



Manejo sostenible de inundaciones, cuencas hidrográficas y riberas en la provincia de Manabí

Sustainable management of floods, catchments and river banks in Manabí province

Autores: Andy Miguel Giler-Ormaza¹
Sergio Paul Donoso Lucas²
Roberth Patricio Arteaga Zambrano³
David Alejandro Zaldumbide Peralvo⁴

Dirección para correspondencia: agiler@pucem.edu.ec

Recibido: 12-12-2019

Aceptado: 28-03-2020

Resumen

En Manabí las autoridades locales y nacionales han elaborado e implementando planes de gestión de inundaciones; sin embargo, las inundaciones aún causan grandes daños frecuentemente. El objetivo de la presente investigación es explorar técnicas que se podrían aplicar en Manabí para un manejo sostenible de inundaciones (SFM). Dos objetivos específicos son: explorar los enfoques y técnicas para i) SFM basado en manejo de cuencas hidrográficas, y ii) SFM basado en manejo de ríos y riberas. Se realiza un análisis desde un punto de vista técnico, económico, social y ambiental. La revisión y el análisis revelan que, en cuanto a manejo de inundaciones basado en manejo la cuenca, existen proyectos y planes hidráulicos que han sido efectivos en cierta medida. Específicamente represas, muros para retención de escorrentía y encauzamiento de quebradas. Sin embargo, se ha venido dando un manejo inadecuado a las riberas de varios ríos. Sus taludes se limpian y quedan desprotegidos contra la erosión con posibles implicaciones para la

¹ Carrera de Ingeniería Hidráulica, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Portoviejo-Ecuador.

² Carrera de Ingeniería Hidráulica, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Portoviejo-Ecuador. E-mail: He-343@pucem.edu.ec

³ Carrera de Ingeniería Hidráulica. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Chone-Ecuador. E-mail: HE-405@pucem.edu.ec

⁴ Carrera de Administración de Empresas. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Portoviejo-Ecuador. E-mail: dzaldumbide@pucem.edu.ec

sedimentación y el riesgo de inundación aguas abajo de las zonas intervenidas. Enfoques sostenibles incluyen la bioingeniería y la 'ingeniería suave'. El presente análisis puede contribuir al debate sobre el camino a seguir para la gestión de inundaciones en la provincia.

Palabras clave: Agua Superficial; Desastre Natural; Erosión; Gestión; Uso de la Tierra.

Abstract

In Manabí local and national authorities have implemented flood management plans; however, floods still cause major damages frequently. The objective of this research is to explore techniques that could be applied in Manabí for sustainable flood management (SFM). Two specific objectives are to explore the methods and techniques for i) SFM based on management of catchments, and ii) SFM based on management of rivers and riverbanks. An analysis is undertaken from the technical, economic, social and environmental points of view. The review and analysis reveals that, regarding flood management based on catchment management, there are projects and hydraulic plans that have been effective to some extent. Namely: dams, runoff-retention walls and gully channelization and diversion works. However, an inadequate management has been given to the banks of many rivers. These river banks are cleaned and left unprotected against erosion, with possible implications for sedimentation and flood risk downstream of the intervened areas. Sustainable approaches include bioengineering and 'soft engineering'. The present analysis can contribute to the debate on the way forward for flood management in the province.

Keywords: Surface Water; Natural Disasters; Erosion; Management; Land Use.

Introducción

Las inundaciones en Manabí

Manabí es propensa a inundaciones por la concentración de lluvias en periodos cortos de tiempo y por la presencia frecuente del fenómeno de El Niño. Los efectos e impactos del fenómeno de El Niño son ampliamente conocidos, por las pérdidas que tuvieron lugar, a partir de las experiencias que ocurrieron en especial en el período 1997-1998 (Rossel et al.,1996). Este se caracterizó por intensas lluvias, desbordantes inundaciones y deslizamientos (movimientos de masa), destrucción de vías, puentes y viviendas, estrés de personas por las pérdidas y el incremento de la temperatura, afectación del sector agropecuario por la pérdida de cultivos, muertes de animales, mermas en la producción y el comercio; y, resurgimiento de enfermedades tropicales. Estos hechos, nos inducen a una preocupación mayor en la provincia, para estar preparados y estar a la vez listos para afrontar y disminuir la intensidad y las afectaciones que provocaría el fenómeno. Bases de datos reportan desde 1970 hasta el 2011, para la provincia de Manabí un total de 651 desastres, es decir un promedio de

15,9 desastres por año, de los cuales 169 son de origen antrópico, 67 de origen geodinámico (sismos, oleaje, tsunamis) y 431 de origen hidrometeorológico (HM), estos últimos representan el 66,2% del total ocurridos en la Provincia (GADPM, 2014).

En Manabí se viene evidenciando una problemática con respecto al manejo de las inundaciones, lo cual repercute en un mal manejo de sus ríos y riberas. En varias ocasiones no se ha realizado un manejo como tal. La problemática aqueja a poblaciones asentadas en las llanuras de inundación de los ríos manabitas, y es notoria en los meses de intensas lluvias en los cuáles es frecuente el desbordamiento. Los ríos manabitas poseen una morfología especialmente propensa a sufrir este tipo de fenómenos. Existen proyectos y obras⁵ ya ejecutadas así como planificaciones para manejo integral del recurso que incluye ordenamiento territorial (GADPM, 2011). Sin embargo, pese a existir planes para el manejo de inundaciones la provincia sigue sufriendo los embates causados por las crecientes de los ríos en los meses en que se registra una alta intensidad de lluvias. Esto podría deberse a que las medidas seleccionadas como correctivos son inadecuadas, insuficientes o insostenibles.

Las técnicas para el manejo de inundaciones incluyen:

- a) enfocarse en el manejo integral de la cuenca hidrográfica; incluyendo
- b) el manejo de sus ríos y riberas.

La literatura presenta dos enfoques sobre el manejo de inundaciones, cuencas, ríos y riberas:

- el enfoque de ingeniería tradicional o ingeniería ‘dura’;
- y el enfoque de ingeniería amigable con el medio ambiente, llamadas también ‘ingeniería suave’.

