

**OPTIMIZACIÓN DE CRITERIOS Y TÉCNICAS PARA SU APLICACIÓN A LA  
ORDENACIÓN Y RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO-FORESTAL DE CUENCAS  
HIDROGRÁFICAS**  
(BEST PRACTICE IN H & F MANAGEMENT)

**EQUIPO EPIC FORCE**  
**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID (ESPAÑA)**  
Juan Ángel Mintegui Aguirre

**ESTADO DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE AMÉRICA LATINA OBJETO  
DEL PROYECTO EPIC FORCE: PRÁCTICAS HABITUALES DE USO Y MANEJO  
DE LAS MISMAS Y SUS ORIENTACIONES HACIA UN DESARROLLO  
SOSTENIDO**

**EQUIPO EPIC FORCE**  
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COSTA RICA (COSTA RICA)**  
Miriam Miranda  
**UNIVERSIDAD DE CUENCA (ECUADOR)**  
Felipe Cisneros  
**SUBSECRETARIA DE RECURSOS NATURALES DE TIERRA DE FUEGO  
(ARGENTINA)**  
Adriana Urciuolo  
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA (ARGENTINA)**  
Marcelo Gaviño  
**UNIVERSIDAD AUSTRAL (CHILE)**  
Andrés Iroume

**OPTIMIZACIÓN DE CRITERIOS Y TÉCNICAS PARA SU APLICACIÓN A LA  
ORDENACIÓN Y RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO-FORESTAL DE CUENCAS  
HIDROGRÁFICAS**  
(BEST PRACTICE IN H & F MANAGEMENT)

**EQUIPO  
EPIC FORCE  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**

**Juan Ángel Mintegui Aguirre; José Carlos Robredo Sánchez;  
César López Leiva; Juan Ignacio García Viñas**

**INDICE**

1. INTRODUCCIÓN: OBJETIVOS Y CUADRO RESUMEN DE LA ORDENACIÓN HIDROLÓGICO-FORESTAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS.
  - 1.1. Estrategias para minimizar el impacto de los eventos de lluvias torrenciales extremas en cuencas hidrográficas.
2. CRITERIOS DE ORDENACIÓN HIDROLÓGICO-FORESTAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS
  - 2.1. Evolución y estado actual en los criterios y técnicas de la ordenación de los usos del suelo en la cuenca, para restaurar su cubierta vegetal con la finalidad de proteger el suelo de la erosión hídrica.
3. OPTIMIZACIÓN DE CRITERIOS Y TÉCNICAS PARA LA ORDENACIÓN Y RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO-FORESTAL EN LOS DIFERENTES ESCENARIOS NATURALES DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA.
  - 3.1. Análisis del escenario I.1.-A
    - 3.1.1. Descripción
    - 3.1.2. Cuencas de América Latina, incluidas en el Proyecto EPIC FORCE, que presentan una situación asimilable al de este escenario
    - 3.1.3. Fenomenología geo-torrencial
    - 3.1.4. Esquema corrector
      - 3.1.4.1. Criterios y objetivos de la corrección
      - 3.1.4.2. Técnicas utilizadas en la corrección
        - 3.1.4.2.1. *Corrección de torrentes*
        - 3.1.4.2.2. *Sistemas de defensa contra los aludes*
        - 3.1.4.2.3. *Corrección de las laderas de la cuenca hidrográfica*
        - 3.1.4.2.4. *Sistema corrector de los deslizamientos del terreno*

- 3.2. Análisis del escenario I.2.-A
  - 3.2.1. Descripción
  - 3.2.2. Cuencas de América Latina, incluidas en el Proyecto EPIC FORCE, que presentan una situación asimilable al de este escenario
  - 3.2.3. Fenomenología geo-torrencial
  - 3.2.4. Esquema corrector
    - 3.2.4.1. Criterios y objetivos de la corrección
    - 3.2.4.2. Técnicas utilizadas en la corrección
      - 3.2.4.2.1. *Corrección de torrentes*
      - 3.2.4.2.2. *Corrección de las vertientes de la cuenca hidrográfica*
      - 3.2.4.2.3. *La cuestión de los terrenos, identificados con el presente escenario, destinados a usos diferentes al bosque o a un matorral denso no degradado*
- 3.3. Análisis del escenario I.1.-B
  - 3.3.1. Descripción
  - 3.3.2. Cuencas de América Latina, incluidas en el Proyecto EPIC FORCE, que presentan una situación asimilable al de este escenario
  - 3.3.3. Fenomenología geo-torrencial
  - 3.3.4. Esquema corrector
    - 3.3.4.1. Criterios y objetivos de la corrección
    - 3.3.4.2. Técnicas utilizadas en la corrección
- 3.4. Análisis del escenario I.2.-B
  - 3.4.1. Descripción
  - 3.4.2. Cuencas de América Latina, incluidas en el Proyecto EPIC FORCE, que presentan una situación asimilable al de este escenario
  - 3.4.3. Fenomenología geo-torrencial
  - 3.4.4. Esquema corrector
    - 3.4.4.1. Criterios y objetivos de la corrección
    - 3.4.4.2. Técnicas utilizadas en la corrección
- 3.5. Análisis del escenario II.1.-A
  - 3.5.1. Descripción
  - 3.5.2. Cuencas de América Latina, incluidas en el Proyecto EPIC FORCE, que presentan una situación asimilable al de este escenario
  - 3.5.3. Fenomenología geo-torrencial
  - 3.5.4. Esquema corrector
    - 3.5.4.1. Criterios y objetivos de la corrección
    - 3.5.4.2. Técnicas utilizadas en la corrección
      - 3.5.4.2.1. *Corrección de torrentes*
      - 3.5.4.2.2. *Corrección de las vertientes de la cuenca hidrográfica*
      - 3.5.4.2.3. *Sistemas de defensa contra los aludes*
      - 3.5.4.2.4. *La utilización del arbolado en las áreas dominadas*
      - 3.5.4.2.5. *Otras cuestiones a considerar en el ámbito del presente escenario*

- 3.6. Análisis del escenario II.2.-A
  - 3.6.1. Descripción
  - 3.6.2. Cuencas de América Latina, incluidas en el Proyecto EPIC FORCE, que presentan una situación asimilable al de este escenario
  - 3.6.3. Fenomenología geo-torrencial
  - 3.6.4. Esquema corrector
    - 3.6.4.1. Criterios y objetivos de la corrección
    - 3.6.4.2. Técnicas utilizadas en la corrección
      - 3.6.4.2.1. *Corrección de cursos torrenciales*
      - 3.6.4.2.2. *Sistemas de defensa contra los aludes*
      - 3.6.4.2.3. *Obras longitudinales de defensa de márgenes y riberas en cursos de agua*
- 3.7. Análisis del escenario II.1.-B
  - 3.7.1. Descripción
  - 3.7.2. Cuencas de América Latina, incluidas en el Proyecto EPIC FORCE, que presentan una situación asimilable al de este escenario
  - 3.7.3. Fenomenología geo-torrencial
  - 3.7.4. Esquema corrector
    - 3.7.4.1. Criterios y objetivos de la corrección
    - 3.7.4.2. Técnicas utilizadas en la corrección
- 3.8. Análisis del escenario II.2.-B
  - 3.8.1. Descripción
  - 3.8.2. Cuencas de América Latina, incluidas en el Proyecto EPIC FORCE, que presentan una situación asimilable al de este escenario
  - 3.8.3. Fenomenología geo-torrencial
  - 3.8.4. Esquema corrector
    - 3.8.4.1. Criterios y objetivos de la corrección
    - 3.8.4.2. Técnicas utilizadas en la corrección
- 4. BIBLIOGRAFÍA
- 5. ESTADO DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE AMÉRICA LATINA OBJETO DEL PROYECTO EPIC FORCE: PRÁCTICAS HABITUALES DE USO Y MANEJO DE LAS MISMAS Y SUS ORIENTACIONES HACIA UN DESARROLLO SOSTENIDO.
  - 5.1. Enumeración de las cuencas y adopción de los criterios para analizar el estado de las mismas; con sus aptitudes y necesidades para conseguir su protección ante los eventos torrenciales y su aprovechamiento sostenido
  - 5.2. Cuenca vertiente al río Pejibaye (Costa Rica)  
 Información aportada por: **Miriam Miranda; Jorge Fallas; Carmen Valverde CINPE, Fundación Universidad Nacional de Costa Rica, HEREDIA, Costa Rica.**
    - 5.2.1. El enfoque principal bajo el que se entiende el análisis de la cuenca en cuestión

- 5.2.2. Características físicas; de habitabilidad y potencial bio-climático de la cuenca
- 5.2.3. Comportamiento previsible de la cuenca ante eventos torrenciales, tanto ordinarios como extraordinarios; problemas que los mismos generan
- 5.2.4. Utilización que se realiza de los recursos naturales de la cuenca, especialmente el uso del suelo.
- 5.2.5. Diagnostico del estado actual de la cuenca y objetivos específicos que podrían plantearse en la misma
- 5.2.6. Plan de actuaciones a corto, medio y largo plazo que se proponen en la cuenca  
Documentos consultados
  
- 5.3. Cuenca vertiente al río Chanchán (Ecuador)  
Información aportada por: **Felipe Cisneros; Bert De Bièvre; Pedro Cisneros PROMAS, Universidad de Cuenca, CUENCA, Ecuador.**
  
- 5.3.1. El enfoque principal bajo el que se entiende el análisis de la cuenca en cuestión
- 5.3.2. Características físicas; de habitabilidad y potencial bio-climático de la cuenca
- 5.3.3. Comportamiento previsible de la cuenca ante eventos torrenciales, tanto ordinarios como extraordinarios; problemas que los mismos generan
- 5.3.4. Utilización que se realiza de los recursos naturales de la cuenca, especialmente el uso del suelo.
- 5.3.5. Diagnostico del estado actual de la cuenca y objetivos específicos que podrían plantearse en la misma
- 5.3.6. Plan de actuaciones a corto, medio y largo plazo que se proponen en la cuenca  
Documentos consultados
  
- 5.4. Cuenca de los arroyos de Buena Esperanza y del Hambre (Tierra de Fuego, Argentina)  
Información aportada por: **Adriana Urciuolo; Rodolfo Iturraspe; Leonardo Collado Subsecretaria de Recursos Naturales (Dirección General de Recursos Hídricos) Provincia de Tierra de Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur, USHUAIA, Argentina**  
**Marcelo Gaviño Novillo; Ramiro Sarandón**  
**Universidad Nacional de la Plata, LA PLATA, Argentina**
  
- 5.4.1. El enfoque principal bajo el que se entiende el análisis de las cuencas en cuestión
- 5.4.2.a Características físicas; de habitabilidad y potencial bio-climático de la cuenca del arroyo de Buena Esperanza
- 5.4.3.a Comportamiento previsible de la cuenca ante eventos torrenciales, tanto ordinarios como extraordinarios; problemas que los mismos generan
- 5.4.4.a Utilización que se realiza de los recursos naturales de la cuenca, especialmente el uso del suelo (bosques) y del agua.
- 5.4.5.a Diagnostico del estado actual de la cuenca y objetivos específicos que podrían plantearse en la misma: áreas críticas
- 5.4.2.b Características físicas; de habitabilidad y potencial bio-climático de la cuenca del arroyo del Hambre
- 5.4.3.b Comportamiento previsible de la cuenca ante eventos torrenciales, tanto ordinarios como extraordinarios; problemas que los mismos generan
- 5.4.4.b Utilización que se realiza de los recursos naturales de la cuenca, especialmente el uso del suelo (bosques) y del agua.

- 5.4.5.b Diagnostico del estado actual de la cuenca y objetivos específicos que podrían plantearse en la misma.
- 5.4.6. Plan de actuaciones a corto, medio y largo plazo que se proponen para ambas cuencas.  
Documentos consultados
  
- 5.5. Investigaciones efectuadas en un conjunto de parcelas y pequeñas cuencas experimentales situadas en una zona de alta producción forestal de Chile.  
Información aportada por: **Andrés Iroume; Jorge Gayoso; Sylvana Gayoso**  
**Universidad Austral, Facultad de Ciencias Forestales, VALDIVIA, Chile.**
  
- 5.5.1. El enfoque principal bajo el que se entiende el análisis de las investigaciones
- 5.5.2. Características físicas de la zona de estudio
- 5.3.3. Comportamiento previsible de la zona de estudio ante eventos torrenciales, tanto ordinarios como extraordinarios; problemas que los mismos generan
- 5.3.4. Utilización del suelo en la zona de estudio
- 5.3.5. Diagnostico de los efectos causados por los eventos extremos e influencia de las plantaciones forestales en su control
- 5.3.6. Plan de actuaciones a corto, medio y largo plazo  
Documentos consultados

### **1. INTRODUCCIÓN: OBJETIVOS Y CUADRO RESUMEN DE LA ORDENACIÓN HIDROLÓGICO-FORESTAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS.**

Los dos objetivos fundamentales de la ordenación hidrológico-forestal para cualquier cuenca hidrográfica son:

1. La protección de la cuenca vertiente, tratando para ello de amortiguar los fenómenos geo-torrenciales que se generan en la misma, cuando le sobrevienen eventos meteorológicos torrenciales, tanto de carácter ordinario como extraordinario.
2. El mejor aprovechamiento de los recursos agua y suelo en la cuenca hidrográfica; para lo que se actúa tanto en el ámbito de la cuenca vertiente (planificando los usos más adecuados del suelo en sus diferentes áreas, con la intención de influir en el ciclo del agua para regular sus procesos y en caso de situaciones extremas tratar incluso de laminarlos); como en los cauces de evacuación (donde la finalidad de las acciones realizadas es esencialmente la misma que la que se persigue con la planificación agronómica de la cuenca, pero utilizando distintos medios, tanto de ingeniería hidráulica civil como de bioingeniería o ingeniería paisajística).

En consecuencia, el avance de la ordenación hidrólogo-forestal en una cuenca depende: de los progresos alcanzados en la planificación de las actuaciones proyectadas sobre la misma (tanto en su área vertiente como en sus cauces de drenaje) y de la evolución de las tecnologías aplicadas siguiendo el esquema establecido en la planificación.

Para poder entender esta evolución, hay que considerar: por un lado, las distintas concepciones que ha experimentado la ordenación hidrológico-forestal desde su implantación hasta el presente; por otro, la propia evolución de las técnicas de ordenación hidrológico-forestal, que no sólo se han visto afectadas por las transformaciones tecnológicas de los elementos utilizados en las propias actuaciones, sino también por la diferente concepción de la sociedad ante todo lo que supone actuar sobre el medio natural.

Atendiendo a los objetivos planteados y al contexto en el que se desenvuelven las actuaciones hidrológico-forestales, cuyos resultados siempre hay que analizarlos a largo plazo, en el presente estudio se abordan los siguientes aspectos:

1. Un análisis de la cuestión y un cuadro general de ordenación hidrológico-forestal de cuencas hidrográficas, que se propone para la Guía WP7 del Proyecto EPIC FORCE.
2. Optimización de criterios y técnicas para la ordenación y restauración hidrológico-forestal en los diferentes escenarios naturales de una cuenca hidrográfica (de acuerdo con el sistema diseñado en el presente estudio para definir los citados escenarios).

En todo momento, se pretende abordar el comportamiento esperado de la cuenca hidrográfica ante las dos situaciones que se le pueden presentar:

1. Cuando inciden sobre ella precipitaciones torrenciales, en especial cuando se trata de eventos extraordinarios considerados catastróficos.
2. En los periodos que transcurren entre precipitaciones torrenciales.

Resulta evidente que la solución técnica para conseguir que la cuenca hidrográfica salga lo mejor parada posible ante un evento torrencial extraordinario, se encuentra en una adecuada combinación de medidas hidráulicas de obra civil (encargadas de evacuar el flujo sobrante de

la cuenca en esos momentos) y de mantenimiento de unas coberturas arboladas permanentes en los lugares estratégicos de la cuenca (áreas dominantes de fuertes pendientes), para que el terreno resista en dichos lugares ante las tracciones de las fuertes escorrentías que tienen lugar en los mismos en los momentos del evento y, de este, modo no se incorpore un importante caudal sólido al flujo, que añade problemas a la evacuación de la corriente fuera de la cuenca.

Ante las restantes precipitaciones torrenciales, los efectos del bosque y de las demás cubiertas vegetales mecánicamente actúan basándose en los mismos principios y sus efectos pueden resultar incluso más convincentes. La cuestión puede diferir para los periodos que transcurren entre precipitaciones torrenciales, sobre todo cuando éstos se prolongan y en los mismos tampoco se prodigan las lluvias normales, es decir, durante los periodos de sequía. En estos momentos los aspectos fisiológicos de la vegetación pueden estar incidiendo sobre los recursos hídricos de la cuenca vertiente; pero no necesariamente variando las características mecánicas de la vegetación en relación con la protección del suelo, siempre y cuando la vegetación conserve su estructura, tanto aérea como radical. Queda sin embargo por responder la siguiente cuestión ¿Tiene sentido cuestionar las necesidades hídricas de las plantas, en especial del arbolado, cuando se plantea la ordenación y restauración de una cuenca hidrográfica?.

La respuesta, desde el punto de vista de conseguir la mejor protección del suelo en la cuenca y la mayor estabilidad para sus laderas, es evidentemente no; por razones mecánicas. Pero si la cuestión se plantea en el sentido de resolver algunas necesidades para la población que habita en la cuenca, entra en el ámbito de lo discutible. ¿Cuál sería el límite del que no se debería pasar?. Pues evidentemente aquel en el que la cuenca puede entrar en un proceso de degradación prácticamente irreversible; porque no olvidemos que la vegetación natural de la cuenca es la que le corresponde por su clima; algo que sólo existe en las cuencas vírgenes.

En el apartado siguiente se presenta un conjunto de consideraciones físico-lógicas, en relación con las estrategias a seguir para minimizar los impactos que pueden producir los eventos torrenciales extremos en las cuencas hidrográficas en las que inciden, que se acompaña con la Tabla 1.1, que sirve para enlazar las conexiones entre los diferentes procesos geo-torrenciales.

Al final del apartado 1.1 y antes de exponer de criterios y técnicas más convenientes para la ordenación y restauración hidrológico-forestal en los diferentes escenarios naturales de una cuenca hidrográfica; en la Tabla 1.2 se aporta un CUADRO RESUMEN DE LA ORDENACIÓN HIDROLÓGICO-FORESTAL EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS lo más amplio posible y que se presenta con el propósito de que se adopte como base para la Guía del WP 7.

### **1.1. Estrategias para minimizar el impacto de los eventos de lluvias torrenciales extremas en cuencas hidrográficas.**

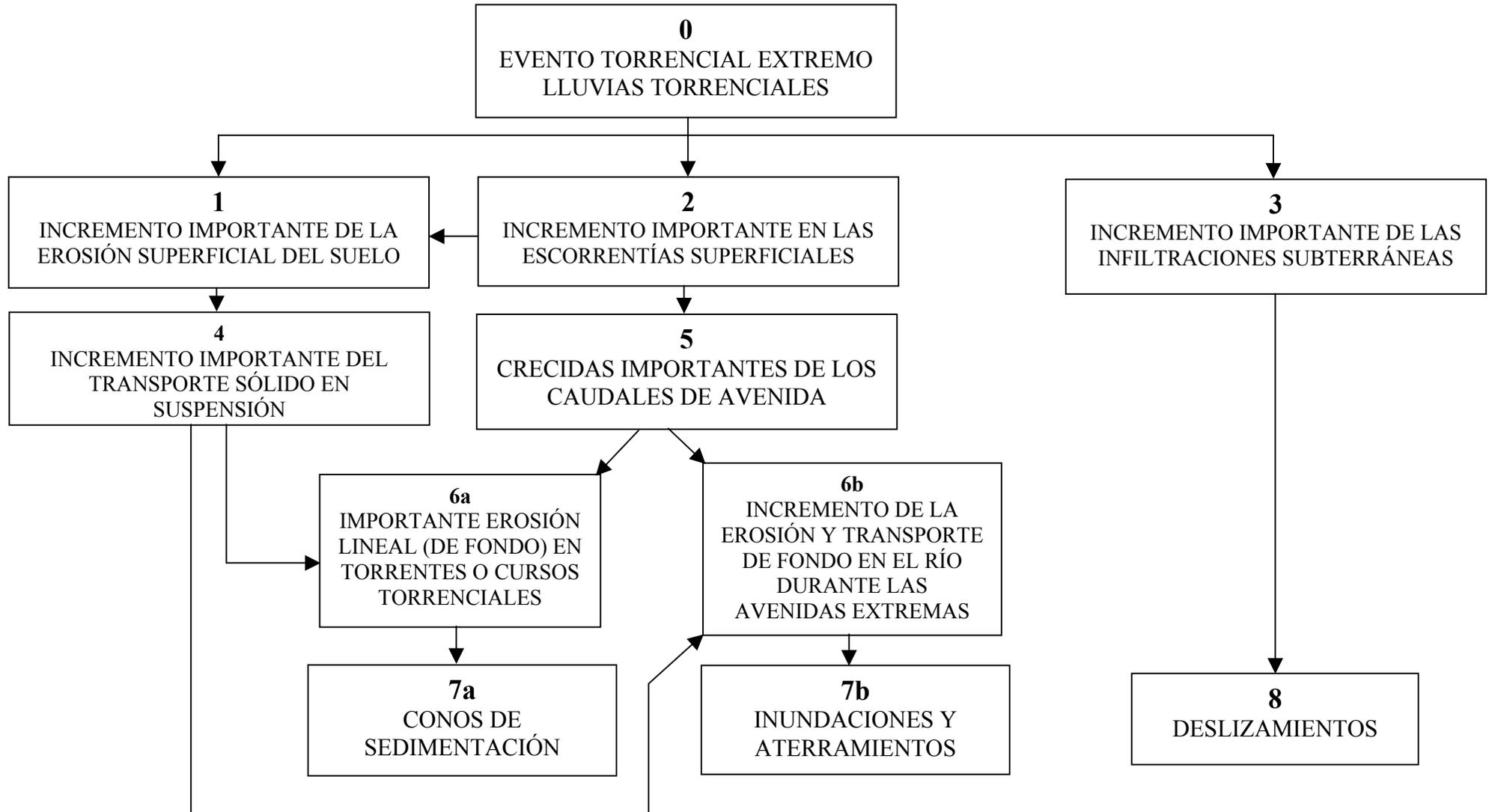
Se trata de responder, con distintas estrategias correctoras, a los fenómenos causados por eventos torrenciales extremos en la cuenca hidrográfica, expuestos en la Tabla 1.1.

- a. En relación con los efectos consignados en los apartados **1**, **2** y **4** de dicho cuadro, éstos se mitigan actuando sobre la cuenca vertiente con repoblaciones, control del pastoreo, pequeñas obras hidráulicas de control de la escorrentía superficial, medidas de conservación de suelos y prácticas de laboreo racional; dependiendo de las pendientes

del terreno, de la posición altimétrica de la zona afectada y de las circunstancias concretas del lugar en cuestión.

- b. Respecto de los efectos del apartado **5**, la forma más radical de mitigarlos es mediante embalses de regulación. Es un procedimiento caro, complejo, con fuertes impactos sobre el territorio y no exento de ciertos riesgos; puede parecer que no encaja con el proyecto, pero es la auténtica medida que se toma en los países más avanzados y con recursos, las restantes medidas son complementarias o paliativas.
  - Otras medidas son proteger los márgenes del cauce en las secciones que corresponden a las zonas más pobladas o presenten cultivos de mayor valor económico o estratégico y dejar expandir a la corriente en las despobladas e improductivas, donde causen menos daños. Cuando los ríos son muy torrenciales estas medidas se deben completar con umbrales de fondo.
  - Como medida pasiva que afecta a la población, están los sistemas de alarma y evacuación.
  
- c. En cuanto a los efectos del apartado **6.a**, éstos se mitigan actuando en los cauces con técnicas de corrección de torrentes. Estas técnicas se extienden también al apartado **7.a**.
  - Como medida pasiva que afecta a la población, están los sistemas de alarma y evacuación.
  
- d. En relación con los efectos del apartado **6.b**, éstos se mitigan con obras hidráulicas de protección de márgenes (escolleras, malecones, espigones, vegetación de riberas, la combinación de varios de ellos, etc.) Estas medidas trasladan el problema hasta la situación del apartado **7.b**, donde la única solución es buscar una salida para que el agua no se embalse. En ocasiones esta salida es difícil de encontrar, pero en todos los casos hay que evitar trabas y permitir que el agua circule hasta un cauce de mayor rango o directamente al mar.
  - Es posible estimar, a través de modelos hidrológicos e hidráulicos y técnicas cartográficas de representación en el territorio, los límites previsibles del área de inundación.
  - Como medida pasiva que afecta a la población, están los sistemas de alarma y evacuación.
  
- e. En relación con los efectos consignados en los apartados **3**. y **8.**, sólo se pueden abordar cuando se conocen las infiltraciones aguas arriba del área de deslizamiento, utilizando técnicas de desviación del flujo de filtración. Si el evento torrencial dura mucho tiempo, resulta imposible de impedir el deslizamiento. Se podría realizar una primera estimación del tiempo que puede mantenerse la ladera sin deslizar, pero la medida resulta muy imprecisa. En Europa hay situaciones en las que se desmonta la ladera cuando afecta a poblaciones en la zona dominada. Lo mejor es no asentar las poblaciones donde hay este riesgo.
  - La utilización de los sistemas de alarma como medida de evacuación de la población, son poco efectivos. La protección se debe asegurar de forma permanente.
  - Hay deslizamientos imposibles de prever, porque las filtraciones se realizan por primera vez en el lugar con ocasión del evento extraordinario. Cuando son epiteliales (superficiales), aunque resulten muy aparentes, no son graves y se cicatrizan con el tiempo. Si son en profundidad, mucho más raros, son imposibles de prever y corregir; sólo se puede actuar en ellos ante un segundo deslizamiento tras producirse el primero.

**TABLA 1.1. SÍNTESIS DE LAS ESTRATEGIAS PARA MINIMIZAR EL IMPACTO DE LOS EVENTOS EXTREMOS SOBRE CUENCAS HIDROGRÁFICAS: ANÁLISIS DEL MODO QUE AFECTAN LOS AGUACEROS EN LAS CUENCAS VERTIENTES**



**TABLA 1.2. CUADRO RESUMEN DE LA ORDENACIÓN HIDROLÓGICO-FORESTAL EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

<p>Análisis temporal del fenómeno y estados físicos del agua en el mismo.</p>	<p>SITUACIONES TEMPORALES RELACIONADAS CON LA TORRENCIALIDAD</p> <p>Desde el punto de vista técnico, en estos casos el agua se considera siempre en estado líquido; por tanto no tiene sentido plantearse los procesos de evaporación y evapotranspiración, pues en la práctica son despreciables mientras esté lloviendo. Son periodos cortos, a lo sumo de 3 a 4 días.</p>				<p>PROBLEMAS GENERADOS POR LA FUSIÓN DEL MANTO DE NIEVE Y POR LOS ALUDES</p> <p>Para la fusión el agua se considera en estado líquido. Para los aludes en estado sólido (plástico en sentido estricto).</p>	<p>SITUACIONES TEMPORALES ENTRE DOS EVENTOS TORRENCIALES</p> <p>En estas situaciones cabe considerar el paso del agua de su estado líquido al de vapor al plantearse el balance hídrico del ciclo del agua Son periodos largos, de meses e incluso años</p>
<p>Principales fenómenos que se manifiestan en la cuenca</p>	<p>Formación de caudales de avenida y superficies de inundación.</p>	<p>Erosión, transporte de sedimentos y sedimentación.</p>	<p>Deslizamientos y movimientos en masa.</p>	<p>Eventos extremos</p>	<p>Fenómenos de fusión del manto de nieve con formación de caudales de avenida y superficies de inundación. Aludes</p>	<p>Fenómenos de evaporación y evapotranspiración en la cuenca vertiente. Recargas de acuíferos y formación de caudales base.</p>
<p>Ciencias físicas utilizadas para estudiar dichos fenómenos</p>	<p>Se considera el agua en estado líquido y en movimiento: Se aplica la Hidráulica de cauces abiertos.</p>	<p>Se considera la erosión del suelo por la lluvia y por el agua líquida en movimiento. Se aplican Principios de Geodinamismo Torrencial; Hidráulica de Sedimentos e Hidráulica Torrencial</p>	<p>El causante final es el aumento de peso de la ladera por que se carga de agua líquida y pierde el equilibrio. Se aplica Mecánica de Suelos</p>	<p>Se considera el agua en estado líquido y se utilizan todas las ciencias anteriores.</p>	<p>Una vez que se produzca la fusión: Se considera el agua líquida en movimiento: Se aplica la Hidráulica de cauces abiertos. Para los aludes se aplica la Mecánica del manto de nieve</p>	<p>Se considera el agua tanto en estado líquido como en vapor. Solo se aplica la Hidráulica para el estado líquido. En el estado de vapor se utiliza la Hidrología combinada con la Termodinámica, la Meteorología e incluso la Fisiología vegetal</p>
<p>Técnicas más usuales utilizadas para la corrección de dichos fenómenos</p>	<p>Técnicas de control de avenidas.</p>	<p>En la cuenca vertiente: el establecimiento de tapices vegetales permanentes (repoblaciones) y la conservación de suelos agrícolas. En los cauces: corrección de torrentes.</p>	<p>Drenajes y modificación del perfil de la ladera, disminuyendo su gradiente.</p>	<p>Normalmente es la suma de todas las técnicas anteriores, pero su efectividad resulta menor a corto plazo e incluso puede parecer nula.</p>	<p>Para las crecidas por la fusión de la nieve: técnicas de control de avenidas torrenciales. Para los aludes: técnicas de corrección de aludes.</p>	<p>Respecto al agua en estado líquido, no son de esperar problemas, pero si surgieran serían por anegamientos. En tal caso la solución está en los drenajes. Respecto a la evaporación y evapotranspiración, se puede plantear la instalación de cubiertas vegetales que consuman menos agua.</p>

<p>Consideraciones preliminares para planificar la ordenación hidrológico-forestal.</p>	<p>Para la cuenca sometida a eventos torrenciales no extremos, se plantea:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Estudiar el medio físico con criterios racionales y comprobados;</li> <li>2) Simular su comportamiento ante los tipos de tormenta seleccionados;</li> <li>3) Estudiar el mejor uso del suelo en las diferentes áreas de la cuenca y las técnicas más apropiadas para el control de sus cauces de drenaje;</li> <li>4) Proponer las medidas pertinentes para el mejor funcionamiento hídrico de la cuenca;</li> <li>5) Justificar las propuestas, delimitando el marco de viabilidad de las actuaciones, incluyendo sus limitaciones temporales</li> </ol>	<p><i>Pasar a la fila siguiente de esta misma tabla.</i></p>	<p>Son de aplicación los criterios para cuencas torrenciales ante eventos no extremos; pero particularizados para el área de montaña en cuestión. Ante eventos extremos se pasa a la fila siguiente.</p>	<p>Son de aplicación los epígrafes 1); 3); 4) y 5. El epígrafe 2) se debe sustituir por diferentes balances hídricos en la cuenca vertiente objeto de estudio, para diferentes situaciones de déficit hídrico.</p>
<p><i>Consideraciones a tener en cuenta ante la incidencia de eventos torrenciales extremos en la cuenca vertiente</i></p>	<p>En situaciones de eventos extraordinarios, los observatorios e institutos meteorológicos pueden aportar informaciones interesantes e incluso precisas sobre algunos aspectos científicos concretos del fenómeno. En cuanto a la magnitud de los efectos de dichos fenómenos sobre el terreno, se pueden constatar a partir de trabajos de campo en la cuenca una vez pasado el evento; o de vuelos aéreo-fotográficos realizados a la cuenca tras el evento extremo. Se trata en todo caso de enumerar los efectos, tomar los datos que proporcionan y de clasificarlos. A partir de esta información, se reconstruye a posteriori como se ha comportado la cuenca en cuestión y que medidas propuestas para ella en la ordenación hidrológico-forestal han surtido los efectos esperados.</p> <p>La ordenación hidrológico-forestal no se debe plantear para eventos extraordinarios, sino para eventos torrenciales de recurrencias moderadas o altas. Los eventos extremos deben asumirse como elementos que puedan proporcionar unos criterios complementarios. Toda ordenación debe plantearse como una técnica de aproximaciones sucesivas, que plantea el establecimiento de unas medidas, que permitan el mejor funcionamiento hidrológico y de utilización de los recursos agua y suelo en la cuenca.</p>	<p>La situación que se contempla en esta columna es incompatible con la presencia de eventos torrenciales.</p>		
<p>Otras consideraciones.</p>	<p>Revisar la bibliografía más actual en relación con los fenómenos que se analizan en este cuadro.</p>			

## 2. CRITERIOS DE ORDENACIÓN HIDROLÓGICO-FORESTAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

De acuerdo con lo expuesto en el apartado anterior, los usos del suelo en la cuenca hidrográfica deben estar dispuestos de tal modo, que no afecten al discurrir normal del ciclo del agua en la misma; ni ocasionen importantes erosiones de cualquier tipo en sus suelos que empobrezcan su productividad, al tiempo que emitan una gran cantidad de sedimentos a los cauces de drenaje de la cuenca; cargando a la corriente de material sólido en los momentos de avenidas y generando un tránsito de éstas más lento, más propenso a la inundación y con mayor capacidad de tracción sobre sus lechos y, por consiguiente, de incrementar la erosión de fondo lineal en los mismos. En definitiva, de producir en las áreas dominadas de la cuenca mayores superficies de inundación y anegando las mismas con los materiales arrastrados por la corriente; previa destrucción por ésta en mayor o menor grado las infraestructuras halladas en su recorrido y las existentes en las áreas dominadas cubiertas por la onda expansiva de la avenida.

