



*Modelación de un Sistema para el Control de Inundaciones, en la Planicie Aluvial del Río Lodana, Manabí-Ecuador*

*Modeling of a Flood Control System in the Lodana River Alluvial Plain, Manabí-Ecuador*

*Modelagem de um Sistema de Controle de Inundações na Planície Aluvial do Rio Lodana, Manabí-Ecuador*

Juan C. Gómez<sup>I</sup>

[jgomez1812@hotmail.com](mailto:jgomez1812@hotmail.com)

<https://orcid.org/0000-0002-1040-8574>

**Correspondencia:** [jgomez1812@hotmail.com](mailto:jgomez1812@hotmail.com)

Ciencias Ciencias Sociales y Políticas

Artículos de investigación

\***Recibido:** 16 de junio de 2021 \***Aceptado:** 31 de julio de 2021 \* **Publicado:** 10 de agosto de 2021

- I. Ingeniero Civil, Instituto de Postgrado de la Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.

## Resumen

Se establece un planteamiento metodológico para evitar y controlar las inundaciones producidas por Fenómenos climáticos torrenciales que producen aluviones y grandes movimientos de sedimentos (bajo distintas formas) son muy frecuentes, en etapa Invernal en la Parroquia Lodana del Cantón Santa Ana. Los estudios para el diseño de obras de control se realizan en general. En el presente trabajo se utilizan modelos matemáticos sencillos para la simulación hidrológica de crecidas en cuencas con escasa información hidrometeorológica y nula instrumentación. Esta metodología requiere estimar la lluvia de diseño asumiendo un nivel de riesgo, evaluar la eficiencia de distintos planes de control mediante simulaciones de distintas alternativas de obras y seleccionar aquella de menor costo. El dique lograría evitar artificialmente las inundaciones en la zona agrícola de este sector Rural.

**Palabras claves:** Inundación; lluvia de diseño; protección de zona agrícola.

## Abstract

A methodological approach is established to avoid and control floods produced by torrential climatic phenomena that produce alluvium and large movements of sediments (under different forms) are very frequent, in the Winter stage in the Lodana Parish of the Cantón Santa Ana. Studies for the design control works are carried out in general. In the present work, simple mathematical models are used for the hydrological simulation of floods in basins with little hydrometeorological information and no instrumentation. This methodology requires estimating the design rainfall assuming a level of risk, evaluating the efficiency of different control plans through simulations of different work alternatives, and selecting the one with the lowest cost. The dam would artificially prevent flooding in the agricultural area of this rural sector.

**Keywords:** Flood; designer rain; protection of agricultural area. .

## Resumo

Estabelece-se uma abordagem metodológica para evitar e controlar inundações produzidas por fenômenos climáticos torrenciais que produzem aluviões e grandes movimentos de sedimentos (sob diferentes formas) são muito frequentes, na fase de inverno na freguesia de Lodana do Cantón de Santa Ana. Estudos para o projeto os trabalhos de controle são realizados em geral.

No presente trabalho, modelos matemáticos simples são utilizados para a simulação hidrológica de cheias em bacias com poucas informações hidrometeorológicas e sem instrumentação. Esta metodologia requer estimar a precipitação de projeto assumindo um nível de risco, avaliando a eficiência de diferentes planos de controle através de simulações de diferentes alternativas de trabalho e selecionando aquela de menor custo. A barragem evitaria artificialmente as inundações na área agrícola deste setor rural.

**Palavras-chave:** Inundar; chuva de designer; proteção da área agrícola.

### **Descripcion de la realidad problemática**

En los últimos años Ecuador, la Provincia de Manabí ha sufrido periodos de lluvias intensos que han generado un sinnúmero de emergencias y damnificados, convirtiéndose en un problema de relevancia nacional, que ha llevado a reestructurar los sistemas de gestión del riesgo, protección de áreas urbanas y rurales.

Fenómenos climáticos torrenciales que producen aluviones y grandes movimientos de sedimentos (bajo distintas formas) son muy frecuentes en estas zonas, produciendo perdidas en el Sistema Agrícola, Habitacional e inclusive daños a comunidades, recintos o ciudades.

### **Justificacion del problema**

Mediante esta modelación se aplicará una metodología de estudio de cuencas, mediante modelos matemáticos que permitirán el diseño de obras de control de aluviones.

Que servirá de control de inundaciones producidas en la estación invernal del área de influencia del Rio Lodana, evitando que grandes áreas de cultivo agrícolas, viviendas e infraestructura vial sufran daños, y poder evitar el gasto económico que afectaría la condición humana y social de la Provincia y sus comunas.

### **Formulacion del problema**

Que características o especificaciones deberían tener la modelación de un sistema para el control de inundaciones en la planicie del rio Lodana.

## **Hipotesis**

La modelación de un sistema hidráulico de la planicie aluvial del río Lodana, permitirá controlar las inundaciones en el medio urbano rural de esa localidad.

Se trata en general de pequeñas y medianas cuencas (menores a 50 km<sup>2</sup>) de meseta que desaguan en la llanura aluvial de los valles productivos del Sitio Lodana y sus alrededores.

