



MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS
NATURALES

Guía Técnica para la Elaboración de Estudios Hidrológicos e Hidráulicos

Dirección General de Evaluación y Cumplimiento
5 de marzo de 2019

Contenido

1.	Introducción	2
2.	Contexto	2
3.	Objetivos y alcances de estudios hidrológicos e hidráulicos	2
1.	Base legal	3
2.	Generalidades	3
4.	Contenido de los Estudios Hidrológicos e Hidráulicos	4
4.1.1	Portada	4
4.2	Créditos	4
4.3	Resumen ejecutivo	4
4.4	Objetivos específicos	4
4.5	Antecedentes y contexto	4
4.5.1	Ubicación del proyecto	4
5.1	Análisis Hidrológico	5
5.1.1	Identificación de la cuenca o subcuenca aportante	5
5.1.2	Determinación de las principales características fisiográficas del área del Proyecto	5
5.1.3	Índices o coeficientes básicos del régimen hidrológico	5
5.1.4	Determinación del caudal máximo para el periodo de retorno adecuado de acuerdo a la importancia de la obra proyectada	6
5.1.5	Modelación hidrológica semidistribuida	7
5.1.6	Incorporación del componente de cambio climático	8
5.2	ANÁLISIS HIDRÁULICO	8
5.2.1	Levantamientos Topográficos de las secciones transversales del curso de agua /o Modelo Digital del Terreno.	8
5.2.2	Modelación hidráulica con el fin de establecer los niveles que alcanzará el río y determinar zonas de inundación	9
5.2.3	Delimitación de las áreas de inundación	9
5.2.6	Análisis de resultados	10
5.3	Conclusiones y recomendaciones	11
6.	Definiciones	11

1. Introducción

El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), en cumplimiento a la Ley del Medio Ambiente (LMA), y a su misión ha venido implementando una serie de modificaciones al proceso de evaluación del impacto ambiental y a la evaluación de los Estudios de Impacto Ambiental (EsIA), requeridos por la LMA para el inicio de actividades, obra o proyecto.

El EsIA determina la viabilidad ambiental de un proyecto, por lo que es necesario contar con información clara, precisa, pero sobre todo real y actualizada, para su elaboración. Si bien la LMA establece el contenido mínimo de tales estudios, se necesita contar con una herramienta que guíe el proceso de elaboración de todos los estudios técnicos que darán soporte a la evaluación del desempeño ambiental de todo el proyecto.

Por otra parte, las aguas que fluyen bajo el suelo son un recurso muy valioso que puede resultar muy perjudicado por las diferentes actividades humanas, ya sean industriales, agrícolas, agroalimentarias, o de cualquier otra índole. Por ello, es necesario conservar las fuentes de recursos de agua para garantizar un suministro de calidad en el futuro.

Es así como en este documento se presenta una Guía Técnica para la elaboración del Estudio hidrológicos e hidráulicos que debe realizarse, como parte de un EsIA.

2. Contexto

Con el propósito de garantizar la viabilidad ambiental y sostenibilidad de los componentes de las propuestas de proyectos es necesario realizar los análisis hidrológicos e hidráulicos para establecer los caudales y calados máximos, así como las medidas ambientales necesarias para reducir y/o mitigar los impactos ambientales durante el ciclo de vida del proyecto, evitando poner en riesgo infraestructura y componentes vitales del mismo. En virtud de la importancia de la propuesta de proyecto es necesario evitar potenciales pérdidas y daños, y las implicaciones económicas asociadas al costo de oportunidad derivada de una eventual falta de operación y servicios del proyecto.

3. Objetivos y alcances de estudios hidrológicos e hidráulicos

El objetivo de los Estudios Hidrológicos e Hidráulicos, es establecer la delimitación del área de riesgo hídrico para la obra o infraestructura a proyectar, y establecer las medidas

estructurales y no estructurales a implementar para la prevención y mitigación de los impactos por eventos de crecida.