Aunque en una ordenación hidrológico-forestal tienen su propio y especial protagonismo tanto la cuenca vertiente como los cauces de drenaje por donde circulan las avenidas en los momentos de eventos torrenciales; las acciones en estos últimos están directamente conectados con los escenarios donde se desarrollan; mientras que las que se aplican a la cuenca presentan un aspecto más amplio y relacionado con la población que habita en la misma; con cuyos intereses se correlaciona. A continuación se desarrolla un apartado dedicado a la cuenca vertiente, poniendo énfasis en la conservación de sus suelos y a modo de introducción de un ejemplo concreto de ordenación hidrológico-forestal de una cuenca vertiente, la alimentadora de la rambla del Aljibe (Almería, España).

### 2.1. Evolución y estado actual en los criterios y técnicas de la ordenación de los usos del suelo en la cuenca, para restaurar su cubierta vegetal con la finalidad de proteger el suelo de la erosión hídrica.

En los albores de la restauración de montañas, cuando los ingenieros se percataron que era necesario restaurar la cuenca vertiente al torrente, para conseguir que las obras de corrección realizadas en éste tuvieran efectividad en el futuro; las actuaciones se limitaron a repoblar dichas cuencas. Dado que se trataba de pequeñas cuencas de montaña, con escaso aprovechamiento como pastizales de temporada, las razones de interés y necesidad social compensaron las escasas rentas que temporalmente perdían los afectados por las mismas.

Pero cuando las actuaciones de restauración se extienden a cuencas hidrográficas de mayor superficie, las medidas de ordenación de suelos en estas últimas afectan a un mayor número de implicados. En teoría e incluso en la práctica, se dispone desde 1939 de las **Clasificaciones Agrológicas de Suelos (H. H. Bennett)** redefinidas con posterioridad en numerosas ocasiones y aplicadas en todo el mundo, que en su **Clase VII** dispone que para suelos poco profundos y de pendientes superiores al 35 % su único destino compatible con su capacidad agronómica es el arbolado (clasificación que como se verá más adelante está perfectamente ajustada para Estados Unidos y Europa, pero no concuerda siempre con las necesidades de conservación de suelos de los países tropicales de América Latina).

En España el problema se suscita en la década de los años cincuenta del siglo pasado. El gobierno de la época centró su interés en la regulación de los principales cursos fluviales del

país, de características marcadamente estacionalidades, mediante un amplio programa de construcción de embalses. En este contexto, para garantizar la vida útil de los vasos de almacenamiento de dichos embalses, se redactaron unos proyectos de *restauración hidrológico-forestal* para sus cuencas alimentadoras, que posteriormente se llevaron a cabo, utilizando para ello la estrategia e incluso las técnicas (especialmente las de selvicultura) que habían sido experimentadas con buenos resultados en la corrección de los torrentes de montaña. Evidentemente, en las áreas de cabecera de dichas cuencas de embalse, con problemas que requerían las clásicas medidas de corrección de torrentes, su aplicación aportó los resultados esperados. Pero en extensas superficies de estas cuencas, coincidentes en su mayor parte con sus áreas dominadas, su principal problema consistía en resolver el control de la erosión hídrica en las mismas, para de este modo limitar la emisión de sedimentos en suspensión a los embalses. Para resolver este problema, se propuso llevar a cabo repoblaciones forestales en todos aquellos terrenos con evidentes muestras de erosión hídrica, cuyas pendientes superasen una pendiente del orden entre 30 y el 40%.

Pero para llevar a cabo estas repoblaciones forestales, en terrenos muchas veces con cultivos ocasionales, había que expropiarlos; lo que obligaba justificarlo, aunque resultara evidente a simple vista que los mismos estaban sometidos a una erosión acelerada. La aplicación estricta en la España del momento (1950-60) de la *Clasificación Agrológica de Suelos* (**H. H. Bennet**, 1939), hubiera reducido las superficies de cultivo más de lo que socialmente resultaba recomendable, sin convencer a nadie de la utilidad de la medida. Ante este escenario **J. M. García Nájera** estableció y publicó su *Ecuación de la pendiente máxima admisible en cultivos* (1954) y *pastizales* (1955), a fin de demarcar las zonas que debían ser destinadas a vegetación permanente, preferentemente arbolada, para defenderlas de una erosión hídrica acelerada.

En síntesis, lo propuesto por **J. M. García Nájera** fue lo siguiente. De acuerdo con sus cálculos matemáticos y con los ensayos realizados en el canal de su laboratorio, estableció para los cultivos dos *pendientes críticas* a las que denominó: *pendiente de iniciación de la erosión* (para la que estableció un valor entre el 7 y 8 %) y *pendiente arrastre total* (que lo determinó en un 18 %); mientras que tratándose de pastizales, sus cálculos puramente analíticos le llevaron a establecer que los *pastizales no debían extenderse por terrenos con más de un 30 % de pendiente*, si se quería asegurar la conservación de los mismos en buenas condiciones. Aunque los estudios de **J. M. García Nájera** fueran básicamente analíticos, únicamente ensayados en un canal de laboratorio, resultaban plenamente concordantes con las conclusiones de **H. H. Bennet**.

Basándose en los trabajos citados y en las recomendaciones de la FAO de la época, **F. López Cadenas de Llano** y **M. Blanco Criado** (1968) publicaron un texto, en el que establecieron los *índices de protección del suelo por la vegetación*, ampliando el valor de la *pendiente de iniciación de la erosión* hasta el 12 %. Implícitamente estos índices se utilizaron durante mucho tiempo en España, como el criterio para establecer las zonas prioritarias para la repoblación forestal en las cuencas vertientes necesitadas de restauración hidrológico-forestal. Dichos índices se muestran en la Tabla 2.1 adjunta y conviene tener en cuenta que se trata de valores relativos, que van desde 1,0 (máxima protección) a 0,0 (protección nula) y corresponden para cada tipo de suelo diferenciado dentro de la cuenca

También se debe mencionar que en dicha Tabla 2.1, el grado de protección del suelo por las formaciones arboladas y por el matorral no degradado se define por un concepto claramente identificable, como es el de la *cavidad cubierta*; mientras que en el caso de los pastizales el

autor no dejó nada establecido, por eso se añade a continuación la Tabla 2.2, con una clasificación de los pastizales en la época, por si puede servir de referencia.

Tipo de Vegetación	Estado de la vegetación	Pendiente del terreno	Índices de protección
FORESTAL	Masas arboladas densas (cavidad cubierta $\geq 0,7$ )	Cualquiera	1,0
	Masas arboladas de cavidad cubierta $< 0,7$ con sustrato arbustivo o herbáceo no degradado		1,0
	Masas arboladas de cavidad cubierta $< 0,7$ con sustrato arbustivo o herbáceo degradado	3	0,4
		2	0,8
		1	1,0
	Vegetación arbustiva no degradada	Cualquiera	1,0
	Vegetación arbustiva degradada	3	0,2
		2	0,6
		1	0,8
	Pastizales bien conservados	$< 30 \%$	0,9
$> 30 \%$		0,6	
Pastizales degradados	Cualquiera	0,3	
AGRÍCOLA	Cultivos agrícolas sin prácticas de conservación de suelos	3	0,0
		2	0,5
		1	0,9
	Cultivos agrícolas con prácticas de conservación de suelos	3	0,3
		2 y 1	1,0
IMPRODUCTIVO	Terrenos desnudos	3	0,0
		2	0,5
		1	0,9

1. Pendiente inferior al de *iniciación de la erosión*
2. Pendiente comprendida entre la *iniciación de la erosión* y la de *arrastre total*
3. Pendiente superior a la de *arrastre total*

Tabla 2.1. Índices de protección del suelo por la vegetación elaborados por **F. López Cadenas de Llano** y **M. Blanco Criado** (1968) apoyados en los trabajos de **J. M. García Nájera** (1955-56) y en las recomendaciones de FAO).

Clase de pastizal	Capacidad de pastoreo		
	ha/(vaca y año)	mes-vaca/ha	ha/(vaca y mes)
I Muy buena	$< 4,86$	$> 2,47$	$< 0,40$
II Buena	4,86 - 8,10	1,48 - 2,47	0,40 - 0,68
III Regular	8,10 - 12,10	1,00 - 1,48	0,68 - 1,00
IV Baja	12,10 - 20,20	0,60 - 1,00	1,00 - 1,68
V Muy baja	20,20 - 28,30	0,42 - 0,60	1,68 - 2,36
VI Extremadamente baja	$> 28,30$	$< 0,42$	$> 2,36$

Tabla 2.2. Capacidad de pastoreo expresada en: has por vaca y año; en meses-vaca por ha y en has por vaca y año (**R. E. Storie**, 1946-1955)

A partir de 1975 **F. López Cadenas** comenzó a aplicar en España del modelo paramétrico **USLE** (*Universal Soil Loss Equation*), desarrollado y publicado por **W. H. Wischmeier & D. D. Smith** y el personal del **U.S.D.A. Soil Conservation Service** en el transcurso de un largo periodo (son fundamentales las publicaciones de los citados autores de 1958, 1959, 1960, 1972, 1974). La adaptación a una cuenca del modelo en cuestión, permitió *definir la erosión potencial del suelo* en cada unidad homogénea de la misma; es decir, establecer para las diferentes zonas de la cuenca un valor de su erosión hídrica superficial potencial expresado en t/ha·año. Por tanto, una vez definido un valor de tolerancia para la erosión del suelo, el modelo **USLE** permite

mantener el esquema conceptual de los *índices de protección del suelo por la vegetación*, aportando además unos valores cuantitativos, donde anteriormente con los *índices* se limitaba a los aspectos cualitativos. Las formas prácticas que se adoptaron para presentar los resultados se detallan en la Tabla 2.3 y Tabla 2.4. La primera establece los grados de erosión en función de las pérdidas de suelo según el modelo USLE en cada una de las diferentes unidades homogéneas de la cuenca. La segunda lleva a cabo la ordenación de los usos del suelo en las diferentes superficies de la cuenca apoyándose en el citado modelo.

Perdidas de suelo (t/ha·año)	Código
A < 10	1
10 < A < 25	2
25 < A < 50	3
50 < A < 200	4
A > 200	5
Improductivo	0

Tabla 2.3. Grados de la erosión en las diferentes unidades homogéneas de una cuenca en función de las pérdidas de suelo en las mismas (t/ha·año) según el modelo USLE.

Vocación del terreno	Código núm.	Uso actual del suelo
Terrenos Forestales	1	Compatible
	2	No compatible, es preciso mejorar la cubierta vegetal
Terrenos agrícolas	3	Compatible
	4	Compatible sólo si se llevan a cabo las prácticas de conservación de suelos pertinentes
	5	Incompatible, terrenos a recalificar
Improductivo	6	-

Tabla 2.4. Ordenación de los usos del suelo en las diferentes superficies de la cuenca según el modelo USLE

En los años siguientes se incorporó en los trabajos de ordenación hidrológico-forestal de cuencas el modelo MUSLE (*Modified Universal Soil Loss Equation*), como una extensión de la USLE propuesta por **J. R. Williams** (1975). Durante los años noventa se extendió también la utilización del modelo RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*), que bajo un punto de vista agronómico tiene notables prestaciones, pero en el ámbito de una primera ordenación de una cuenca hidrográfica su contribución se reduce; no porque el modelo no sea potente, sino porque su aplicación real está pensada para fincas muy desarrolladas y en cualquier cuenca del mundo hay fincas de todo tipo, predominando las que pueden mejorar su nivel tecnológico. Además, aunque todas las fincas de la cuenca hidrográfica estuvieran altamente tecnificadas, siempre quedaría por resolver el problema hidráulico de la circulación de la corriente por los cursos que drenan por la cuenca en los momentos de avenidas; razón por la cual los modelos hidrológicos desempeñan una función importante en la planificación de las cuencas hidrográficas.

Un concepto muy empleado en España a partir de los años sesenta, introducido a través de una publicación de **F. Fournier** (1960), fue el de *degradación específica de una cuenca*, que establece la emisión de sedimentos por ésta expresada por unidad de superficie y tiempo (normalmente, t/Km<sup>2</sup>·año). Según el autor, la degradación específica en las cuencas vertientes

a los grandes ríos del planeta prácticamente depende en exclusiva del clima. Esta cuestión implica atender al tamaño de la cuenca en su ordenación hidrológico-forestal.

La utilización de los modelos hidrológicos con fines de ordenación de cuencas hidrográficas iniciamos en la unidad de Hidráulica e Hidrología de la E.T.S.I. Montes de la UPM a partir de 1985, utilizando una *metodología integrada para la determinación de los sedimentos aportados por una cuenca*, que elaboramos apoyándose en modelos ya existentes. Dicha metodología fue revisándose en años sucesivos, hasta que **J. C. Robredo** (1991) le dotó de un programa informático para su manejo llamado CAUDAL 3. La Figura 2.1 muestra la metodología en su versión final de 1994 y en la misma se observa que consta de un modelo hidrológico integrado convencional, que se representa verticalmente en el lado izquierdo de la figura y de la aplicación del modelo USLE en la cuenca en cuestión, que ocupa el centro y el lado derecho de la misma. La aplicación del modelo USLE permite planificar del uso del suelo en la cuenca para una primera aproximación, lo que se recoge en la tabla final situada a la derecha de la figura.

En el cuatrienio 1990-94, inicialmente con ayuda de la CYCIT y posteriormente del ICONA, **R. Serrada** y el que suscribe este documento con sus respectivos equipos, planificamos y llevamos a efecto un programa de experiencias de campo para aclarar dos cuestiones importantes en el ámbito de los trabajos de ordenación y restauración de cuencas hidrográficas, se trataba de los siguientes:

1. El comportamiento de las preparaciones del suelo para las repoblaciones forestales, su posible repercusión en la erosión hídrica y en los aspectos hidrológicos relacionados con la disponibilidad de agua para las plantas instaladas con la repoblación.
2. Se inició una revisión sobre terrenos forestales en el propio campo de las experiencias diseñadas por **J. M. García Nájera** en laboratorio; con el fin de asignar coeficientes hidráulicos a los índices de protección del suelo por la vegetación.

Los trabajos no tuvieron continuación en el campo y el tratamiento de los datos se dio por concluido a comienzos del 2001. Se detallan, no obstante, sus principales resultados; sobre todo en lo que respecta a la validación de los trabajos de **J. M. García Nájera**. Las nuevas experiencias se llevaron a cabo en un monte público del término municipal de Puebla de Valles (Guadalajara) a unos 160 Km. de Madrid, en lo que se refiere al epígrafe 2 (J. M. García Nájera) y en dicho monte y en otro monte público vertiente a la ciudad de Málaga en lo referente a la preparación del suelo para las repoblaciones forestales.

Para los experimentos relacionados con el primer epígrafe, se contaba con la experiencia de más de ochenta años de repoblaciones forestales casi sistemáticas realizadas por los diferentes Servicios Forestales españoles (a los que tanto **R. Serrada** como yo habíamos pertenecido). Para los del segundo, se revisaron los trabajos de investigación efectuados por diversos autores, entre ellos por **W. W. Emmett** (1970); **W. Ree, F. L. Winberley & F. R. Crow** (1977); **O. D. T. Y. Kao & Barfield** (1978, 1982); **D. M. Temple** (1980, 1982, 1983); **E. T. Engman** (1986) y **R. D. Jarret** (1990) y tras concluir los trabajos de campo también se consultó a **I. Nezu & K. Onitsuka** (1999).

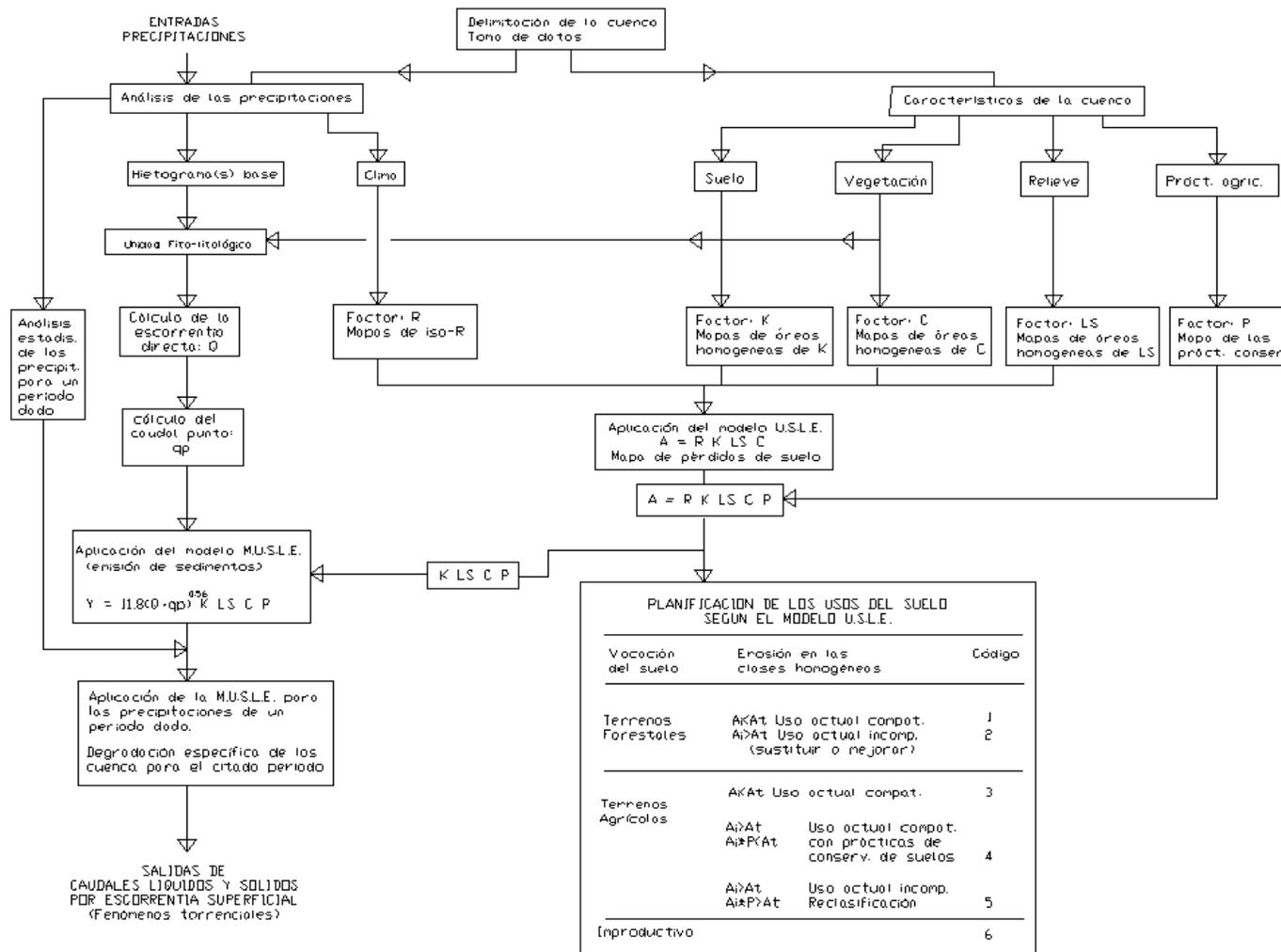


Figura 2.1. Esquema de la metodología integrada para la determinación de los sedimentos aportados por una cuenca (1994)

Un resumen de los resultados relativos a los ensayos de los *trabajos de preparación del suelo para las repoblaciones forestales* se muestra en la Tabla 2.5 que se adjunta en la página siguiente. Para explicar el contenido de dicha tabla, se comenta que las experiencias consistieron en las siguientes operaciones.

Se establecieron sobre las laderas forestales (tanto en Puebla de Valles (Guadalajara) como en los montes vertientes a la ciudad de Málaga) 19 parcelas cada una de 80 m<sup>2</sup> además de la parcela testigo (en ambos lugares estaba constituido por matorral). Sobre ellas se aplicó una lluvia artificialmente hasta que, en el caso de la parcela testigo se empapara totalmente el suelo e iniciara la escorrentía superficial; en las restantes parcelas se operó de igual modo pero la lluvia se paraba cuando: o bien aparecía la escorrentía incipiente sobre el terreno (en los casos de roza o decapado del matorral), o bien cuando se rompía la estructura hidráulica que suponía de preparación del suelo en la parcela o en su defecto ésta quedaba totalmente anegada.

La notación:  $c=P_i/P_t$  que aparece en las columnas del 3 al 6 de la Tabla 2.5 representa el cociente entre la precipitación de ensayo incidente sobre cada una de las diferentes parcelas en las que se había realizado alguna preparación del suelo previa a la plantación  $P_i$  y la precipitación de ensayo incidente sobre la parcela testigo  $P_t$ .

Con los NC (Números de Curva) que aparecen entre las columnas 7 al 10 se operó de forma similar; la notación  $NC_i/NC_t$  representa el cociente entre el  $NC_i$  correspondiente a cada una de las diferentes parcelas en las que se realizó alguna preparación del suelo previa a la plantación y el  $NC_t$  que corresponde a la parcela testigo.

Conviene aclarar que lo habitual en la preparación del suelo para las repoblaciones forestales es realizar dos tipos de operaciones, ambas aparecen en la Tabla 2.5. Por un lado, están las que despejan el terreno de la vegetación existente en el emplazamiento donde se introducen las nuevas plantas; entre ellas se incluyen la roza (que puede ser en puntos, en fajas o total) y los decapados (que pueden ser por fajas o total). Por otro, están todas las restantes operaciones referidas en la Tabla 2.5, que preparan el terreno propiamente dicho, para facilitar que éste absorba la mayor parte del agua de las precipitaciones, para poner en disposición de la nueva plantación. Es fácil de observar que las relaciones tanto de  $c=P_i/P_t$  como de  $NC_i/NC_t$  en las cinco primeras operaciones resultan inferiores a la unidad, porque las mismas empeoran las condiciones de infiltración del agua en el suelo; mientras que en los restantes casos lo mejoran, en ocasiones hasta niveles de duplicarlo. Por supuesto, siempre resultan situaciones anómalas (como el ahoyado manual mecanizado en Puebla de Valles y el subsolado cruzado y la roza en fajas con subsolado en los montes de Málaga en relación con el coeficiente  $c$  pero éstas entran dentro de lo esperable en los ensayos.

Tratándose del cociente  $NC_i/NC_t$  ocurre al contrario que con el coeficiente  $c$ ; en este caso cuando  $NC_i/NC_t < 1,0$  es cuando se incrementa la capacidad de infiltración del suelo (lo que ocurre con casi todas las operaciones de la Tabla 2.5 menos con las relacionadas con la roza y el decapado; presentándose anomalías en el ahoyado manual mecanizado tanto en Puebla de Valles como en los montes de Málaga y además en estos últimos aparecen discrepancias con el subsolado cruzado y con la roza en fajas con subsolado)

Tipo de preparación del suelo		Parcelas de Puebla de Valles		Parcelas de los montes de Málaga		Parcelas de Puebla de Valles		Parcelas de los montes de Málaga	
Labor	Símbolo	Intervalo de variación de $c=P_i/P_t$	Valor medio de $c=P_i/P_t$	Intervalo de variación de $c=P_i/P_t$	Valor medio de $c=P_i/P_t$	Intervalo de variación $NC_i/NC_t$	Valor medio del $NC_i/NC_t$	Intervalo de variación $NC_i/NC_t$	Valor medio del $NC_i/NC_t$
Roza en puntos	RP	0,38-0,93	0,66	0,58-0,94	0,76	1,02-1,47	1,20	1,02-1,22	1,12
Roza en fajas	RF	0,74-1,06	0,90	0,77-0,97	0,87	0,97-1,08	1,03	1,01-1,11	1,05
Roza total	RT	0,73-0,78	0,76	0,56-0,75	0,66	1,09-1,13	1,10	1,12-1,24	1,16
Decapado en fajas	DF	0,33-0,72	0,53			1,17-1,27	1,23		
Decapado total	DT	0,19-0,73	0,46	0,41-0,61	0,51	1,37-1,72	1,50	1,16-1,34	1,26
Ahoyado manual	AM	0,74-1,89	1,32	1,07-1,51	1,29	0,75-1,08	0,92	0,85-0,97	0,90
Ahoyado manual mecanizado	AAM	0,72-1,14	0,93	0,86-1,17	1,02	0,95-1,17	1,03	0,94-1,06	1,02
Ahoyado con retroexcavadora	AR			1,64-2,70	2,17			0,60-0,78	0,67
Ahoyado con ripper	ARP			1,26-1,48	1,37			0,86-0,95	0,90
Subsolado lineal de 40 cm.	SL4	1,25-2,44	1,85			0,65-0,89	0,81		
Subsolado lineal de 60 cm.	SL6	1,32-2,00	1,66	2,27-3,28	2,78	0,66-0,90	0,81		
Subsolado cruzado en rombo	SC	0,94-1,90	1,42	0,87-1,09	0,98	0,75-1,03	0,88	0,96-1,06	1,00
Subsolado lineal	SL					0,78-0,89	0,84	0,56-0,65	0,60
Subsolado en máxima pendiente	SMP			2,10-2,65	2,38			0,59-0,68	0,64
Acaballonado con desfonde	ADF	1,41-2,46	1,94			0,58-0,88	0,70		
Acaballonado superficial	AS	0,71-1,44	1,08	1,39-1,68	1,54	0,82-1,12	0,99	0,78-0,85	0,83
Acaballonado con Tramet	AT	1,41-3,00	2,21			0,49-0,88	0,69		
Labor con Tramet completa	LT	1,25-1,85	1,55			0,78-0,89	0,84		
Aterrazado de 2m. con subsolado	AH2	0,87-3,47	2,17	2,74-3,41	3,08	0,44-1,04	0,70	0,54-0,57	0,55
Roza en fajas con subsolado	TTAE			0,60-1,22	0,91	0,61	0,61	0,93-1,21	1,05

Tabla 2.5. *Trabajos de preparación del suelo para las repoblaciones forestales.* Las operaciones en Puebla de Valles (Guadalajara) se realizaron en tres ocasiones, abril 1992; junio 1992 y octubre 1992 y las operaciones en los montes que vierten a la ciudad de Málaga se efectuaron también en tres ocasiones, octubre 1994; noviembre 1994 y diciembre 1994.

En cualquier caso, la preparación final del terreno, incluidos ambos tipos de operaciones, resulta favorable para acoger a la planta en los dos primeros años de su existencia, salvo situaciones de sequías críticas y prolongadas.

Los resultados de los trabajos de revisión de las experiencias diseñadas por **J. M. García Nájera** en su laboratorio, efectuados sobre terrenos forestales en el citado monte público de Puebla de Valles (Guadalajara) entre 1993-94, se muestran en las tablas siguientes. En la primera, Tabla 2.6, se detallan los datos obtenidos en el intento de tratar de acotar los *índices de protección del suelo por la vegetación* dentro de una escala de valores de números hidráulicos (Manning, Froude, Reynolds). En principio no resulta de aplicación inmediata para la ordenación hidrológico-forestal de una cuenca; pero si abre una vía para el futuro.

Lecho	Ensayo	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Calado (m)	Velocidad (m/s)	Manning	Froude	Reynolds
(pastizal)	1	0,0042	0,029	0,129	0,244	0,242	3.741
1(pastizal)	2	0,0151	0,046	0,293	0,143	0.436	13.478
1(pastizal)	3	0,0270	0,061	0,395	0,125	0.510	24.095
2(roza matorral)	1	0,0083	0,031	0,243	0,211	0.441	7.533
2(roza matorral)	2	0,0045	0,030	0,136	0,368	0.251	4.080
3 (jara)	1	0,0028	0,025	0,100	0,505	0.202	2.500
3 (jara)	2	0,0133	0,032	0,371	0,158	0.663	11.872
4 (matorral/pinar)	1	0,0031	0,019	0,141	0,190	0.326	2.679
4 (matorral/pinar)	2	0,0061	0,020	0,263	0,106	0.594	5.260
5 (pinar 1)	1	0,0086	0,023	0,389	0,075	0.819	8.947
6 (pinar 2)	1	0,0035	0,018	0,177	0,147	0.421	3.186

Tabla 2.6. Resultados de los trabajos efectuados entre 1993-94 en canales emplazados sobre laderas forestales en un monte público de Puebla de Valles (Guadalajara), para tratar de acotar entre valores de los números hidráulicos (Manning, Froude, Reynolds) a los *índices de protección del suelo por la vegetación*.

Por el contrario, la Tabla 2.7 y la Tabla 2.8 responden a un aspecto que presenta interés en el sentido de aportar una nueva prueba en la dirección indicada por **J. M. García Nájera**, de que para pendientes del terreno superiores al 30 % las cubiertas de pastizal no suponen una protección suficiente del suelo frente a la erosión hídrica.

La roza de matorral que aparece en el ensayo 2 del lecho 2, en la práctica resulta asimilable a un pastizal, pues había empezado a brotar el matorral tras ocho meses de haberse realizado la roza y el tapiz vegetal existente no estaba aún lignificado, su estructura correspondía a la de un pastizal. En cuanto a la jara (*Cistus ladanifer*), de los dos ensayos del lecho 3, se trata de una especie de matorral de tallo alto, que deja al terreno muy poco protegido al ras del suelo y que botánicamente se le supone colonizador de los antiguos parajes ocupados por el *Pinus pinaster*. En realidad representa un matorral degradado en la Tabla 2.1 *índices de protección del suelo por la vegetación*. Por tanto puede observarse que los valores relativos de los citados *índices* se encuentran bien orientados. Asimismo, se advierte en las Tablas 2.7 y 2.8 la posibilidad de utilizar la tensión de arrastre de la corriente  $\tau$  como factor de iniciación de la erosión. Se comprueba, comparando ambas tablas, que dicha tensión adquiere valores de inicio de una erosión importante para  $\tau \geq 8$  (Kg/m<sup>2</sup>), tanto en los ensayos de campo, donde se pudieron observar los regueros, como en los del laboratorio. No se trata de ensayos concluyentes, pero aportan una información añadida para afianzar el contenido de los *índices* mencionados.

Lecho	Ensayo	Pendiente (m/m)	Tipo de vegetación	Calado (m)	Tensión de arrastre (kg/m <sup>2</sup> )	Formación de regueros	Concentración (g/m <sup>3</sup> )
1	1	0,117	Pastizal	0,029	3,393	No	0,097
1	2	0,117	Pastizal	0,046	5,382	No	Sin datos
1	3	0,117	Pastizal	0,061	7,137	No	Sin datos
2	1	0,295	Roza-mat	0,031	9,145	No	1,920
2	2	0,295	Roza-mat	0,030	8,850	Sí	0,356
3	1	0,370	Jara	0,025	9,250	Sí	Sin datos
3	2	0,370	Jara	0,032	11,840	Sí	24,370
4	1	0,153	Mat-pinar	0,019	2,754	No	Sin datos
4	2	0,153	Mat-pinar	0,020	3,060	No	Sin datos
5	1	0,138	Pinar	0,023	3,036	No	Sin datos
6	1	0,155	Pinar	0,018	2,635	No	7,370

Tabla 2.7. Resultados de los trabajos efectuados (1993-94) en canales emplazados sobre laderas forestales en un monte público de Puebla de Valles (Guadalajara), para establecer los factores de iniciación de la erosión bajo diferentes cubiertas vegetales.

Tipo de lecho	Pendiente (m/m)	Calado (m)	Tensión de arrastre (Kg/m <sup>2</sup> )
Agrícola	0,12	0,051	6,12
Agrícola	0,18	0,045	8,10
Pastizal	0,30	0,060	18,00

Tabla 2.8. Valores de la tensión de arrastre de la lámina de agua para las pendientes de iniciación de la erosión y del arrastre total en las áreas de cultivo y de iniciación de la erosión en pastizales bien conservados, en el contexto de los trabajos de revisión de las experiencias de J. M. García Nájera (1993-94)

Se recuerda que todo lo expuesto sobre la protección del suelo por la vegetación, se basa en el movimiento de la lámina de escurrido por una ladera; de acuerdo con esta visión de la cuestión, que es la más general y utilizada en las ordenaciones hidrológico forestales, hay cuatro factores que resultan evidentes que deben intervenir en la ordenación hidrológico-forestal de una cuenca hidrográfica, porque afectan directamente en la circulación del agua en la misma; son los siguientes:

1. La pendiente del terreno, porque de ella depende la velocidad del agua en la ladera (la energía cinética que tiene la lámina de agua en su recorrido).
2. La posición geográfica de la ladera, porque a mayor altitud mayor es el recorrido de la lámina de agua (hay más energía potencial para convertirse en cinética).
3. El tipo de suelo, porque supone el rozamiento que ofrece la solera a la circulación de la lámina de agua y por tanto representa una pérdida de energía.
4. La vegetación, por el momento, por la misma razón que el tipo de suelo.

Por razones similares a las expuestas, también deben o pueden intervenir:

5. Los índices de protección del suelo por la vegetación, por ser una resultante de todos los factores anteriores.
6. El índice de erosión pluvial del modelo USLE, porque representa la energía con que inciden las gotas de lluvia sobre el suelo.
7. El propio modelo USLE, por ser una combinación de los factores anteriores

8. La geología y la edafología, la primera por estar relacionada con el suelo y la segunda por ser una manifestación del mismo.