## **Objetivos: generales y específicos**

### **General**

Modelar un sistema de control, en la planicie aluvial del Río Lodana. (Manabí, Ecuador). El objetivo primordial de este trabajo es aplicar una metodología de estudio de cuenca del Río Lodana mediante modelos matemáticos que permiten el diseño de obras de control de aluviones.

### **Específicos**

La utilización de modelos matemáticos representa un avance en las metodologías aplicadas actualmente al estudio de cuencas aluvionales

Los valores del método número de curva CN, característicos representan suelos con bajo umbral de escorrentía, con valores próximos a los estimados calculados.

Mediante simulaciones con el método se obtienen hidrógramas de crecida para distintas alternativas de obras de control. La selección del mejor plan de control se realiza con criterios de eficiencia en el control y economía del conjunto de obras.

Las obras realizadas de acuerdo a esta metodología, han dado buenos resultados en el control de aluviones, aunque se estima que aún no han trabajado bajo condiciones de diseño.

La ausencia de información espacial de tormentas y de aforos, características de estas regiones poco pobladas, impide el uso de modelos distribuidos y técnicas más precisas que requieren mayor información.

## **Materiales y metodos**

En el sector de esta Microcuenca se identifican dos unidades de características morfológicas bien definidas: valles fluviales y zonas colinadas. Algunos procesos de hundimiento y levantamiento

ligados a la tectónica del cuaternario han permitido la formación de terrazas aluviales a lo largo de los valles y por lo general se encuentran disectadas por la erosión fluvial reciente.

El Río Lodana, situado en la Parroquia Lodana del cantón Santa Ana, se caracteriza por presentar diferentes tipos de rocas de edad terciaria, dispuestos sobre basamento de rocas volcánicas sedimentarias de edad cretácica, que afloran en diferentes sectores de la Cordillera Costera; también existen depósitos sedimentarios cuaternarios distribuidos en las partes bajas del sector que conforman los niveles actuales de depósitos aluviales a lo largo de los ríos y esteros del cantón.

La precipitación anual media oscila entre 529,40 a 1000 mm, con lluvias distribuidas en invierno y verano, el desarrollo de la vegetación es abundante ya que es una zona netamente ganadera y agrícola.

En los valles predominan Entisoles de distintas texturas aptos para la realización de la actividad agrícola con suministro de riego. Alfisoles que son suelos formados en superficies suficientemente jóvenes. Su régimen de humedad es tal que son suelos capaces de suministrar agua a las plantas mesófilas durante más de la mitad del año o por lo menos durante más de tres meses consecutivos a lo largo de la estación de crecimiento.

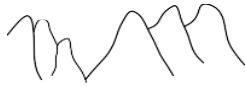



La morfología de los cursos fluviales es de tipo braided (sinuosidad  $<1,5$  de acuerdo a la clasificación de (Leopold et al 1964), típicos de clima áridos, con descargas extremas y de rápida variación y vegetación escasa. Transportan gran cantidad de materiales como carga de fondo que, junto con la falta de competencia local de la corriente por pérdida de caudal y fluctuación de descarga, serían los factores principales en la formación típicas de barra de arenas o gravas (Fahnestock, 1963).

Su característica principal es la unidad geométrica, estas corrientes se caracterizan por una sinuosidad baja (menor a 1,5) y multiplicidad 1, es decir, un único canal. Son muy inestables, tendiendo a evolucionar a otros tipos de río. Tienen caudal de alta energía y gran capacidad erosiva. Las barras caracterizadas en los cauces son de tipo longitudinal, transversal y de punta (point bar); la ausencia de barras diagonales indica que se trata de lechos inestables que se modifican en cada crecida (Smith, 1974).

La sinuosidad de un río es el índice que representa cuanto el trazado del río se aparta de una línea recta. Se mide por la relación entre la distancia que separa dos puntos a lo largo de la parte más

profunda del cauce, o thalweg y la distancia en línea recta entre ellos. Un cauce en línea recta tiene una sinuosidad de 1.0, mientras que se describen los ríos como meándrico cuando la sinuosidad es mayor de 1.5.

**Figura 1:** Dinámica fluvial: valores de referencia para sinuosidad, pendiente y formas de un cauce.

RÍO	MORFOLOGÍA	PENDIENTE (w/d)	SINUOSIDAD (S)
TORRENCIA		Alto	1.0
TRENZADO		Medio	1.3-3.0
MEÁNDRICO		Baja	1.0
RECTO		Baja	1.0

### Información base y relevamientos

Analizando fotografías aéreas, cartas topográficas e imágenes satelitales se delimitan las cuencas y se reconocen las características fisiográficas e hidrográficas. Mediante AutoCAD o Gis se cuantifican las variables de mayor interés en la determinación de parámetros empleados por el modelo matemático: superficie de las cuencas longitud a la divisoria de aguas, longitud de cauces, densidad de drenaje superficial, vegetación y suelos.