Los Estudios Hidrológicos e Hidráulicos deben llevarse a cabo a partir de información hidroclimatológica y topográfica de la zona de interés, y deben determinar la amenaza que puede generar el proyecto o a la que puede verse expuesto, de acuerdo a los niveles de inundación

I. Base legal

Artículos 117 de la Constitución de la República de El Salvador, 1, 2, 5, 22 y 23 de la Ley del Medio Ambiente; 14 literal c), 15 literal c); y 19 numeral 4 del Reglamento General de la Ley del Medio Ambiente.

2. Generalidades

- El estudio debe ser realizado o dirigido por un profesional competente, debidamente autorizado para ejercer su profesión; el responsable deberá ser un Ingeniero Civil (o similar, si se graduó en el exterior) con credencial vigente emitida por el Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano (VMVDU) o un profesional con estudios superiores en el área de la hidrología e hidráulica, quien deberá firmar el documento responsabilizándose por su contenido.
- Deben especificarse los datos y contactos de los especialistas involucrados en la realización y elaboración del estudio.
- La información debe auxiliarse de figuras, mapas, tablas, gráficos y anexos que faciliten la comprensión y validen los datos que representen.
- La validez del estudio tendrá una vigencia máxima de dos (2) años, al momento de ser presentado al MARN.
- Los datos deben ser presentados utilizando el Sistema Métrico Internacional.
- Usar un tamaño de fuente de un mínimo de doce (12) puntos, evitando los tipos de letra “comic”.
- La información presentada en el estudio debe ser proporcionada por fuentes lícitas, comprobables y fidedignas, las cuales deberán ser debidamente referenciadas.
- En caso que el proyecto se ubique cerca de un cuerpo de agua superficial, se deberá evaluar la interacción entre ambos a través del análisis e interpretación de resultados obtenidos de las mediciones in-situ pertinentes.
- El estudio debe ser elaborado con un enfoque de cuenca, sub-cuenca o micro-cuenca, dependiendo del área del proyecto.

4. Contenido de los Estudios Hidrológicos e Hidráulicos

4.1.1 Portada

La portada deberá incluir lo siguiente: título del documento, nombre del proyecto, ubicación, titular del proyecto, fecha de realización del estudio.

4.2 Créditos

Deben especificarse los datos (nombre, profesión, números de registros) y contactos (número telefónico, correo electrónico) de todos los especialistas involucrados en la realización y elaboración del estudio, indicando claramente su participación. Cada profesional deberá firmar en aceptación de su responsabilidad.

4.3 Resumen ejecutivo

Hacer una breve descripción del contenido del informe enfatizando en sus aspectos relevantes y sus principales resultados. Máximo tres (3) páginas.

4.4 Objetivos específicos

Explicar los aspectos de evaluación hídrica del estado actual del recurso que se pretende aprovechar o intervenir, en el área de influencia del proyecto. Por tanto, se debe referir de manera clara al propósito del proyecto.

Se debe describir la necesidad de la intervención que se pretende realizar o que ya se está llevando a cabo.

4.5 Antecedentes y contexto

Se debe incluir los puntos siguientes:

4.5.1 Ubicación del proyecto

Definir las coordenadas representativas del proyecto (principal punto de acceso, por ejemplo) y su elevación en m.s.n.m., nombrar el cantón (si aplica) y municipio, indicando la unidad hidrográfica (cuena/subcuena/microcuena) al que pertenece.

5.1 Análisis Hidrológico

5.1.1 Identificación de la cuenca o subcuenca aportante

Para lo cual se debe presentar la identificación y los mapas correspondientes con la ubicación georeferenciada del sitio del proyecto, delimitación de la cuenca o subcuenca de aportación, sistema de drenaje, ubicación de infraestructura hidráulica, y demás infraestructura civil importante en el área.