Pero la ordenación resultaría poco práctica, si junto a los factores intervienen en el control del suelo, bien porque favorecen o bien porque restringen la erosión hídrica; no se incorpora algún índice que refleje la potencialidad que tiene la cuenca para generar o mejorar su cubierta vegetal, es decir, para restaurarse; por tanto se requiere de:

9. Un índice fito-climático

Los restantes factores a considerar no responden a las características físicas y potencialidades fito-biológicas de la cuenca, sino a su relación con un proyecto de restauración y como tal establece la posición de las actuaciones previstas y las zonas de actuaciones, recomendaciones y sin actuaciones. La Tabla 2.10 adjunta recoge a todos los factores implicados en la ordenación.

Altitudes según las zonas de la cuenca	Áreas dominantes (cabeceras)
	Áreas dominadas (valles)
Cubierta vegetal	Estado actual de la vegetación
	Procedencia
	Vocación (forestal, agrícola, otros usos)
Morfología de la cuenca	Pendientes (dependiendo de las zonas de la cuenca)
	Orientación (solana; umbría)
Geología	Áreas con erosiones superficiales
	Áreas con erosiones de fondo
Edafología	Tipos de suelo en las diferentes zonas de la cuenca
Modelos de protección del suelo	Índices de protección del suelo por la vegetación
	Aplicación de ecuaciones paramétricas (tipo USLE o RUSLE)
	Otros modelos de erosión
Índices fito-climáticos	Índices bio-climáticos
	Índices de potencialidad de una estación
Actuaciones en el territorio	En la cuenca vertiente (alternativas posibles y selección de la opción de proyecto)
	En los cauces (alternativas posibles y selección de la opción de proyecto)
Clasificación del área de proyecto	Zonas con actuaciones
	Zonas de recomendaciones
	Zona sin actuaciones

Tabla 2.9. Factores a considerar en la ordenación hidrológica-forestal de una cuenca hidrográfica.

En las dos páginas siguientes se adjuntan las Tablas 2.10 y 2.11 que muestran la conexión entre la ordenación hidrológico-forestal de una cuenca y las actividades restauradoras propuestas para ésta, a fin de conseguir una mayor seguridad y un mejor funcionamiento del ciclo del agua en la misma. A continuación presenta a modo de ejemplo la *ordenación hidrológico-forestal de la cuenca alimentadora de la rambla del Aljibe (Almería)*, realizada entre 1989-90 en el marco de un Convenio entre la Junta de Andalucía y la UPM (Tabla 2.12).

Área de actuación	Bases de actuación	Principales factores			Medidas restauradoras y/ o conservadoras	
		Limitantes	Condicionantes			
Cuenca de recepción o cuenca vertiente	Utilización de la agricultura y de las cubiertas vegetales permanentes	Clima (extrema aridez)			No abandonar los cultivos sin instalación previa de alguna vegetación	
		Clima no extremado (permite la vegetación natural con más o menos facilidad)	Sin problemas de humedad edáfica y ambiental	Pendiente $p < 12\%$	Limitación de productividad	No existe: Agricultura intensiva con medidas racionales de cultivo Existe: Agricultura con barbecho; Pastizales <i>per se</i> o en rotación.
				$12\% < p < 24\%$	Idem	No importante: Cultivo con prácticas idóneas de conservación de suelos. Importante: Idem con descansos o barbechos; Implantación de pastizales.
				$24\% < p < 30\%$	Idem	Creación y mantenimiento de pastizales Conservación del bosque/ Repoblación forestal
				$p > 30\%$	Idem	Conservación del bosque/ Repoblación forestal
	Medidas para el control del agua (superficial y/o subterránea)	Problemas de exceso de agua superficial; escorrentía excesiva (temporal o permanente)	$p < 20\%$	Perfil edáfico suficiente	Terrazas de desagüe o de canal	
			$p > 20\%$		Banquetas con canales de desagüe Bancales con desagüe asegurado	
			$p > .30\%$	Perfil edáfico insuficiente	Albarradas (pequeños diques de mampostería en seco)	
		Problemas de exceso de agua edáfica y superficial			Drenajes en profundidad y/o zanjas superficiales	
		Con problemas de falta de humedad $p < 15\%$			Terrazas de absorción	
Cauces torrenciales	Utilización de obras hidráulicas de corrección de torrentes.	Áreas de garganta del curso de agua o torrente			Diques transversales: de retenida y/o de consolidación	
		Zonas intermedias del cauce (entre la garganta y el cono de deyección)			Diques transversales: de retenida y/o de consolidación Diques longitudinales: malecones, espigones	
		En el cono de deyección			Canales escalonados de tramos erosionables Creación de plazoletas de depósito Estimación de riberas Drenajes en profundidad	

Tabla 2.10. Cuadro resumen de actividades restauradoras propuestas en una ordenación agro-hidrológica de cuencas vertientes, **Mintegui Aguirre J. A. López Unzu F.** (1990) *La ordenación agro-hidrológica en la planificación*, Servicio de Publicaciones del Gobierno Vasco, Vitoria, pp. 17

Localización		Medidas correctoras		Objetivos		
Posición	Espacio	Actuaciones	Especificaciones			
Área dominante de la cuenca hidrográfica	Superficies vertientes	Mantenimiento y creación de cubiertas forestales	Conservación de las masas arboladas y de matorral denso no degradado existentes	<p>Reducen y controlan las escorrentías directas por mejora de la infiltración</p> <p>Controlan la humedad del suelo</p> <p>Controlan la erosión laminar y en regueros</p> <p>Controlan los barrancos incipientes y las erosiones remontantes en las laderas</p> <p>Controlan las cárcavas.</p> <p>Controlan las erosiones en masa incipientes: reptación y solifluxión</p>		
			Replantaciones forestales			
			Control y aprovechamiento de los pastos			
			Control de laderas con obras de materiales vivos (vegetación)		Tepes Fajinadas Palizadas	
		Medidas de control de las escorrentías y Prácticas de conservación de suelos	Terrazas			
			Bancales			
			Albarradas			
			Drenajes			
		Cauces	Obras transversales		Diques de retenida total (en ocasiones actúan como diques de consolidación)	<p>Establecen la pendiente de compensación (flujo monofásico) o de equilibrio (flujo bifásico)</p> <p>Controlan la erosión remontante del lecho del torrente</p> <p>Retienen sedimentos aguas arriba del dique</p> <p>Los diques de consolidación estabilizan la erosión y los movimientos de las laderas</p>
					Diques de retenida selectiva	
Umbrales de fondo	Estabilizan el lecho y controlan su erosión					
Obras longitudinales	Protección de márgenes y riberas con vegetación arbolada, acompañado o no de escolleras	Defensa de los márgenes de la abrasión de la corriente				
Área dominada de la cuenca hidrográfica	Obras mixtas	Perfil escalonado de tramos erosionables	Evacuación rápida de la corriente torrencial en las avenidas por un canal de tramos erosionables.			
	Obras longitudinales	Protección de márgenes y riberas con vegetación arbolada, acompañado o no de escolleras	Defensa de los márgenes de la abrasión de la corriente			
		Protección de márgenes mediante malecones (escolleras) o espigones	Defensa de los márgenes de las inundaciones y de las erosiones por abrasión de la corriente. Rectificaciones del eje hidráulico del cauce.			

**Tabla 2.11.** Sistema corrector de una cuenca hidrográfica de carácter torrencial, **López Cadenas de Llano F (director) y Varios Autores** (1994, 1998) *Restauración Hidrológico-Forestal de cuencas y Control de la erosión*, Ministerio de Medio Ambiente, Tragsa y Tragsatec, Ediciones Mundi Prensa, Madrid, pp. 417 (La presente tabla ha sido ligeramente modificada de la original).

**Tabla 2.12. ORDENACIÓN HIDROLÓGICO-FORESTAL DE LA CUENCA ALIMENTADORA DE LA RAMBLA DEL ALJIBE (ALMERÍA)**

Altitud (m)	Cobertura vegetal			Morfología		Edafología	Protección del suelo		Índices bio-climáticos	Actuaciones en el territorio	Zona					
	Estado actual	Procedencia	Vocación	Pendiente p (%)	Posición	Tipos de suelo	Índices de protección	Aplicación USLE								
Cualquiera (relictos del bosque primitivo) Su ubicación es en área dominante	Encinar (en ocasiones aclarado)	Monte alto de encinar <i>Q. ilex rotundifolia</i>	Forestal	Cualquiera (lo normal elevada)	Cualquiera (lo normal norte)	Suelos pardos profundos	1,0	<10 t/ha·a	>2,5	Mantener y mejorar el bosque de encina	1					
	Pinar aclarado	Monte alto de pinar de <i>P.halepensis</i>			Cualquiera (lo normal sur)	Rendzinas	1,0	<10 t/ha·a	>1,5	Mantener y mejorar el bosque de pinar	2					
> 600 Área dominante	Matorral serial	Monte alto de encinar ( <i>Q. ilex rotundifolia</i> ) o en general especies esclerófilas del género <i>Quercus</i> en las áreas de sombra y Monte alto de pinar ( <i>P. halepensis</i> ) en las más soleadas	Forestal	p < 30	Norte	Suelos pardos jóvenes en general bastante profundos	0,6	<10 t/ha·a	Normalmente > 2,0 En áreas más soleadas del noreste > 1,0	Repoblación Forestal Preparación del suelo: en cuencas de contorno. Plantación: <i>P. halepensis</i> y en zonas ecológicas especiales con <i>Q. ilex s</i>	3					
					Sur						4					
					30<p<40						Norte	Rendzinas (en ocasiones Rankers de pendiente)	Variable entre 0,6 y 0,4	>10 t/ha·a	Repoblación Forestal Preparación del suelo: en banquetas. Plantación: <i>P. halepensis</i>	5
											Sur					6

Altitud (m)	Cobertura vegetal			Morfología		Edafología	Protección del suelo		Índices bio-climáticos	Actuaciones en el territorio	Zona
	Estado actual	Procedencia	Vocación	Pendiente p (%)	Posición	Tipos de suelo	Índices de protección	Aplicación USLE			
> 600 Área dominante	Matorral serial	Monte alto de encinar ( <i>Q. ilex rotundifolia</i> ) o en general especies esclerófilas del género <i>Quercus</i> en las áreas de sombra y Monte alto de pinar ( <i>P. halepensis</i> ) en las más soleadas	Forestal	p > 40	Norte	Rendzinas (en ocasiones Rankers de pendiente)	0,4	>10 t/ha·a	Normalmente > 2,0 En áreas más soleadas del noreste > 1,0	Repoblación Forestal Preparación del suelo: ahoyado mecánico. Plantación: <i>P. halepensis</i>	7
					Sur						8
	Matorral serial	Antiguos cultivos en balates actualmente abandonados	Forestal	Cualquiera (lo normal p > 30)	Cualquiera	Suelos antrópicos sobre Rankers en pendiente	0,6	Lo normales >10 t/ha·a		Repoblación Forestal Preparación del suelo: ahoyado mecánico. Plantación: <i>P. halepensis</i> y en zonas ecológicas especiales con <i>Q. ilex s</i>	9

Altitud (m)	Cobertura vegetal			Morfología		Edafología	Protección del suelo		Índices bio-climáticos	Actuaciones en el territorio	Zona
	Estado actual	Procedencia	Vocación	Pendiente p (%)	Posición	Tipos de suelo	Índices de protección	Aplicación USLE			
<b>&gt; 600</b> <b>Área dominante</b>	Cultivos agrícolas	Cultivos agrícolas	Agrícola	Variable pero < 30 p<12 12<p<20 p>20	Cualquiera	Suelos antrópicos profundos	Variable según la pendiente 0,9 0,5 0,1	Variable según la pendiente <10 t/ha·a >10 t/ha·a >10 t/ha·a	Normalmente > 2,0 En áreas más soleadas del noreste > 1,0	Mantener los cultivos si son de interés, con prácticas de conservación de suelos pertinentes	10
	Riberas y márgenes de los cursos de agua	-	Forestal	Variable	Cualquiera	Depósitos modernos	-	-		Galerías con vegetación arbórea de raíz pivotante	11
<b>&lt; 600</b> <b>Área dominada</b>	Matorral serial	Monte alto de encinar ( <i>Q. ilex rotundifolia</i> ) o en general especies esclerófilas del género <i>Quercus</i> en las áreas de sombra y Monte alto de pinar ( <i>P. halepensis</i> ) en las más soleadas	Forestal	p < 30	Norte	Suelos pardos (lo normal calcimórficos)	Variable entre 0,6 y 0,4.	>10 t/ha·a	Al norte y centro de la cuenca > 1,5 Al sur y oeste la cuenca > 2,0 En las áreas más soleadas del noreste >1,0	Repoblación Forestal	12
					Sur					Preparación del suelo: en cuencas de contorno. Plantación: <i>P. halepensis</i> y en zonas ecológicas especiales con <i>Q. ilex</i> o <i>Ceratonia siliqua</i> en las zonas más cálidas	13

Altitud (m)	Cobertura vegetal			Morfología		Edafología	Protección del suelo		Índices bio-climáticos	Actuaciones en el territorio	Zona
	Estado actual	Procedencia	Vocación	Pendiente p (%)	Posición	Tipos de suelo	Índices de protección	Aplicación USLE			
<b>&lt; 600</b> <b>Área dominada</b>	Matorral serial	Monte alto de encinar ( <i>Q. ilex rotundifolia</i> ) o en general especies esclerófilas del género <i>Quercus</i> en las áreas de sombra y Monte alto de pinar ( <i>P. halepensis</i> ) en las más soleadas	Forestal	30<p<40	Norte	Rendzinas (en ocasiones Rankers de pendiente)	0,4	>10 t/ha·a	Al norte y centro de la cuenca > 1,5 Al sur y oeste la cuenca > 2,0 En las áreas más soleadas del noreste >1,0	Repoblación Forestal Preparación del suelo: en banquetas. Plantación: <i>P. halepensis</i>	14
					Sur						15
				p > 40	Norte	Rendzinas (con frecuencia Rankers de pendiente)	0,4	>10 t/ha·a		Repoblación Forestal Preparación del suelo: ahoyado mecánico. Plantación: <i>P. halepensis</i>	16
					Sur						17
				Cualquiera pero en general elevada	Cualquiera	Suelos antrópicos sobre rendzinas o rankers	0,6	Lo normal > 10t/ha·a		Repoblación Forestal Preparación del suelo: ahoyado mecánico. Plantación: <i>P. halepensis</i> y en zonas especiales con <i>Q. ilex</i> o <i>Ceratonia siliqua</i>	18

Altitud (m)	Cobertura vegetal			Morfología		Edafología	Protección del suelo		Índices bio-climáticos	Actuaciones en el territorio	Zona
	Estado actual	Procedencia	Vocación	Pendiente p (%)	Posición	Tipos de suelo	Índices de protección	Aplicación USLE			
<b>&lt; 600 Área dominada</b>	Matorral serial	Antiguos cultivos ocasionales en el presente abandonados	Forestal	Cualquiera pero en general elevada	Cualquiera pero en general de solana (Sur)	Muy someros y erosionados	0,4	> 10t/ha·a	<1,0 Bajo valor bio-climático	Mantener el matorral	19
		Barrancos con balates en escalera	Forestal - Agrícola marginal	Elevada p>12	Cualquiera	Suelos antrópicos ocasionados por los sistemas de nivelación del terreno	0,5 (se trata de alcanzar este valor)	No procede, pues no corresponde al modelo	Bajo, pero el drenaje en los barrancos lo puede aumentar	Plantación de árboles aislados de algarrobo ( <i>Ceratonia siliqua</i> ) o olivo ( <i>Olea europaea</i> ) previo ahoyado puntual	20
	Cultivos agrícolas	Cultivos agrícolas	Agrícola	Variable pero < 30 p<12 12<p<20 p>20	Cualquiera	Suelos antrópicos profundos (variable según zonas)	Variable según la pendiente 0,9 0,5 0,1	Variable según la pendiente <10 t/ha·a >10 t/ha·a >10 t/ha·a	La práctica del cultivo lo adecua	Mantener los cultivos si son de interés, con prácticas de conservación de suelos pertinentes	21

Altitud (m)	Cobertura vegetal			Morfología		Edafología	Protección del suelo		Índices bio-climáticos	Actuaciones en el territorio	Zona
	Estado actual	Procedencia	Vocación	Pendiente p (%)	Posición	Tipos de suelo	Índices de protección	Aplicación USLE			
<b>&lt; 600</b> <b>Área dominada</b>	Riberas y márgenes de los cursos de agua	-	Forestal	Variable	Cualquiera	Depósitos modernos	-	-	-	Galerías con vegetación arbórea de raíz pivotante	22

**3. OPTIMIZACIÓN DE CRITERIOS Y TÉCNICAS PARA LA ORDENACIÓN Y RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO-FORESTAL EN LOS DIFERENTES ESCENARIOS NATURALES DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA.**

A fin de considerar la aplicación de las mejores prácticas de ordenación hidrológico-forestal en las cuencas hidrográficas, especialmente cuando les afectan los eventos torrenciales extraordinarios, dado que las mismas no se pueden sustraer de las situaciones en las que se aplican; en la matriz de la Tabla 3.1 se definen cuatro escenarios, atendiendo a sus aspectos físicos y objetivos previstos, para los que se comentan las mejores prácticas en este apartado.

Pendiente	Altitud	I. Áreas dominantes de la cuenca (cabeceras)	II. Áreas dominadas de la cuenca
A. Predominio de laderas con pendientes elevadas y escarpadas. Pendiente media de la cuenca superior al 20 %		Escenario I.-A	Escenario II. A
B. Abundancia de laderas con pendientes de suaves a moderadas. Pendiente media de la cuenca inferior al 20 %.		Escenario I.-B	Escenario II.-B

Tabla 3.1. Distintos escenarios naturales de una cuenca hidrográfica ante su ordenación y restauración hidrológico-forestal (1ª aproximación)

A su vez, en cada uno de los cuatro escenarios surgidos de la matriz anterior se ha distinguido si su altitud supera o no determinados valores, con el fin de atender a los siguientes aspectos.

- a. La presencia del bosque, que en determinadas latitudes está condicionado por la altitud (timber line).
- b. El riesgo de desprendimientos de aludes.
- c. Las diferencias específicas dentro de los escenarios iniciales, debidas al impacto de la altitud en los mismos; especialmente en los casos de los torrentes o cursos torrenciales.

La Tabla 3.2, que supone una nueva aproximación para definir los escenarios naturales que presentan diferentes problemáticas y comportamientos ante su ordenación y restauración hidrológico-forestal, establece ocho escenarios en cada uno de los cuales se ha efectuado:

- a. Una somera descripción física del mismo.
- b. La relación de las cuencas de América Latina, incluidas en el Proyecto EPIC FORCE, que presentan una situación asimilable al escenario en cuestión.
- c. Una breve descripción de la fenomenología geo-torrencial que pudiera afectar al escenario.
- d. El esquema corrector para el escenario en cuestión, para el supuesto que le afecten fenómenos geo-torrenciales, considerando tanto los criterios y objetivos de la corrección, como las propias técnicas utilizadas en la corrección.

Dentro de las técnicas se han diferenciado las que se refieren: *a)* a los torrentes o cursos torrenciales; *b)* a la defensa ante el riesgo de aludes; *c)* a la corrección de las laderas en la cuenca hidrográfica; *d)* al sistema corrector de los deslizamientos del terreno y, finalmente, *e)* a las restricciones del uso del suelo en los diferentes terrenos dependiendo de sus pendientes y de sus posiciones altimétricas.

**TABLA 3.2. DISTINTOS ESCENARIOS DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA ANTE SU ORDENACIÓN Y RESTAURACIÓN  
HIDROLÓGICO-FORESTAL (2ª APROXIMACIÓN)**

Altitud Pendiente		I. Áreas de cabecera o dominantes de la cuenca		II Áreas dominadas de la cuenca.	
		I.1. Altitudes en el entorno o superiores al <i>timber line</i> .	I.2. Altitudes inferiores al <i>timber line</i> .	II.1 Altitudes elevadas	II.2 Altitudes moderadas o bajas
<b>A</b>	<b>Predominio de laderas con pendientes elevadas y escarpadas. Pendiente media de la cuenca superior al 20 %.</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Áreas de alta montaña cuyo relieve y morfología acentúan en los torrentes su carácter geo-torrencial ante aguaceros extraordinarios.</li> <li>2. El geo-dinamismo torrencial puede ser muy intenso.</li> <li>3. Hay grandes probabilidades de desprendimientos de aludes.</li> <li>4. El empleo de la vegetación como elemento corrector presenta limitaciones, porque el periodo vegetativo en las áreas en cuestión es reducido.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Áreas de características similares a la situación I.1.A debido al relieve de sus laderas.</li> <li>2. El geo-dinamismo torrencial puede ser igualmente intenso.</li> <li>3. Prácticamente no existe riesgo de aludes, o es reducido.</li> <li>4. Hay un largo periodo vegetativo para que la vegetación juegue un papel importante en la corrección del área en cuestión, salvo que existan problemas edáficos.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se trata de las típicas zonas ocupadas por los conos de sedimentación de los torrentes de montaña</li> <li>2. Los problemas geo-torrenciales pueden ser muy serios por causa de la divagación de la corriente del torrente.</li> <li>3. No es probable el desprendimiento de aludes, pero sí que se trate de su área de recepción.</li> <li>4. En estas áreas las técnicas de corrección del torrente deben atender cuidadosamente la topografía del terreno</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se pueden dar similares características a las definidas en los apartados 1, 2 y 4 de la situación II.1.A.; pero son menos probables, salvo actuaciones desacertadas en los cauces.</li> <li>2. Al margen de la corrección de los cursos torrenciales, se pueden presentar problemas de conservación de suelos en pastizales y cultivos a causa de las pendientes del terreno.</li> </ol>
<b>B</b>	<b>Abundancia de laderas con pendientes de suaves a moderadas. Pendiente media de la cuenca inferior al 20 %.</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Áreas de alta montaña cuyo relieve y morfología no acentúan en los torrentes su carácter geo-torrencial ante aguaceros extraordinarios</li> <li>2. El geo-dinamismo torrencial es menos intenso que en la situación I.1.A</li> <li>3. No hay graves riesgos de aludes o éstos son reducidos.</li> <li>4. El empleo de la vegetación como elemento corrector presenta limitaciones, al ser reducido el periodo vegetativo en estas áreas.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Áreas que en principio no presentan una situación propicia para el desencadenamiento del fenómeno geo-dinamismo torrencial, que sólo depende de las precipitaciones extraordinarias</li> <li>2. En principio se dan las condiciones idóneas para el uso de la vegetación con fines correctores, salvo que existan problemas edáficos.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Los problemas geo-torrenciales sólo se pueden deber a las precipitaciones extraordinarias y a la vulnerabilidad del suelo a la erosión.</li> <li>2. En los cauces pueden presentarse problemas por inundaciones y aterramientos.</li> <li>3. La principal preocupación de estas áreas se centra en la conservación del suelo en pastizales y cultivos.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se presentan similares características que en la situación II.1.B</li> <li>2. Los problemas por inundaciones y aterramientos se podrían acentuar por causa de la morfología del área.</li> <li>3. Mientras que los problemas de conservación de suelos podrían mitigarse por la misma causa.</li> </ol>

### 3.1. Análisis del escenario I.1.-A

#### 3.1.1. Descripción

Áreas de alta montaña con laderas de fuertes pendientes. Si además la litología del lugar presenta materiales erosionables o deslizantes, los torrentes del presente escenario acentúan su carácter geo-torrencial ante precipitaciones extremas, especialmente ante eventos extraordinarios.

Como la vegetación arbórea no sobrepasa de una determinada cota del terreno por razones fito-ecológicas, una porción del área en cuestión queda cubierta por otros estratos vegetales (matorrales o pastos de altura), o con el terreno prácticamente desnudo (riscos, parajes rocosos, etc.) en las mayores altitudes.

#### 3.1.2. Cuencas de América Latina, incluidas en el Proyecto EPIC FORCE, que presentan una situación asimilable al de este escenario

Presentan las características de este escenario las cabeceras de los arroyos de Buena Esperanza y del Hambre en Tierra de Fuego (Argentina).

#### 3.1.3. Fenomenología geo-torrencial

La dinámica geo-torrencial puede llegar a ser muy intensa, sobre todo si se da la doble circunstancia de precipitaciones extraordinarias y terrenos de materiales deleznable, pudiéndose generar corrientes saturadas de sedimentos, normalmente en régimen bifásico, aunque ocasionalmente se den también en monofásico; pero en cualquier caso la descarga sólida resulta muy elevada y dentro de ésta la descarga de fondo (*bed load*) representa un porcentaje importante.

Además en los terrenos de pendientes superiores al 60 % se pueden desprender aludes, lo que agrava la situación de peligro en el invierno.

#### 3.1.4. Esquema corrector

##### 3.1.4.1. Criterios y objetivos de la corrección

**Corrección de torrentes**, que obviamente se realiza cuando hay algún interés que proteger, su objetivo es tratar de alcanzar la *pendiente de compensación* o de equilibrio del torrente para un caudal *generador del lecho* previamente establecido, con el fin de conseguir la estabilidad del sistema de drenaje. Con ello se pretende dar respuesta a la cuestión ¿Qué se puede hacer con la corriente y en donde se pueden depositar los sedimentos, para que ninguno de ellos ocasione ni problemas ni daños?. En el presente escenario los dos problemas principales que se pueden presentar son:

1. La necesidad de una rápida evacuación de la corriente con arrastres del torrente por el tramo objeto de la corrección, para que no peligren sus zonas limítrofes ni por inundaciones y ni por depósitos de sedimentos.
2. La estabilización del curso torrencial; tanto de su lecho (consolidándolo y evitando su erosión remontante), como en ocasiones también de sus márgenes (para que no se derrumben sobre el propio cauce).

El sistema corrector puede disponer de un único dique a modo de *dique de cierre transversal al cauce del torrente*, si las características del paraje y en especial las del emplazamiento lo permiten; pero lo más frecuente es que se componga de varios *diques transversales al cauce del torrente a modo de escalera*, estableciéndose entre diques consecutivos la pendiente de compensación o de equilibrio del torrente; de modo que donde termina la pendiente de compensación del dique de aguas abajo, se plantea el dique de aguas arriba. La formación de la pendiente en cuestión depende de los eventos torrenciales y de la naturaleza y granulometría de los sedimentos del lecho; su importancia en las condiciones del régimen de la corriente no depende del tipo de diques utilizados en la corrección, aunque evidentemente éstos influyen en la granulometría del lecho.

Un aspecto muy importante en el sistema corrector de un torrente es el seguimiento de su evolución tras las diferentes avenidas, lo que permite ir conociendo su dinámica, efectuar las correcciones oportunas a las actuaciones realizadas en los mismos y prever las futuras actuaciones con criterios más sólidos, justificados en los hechos y en la experiencia.

***Sistema de protección contra los aludes***, previamente se requiere disponer de una cartografía de identificación de los aludes o al menos tener el conocimiento de su existencia, a continuación se plantea el siguiente análisis: Si los aludes no afectan a ningún interés que proteger (núcleos de población, comunicaciones, casas o refugios aislados, etc.), no es necesaria ninguna actuación por el momento. Por el contrario, si afectan, las alternativas más razonables para en el escenario en cuestión son:

1. Tratar de retener el manto de nieve allí donde se pueda desencadenar el alud.
2. Defenderse del alud desviando su recorrido
3. En situaciones muy específicas, también se frena el alud al final de su recorrido (aunque este aspecto se corresponda más bien con el escenario II.1.A.)

***Corrección de las vertientes de la cuenca hidrográfica***, se trata de aprovechar el potencial de la vegetación en este escenario, tanto en lo relativo a la protección del suelo frente a la erosión, como en su capacidad de impedir el desprendimiento de aludes, a sabiendas de las limitaciones que tiene el bosque para su expansión en el mismo, a causa del reducido periodo vegetativo que en él se le presenta.

***Sistemas de corrección de los deslizamientos del terreno***, ante los mismos cabe plantearse la misma disyuntiva que la establecida al comentar el sistema contra los aludes. Si el deslizamiento no afecta a ningún interés que proteger, no resulta necesario actuar de momento. En caso contrario, si les afecta, la solución radica en conseguir un doble efecto: por un lado, reducir la llegada del agua a la zona del deslizamiento (bien sea superficialmente o como flujo subterráneo), así como drenar la superficie deslizante; por otro, disminuir la pendiente de la superficie deslizante hasta alcanzar una pendiente estable.

### **3.1.4.2. Técnicas utilizadas en la corrección:**

#### ***3.1.4.2.1. Corrección de torrentes***

Para conseguir una rápida evacuación de la corriente con arrastres por el tramo objeto de la corrección, la tendencia actual es la utilización de ***diques rastrillos***, transversales al cauce del torrente, que retengan los arrastres, dejando pasar aguas abajo los sedimentos más finos a fin de prolongar la vida útil de la obra. Normalmente se trata de ***diques de gravedad*** en hormigón en masa o armado. En la actualidad lo más habitual son ***diques de hormigón armado con***

**grandes vertederos**, que en ocasiones pueden adoptar la forma de dos muros de hormigón enfrentados, cuya abertura central se cierra únicamente con vigas transversales a modo de rastrillos empotradas en ambos muros, que retienen únicamente los materiales más gruesos; además, la separación de las vigas se puede graduar conforme se eleva el calado de la corriente.

Para estabilizar las laderas deslizantes de los márgenes de algunos torrentes, así como para evitar la erosión remontante en sus lechos y conseguir sus pendientes de compensación, se emplean los **diques de consolidación**, transversales al cauce del torrente. Se trata de **diques de gravedad clásicos**, cerrados y con su vertedero dispuesto en la coronación de la obra y sin más aberturas que los mechinales. Normalmente se construyen en hormigón armado, aunque tradicionalmente se han construido con mampostería hidráulica u hormigón en masa. Cuando los mismos adquieren dimensiones importantes (una altura  $\geq 6$  m, lo que supone que la corriente aguas abajo del dique adquiera un número de Froude  $F \geq 4,5$ ), se les debe proteger a pié de obra con **disipadores de energía** (colchones de agua o contradiques), que fuercen al flujo evacuado por el vertedero de la obra a experimentar el efecto de un resalto hidráulico y de este modo perder parte de su energía cinética.

Cuando exista peligro de que los rastrillos o el vertedero (según el tipo de dique) puedan ser taponados por los arrastres leñosos; se puede disponer aguas arriba del dique de redes de acero de mallas amplias para retenerlos; o si el vaso de sedimentación es lo suficientemente amplio, se pueden situar elementos de retención en el mismo, al tiempo que se fuerza a la corriente a circundar el vaso para dirigirse al vertedero.

Salvo que se presenten laderas que deslizan sobre el propio torrente y sea preciso sujetarlas con diques de consolidación; los diques rastrillo resultan muy efectivos para conducir la corriente con arrastres del torrente aguas abajo, sin que se desborde ni se retenga, hasta confluir en otro curso de mayor caudal y con suficiente capacidad de transporte, que absorba toda la descarga líquida y sólida del torrente y lo evacue con su propia corriente aguas abajo.

Cuando el curso torrencial pasa por una población de montaña, se le debe encauzar en el tramo que lo atraviesa, previa redacción de un proyecto detallado para la resolución del problema en la situación realmente planteada; además se deben establecer áreas de protección o de resguardo a ambos lados del encauzamiento, en los que quede prohibido cualquier tipo de construcción habitable. En todo el escenario que se contempla en este apartado I.1.-A, pero de un modo especial en el que se refiere a este párrafo, la naturalización de las obras pasa a un plano totalmente secundario, siendo la seguridad la primera y máxima prioridad.

#### **3.1.4.2.2. Sistemas de defensa contra los aludes**

Para retener el manto de nieve allí donde se pueda desencadenar el alud, se emplean sistemas formados por hileras de **rastrillos**, **parrillas** o **redes anti-aludes**. En los últimos años se ha extendido el uso de las redes, por su menor peso y mayor flexibilidad y adaptabilidad a pequeñas perturbaciones que pueda sufrir el sistema, ante pequeños movimientos del manto de nieve.

Para defenderse de los aludes desviando sus recorridos se utilizan **cuñas** y **espigones**, que aunque no impiden su desprendimiento, pueden evitar sus daños. Otro sistema utilizado consiste en las **cortinas anti-viento**, cuya misión es impedir la acumulación de la nieve en los lugares de riesgo de aludes.

En ocasiones muy específicas, para detener el alud al final de su recorrido se emplean grandes **muros de tierra**, que a veces se complementan con rastrillos instalados en su coronación.

Lo habitual ante una zona amenazada por aludes es plantear una **estrategia de corrección**, utilizando una combinación de los diferentes elementos contra los aludes, tras un análisis de las características físicas del lugar y del peligro potencial de caída de aludes en el mismo, los objetivos que se pretenden defender y la información y experiencia de los aludes anteriores habidos en el mismo lugar.

### **3.1.4.2.3. Corrección de las laderas de la cuenca hidrográfica**

Si existe el bosque bien sea natural o procedente de antigua repoblación en este escenario, conocidas sus limitaciones para su expansión en el mismo, resulta conveniente mantenerlo; pues, además de proteger al suelo, es el mejor sistema para evitar el desencadenamiento de aludes. Normalmente la persistencia del bosque en estas altitudes implica su ordenación por el método de **entresaca**, que supone quitar los árboles muertos o debilitados y un número limitado de pies sanos, para dejar espacios que aseguren su regeneración.

Si no existe el bosque y es posible su introducción, se debe plantear realizarlo mediante la **replantación** hasta donde sea viable, dado el gran valor del bosque en estas altitudes como protector del sistema hidrológico de toda la cuenca.