Como se mencionó, la ausencia de instrumentación en las cuencas, obliga a reconstruir las características de las crecidas, volúmenes, caudal, cotas. De los diversos métodos existentes para reconstruir paleocrecidas (Salas et al, 1992), se utilizaron eventos externos: indicadores de cotas y datos históricos. Los indicadores de altura alcanzada que se relevan en el campo son estructuras de erosión (líneas de corriente) y de deposición (depósitos finos de aguas quietas son los más conspicuos). El análisis histórico se realiza mediante información de los pobladores del lugar, principalmente de altura alcanzada por el agua y duración e intensidad de tormenta. Esta información se complementa con medidas hidráulica de los canales (dimensiones, pendiente) y

de sedimentos del cauce (métodos de competencia del flujo), a efecto de estimar caudales circulantes y velocidades de flujo. Es necesario recordar los problemas de muestreo que se presentan debido a la granulometría y su variabilidad. En ríos perennes, la evolución de la granulometría de los materiales de los cauces con abundante carga de fondo, tienen una forma exponencial decreciendo hacia la desembocadura según Leopold, 1964.

La estructura en terrazas permite realizar trasvases a cuencas que disponen de elementos de conducción adecuadas para evacuar las crecidas con pequeñas obras y con poco movimiento de suelos para conformación de canales de conducción. La factibilidad técnica de trasvasar parte de las crecidas se verifica mediante topografía de detalle y perfiles en el área de interés. Esta topografía debe servir además para el cálculo de movimientos de suelos y para la estimación de tiempos de las tareas implicadas y sus costos. Es necesario evaluar el impacto ambiental de estos diques y canales.

En aquellas zonas productivas que están protegidas por canales periféricos se evalúa el canal máximo transitable a fin de incluirlos en la simulación de planes de control como restricción en el caudal erogado por los diques. La capacidad máxima del canal se estima a través de medición de secciones de flujo en varios puntos, pendiente (S) y calculando la velocidad del flujo mediante a través de Manning:

$$V = \left[ \frac{1}{n} \right] R^{\frac{2}{3}} S^{1/2}$$

Donde n: coeficiente de fricción de Manning y R: radio hidráulico (m).

### **Lluvia de diseño**

La elección de la tormenta de diseño tiene por objetivo asumir una probabilidad de ocurrencia que minimice los riesgos que esta puede provocar sobre la cuenca. Un criterio puede ser tomar como tormenta de diseño la precipitación máxima probable (PMP) y en ese caso la inversión necesaria para el control aluvional superaría los valores económicos para que la actividad productiva sea rentable.

Teniendo en cuenta los bienes a proteger se estima suficiente asumir que el riesgo oscile en un 20% para un periodo de 20 años en el caso de la producción agrícola.



El periodo de retorno de la tormenta de diseño se establece en función de dicho margen de seguridad utilizando la función binomial (Bedient&Hubert, 1948).

$$S = (1 - 1/T)^n$$

Donde S: seguridad, T: tiempo de retorno, n: periodo de años para el cual se requiere seguridad

A partir de esta fórmula se determina que para tener el 80% de seguridad durante un periodo de 20 años se debe tomar una tormenta con una recurrencia de 90 años.

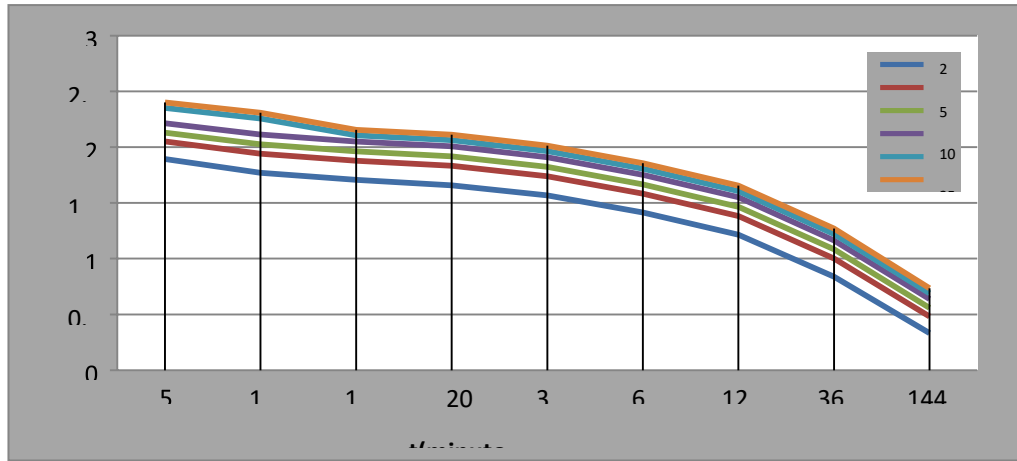
En estudios realizados en la región Norte Central de Manabí, se determinó en el INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA (INAHMI) en el 2015, se determinó que el 80 % de las tormentas tienen una duración menor a

5.40 h. En la Figura 2 muestras las curvas generalizadas para el área del Rio Lodana y cuenca menor a 200 km<sup>2</sup> de láminas totales de lluvia en relación con la duración y periodo de retorno; el “ESTUDIO DE LLUVIAS INTENSAS”, elaborado por el Ing. Luis Rodríguez Fiallos publicada el año 1999 se obtuvo datos de caudales máximo de 1.089,60 m<sup>3</sup>/s en una sub-cuenca de 294,10 km<sup>2</sup>. Utilizando esta curva se estima que para un tiempo de recurrencia de 90 años y una duración de 5.40h, la lluvia de diseño es la que produce una lámina de 70,00 mm/h.