5.1.2 Determinación de las principales características fisiográficas del área del Proyecto

Por ejemplo, área, pendientes, uso de suelo, tipo de suelos, geología, geomorfología. A partir de esta información se identificarán posibles factores de riesgo tanto para las poblaciones, medio ambiente, infraestructura y el proyecto mismo.

Elementos a destacar:

- Delimitación del área de análisis
- Condiciones climáticas de la cuenca
- Balance hidro-climático
- Inventario de cuerpos de aguas superficiales
- Aspectos biofísicos

5.1.3 Índices o coeficientes básicos del régimen hidrológico

Deberá completar la información siguiente:

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS	
ÁREA	Km ²
PERÍMETRO	km
COTA NACIMIENTO	msnm
COTA EN EL SITIO DE ESTUDIO	msnm
LARGO DEL CURSO DE AGUA	km
ANCHO DEL CURSO DE AGUA	km
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE	m/m y %
LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL	km
LONGITUD TOTAL DE DRENAJE	km
RELACIÓN DE RELIEVE	adimensional
PENDIENTE MEDIA DEL CURSO DE AGUA	%
ELEVACIÓN MEDIA	msnm

ÍNDICE / COEFICIENTES MORFOMÉTRICOS (ADIMENSIONALES)	
COEFICIENTE DE FORMA	
ÍNDICE DE ALARGAMIENTO	
ÍNDICE DE GRAVELIUS	
LONGITUD PROMEDIO DE FLUJO SUPERFICIAL	
RELACIÓN DE ELONGACIÓN	
COEFICIENTE DE COMPACIDAD	
RELACIÓN DE HORTON	
DENSIDAD DE DRENAJE	
SINUOSIDAD DEL CAUCE PRINCIPAL	
OTROS ELEMENTOS CARACTERÍSTICOS	
CURVA HIPSOMÉTRICA	Gráfico
PERFIL CAUCE PRINCIPAL	Gráfico
TIEMPO DE CONCENTRACIÓN: FÓRMULA DE KIRPICH, FÓRMULA CALIFORNIANA (U.S.B.R.), FÓRMULA DE GIANDOTTI	minutos

El especialista debe realizar el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en el cuadro anterior.

5.1.4 Determinación del caudal máximo para el periodo de retorno adecuado de acuerdo a la importancia de la obra proyectada

La selección de la metodología a utilizar depende de la información hidroclimatológica existente y de la infraestructura en la zona del Proyecto. Para zonas donde hay existencia de centros poblados, es necesario aplicar metodología de simulación hidrometeorológica, así mismo, las técnicas de modelación pueden ser aplicadas cuando los datos hidrométricos y de crecidas encontrados no sean suficientemente extensos para poder aplicar las técnicas estadísticas de carácter regional.

Se deberá presentar la identificación clara y precisa de la lluvia de diseño, para lo cual se considerarán duraciones de tormenta compatibles con el tiempo de concentración de las cuencas involucradas. Las lluvias consideradas deberán ser obtenidas a partir de las informaciones oficial.

Dadas las características del proyecto y su emplazamiento la determinación del caudal máximo para el periodo de retorno adecuado de acuerdo a la importancia de la obra proyectada, debe llevarse a cabo utilizando el método de simulación hidrometeorológica lluvia-escorrentía.

La elección del periodo de retorno estará en función de la envergadura de la propuesta del proyecto y la sensibilidad del medio receptor.

5.1.5 Modelación hidrológica semidistribuida

La modelación hidrológica es una herramienta de gran importancia para el estudio de avenidas que se ha extendido por todo el mundo, fundamentalmente en países desarrollados. En la actualidad, con el empleo de estos modelos, se realiza el análisis y prevención de las inundaciones, y el manejo de hipótesis suficientemente realistas o previsibles que ofrezcan un cierto grado de confianza para la toma de decisiones, ya sea en la ordenación del territorio en torno a los ríos o para exigir criterio de diseño de obras, incluso alertar a los servicios de protección civil y establecer protocolos de actuación ante posibles situaciones de peligro por intensas lluvias (Dueñas 1997).