Propuestas de ingeniería dura incluyen represas, diques, muros de concreto y gaviones, enrocados, presas y canales de derivación. Propuestas de ‘ingeniería suave’ incluye la bioingeniería, los atenuadores de escorrentía (RAFs) y el manejo natural de inundaciones (NFM). Estas opciones a su vez se pueden enmarcar en el manejo sostenible de inundaciones (SFM⁶).

El objetivo de la presente investigación es explorar qué técnicas para el manejo sostenible de inundaciones se podrían aplicar en Manabí. De este objetivo macro se desprenden dos objetivos específicos.

Explorar los enfoques y técnicas para:

- i) el manejo sostenible de inundaciones basado en el manejo de cuencas hidrográficas;

⁵ El Diario, 2008

⁶ RAF, NFM y SFM son abreviaciones de estos términos en el idioma inglés. Se ubican aquí de esta forma para concordancia con la literatura de otras regiones.

- ii) el manejo sostenible de inundaciones mediante el manejo de ríos y riberas.

Metodología

La investigación se realizó de forma teórica y se basó en una revisión de literatura científica relevante local e internacional, informes gubernamentales, de Organizaciones No Gubernamentales (ONG) y artículos de prensa. Cuando se tomaron o editaron imágenes de otros estudios, se reconoció la fuente. Se realizó un análisis desde un punto de vista técnico, económico, social y ambiental. En la Sección 1 se exploró los enfoques y técnicas para el manejo sostenible de inundaciones (SFM) mediante el manejo de cuencas hidrográficas. En la Sección 2, se exploró los enfoques y técnicas para el SFM mediante el manejo de ríos y riberas. En ambas secciones se realizó el análisis enfocado en la provincia de Manabí.

Sección 1. SFM mediante el manejo de cuencas.

Manejo actual de las cuencas en Manabí

Existe evidencia de que en Manabí se ha hecho énfasis en la ingeniería tradicional⁷ y en el manejo de la cuenca hidrográfica⁸. En la provincia se han construido presas de almacenamiento, no sólo para una regulación estacional de la escorrentía de los ríos, sino también para una regulación de año tras año, consistiendo en la elaboración de varios embalses entre ellos los más emblemáticos son Poza Honda, Sixto Duran Vallen (La esperanza), Río Grande y Daule Peripa (OAS, 1991). En principio, es adecuado considerar el manejo de la cuenca, reteniendo crecientes con embalses, sin embargo, el plan elaborado en los años 70 no ha resultado ser una solución completa para las constantes inundaciones que registran los diversos cantones manabitas.

Por otra parte, otra opción para manejo de inundaciones es la creación de canales de derivación que permitan desviar parte de los caudales de crecida por las periferias de las ciudades. Una propuesta similar ya ha tenido lugar en Chone con el proyecto multipropósito⁹. Sin embargo, esta opción tiene limitantes en otros sectores donde los valles no ofrecen suficiente espacio o donde la urbanización encarece demasiado este tipo de proyectos.

Las autoridades han trabajado en planes de contingencia para inundaciones. Por ejemplo se elaboró un Plan de Contingencia del Fenómeno de El Niño ante la posibilidad de ocurrencia en el periodo 2015-2016. Actividades prioritarias han incluido: identificar las amenazas, vulnerabilidades sobre el evento u operativo y los recursos de los diferentes actores para afrontar los efectos potencialmente negativos del evento; disponer de una coordinación a nivel provincial entre los diferentes actores involucrados en la gestión de riesgos

⁷ El Diario, 2008.

⁸ El Diario, 2017b

⁹ Secretaría del Agua (S.F.).

(SNGR, 2015) y definir las responsabilidades institucionales con sus respectivos niveles de coordinación entre los diferentes actores involucrados en el tema.

Opciones para un manejo sostenible de inundaciones y cuencas en Manabí

Quizás sea útil comparar la situación de Manabí con las experiencias obtenidas en otras regiones. Según Wilkinson et al (2010) han ocurrido cambios significativos en el manejo y el uso de las tierras del Reino Unido que, junto con tormentas más fuertes, han llevado a aumentos en la escorrentía y a fuertes inundaciones. Para solucionarlo, en las investigaciones se implementaron técnicas de 'ingeniería suave' para el control de inundaciones en la cuenca de Belford, Northumberland (5,7 km²). Software también fue utilizado para preveer o modelar los efectos que estas técnicas podrían tener. En el caso de Belford, los diques para protección contra inundaciones no se podían construir en todo tipo de lugar debido a la naturaleza angosta del área de estudio. Esto es similar a algunos valles en Manabí.

Se implementaron en Belford atenuadores de escorrentía (RAFTs) desplegados en diversos lugares de la cuenca. Las RAFTs son definidas como 'ingeniería suave' y dos ventajas son a) sus costos relativamente bajos y b) su potencial de brindar protección contra inundaciones a varios sitios aguas abajo –contrario a diques que tienen efectos localizados (Nicholson, Wilkinson, O'Donnell, & Quinn, 2012). RAFTs pueden ser de *tipo i*: escombros de árboles (ramas y troncos) acumulados en ríos y en llanuras de inundación; *tipo ii*: forestación o reforestación de zonas riparias y llanuras de inundación; *tipo iii*: estructuras de madera o de tierra para retención de escorrentía superficial en terrenos agrícolas o ganaderos; *tipo iv*: barreras parciales de madera para desviar parte del flujo del riachuelo hacia depresiones en el terreno que almacenen el agua temporalmente –que serían probablemente tierras ganaderas o agrícolas.

En el caso de las RAFTs *tipo i* y *tipo ii* sirven mayormente para aumentar la rugosidad del cauce y de la cuenca alta y media; así como para retrasar el flujo. En el caso de las RAFTs *tipo iii* y *tipo iv* sirven para retrasar el flujo en la cuenca alta, mayormente en terrenos dedicados a la ganadería y posiblemente ciertos cultivos. Nótese que estos atenuadores *i* y *iv* se pueden aplicar solamente en riachuelos, es decir tributarios de número de orden bajo (ver Figura 1). Un estudio similar en Etiopía (Sultan et al., 2018) utilizando medidas para conservación de agua y suelo (SWC) encontró que estas podrían disminuir la escorrentía hasta en un 34% si se instalaran terraplenes en tierras de cultivo y se instalaran zanjas para contención de escorrentías en plantaciones y tierras de pastoreo. Por el contrario, la implementación de medidas de SWC en tierras arbustivas y bosques naturales tendría poco efecto en la reducción de la escorrentía. Sin embargo, a pesar de que dicho estudio fue realizado en una zona tropical, era también una zona de altura (más de 2000 m.s.n.m), por lo cual hay incertidumbre sobre su eficacia en zonas tropicales costeras como las de Manabí.