**Cuadro n° 1:** intensidad duración frecuencia estación m0005 portoviejo

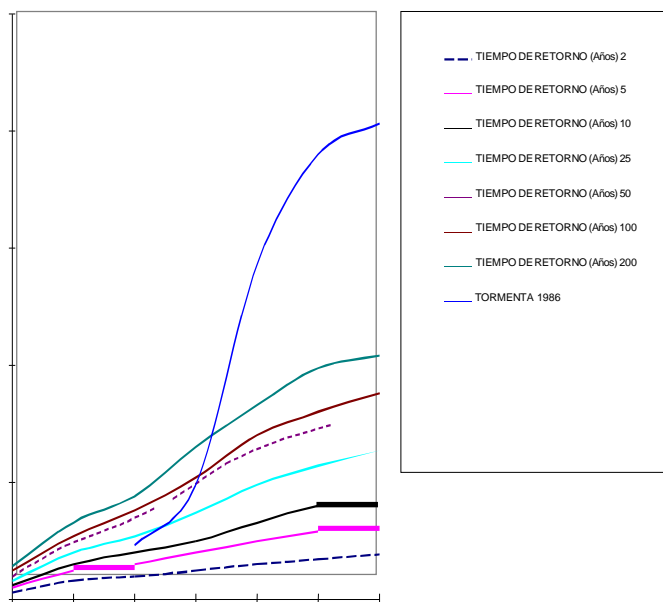
ESTACIÓN		INTERVALOS DE TIEMPO (minutos)	ECUACIONES	R	R2
CÓDIGO	NOMBRE				
M0005	PORTOVIEJO	5 < 120	$i = 175.897 * T^{0.2692} * t^{-0.5042}$	0.99 01	0.98 02
		120 < 1440	$i = 891.120 * T^{0.2424} * t^{-0.8418}$	0.99 75	0.99 50





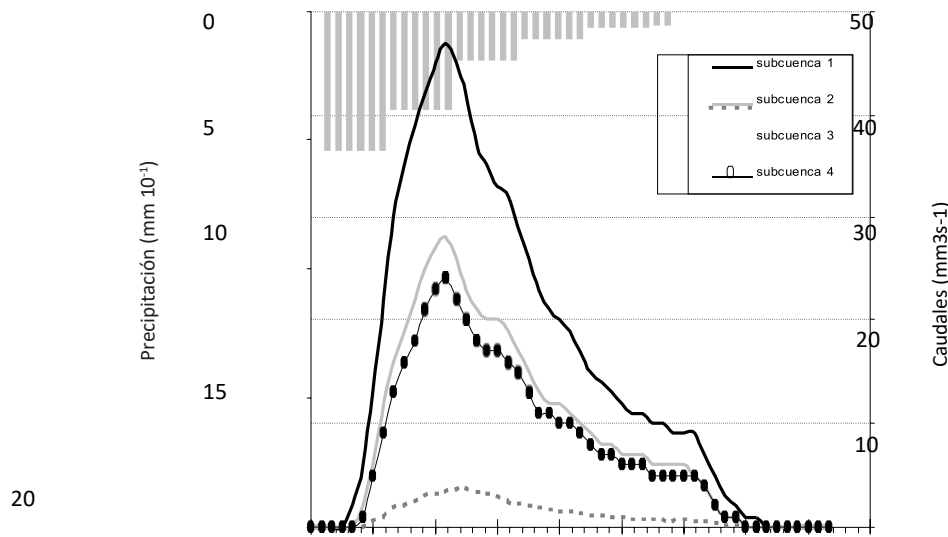
T (min)	2	5	10	25	50	100
5	94.2	120.5	145.2	185.9	224.0	269.9
10	66.4	85.0	102.4	131.0	157.9	190.3
15	54.1	69.3	83.5	106.8	128.7	155.1
20	46.8	59.9	72.2	92.4	111.3	134.2
30	38.2	48.8	58.8	75.3	90.8	109.4
60	26.9	34.4	41.5	53.1	64.0	77.1
120	18.7	23.4	27.7	34.6	40.9	48.4
360	7.4	9	11.0	13.7	16.2	19.2
1440	2.3	3	3.4	4.3	5.0	6.0

Figura 2. Curvas lamina-duración periodo de retorno.