Elementos a destacar:

- Determinación de lluvia de diseño (Tr en años) (Hietograma).
- Determinación de caudales máximos para el Tr en años de diseño (Hidrograma de crecida).
- Riesgo Hidrológico.

En el caso de los escenarios hidrológicos se establecen los siguientes periodos de retorno a calcular:

- 1) Infraestructura hidráulica urbana, comercial o industrial: periodo de retorno de 10 años.
- 2) Drenajes longitudinales y cunetas en obras viales: 20 años
- 3) Alcantarillas circulares con diámetro ≤ 1.5 m: 25 años
- 4) Alcantarillas cajón y circulares > 1.5 m: 50 años
- 5) Puentes de longitudes ≤ 10 m: 100 años
- 6) Puentes de longitudes > 10 m: 200 años
- 7) Estimación de la socavación en puentes: 500 años
- 8) Embalses a filo de agua, infraestructura para generación eléctrica en cauces de ancho menor a 25 metros: 100 años
- 9) Presas con almacenamiento para uso hidroeléctrico, almacenamiento u otros: 200 años.
- 10) Aliviaderos de presas hidroeléctricas: 200 años
- 11) Infraestructura hidráulica de captación: 25 años o lo indicado en Guía de Gestión de Recurso Hídrico en Proyectos de Infraestructura.
- 12) Infraestructura hidráulica para el control del impacto hidrológico generado: 25 años o lo indicado en Guía de Gestión de Recurso Hídrico en Proyectos de Infraestructura.
- 13) Análisis de inundabilidad, estudios geomorfológicos y análisis de comportamiento pluvial. Deberá considerar 3 escenarios:
 - a. Tormenta ordinaria: 5-10 años, acorde ancho de cauce.
 - b. Tormenta de diseño: Acorde a parámetros de infraestructura definidos.
 - c. Tormenta extraordinaria: ≥ 200 años.

- 14) Análisis de captación para abastecimiento de agua en cuerpos superficiales, embalses, balsas y presas. Deberá considerar 4 escenarios:
- a. Estiaje: Conforme aforos o registros históricos de caudal base.
 - b. Tormenta ordinaria: 5-10 años, acorde ancho de cauce.
 - c. Tormenta de diseño: Acorde a parámetros de infraestructura definidos.
 - d. Tormenta extraordinaria: ≥ 200 años.

En el caso de la información climatológica empleada para los cálculos hidrológicos, se tendrá que presentar en original la información obtenida en la respectiva dirección de esta cartera de Estado. En el caso de los cálculos hidrológicos por el método racional solo se aceptarán hasta un área de 2.5 kilómetros cuadrados.

5.1.6 Incorporación del componente de cambio climático

Con el propósito de evaluar la peligrosidad hidrometeorológica en la zona de influencia directa e indirecta de la propuesta de proyecto, debe incorporarse un análisis de sensibilidad por cambio climático, pues la potencial sinergia entre cambio climático y variabilidad climática debe ser evaluada. El uso de los escenarios de cambio climático debe estar técnicamente y documentalmente sustentados; y estos escenarios deben ser representativos de las condiciones nacionales.

Considerando las variaciones en el patrón de lluvias en los análisis hidrológicos, aunque la causa principal no es la variación en el patrón de lluvias del país, en el análisis hidrológico debe considerarse un aumento del 30% al 40% en las intensidades de lluvia, si se trabaja con las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) propias para El Salvador, que no hayan sido actualizadas hasta la fecha.¹

5.2 ANÁLISIS HIDRÁULICO

5.2.1 Levantamientos Topográficos de las secciones transversales del curso de agua /o Modelo Digital del Terreno.

El levantamiento topográfico se deberá de realizar con herramientas de topografía adecuadas que permitan obtener puntos coordenados con datos de elevación, los levantamientos deberán de efectuarse en forma perpendicular al eje longitudinal de los cauces, con estacionamientos

¹ “Manual de consideraciones técnicas hidrológicas e hidráulicas para infraestructura vial en Centroamérica”, elaborado por la Dirección de Adaptación al Cambio Climático y Gestión Estratégica del Riesgo (DACGER), para la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA) en 2016

máximos de 25 metros en el caso de quebradas y ríos secundarios, en el caso de ríos primarios las secciones transversales podrán espaciarse hasta un máximo de 50 metros.