Los trabajos de repoblación resultan complejos. La preparación del suelo, que debido a las pendientes del terreno lo normal es que sea puntual, se puede realizar mediante ahoyado manual mecanizado o utilizando para el ahoyado una retroexcavadora araña (ambas sustituyen el antiguo ahoyado manual). Para la plantación, las características del terreno pueden condicionar su ejecución manual. En cuanto a la elección de especie, ésta está condicionada a su capacidad de atemperarse al medio físico en el que se implanta. Normalmente se limita a las gimnospermas (géneros *Larix*, *Abies*, *Picea* o *Pinus* en Europa y Asia; *Notofagus*, *Pinus*, etc. en América).

El matorral de altura defiende al suelo de la erosión hídrica, pero no es el mejor estrato para sujetar el manto de nieve, porque la nieve establecida entre su entramado no resulta estable. La experiencia en los Alpes ha demostrado que, a falta de bosque, la mejor estructura vegetal para impedir el desencadenamiento de aludes es un pastizal de montaña aprovechado (a diente o a siega), en el que las hierbas no se curven ante la primera nevada.

Entre los trabajos de **replantación** de las laderas de la cuenca y las obras de **corrección en los propios torrentes**, se encuadran los trabajos de control de las barranqueras y regatos ubicados en vertientes directas a estos últimos, incidiendo más o menos perpendicularmente a los mismos. Éstos han consistido tradicionalmente en **faginas** o **palizadas**, que son pequeños diques de madera, en ocasiones viva (pues se utilizan esquejes de plantas de los géneros *Salix* o *Alnus* que pueden enraizar en el terreno), transversales a las barranqueras y cuya misión es sujetar las laderas, evitando la erosión superficial en las mismas y regenerando en ellas el tapiz vegetal. Asimismo en áreas de alta montaña, donde interesaba disminuir la pendiente del terreno para evitar desprendimientos y conseguir estabilizar la vegetación en las laderas aguas abajo, se construían en el pasado **albarradas**, que consisten en pequeños muros de piedra en seco, de altura inferior a 2 m, contruidos siguiendo las curvas de nivel del terreno. Las albarradas se han utilizado también a modo de pequeños diques transversales con rebosadero

incluido, para sistematizar pequeños barrancos incipientes. Cuando el vaso situado aguas arriba de la albarrada se aterraba, se implantaba en el mismo un cultivo arbóreo y de este modo se trataba de recuperar la ladera. Las faginadas o palizadas necesitan de cierta humedad de terreno para que los esquejes puedan enraizar; mientras que las albarradas se han implantado sobre todo en climas semiáridos. Una variación de las albarradas son los *balates* o *andes*, que por su estructura y aplicación se pueden identificar con los *bancales de talud de piedras*, utilizados en la agricultura de las áreas de montaña para poder conservar el suelo cultivado. Se emplearon en la América precolombina y de ahí viene el nombre de Cordillera de los Andes.

#### **3.1.4.2.4. Sistema corrector de los deslizamientos del terreno**

Lo normal, en el escenario que se comenta, es que se trate de deslizamientos locales, en ocasiones importantes, siendo los trabajos de corrección bastante complejos.

Existe una técnica utilizada en los Alpes italianos (Veneto, Trentino, Bolzano) y austriacos (Tirol) que resulta muy efectivo si los deslizamientos no alcanzan grandes dimensiones. Consiste en una reconstrucción de la zona deslizada, a partir en una estructura de troncos de madera colocados en filas alternas longitudinales y transversales, que recompone la ladera deslizada adoptando para ésta una pendiente previamente calculada, que le permita mantenerse en equilibrio soportando el peso de la estructura; actuación que se complementa con un drenaje interno del área corregida, para evacuar el agua que llega a la misma y, por supuesto, la propia estructura debido a sus características constructivas dispone de drenaje en su superficie. La estructura completa de corrección del deslizamiento admite ser naturalizada, implantando en su exterior especies vegetales de alta transpiración como las del género *Salix*; que, por otro lado, dado su rápido crecimiento, precisan de un riguroso control de su desarrollo, para que no sobrepasen de peso y puedan perjudicar a la estabilidad de la obra; aunque la solución es muy sencilla, basta con podar oportunamente dicha vegetación.

Tratándose de grandes deslizamientos, su solución pasa por apartarse de ellos; solo en casos extraordinarios puede tener sentido su desmonte, pero esto no es lo normal en este escenario.

## 3.2. Análisis del escenario I.2.-A

### 3.2.1. Descripción

Se puede describir en los mismos términos que el escenario anterior I.1.-A; pero en este caso se trata de un área de montaña, en el que es muy difícil que se presenten desprendimientos de aludes, salvo para latitudes muy elevadas que no son objeto de este estudio. Además la vegetación arbórea puede ocupar cualquier cota en el terreno, siempre que disponga de perfil edáfico; lo que confiere a la cubierta vegetal un papel muy especial en la configuración el sistema corrector del área en cuestión.

### 3.2.2. Cuencas de América Latina, incluidas en el Proyecto EPIC FORCE, que presentan una situación asimilable al de este escenario

La totalidad de la cabecera de la cuenca del río Pejibaye (Costa Rica); las cabeceras de las sub-cuencas de algunos cursos afluentes al río Chanchán (Ecuador).

### 3.2.3. Fenomenología geo-torrencial

Es similar al del escenario I.1.-A y esencialmente se puede definir con los mismos términos. La dinámica geo-torrencial puede adquirir una gran intensidad y la carga sólida transportada por la corriente en los momentos de máximas avenidas alcanzar valores muy elevados. Sin embargo, para cuencas de igual superficie, lo previsible es que la descarga de acarreo sea menor en este escenario que en el I.1.-A; aunque ante eventos extraordinarios las previsiones no siempre resultan acertadas.

### 3.2.4. Esquema corrector

#### 3.2.4.1. Criterios y objetivos de la corrección

**Corrección de cursos torrenciales**, los criterios y las estrategias establecidas en el escenario I.1.-A para asegurar la estabilidad de los torrentes, son también de aplicación para el presente I.2.-A; pero en éste, a los dos problemas principales definidos en aquel, se añade un tercero:

- 3 Conseguir que los sedimentos no lleguen a determinados emplazamientos, por ejemplo, al vaso de un embalse, lo que exige retenernos aguas arriba de uno o varios diques construidos al efecto, que reciben el nombre de **diques de retención**.

**Corrección de las vertientes de la cuenca hidrográfica**, estos trabajos desempeñan un papel fundamental en el sistema corrector de este escenario, caracterizado por laderas de fuertes pendientes y por la ausencia de limitaciones importantes en cuanto a la duración de su periodo vegetativo, lo que hace del mismo el prototipo para destinarlo al bosque, sea autóctono o procedente de repoblación. Ante tal situación, se plantean las dos opciones siguientes:

- 1 Si existe el bosque autóctono o de repoblación en proporciones adecuadas para la cuenca en cuestión y éste se ubica en las posiciones estratégicamente convenientes (cabeceras de cuenca, zonas de mayores pendientes, por tanto más vulnerables a la erosión, y en los márgenes de sus principales cursos de agua), lo conveniente es conservarlo, tomando para ello las medidas pertinentes. Desde el punto de vista hidrológico, no existe impedimento para que dichas formaciones se aprovechen, mientras se garantice su persistencia y el porte original (estructura) de su vegetación.

- 2 Cuando no existen las cubiertas arboladas pertinentes (sobre todo en las áreas definidas como estratégicas), la solución pasa por implantarlas, si las condiciones edáficas lo permiten, mediante trabajos de repoblación

En lo que respecta a los *sistemas de corrección de los deslizamientos del terreno*, se refiere a lo comentado para el escenario I.1.A.

### 3.2.4.2. Técnicas utilizadas en la corrección

#### 3.2.4.2.1. Corrección de torrentes

Para cada uno de los tres problemas planteados en este escenario: 1) *la rápida evacuación de los sedimentos del tramo objeto de corrección*, 2) *la estabilización de las laderas y del lecho del torrente* y 3) *la retención de sedimentos*, existen distintas soluciones estructurales dependiendo de las circunstancias de cada curso torrencial, que se miden tanto por sus parámetros hidráulicos convencionales, como por el tipo de sedimentos que le llegan desde su cuenca vertiente y la naturaleza y granulometría de los materiales de su propio lecho.

En el caso de los *diques filtrantes*, además del definido en el escenario I.1.-A, se mencionan las siguientes modalidades: *diques de fábrica celular con armazón de vigas entrelazadas*; *diques de bloques de hormigón prefabricados*; *diques de elementos metálicos prefabricados*; *diques reticulares*, *diques rastrillo* y *diques de enrejado*, cada uno adaptable a la situación específica a corregir o al lugar concreto para el que se ha proyectado dentro de la planificación global del sistema corrector.

Para las situaciones en las que el problema a corregir consiste en la estabilización del lecho y o de los márgenes de un curso torrencial, se utilizan los *diques de consolidación*, cuyas especificaciones se han definido al comentarlos dentro del escenario anterior I.1.-A, por lo que se remite a lo expuesto en el mismo.

En cuanto a los *diques de retención*, se construyen transversales al cauce del curso torrencial, normalmente como diques de gravedad, con mampostería hidráulica u hormigón en masa, son cerrados sin más aberturas que las de los mechinales y con su vertedero dispuesto en la coronación de la obra. También se construyen con *mampostería de gaviones*, sobre todo en cursos de laderas poco consolidadas, para aprovechar que la porosidad inicial de la fábrica evite la socavación lateral del cauce, motivo por el que su uso se ha extendido con profusión en todas las latitudes; pero tales diques requieren de un buen diseño y una construcción muy bien acabada, porque en los emplazamientos en los que habitualmente se les sitúan, pueden sufrir problemas de filtraciones que pueden llegar a arruinar la obra. Si se utiliza la mampostería de gaviones, no hay razón para no emplear también otros tipos de estructuras como los diques reticulares; e incluso en el pasado se han construido, en emplazamientos muy específicos en roca no alterada, diques en bóveda; pero se trata de casos poco habituales.

*La vegetación de ribera en los márgenes de los cursos torrenciales*, se incluye también dentro de este epígrafe y constituye una auténtica práctica de corrección, atendiendo a sus efectos en situaciones específicas. Al respecto, en el transcurso de una visita de trabajo a la cuenca del río Pejibaye (Costa Rica), se pudo observar que sus cursos principales (el río Pejibaye y sus afluentes el río Platanares y la quebrada Bolívar) conservaban inalteradas las estructuras en salto-resalto (*step-pool*) o en rápido-remanso (*ripple-pool*) en sus diferentes

tramos, sin otra actuación que la protección de sus dos márgenes con una densa franja bosque tropical (posiblemente secundario) en buen estado de conservación y extendido prácticamente en todo su recorrido. Esta actuación es fundamental que continúe en el futuro y pone de manifiesto la importancia de la vegetación arbolada natural en los márgenes de los ríos y torrentes.

Sin embargo, también se comenta que es muy difícil para cualquier curso torrencial mantener su estructura inalterada en el tiempo, si su cuenca vertiente no dispone una cubierta vegetal conveniente; que podrá ocupar una mayor o menor extensión y presentar una estructura más o menos compleja dependiendo del tipo de cuenca. En este sentido, algunos síntomas de reducción la cubierta arbolada en áreas dominantes de la cuenca del río Pejibaye podrían perjudicar el equilibrio futuro de sus ríos, en el presente en perfecto estado de conservación.

***La naturalización morfológica de los trabajos y obras de corrección de torrentes***, combina elementos tanto de la línea clásica de corrección de torrentes como de las nuevas técnicas de ingeniería paisajística. Su utilización está extendida por la región del Veneto (Italia) y por otras regiones del norte de Italia, Austria y sur de Alemania (Baviera), su objetivo es recomponer la estructura original de los torrentes de montaña, pero sin perder la seguridad que le aportan las estructuras tradicionales de ingeniería hidráulica, que se utilizan como base de la operación.

#### ***3.2.4.2.2. Corrección de las vertientes de la cuenca hidrográfica***

La utilización de la cubierta vegetal desempeña un papel fundamental en el sistema corrector de este escenario. Siguiendo con lo tratado en el epígrafe 2.2.4.1, si existe el bosque natural o de repoblación en las proporciones adecuadas para la cuenca en cuestión y éste se ubica en las debidas posiciones estratégicas, dicho bosque se debe mantener; en caso contrario la solución pasa por implantarlo, si las condiciones edáficas lo permiten, mediante trabajos de ***repoblación***. Éstos implican las operaciones siguientes:

1. *Elección de especie*, se trata de un aspecto esencialmente silvícola y su objetivo es que la especie elegida se atempere al medio en el que se pretende introducir.
2. *Preparación del suelo*, tiene un carácter edáfico-hidrológico y con el mismo se pretende satisfacer las condiciones hídricas de las plantas en los dos años siguientes a su plantación.
3. *Plantación*, es el aspecto aparentemente más mecánico, pero no menos importante; porque debe atender también al reconocimiento de la planta (su procedencia, edad y estado biológico, estructural y sanitario); así como a la correcta operación de instalación de la planta en el terreno y su seguimiento en los dos años siguientes a la plantación con operaciones de binas y escardas, para asegurar el futuro de la repoblación.

*En zonas tropicales que siguen manteniendo su capacidad biológica para regenerar un bosque secundario a partir de los terrenos ocupados por pastizales o dedicados al cultivo, sin otra operación que abandonar dichas prácticas para que el bosque vuelva a invadir los terrenos, esta simple acción puede representar desde el punto de vista hidrológico una actuación equivalente a los trabajos de repoblación forestal con fines hidrológicos, donde la naturaleza realiza las tres labores anteriormente descritas: elección de especies, preparación del suelo y la propia plantación, todo ello plenamente atemperado con el medio externo. La cuestión esencial es que los terrenos mantengan su capacidad de regeneración.*

En las áreas objeto de este escenario, no contemplados dentro de las zonas tropicales, se pueden aplicar diferentes labores de preparación del suelo, dependiendo de las pendientes del terreno a repoblar. En pendientes elevadas, superiores al 40 %, se debe recurrir al ahoyado manual mecanizado o al ahoyado mediante retroexcavadora araña. En pendientes más moderadas pero superiores al 30 %, se puede realizar el ahoyado mediante una retroexcavadora convencional; pero también se pueden efectuar preparaciones del suelo a base de subsolados lineales o cruzados. Finalmente para pendientes que no rebasen el 30 % lo habitual es recurrir también a una preparación lineal; en el sur de España ha sido muy habitual realizar un acaballonado con arado forestal bisurco o en su defecto un decapado y posterior subsolado con bulldozer.

La plantación sería manual para las pendientes más elevadas y sólo por debajo del 30 % de pendiente puede resultar rentable mecanizarla.

Comentar la elección especie en un escenario como el que aquí se plantea resulta inabordable; pues depende de las condiciones climáticas y edáficas de las estaciones en las que se lleve a cabo la repoblación, por tanto, rebasa los objetivos de este documento

### **3.2.4.2.3. La cuestión de los terrenos, identificados con el presente escenario, destinados a usos diferentes al bosque o a un matorral denso no degradado**

Una cuestión importante en la ordenación hidrológico-forestal del presente escenario, es la utilización de sus terrenos para fines distintos a los del forestal arbolado o en su defecto a los de un matorral denso bien conservado. En efecto, muchos de estos terrenos son utilizados como pastizales y no pocos se cultivan, en ocasiones por justificadas razones sociales.

Al respecto, se comenta lo recogido en las *Clasificaciones Agrológicas de Suelos*, así como en las *Guías de Conservación de Suelos*, que resultan normas de obligada recopilación en todo documento de Planificación Agronómica y por ende en una Ordenación Hidrológico-Forestal.

1. No se deben destinar a pastizales terrenos con pendientes superiores al 30 %. Evidentemente que los hay en todas las partes del mundo, cualquiera que sea su nivel económico y cultural, y mientras se mantengan en buen estado de conservación da la impresión de que no hay razón para que no sigan existiendo. Pero ante cualquier evento torrencial, sobre todo si es extraordinario, existen serios riesgos de que aparezcan problemas de erosión graves en forma de barranqueras, cárcavas o deslizamientos incipientes. Los riesgos son tanto mayores, cuanto mayor sea la pendiente y para pendientes superiores al 60 %, pueden resultar irreversibles.
2. Los terrenos genuinamente de cultivo no sobrepasan el 3 % de pendiente, a partir del cual aparecen los primeros síntomas de erosión laminar; incluso pueden surgir problemas con el riego por gravedad en pendientes superiores al 1 %. Pero el ámbito convencional de los cultivos se suele extender hasta terrenos de un 12 % de pendiente, si se aplican convenientemente las *medidas de conservación de suelos*, entendiéndose como tales: el cultivo a nivel; el cultivo en fajas y el cultivo en terrazas en su forma más sencilla (preparación del suelo constituido por un surco y su correspondiente caballón).

En terrenos de pendientes superiores al 12 % y hasta el 24 % de pendiente, los cultivos deben protegerse mediante *prácticas de conservación de suelos*, entre las que se incluyen las terrazas continuadas (no siempre muy aconsejable) y el abanclado. Existen también

prácticas locales consistentes en combinaciones de éstas con otras formas de laboreo del terreno como el subsolado.

Por encima del 24 % de pendiente no se recomienda cultivar directamente el suelo, pero se puede practicar si se realiza en bancales de talud bien estabilizado, en ocasiones hasta con muros de piedra (como en algunas localizaciones de la vertiente mediterránea española de las provincias de Alicante, Baleares o Castellón). Asimismo hay cultivos como los instalados en algunas laderas empinadas de Costa Rica (de pendientes superiores al 24 %) dedicadas al café arábigo, que utilizan un compendio de técnicas de protección del suelo concentrados en la misma localización; pues el terreno se encuentra abancalado; el cultivo se realiza bajo sombra, lo que exige la presencia de otras especies de porte arbóreo que le cubran; la hojarasca del cafetal cubre al suelo prácticamente todo el año salvo en el periodo de sequía y la propia planta del café arábigo es un matorral de mediano porte. Cultivos como éste, mientras no se demuestre lo contrario, pueden mantenerse en las pendientes en las que están instaladas, pues resulta más conservacionista que un pastizal para la misma pendiente.

3. Otro factor a tener en cuenta en relación con la puesta en cultivo de los terrenos en pendiente es la *profundidad del suelo*; no sólo porque el mismo afecta a la rentabilidad y continuidad del cultivo, sino porque también condiciona su estabilidad. En laderas con suelos profundos y pendientes muy elevadas (del orden o superiores al 60 %) que se han puesto en cultivo o simplemente se utilizan como pastizales, la incidencia en las mismas de precipitaciones torrenciales extraordinarias puede causar deslizamientos más profundos y con mayores dificultades de recuperación, que en el caso que dichas laderas estuvieran arboladas (aunque evidentemente también en este caso se produzcan deslizamientos, o al menos regueros, porque el exceso de agua tiene que evacuar por algún lado, pero éstos normalmente terminan por cicatrizarse, aunque nunca terminen por estabilizarse por completo); además la recuperación de los cultivos tras los deslizamientos puede resultar totalmente inviable y lo mismo suceda con los pastizales previos al deslizamiento. Sin embargo, en los terrenos con pendientes más moderadas (inferiores al 30 %) con unas buenas prácticas de conservación de suelos, basadas en bancales con taludes bien estabilizados y un buen sistema de drenaje, se pueden paliar en cierto grado los efectos de los aguaceros torrenciales extraordinarios que incidan sobre ellos.

Tratándose de terrenos poco profundos, los efectos a largo plazo no son mejores, pero a corto pueden resultar (o al menos parecer) menos graves; pues aunque los terrenos de pendientes elevadas podrían perder toda posibilidad de utilización futura del territorio con fines agronómicos tras los eventos torrenciales, los deslizamientos tendrían menores dimensiones (al menos mientras fueran superficiales). En cambio en zonas de pendientes moderadas los cultivos y pastizales, bien sistematizados con prácticas de conservación de suelos, podrían superar los efectos más drásticos de los eventos torrenciales (aunque ante eventos extraordinarios nunca se pueden hacer previsiones fiables). Sin embargo, se han realizado estas consideraciones, para dejar constancia de la importancia del perfil edáfico en los criterios de utilización agronómica del territorio.

4. Se concluye comentando lo siguiente: Las normas, recogidas en los párrafos anteriores de este epígrafe, se justifican por los resultados obtenidos de numerosas experiencias realizadas en el ámbito de la Conservación de Suelos en cultivos y pastizales. También han sido corroborados por modelos matemáticos elaborados *ad hoc* con la misma

finalidad. Sin embargo, las leyes en la Naturaleza no siempre son deterministas, en ocasiones se aproximan a funciones estadísticas, en consecuencia pueden presentarse situaciones por exceso o por defecto que no cumplan con dichas normas.

5. Las normas están para seguirlas; de lo contrario, aunque los procesos erosivos tarden en manifestarse, ello no implica que no aparezcan en el futuro, sino que simplemente se mantiene el equilibrio de momento. Ahora bien, desde el instante que aparezcan, lo más conveniente es atajar el problema sin dilación, pues las consecuencias posteriores resultan imprevisibles. Además, para las áreas tropicales sería muy conveniente avanzar en la investigación de sus peculiaridades con la colaboración de los sectores implicados, por razones técnicas, socio-económicas y de conservación del medio a largo plazo.

### 3.3. Análisis del escenario I.1.-B

#### 3.3.1. Descripción

Áreas de alta montaña con laderas de pendientes suaves a moderadas. Puede coincidir con terrenos paleozoicos muy moldeados, de litología silícea poco erosionable, cuyos cursos de agua no presentan un marcado carácter torrencial, salvo con ocasión de alguna crecida generada por lluvias torrenciales extraordinarias. En cuanto a la vegetación resulta válido todo lo expuesto para el escenario I.1.-A.

#### 3.3.2. Cuencas de América Latina, incluidas en el Proyecto EPIC FORCE, que presenten una situación asimilable al de este escenario

Está incluida en este escenario una superficie importante de la cabecera del río Chanchán (Ecuador).

#### 3.3.3. Fenomenología geo-torrencial

Las avenidas generadas por los aguaceros torrenciales, sobre todo por eventos extraordinarios, podrían provocar inundaciones en las zonas más bajas del presente escenario y con mayor intensidad en las del escenario II.1.-B, que supone su continuidad en la cuenca hidrográfica, debido al perfil de suave a moderado de su relieve; pero el flujo será bifásico y el transporte sólido predominantemente en suspensión; salvo en los tramos iniciales de los cursos de agua, en los que éstos podrían comportarse como auténticos torrentes de montaña ante precipitaciones extraordinarias. En resumen, más que hablar de una fenomenología geo-torrencial, se debe hablar de fenómenos torrenciales y más que de problemas geo-torrenciales, de problemas hidrológicos.

#### 3.3.4. Esquema corrector

##### 3.3.4.1. Criterios y objetivos de la corrección

En relación con los *torrentes*, como norma general no parece que sea necesario corregirlos. No obstante, si por alguna circunstancia especial hubiera que hacerlo, se tendrían en cuenta los mismos criterios y objetivos que se han descrito para el escenario I.-A en su conjunto.

En cuanto a la protección ante el *desprendimiento de aludes*, tampoco nos encontramos en un escenario de grandes riesgos, pues el desprendimiento de aludes necesita que las pendientes del terreno superen el 60 % y no son éstas las circunstancias. Pero en el supuesto improbable que tuvieran lugar, se atendería a lo indicado al respecto para el escenario I.1.-A.

En lo referente a las *vertientes de la cuenca hidrográfica*, toma especial significado la cuestión del tipo de cobertura vegetal que puede resultar más idóneo para la protección del suelo en este tipo de escenarios. Se trata de laderas de escasa pendiente, en principio no aptas para el cultivo por la brevedad de su periodo vegetativo (al menos en Europa); tampoco se trata de suelos que requieren de una cubierta vegetal protectora densa, porque sus pendientes son suaves, lo que reduce su vulnerabilidad a la erosión y posiblemente se trate de suelos de perfiles poco evolucionados a consecuencia de su posición altimétrica y del clima. Como resultado de todo lo expuesto, se llega a la conclusión de que la protección de los suelos del presente escenario podría estar asegurada utilizando estructuras vegetales de escaso desarrollo

aéreo y sistema radical bien desarrollado y penetrante. De este modo se reduce la transpiración y se consigue un mejor aprovechamiento hídrico en el caso, por ejemplo, que el escenario en cuestión sea la compone principal de la superficie de la cuenca alimentadora a un embalse. En América este escenario se podría identificar con los páramos de altura, cuya vegetación natural tampoco tiene un gran desarrollo aéreo y sí un entramado radical potente. Lo expuesto no es impedimento para que terrenos, identificados como el presente escenario, se aprovechen como bosques, incluso siendo vertientes directas a embalses de abastecimiento de aguas; porque los bosques por lo general soportan menos ganado y ello reduce los problemas de eutrofización en los embalses.

Una cuestión a tratar en relación con este escenario, son los *problemas hidráulicos por anegamiento* que podrían surgir en sus cotas más bajas en el caso de precipitaciones torrenciales, tanto normales pero sobre todo extraordinarias; debido a que su drenaje pudiera resultar lento por estar condicionado al escaso gradiente que presentan las laderas que configuran su relieve, aunque los problemas más graves que pudieran derivarse por esta cuestión se manifestarían en el escenario II.1.-B, por las razones ya indicadas. Este efecto puede ser aprovechado como un elemento singular del paisaje; pero en el hipotético caso de que el entorno donde tiene lugar la inundación estuviera habitado, habría que estudiar sus límites y planificar las consecuencias del mismo para la población. En cualquier caso no es probable, porque se trata de áreas de alta montaña.

#### **3.3.4.2. Técnicas utilizadas en la corrección**

Salvo para el hipotético caso de inundaciones en las cotas más bajas del presente escenario, que pudieran afectar a zonas habitadas o a infraestructuras; en cuyo caso la solución sería protegerlas mediante *muros* tratándose de las viviendas o plantear *trazados alternativos* (temporales o fijos) en el caso de las infraestructuras; no se referirá directamente a las técnicas de corrección, cuya necesidad inmediata no se advierte, sino únicamente al aprovechamiento racional y deseable de los terrenos del escenario que se comenta, en su doble aspecto agronómico y lúdico, en relación con su ordenación hidrológico-forestal; como medida preventiva ante una transformación no deseable del escenario en cuestión.

En el aspecto agronómico, estos terrenos se pueden utilizar indistintamente como áreas de bosque (hasta donde *climáticamente* resulta posible) o como pastizales de altura, incluso como una combinación de los mismos; cualquier opción resulta técnicamente justificable; aunque una combinación de bosque y pastos podría ser lo más acertado. Tampoco hay que descartar la opción de declararlos como espacios protegidos, con una de las múltiples figuras legales que existen para catalogarlos; podría ser una buena solución para algunos parajes vírgenes o cuasi-vírgenes de América Latina.

En cuanto al aspecto lúdico, conviene considerar que el hecho de que este escenario no presente riesgos de desprendimiento de aludes, no implica que no disponga del suficiente manto de nieve en invierno, como para que pueda ser aprovechado para practicar los deportes de invierno. Planificar una buena ordenación del territorio desde el principio, puede resultar decisivo para preservar en el futuro los valores de todo tipo (biológicos, paisajísticos, etc.) de la zona, evitando errores que pudieran derivarse de cualquier tipo de intervenciones agresivas o al menos no deseadas en el medio, que a posteriori resultan difíciles de subsanar y que terminan afectando a la conservación del suelo y del agua en el paraje en cuestión, conservar estos elementos es un objetivo irrenunciable en una ordenación hidrológico-forestal.

### 3.4. Análisis del escenario I.2.-B

#### 3.4.1. Descripción

Áreas de montaña de relieve ondulado con laderas de pendientes suaves a moderadas. El riesgo de aludes es prácticamente nulo. En cuanto a la vegetación no existen limitaciones para que el bosque pueda ocupar cualquier cota del terreno, siempre que disponga del perfil edáfico suficiente.

#### 3.4.2. Cuencas de América Latina, incluidas en el Proyecto EPIC FORCE, que presenten una situación asimilable al de este escenario

Este escenario no se corresponde con ninguna de las cuencas de América Latina incluidas en el Proyecto EPIC FORCE; pero se puede identificar con la cuenca del río Eden (norte de Inglaterra), visitada por el equipo de EPIC FORCE en marzo del 2005, o con la cabecera de la cuenca del arroyo del Partido (suroeste de España), aparentemente muy distinta, porque su clima es mediterráneo y sus suelos profundos.

#### 3.4.3. Fenomenología geo-torrencial

Básicamente responde a lo comentado para el escenario I.1.-B. Es posible que se incremente el transporte sólido en suspensión con ocasión de los eventos torrenciales, sobre todo si son extraordinarios, en los cauces que drenan por las vertientes de suelos más profundos y escasamente protegidas por la vegetación; pero sin alterar el esquema geo-torrencial definido para aquel escenario.

#### 3.4.4. Esquema corrector

##### 3.4.4.1. Criterios y objetivos de la corrección

Tanto en lo referente a los *torrentes* (que en principio no parece que presenten problemas en este escenario) como ante el riesgo de *desprendimiento de aludes* (cuya probabilidad es muy reducida o nula) se remite a lo expuesto en escenario I.1.-A, para lo que pudiera afectar.

En cuanto a las *vertientes de la cuenca hidrográfica*, el papel que desempeña la vegetación puede ser importante. Al tratarse de áreas de pendientes entre suaves y moderadas, en condiciones normales los terrenos en cuestión pueden prescindir de cubiertas arboladas para conseguir la protección adecuada de sus suelos frente a la erosión hídrica; por tanto se pueden aprovechar como pastizales, como monte bajo de matorral no degradado e incluso dedicarlos al cultivo, con la previsible ventaja de que ello pueda repercutir en una menor transpiración y por ende en una mejor utilización del agua como recurso. No obstante, se trata de áreas dominantes, en los que el bosque puede desempeñar una función protectora de primer orden en toda la cuenca vertiente ante precipitaciones torrenciales normales; aunque su eficacia resulte menor ante los eventos torrenciales extraordinarios; todo ello cobra mayor interés en los terrenos con mayores pendientes, o en aquellos otros que por su orientación pudieran contribuir a la captación del agua de las precipitaciones horizontales y nieblas.

En cualquier caso, tratándose de cultivos, se remite al apartado 3.2.4.2.3 en relación con las restricciones del uso del suelo para garantizar su conservación.

Pudiera darse el *problema hidráulico de anegamiento* en las cotas más bajas del presente escenario en el caso de avenidas torrenciales extraordinarias; aunque el mismo resulta mucho más factible y preocupante para el escenario II.2.-B, que representa la continuación del presente en lo que a la cuenca hidrográfica se refiere.

#### **3.4.4.2. Técnicas utilizadas en la corrección**

Las técnicas a emplear en el presente escenario, en el caso de que tuviera lugar una inundación de sus cotas más bajas; son las mismas que se han propuesto al inicio del apartado 3.3.4.2, para resolver el mismo problema en la situación del escenario I.1.-B.

A continuación, siguiendo el esquema adoptado en el escenario anterior I.1.-B, no se referirá directamente a las técnicas de corrección, cuya necesidad inmediata no se advierte, sino a la conveniencia de plantear una ordenación hidrológico-forestal para el presente escenario.

El hecho de que se trate de una zona de relieve moderado, capacita a sus suelos para cualquier tipo de aprovechamientos. Esta realidad, que se asume perfectamente a corto plazo, debe ser analizada con una visión a medio y largo plazo. Una ampliación de los cultivos en el área dominante (que es el caso que se analiza), da lugar a cuencas básicamente agrícolas, pues el destino preferente de las áreas dominadas son los cultivos (por tratarse en general de las zonas de suelos más profundos y con mejor microclima). La mayoría de los cultivos necesitan del riego (o al menos de agua) para ser rentables, por lo que las necesidades hídricas para una cuenca en su mayor parte cultivada, pueden llegar a ser superiores a las que demandaría la misma cuenca si tuviera una parte importante de su área dominante con arbolado.

Por otra parte, una cuenca con las cabeceras arboladas y las áreas dominadas con cultivos, representa un sistema estable a lo largo del tiempo, pues los fenómenos geo-torrenciales se comienzan a controlar en su origen con una inversión moderada (en la cabecera los fenómenos erosivos son más graves y además sus efectos se transmiten a posteriori a toda la cuenca). Es decir, un sistema conformado como se acaba de exponer, se defiende mejor de los efectos de las precipitaciones torrenciales ordinarias, además de contribuir al mantenimiento de la biodiversidad. Para ilustrar con un ejemplo lo que se quiere transmitir, se plantea la siguiente pregunta: ¿Hasta donde resulta rentable extender el cultivo pendiente arriba en una ladera?. ¿Hasta donde es rentable a corto plazo o hasta donde lo permite un desarrollo sostenible?. Evidentemente hay cultivos que por su alta rentabilidad permiten destinar importantes inversiones en técnicas de conservación de suelos, realizando importantes nivelaciones del terreno; pero incluso en estos casos, el tramo final de la ladera se destina al monte arbolado o al menos a vegetación permanente, porque su ausencia supone el riesgo de que se llenen de sedimentos los banales situados en las cotas más elevadas con cualquier precipitación torrencial, aunque sea normal.