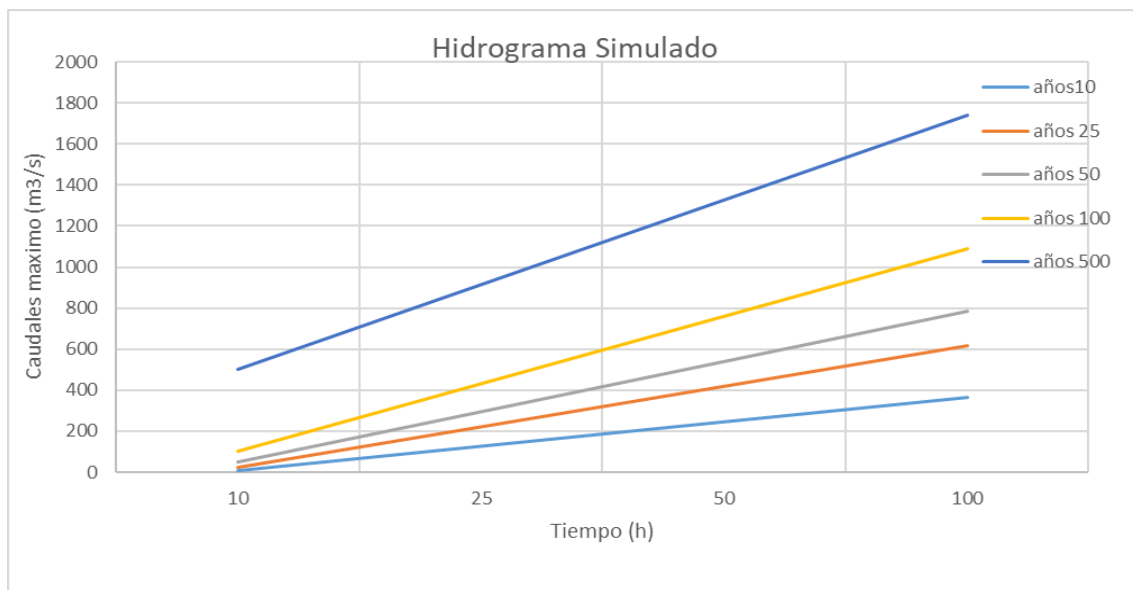


La distribución temporal (hietograma) se estima de acuerdo a la de la mayor tormenta convectiva registrada en el área de influencia de la cuenca estudiada. El intervalo de tiempo elegido y por consiguiente la altura de lámina caída en ese periodo. Es conveniente realizar un análisis de sensibilidad del caudal respecto al tiempo de discretizacion para estimar el error que se está cometiendo en el cálculo del hidrógrama.

**Figura 3.** Hidrógramas modelados. Hietograma de diseño.



**Cuadro 2.** Hidrógramas modelados.



## **Simulación hidrológica de cuencas**

Para la simulación del proceso de escorrentía superficial se utiliza el modelo de eventos HEC1 que representa el proceso de lluvia –escorrentía dentro de cada subcuenca. Los resultados finales del proceso de modelación son los hidrógramas de escorrentía directa para las distintas subcuencas definidas y en cualquier punto deseado, dato fundamental para las dimensiones de las obras de control.

Uno de los mayores inconvenientes al realizar estudios para el control aluvional es la ausencia de información meteorológica y de características propias de la cuenca, por lo que la metodología propuesta se basa en aquellos métodos de cálculo que tienen pocos parámetros. A medida que se avance en el conocimiento de la dinámica de los procesos en las cuencas se podrán utilizar métodos más precisos.

Para la determinación de la precipitación efectiva se utiliza el método de Curva Numero (CN) del servicio de conservación de suelos de EEUU, que cuantifica las pérdidas según las características del suelo (medidas de calicatas y ensayos de infiltración) y humedad antecedente (valor difícil de obtener debido a la falta de mediciones).

La transformación de lluvia en escorrentía directa se realiza mediante el Hidrógrama Unitario Adimensional (SCS) que incluye formulas empíricas que relacionan las características de la cuenca y de la precipitación aplicada cuyo parámetro tiempo de retardo (TI) se ajusta a través de mediciones de campo. El hidrógrama de la cuenca puede considerarse triangular dada la pequeña dimensión de las cuencas, con lo que solo se mide en el campo el caudal pico y el tiempo base, la elección del intervalo de tiempo del hidrógrama resultante es importante para no generar problemas numéricos y resultados erróneos (en general se toma a 1 a 5 min).

La calibración de los parámetros CN y TI, se realiza con información de campo de algunos eventos en el que se disponga datos de precipitación y sus caudales resultantes. Luego se corre el modelo hasta ajustar el hidrógrama calculado con el observado en el campo. Es un proceso de prueba error donde se ajustan los parámetros hasta obtener coincidencia entre ambos hidrógramas. Es necesario recordar que el comportamiento de la cuenca (y sus parámetros) no será igual para precipitaciones de mayor periodo de retorno.

Los tiempos de retardo ajustados por calibración se comparan con los valores obtenidos con fórmulas propuestas por distintos autores para otras regiones.

Bedient:

$$Tl = \frac{D^{0.8} * (S + 1)^{0.7}}{1900 * \sqrt{y}} S = \frac{1000}{CN} - 10$$

Kirpich:

$$Tl = 0.6 * tc$$

$$tc = 0.066 * \left( \frac{L}{i^{0.5}} \right)^{0.77}$$

Temez:

$$Tl = 0.35 * tc$$

$$tc = 0.3 * \left( \frac{L}{i^{0.25}} \right)^{0.76}$$

donde Tl; tiempo de retardo (h); D: distancia a la divisoria de aguas (pies); S: retención de máxima potencial; y: pendiente (%); CN: curva número; tc. Tiempo de concentración (h); L: longitud del cauce principal (Km); i: pendiente media del cauce principal ( [mm] ^(-3)).