Figura 1. Atenuadores de escorrentía (RAFs). A: RAF *tipo i* y *tipo ii*; B: RAF *tipo iii*. Adaptado de: Nicholson et al. (2012).

Otra visión de manejo sostenible de inundaciones es similar a la opción RAF *tipo iv* pero se aplicaría en la cuenca media y baja. Se trata de inundación intencional de las zonas que natural e históricamente han acomodado excesos de aguas. Estos también se conocen como cuencos de retención estratégicos (Harman et al., 2002). Ya que estas tierras son dedicadas usualmente a la agricultura y la ganadería, implicaciones socioeconómicas pueden surgir. En estos casos, las ciudades aguas abajo tendrían que subsidiar las pérdidas económicas de los afectados aguas arriba tomando en cuenta conceptos de ética e “hidrosolidaridad” (Falkenmark & Folke, 2002), para lo cual, el dialogo entre científicos, políticos y agricultores es esencial (Falkenmark et al, 2007). Por otra parte, los cuencos de retención podrían funcionar en regiones tropicales incluso en áreas urbanas, como ya se ha visto en Brasil (Nascimento et al., 2000) y en áreas¹⁰ de Malasia. A pesar de que hay literatura a favor de las RAFs y los cuencos de retención, hay que tomar con precaución los resultados obtenidos en Belford y en otras regiones, ya que no necesariamente representan condiciones similares a las que se tienen en Manabí.

Para la aplicación de RAFs en una cuenca hay varios aspectos técnicos importantes a tomar en cuenta. La ubicación de RAFs debe obedecer a estudios previos. En primer lugar es necesario hacer un análisis de tránsito de caudales desde las diferentes microcuencas que forman parte de la cuenca. Esto debido a que, de hecho, una aplicación no técnica y desorganizada podría causar que se sincronicen los caudales pico de las diferentes quebradas o tributarios (Pattison et al., 2014)(Dixon, Sear, Odoni, Sykes, & Lane, 2016)(Metcalf et al., 2018). Entonces retrasar o atenuar el flujo no implica automáticamente una disminución del riesgo de inundación. Por otra parte, para encontrar lugares adecuados para las RAFs, herramientas como Sistemas de Información Geográfica (SIG), Modelos Digitales del Terreno (DEM) y sensores remotos son útiles.

Como lo indica Valer-Chacón (2009) desde Perú, se necesita la colaboración de varios frentes sociales en el manejo de la cuenca. De manera similar, en África tropical, Andersen et al. (2005) nos indica que acciones unilaterales no son

¹⁰ Ghani et al (2008)

suficientes para el manejo de una cuenca. Para lograr implementar un manejo sostenible de la cuenca, es indispensable la cooperación con agricultores, ganaderos y demás sectores sociales involucrados en la Cuenca hidrográfica.

El enfoque de manejo sostenible de inundaciones (SFM) ayuda a disminuir la escorrentía en las laderas de las montañas. Esto implica trabajar con diferentes actores sociales para la coordinación de tierras a escala de cuencas, incluyendo el manejo de ríos. Esta es una filosofía que prioriza la reducción del riesgo mediante una serie de medidas que pueden incluir medidas estructurales, pero que son más sostenibles, desde el punto de vista económico y medioambiental, que basarse únicamente en las medidas estructurales (Nicholson et al., 2012). Según Waylen et al.(2018) se necesita explorar varios factores para la implementación de manejo natural de inundaciones (NFM) –que es parte del SFM. Es necesario realizar entrevistas y análisis cualitativos y cuantitativos de los riesgos de inundaciones. Pueden existir desafíos para permitir e implementar el NFM. Considerando la gobernanza del agua, se puede observar que hay varias maneras en que las formas de trabajo preexistentes pueden obstaculizar los intentos de adoptar estos nuevos enfoques (Nicholson et al., 2012; Waylen et al., 2018). Cabe notar que el tipo de manejo sostenible podría requerir varios años de planificación y ejecución hasta que se vean resultados claros.

Algo similar a las RAFs ha sido aplicado en algunas quebradas en Manabí. Un ejemplo puede encontrarse en las colinas alrededor de Portoviejo donde según la prensa hay al menos 75 muros para contención de caudales provenientes de quebradas¹¹ (ver Figura 2).



Figura 2. Atenuación o contención de escorrentías y sedimentos en quebradas de Portoviejo, Manabí. Adaptado de: El Diario (2017).

Los materiales utilizados son gaviones, concreto y rocas¹². Estas obras reciben mantenimiento rutinario, mismo que es necesario ya que en ciertos casos,

¹¹ El Diario, 2006.

¹² El Diario, 2016.

basura y escombros arrastrados por las crecidas disminuyen la efectividad o amenazan la estabilidad de estas obras. Sin embargo, creemos que las acciones en la provincia no se han realizado como un plan conjunto estratégico, sino como medidas puntuales para solucionar problemas de inundación puntuales.

Manejo de riesgo de inundación

En el manejo de inundaciones, específicamente en el manejo del riesgo de inundaciones, la literatura también incluye el término “*medidas no estructurales*”. Existen métodos para evaluar los beneficios de las medidas no estructurales en términos de reducción del riesgo de inundación. Hay mecanismos para mostrar explícitamente los procesos por los cuales el riesgo evoluciona a través del tiempo y cómo los asentamientos humanos responden ante ese riesgo. Un posible enfoque se basa en el modelo de simulación del riesgo de inundaciones y los cambios en el uso de la tierra y las edificaciones, pero nace a partir del análisis de políticas y planificación. El análisis de riesgo de inundación proporciona una base racional para la evaluación de las opciones de política, la asignación de recursos y el monitoreo del desempeño de la inversión sustancial del gobierno en la gestión de inundaciones (Hall et al., 2003).