### **3.5. Análisis del escenario II.1.-A**

#### **3.5.1. Descripción**

Se trata de las zonas dominadas de los torrentes de montaña situados en los parajes de orografía montañosa del escenario I.1.-A. Aunque las pendientes en el área en cuestión resulten inferiores, tanto en las laderas como en los lechos de los propios torrentes, aún siguen siendo elevadas y con frecuencia alcanzan en éstos últimos valores del orden del 10 % o incluso mayores. En cuanto a la cubierta vegetal, el escenario en cuestión no presenta problemas para la existencia del bosque, salvo los impedimentos que puedan surgir en zonas concretas por falta de perfil edáfico.

#### **3.5.2. Cuencas de América Latina, incluidas en el Proyecto EPIC FORCE, que presenten una situación asimilable al de este escenario**

Por la lógica de la información disponible, el escenario en cuestión sólo resulta posible en algunas sub-cuencas del río Chanchán.

#### **3.5.3. Fenomenología geo-torrencial**

La dinámica geo-torrencial de este escenario es una prolongación de la que se presenta en el I.1.-A; por lo tanto puede llegar a ser muy intensa en el caso de precipitaciones torrenciales extraordinarias; siendo su máxima manifestación la formación en el curso torrencial de un gran cono de sedimentación, que se puede generar con cualquier tipo de régimen de la corriente del torrente, sea monofásico o bifásico.

El escenario en cuestión también puede ser receptor de aludes que se desprenden del escenario superior I.1.-A, sobre todo de los aludes conocidos como *aludes de fondo* o *de corredor*, que utilizan para su descenso los mismos canales por los que transitan los torrentes.

*Aunque lo indicado en los dos párrafos anteriores responde a la gran mayoría de las situaciones que se identifican con el presente escenario y a ellas se referirá en lo que se comenta del mismo a continuación; no se debe obviar que pueden presentarse situaciones de un equilibrio prácticamente total para el torrente, cuando el mismo confluye directamente en el curso al que es tributario y este último lleva en todo momento (en todo el año) un caudal y una capacidad de transporte sobradamente suficientes, para que la descarga del torrente (líquida y sólida) pueda ser absorbida por el mismo sin ninguna dificultad, incluso en los momentos de máximas crecidas extraordinarias del torrente. Pero estas condiciones son más específicas del escenario siguiente II.2.-A y, por tanto, son en éste donde se desarrollaran con mayor detalle.*

#### **3.5.4. Esquema corrector**

##### **3.5.4.1. Criterios y objetivos de la corrección**

En relación con el comportamiento de los *torrentes*, en el escenario I.1.-A se ha comentado que ante sus crecidas o avenidas, en especial cuando lo ocasionan los eventos extraordinarios, la cuestión central radica en conducir aguas abajo la corriente cargada de sedimentos del torrente, hasta que confluya en otro curso de mayor caudal y con suficiente capacidad de transporte que lo absorba con toda su descarga líquida y sólida, para a continuación

transportarle junto con su propia descarga aguas abajo. El problema que puede surgir en el presente escenario, es que la formación del cono de sedimentación del torrente dificulte dicha confluencia. Se trata, por tanto, de analizar la manera en que tiene lugar la formación del citado cono y estudiar el modo para que el flujo principal del torrente lo atraviese y desemboque en la corriente principal a la que por morfología es tributario.

Puede ser interesante de considerar el caso de un torrente que desemboque directamente en un lago de montaña, ante la posibilidad de que por un evento torrencial extraordinario el torrente descargara un caudal sólido importante sobre el lago, que afectase seriamente a la estabilidad momentánea del mismo y transmitiera una onda de avenida por su sumidero a todo el sistema de drenaje aguas abajo. La cuestión podría generar situaciones difíciles de prever, pero que podrían ser muy graves. También se puede considerar la variante en la que lo incide sobre el lago sea un alud de grandes dimensiones.

Respecto de la **protección contra los aludes**, se trata de defenderse de sus efectos; ya que cuando inciden en el escenario en cuestión es porque ya se han desprendido. Para ello se pueden utilizar *medidas de desviación* del recorrido del alud, o *dispositivos para su frenado* en zonas donde el alud ya ha perdido una parte de su energía cinética y el efecto de los citados dispositivos (que deben tener cierta elasticidad, para que en ningún caso entren en carga) sea conseguir que pierda el resto y detenerlo; en cualquier caso las actuaciones adoptadas deben planificar que la masa de nieve desviada o frenada se ubique en una área controlada.

El **empleo del bosque** en este escenario merece un análisis detenido. Es interesante su presencia como estabilizador del suelo en las zonas en las que no interfiera para nada el recorrido de la corriente, pues se trata de superficies con pendientes en general elevadas; pero no en las áreas que pudiera interrumpir su paso; pues lo probable es que, en situaciones de avenidas extraordinarias, terminaría por obstruir la nueva sección que toma el cauce durante la avenida, provocando casi con toda probabilidad represamientos temporales que, de prolongarse el fenómeno torrencial, terminarían destruyéndose y generando una onda que se transmitiría aguas abajo del torrente, de consecuencias en cualquier caso no deseables, cuando no catastróficas.

### 3.5.4.2. Técnicas utilizadas en la corrección

#### 3.5.4.2.1 Corrección de torrentes

Tras haber surtido los **diques rastrillo** los efectos oportunos en los tramos del torrente situados aguas arriba del presente escenario; en éste que nos ocupa el torrente debe entregar su descarga (líquida y sólida) en el curso al que es tributario. Para ello existen diferentes técnicas dependiendo de la complejidad que se presenta en cada situación y en especial para aquellas que tienen lugar coincidiendo con avenidas torrenciales extraordinarias. La solución más efectiva, pero también la más costosa, es la construcción de un **canal escalonado de tramos erosionables**, que atraviese todo el cono de deyección desde su inicio hasta la desembocadura del torrente en el curso al que es tributario. Dicha estructura dispone de un **dique de cierre** al inicio del canal, para regular el flujo que entra en el mismo; a continuación consiste en un conjunto de **tramos canalizados**, en forma de escalera muy tendida, de modo que en cada escalón la corriente experimente la formación de un resalto hidráulico; el calado conjugado resultante del mismo, se estabiliza en el tramo canalizado de aguas abajo, antes de que la corriente se disponga a experimentar un nuevo resalto en el escalón del final de dicho

tramo, donde se produce el nuevo resalto hidráulico. La corriente continuando operando de igual modo en los tramos siguientes, hasta que el torrente termine todo el recorrido del canal.

#### **3.5.4.2.2. Sistemas de defensa contra los aludes**

En lo relativo a la *protección contra los aludes*, para desviar sus recorridos se utilizan *cuñas* y para frenarlos *muros de tierra*, aunque en los supuestos en los que la probabilidad de riesgo del alud resulte menor o los daños potenciales previsibles sean reducidos, también se han usado *montones de tierra* situados estratégicamente en la zona de parada del alud. Las *cuñas* son muy utilizadas para proteger casas o edificios aislados, como refugios, pequeñas iglesias de montaña, etc.

#### **3.5.4.2.3. La utilización del arbolado en las áreas dominadas**

En relación con el *uso del arbolado* en este escenario, se remite a lo comentado en el apartado 3.5.4.1 referente a las superficies afectadas por el cono de sedimentación (bien directamente a su zona de drenaje o bien a sus zonas adyacentes) y a las superficies no afectadas por el mismo pero pertenecientes también al escenario en cuestión.

No obstante, no se debe pasar por alto la incidencia del bosque, situado aguas arriba del área donde se ubica el cono de sedimentación propiamente dicho, en la protección del mismo. En el caso que se ha comentado del torrente que desemboca directamente en un lago de montaña, si las vertientes al lago están cubiertas de arbolado, el riesgo de caída de aludes disminuye, porque el bosque incide en los procesos de la metamorfosis de la nieve, estabilizando con ello su manto. Asimismo también puede contribuir a reducir la erosión superficial de las laderas vertientes al lago, contribuyendo con ello a mantener la calidad de las aguas y a prolongar la vida del lago. Además, se menciona únicamente de pasada la necesidad de preservar estos lagos de cualquier agente contaminante; para lo que una de las medidas más serias es mantener el torrente bajo estrictas medidas de control, incluida su corrección hidráulica, que si a posteriori conviene naturalizarla para que no cree impactos paisajísticos, se llevan a efecto los trabajos de naturalización; aunque en el ámbito en el que se plantea es posible que no resulte necesario, porque el tiempo se encargue de hacerlo, si el diseño corrector se adapta convenientemente al entorno.

Con frecuencia una parte importante de la superficie de este escenario suele estar dedicado a pastizales, aprovechamiento que técnicamente no debe presentar problemas, mientras las pendientes del terreno no rebasen el 30 %, como se ha indicado en el apartado 3.2.3.2.3.

#### **3.5.4.2.4. Otras cuestiones a considerar en el ámbito del presente escenario**

En terrenos en pendiente de áreas de altitudes elevadas, los conos de sedimentación de los torrentes no alcanzan por lo general grandes extensiones de superficie; aunque en ocasiones sí las suficientes para que próximo a ellos se ubique un pequeño núcleo de población; ejemplos de lo dicho se ven en todos los países alpinos. Aunque las aldeas asentadas en estos parajes desde tiempos históricos, suelen estar dotados de elementos que les protegen de los eventos torrenciales extraordinarios (en algunas ocasiones están asentados sobre un inesperado afloramiento rocoso; en otras la pendiente del terreno hace el efecto de cuña, que desvía al torrente alejándolo de la población; o existe un encauzamiento natural del torrente de suficiente calado (tirante), asentado totalmente o parcialmente sobre de un estrato rocoso, etc.), pero con todo, siempre es conveniente proteger los márgenes de estos asentamientos con

*escolleras y protecciones longitudinales*, e incluso con *umbrales de fondo* en el propio lecho torrente si este no es totalmente rocoso, para evitar su socavación que pudiera derivar en deslizamientos de laderas. Pero la idea central que debe prevalecer en este escenario, es que la corriente debe adquirir una pendiente, que le permita una rápida evacuación del área de sedimentación.

### **3.6. Análisis del escenario II.2.-A**

#### **3.6.1. Descripción**

Se trata de las áreas dominadas de las cuencas de los cursos torrenciales que discurren, pero sobre todo que han discurrido, por parajes de orografía accidentada; aunque no sea especialmente de alta montaña. En algunas ocasiones las características de este escenario presentan una gran similitud con las del escenario anterior II.1.-A, incluida la formación del cono de sedimentación del curso torrencial. Pero en otras, la confluencia del curso torrencial con el curso principal al que es tributario se realiza de un modo directo y suave, en parte condicionado por la gran capacidad de arrastre de este último; pero también porque el curso torrencial se encuentre suficientemente regulado, bien de forma natural o mediante una rectificación hidráulica del mismo.

El bosque no encuentra problemas para su implantación en este escenario (salvo en algún lugar concreto en el que falte el suficiente perfil edáfico), además en ocasiones desempeña una intervención importante en el sistema corrector del mismo, como elemento de rectificación de márgenes de riberas. Otro aspecto importante de este escenario es el relativo a su altitud, que permite contemplar la posibilidad de que el curso torrencial desemboque directamente en el mar, circunstancia mucho más general y de mucha mayor trascendencia de que lo que a primera vista pudiera parecer.

#### **3.6.2. Cuencas de América Latina, incluidas en el Proyecto EPIC FORCE, que presenten una situación asimilable al de este escenario**

Pueden responder al esquema del presente escenario las áreas dominadas de la cuenca del río Pejibaye (Costa Rica); las de los arroyos de Buena Esperanza y del Hambre en Tierra de Fuego (Argentina) y las de los afluentes al río Chanchán (Ecuador) que corresponden a los tramos de cotas más bajas del mismo.

#### **3.6.3. Fenomenología geo-torrencial**

Cuando el curso torrencial que recorre el presente escenario genera su propio cono de sedimentación, la solución expuesta para el escenario anterior II.1.-A resulta también válido para el que nos ocupa. Aunque en éste, al ser sus altitudes menos elevadas, la posibilidad de ser área receptora de aludes se reduce, salvo que se trate de latitudes muy elevadas (por ejemplo, en las cuencas ubicadas en Tierra de Fuego). Además, por las altitudes que abarca el escenario, el cono de sedimentación del torrente se puede formar en la misma costa, cuando el curso torrencial desemboca directamente al mar.

Otra situación que se puede dar en este escenario, es que el curso torrencial no forme su cono de sedimentación o, que incluso formándolo, no encuentre ningún obstáculo importante para que confluya directamente en el curso principal al que es tributario. Pero en cualquier caso, cuando sobrevienen precipitaciones torrenciales extremas en el área donde está inmersa la cuenca, se generan avenidas extraordinarias tanto en el curso torrencial como en el principal, dando lugar a caudales punta elevados con un gran aporte de sedimentos tanto en suspensión como en acarreos, normalmente en un régimen de flujo bifásico; causando el desbordamiento de sus cauces ordinarios e inundando sus áreas limítrofes, que posteriormente, tras el paso de la avenida, quedarán cubiertos de sedimentos.

### 3.6.4. Esquema corrector

#### 3.6.4.1. Criterios y objetivos de la corrección

En los casos en los que los  *cursos torrenciales*  desarrollen su cono de sedimentación, lo expuesto para el escenario II.1.-A resulta también de aplicación para el presente. Además, en este escenario puede ocurrir que el curso torrencial desembogue directamente en el mar y que un único evento torrencial extraordinario pueda resultar suficiente, para el curso torrencial forme en la costa un gran cono de sedimentación. En esta última situación se debe plantear el siguiente análisis:

1. Si curso torrencial que desemboca directamente al mar, lo hace en un paraje desabitado y sin vías de comunicación, la formación del cono de sedimentación pasará inadvertida y no es necesario de momento realizar de ninguna medida de corrección, pero sí tenerlo en cuenta para el futuro.
2. Pero si el curso torrencial desemboca en el mar cerca de núcleos habitados, incluso en ocasiones de grandes poblaciones turísticas (algo que se presenta en todas las latitudes, tanto en países en vías de desarrollo como en los muy desarrollados), la situación reclama una planificación de la  *corrección completa del sistema de drenaje de la cuenca y de la restauración hidrológico-forestal de esta última* ; utilizando para tal fin todas las técnicas de corrección de torrentes y de restauración hidrológico-forestal de sus cuencas alimentadoras. Además,  *es de una importancia capital dejar el canal o espacio suficiente al curso torrencial, para que en los momentos de sus máximas avenidas extraordinarias desembogue directamente al mar sin que se le presenten obstáculos* . Algo que, a pesar de su innegable importancia, no es fácil de conseguir.

En las situaciones en las que el curso torrencial confluye en el curso principal al que es tributario de forma directa y suave, la afluencia puede suceder de forma totalmente natural, pero en ocasiones resultan necesarias ciertas rectificaciones en el tramo final del curso torrencial para conseguirlo. Éstas requieren como punto de partida un esquema  *directriz en planta del tramo a corregir*  consecuente con el régimen hidrodinámico de su corriente; para abordar a continuación las acciones rectificadoras mediante  *obras longitudinales al cauce* , para conseguir la protección de sus márgenes y riberas.

En la actualidad se han puesto en valor todas las  *actuaciones de naturalización paisajística de las obras longitudinales* , utilizando con frecuencia materiales vivos, como estaquillas de las especies de los géneros  *Salix*  y  *Alnus* , para delimitar los márgenes de los cursos de agua; de manera que pasados dos o tres años éstas reverdecen y conforman una galería de vegetación en el curso en cuestión. De este modo se han integrado nuevamente al ámbito de la corrección de cauces, incluidos los cauces torrenciales, las técnicas que en el pasado fueron muy utilizadas para la ejecución de  *faginas*  y  *palizadas* , con el fin de tapizar los taludes que incidían directamente en los torrentes objeto de corrección; sin que se descarte que estas actuaciones continúen realizándose en el presente, aunque por un tiempo estuvieran olvidadas.

La principal aplicación del  *arbolado*  en este escenario, es como integrante del  *bosque en galería*  a ambos márgenes de los cursos a corregir. Para el resto de las superficies del escenario en cuestión se remite a las recomendaciones comentadas en el apartado 3.2.3.2.3 de este documento.

#### 3.6.4.2. Técnicas utilizadas en la corrección

### 3.6.4.2.1. *Corrección de cursos torrenciales*

En el escenario anterior II.1.A se ha propuesto el **canal escalonado de tramos erosionables**, como la solución técnica más adecuada para conseguir que el curso torrencial descargue su flujo sobre el curso principal al que es tributario, superando las dificultades ocasionadas por el propio torrente con la formación de su cono de sedimentación. Esta solución resulta válida también en este escenario, cuando se trata de resolver el mismo problema; e incluso cuando el cono de sedimentación del torrente se forma sobre la propia costa, porque el curso torrencial desemboca directamente al mar, en un entorno en el que la costa se encuentra urbanizada. Como ejemplo más representativo en América Latina de lo que se acaba de comentar, se citan las obras de corrección de torrentes que se están llevando a cabo en el estado de Vargas (Venezuela), tras las avenidas torrenciales extraordinarias que tuvieron lugar en dicho país en diciembre de 1999. Dichos torrentes se dirigen directamente al mar desde una altitud de 2000 m, e inciden sobre una zona turística de la costa atlántica venezolana.

Parece razonable que tratándose de cursos torrenciales que inciden directamente al mar, en una costa en la que se asientan núcleos de población, junto al **canal escalonado de tramos erosionables** o un **canal convencional de evacuación** para descargar las máximas avenidas extraordinarias del curso torrencial, que establece el pasillo del tramo final de éste y constituye la obra principal del sistema de corrección; se debe planificar y llevar a cabo la **corrección completa del sistema de drenaje de la cuenca y la restauración hidrológico-forestal de esta última**, lo que implica corregir los tramos del curso torrencial situados aguas arriba del canal de evacuación, mediante **diques rastrillo** transversales al curso torrencial (en la situación más general) o **diques de consolidación** también transversales al curso torrencial (cuando sea necesario sujetar los taludes que conforman el cauce del torrente); así como las **medidas de creación y mantenimiento del bosque** en las vertientes de la cuenca, que por sus pendientes y posición altimétrica deban protegerse con dicho tipo de cubiertas vegetales.

### 3.6.4.2.2. *Sistemas de defensa contra los aludes*

Si sobre el área en cuestión se desprendieran **aludes**, circunstancia poco probable, se atendería a lo expuesto para el escenario anterior II.1.-A.

### 3.6.4.2.3. *Obras longitudinales de defensa de márgenes y riberas en un curso de agua*

Cuando las características geo-torrenciales del curso de agua son moderadas y las actuaciones que se deben realizar en el mismo no inciden directamente sobre la dinámica geo-torrencial, sino que tratan de presentar un obstáculo continuo a la expansión lateral de las aguas en crecida, se recurre a las **obras longitudinales al cauce**. Estas obras, que se proyectan previa adopción de un eskuena directriz en planta del tramo a corregir consecuente con el régimen hidrodinámico de su corriente, pueden consistir exclusivamente de **ingeniería hidráulica** (**malecones o escolleras, espigones**), **biológicas** o **bioingenierías** (**bosque en galería a ambos márgenes del cauce**) o **mixtas** (formadas por la combinación de ambos). En cualquier caso, hay que tener en cuenta que las obras longitudinales tienden a elevar el calado de la corriente, con lo que incrementan la tensión de arrastre de ésta; por ello, tratándose fundamentalmente de obras de ingeniería hidráulica o mixtas, es conveniente complementar las obras longitudinales con umbrales de fondo, transversales al cauce, para sujetar el lecho del curso en cuestión en el tramo encauzado. Por otro lado, en lo que se refiere a la naturalización de las obras longitudinales se remite al apartado anterior 3.6.4.1.

Para concluir este epígrafe, se recuerda que la legislación de Costa Rica establece el mantenimiento de los bosques en galería en ambos márgenes de los cursos torrenciales; disposición que ha conseguido muy buenos resultados, si se toma como referencia el estado de conservación que se pudo constatar en los ríos y quebradas de la cuenca del río Pejibaye durante la visita que realizamos a la misma (julio 2005).

### 3.7. Análisis del escenario II.1.-B

#### 3.7.1. Descripción

Áreas dominadas en zonas de altitudes elevadas y pendientes del terreno entre suaves y moderadas, lo que les predispone para ser aprovechadas como pastizales de altura o cultivos de temporada. Aunque no existan problemas para la presencia del bosque, éste puede reducirse a algunos bosquetes ocasionales o a plantaciones lineales de riberas.

#### 3.7.2. Cuencas de A. L., incluidas en el Proyecto EPIC FORCE, que presenten una situación asimilable al de este escenario

No es posible identificarlas en una primera aproximación.

#### 3.7.3. Fenomenología geo-torrencial

El carácter torrencial del presente escenario lo definen casi exclusivamente las lluvias torrenciales extraordinarias, que pueden provocar importantes avenidas en los cursos que drenan por el mismo, llegando a inundar amplias superficies debido al perfil entre suave y moderado de su relieve, así como causar importantes efectos erosivos en los cultivos, especialmente cuando se asientan en terrenos con cierta pendiente y no se han tomado las medidas y prácticas de conservación de suelos pertinentes; incluso, si se han tomado, las lluvias torrenciales extraordinarias dejarán sentir sus efectos. El flujo en las avenidas resulta siempre bifásico y la descarga sólida es predominante en suspensión. Los conos de sedimentación, en el caso de formarse, serán en general amplios y de escasa pendiente y el curso de agua realizará numerosos meandros sobre el mismo, antes de abandonarlo y generar el canal que desembocará en el curso de mayor caudal al que es tributario. En resumen, más que una fenomenología geo-torrencial, se trata de fenómenos torrenciales, que desembocan en problemas hidrológicos y de conservación de suelos.

#### 3.7.4. Esquema corrector

##### 3.7.4.1. Criterios y objetivos de la corrección

Aunque no se trate en sentido estricto de una medida correctora a un problema geo-torrencial, se pueden considerar como tales el *mantenimiento o la creación de formaciones arboladas en los márgenes de los cursos de agua* que drenan por el presente escenario, con el fin de proteger sus riberas y disminuir la emisión lateral de sedimentos a los citados cursos; formaciones se conocen también por *bosques en galería*.

En el resto de las superficies del escenario en cuestión, dadas sus características de pendientes de suaves a moderadas, su vocación natural son los pastizales, pues se trata de zonas de cierta altitud y con un periodo vegetativo reducido; pero también son aptas para cultivos de temporada en la medida en que las condiciones de clima lo acompañan; la alternancia de cultivos y pastizales es otra de las opciones; como también lo es la alternancia de cultivo y barbecho en las áreas de suelos más pobres; aunque el bosque también se puede presentar como una alternativa válida. En cualquier caso, en todo lo relativo a los usos del suelo, se recomienda atenerse a lo que se dispone al efecto en las *Clasificaciones Agrológicas de Suelos* y en las *Guías de Conservación de Suelos*, que se han sintetizado en el apartado 3.2.3.2.3 del presente documento.

### 3.7.4.2. Técnicas utilizadas en la corrección

Ante avenidas causadas por precipitaciones torrenciales ordinarias, la **protección de los márgenes de los cauces** que drenan por este escenario, se puede conseguir en buena medida con el **mantenimiento o la creación de formaciones arboladas de ribera (bosques en galería)**. Si con las mismas no fuera suficiente, se llevarían a cabo las pertinentes correcciones del cauce centradas en obras de rectificación mediante **espigones** o **escolleras**, que en cursos de marcado carácter torrencial se completan con **umbrales de fondo**, para frenar la erosión del lecho causada por el incremento de la tensión tractiva de la corriente, provocada por la elevación del calado que imprimen las obras longitudinales. También se pueden utilizar **bioingenierías** (formación de márgenes con estaquillas vivas de las especies de los géneros *Salix* y *Alnus*) para asegurar la protección de los márgenes del cauce.

Cuando las avenidas corresponden a eventos torrenciales extraordinarios, las inundaciones resultan inevitables y el efecto del bosque en galería se reduce a señalar los márgenes del río en las avenidas ordinarias; pero ese mismo efecto, apreciablemente insuficiente, es totalmente conveniente, porque permite delimitar, por ejemplo, las áreas de salvamento. Por otro lado, conforme bajan las aguas y se restablece el caudal ordinario del río, el bosque en galería retiene todo tipo de arrastres (sedimentos, restos orgánicos e inorgánicos, etc.) que de otro modo irían a parar a la corriente y podrían obturar el paso del flujo en algunas estructuras situadas aguas abajo de su recorrido, como en puentes, azudes etc.

### **3.8. Análisis del escenario II.2.-B**

#### **3.8.1. Descripción**

Se trata de un escenario similar al anterior II.1.-B, difiriendo de éste en que su altitud es menor, lo que conlleva a que su periodo vegetativo sea más prolongado y a que los terrenos sean más propicios para el cultivo. Como en el escenario anterior no existan problemas para la existencia del bosque, aunque su presencia se reduzca a algunos bosquetes ocasionales o a plantaciones lineales de riberas.

#### **3.8.2. Cuencas de A. L., incluidas en el Proyecto EPIC FORCE, que presenten una situación asimilable al de este escenario**

Este escenario no se corresponde con ninguna de las cuencas de América Latina incluidas en el Proyecto EPIC FORCE; pero se identifica, en su versión de pequeña cuenca, con la zona dominada del arroyo del Partido (suroeste de España).

#### **3.8.3. Fenomenología geo-torrencial**

En líneas generales en este escenario resulta válido lo indicado para el escenario II.1.-B; pero conviene efectuar algunas matizaciones al respecto: Si el presente escenario corresponde a una cuenca hidrográfica de gran superficie, puede ser testigo de importantísimas avenidas y extensas superficies inundadas con ocasión de lluvias torrenciales extraordinarias, sobre todo si éstas son generalizadas. Mientras que si se trata de pequeñas cuencas hidrográficas, podría tratarse del escenario menos vulnerable de todos los analizados ante un mismo patrón de precipitaciones, aunque también se produzcan inundaciones. Sin embargo, tratándose de cuencas pequeñas, la situación inicial más o menos estable se podría modificar seriamente, si se efectúan intervenciones desafortunadas alterando su red de drenaje natural; en tal caso las precipitaciones torrenciales extraordinarias podrían generar un verdadero proceso geo-torrencial en las áreas afectadas por dichas alteraciones.

#### **3.8.4. Esquema corrector**

##### **3.8.4.1. Criterios y objetivos de la corrección**

Resulta válido lo expuesto para el escenario anterior II.1.-B, aunque en éste, si se trata de una gran cuenca hidrográfica, las avenidas y sus correspondientes inundaciones motivadas por las precipitaciones torrenciales extraordinarias resultarán más caudalosas y con mayores superficies anegadas. Mientras que si corresponde a pequeñas cuencas hidrográficas, todo se reducirá proporcionalmente.

En cuanto a los terrenos del escenario en cuestión, que no estuvieran directamente afectados por los cursos de drenaje y sus áreas limítrofes, se trataría de suelos de vocación agrícola, debiendo atenerse en ellos a las buenas medidas de cultivo y a las prácticas de conservación de suelos pertinentes, en función de la pendiente del terreno.

##### **3.8.4.2. Técnicas utilizadas en la corrección**

Prácticamente resulta válido lo expuesto para el escenario anterior II.1.-B, dado que los posibles problemas que se pudieran presentar serían de contenido semejante. Aunque los relativos a la protección de los márgenes de los cursos de agua se podrían intensificar, especialmente en casos de eventos torrenciales extraordinarios; mientras que los relativos al manejo de suelos en los cultivos tenderán a simplificarse, por tratarse de un escenario típicamente agrícola. Pero en cualquier caso las técnicas de corrección no variarían sustancialmente sobre lo comentado para el escenario II.1.-B, sino únicamente se verán afectadas en su intensidad.

En cuanto a los problemas geo-torrenciales que podrían derivarse, por el impacto de las precipitaciones torrenciales extraordinarias sobre los tramos alterados del sistema de drenaje natural; se corrigen aplicando las **técnicas de reconstrucción de los cauces naturales** de la corriente, que son una adaptación a la presente situación de las técnicas que se han expuesto en el apartado II.1.-A, pero en este caso simplificado.

## 4. BIBLIOGRAFÍA

- Andrich A.; Cavalli R.; D'Agostino V.; Mantovani D.** (2000) *Le opere in legno nella sistemazione dei torrenti montani*, pp.139, A.R.A.V., Centro di Arabba, Regione del Veneto.
- Bennet H. H.** (1939) *Soil Conservation*, Mac Graw-Hill Co., pp. 993, New York.
- Dirección General del Medio Ambiente** (1985) *Metodología para la evaluación de la erosión hídrica*, Serie Documentación del MOPU, pp. 150, Madrid.
- Eichert B. S.** (1982) *HEC-2, Water surface profiles. Users manual*, Program 723-x6-1202A.
- Gandullo J. M.; Serrada R.** (1977) Mapa de productividad potencial forestal, Colección Monografías INIA, núm. 16, pp. 23, Madrid.
- Gandullo J. M.; Sánchez Palomares O.** (1994): *Estaciones ecológicas de los pinares españoles*, Colección Técnica, ICONA, MAPA, pp. 188, Madrid.
- García Díaz R.; Mintegui J. A.; Robredo** (2002) La caracterización del movimiento del agua en laderas, como instrumento de zonificación de los usos del suelo en cuencas de montaña, *Ecología*, núm. 16, pp. 9-25, Organismo Autónomo Parques Nacionales, Madrid
- García Nájera J. M.** (1943, 1962) *Principios de Hidráulica Torrencial y sus aplicaciones a la corrección de torrentes*, I.F.I.E., pp. 297, Madrid.
- Navarro Garnica M.**, editor (1975) *Técnicas de reforestación*, Monografía núm. 9, ICONA, MAPA, pp. 211, Madrid.
- ICONA - INTECSA** (1988) *Agresividad de la lluvia en España, Valores del factor R de la U. S. L. E.*, ICONA, MAPA, pp. 39 y mapas, Madrid.
- ICONA** (1987-93) *Mapas de Estados Erosivos* (adaptados a las superficies de cada una de las Confederaciones Hidrográficas de España), Publicaciones del MAPA.
- Lenzi M. A.; D'Agostino V.; Sonda D.** (2000) *Ricostruzione Morfologica e Recupero Ambientale dei Torrenti*, pp. 208, Editoriale BIOS
- López Cadenas de Llano F.; Blanco Criado M.** (1968) *Aspectos cualitativos y cuantitativos de la erosión hídrica y del transporte y depósito de materiales*, I.F.I.E., pp. 187, Madrid.
- López Cadenas de Llano F.; Mintegui Aguirre J. A.; Pérez-Soba Baró A.** (1985) Metodología integrada para la determinación de los sedimentos aportados por una cuenca, *Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt*, núm. 156, pp. 143-161.
- López Cadenas de Llano F.** (1988) *Corrección de torrentes y estabilización de cauces*, Colección FAO, Fomento de tierras y aguas, pp. 182, Roma.
- Mintegui Aguirre J. A.; López Unzu F.** (1990) *La Ordenación agro-hidrológica en la planificación*, Servicio de Publicaciones del Gobierno Vasco, pp. 306, Vitoria.
- Mintegui Aguirre J. A.** (1991) El papel del bosque de montaña: Aspectos técnicos, Actas del X Congreso Forestal Mundial (Paris), *Revue Forestière Française*, Hors Serie, núm. 3, pp.171-180.
- Mintegui Aguirre J. A.; De Simón Navarrete E.; García Rodríguez J. L.; Robredo Sánchez J. C.** (1993) *La restauración hidrológico-forestal de las cuencas hidrográficas de la vertiente mediterránea*, Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca, pp. 325, Sevilla.
- Mintegui Aguirre J. A.; Robredo Sánchez J. C.** (1993) *Métodos para la estimación de los efectos torrenciales en una cuenca hidrográfica.- Manual para un programa básico*, Fundación Conde del Valle de Salazar, ETS Ingenieros de Montes, pp. 83, Madrid.
- Mintegui Aguirre J. A.; Robredo Sánchez J. C.** (1994) Caracterización de las cuencas hidrográficas, objeto de restauración hidrológico-forestal, mediante modelos hidrológicos, *Revista Ingeniería del Agua*, Vol.1 núm. 2, pp. 69-82.
- Montero de Burgos J. L.; González Rebollar J. L.** (1974) *Diagramas Bioclimáticos*, ICONA, MAPA, pp. 379, Madrid.