5.2.2 Modelación hidráulica con el fin de establecer los niveles que alcanzará el río y determinar zonas de inundación

La delimitación de las áreas de escurrimientos (zonas inundables, por ejemplo) se efectúa a través de un estudio hidráulico que identifique los niveles del agua del curso de agua en función del período de retorno resultante del estudio hidrológico. Dadas las características morfológicas del área de interés en algunas ocasiones un modelo bidimensional puede ser requerido para establecer los niveles del agua en las secciones transversales en la zona de interés. La metodología empleada para la modelación hidráulica debe justificarse técnicamente.

Elementos a destacar:

- Modelo de inundabilidad (unidimensional o hidrodinámico bidimensional)
- Descripción de la metodología empleada para obtención de modelo hidrodinámico de avenidas máximas.
- Determinación de calados máximos y áreas inundables para eventos según el T_r seleccionado justificadamente.
- Identificación de paleocrecidas en los terrenos adyacentes al sitio del proyecto o en obras de paso existentes.

5.2.3 Delimitación de las áreas de inundación

La delimitación de las franjas del río sujetas a inundación para diferentes períodos de retorno, se hará a partir de las cotas máximas que alcanzará el nivel del agua de acuerdo al modelo de simulación hidráulica utilizado.

Elementos a destacar:

- Mapa de inundabilidad, mapa de velocidades
- Sección transversal y perfil hidráulico evidenciando el calado para T_r seleccionado
- Establecimiento de zonas de amortiguamiento ante avenidas máximas.

5.2.4 Calculo hidráulicos de elementos hidráulicos para la conducción de escorrentía.

En este caso se deberá de presentar la memoria hidráulica de cada uno de los elementos primarios y secundarios de conducción de agua pluvial, para lo cual deberá de presentar

en un mapa legible las áreas tributarias de cada uno de los elementos. En una hoja tabulada se deberá de presentar la información siguiente:

- 1) Tramo, nivel de llegada y de salida, pendiente, longitud, diámetro, material, caudal acumulado, caudal a sección llena, velocidad a sección llena, velocidad solicitada, capacidad empleada y número de Froude.

Adicional a esta información se deberá de presentar la siguiente información esquemática: planos con detalles constructivos, planos con línea de conducción hidráulica, la cual deberá de indicar longitud, pendiente, dirección de flujo, material, diámetro, niveles de pozos.

En el caso de las obras de disipación de energía hidráulica, será necesario presentar la memoria de cálculo que garantice su adecuado funcionamiento.

En el caso de vertidos de aguas pluviales a causas fluviales, se deberá de presentar la memoria de cálculo de socavación local de las obras y sus respectivas obras de protección.

5.2.5 Cálculo hidráulicos para obras de paso.

En el caso de obras de hidráulicas de paso se deberá de presentar la memoria de cálculo hidráulica de las obras de paso, así como también 250 metros aguas arriba y 250 metros aguas abajo, dicha longitud podrá disminuirse en el caso de existir condiciones de campo que ameriten modificar tal condición. Todas las obras hidráulicas de paso se deberán de hacer acompañar de la memoria de socavación local, así como también la socavación general del cauce por la construcción de dicha obra. En el caso de suscitarse el fenómeno de socavación local se deberá de presentar todas las obras necesarias para minimizar dicho efecto.

Adicional a lo anterior solicitado se deberá de presentar la modelación hidráulica para todo el tramo estudiado sin la proyección de las obras a construir.