Se debe hacer también énfasis en procesos de cambio a largo plazo, motivados por el legado extendido de la inundación, políticas de gestión tales como cambios en las políticas de planificación, creación de códigos de diseño o provisión de seguros (Dawson et al., 2011). Son estas decisiones importantes las que se deben informar a través de la provisión de información de riesgo. Con esto se busca evitar decisiones con consecuencias que sean indeseables en términos de riesgo de inundación o con consecuencias que bloqueen la oportunidad de acciones alternativas en el futuro.

Si bien los beneficios de las medidas no estructurales hasta la fecha son difíciles de evaluar, es claro que pueden ofrecer mayores beneficios en términos de reducción de la vulnerabilidad si se implementan dentro del contexto de gobernanza correcto. Al evaluar las medidas no estructurales de gestión del riesgo de inundación, es crucial tener una visión a largo plazo, comprender los factores socioeconómicos y de cambio climático e intentar abordar estos factores de manera integrada (Dawson et al., 2011). Al hacerlo, los gestores de riesgos de inundación estarán en mejores condiciones para construir carteras de medidas de gestión de inundaciones que sean sólidas frente a las incertidumbres que rodean los futuros cambios socioeconómicos y climáticos, en particular los que están fuera de su control.

Para evaluar la efectividad de las medidas no estructurales de forma íntegra, se podría acudir a dos enfoques: (i) explorar el impacto de los principales cambios en la política y planificación utilizando escenarios informados por las partes interesadas y (ii) analizar la efectividad de las medidas no estructurales bajo escenarios socioeconómicos y climáticos más amplios. En consecuencia, se deben analizar una serie de combinaciones de escenarios climáticos y socioeconómicos, como los que se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Gestión de inundación: algunas medidas no estructurales. Adaptado de Dawson et al. (2011).

Intervención	Efecto de la acción
Manejo de incidentes de inundación	Los sistemas de predicción y alerta de inundaciones proporcionan información a los gestores de riesgos de inundaciones, las autoridades locales y los servicios de emergencia, que posteriormente se difunden al público con el fin de disponer de tiempo suficiente para poder tomar medidas de mitigación efectivas antes de que llegue la inundación. Las actividades proactivas previas al incidente garantizan que el público, los servicios de emergencia y otras partes interesadas clave estén bien preparados y sean capaces de actuar con sensatez, y comprendan la información sobre las advertencias de inundación, durante y justo antes de la inundación.
Planificación del uso de la tierra	Limita la construcción de edificios e infraestructura en la llanura de inundación, por lo tanto, se tiene un aumento controlado de la vulnerabilidad.
Códigos de construcción	Reducción del daño por inundación. En los edificios nuevos es posible implementar medidas a prueba de inundación que son más confiables que las propiedades acondicionadas para la inundación. Por ejemplo, levantar casas sobre pilotes (ver Figura 3). Esto ya se hace en Manabí, un ejemplo claro son las casas en la llanura de inundación del Río Carrizal en Calceta.
Distribución del riesgo (por ejemplo, seguro)	Redistribución del costo del daño entre la población y el tiempo. Además de redistribuir el riesgo, el seguro es un medio potente para comunicar el riesgo de inundación a través de una señal económica, de modo que puede cambiar la función general de daño a través del tiempo al proporcionar un mecanismo para desalentar el desarrollo en áreas de alto riesgo
Medidas sociales y de salud.	Reducción de los impactos sociales, de salud y económicos asociados de la inundación.

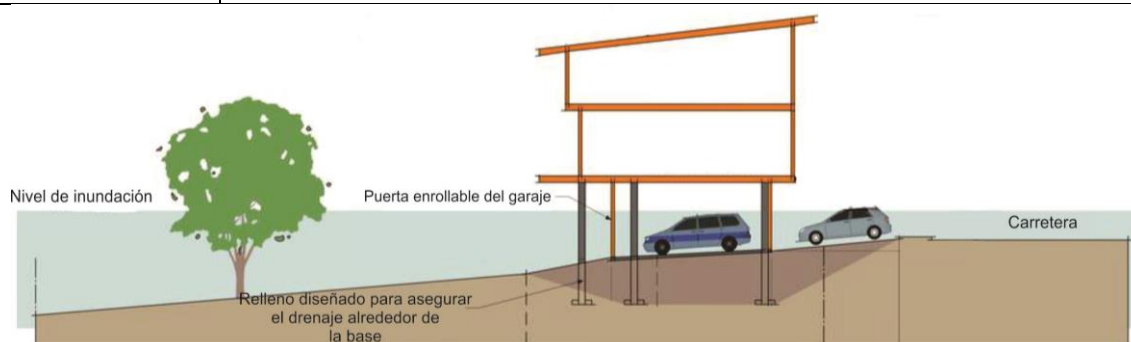


Figura 3. Esquema de casas sobre pilotes adecuadas para llanuras de inundación. Adaptado de: Kishan & Schwartz (2016).

Sección 2: SFM mediante el manejo de ríos y riberas.

Manejo actual de ríos y riberas en Manabí.

Con el objetivo de reducir la rugosidad del cauce, aumentar la capacidad del canal para acomodar caudales de avenidas y reducir inundaciones, se han

tomado medidas en áreas prioritarias donde la erosión del talud amenaza propiedad o infraestructura pública y privada de alto valor económico. Las medidas incluyen el desazolve de los cauces, eliminación de la vegetación del talud (desbroce) y re-conformación de los canales de los ríos (ver Figura 4), las mismas que se realizan poco antes del inicio de la temporada de intensas lluvias. Se entiende que si el desbroce y re-conformación del cauce se hace varios meses antes del inicio de la temporada lluviosa, la vegetación crece naturalmente, aumentando nuevamente la rugosidad del canal. Sin embargo, repercusiones ecológicas y morfológicas de esta intervención no se consideran. Estas medidas tomadas por las autoridades, a pesar de tener cierto fundamento técnico, tienen efectos negativos, ya que se deja desprotegido a los taludes contra la erosión que se genera, lo que a su vez puede contribuir al azolvamiento de los cauces aguas abajo.



Figura 4. Ejemplo de trabajos de limpieza y re-conformación de cauces de ríos de Manabí. Fuente: (GADPM, 2018).