- Nicolás A.; Gandullo J. M.** (1964) *Contribución al estudio de las estaciones forestales*, I.F.I.E., pp. 52, Madrid.
- Nicolás A.; Gandullo J. M.** (1966) Los estudios ecológicos selvícolas y los trabajos de repoblación forestal, I.F.I.E., pp. 107, Madrid.
- Serrada R.; Mintegui J. A.; Robredo J. C.; García J. L.; Gómez V.; Zazo J.; Navarro R.** (1997) Formación de escorrentías con lluvias torrenciales simuladas, en parcelas con diferentes cubiertas vegetales y distintas preparaciones del suelo para las repoblaciones forestales. *Libro de Actas del I Congreso Forestal Hispano Luso y II Congreso Forestal Español*, Tomo II, pp. 605-610, Pamplona.
- Serrada R.; Mintegui J. A.; García J. L.; Gómez V.; Robredo J. C.; Zazo J.** (1998) A method for simulating torrential rainfall in experimental plots for the analysis of the hydrological behaviour of different types of plant cover and the systematic preparation of soil for reforestation, *The soil as a strategic resource: Degradation processes and Conservation Measures*, Geoforma Ediciones, pp. 165-176, Logroño.
- Robredo Sánchez J. C.; Mintegui Aguirre J. A.** (1994) Diseño de un modelo distribuido elemental para el análisis del comportamiento hidrológico de una cuenca vertiente, *Revista Ingeniería del Agua*, Vol.1 núm. 4, pp. 79-100.
- Thiery E.** (1891, 1914,) *Restauration des montagnes, correction des torrents et reboisement*, Librairie Polytechnique Ch. Beranger, pp. 480, Paris et Liege.
- U. S. ARMY CORPS OF ENGINEERS** (1981), *HEC-1, Flood hydrograph package. Users manual*, Water Resources Support Centre, Hydrologic Engineering Centre. 723-x6-12010.
- U. S. D. A. AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE S.9** (1973) *H.Y.M.O.: Problem oriented computer language for hydrologic modelling*, Texas University, pp. 76.
- Varios Autores; López Cadenas de Llano F.**, director, (1994, 1998) *Restauración Hidrológico-Forestal de cuencas y Control de la erosión*, pp. 929, Ministerio de Medio Ambiente, Tragsa y Tragsatec, Ediciones Mundi Prensa, Madrid.
- Williams J. R.; Hann R. W.** (1973) *HYMO: Problem oriented computer language for hydrologic modelling, Users Manual*, U.S. Department of Agriculture, A. R. S. and Texas University, pp 76.
- Williams J. R.** (1975) Sediment-yield prediction with Universal Equation using run-off energy factor, *Agricultural Research Service (A.R.S.)* num. 40, U.S.A. Department of Agriculture, pp. 244-252.
- Williams J. R.** (1975) Sediment routing for agricultural watersheds, *Water Resources Bulletin*, Vol. 11 num. 5, pp. 965-974.
- Wischmeier W. H.** (1959) A rainfall erosion index for a Universal Soil Loss Equation, *Proceeding Soil Scientific Society of America* 23 Madison Wisconsin, pp. 246-249.
- Wischmeier W. H.** (1960) Cropping-management factor evaluation of a Universal Soil Loss Equation. *Proceeding Soil Scientific Society of America* 24, Madison, Wisconsin, pp 322-326.
- Wischmeier W. H.; Smith D. D** (1972) Soil-loss estimation as a tool in soil and water management planning. *Int. Assoc. Sci. Hydrology (I.A.S.H.)*, num. 59, Belgrado pp 148-159.
- Wischmeier W. H.** (1974) New developments in estimating water erosion. *29<sup>end</sup> Annual Meeting of the Soil Conservation Society of America*. Ankeney, Iowa, pp 179-186.
- Wischmeier W. H.; Smith D. D** (1978) *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning*, pp. 58, U. S. D. A. Agriculture Handbook num. 537, Washington D.C.

**5. ESTADO DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE AMÉRICA LATINA  
OBJETO DEL PROYECTO EPIC FORCE: PRÁCTICAS HABITUALES DE  
USO Y MANEJO DE LAS MISMAS Y SUS ORIENTACIONES HACIA UN  
DESARROLLO SOSTENIDO.**

**5.1. Enumeración de las cuencas y adopción de los criterios para analizar el estado de las mismas; con sus aptitudes y necesidades para conseguir su protección ante los eventos torrenciales y su aprovechamiento sostenido**

Las cuencas analizadas son las siguientes: la cuenca vertiente al río Pejibaye (Costa Rica); la cuenca del río Chanchán (Ecuador) y las cuencas de los arroyos de Buena Esperanza y El Hambre en Tierra de Fuego (Argentina). El documento analiza también las investigaciones que se llevan a cabo en un conjunto de parcelas y pequeñas cuencas experimentales de Chile, en las que no se plantea una restauración hidrológico-forestal sensu estricto, sino un modelo de gestión para el mejor aprovechamiento del suelo-agua-bosque.

En las cuencas enunciadas nominalmente se han contemplado los siguientes aspectos:

1. *El enfoque principal bajo el que se entiende el análisis de la cuenca en cuestión (agronómico, de disponibilidad del recurso agua, de ordenación del territorio, etc.). Además del objetivo específico de la protección de la cuenca ante los eventos torrenciales, especialmente de los extraordinarios.*
2. *Características físicas, de habitabilidad y de potencial bio-climático de la cuenca. Situación administrativa, geográfica y de altitud; superficie; forma y relieve; litología y edafología; vegetación potencial y uso del suelo; ocupación del territorio por la población y, finalmente, capacidad de regeneración natural de la cuenca tras alteraciones o procesos que le causen degradación.*
3. *Comportamiento previsible de la cuenca ante eventos torrenciales, tanto ordinarios como extraordinarios; problemas que los mismos generan.*
4. *Utilización que se realiza de los recursos naturales de la cuenca, especialmente el uso del suelo. Prácticas habituales de uso y manejo consolidadas y problemas estructurales y coyunturales para conseguir el aprovechamiento sostenido de la cuenca.*
5. *Diagnostico del estado actual de la cuenca y objetivos específicos que podrían plantearse en la misma, para afianzar a largo plazo en ella los objetivos esenciales de la ordenación hidrológico-forestal: su protección ante los eventos torrenciales y su aprovechamiento sostenido.*
6. *Plan de actuaciones a corto, medio y largo plazo que se proponen en la cuenca*

## 5.2. Cuenca vertiente al río Pejibaye (Costa Rica)

Información aportada por: **Miriam Miranda; Jorge Fallas; Carmen Valverde**  
CINPE, Fundación Universidad Nacional de Costa Rica, HEREDIA, Costa Rica.

### 5.2.1. El enfoque principal bajo el que se entiende el análisis de la cuenca en cuestión

El principal objetivo en la cuenca del río Pejibaye, además de su protección ante los eventos torrenciales, especialmente ante los extraordinarios, es su aprovechamiento agronómico sostenido a largo plazo; es decir, la conservación de la capacidad productiva de la cuenca para que continúe manteniendo a su población. La cuenca tiene un clima tropical de media montaña de alto potencial bio-climático y unos suelos profundos y bien drenados, pero muy vulnerables a la erosión hídrica; por lo que requieren de un estricto control, bien mediante el mantenimiento de adecuadas cubiertas vegetales permanentes, o a través de las pertinentes medidas de conservación de suelos, según los usos a los que se dediquen.

### 5.2.2. Características físicas; de habitabilidad y potencial bio-climático de la cuenca.

En lo que se refiere al presente documento se ha estudiado la cuenca que vierte al río Pejibaye hasta su confluencia con el río Águilas. Ésta se ubica en el cantón de Pérez Zeledón al suroeste de Costa Rica, entre los 83° 33' y los 83° 42' de longitud oeste y los 9° 9' y los 9° 13' de latitud norte. Su cota máxima es 1.176 m y la mínima 375 m. La cuenca vierte sus aguas hacia el Pacífico y tanto hidrológica como climáticamente se trata de una típica *cuenca tropical de media montaña*, con alternancia de estaciones lluviosa y seca y un módulo pluviométrico superior a los 2.000 mm. Su superficie es de 132,02 Km<sup>2</sup>. Presenta una orografía es muy accidentada, con una pendiente media del 27 % y una morfología óvalo-redonda.

Esquemáticamente sus suelos son todos ellos profundos, ácidos y bien drenados; los situados en la zona norte de la cuenca son de textura fina y poco permeables (Ustic Haplohumutl), mientras que los situados al sur muestran una textura moderadamente fina, son menos profundos y más permeables que los situados al norte (Ustic Dystropets); la vulnerabilidad de ambos tipos de suelos a la erosión es alta y en terrenos de elevadas pendientes son frecuentes los deslizamientos superficiales, cuya aparición coincide normalmente con la ocurrencia de fuertes aguaceros torrenciales en los periodos lluviosos, o con los eventos torrenciales extraordinarios que tienen lugar en la zona.

En cuanto al uso del suelo, cabe comentar que hace cincuenta años prácticamente toda la cuenca estaba cubierta por un bosque tropical de montaña, que fue desmontado en gran parte por sus anteriores o actuales propietarios para dedicarlo a cultivos y pastizales. En la actualidad el 50 % de la cuenca lo ocupan los cultivos, el 45 % los pastizales permanentes y sólo un 5 % se ha reservado al bosque, prácticamente todo él secundario.

La población de la cuenca se estima en unos 10.000 habitantes que viven de los recursos que ésta les proporciona; comprende todas las clases de edad y está diseminada por toda la cuenca en pequeños núcleos; el más importante de ellos es el de Pejibaye situado en el tramo final de la cuenca en cuestión y próxima al río del mismo nombre.

Aunque la cuenca muestra en algunas de sus zonas síntomas de problemas erosivos, especialmente deslizamientos superficiales; su capacidad bio-climática es muy elevada, hasta el punto que la mayoría de los terrenos dedicados a cultivos y pastizales pueden retornar de

nuevo a un bosque tropical secundario, simplemente con abandonar en los mismos los citados aprovechamientos. Un bosque secundario, que aunque desde el punto de vista de la biodiversidad no se identifique con el bosque primario, en el aspecto hidrológico tiene un comportamiento semejante.

### **5.2.3. Comportamiento previsible de la cuenca ante eventos torrenciales, tanto ordinarios como extraordinarios; problemas que los mismos generan.**

La cuenca está sometida a precipitaciones torrenciales especialmente durante su estación lluviosa; además se encuentra en una región a la que afectan eventos extraordinarios periódicos de carácter torrencial, como los huracanes. Como consecuencia de todo ello, los principales problemas que se detectan en la misma son los siguientes: 1) Deslizamientos epiteliales del terreno en las áreas dominantes de la cuenca de mayores pendientes; 2) Erosiones lineales en las cunetas de los caminos y en las desviaciones de flujos de agua desde los mismos y 3) Los típicos problemas de erosión hídrica en los diferentes tipos de cubiertas vegetales y en concreto en los cultivos. Sin embargo, no se detectan problemas en los cauces de los tres cursos principales que drenan la cuenca, en la del propio río Pejibaye y sus afluentes el río Platanares y la quebrada Bolivia, que presentaban unas estructuras típicas en step-pool; aunque en informes concretos redactados tras la ocurrencia de eventos torrenciales extraordinarios, se señalan que dichos cursos se llenan de sedimentos procedentes de la erosión en la cuenca, que obligan a labores de drenaje en los mismos.

### **5.2.4. Utilización que se realiza de los recursos naturales de la cuenca, especialmente el uso del suelo.**

En la actualidad los usos del suelo en la cuenca se pueden sintetizar en los siguientes: 1) Bosques secundarios; 2) Pastizales con ganadería intensiva; 3) Cafetales *en sombra*; 4) Cultivos rotativos de frijol-maíz o de maíz-frijol y 5) Otros cultivos como el tiquisque o el jengibre. Son usos que están consolidados, dado que a partir de ellos la población obtiene los recursos que necesita para su subsistencia. Las características de dichos usos, incluyendo las prácticas habituales que en los mismos realizan, son los siguientes:

El *bosque secundario* cubre al suelo por completo a partir del segundo año y a los 15 años se comporta desde el punto de vista hidrológico como el bosque primario; aunque su biodiversidad sea inferior. A partir de los 30 años ambos bosques comienzan a identificarse según la información aportada por los habitantes de la cuenca.

Los *pastizales con ganadería intensiva* protegen bien el suelo en pendientes inferiores al 30 %; pero en la cuenca del río Pejibaye se extienden hasta pendientes del 60 % e incluso más elevadas, donde se han producido deslizamientos superficiales coincidiendo con los momentos en los que han tenido lugar eventos torrenciales, además la erosión laminar en estas áreas es notoria.

Los *cafetales en sombra* emplean la variedad *arábiga*, una planta bastante alta que produce un café de calidad. Se cultivan bajo la sombra de especies arbóreas en dispersión adhesionada y sobre terrenos abancalados; además, los cafetales también generan abundante hojarasca que contribuye a proteger el suelo. El café florece en mayo y se cosecha en noviembre, por lo que cubre al suelo en la época lluviosa y además sus raíces son muy ramificadas. Se asume que el comportamiento hidrológico y la capacidad de conservación del suelo de un cafetal en sombra es el adecuado en terrenos de hasta el 30 % de pendiente; pues la erosión de visu en estos

cafetales es menor que en los pastizales a diente, en los que se observan aspectos amacollados y senderos abiertos por el ganado; en cualquier caso, en los lindes del cafetal habría que reforzar las medidas de protección del suelo. Después del bosque secundario los cafetales *en sombra* constituyen el estrato vegetal mejor acondicionado para la conservación del suelo en la cuenca del río Pejibaye. En terrenos con pendientes superiores al 30 % el cafetal *en sombra* se podría mantener mientras que no surjan en ellos problemas erosivos; no obstante, para pendientes por encima del 60 % se sigue recomendando la conservación del bosque primario, si es que existe, o la implantación del secundario en su defecto. Este café cultivado en sombra nada tiene que ver con el cultivo de la variedad *robusta*, que se practica sin ningún tipo de protección especial y no necesita de sombra para su desarrollo; aunque este tipo de cultivo no se da en la cuenca que se comenta.

Los *cultivos rotativos de frijol-maíz o de maíz-frijol* han variado su modo de laboreo en los últimos años, para de este modo proteger el suelo de la erosión hídrica. En los primeros años de la ocupación de la cuenca, antes de proceder a la siembra se quemaba el rastrojo anterior (esta quema permitía enmendar los suelos, que por su naturaleza son ácidos). En la actualidad en lugar de quemar se introduce el ganado en el rastrojo y a continuación se *empareja con cuchillo*, es decir, se ara y asurca con bueyes para atajar la erosión. El frijol se siembra en mayo y se cosecha en entre julio y agosto, mientras que el maíz se instala en septiembre y se cosecha en febrero. Los dos meses de sequía, marzo y abril, son en los que se introduce una baja densidad de ganado en las parcelas de cultivo. La rotación también se suele hacer a la inversa. Esta información procede de los propios agricultores con los que conversamos durante la visita que hicimos a la cuenca. Dada la alta densidad que adquieren las cubiertas tanto del frijol como del maíz en sus fases de maduración, que coincide con el periodo de la estación lluviosa, se consigue una buena cubierta del suelo en la época más proclive a la erosión. En la estación lluviosa y a lontananza, la imagen que muestran estos cultivos es la de laderas totalmente recubiertas de vegetación; resulta preciso aproximarse a ellos para apreciar el laboreo del suelo propio de los cultivos. En ocasiones, cerca de los cultivos existen superficies con *parques* de bosque secundario, como consecuencia de que los propios agricultores han dejado de cultivarlas, cuando los procesos de erosión en las mismas se han acelerado, para que de este modo el bosque las recupere. Sin embargo, los terrenos cultivados en la cuenca alcanzan pendientes bastante elevadas, que ponen en peligro su conservación en situaciones de precipitaciones torrenciales.

Los restantes cultivos como el *tiquizque o el jengibre* prestan una escasa protección al suelo. Su cultivo no debería superar en ningún caso pendientes superiores al 12%, aunque en la práctica ocurra en ciertos casos. También existen cultivos mixtos de maíz y tiquizque que, dado el mayor porte vegetal del maíz, evidentemente proporcionan una mejor cobertura al suelo y una mayor protección ante la erosión que las plantaciones de una sola especie, se trate del tiquizque o del jengibre. En cualquier caso se trata de los cultivos que peor protegen al suelo frente a la erosión hídrica.

#### **5.2.5. Diagnostico del estado actual de la cuenca y objetivos específicos que podrían plantearse en la misma**

La cuenca está sometida a una degradación paulatina, debido al aprovechamiento que se realiza a la misma, pero sobre todo del aprovechamiento que ha tenido en el pasado reciente; pero dicha degradación no es todavía grave, aunque podría llegar a serlo a medio plazo, si no se toman medidas para controlarla. Respecto de los principales problemas anteriormente enumerados (deslizamientos superficiales; erosiones lineales en caminos y desviaciones de los flujos de agua y problemas de erosión en los cultivos), conviene señalar que el efecto final

que puede causar un deslizamiento epitelial, si no se toman a tiempo las medidas para corregirla, resulta diferente al que se puede derivar de una erosión superficial generalizada; aunque en ambos casos una de las últimas consecuencias es la pérdida total o parcial de las superficies afectadas para la agronomía

La progresión de un deslizamiento epitelial por falta de corrección, puede poner en peligro, a medio o a largo plazo, dependiendo de la frecuencia de los aguaceros torrenciales, la estabilidad de la ladera donde se ubica; al tiempo que la deja prácticamente inservible para cualquier tipo de aprovechamiento a una superficie que en principio debía utilizarse como bosque. Mientras que la erosión superficial generalizada puede concluir en dos situaciones diferentes, pero ambas indeseables: a) si se mantiene o predomina el efecto de la erosión laminar, ésta reducirá sensiblemente la profundidad del suelo y con ello lo empobrecerá, perdiendo sus cualidades actuales; b) si lo que prevalece es una erosión en regueros o surcos, éstos se profundizarán generando barranqueras y el terreno perderá sus cualidades para ser cultivado, pudiendo incluso generarse torrenteras que deberán ser corregidas.

Sería conveniente plantarse como objetivo para la cuenca elaborar su ordenación hidrológico-forestal o, generalizando, su ordenación agro-hidrológica; para conocer con mayor detalle las áreas de la misma que presentan mayor vulnerabilidad ante la erosión y el grado de intensidad de esta vulnerabilidad. Pero en su estado actual la cuenca no necesita de actuaciones específicas de restauración hidrológico-forestal; porque en ella se conserva la capacidad para regenerar el bosque secundario, lo que permite retornar al mismo en las áreas que lo necesiten y, en cuanto a los cursos de agua que lo drenan, éstos conservan su estructura natural que les permite mantener su equilibrio ante crecidas normales.

#### **5.2.6. Plan de actuaciones a corto, medio y largo plazo que se proponen en la cuenca**

A corto y medio plazo, la principal recomendación que se propone la siguiente: Permitir que el bosque invada nuevamente al suelo, cuando en éste aparecen deslizamientos epiteliales o una erosión superficial acelerada, asegurándose para ello que el suelo siga manteniendo la capacidad necesaria para restaurar por sí mismo el bosque tropical, generando de este modo un *parche* de bosque secundario en un periodo entre cinco y diez años; situación que en la cuenca del río Pejibaye parece posible. Esta solución no resulta efectiva en los climas templados, porque incluso en la mejor de las situaciones posibles debe transcurrir un periodo muy prolongado para que el bosque se llegue a formar, por lo que carece de sentido plantearlo como medida efectiva, porque en ese tiempo los procesos erosivos pueden tener un desarrollo que desbordaría su posible efecto positivo. A largo plazo, si el suelo alcanza un grado de degradación importante, que resulte imposible su recuperación por sí mismo; se podría llegar a la situación de tener que ayudarlo con algunas medidas de selvicultura para que lo recupere. Además, si esta situación llegara, en los casos de deslizamientos y de torrenteras, junto a los trabajos de selvicultura, se deberán planificar obras de restauración hidrológica para corregir tales procesos. Por todo lo ello, es mejor atajar los problemas erosivos a tiempo, mientras se puedan corregir compatibilizando con el aprovechamiento del suelo; que tener que realizar en el futuro importantes inversiones en medidas de restauración hidrológico-forestal, cuyos resultados, partiendo de una situación de cuenca degradada, son lentos en materializarse.

#### **Documentos consultados:**

**Miranda M.** (2005) Caso de estudio: cuenca del río Pejibaye, Informe del Proyecto EPIC-FORCE, Costa Rica, pp. 5.

**Miranda M.** (2005) Interaction between forest, water and agriculture sectors, EPIC FORCE Project Report, Costa Rica, pp. 13.

**Mintegui J. A.; Miranda M.; Robredo J. C.; Fallas F.; López-Leiva C.; Valverde C.; García-Viñas J. I.** (2006) Adecuación de las actuaciones de R. H-F en cuencas de diferentes ámbitos geográficos (Adequacy of different actions of W&F R. in basins in several geographic areas) .5ª *Asamblea Hispano-Lusa de Geodesia y Geofísica*, (sección de Hidrología), Sevilla, enero 2006, pp.4

**Valverde C.** (2005) Informe Biofísico de la cuenca del río Pejibaye, Informe del Proyecto EPIC-Force, Costa Rica, pp. 16.



Figura 5.1. Cuenca del río Pejibaye. Izquierda: Pastizales en pendiente son problemas de erosión. Derecha: Cultivo de frijoles sobre una antigua plantación de café en sombra

### 5.3. Cuenca vertiente al río Chanchán (Ecuador)

Información aportada por: **Felipe Cisneros; Bert De Bièvre; Pedro Cisneros**  
PROMAS, Universidad de Cuenca, Ecuador.

#### 5.3.1. El enfoque principal bajo el que se entiende el análisis de la cuenca en cuestión

La cuenca del río Chanchán se ubica en la región Andina del centro de Ecuador, la mitad oriental de su extensa superficie se sitúa por encima de los 1500 m s. n. m., alcanzando su cota más alta los 4506 m. Se trata por tanto de la típica cuenca tropical americana de alta montaña. Las características con las que mejor se la podrían definir, que a su vez coinciden con sus principales problemas a resolver, son las siguientes: 1) En algunas secciones de su red de drenaje existen deslizamientos rotacionales de carácter estructural o hay riesgo de ellos. 2) La cuenca está deforestada en una porción importante de su superficie y, debido a su altitud, el bosque secundario no es inmediato como ocurre en áreas tropicales de cotas más baja (por ejemplo, en la cuenca del río Pejibaye, Costa Rica); sin embargo, en las superficies donde se han llevado a cabo repoblaciones, éstas han respondido con buenos crecimientos. 3) La presión social y una desafortunada reforma agraria llevada a cabo en la década de los sesenta del siglo pasado, ha extendido las superficies de cultivo por toda la cuenca; alcanzando no sólo terrenos de pendientes muy elevadas, del orden del 60 % e incluso superiores, sino que también se han llegado a roturar áreas de páramo en la cabecera de la cuenca, creando un grave peligro para la conservación de los Andosoles de estas zonas, que en su estado original ejercen un papel hidrológico de gran relevancia en el conjunto de la cuenca del río Chanchán. 4) La alternancia en la cuenca de estaciones lluviosa y seca, propia de los trópicos, afecta seriamente durante la segunda a los cultivos y pastizales, lo que condiciona a poner en riego parcelas con pendientes elevadas, para lo que se utilizan técnicas originales, pero que requerirían importantes inversiones para modernizarlas y disminuir con ello los riesgos de erosión. 5) Por otro lado, la cuenca presenta en general suelos profundos y ello permite en cierto modo mantener su rentabilidad cuando se trata de terrenos en pendientes, a pesar de que la erosión superficial en los mismos resulte importante cuando tienen lugar precipitaciones torrenciales. 6) Los cursos que drenan la cuenca presentan fuertes pendientes.

El problema de los deslizamientos rotacionales estructurales supera el ámbito propio de la ordenación hidrológico-forestal (O. H-F); pero como el control de todo lo que sucede en la cuenca debe ser asumido por cualquier ordenación de la misma, se plantea la instalación y mantenimiento de sistemas de vigilancia y alerta para tales movimientos del terreno, para tratar con ello de prevenir riesgos para la población. Los deslizamientos que existen en la cuenca del río Chanchán resultan espectaculares, tanto por sus dimensiones como por su peligrosidad; la solución a los problemas que plantean debe contemplarse dentro de técnicas específicas de ingeniería civil. Solo los deslizamientos superficiales se pueden tratar de corregir con técnicas típicas de la restauración de hidrológico-forestal.

El resto de los problemas planteados concierne de maneras más o menos directas a la O. H-F, pero ante el panorama de los problemas expuestos, repartidos por una extensión de 1409,43 Km<sup>2</sup>, la O. H-F no puede limitarse a uno o dos objetivos específicos, sino a un conjunto de ellos, ordenados de mayor a menor necesidad de ser abordados, como si se tratara de una gama de colores que se van difuminando, aunque siempre manteniéndose dentro de los dos objetivos generales: 1) la protección de la cuenca ante eventos torrenciales y 2) su aprovechamiento sostenido.

En este orden de prelación, el primer objetivo específico se debe centrar en mantener lo que está bien y además resulta necesario; a continuación en la recuperación de lo que desde el punto de vista de hidráulica torrencial o hidrológico o de conservación de suelos no funciona correctamente; estimando la magnitud de los efectos que puede acarrear su funcionamiento incorrecto y estableciendo un orden de corrección de mayor a menor magnitud del problema. Por último, la problemática socio-económica resulta consustancial a toda O. H-F, dado que ésta se desarrolla en un territorio poblado de gente y que tiene propietarios, con los que hay que dialogar y proponer las soluciones que se pretenden aplicar para mejorar el estado de la cuenca. Todo esto adquiere su máximo exponente en la cuenca del río Chanchán, por lo que tras exponer en los epígrafes siguientes su estado físico actual y el aprovechamiento que se realiza de sus recursos naturales, especialmente el uso del suelo; se abordará a continuación su diagnóstico preliminar para encaminar su recuperación hidrológico-forestal.

### **5.3.2. Características físicas; de habitabilidad y potencial bio-climático de la cuenca**

El río Chanchán es afluente al río Guayas que desemboca en el Océano Pacífico. La cuenca intramontana del río Chanchán se ubica en la región Andina del centro del Ecuador, en la Sierra Occidental, entre los 77° 37' 15'' y los 78° 09' 26'' de latitud oeste y los 2° 00' 41'' y los 2° 26' 21'' de latitud sur (UTM zona 17S: latitud. 9730243 – 9777493; longitud 704927 – 764657). El punto más alto en la cordillera Occidental se encuentra en la loma Boliche (4506 m s. n. m.) al sur de la cuenca, en la parte alta de la subcuenca del río Chullabamba. En la cordillera Real el punto más alto es Aquililloma (4198 m s. n. m.). La zona más baja se encuentra en Cumandá, en el oeste de la cuenca, donde confluye el río Azul con el Río Chanchán (300 m. s. n. m.). Administrativamente pertenece a la provincia de Chimborazo, salvo una pequeña parte del sur de la cuenca que corresponde a la provincia de Cañar.

Cabe señalar que más la mitad de la superficie de la cuenca se ubica en cotas superiores a los 1500 m y que la cuenca en su conjunto presenta las características, ya señaladas, típicas de la zona tropical de montaña americana. Sus laderas muestran relieves abruptos, mientras que las cimas de los contrafuertes son redondeadas; su pendiente media es del 34,6 %, con un 58,6 % de la misma con pendientes superiores al 30 % y su morfología es rectangular a oblonga.

En cuanto a su red de drenaje, el río Chanchán está formado por la unión de los ríos Alausí y Guasuntos, que nacen en los páramos de la Cordillera Oriental. Aguas abajo recibe la afluencia de los ríos Huatacsi, Huabalcón, Panamá y Angas en su margen derecho y de los ríos Machángara, Blanco, Chiguancay y Chilicay en la margen izquierda. Los cursos se encuentran en general muy encajonados y las pendientes de los principales ríos que la drenan por la cuenca son muy elevadas, entre el 18 % (río Chanchán, en el tramo entre el río Azul y el río Chiguancay) y el 46 % (río Panamá), por mostrar dos ejemplos; por lo que si no fuera por el riesgo de deslizamientos rotacionales que se presentan en algunas secciones de su red de drenaje, cabría pensar que la evacuación del flujo estaría asegurada para cualquier tipo de evento. Sin embargo, la abundante precipitación pluvial en las partes medias y bajas de la cuenca, la profunda meteorización de las rocas, la escasa cohesión de los piroclastos, la alta permeabilidad de las rocas ígneas, unida a las fuertes pendientes de las laderas, marcan un alto riesgo de inestabilidad de taludes, cuyas manifestaciones son frecuentes, especialmente en los alrededores de Chunchi.

Las condiciones geológicas y geotécnicas de la cuenca inciden en su comportamiento ante la ocurrencia de fenómenos naturales de extrema intensidad; en este contexto caben señalar las siguientes características de mayor significación: 1) Las formaciones ígneas y metamórficas,

en estado fresco, contienen materiales de mediana a alta densidad, alta tenacidad, rotura frágil, baja porosidad, alta permeabilidad secundaria. La profundidad de meteorización es variable. La estabilidad de taludes es dependiente de la orientación espacial de la fracturación interna. 2) Las formaciones volcano-sedimentarias de grano grueso contienen materiales de mediana a baja densidad, deformabilidad dúctil, alta porosidad, mediana permeabilidad secundaria, profundidad de meteorización variable, estabilidad de taludes dependiente de la orientación espacial de la fracturación interna. 3) Las formaciones volcano-sedimentarias de grano fino contienen materiales de mediana a baja densidad, deformabilidad plástica, alta porosidad, mediana a alta permeabilidad secundaria, profundidad de meteorización variable, estabilidad de taludes muy dependiente de la orientación espacial de la fracturación interna. 6) Los suelos residuales contienen materiales compresibles, de mediana a baja densidad, deformabilidad plástica, alta porosidad, mediana permeabilidad primaria, estabilidad de taludes muy dependiente de la orientación espacial de la fracturación interna del macizo rocoso subyacente y, por último, 7) La matriz de los aluviales y coluviales contiene materiales de mediana a baja densidad, deformabilidad dúctil a plástica, alta porosidad, mediana a alta permeabilidad primaria, estabilidad de taludes muy dependiente de la orientación espacial de la fracturación interna del macizo rocoso subyacente. También conviene señalar que la alteración hidrotermal disminuye sensiblemente la resistencia mecánica de las rocas.

En cuanto al aspecto edafológico, de mayor repercusión en lo que se refiere a la O H-F; tras cartografiar las superficies afectadas, se han podido establecer los siguientes tipos de suelos predominantes en la cuenca del río Chanchán: 1) El 50% de la superficie estudiada, contiene suelos del orden de los Inceptisoles (U. S: Soil Taxonomy, 1975); en las partes más altas y frías están registrados como Andepts, aunque también se registran Psamments que presentan materiales menos meteorizados. 2) Las zonas cubiertas con Mollisoles representan el 15 % y predominan los Udolls y Ustolls dependiendo del clima. 3) Otro grupo de suelos bastante extenso en toda la cuenca lo constituyen los Entisoles, que son suelos en formación poco desarrollados y que presentan procesos de cementación por silicatos que limitan su profundidad, predominan los Durandeps y los menos fértiles Dystrandeps, la superficie que cubren supone el 25 %. 4) El resto del área cartografiada lo constituyen asociaciones entre estos grupos predominantes y también áreas marcadas como sin suelo y sin información.

El clima es frío en los páramos de las dos cordilleras, con temperaturas muy variadas; son zonas muy poco pobladas pero con enormes riquezas naturales, especialmente en lo relacionado a lagunas de origen glacial. Pero la mayor parte del resto de la superficie de la cuenca pertenece a los denominados valles interandinos, con un rango de temperaturas entre 12° y 22° C y con producción agrícola, ganadera e industrial.

Para mostrar, en primera aproximación, las características pluviométricas de la mayor parte de la cuenca, se ha realizado una recopilación de la información media mensual de las distintas estaciones ubicadas dentro de la misma, que se muestra en la Figura 5.2. El análisis del promedio de las medias mensuales de las citadas estaciones, establece un régimen único de precipitaciones, presentando dos máximos de precipitación; el primero de ellos, más marcado, entre los meses de febrero y marzo (113 mm) y el segundo en octubre (45,4 mm). La precipitación mínima se presenta en julio (27 mm). La precipitación anual media de la zona se estima en 685 mm.

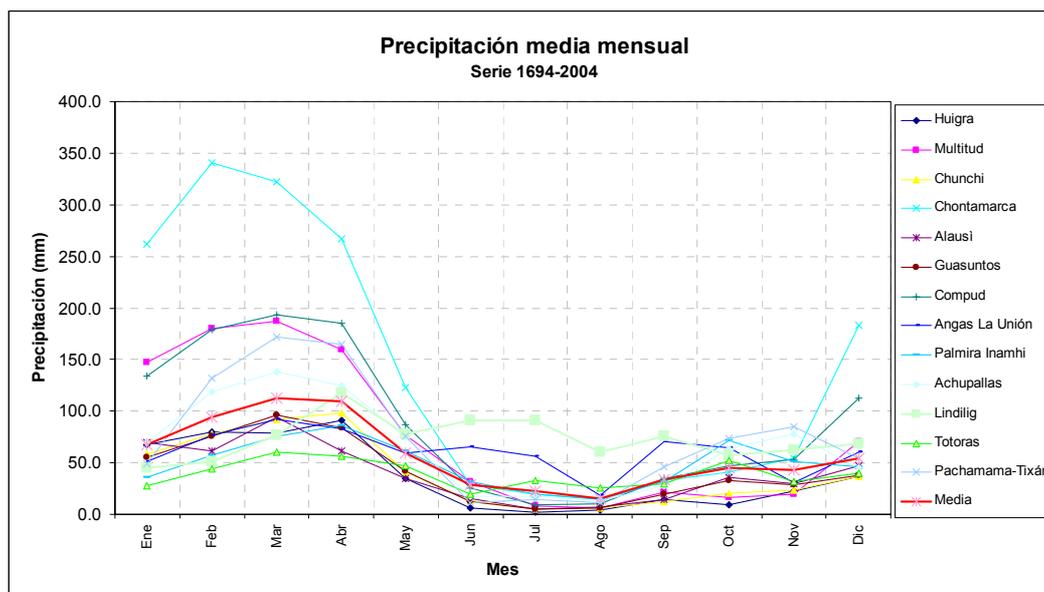


Figura 5.2. Precipitación media mensual en la cuenca del río Chanchán.