La laminación en embalses se realiza por el método de Puls modificado ya que solo requiere estimar la curva cota-volumen del embalse, que se obtiene midiendo ancho, pendientes laterales y pendiente del fondo del cauce. Estos parámetros son K (constante de almacenamiento), que representa el tiempo promedio del viaje de la onda en el tramo, y X (coeficiente adimensional, varía entre 0 y 0,5), representa la difusión en el tramo, no tiene relación directa con las características físicas del cauce sino con la resolución numérica de la ecuación.

Luego de ajustar los parámetros para cada una de las subcuencas junto con sus características fisiográficas se obtiene un hidrógrama de salida-caudal pico y volumen y producto de la tormenta de diseño elegida.

## Obras de control

Los diversos tipos de obra de control admiten diferentes alturas máximas y consecuentemente diferentes volúmenes de almacenamiento.

La atenuación del caudal pico con grandes embalses implica obras con materiales costosos. Por otro lado, la misma atenuación del hidrógrama natural puede lograrse con un gran número de obras pequeñas de bajo costo. El análisis realizado busca obtener la configuración de obras de mínimo costo para igual efectividad en el control.

Con el modelo HEC-1 calibrado se simulan distintos planes de control combinado obras de ubicación y dimensiones distintas. Las obras transversales y sus desagües y las derivaciones se diseñan siguiendo lineamientos que pueden encontrarse en la bibliografía del tema, tales como AIDI (1983), TRAGSA et al. (1994), en cuanto a tipo de obras, cálculo de estabilidad, empujes, materiales, etc.

Todas las alternativas son evaluadas económicamente en base a costos regionales de mano de obra y materiales y se selecciona la que tiene mejor relación efecto-costo.

Con este método de simulación se obtienen los hidrógramas completos, en cualquier punto de la red, resultantes de las alternativas planteadas. La información más relevante que se obtiene es: caudal pico saliente (entrante al dique), caudal pico saliente del dique (por derivación o por vertedero) y orificios de desagüe), volumen de la crecida.

Por último, se realiza un plan de intervención por etapas en las cuencas de acuerdo a los recursos disponibles, priorizando aquellas obras de mayor impacto en el control. Las obras de derivación son de bajo costo y alta eficiencia de control, por lo que se realiza en primera etapa; luego se construyen los diques de almacenamiento en el cauce y por último se realizan los laboreos para disminuir el escurrimiento superficial de la cuenca.

Como efecto positivo secundario obtenido con diques de almacenamiento en cauces, es que se brinda un recurso de agua casi permanente para los animales de los crianceros del lugar que no disponen de otra fuente de agua superficial cercana.

El mantenimiento de las obras durante su funcionamiento debe ser tenido en cuenta, tanto en las tareas a realizar como el costo implicado.

## Resultados esperados

En las distintas zonas estudiadas se obtuvieron valores promedios de CN entre 70 y 85 que se corresponden con el valor de 80 indicado en el INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA (INAHMI) en el 2015. En esta zona los tiempos de retardo calibrados pueden observarse en la Tabla 1, dónde figura el cálculo realizado con las formulas mencionadas anteriormente.

En las distintas zonas estudiadas se obtuvieron valores promedios de CN entre 70 y 85 que se corresponden con el valor de 80 sugerido en el INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA (INAHMI) en el 2015. En esta región los tiempos de retardo calibrados pueden observarse en la Tabla 1, donde figura el cálculo realizado con las fórmulas mencionadas anteriormente.

Los valores de laminación en cauce calibrados en las zonas de mayor pendiente dan un valor  $X = 0,4$  y  $0,35$  en las restantes. De acuerdo a la bibliografía, estos valores son apropiados dado el carácter aluvional de la cuenca. Respecto al valor de  $K$  no se han encontrado referencias bibliográficas para estimarlo de manera más precisa en tramos cortos.

De todas formas, los valores utilizados ( $0,08$  a  $0,15$  h) dan un margen de seguridad y una posición conservadora, ya que el hidrógrama de salida tiene un retraso muy chico respecto del hidrógrama de entrada en cada tramo.

Con el modelo HEC-1 calibrado se obtienen hidrógramas a la salida de cada subcuenca, como los que se observan en la Figura 2, producto de una tormenta de diseño de  $80$  mm en  $6$  h sobre toda el área, unos  $65$  km<sup>2</sup>. La distribución de la lluvia está estimada de acuerdo a los antecedentes registrados en la zona.

El esquema de control más adecuado - que se obtiene por simulación de distintas obras - para el área de estudio es una combinación de:

terraplenes de tierra de  $0,60$  a  $0,80$  m de altura en las áreas de meseta - pendiente de  $0.15\%$  -, perpendiculares a la dirección de flujo y espaciados cada  $1000$  m.

dique de tierra de contención más canal de derivación en cuencas topográficamente favorables hacia cauce mayores y controlados.

diques de tierra para almacenamiento, con vertedero lateral y/o desagüe en los cauces principales.

