desechos de construcciones ubicadas en el cauce y retirando los materiales arrastrados en las crecidas.
- Evitar las construcciones a nivel del terreno en las áreas con mayor amenaza de inundación (áreas marcadas en la figura 5). Se puede optar por construcciones en basas.

## Bibliografía

- Arrieta, O. (2010). *Ordenamiento territorial y planes reguladores: notas al margen de nuestra experiencia en la ECG- UNA*.  
Revista Geográfica de América Central, N° 44, I semestre del 2010, pp. 75-89.
- Campoblanco, H y Gomero, J. (2000). Importancia de los ríos en el entorno ambiental. *Revista del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 3(5). Recuperado de <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo>
- Global Water Partnership (GWP). (2011). *Situación de los recursos hídricos en Centroamérica: hacia una gestión integrada*. Recuperado de [http://www.gwp.org/Global/GWP-CAM\\_Files/SituaciondelosRecursosHidricos.pdf](http://www.gwp.org/Global/GWP-CAM_Files/SituaciondelosRecursosHidricos.pdf)
- McConnell, C. (2008) *Iniciativas de manejo en la subcuenca del Río Volcán, cuenca del río Grade de Térraba*. Informe de Trabajo Final de Graduación presentado a la Escuela de Ingeniería Agrícola como requisito parcial para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Agrícola. Cartago. 78p.
- Nicola, G. (2008). *La planificación territorial*. Recuperado de <http://www.gobernabilidad.cl/modules.php?name=News&file=article&sid=1692>
- Ollero, A. (sf). *Algunos apuntes sobre la dinámica fluvial: los ríos actuales como resultado de su propia libertad y de la intervención humana en sus riberas*. Obtenido desde <http://www.unizar.es/forojovent/downloads/curso/pdfs/5.pdf>