Sin embargo, se debe señalar que, además de por las condiciones topográficas, las características hidro-meteorológicas de la cuenca están influenciadas por las corrientes de *Humbolt* y *El Niño*. El análisis de los registros de precipitación de cada una de las estaciones establece una clara influencia del fenómeno *El Niño*; al registrar para varios eventos extremos fuertes incrementos en la cantidad de lluvia, en algunos casos de hasta un 1167% respecto a los valores medios de la serie

Analizando la ubicación de las estaciones en relación con la intensidad de lluvia que se presenta en cada una de ellas, se observa que aquellas situadas cerca de la Cordillera Occidental (régimen costa) cercana a la desembocadura de la cuenca, presentan valores mayores a las ubicadas próximas a la Cordillera Oriental (cabecera de la cuenca), especialmente en los meses de enero hasta abril, período que coincide con la época invernal del sector costanero del país; lo que nos induce a la conclusión que el régimen de precipitaciones dentro de la cuenca está altamente influenciado por el de la región de la costa.

Finalmente, se aportan los datos del mapa de usos del suelo y vegetación a escala 1:250000 (Almanaque Electrónico Ecuatoriano 2003, v. Mapa N° 6). De acuerdo con el mismo, predominan los espacios ocupados por los cultivos 37%; continuando en orden decreciente por los cubiertos de páramo 25%; vegetación arbustiva 17%; área de bosque natural 12%; pastos 7,5 % y el 1,5 % restante corresponde a superficies agrónomicamente improductivas. Los detalles se muestran en la Tabla 5.1 de la página siguiente.

Atendiendo a los cultivos, los de ciclo corto ocupan superficies mayores que los cultivos perennes; los primeros están muy dispersos en toda la cuenca y los segundos muy localizados en la parte baja. Además los pastos y los cultivos generalmente se encuentran asociados, dependiendo del grado de importancia; es decir, en unas ocasiones el pasto es predominante o en otras hay una predominancia de los cultivos de ciclo corto.

Uso y Vegetación	Superficie has.	%
Arboricultura	92,5	0,1
Bosque natural	3155,8	2,2
Bosque natural - Áreas erosionadas	1675,7	1,2
Bosque natural - Cultivos de ciclo corto	4009,9	2,8
Bosque natural - Pastos plantados	6650,5	4,7
Bosque natural - Plantaciones forestales	605,5	0,4
Bosque natural intervenido	869,0	0,6
Café - Cacao	181,0	0,1
Caña de azúcar	1418,2	1,0
Cuerpos de agua	9,4	0,0
Cultivos de ciclo corto	27467,7	19,5
Cultivos de ciclo corto - Arboricultura	800,4	0,6
Cultivos de ciclo corto - Áreas erosionadas	6061,0	4,3
Cultivos de ciclo corto - Pastos plantados	14731,9	10,5
Maíz - Pastos plantados	1748,3	1,2
Nieve, glaciares	1244,0	0,9
Páramo	29946,4	21,2
Páramo - Áreas erosionadas	2270,2	1,6
Páramo intervenido	3361,0	2,4
Pastos naturales	5497,1	3,9
Pastos naturales - Áreas erosionadas	2105,1	1,5
Pastos plantados	2963,5	2,1
Plantaciones forestales	1,3	0,0
Vegetación arbustiva	4003,6	2,8
Vegetación arbustiva - Cultivos de ciclo corto	3740,3	2,7
Vegetación arbustiva - Pastos plantados	16332,3	11,6
<b>TOTAL</b>	<b>140941,9</b>	<b>100</b>

Tabla 5.1. Superficies y porcentajes del uso del suelo y vegetación

### 5.3.3. Comportamiento previsible de la cuenca ante eventos torrenciales, tanto ordinarios como extraordinarios; problemas que los mismos generan

Hay que diferenciar claramente los efectos que pueden causar en la cuenca los eventos extraordinarios, de los que de manera imperceptible originan de forma continua los eventos torrenciales ordinarios. Los primeros plantean situaciones catastróficas que activan desde el primer momento los recursos previstos para paliarlos; los segundos descapitalizan los recursos naturales de la cuenca, en todas aquellas zonas donde los mismos no se aprovechan ordenadamente de acuerdo con un plan sostenible; pudiendo condicionar el futuro abandono de áreas actualmente productivas, porque irán perdiendo paulatinamente su productividad hasta dejar de ser rentables e incluso quedar finalmente improductivas.

Entre los primeros se encuentra el deslizamiento rotacional sobre el río Chanchán en el tramo comprendido entre Huigra y Alausí (1998), que originó un represamiento que afectó al kilómetro 126 de la vía férrea. A partir de ese año este tramo quedó suspendido y la situación ha afectado notablemente al turismo en la zona. Este evento tuvo un impacto directo en la

población de Huigra y en los cantones Alausí y Chunchi. El problema se agudizó porque no se encontraba una vía de desfogue de las aguas y la parroquia fue declarada en emergencia. A partir de la ocurrencia de este fenómeno, los alcaldes de los cantones de Alausí y Chunchi, con el apoyo de la Curia de Alausí, del Servicio de Cooperación Holandesa y otras organizaciones no gubernamentales, conjuntamente con líderes comunitarios, impulsan la creación del Comité Campesino para el Manejo de la cuenca del río Chanchán.

Otro evento extraordinario que podría afectar a la cuenca que se analiza es el *fenómeno El Niño*. Se han realizado entrevistas entre la población y los entrevistados catalogan la influencia del *fenómeno El Niño* como *incierta o indirecta* dentro de la cuenca del río Chanchán, porque ante la presencia de fuertes lluvias en la región costa no necesariamente significa que ocurran lluvias en la sierra y específicamente en la cuenca del río Chanchán. Incluso, se manifiesta que han existido períodos que no se ha presentado ningún efecto por *El Niño*. Sin embargo, a nivel institucional existen planes de contingencia (emergencia y rescate de la población afectada) para minimizar los efectos de *El Niño* (inundaciones y deslizamientos de tierra). Dentro de este plan se conoce que “la provincia del Chimborazo recibe una influencia media en la parte alta y un poco más acentuada en los cantones de Pallatanga y Cumandá; este último, por encontrarse situado prácticamente como una cuña dentro de la provincia del Guayas, constituye la parte baja de la provincia de Chimborazo”. Los estudios para los planes de contingencia han establecido como presunciones de ocurrencia las siguientes: 1) Debido a fuertes lluvias, pudieran producirse inundaciones en la provincia, especialmente en la parte baja (cantón Cumandá), debido al desbordamiento de los ríos Chambo y Chanchán. 2) Debido a fuertes lluvias, pudieran producirse deslizamientos de tierra particularmente en la comunidad de Chañag parroquia Quimiag, cantón Riobamba. 3) Debido a fuertes lluvias, pudieran producirse deslizamientos de tierra en el cantón Alausí, particularmente en la parroquia Guasuntos y en la parte alta desde la comunidad de La Moya hacia Achupallas. 4) Debido a deslizamientos de tierra pudiera producirse un nuevo embalsamiento del Río Chanchán en la parroquia Huigra. 5) Debido a fuertes lluvias, pudieran producirse deslizamientos de tierra en el Cantón Pallatanga, particularmente en la comunidad Los Santiagos. 6) Debido a fuertes lluvias, pudieran producirse deslizamientos de tierra en el Cantón Chunchi.

Por tanto, los eventos extraordinarios disponen de unas previsiones y unas medidas de actuación para el caso en que ocurran, aunque todas las medidas pudieran resultar insuficientes ante un evento superior al previsto.

Sin embargo, la degradación específica que viene sufriendo la cuenca del río Chanchán, como consecuencia de la deforestación de amplias superficies de la misma, formadas por laderas de fuertes pendientes escasa o nulamente protegidas de la erosión hídrica, resulta más difícil de valorarla; porque las manifestaciones que se suceden por el inadecuado uso del terreno, tales como erosiones superficiales del suelo, regueros, reptaciones del terreno, abarrancamientos, etc., no alteran aparentemente los actuales aprovechamientos agronómicos de las zonas afectadas, aunque para el futuro puedan estar transformando en zonas improductivas a amplias áreas de la cuenca actualmente con explotaciones poco, nada o mal planificadas. En este aspecto se insiste en el presente documento, dado que es el que más directamente corresponde a la O. H-F de la cuenca, que tiene en cuenta no sólo su comportamiento ante eventos extraordinarios, sino también ante los ordinarios y los que afectan al sostenimiento productivo de la misma.

#### 5.3.4. Utilización que se realiza de los recursos naturales de la cuenca, especialmente el uso del suelo

Para la descripción de las prácticas de manejo de la vegetación en la cuenca, se ha diferenciado según se trate de las *áreas dominantes* o tengan lugar en las *áreas dominadas*.

Se han definido como *áreas dominantes* o de cabecera las superficies de cota superior a los 3000 m. s. n. m. En ellas el clima, que presenta un régimen de precipitación bi-modal con dos picos de máximas precipitaciones en marzo y entre octubre-noviembre, es un factor limitante. Este régimen es típico para toda la Cordillera Central en los Andes Ecuatorianos, ya que recibe la influencia de la época de lluvias regidas por el océano Pacífico y también de las lluvias provenientes de la Amazonía. En cuanto a la temperatura es variable con promedios sobre los 6° C en las partes más bajas del piso y menos de 6° C en las altas cumbres. El mapa de pendientes de esta área de cabecera muestra que el 17 % de su superficie es de tierras llanas con pendientes hasta el 12%; el 68 % son terrenos con pendientes entre el 12 y el 50 % y el restante 15 % responde a terrenos con más del 50% de pendiente.

En las partes más altas de este piso (por encima de los 3600 m) la presencia de la vegetación está condicionada por la temperatura constituyendo los *páramos*, que están dominados por hierbas en penacho (manejo) de los géneros *Calamagrostis*, *Festuca* y varias especies de *Stipa* (Sierra, 1999), se trata de especies que en pocos años la paja alcanza una altura de más de un metro. Mientras que en las partes más bajas sobre el estrato herbáceo se forma un estrato de arbustos hasta más de 2 m de altura, con especies que pertenecen a los géneros *Calceolarea*, *Brachyotum*, *Miconia*, *Cavendishia* y *Gynoxys* (Hofstede *et al.*, 1998).

Por debajo de los 3600 m hasta los 3000 m. s. n. m la temperatura se eleva ligeramente y permite el desarrollo de especies arbustivas y arbóreas. Se trata del *bosque siempre verde montano alto*, cuyos árboles están cargados de abundante musgo y plantas epifitas y el suelo está generalmente cubierto por una densa capa de musgo; en tales condiciones los árboles tienden a crecer irregularmente, con troncos ramificados desde la base y en algunos casos muy inclinados hasta casi horizontales (Sierra, 1999). En estos bosques la diferencia entre los estratos arbóreos superior e inferior es menos clara que en bosques tropicales y, en general, falta el estrato arbóreo emergente. En cambio, el estrato herbáceo y el terrestre están bien desarrollados (Hofstede *et al.*, 1998) y la diversidad de especies es muy alta en relación con otras zonas (Heerma *et al.*, 2001).

Lo que queda de este bosque es muy poco, que por lo general se ubica en áreas con fuertes pendientes en zonas pedregosas o en las quebradas húmedas, que han escapado de la deforestación o de la quema, practicada ancestralmente por los habitantes para mejorar los pastos durante la época lluviosa. Sin embargo, en las tierras pertenecientes a grandes haciendas, que aún sobreviven de los procesos de reforma agraria y fraccionamiento de la propiedad, se puede observar que el bosque primario es protegido por los propietarios y que en estos últimos años se ha tomado conciencia sobre su valor, tanto desde el punto de vista de la conservación del agua y del suelo, como del mantenimiento de la biodiversidad y de su contribución a la belleza del paisaje, lo que genera ingresos a través de la actividad turística. Este bosque natural básicamente produce madera para construcción de chozas, leña, algunas especies frutales como: moras, joyapas, gullanes, mortiño, que alimentan a la fauna silvestre o son ocasionalmente recolectados por la comunidad, pero además contribuye a la belleza del paisaje incrementando el potencial turístico de la región.

También existe el bosque de repoblación con pinos (*Pinus* sp.), cuya presencia es el resultado de decisiones internas de las comunidades. Su llegada coincidió con una política impulsada por actores externos, en particular vinculados a la Iglesia y representados por el Fondo Ecuatoriano Populorum Progressio (FEPP) y también durante el gobierno de León Febres Cordero se promocionó la siembra de pinos (1984), iniciativa que fue aprovechada en la cuenca del Chanchán principalmente por los propietarios de haciendas, que destinaron grandes superficies de páramo para esta repoblación.

Si bien no hay unanimidad total al respecto, la opinión mayoritaria de la gente es que *la plantación de pinos ha sido un error y que es más lo que se ha perdido que lo que se ha ganado; en síntesis las repoblaciones han resultado un mal negocio*. Esta opinión, que como tal debe ser respetada y cuenta también con razones técnicas y socio-económicas de gran solidez como para ser mantenida (reducción de la superficie disponible para el pastoreo, disminución del agua disponible en el área de las plantaciones, impactos sobre la biodiversidad, el precio actual de la madera en el mercado que no cubre los costes de la extracción, etc.); no invalida otra realidad, también comprobada experimentalmente y corroborada científicamente, que el bosque representa la mejor defensa del suelo frente a la erosión hídrica en terrenos con fuertes pendientes y que el bosque maduro supone además un importante factor regulador del sistema hidrológico de la cuenca. Evidentemente, la cuestión radica en el modo de plantearse las repoblaciones. Si con el bosque se pretende una mera sustitución de cualquier otro tipo de cultivo, su interés es muy escaso. Pero si su objetivo es constituir una infraestructura vegetal en áreas de escaso valor productivo y amenazadas de degradarse por la erosión hídrica, para defender otras áreas, situadas aguas abajo y de mayor potencial productivo, a las que también se les defiende de los riesgos que les pudieran causar los procesos geo-torrencales que se generen aguas arriba; en este caso el bosque puede tener una rentabilidad social y económica importante. Este es uno de los principios de la ordenación de cuencas.

Evidentemente las repoblaciones, planteadas como infraestructuras, también pueden y deben ser aprovechadas por su madera y los restantes productos que puedan proporcionar; es la única manera de conservarlos. Pero necesitan de personal preparado técnicamente para llevar a cabo los tratamientos del bosque y unas inversiones mínimas para el mantenimiento de su estado sanitario, la defensa contra incendios y finalmente la saca de sus productos.

En la cuenca del río Chanchán las repoblaciones, aunque vegetan bien y alcanzan buenas producciones, no están planteadas con fines estratégicos de defensa del suelo en la cuenca, por ello su futuro resulta incierto. Aunque el arbolado estaría justificado por la orografía de la cuenca en extensas superficies de la misma, que presentan terrenos con pendientes superiores al 40 % y síntomas de degradación. Con una buena planificación a largo plazo esta situación se podría reconducir; porque la cuenca resultaría beneficiada, tanto desde el punto de vista hidrológico como de conservación de suelos. Sin embargo, no se justifican las repoblaciones en áreas de páramo de alta montaña, sobre todo cuando se trata de zonas de pendientes suaves; en tales circunstancias la vegetación del páramo es la más idónea, tanto bajo el punto de vista hidrológico como de conservación de los Andosoles; por lo que lo más acertado es la conservación de dichos parajes, a poder ser como áreas protegidas.

Otro de los aprovechamientos de los terrenos que nos ocupan son los pastos; que tradicionalmente se han utilizado por los dueños de propiedades colindantes para el pastoreo de animales de diferentes especies, bovinos, ovinos, caballar.

Dentro de las iniciativas para mejorar la sostenibilidad en la ocupación del páramo en la actualidad, existe interés por la repoblación con camélidos andinos: llamas, llamingos, vicuñas que pastorean en rebaños al cuidado de comunidades indígenas, en el marco de proyectos de desarrollo auspiciados por ONGs que se dedican a esta actividad. En el páramo el aprovechamiento es extensivo durante todo el año y no permite una carga animal muy elevada (como máximo 0,1UBA/ha), debido a la escasa producción de biomasa del páramo, como consecuencia de las bajas temperaturas reinantes en las altitudes donde se ubica.

La erosión hídrica es la predominante en la zona, ésta llega a tener intensidades elevadas formando surcos y cárcavas en las tierras expuestas; también existen riesgos de erosión eólica en las zonas desprovistas de cobertura. No está por demás aclarar que estos tipos de erosión son agudizados como consecuencia de la presión ejercida por el hombre, iniciando los procesos erosivos mediante la deforestación, la quema de pajonales, el laboreo en las zonas con cultivos (erosión por labranza) al ser practicado con maquinaria o tracción animal en unos suelos frágiles, expuestos a condiciones ambientales extremas.

También hay terrenos que no pueden utilizarse como pastos, porque en ellos los fenómenos de erosión, especialmente los deslizamientos, no permiten ningún aprovechamiento. En la cuenca del río Chanchán existen áreas desprovistas de suelo, consecuencia de la erosión agudizada por malas prácticas o por procesos geológicos naturales. La presencia de movimientos de masa de envergadura es visible como testimonio de una geomorfología extremadamente accidentada, con truncamientos que se suceden en diferentes épocas desde el pasado y que seguramente ocurrirán en el futuro, en una geografía montañosa producto del choque de placas tectónicas y de un volcanismo muy activo. Consecuencia de todo ello son las grandes extensiones expuestas a la degradación, incapaces de aportar los nutrientes y la estabilidad que se necesitan para asegurar la vida vegetal en la cantidad y calidad suficiente para que pueda soportar un uso pastoril.

El otro uso del suelo en el área en cuestión son los cultivos; que se pueden diferenciar según las pendientes en las que se practican, pero también por algunos otros aspectos socio-económicos que pueden ser útiles señalarlos.

En este piso de la cuenca existen zonas topográficamente aptas para el cultivo; el 17% de las tierras presentan *pendientes inferiores al 12%* y tienen suelos profundos con muy buenas características físicas y químicas para practicar la agricultura. Hasta hace una década en el cantón Alausí existían 4 grandes haciendas reconocidas a nivel nacional como grandes productoras de granos, cebada, trigo, avena y en menor escala papas, arveja y haba. En esa época se trabajaba con tecnología relativamente moderna, mecanizando los procesos en lo posible. En la actualidad la tierra ha sido fraccionada y una parte ha pasado a manos de las comunidades indígenas, que no han renovado los equipos agrícolas y los insumos utilizados se han reducido considerablemente y son aplicados sin criterios especializados, sino los propios del conocimiento adquirido durante los años de trabajo en la agricultura; además la dolarización está dificultado que se efectúen inversiones, que permitan siquiera volver a las producciones de años atrás. Se necesita establecer políticas que permitan mejorar la protección de estos recursos, para poder conservar el capital natural de la zona.

La agricultura que se practica en este piso es de secano, la erosión laminar está presente en los campos recién arados al inicio de las lluvias y pueden verse en algunos sitios con mayor pendiente inicio de erosión por surcos, dado que los suelos son muy propensos a la erosión hídrica. En la época seca, especialmente en el mes de agosto, se generan fuertes vientos que

arrastran consigo las fracciones más finas de estos suelos. Sin embargo la mayor erosión se produce por la labranza, que por lo general se practica sin medidas de conservación de suelos y la erosión puede alcanzar las 40 t/ha-año (**Dercon**, 2000). El laboreo se practica con arado de discos y luego 2 pases de rastra, los campos no tienen zanjas de desviación ni muretes en contorno para evitar la erosión reduciendo el largo de las pendientes; las únicas barreras visibles son los linderos, construidos no como medidas proteccionistas, sino como mero interés de los propietarios para delimitar sus parcelas. En contadas ocasiones se ha podido observar campos con terraceos (terrazas de banco) demostrativos que esperan aún ser replicados por los propietarios.

Los cultivos en *pendientes superiores al 12 %* se deben en parte al fraccionamiento de las antiguas haciendas, son terrenos que soportan una agricultura de subsistencia y de abastecimiento de los mercados locales; el incremento de la presión demográfica es otro factor que ha provocado la ocupación de tierras marginales. Cabe destacar que en los últimos cinco años la emigración ha entrado en la escena del campo. Muchos pequeños agricultores han abandonado sus tierras desplazándose especialmente a España y a los EEUU en busca de mejores oportunidades, lo que ha permitido la recuperación parcial de las mismas o por lo menos parando una explotación indiscriminada de tierras marginales. Otro elemento relacionado con la emigración está asociado con la adquisición de tierras por los emigrantes, que de alguna manera están reagrupando minifundios en propiedades más extensas, que permitirán un manejo más adecuado al ser destinadas a la producción agropecuaria. En estas tierras marginales se utiliza mayoritariamente la tracción animal o manual, sin embargo existen propietarios que alquilan tractores de doble tracción.

Los problemas de erosión en estos suelos de *pendientes superiores al 12 %* son los mismos que en los ya comentados para los suelos de *pendientes inferiores al 12%* pero agudizados por su mayor pendiente. Tampoco en estos cultivos se realizan especiales prácticas de conservación de suelos. En general en el piso que se comenta el cultivo en su gran mayoría se realiza únicamente en las tierras con mejor topografía, que permiten el uso de maquinaria para la siembra de cereales, que se abastecen de humedad del agua de lluvia.

Las superficies ocupadas con cultivos en *pendientes superiores al 30 %* corresponden a tubérculos para autoconsumo, lo que hace que sean superficies pequeñas trabajadas con tracción animal (yunta). Esta práctica se realiza para obtener alimentos que necesita el campesino en zonas sin riego utilizando el agua de la lluvia. El cultivo en pendientes permite la evacuación del agua de las lluvias evitando daños por exceso de humedad, obviamente esto tiene un costo en términos de erosión, ya que la evacuación del exceso de agua se produce por surcos con pendientes que permiten que el agua corra con facilidad, lo que equivale a decir que el proceso de erosión hídrica es favorecido por la práctica del cultivo. Los cultivos son estacionales, el ciclo dura entre 6 y 8 meses, predominan tubérculos andinos como papas, ocas, mellocos y en menor escala mashuas; además, especialmente al norte de la cuenca, se cultiva quinua y cebolla. No se practican obras de conservación de suelos.

En lo relativo a otras actividades que pueden alterar el buen funcionamiento del régimen hidrológico en la cuenca, u ocasionar riesgos en zonas vulnerables dentro de las áreas dominantes, se comenta que el trazado de caminos por zonas de terrenos deleznable y de fuertes pendientes es un problema generalizado en toda la cuenca. Existen vías de primer, segundo, tercero y cuarto orden, esta clasificación obedece a la importancia que tienen desde el punto de vista de su utilidad y por ende del acabado final de las mismas; lo que repercute en el tipo de materiales utilizados para el pavimento de la capa de rodadura, la estabilización

de los taludes y los elementos complementarios como cunetas, pasos de quebrada, puentes etc. Una vía de primer orden recibe el mejor de los tratamientos y una vía de cuarto orden a veces no recibe ninguno (camino de verano). En la cuenca del río Chanchán los proyectos de vialidad han sido ejecutados desde la recepción de requerimientos de las comunidades; muchos caminos vecinales no cumplen las mínimas normas de planificación necesaria y, peor aún, de consideración de posibles impactos ambientales negativos: Incluso hay vías, clasificadas de primer orden, que atraviesan zonas muy inestables debido a la insistencia de no alejarse de la ruta más corta para servir a una determinada población, en lugar de servir a ésta por medio de un ramal

Constituyen problemas importantes pero no graves por el momento, la continua erosión de las calzadas y cunetas desprovistas de la necesaria protección y de obras complementarias, lo que está causando que estas vías poco a poco se deterioren y deterioren su entorno, ya que se convierten en caminos de agua durante la época lluviosa, descargando estos caudales sin ninguna consideración técnica; esto podría acarrear en el futuro daños mucho más severos en sitios donde éstos son más evidentes.

Los problemas graves a muy graves son los causados por los deslizamientos, que se presentan en las vías de reciente apertura; en las que en los inviernos subsiguientes los taludes se van estabilizando a fuerza de deslizamientos en lugares inestables o muy inclinados; también se da el caso de deslizamientos en la calzada al no contar con las obras complementarias para la evacuación del agua. Asimismo existen en algunos lugares de la cuenca pueblos y caseríos que han sido afectados total o parcialmente por deslizamientos del terreno o avalanchas de tierras. Este caso se repite por estar localizados en zonas de riesgo inminente (deslizamientos rotacionales). La planificación de los asentamientos de la población en la cuenca no obedece a estudios sobre la temática y en muchos casos el sentido común de los pioneros no estuvo muy en concordancia con la prevención de riesgos.



Figura 5.3. Izquierda: Panorámica típica de la cuenca del río Chanchán. Derecha: Importante deslizamiento del terreno en la cuenca del río Guasuntos.

En la cuenca del río Chanchán no se explotan las aguas subterráneas por bombeo, los acuíferos aportan su contingente naturalmente mediante afloramientos, que son captados para riego en pequeña escala y principalmente para agua potable.

En cuanto al riego, representa uno de los mayores problemas, ya que casi en su totalidad es un riego sin planificación técnica, que se practica de manera tradicional y realmente en algunas

zonas supone uno de los mayores peligros para la estabilidad del terreno, especialmente en lugares en donde existe agua en abundancia.

En cuanto a los problemas de contaminación de suelos y aguas, el principal de todos ellos es el asociado a los desagües de aguas residuales de los núcleos de población, ya que casi la totalidad las poblaciones asentadas en la cuenca del río Chanchán evacuan estas aguas directamente a la quebrada o río más cercano, además se arrojan también a los mismos basuras y desechos de todo tipo, causando contaminación en las corrientes de agua. Los problemas de contaminación del suelo están asociados al uso de pesticidas, productos de alta toxicidad y con un alto poder residual, que son utilizados para el control de enfermedades y plagas en los lugares donde se practica la agricultura.

En la cuenca del río Chanchán se establecen como *áreas dominadas* las situadas en cotas inferiores a los 3000 m. s. n. m.

Las escasas superficies de bosque natural (primario) que aún quedan, están ubicadas, al igual que ocurre con las áreas dominantes, en lugares inaccesibles o inutilizables para otras actividades y lo constituyen sobre todo chaparros de rebrote; mayormente se encuentran en terrenos pertenecientes a grandes haciendas, que han sobrevivido a los procesos de reforma agraria y fraccionamiento de la propiedad, donde los propietarios lo mantienen como bosque protector para aprovechar los beneficios indirectos que proporciona. También existen algunas iniciativas a nivel de ONGs, que tratan de incentivar la protección del bosque natural en las comunidades.

En las tierras que han sido explotadas durante décadas y sobre las que ya han pasado algunas generaciones de propietarios, hay una tendencia a propiciar la recuperación del bosque en los lugares que no permiten otra actividad que la agropecuaria, la finalidad de esta iniciativa no siempre está relacionada con la conservación de suelos. Por lo general se deja inalterado el chaparro de los márgenes de las quebradas profundas, pero en el caso de los ríos existe muy poco sentido de conservación de la vegetación de los márgenes de los cauces, pues la explotación pecuaria es prioritaria y arrasa con la poca vegetación que logra sobrevivir tras las crecidas anuales

En estas áreas dominadas existen bosques de repoblación con fines comerciales, aunque esta actividad no está generalizada, limitándose a ciertas partes de la cuenca que permiten el adecuado crecimiento de árboles maderables. Las especies predominantes son el pino, el ciprés y el eucalipto muy utilizado como madera de construcción. En cualquier caso, no existe una ordenación de los bosques, ni las repoblaciones están planificadas con criterios de protección de las cuencas ante eventos torrenciales, ni pensando en el aprovechamiento sostenido de las mismas, es decir, su persistencia.

Las superficies de matorral se aprovechan principalmente para obtener leña y en algunas ocasiones se pueden obtener beneficios con la recolección de frutas silvestres, pero no existe ningún sistema de manejo y el propietario utiliza este recurso a su arbitrio.

Algunos pastizales existentes en la cuenca responden a que muchas tierras, que fueron privadas en el pasado de su vegetación primaria para destinarlas a la agricultura, se han degradado a tal extremo, que hoy en día ya no tienen el potencial requerido para ofrecer una cosecha razonable. Estas tierras soportan escuetas ganaderías principalmente de vacunos y

ovinos. Esta utilización del terreno supone, no obstante, un aprovechamiento para la población

Pero hay también grandes extensiones de la cuenca que son netamente ganaderas, donde el pastizal se mantiene todo el año y principalmente se aprovecha para la producción de leche. También en algunos lugares se siega la hierba, pero esta práctica está poco extendida, ya que demanda mucha mano de obra debido a que se aplica en pequeñas superficies que no justifican su mecanización. Los pastizales dependiendo del manejo son rotados con cultivos cada 6 o más años, sin embargo existen pastizales de más de 30 años.

En cuanto a la carga animal es variable dependiendo del manejo de la finca, pero se puede anotar que por lo general ésta se suele exceder, ya que se observan reptaciones y pastizales en mal estado durante la mayor parte del año. La pendiente predominante en las zonas con pastizales es variable, pero en su mayoría supera el 30 %. Por otro lado, la presencia de reptaciones es un síntoma claro de erosión y es un preludio de deslizamientos superficiales o movimientos de masa.

En cuanto a los cultivos en *pendientes de admisibles a moderadas (< 12 %)*, se ha practicado una agricultura de secano en las zonas sin riego, mientras que la actividad ganadera ha prosperado en las zonas con abundante agua. Sin embargo, en los últimos cinco años esto se ha invertido, debido a que los productos de la ganadería sufrieron un bajón significativo y la rentabilidad de esta actividad no incentiva su prosperidad. En la actualidad las zonas bajas que disponen de riego han sustituido los pastos por cultivos anuales, vegetando con buenos resultados el fréjol.

En los cultivos la erosión hídrica es la más importante, principalmente de tipo laminar, su intensidad varía de ligera a moderada, dependiendo del porcentaje de cubierta del suelo en el momento del inicio de las lluvias. Los suelos volcánicos son especialmente susceptibles a la erosión y éstos están presentes en la mayor parte del norte de la cuenca. Otro tipo de erosión presenta en la zona es la erosión por labranza, pudiéndose observar terrazas formadas por esta erosión que alcanzan gran notoriedad en el paisaje.

Como norma general no se aplican medidas de conservación de suelos; salvo el efecto de formación de terrazas ocasionado por la parcelación de la tierra. Pero en algunos lugares si se observan ciertas practicas de conservación como el intercalado de cultivos en contorno y el aprovechamiento de terrazas naturales. En la mayoría de las tierras planas se cultiva con maquinaria agrícola y la siembra de cereales se hace a favor de la pendiente

El agua utilizada para cultivos agrícolas es manejada con mejor criterio que la empleada en los pastizales; el riego predominante es a gravedad por surcos contrarios a la pendiente, estos surcos tienen un pendiente a su envés de alrededor del 1 %. En los pastizales se riega por fajas y no hay mayor control de la cantidad de agua aplicada; en algunas fincas se han instalado sistemas de riego a presión, preferentemente por aspersion para los pastos y a goteo para los cultivos agrícolas.



Figura 5.4. Izquierda: Panorámica de una zona de pastizales en el área dominada de la cuenca del río Chanchán. Derecha: Detalle de un canal de riego.

En cuanto a las características de los **cauces** que drenan por la cuenca, si se tienen en cuenta la geología de la zona, su régimen de precipitaciones y la intervención antrópica en sus suelos, se puede comprender que la erosión en sus lechos y en sus márgenes, el transporte de sedimentos (tanto en suspensión como por arrastre) y la acumulación de materiales en los propios lechos, es una característica predominante del área en cuestión. Sin embargo, normalmente no adquieren situaciones graves (salvo en el caso de deslizamientos rotacionales que taponen el cauce y embalsen el río aguas arriba), porque las pendientes de los cursos de la cuenca son en general elevadas e incluso muy elevadas en algunos tramos de su recorrido.

Los cauces sufren constantes cambios de su estructura natural, debido a la presencia de eventos anuales cuya intensidad y magnitud son suficientes para no permitir un estado de equilibrio. De esta manera se presentan variaciones en los lechos a lo largo del año y existe además la presencia de cambios bruscos provocados por eventos extremos, que obedecen generalmente a factores naturales relacionados con la geología.

En cuanto a las **prácticas** que se realizan para la protección de los márgenes de los cursos que drenan por la cuenca, no es una práctica registrada la conservación de la vegetación existente en los márgenes y riberas, o en su defecto la repoblación de las mismas, con fines de asegurar la calidad del agua y evitar el aporte lateral de sedimentos al cauce.

Tampoco existen obras de magnitud considerable emplazadas de manera transversal en el lecho de los cauces. El tipo de obra que comúnmente se encuentra es para captaciones menores en quebradas, que no presentan riesgo alguno en cuanto a obstaculización del flujo. Sin embargo, cabe señalar que existen además una serie de obras, como pasos de quebradas y puentes provisionales, que en un momento dado sí se convertirían en obstrucción para el flujo.

Sin embargo, las mayores obstaculizaciones se han dado por deslizamientos, muchos de los cuales si se consideran de gran magnitud.

De modo generalizado no se evidencian problemas graves de contaminación de aguas por prácticas de conservación. No obstante, si existe un inadecuado tratamiento de los desechos sólidos provenientes de los núcleos de población de cierta importancia, que tienen como destino final los cauces naturales.

Tampoco existe evidencia de intervenciones considerables que afecten a la estructura natural de los cauces. La acumulación de sedimentos obedece principalmente a la combinación de procesos naturales de orden geológico y de manejo de los suelos. Los ensanchamientos y estrechamientos que se presentan en los cauces generalmente no se consideran provocados, sino que obedecen a razones naturales generadas por la inestabilidad geológica. Solo a su paso por poblaciones existen algunas obras civiles en los márgenes de los cauces, que constriñen la sección hidráulica al flujo, con el fin de proteger inmuebles o propiedades, obras que también aparecen en los estribos de los puentes para protegerlos; se trata de tramos cortos que alteran poco el régimen de la corriente.