**Tabla 1.** Valores de curva número y tiempo de retardo

Características Cuenca		Calibración HEC-1		Formula de cálculo para TI		
Superficie (Km <sup>2</sup> )	Pendiente Cauce Principal (mm <sup>-3</sup> )	CN	TI(h)	Bedient (h)	Kirpich (h)	Temez (h)
1	0,014	85	0,47	1,69	0,47	0,5
3,2	0,0015	78	1,04	2,29	1,27	0,94
6,6	0,011	80	0,93	3,8	0,89	0,95
27	0,0018	72	2,1	13,4	2,85	2,07

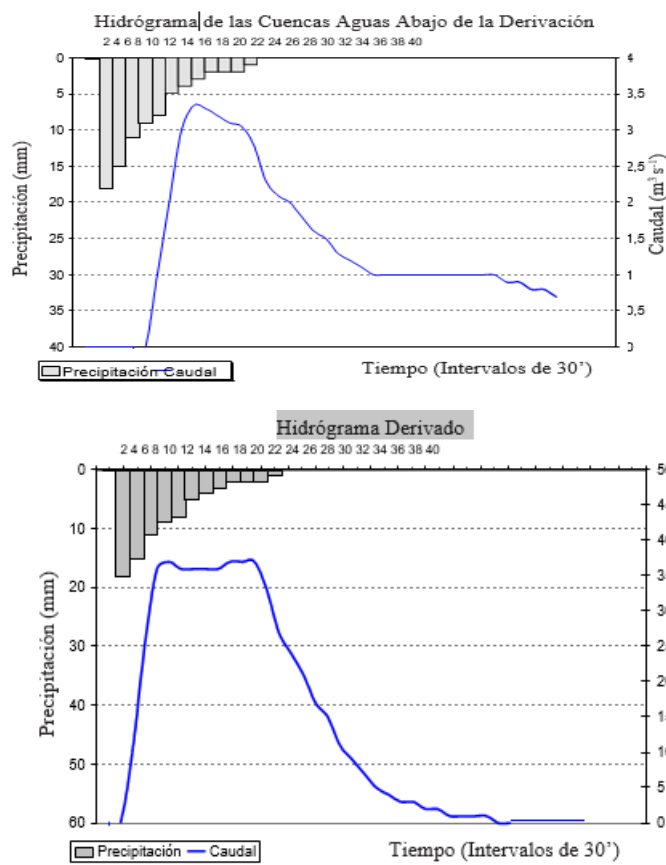


Figura 3. Hidrógramas resultantes de obra de derivación

Existen subcuencas que no son necesarias tratar debido al desfase entre los picos de crecidas con tormentas convectivas. Esto puede analizarse para cualquier período de retorno, aunque para períodos grandes y duraciones prolongadas los picos se sumarán.



TIPO DE MATERIAL	COSTO USD.	
	3m	4m
Hormigón simple	162,13	165,00
Gaviones y malla llenados a mano	60,00	70,00
Gaviones y malla con máquina	80,56	90,56
Gaviones con mínima malla llenado a mano	40,00	50,00
Gaviones con mínima malla llenado a máquina	50,00	60,00
Gaviones sin malla	35,00	40,00
Tierra + gaviones	30,00	35,00
Tierra compactada con tubería de drenaje y polietileno	29,80	30,00
Tierra compactada con vertedero lateral	29,04	31,00
Tierra compactada con polietileno de 200 m	29,90	31,00
Tierra sin compactar con polietileno de 500 m	64,16	66,00

Figura 3, representa el resultado de simular un dique derivador a la salida de la subcuenca 1 (Fig. 2) que produce un caudal pico  $Q_p = 47 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  para la lluvia de diseño elegida. Se obtiene un hidrógrama derivado - hacia otra cuenca - de  $Q_p = 36 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  y otro pasante - por vertedero y desagüe - de  $Q_p = 3,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Este hidrógrama erogado por el dique es contenido por una canalización (capacidad máxima estimada en  $Q_p = 6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) que protege el área cultivada de las aguas de lluvia. En este caso, el funcionamiento de la derivación fue verificada para una tormenta el 21 enero de 1992, donde para una precipitación de 25 mm en 1 h, el  $Q_p$  estimado en la derivación fue de  $11 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  y la salida de canal de guarda fue de  $5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

Tal como se indicó en la parte metodológica los costos de obra se estimaron considerando precios de la región y teniendo en cuenta distintos tipos de materiales. En la Tabla 2, se indican los costos estimados por metro lineal de dique para distintos materiales y altura 3 y 4 m. Los más económicos resultan los de tierra y dentro de estos, los más convenientes (por seguridad y vida útil) son los de tierra compactados con vertedero y/o desagüe.

Debe tenerse en cuenta que no se ha considerado costos de mantenimiento, con lo que los de tierra se vuelven menos ventajosos.

### Aporte y valor de la investigación

Tablas y figuras con la información geomorfológica, hidráulica e hidrológica de la cuenca del río Portoviejo a través de levantamiento de información en campo, libros, artículos, tesis, páginas web y diferentes normas relacionadas

Hidrógramas de Modelación con caudales de diseño del río Portoviejo obtenidos de la recopilación de información de caudales y precipitaciones máximas en la estación meteorológica Portoviejo M005 y Poza Honda M034 que son las más cercanas a la zona de análisis y otros medios indirectos.

Modelo en computadora utilizando el programa HEC-RAS para simular la crecida del río Portoviejo para varios periodos de retorno y obtener los cálculos de los flujos de superficie de agua, cálculos de flujo uniforme y otros parámetros hidráulicos.