Para poder dar un manejo de las riberas de los ríos manabitas se ha optado también por opciones como la que presenta la ingeniería tradicional o 'ingeniería dura' la misma que se basa en la aplicación de cambios a la morfología de los ríos. Dentro de las medidas que se puede tomar aplicando técnicas de ingeniería tradicional está el recubrimiento de los canales con enrocados de piedra escollera o con muro de gaviones. Según Bernhardt & Palmer (2007) la implementación de obras de ingeniería dura en los cauces tiene una repercusión sobre los ecosistemas de los ríos. Sin embargo, la preferencia por ingeniería dura es entendible. Comparada con algunas técnicas de hace varios siglos que utilizaban materiales biodegradables elaborados de forma artesanal, las medidas 'duras' de ingeniería tienen bajo costo y rápida aplicabilidad gracias a la utilización de maquinaria a base de combustibles (Evette et al., 2009). Entonces, a pesar de que la ingeniería dura resulta ser intrusiva con el

ecosistema y su impacto ambiental es bastante considerable, aún es considerada como opción viable desde el punto de vista económico.

Las técnicas de bioingeniería

Una técnica alternativa es la bioingeniería que consiste en la aplicación de organismos vegetales en el área a intervenir y utilizarlos de tal manera que proporcionen protección al talud sin alterar significativamente la morfología y la ecología. La propuesta de bioingeniería se plantea para áreas prioritarias y no necesariamente para largos tramos de río. Las áreas prioritarias pueden ser las mismas que ya han identificado las autoridades locales. Dentro de las opciones de bioingeniería podemos seleccionar entre aquellas que se basan en la utilización de especies leñosas y no leñosas como una cobertura de talud. Evette et al. (2009) nos indica que las técnicas de bioingeniería se vienen aplicando desde muchos años atrás, permiten mejorar considerablemente las condiciones de estabilidad del talud y son sostenibles. Sin embargo, estas técnicas han sido aplicadas mayormente en ríos de bajo número de orden. Hay incertidumbres con respecto a su efectividad en ríos con alto número de orden y frente a crecidas extraordinarias (Evette et al., 2009). Una de las ventajas de esta técnica es que va aumentando su resistencia conforme avanza el tiempo gracias al crecimiento e incremento de la vegetación.

La bioingeniería tiene una repercusión ambiental menor y en ciertos casos positiva debido que se puede aplicar empleando especies nativas de la región o que se puedan adaptar bien para crear las coberturas de talud (Henderson, 1986). De hecho, los ríos manabitas se caracterizan por tener sus riberas cubiertas por una capa de vegetación mayormente no leñosa que crece naturalmente, sin ninguna intervención. Inclusive después de la intervención de maquinaria pesada, cuando los taludes quedan desprotegidos, luego de pocos meses, ya se puede observar una cobertura de vegetación densa. Por lo anterior, podríamos pensar que las técnicas de bioingeniería ayudarían a llevar al río a una condición cercana a la natural.

Para lograr una efectiva inserción de las técnicas de bioingeniería se puede utilizar varias especies de plantas. En la parte inferior del talud se podrían emplear especies no leñosas resistentes al agua y en la parte media del talud se puede emplear especies leñosas. Las especies leñosas tienen una red de raíces que aumentan la estabilidad de los taludes. Ya que los sauces son utilizados para manejo de riberas en varias regiones del planeta (Rauch et al., 2014; Rodrigues-Holanda & Da-Rocha, 2011; Watson et al., 1997), una opción sería explorar el uso de una planta de sauce nativa del continente sudamericano como lo es el 'sauce chileno' (*Salix Humboldtiana*). Con este recubrimiento vegetal se puede reducir la erosión y aumentar la estabilidad del talud evitando el asolvamiento de los cauces aguas abajo.

Quizás, la opción más viable es la mezcla de técnicas tradicionales de ingeniería dura conjunto de técnicas bioingenieriles con el fin de proporcionar una respuesta sostenible a la problemática de erosión y asolvamiento de los cauces

en Manabí. Al combinar las técnicas de bioingeniería e ingeniería tradicional se podría lograr un mejor resultado que permita dar un manejo sostenible a las riberas de los ríos manabitas y permitiría manejar costos menores a largo plazo. Shields et al. (1996) y Henderson (1986) promueven la utilización de estas técnicas combinadas para lograr un efectivo control de riberas en condiciones rurales. La técnica combinada consiste en la utilización de un enrocado de piedra escollera en la parte del lecho del río y en la parte baja del talud, mientras que en la parte media del talud se puede emplear especies vegetales no leñosas para disminuir la erosión y proporcionar estabilidad al talud. En la parte superior se puede emplear especies vegetales leñosas que con su amplio sistema de raíces proporcione un sostén al suelo. Estas prácticas se han realizado en Brasil (Rauch et al., 2014; Rodrigues-Holanda & Da-Rocha, 2011) con especies como *Salix Humboldtiana* (ver Figura 5). Finalmente, para proporcionarle una protección adicional al talud se puede emplear geotextiles en la etapa inicial del proyecto hasta que las plantas hayan alcanzado una condición estable.