5.2.6 Análisis de resultados

El Proyecto a ejecutar debe quedar fuera del área de inundación demarcada y deben establecerse las medidas estructurales y no estructurales de prevención y mitigación necesarias para garantizar la seguridad de la población y de la estructura misma.

Elementos a destacar

- Contexto de riesgo y vulnerabilidad hidrometeorológica
- Vulnerabilidad de los elementos expuestos del proyecto frente a inundaciones
- Planteamiento de medidas ambientales

5.3 Conclusiones y recomendaciones

En función de la sensibilidad del sitio, susceptibilidad a inundaciones, vulnerabilidad de los elementos expuestos, análisis hidrológico e hidráulico, el especialista deberá concluir; proponiendo las medidas ambientales necesarias a fin de garantizar un impacto hidrológico controlado, medias de uso y gestión sostenible del recurso hídrico encaminadas a implementar los principios de desarrollo ecológicamente sostenible, las cuales según sea el caso deberán incorporarse en el Programa de Manejo Ambiental de la Etapa de Ubicación y Construcción (sin limitarse a ellas: cosecha de agua y rehúso, sistemas de bioretención, zanjas y/o pozos de infiltración, techos verdes, etc.)

6. Definiciones

Para referencia, se presenta la definición de algunos términos de acuerdo al GLOSARIO HIDROLOGICO INTERNACIONAL, edición 1992:

- **Avenida (Crecida):** Elevación, generalmente rápida en el nivel de las aguas de un curso, hasta un máxima a partir del cual dicho nivel desciende a una velocidad menor.
- **Capacidad de cauce:** Caudal que puede circular por un curso de agua sin producir desbordamientos
- **Desbordamiento:** Agua excedente que rebosa al sobrepasarse los límites normales del cauce de agua superficial.
- **Inundación:** Desbordamiento del agua fuera de los confines normales de un río, o inundación por agua procedente de zonas que normalmente no se encuentran anegadas.
- **Inundaciones:** presencia de agua sobre el terreno en lugares, formas y tiempos que resultan inadecuado para las actividades humanas y por lo tanto producen afectaciones económicas, sociales y ambientales. Desde el punto de vista antrópico (Definición del Instituto Nacional del Agua, Argentina).
- **Superficie inundada:** Superficie cubierta de agua cuando el caudal excede la capacidad del cauce o como consecuencia del represamiento del río aguas abajo. Se asocia a la presencia de agua sobre el terreno en lugares, formas y tiempos que resultan inadecuado para las actividades humanas y por lo tanto producen afectaciones económicas, sociales y ambientales (Definición del Instituto Nacional del Agua, Argentina).
- **Planicie de inundación:** Terreno adyacente y casi al mismo nivel que el cauce principal que se inunda solo cuando el caudal excede la capacidad máxima de dicho cauce. También se denomina cauce mayor.

- **Inundación por escorrentía local:** Crecida producida por el agua de lluvia que se estanca en o cerca del punto donde cae porque la capacidad del sistema de drenaje (natural o artificial) no es suficiente para la evacuación del agua caída.
- **Periodo de retorno:** El período de retorno de un evento con una magnitud dada puede definirse como el intervalo de recurrencia promedio entre eventos que igualan o exceden una magnitud especificada.
- **Suceso con periodo de retorno “n” años:** Magnitud de un hecho hidrológico, cuyo período de retorno es de n años
- **Sección transversal de un río:** Sección de una corriente de agua perpendicular a la dirección principal (media) del flujo.
- **Cambio climático:** cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables.
- **Variabilidad climática:** Variaciones del estado medio y a otras características estadísticas (desviación típica, sucesos extremos, etc.) del clima en todas las escalas espaciales y temporales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos individuales. La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones del forzamiento externonatural o antropogénico (variabilidad externa).



MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS
NATURALES

www.marn.gob.sv | medioambiente@marn.gob.sv