Mapa de zonificación de riesgo en áreas con alta, media y baja vulnerabilidad a inundación en la parroquia de Colón con la interpretación de los resultados obtenidos en el programa HEC-RAS.

Propuesta de prevención y mitigación para efectos de inundaciones en base a los resultados de la modelación hidráulica.

En este proyecto se desarrollará con el método de investigación deductivo de análisis y síntesis, que parte de datos generales aceptados, para deducir por medio del razonamiento lógico, varias suposiciones, es decir; parte de verdades previamente establecidas como principios generales, para luego aplicarlo a casos individuales y comprobar así su validez.

Recopilación de información necesaria a través de levantamiento de información en campo, libros, artículos y diferentes normas relacionadas con la rama de la Hidrología e Hidráulica que servirá para hacer el estudio de la información geomorfológica de la cuenca a través de modelos digitales.

Se realizará varios modelamientos hidráulicos con la topografía actual de la zona en el software HEC-RAS 5.0.3 (Hydrological Engineering Center - River Analysis System), este programa fue desarrollado por Engineers U. S. (2016) y analiza factores hidráulicos y el flujo de agua para simular crecidas para diferentes periodos de retorno.

## Referencias

1. AIDI - Associazione Italiana di Idronomia. Manual para el diseño de diques de corrección de torrentes. Instituto Italo-Latino Americano. 1983. 228p.

2. Bedient, P.; Huber, W. Hidrology and floodplain analysis. 2° ed. Massachusetts Addison-Wesley Publishing Company, 1948. 367p.
3. Dufilho, A.C.; Horne, F. Red de riego y drenaje en Rincón de los Sauces. Estudio de cuencas aluvionales y diseño de obras. Neuquén, Argentina, 1999. 55p.
4. Dufilho, A.C.; Horne, F.; Navedo, R. Estudio y proyecto de defensa aluvional. Establecimiento Nicolás S.R.L. Neuquén, Argentina, 1998. 42p.
5. Fahnestock, R.K. Morphology and hydrology of a glacial stream– White River, Mount Rainier, Washington: US Geological Survey, 1963. Prof. Paper, 442-A, 1. 70p.
6. Fernández, P.; Segerer, C.; Fernández, J.M.; Segerer, E.C. de; Delgado, S.C.; Buk, E.M. Estudio hidrológico de cuencas aluvionales en la Provincia de Neuquén y curvas generalizadas para el cálculo hidráulico de estructuras viales. Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas (INCyTH)
7. Hickok, R.B; Keppel, R.V.; Rafferty, B.R. Hydrograph synthesis for small aridland watershed. In: Schumm, S.A. Drainage basin morphology. Stroudsburg, Dowden, 1959. p.330-334.
8. Horne, F.; Polla, G.; Pedersen, F. Control aluvional Chañar III Etapa. Facultad de Ciencias Agrarias, U.N. del Comahue, Cinco Saltos, 1998. 280p.
9. Leopold, L.B.; Wolman, M.G.; Miller, J.P. Fluvial processes in geomorphology. San Francisco: Freeman Comp., 1964. 522p.
10. Salas, J.D.; Wohl, E.; Jarret, R. Determination of flood characteristics using systematic, historical and paleoflood data. In: Rossi, G.; Harmancioglu, N.; Vujica, Y. Coping with flood. NATO ASI Series. Amsterdam: Kluwer Academic Publishers, 1992. p.111-134.
11. Segura Beltrán, Francesca S. Las ramblas valencianas. Algunos aspectos de hidrología, geomorfología y sedimentología. Valencia: Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Valencia, 1990. 229p.
12. Smith, N.D. Sedimentology and bar formation in the Upper Kicking Horse River, a braided outwash stream. Journal of Geology, v.82, p.205-223, 1974.
13. TRAGSA, TRAGSATEC Y EDICIONES MUNDI PRENSA. Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de erosión. Castelló, 37. Madrid. 1994. 902p.
14. HEC - Hydrologic Engineering Center. Flood hydrograph package. User's manual. US Army Corps of Engineer, 1990. 423p.

15. Determinación de ecuaciones para el cálculo e intensidades máximas de precipitación instituto nacional de meteorología e hidrología (INHAMI 2015).
16. Diseño de obras de control de aluviones basada en simulación de procesos hidrológicos torrenciales en cuencas de la Patagonia. Ana Cecilia Dufilho<sup>1</sup>, Federico Horne<sup>2</sup>, Rodrigo Navedo<sup>3</sup> & Gabriela Polla<sup>4</sup>. 2000.
17. Análisis de vulnerabilidad a inundaciones de la parroquia colón, cantón Portoviejo-Manabí. autores: Aguilar Ponce, Ramiro André; Echeverría Chiriboga, Santiago Xavier. Departamento de ciencias de la tierra y de la construcción (ESPE). 2018
18. Antonio Campos Cedeño Evgeny konstantinovich Sinichenko Características de Sistemas Fluviales pequeños y Recursos Hídricos de la Demarcación Hidrográfica de Manabí, perspectivas de desarrollo. UNIVERSIDAD DE RUSIA DE LA AMISTAD DE LOS PUEBLOS DE RUSIA. 2017

© 2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons

Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)