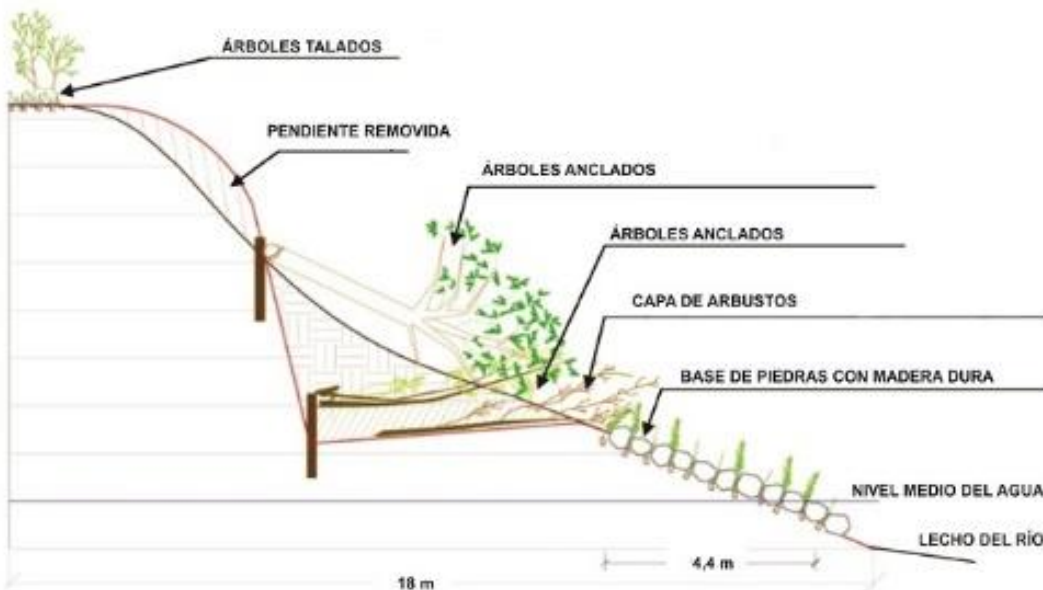


Figura 5. Ejemplos de posibles opciones de bioingeniería e ingeniería tradicional en conjunto. Adaptado de: Rauch et al. (2014).

Bioingeniería: Aspectos adicionales a considerar

Tomando en consideración la propuesta de bioingeniería es necesario no alterar la comodidad de la ciudadanía y asegurar la salud pública. Específicamente es necesario evitar la proliferación de plagas provenientes de los encharcamientos de agua entre la vegetación que se ubican en la ladera de los ríos. Rey et al. (2012) nos indica que los humedales de franja angosta no presentan condiciones favorables para el desarrollo de niveles altos de poblaciones de mosquitos. Sin embargo, se debe considerar que esta última investigación se realizó en Norte América con un clima sub tropical por lo cual puede existir

incertidumbre en la aplicación en climas tropicales. Podríamos entonces concluir que es poco probable que la propuesta de bioingeniería en las riberas incremente el problema de mosquitos que ya tenemos en la región.

La implementación de la alternativa de bioingeniería en la protección de riberas puede tener beneficios adicionales. Por ejemplo, el porcentaje de área verde la ciudad aumentaría. Esto es relevante teniendo en cuenta la recomendación de que las ciudades deben tener suficiente cantidad de áreas verdes para su número de habitantes. Esto sumado a los beneficios proporcionados por las plantas a manera de sostén del suelo y protección ante la erosión convierten la utilización de técnicas de bioingeniería en una opción para la protección de riberas urbanas. Desde un punto de vista más integral u holístico se podría considerar también un adecuado aspecto visual. Los árboles de mayor tamaño se podrían sembrar de manera simétrica procurando dejar una distancia adecuada para su correcto desarrollo. Otra alternativa, o como complemento en ciertas áreas, es sembrar césped alrededor de los árboles para darle un mayor atractivo visual. Algo de esto ya se ha hecho en el Parque Las Vegas en Portoviejo.

Hay varias especies de césped que pudieran utilizarse y su mantenimiento podría ser factible. Entre la variedad de césped que se puede emplear en nuestra provincia pueden incluir aquellas con altos índices de humedad pero también aquellas para zonas secas que puedan pasar largos periodos de tiempos sin necesidad de ser regado. Se puede lograr un diseño amigable con el ambiente, pero, para el césped, es necesario un constante mantenimiento. La propuesta de césped sería exclusivamente para áreas específicas como parques debido que el césped requiere ser podado cada determinado tiempo. Gracias a que cada GAD municipal en la provincia posee su departamento de higiene - ornato se podría sustentar los gastos que representa el mantenimiento de las áreas antes mencionadas.

Es necesario considerar que los costos que representan el trabajar solo con bioingeniería en centros urbanos pueden ser demasiado elevados como para ser factibles. Esto por la cantidad de infraestructura costosa ya existente en las zonas urbanas que habría que intervenir o que estaría en riesgo (Bernhardt & Palmer, 2007). Decimos riesgo porque aún no se conocen estudios suficientemente rigurosos en Manabí que demuestren la eficacia de las técnicas de bioingeniería para sostener y proteger el talud¹³. Por otro lado, hablamos de intervención, ya que, en efecto para la implementación de la bioingeniería puede ser necesario el uso de maquinaria pesada en las riveras. Las operaciones podrían dañar tuberías, cables, entre otras infraestructuras que pueden cruzar los ríos o encontrarse en sus riberas. Es posible que la propuesta de bioingeniería no sea factible en centros urbanos muy densos.

¹³ Existen estudios de pregrado en la provincia (Choez, 2010; Yoza, 2017) y una investigación en Santo Domingo de los Tsáchilas (Petroni & Preti, 2010). Sin embargo, los taludes que se han protegido no están en las riberas de ningún río.

La combinación de técnicas de bioingeniería puede ser una opción viable para llevar un manejo de las riberas de los ríos manabitas si la combinamos con el manejo de la cuenca. Esto debido a que las técnicas de bioingeniería pueden, en efecto, aumentar la rugosidad del canal, disminuir su capacidad y producir inundaciones. Entonces, la propuesta necesita de un manejo sostenible de la cuenca hidrográfica que disminuya los caudales en las épocas de lluvias intensas. Para este fin, se puede aplicar los conceptos brindados por Nicholson et al.(2012) en los cuales nos propone el uso de atenuadores de escorrentía (RAFs) en la parte media y alta de las cuencas. De esta forma la sección con bioingeniería que tiene rugosidad aumentada podrá acomodar los caudales, sin erosionar excesivamente y sin exacerbar la sedimentación aguas abajo.

Cabe hacer énfasis que la propuesta de bioingeniería se plantea para áreas prioritarias. Estudios que ayuden a definir estos sectores podrían ser necesarios. De hecho, una aplicación interesante se ha hecho en el norte¹⁴ de la provincia. Para estos fines se puede emplear herramientas e información de fácil acceso como SIG y mapas de uso de la tierra. Zonas críticas pueden incluir aquellas donde la erosión del talud amenaza propiedad o infraestructura pública y privada de alto valor económico. La propuesta de bioingeniería para manejo de ríos y riberas que aquí exploramos, no reduciría la rugosidad del canal ni aumentaría significativamente su sección transversal. En el presente documento creemos que la solución se debe enfocar mayormente en el manejo de la cuenca hidrográfica (ver sección 1) para evitar que los caudales de crecida tengan magnitudes excesivas

Conclusiones

En Manabí el enfoque tomado para el manejo de inundaciones está en el manejo de la cuenca y de las riberas. En ambos casos se utiliza mayormente la ingeniería tradicional. Sin embargo, actualmente se reconoce a nivel mundial que la insistencia en las defensas estructurales convencionales contra inundaciones es insostenible. Considerando el manejo de la cuenca, las medidas tomadas han tenido una efectividad limitada. Una alternativa o complemento son los atenuadores de escorrentía (RAFs) que son definidos como 'ingeniería suave'. Estos presentan dos ventajas: a) sus costos relativamente bajos y b) su potencial de brindar protección contra inundaciones a varios sitios aguas abajo –contrario a diques que tienen efectos localizados. Sin embargo, para la aplicación de RAFs en una cuenca hay varios aspectos técnicos importantes a tomar en cuenta, se necesitan estudios y es indispensable la cooperación con agricultores, ganaderos y demás sectores sociales involucrados en la cuenca hidrográfica.

Referente al manejo de ríos y riberas en la Provincia, es común la eliminación de la vegetación del talud (desbroce) y una re-conformación de la sección transversal en varios ríos. Sin embargo, repercusiones ecológicas y morfológicas de esta intervención no se consideran. Estas medidas tomadas por las

¹⁴ Jolley, 2013.

autoridades, a pesar de tener cierto fundamento técnico, tienen efectos negativos. Se deja desprotegido a los taludes contra la erosión que se genera, lo que a su vez puede contribuir al azolvamiento de los cauces aguas abajo. Una técnica que podría funcionar es la bioingeniería que consiste en la aplicación de organismos vegetales que proporcionan protección al talud.

Ventajas de la bioingeniería incluyen un aumento de su resistencia conforme avanza el tiempo, gracias al crecimiento e incremento de la vegetación; y que ayudaría a llevar al río a una condición cercana a la natural. Sin embargo, hay incertidumbres con respecto a su efectividad en ríos con alto número de orden y frente a crecidas extraordinarias. Adicionalmente es posible que la propuesta de bioingeniería no sea factible en centros urbanos muy densos. La combinación de técnicas de bioingeniería e ingeniería tradicional puede ser una opción viable para llevar un manejo de las riberas de los ríos manabitas siempre que se la combine con atenuadores de escorrentía aguas arriba. Esto debido a que las técnicas de bioingeniería pueden, en efecto, aumentar la rugosidad del canal, disminuir su capacidad y producir inundaciones. Entonces, la propuesta de bioingeniería necesita de un manejo de la cuenca hidrográfica que disminuya los caudales en las épocas de lluvias intensas.

Referencias bibliográficas

- Andersen, I., Dione, O., Jarosewich-Holder, M., Olivry, J., & Golitzen, K. (2005). *The niger river basin: A Vision for Sustainable management*. Retrieved from <http://documents.worldbank.org/curated/en/187941468097179065/pdf/345180PAPERONR1Basin01OFFICIAL0USE1.pdf>
- Bernhardt, E. S., & Palmer, M. A. (2007). Restoring streams in an urbanizing world. *Freshwater Biology*, 52(4), 738–751. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2006.01718.x>
- Choez, H. (2010). *La ingeniería naturalística en la estabilización de suelos mediante la siembra de Moyuyo (Cordia lutea), en la Ciudadela Bellavista del Cantón Jipijapa, periodo 2010*. Universidad Estatal del Sur de Manabí. Retrieved from <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/307>
- Dawson, R. J., Ball, T., Werritty, J., Werritty, A., Hall, J. W., & Roche, N. (2011). Assessing the effectiveness of non-structural flood management measures in the Thames Estuary under conditions of socio-economic and environmental change. *Global Environmental Change*, 21(2), 628–646. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.01.013>
- Dixon, S. J., Sear, D. A., Odoni, N. A., Sykes, T., & Lane, S. N. (2016). The effects of river restoration on catchment scale flood risk and flood hydrology. *Earth Surface Processes and Landforms*, 41(7), 997–1008. <https://doi.org/10.1002/esp.3919>
- El Diario. (2006). Empieza la limpieza del río y quebrada. Retrieved from <http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/11453-empieza-la-limpieza-del-río-y-quebrada/>
- El Diario. (2008). Plan hidráulico de Manabí con obras, pero aún con camino por recorrer. Retrieved from <http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/82968-plan-hidraulico-de-manabi-con-obras-pero-aun-con-camino-por-recorrer/>
- El Diario. (2016). La limpieza de quebradas da resultados. Retrieved from <http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/380874-la-limpieza-de-quebradas-da-resultados/>
- El Diario. (2017). CORREDOR DEL RÍO PORTOVIEJO FUE TEMA DEL FORO AMBIENTAL

MANABI 2017. Retrieved from <http://www.manabi.gob.ec/11292-corredor-del-rio-portoviejo-fue-tema-del-foro-ambiental-manabi-2017.html>

Evette, A., Labonne, S., Rey, F., Liebault, F., Jancke, O., & Girel, J. (2009). History of bioengineering techniques for erosion control in rivers in western europe. *Environmental Management*, 43(6), 972–984. <https://doi.org/10.1007/s00267-009-9275-y>

Falkenmark, M., & Folke, C. (2002). The ethics of socio-ecohydrological catchment management : towards hydrosolidarity. Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00304643/document>

Falkenmark, M., Gottschalk, L., & Lundqvist, J. (2007). Towards integrated catchment management : increasing the dialogue between scientists , policy - makers and stakeholders. *International Journal of Water Res Dvmnt*, (September 2014), 37–41. <https://doi.org/10.1080/0790062042000248619>

GADPM. (2011). Gobierno de Manabí y SENAGUA firman convenio de cooperación mutua. Retrieved from <http://www.manabi.gob.ec/1872-gobierno-de-manabi-y-senagua-firman-convenio-de-cooperacion-mutua-html>

GADPM. (2014). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial Manabí 2015- 2024 provincia del Milenio*. Retrieved from https://issuu.com/gadmanabi/docs/pdyot_20manabi_20actualizado

Ghani, A. A. B., Zakaria, N. A., Chang, C. K., & Ainan, A. (2008). Sustainable Urban Drainage System (SUDS) – Malaysian Experiences, 1–10. Retrieved from http://eprints.usm.my/13593/1/sustainable_urban_drainage_system.pdf

Hall, J. W., Meadowcroft, I. C., Sayers, P. B., & Bramley, M. E. (2003). Integrated Flood Risk Management in England and Wales. *Natural Hazards Review*, 4(3), 126–135. [https://doi.org/Doi 10.1061/\(Asce\)1527-6988\(2003\)4:3\(126\)](https://doi.org/Doi 10.1061/(Asce)1527-6988(2003)4:3(126))

Harman, J., Bramley, M. E., & Funnell, M. (2002). Sustainable flood defence in England and Wales. *Proceedings of the ICE - Civil Engineering*, 150(5), 3–9. <https://doi.org/10.1680/cien.2002.150.5.3>

Henderson, J. E. (1986). Environmental Designs for Streambank Protection Projects. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 22(4), 549–558. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1986.tb01907.x>

Jolley, J. A. (2013). *Assessing riparian condition and prioritizing locations for streamside reforestation projects northern Manabí Province, Ecuador*. Duke University. Retrieved from https://dukespace.lib.duke.edu/dspace/bitstream/handle/10161/6922/JeremiahJolley_Final_MP.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Metcalfe, P., Beven, K., Hankin, B., Lamb, R., Consulting, J. B. A., & Street, S. (2018). A new method , with application , for analysis of the impacts on flood risk of widely distributed enhanced hillslope storage, 2589–2605.

Nascimento, N. O., Ellis, J. B., Baptista, M. B., & Deutsch, J. (2000). Using detention basins : operational experience and lessons, 1(1999). Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462075800000091>

Nicholson, A. R., Wilkinson, M. E., O'Donnell, G. M., & Quinn, P. F. (2012). Runoff attenuation features: A sustainable flood mitigation strategy in the Belford catchment, UK. *Area*, 44(4), 463–469. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4762.2012.01099.x>

OAS, Republica del Ecuador, CRM, INERHI, & CONADE. (1991). Plan Integral de Desarrollo de los Recursos Hídricos de la Provincia de Manabí. Retrieved from <https://www.oas.org/DSD/publications/Unit/oea40s/begin.htm#Contents>

Pattison, I., Lane, S., Hardy, R., & Reaney, S. (2014). The role of tributary relative timing and sequencing in controlling large floods, (January), 1–4. <https://doi.org/10.1002/2013WR014067>.Received

- Petrone, A., & Preti, F. (2010). Soil bioengineering for risk mitigation and environmental restoration in a humid tropical area. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(2), 239–250. <https://doi.org/10.5194/hess-14-239-2010>
- Rauch, H. P., Sutuli, F., & Hörbinger, S. (2014). Installation of a Riparian Forest by Means of Soil Bio Engineering Techniques—Monitoring Results from a River Restoration Work in Southern Brazil. *Open Journal of Forestry*, 4(2), 161–169. <https://doi.org/10.4236/ojf.2014.42022>
- Rey, J. R., Walton, W. E., Wolfe, R. J., Roxanne, C., O'Connell, S. M., Berg, J., ... Laderman, A. D. (2012). North American wetlands and mosquito control. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 9(12), 4537–4605. <https://doi.org/10.3390/ijerph9124537>
- Rodrigues-Holanda, F., & Da-Rocha, I. (2011). Streambank Soil Bioengineering Approach to Erosion Control Francisco. In A. Carpi (Ed.), *Progress in Molecular and Environmental Bioengineering – From Analysis and Modeling to Technology Applications* (pp. 135–152). Retrieved from <http://www.intechopen.com/books/design-control-and-applications-of-mechatronic-systems-in-engineering%0AInterested>
- Rossel, F., Cadier, E., & Gomez, G. (1996). Las inundaciones en la zona costera ecuatoriana: causas; obras de proteccion existentes y previstas. *Bulletin de l'Insitut Français d'Études Andines*, XXV, 3, (January 1996), 339–420.
- Secretaría del Agua. (n.d.). Walter Solís: Multipropósito Chone ayudará al desarrollo del cantón manabita. Retrieved from <https://www.agua.gob.ec/walter-solis-multiproposito-chone-ayudara-en-el-desarrollo-del-canton-manabita/>
- Shields, F., Bowie, A., & Cooper, C. (1996). Control of streambank erosion due to bed degradation with vegetation and structure. *Water Resources Bulletin*, 31(3).
- SNGR. (2015). *Rendición de cuentas 2015*. Retrieved from <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/03/Informe-Lúdico-2015-CZ4.pdf>
- Sultan, D., Tsunekawa, A., Haregeweyn, N., Adgo, E., & Tsubo, M. (2018). Impact of Soil and Water Conservation Interventions on Watershed Runoff Response in a Tropical Humid Highland of Ethiopia. *Environmental Management*, 860–874. <https://doi.org/10.1007/s00267-018-1005-x>
- Valer-Chacón, W. (2009). EL ENFOQUE DE MANEJO DE CUENCAS - CASO DE LA CUENCA DEL SANTA, ANCASH, PERÚ Walter. *Revista Desarrollo Local Sostenible*, 2(5), 1–15. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3037546.pdf>
- Watson, C. C., Abt, S. R., & Derrick, D. (1997). Willow posts bank stabilization. *Journal of the American Water Resources Association*, 33(2), 293–300. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1997.tb03510.x>
- Waylen, K. A., Holstead, K. L., Colley, K., & Hopkins, J. (2018). Challenges to enabling and implementing Natural Flood Management in Scotland. *Journal of Flood Risk Management*, 11, S1078–S1089. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12301>
- Wilkinson, M. E., Quinn, P. F., & Welton, P. (2010). Runoff management during the September 2008 floods in the Belford catchment, Northumberland. *Journal of Flood Risk Management*, 3(4), 285–295. <https://doi.org/10.1111/j.1753-318X.2010.01078.x>
- Yoza, C. (2017). *Diseño de estabilización biotécnica de talud con geomalla y especie vegetal en la Quebrada de Ingapirca de la Unesum*. UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ. Retrieved from <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/812>