Un tipo de construcción que sí podría ocasionar obstrucción al flujo en el caso de avenidas son los puentes, en especial aquellos que han sido emplazados para cruzar quebradas y los que se han proyectado sin mayor criterio o que han sido emplazados de manera provisional.

Finalmente no existen obras específicas de corrección o sistematización de los principales cursos de la cuenca, que evidentemente tienen carecer torrencial; porque sus elevadas pendientes favorecen la rápida evacuación del flujo aguas abajo ante eventos torrenciales de gran intensidad, evitando con ello inundaciones. Por otra parte, los deslizamientos de laderas que pudieran producirse en la red de drenaje de la cuenca, serían de carácter rotacional y de grandes dimensiones, para los que las obras de corrección de torrentes serían insuficientes. Resumiendo, la intervención en los cauces para su corrección no es una práctica establecida dentro de la cuenca hidrográfica

### **5.3.5. Diagnóstico del estado actual de la cuenca y objetivos específicos que podrían plantearse en la misma**

La escarpada topografía de la cuenca del río Chanchán, a lo que se añade su profunda deforestación, favorece la aparición en ella del fenómeno geo-torrencial cuando le inciden aguaceros torrenciales, en especial siempre que se trate de eventos extremos. Sin referirse a los problemas originados por los deslizamientos rotaciones, dado que la restauración hidrológico-forestal no aporta solución ante los mismos; se muestran a continuación los problemas hidráulicos, hidrológicos y de conservación de suelos que se presentan en la cuenca del río Chanchán, para los que las técnicas de restauración hidrológico-forestal pueden resultar de utilidad y, por ende, se recomienda a priori la O H-F de la misma.

Entre los principales problemas que se diagnostican se enumeran los siguientes: 1) Extensas superficies de la cuenca poseen pendientes elevadas y no están lo suficientemente protegidas de la erosión hídrica, al carecer de las adecuadas cubiertas vegetales protectoras. Aunque a corto plazo el problema de las pérdidas de suelo por la erosión parezca mitigarse, porque en muchas de las situaciones afectadas sus suelos son profundos; el proceso debe entenderse a largo plazo; pues si continúa un proceso acelerado de erosión en las laderas, a la erosión laminar inicial dará paso la aparición de regueros, posteriormente barranqueras y cárcavas y puede acabar con deslizamientos superficiales, que hagan impracticable el aprovechamiento agronómico de las áreas afectadas. Se debe prestar especial atención al comportamiento de la vegetación natural, cuando se abandonan temporal o definitivamente los terrenos cultivados o en general aprovechados, para analizar si su tendencia es la de su recuperación natural o por el contrario la una intensificación de los procesos erosivos. 2) Las rotaciones en las zonas de páramo son otro de los problemas serios que se presentan en la cuenca; porque los suelos en los que se asienta dicha vegetación natural (que pertenecen al grupo de los Andosoles), desempeñan un papel hidrológico importante en el conjunto de la cuenca y muy

especialmente en las áreas de cabecera. Estos Andosoles son Úmbricos hacia el sur de la cuenca y Vítricos hacia el norte, lo que se debe a que el volcanismo en el Ecuador es activo en el norte del país y los materiales de estos suelos volcánicos son mucho más recientes. Son suelos muy higroscópicos, pero altamente sensibles a la erosión, pues sus características fisicoquímicas sufren daños irreversibles al ser desecados, perdiendo sus condiciones naturales como las de retención de agua. Además al ser suelos con una densidad aparente menor que uno, flotan y son arrastrados por las corrientes de agua con suma facilidad con la llegada de las lluvias, o son arrastrados con el viento en las áreas expuestas de las crestas de cordillera. 3) Los sistemas de riego, utilizados en amplias superficies de la cuenca durante la estación seca, son otra de las características que definen el área en cuestión. Un estudio orientado a mejorar las actuales técnicas de riego, puede ser un factor de mejora del aprovechamiento del agua y el suelo en la cuenca y desempeñar un papel importante en su futuro desarrollo. 4) Algunos cultivos marginales en la cuenca parecen tener su fundamento en una economía de subsistencia, su solución es difícil de encontrar, salvo que se consiga un mejor desarrollo global para toda la cuenca. 5) Aunque los cursos de agua que drenan por la cuenca del río Chanchán muestran todos los síntomas de ser torrenciales; no parecen presentar problemas específicos (salvo los comentados de los deslizamientos rotacionales), debido a que sus elevadas pendientes facilitan la evacuación de las avenidas aguas abajo en los momentos en los que sobre la cuenca inciden aguaceros torrenciales y en especial si son eventos extremos. Sin embargo, convendría estudiar la dinámica torrencial de dichos cursos, porque conforme la cuenca sea más utilizada antrópicamente, más se repercutirá sobre los mismos y posiblemente más difícil será llegar a un diagnóstico real de su comportamiento.

### **5.3.6. Plan de actuaciones a corto, medio y largo plazo que se proponen en la cuenca**

Las necesidades que presenta la cuenca del río Chanchán para conseguir su plena restauración hidrológico-forestal son múltiples, lo que unido a su gran extensión resulta incluso más difícil de conseguirla. Sin embargo, en orden práctico y tratando de simplificar, la prioridad dentro de lo que es la cuenca vertiente podría ser la siguiente: 1) La conservación de las áreas de páramo de las cabeceras de la cuenca (utilizándose alguna figura legal de protección para su consecución); 2) la repoblación de las áreas de cabecera que han sido degradadas (en ningún caso se propone sustituir el páramo original por el arbolado), así como las laderas que presentan pendientes elevadas y síntomas de erosión acelerada, especialmente si se ubican en áreas de cabecera; entendiéndose el término repoblación en sentido amplio, como la consecución de una cubierta vegetal de porte arbóreo o arbustivo leñoso, que defienda adecuadamente al suelo de la erosión; que en algunas zonas se podría conseguir por regeneración natural, aunque las condiciones climáticas de la cuenca no lo propician. Se trata de pasar al sector forestal arbolado las tierras de mayores pendientes y menos productivas, antes de que sean abandonadas a su suerte y puedan representar riesgos por erosión superficial generalizada o deslizamientos epiteliales. 3) La concienciación por parte de los campesinos de la necesidad de aplicar prácticas de conservación de suelos en los cultivos y pastizales y del buen manejo del agua de riego; siendo esta última tarea una responsabilidad colectiva. 4) Prestar atención a las avenidas que tienen lugar en los cursos que drenan la cuenca, por si en alguna situación éstos deben ser objeto de actuaciones para corregir previsibles problemas de hidráulica torrencial; aunque, salvo en situaciones en las que se han producido represamientos debido a deslizamientos de laderas, las elevadas pendientes de los cursos en cuestión permiten evacuar rápidamente la corriente aguas abajo durante las avenidas.

Pero estas medidas se deben materializar en programas o proyectos concretos, compaginando con las necesidades de la población que vive en y de la cuenca. La O. H-F de una cuenca tan

extensa como la del río Chanchán (1.409,42 Km<sup>2</sup>) es difícil de concebirlo, salvo que se trate de un proyecto a largo plazo, que a su vez sea la integración de proyectos más específicos, que atiendan a problemas mejor definidos y más urgentes en diferentes zonas de la cuenca para realizarlos en plazos más cortos; que a posteriori pudieran servir de pilotos para generalizarlos a las restantes áreas de la cuenca del río Chanchán. En este contexto, el equipo de la Universidad de Cuenca que gestiona el WP2 y el de la UPM encargada del WP7, coincidimos en que podría ser conveniente limitar el estudio en detalle de una O. H-F a la cuenca del río Huabalcón (75 Km<sup>2</sup>) tributario por la izquierda al río Chanchán, para que pudiera ser utilizado como modelo de planificación en las restantes áreas.

No obstante, en este apartado el equipo de la Universidad de Cuenca ha proporcionado un análisis un estado físico de toda la cuenca del río Chanchán y de las prácticas de uso y manejo del suelo en la misma, con un buen nivel de detalle para una primera aproximación al problema de la O H-F, que ha podido ser corroborado durante la visita conjunta que realizamos a la cuenca en cuestión los equipos de ambas universidades.

### **Documentos consultados:**

**PROMAS Universidad de Cuenca** (2005) Descripción de la cuenca del río Chanchán: Cartografía, Geología, Estudio edafológico, Clima (precipitaciones y temperaturas), Uso del suelo y vegetación, Inventario de los problemas que generan los desastres naturales en la cuenca; Otros problemas generados por la ocupación y uso del territorio, *Informe del Proyecto EPIC-FORCE Ecuador*, mayo, pp. 28 y 7 mapas.

**PROMAS Universidad de Cuenca** (2005) Análisis de gestión en la cuenca del río Chanchán, *Informe del Proyecto EPIC-FORCE Ecuador*, noviembre, pp. 20.

**PROMAS Universidad de Cuenca** (2006) Recorrido de la cuenca del río Chanchán: Información de Base, *Proyecto EPIC-FORCE Ecuador*, enero, pp. 13 y 5 mapas.

#### **5.4. Cuenca de los arroyos de Buena Esperanza y del Hambre (Tierra de Fuego, Argentina)**

Información aportada por: **Adriana Urciuolo; Rodolfo Iturraspe; Leonardo Collado**  
Subsecretaría de Recursos Naturales (Dirección General de Recursos Hídricos) Provincia de Tierra de Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur, Argentina  
**Marcelo Gaviño Novillo; Ramiro Sarandón**  
Universidad Nacional de la Plata, Argentina

##### **5.4.1. El enfoque principal bajo el que se entiende el análisis de las cuencas en cuestión**

Atendiendo a la interrelación entre las dos cuencas mencionadas, ambas ubicadas en la provincia argentina de Tierra de Fuego y distantes entre sí unos 33 Km.; la primera vierte al arroyo de Buena Esperanza, que abastece de agua potable a la población de Ushuaia situada al final del área dominada de la cuenca, mientras que la cuenca del arroyo del Hambre se encuentra prácticamente inalterada. La presencia de la ciudad Ushuaia le imprime a la primera cuenca una importante afectación humana, debido al fuerte impacto urbanístico-turístico que le confiere y que incide en el uso del suelo en el tramo medio, pero sobre todo en el bajo de la misma. Estas circunstancias permiten realizar un análisis comparativo de los efectos de la urbanización en un territorio que, por sus características fisiográficas y climáticas, resulta fuertemente vulnerable a cualquier alteración antrópica.

Manteniendo el objetivo principal del Proyecto EPIC FORCE, la protección de las personas que habitan en las cuencas y de sus bienes ante eventos meteorológicos que puedan derivar en situaciones de riesgo, especialmente tratándose de eventos extraordinarios; en el caso de la cuenca del arroyo de Buena Esperanza el otro objetivo, irrenunciablemente unido a éste, es la ordenación de la cuenca para tratar de asegurar en la misma el aprovechamiento sostenido de sus recursos hídricos; mientras que para la cuenca del Hambre su principal objetivo se centra en la conservación del grado de naturalización que presenta en la actualidad, ante el previsible incremento de la actividad turística en la misma.

Los objetivos mencionados implican una ordenación del uso del territorio, que haga compatible el aprovechamiento ecológico sostenible de las cuencas con su desarrollo económico, especialmente en el caso de la cuenca del arroyo de Buena Esperanza; cuestión que resulta esencial, ya que se trata de áreas cuyo presente y futuro está supeditado a un turismo de calidad basado en valores estéticos y ecológicos, sustentados en unas relaciones estables entre los elementos agua-suelo-vegetación altamente compleja, minuciosamente representados en los ecosistemas de la zona y desgraciadamente de una gran fragilidad ante cualquier elemento que pueda vulnerarlos, a causa especialmente del clima subantártico frío, húmedo y sin estación seca del área en cuestión, que dificultan seriamente su recuperación.

En este epígrafe se mantiene el esquema general adoptado para el apartado 4 del presente documento; no obstante, se señala que la descripción de ambas cuencas se realiza basándose en la clasificación de cuencas de Tierra del Fuego realizada por **Iturraspe et al**, (2000), la cual responde a un criterio hidrológico de zonificación de cuencas hídricas. De acuerdo con el mismo, se identificaron unidades de comportamiento hidrológico homogéneo considerando aspectos tales como: geomorfología, clima, vegetación y el tipo de almacenamiento predominante en la regulación del escurrimiento.

Atendiendo a la mencionada clasificación, ambas cuencas pertenecen al Tipo de Cuencas de Cordillera y se encuentran en el área delimitada entre los cordones septentrionales de la

## CUENCAS DE LOS ARROYOS DE BUENA ESPERANZA Y DEL HAMBRE (PROVINCIA DE TIERRA DE FUEGO. ARGENTINA)

cordillera fueguina y el canal Beagle; caracterizándose por presentar una red de drenaje muy densa, de corto recorrido, pendientes fuertes y de caudal moderado. Según **Rabassa** (1992), el área de estudio fue afectada por repetidas glaciaciones. Los valles que dan al Beagle sufrieron el englamamiento predominando la acción erosiva, por cuanto los depósitos se encuentran mayormente bajo el mar.

Ambas cuencas disponen de datos hidro-meteorológicos, que se han implementado con instrumentos aportados por el Proyecto que nos ocupa para mejorar la información. Ambas también se consideran representativas de las principales actividades antrópicas existentes en la zona Sur de la Provincia y en las demás cuencas Andino-Patagónicas; por todo ello, las conclusiones de manejo que puedan derivarse del Proyecto serán de gran utilidad. No obstante, en una primera etapa se considera más urgente centrarse en el estudio en la cuenca del arroyo Buena Esperanza, dada la situación crítica existente y de la necesidad de contar con recomendaciones de manejo para de la misma.

Dadas las diferencias entre ambas cuencas, en lo que sigue se estudian por separado hasta el epígrafe final, en el que se volverán a tratar ambas cuencas conjuntamente.

### **5.4.2.a. Características físicas; de habitabilidad y potencial bio-climático de la cuenca del arroyo de Buena Esperanza**

La cuenca del arroyo de Buena Esperanza se ubica al norte de la población de Ushuaia, entre los 68° 19' 06'' y los 68° 25' 00'' de longitud oeste y los 54° 46' 28'' y los 54° 49' 12'' de latitud sur. Su cota máxima es 1.266 m y la mínima 114 m. La cuenca está situada en la cordillera Fueguina y vierte sus aguas al Canal Beagle; distinguiéndose en la misma una zona alta de características glacial marítima; una zona media turística condicionada por la ciudad de Ushuaia y la zona más baja que forma parte del área urbana de la propia ciudad. Su superficie es de 14,6 Km<sup>2</sup>. Presenta una orografía accidentada, pero que la protege de la exposición del viento, de manera que las calmas son más frecuentes en ella que en las restantes zonas de la Isla. Su morfología es rectangular-oblonga y su red de drenaje como se definió anteriormente.

El clima es un factor determinante en esta cuenca, la temperatura media anual a nivel del mar es de 5,5° C, decreciendo hacia el interior con el gradiente altitudinal e incrementándose su amplitud diaria y estacional. La precipitación anual en la costa del Beagle es de 520 mm, que se incrementa por el efecto orográfico desde el Canal Beagle hacia las cumbres interiores, donde alcanza los 1.300 mm en las cabeceras.

El desarrollo en profundidad que presentan los suelos de la cuenca es escaso.

La vegetación predominante es el bosque mesófilo con tres variedades (**Roig**, 1998): las caducifolias *Nothofagus pumilio* (lenga) y *Nothofagus antártica* (ñire) y en las zonas más altas la perennifolia *Nothofagus. betuloides* (guindo o coihue de magallanes). El límite superior del bosque se encuentra a 600 m, pudiendo variar en  $\pm 100$  m en función de la exposición al sol de la ladera y de la cercanía del mar, que atenúa las oscilaciones térmicas (**Puigdefabregas et al**, 1988). Las turberas de *Sphagnum* se presentan en el umbral de la morena, situado entre 250-300 m s. n. m.

El régimen hidrológico, condicionado por el clima, es glacionival. El escurrimiento está regulado por la nieve estacional, los almacenamientos en el detrito de cordillera y los aportes de glaciares. Las nacientes alcanzan los 1400 m s. n. m, presentando pequeños glaciares que contribuyen al escurrimiento. Las turberas constituyen otro componente con gran capacidad de retención de humedad. El arroyo de Buena tiene un módulo de 300 l/s. Las aguas de la cuenca son hiposalinas, ligeramente bicarbonatadas y de gran transparencia. El pH fluctúa

## CUENCAS DE LOS ARROYOS DE BUENA ESPERANZA Y DEL HAMBRE (PROVINCIA DE TIERRA DE FUEGO. ARGENTINA)

alrededor de 7 y el contenido de Fe es moderadamente alto. Sin embargo, en los tramos medio y bajo de la cuenca existen inicios de contaminación por la presencia de colifecales.

### **5.4.3.a Comportamiento previsible de la cuenca ante eventos torrenciales, tanto ordinarios como extraordinarios; problemas que los mismos generan.**

Eventualmente se dan eventos asociados a problemas hídricos tales como avalanchas de nieve y deslizamientos que afectan a los sectores de los faldeos; por otro lado, las corrientes de la cuenca también suelen presentar una excesiva turbidez en las épocas de deshielo.

La cuenca ha experimentado importantes eventos de precipitación durante los otoños de los años 2000, 2001 y 2002; así como por deshielo en el del 2003. Además en el pasado ha tenido serios problemas en sus áreas dominadas por causa de eventos nivo-torrenciales extremos. En este sentido, cabe señalar el evento extraordinario del 6 de noviembre de 1954, que provocó la inundación de la ciudad de Ushuaia. En las fotos de la época se puede observar la importante presencia de material de arrastre de la cuenca alta durante la inundación. Se destaca el hecho de que ese periodo coincide con el de las mayores afectaciones antrópicas sobre el bosque de las laderas de la cuenca del Arroyo Buena Esperanza, aguas arriba de la ciudad.

### **5.4.4.a Utilización que se realiza de los recursos naturales de la cuenca, especialmente del uso del suelo (bosques) y del agua.**

La situación de la ciudad de Ushuaia al final del área dominada de la cuenca del arroyo Buena Esperanza es típica de las ciudades turísticas de la región. Por esta razón, las normativas correspondientes a la planificación y regulación de usos de la tierra surgen del Poder Ejecutivo Municipal y se aprueban en el ámbito del Concejo Deliberante.

Aunque gran parte de la cuenca pertenece a la esfera municipal, el manejo de los Recursos Hídricos es responsabilidad del Estado Provincial a través de la de la Subsecretaría de Recursos Naturales (Dirección de Recursos Hídricos), por cuanto no existe Convenio de Delegación de atribuciones a la esfera municipal. Si bien no se ha promulgado hasta el presente una Ley de Aguas en la Provincia (existe un Proyecto en estado parlamentario), el Código Civil, la Ley Provincial de Medio Ambiente núm. 55, la Ley Provincial de Bosques núm. 145, las Normas de Procedimiento de Autorización y Registro de Usos del Agua y de Obras Hidráulicas y las Ordenanzas Municipales constituyen el marco legal fundamental del Manejo de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente (estas normas rigen también para su vecina cuenca del Hambre, si bien ésta no está afectada por las disposiciones municipales).

En el mapa de la Figura 5.5 se muestra la cuenca del arroyo de Buena Esperanza y las principales fuentes de agua potable para la ciudad de Ushuaia. Se puede observar que la Toma de Aguas de la Dirección Provincial de Obras y Servicios Sanitarios (DPOSS) se encuentra ubicada aguas abajo de la zona hotelera. En dicho mapa no están representados los bosques, atendiendo a la clasificación establecida en la Ley Provincial de Bosques núm. 145, en bosques de protección y bosques de producción; porque los últimos aprovechamientos forestales realizados en la zona datan de la primera mitad del siglo pasado (Collado, 2001); en la actualidad no se efectúan actividades de explotación forestal con Planes de manejo aprobados. Sin embargo, en el mapa de la Figura 5.6 se muestra dicha clasificación para los bosques de la cuenca de Buena Esperanza y aparecen también los bosques especiales; una figura cuyas funciones no se encuentran muy definidas dentro del marco legal del

## CUENCAS DE LOS ARROYOS DE BUENA ESPERANZA Y DEL HAMBRE (PROVINCIA DE TIERRA DE FUEGO. ARGENTINA)

aprovechamiento de este recurso, que desempeña un papel de gran importancia en el desarrollo de la región.

En cuanto a las *prácticas de manejo de la vegetación en la cuenca* cabe distinguir las que se efectúan en las *áreas dominantes* de las que tienen lugar en las *áreas dominadas*.

En relación con las prácticas en las *áreas dominantes*, se recuerda que el bosque *Nothofagus* se desarrolla hasta una altitud de 550 m. Por encima de esa cota, no se realiza ningún tipo de actividad silvo-pastoril ni agrícola, dadas las fuertes pendientes y las características del terreno. La única actividad presente en esta altitud es el trekking turístico hacia el Glaciar Martial y la actividad científica en el mismo.

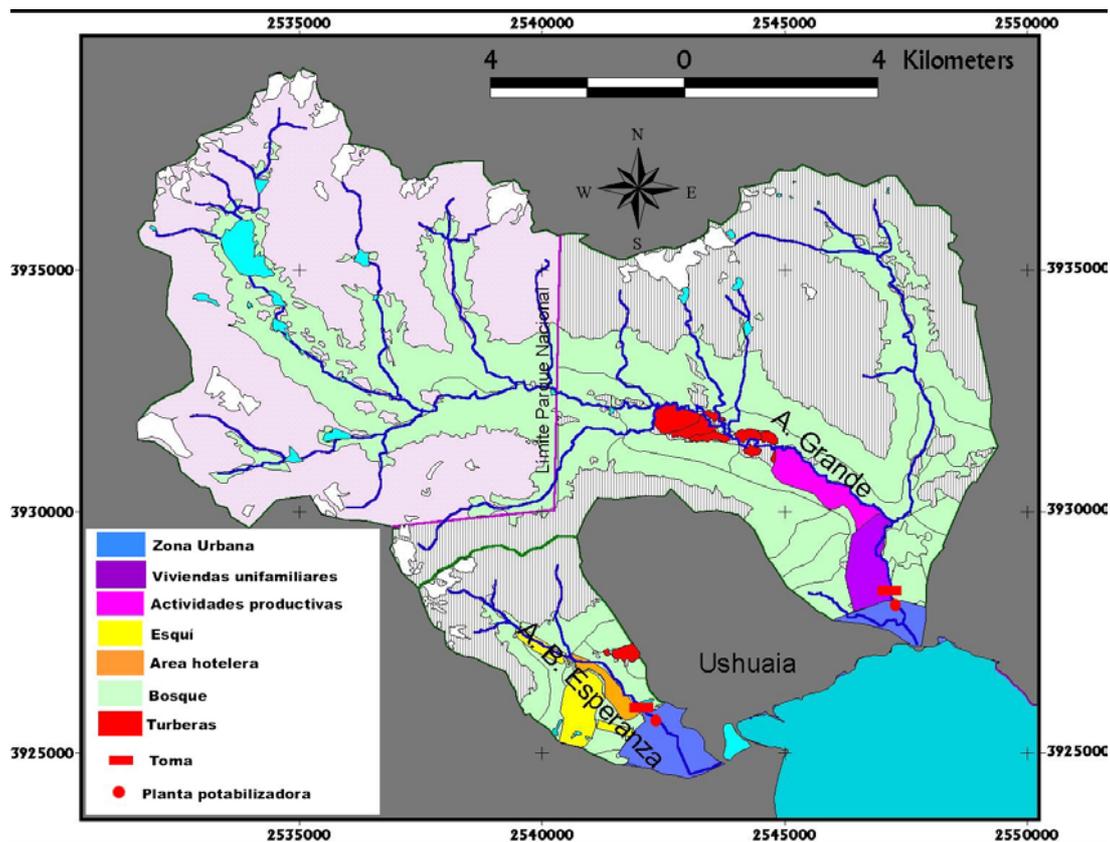


Figura 5.5.- Mapa de usos del suelo y principales componentes de vegetación

Por debajo de la cota 550 m el bosque de *Nothofagus*, con dominancia de *Nothofagus Betuloides* (guindo) en la actualidad, se mantiene natural; dado que en su mayor parte está clasificado por la Dirección de Bosques como Bosque Especial y en menor medida como Bosque de Protección. Solo una pequeña proporción del bosque de la cuenca se encuentra comprendida en la clasificación de Bosque de Producción, pero no existen aprovechamientos forestales ni factibilidad de que existan a medio plazo. No obstante, en el pasado (décadas de los años 40 y 50), dada su proximidad con la ciudad de Ushuaia, este bosque fue aprovechado y afectado por distintos usos vinculados a la presencia humana como provisión de leña y madera para construcciones precarias. En cuanto al manejo para la persistencia del bosque, puede afirmarse que en esta zona no se realiza ningún tipo de manejo o actuación sobre el bosque, simplemente se mantiene en su estado natural.

## CUENCAS DE LOS ARROYOS DE BUENA ESPERANZA Y DEL HAMBRE (PROVINCIA DE TIERRA DE FUEGO. ARGENTINA)

Con respecto a otras actividades, ya se ha comentado que la turística constituye la principal causa de afectación del bosque, por cuanto se observa una creciente ocupación de la zona por hoteles, cabañas turísticas, construcciones de caminos, pistas de ski, etc., así como gran movimiento de turistas y trabajadores del turismo durante todo el año. Se destaca el incremento de trazados de caminos en zonas de fuertes pendientes, provocando desboque y degradación del suelo en algunos sectores, si bien hasta el presente esto no ha ocasionado problemas de gravedad.

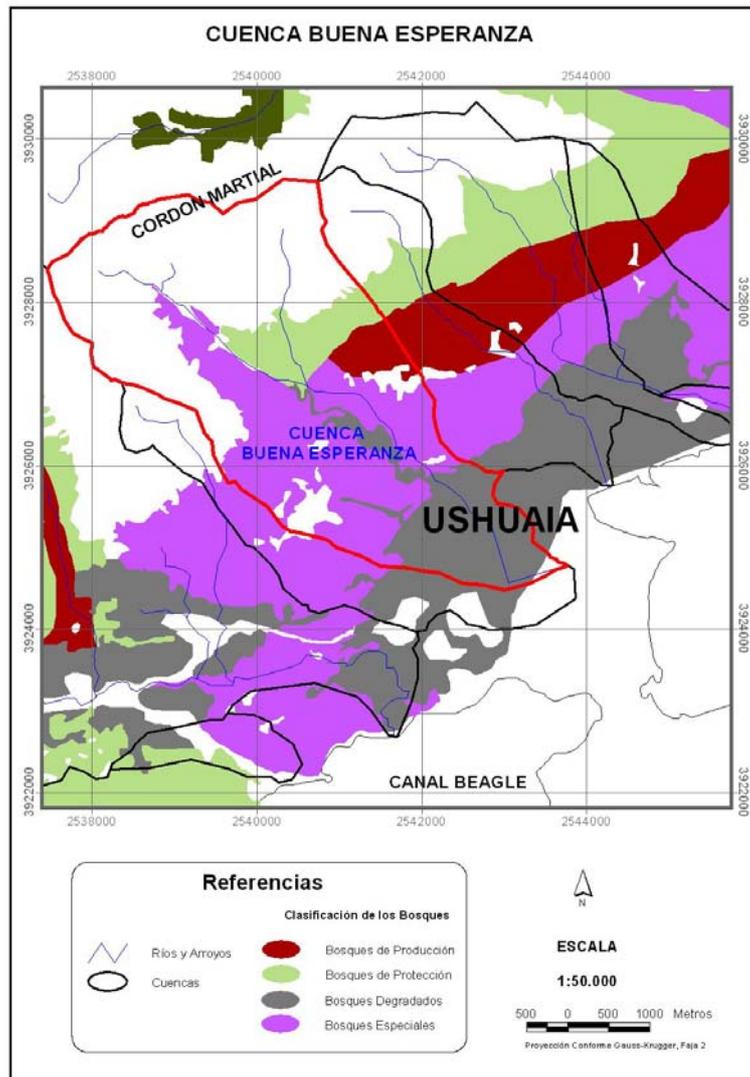


Figura 5.6. Clasificación de Bosques en la cuenca del arroyo Buena Esperanza

Respecto del *área dominada* de la cuenca, en ella no existen ni cultivos ni aprovechamiento de pastizales, pero se ubica el principal núcleo urbano de la misma, la ciudad de Ushuaia. Se trata de una ciudad con un asentamiento de población tradicional, que ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos 20 años, debido a las políticas de promoción industrial y a la falta de oportunidades laborales en otras zonas del país; lo que ha provocado que se haya iniciado una ocupación progresiva de sectores de laderas para la instalación de nuevos barrios, lo cual ha repercutido en una drástica reducción y/o afectación del bosque en esas zonas. En el área urbana el bosque ha sido casi completamente sustituido por la

CUENCAS DE LOS ARROYOS DE BUENA ESPERANZA Y DEL HAMBRE  
(PROVINCIA DE TIERRA DE FUEGO. ARGENTINA)

construcción de barrios y caminos. En sectores muy reducidos el bosque se mantiene natural, sin que se realicen prácticas para su conservación.

Tampoco existen prácticas conservacionistas de *mantenimiento de los cauces y sus márgenes* que, a excepción de casos puntuales, simplemente se mantienen en su estado natural, aún cuando el mismo se vea afectado por causas naturales o actividades antrópicas.

**5.4.5.a Diagnostico del estado actual de la cuenca y objetivos específicos que podrían plantearse en la misma: áreas críticas.**

Cabe plantearse, como en el epígrafe anterior, distinguir entre la *zona dominante y dominada de la cuenca*. En la primera, los problemas están en el estado de los cauces de drenaje de una buena parte de la misma; en la segunda en el abastecimiento de agua potable a la ciudad de Ushuaia y en la protección de la misma ante los riesgos que puedan derivarse de eventos nivotorrenciales extraordinarios que puedan afectarla.

Centrándose en las *áreas dominantes*, los márgenes y lecho de un gran número de tramos de drenaje de la cuenca presentan fuertes erosiones, así como importantes acumulaciones de sedimentos y LWD (Large Wood Debris, Arrastres de troncos). En esta cuenca los cauces tienen alterada su estructura natural debido a diversos factores naturales, tales como avenidas extraordinarias o la intensa acción de los castores. Estos animales forman diques sucesivos a lo largo de los cursos de agua, provocando cambios en su sección, acumulación de sedimentos, presencia de grandes desechos de madera (LWD) y otras alteraciones. Provocan incluso bruscos cambios en el recorrido de los cursos. Se destaca que la acumulación de sedimentos y LWD debidos a la acción de los castores aguas abajo de los diques que forman para su hábitat, puede causar, en el caso de rotura de los mismos por grandes avenidas o por acción humana, alteraciones bruscas en la calidad del agua por aumento de su turbiedad y arrastre de LWD. Esto sucede incluso en el curso principal de la cuenca, en el entorno de la toma de agua para la ciudad.

Por otra parte, existen pequeñas obras de toma y vertido en la cuenca media, así como una importante desviación de un curso proveniente del valle adyacente, denominado Chorrillo Oeste o Rodríguez, hacia el curso principal de esta cuenca, realizada hace 10 años por la Dirección Provincial de Obras y Servicios Sanitarios, con el fin de incrementar el caudal en la toma de agua potable.

Continuando con el estado de los cauces, aunque adentrándonos en la cuenca baja (área urbana), se han realizado obras de encauzamiento que presentan inconvenientes durante las crecidas: tales como insuficiencia para la evacuación de los caudales extraordinarios y erosión de márgenes en los tramos no revestidos. En consecuencia, la estructura natural de los cauces ha sido alterada por intervenciones (ejecución de obras) para actividades turísticas en distintos tramos de la cuenca media y para urbanizaciones en la cuenca baja; lo que posteriormente ha originado en los mismos procesos erosivos y acumulación de sedimentos. Se observan también estrechamientos provocados y constricción del cauce por obras de encauzamiento en algunos tramos de la cuenca.

Si bien aún no se han realizado estudios específicos relativos a la afectación de la calidad del agua por los procesos de erosión y/o alteraciones de la cubierta vegetal (ni en la cuenca que se comenta ni en la cuenca del Hambre) se ha podido observar que los cambios en los usos de la tierra en un corto lapso de tiempo, han afectado significativamente la calidad de las aguas.

## CUENCAS DE LOS ARROYOS DE BUENA ESPERANZA Y DEL HAMBRE (PROVINCIA DE TIERRA DE FUEGO. ARGENTINA)

En cuanto a otras actividades, el drenaje de turberas para la ocupación urbana sin un análisis previo de sus características y de los efectos ambientales que ello pudiera ocasionar, ha sido causa de la alteración de las condiciones hidrológicas de importante sectores de la ciudad de Ushuaia, provocando inundaciones y un sinnúmero de inconvenientes en las urbanizaciones realizadas sobre turba.

Con respecto a la contaminación en los cauces, no se presentan problemas de contaminación en la cuenca alta, se observan algunos problemas menores de contaminación en la cuenca media y de mayor importancia en la cuenca baja. No obstante lo expresado, no se realizan prácticas de corrección de cauces en forma sistematizada.

En las áreas *dominadas de la cuenca* las reservas de agua constituyen un recurso fundamental en el desarrollo económico de la cuenca. Entre los usos que actualmente proporciona la cuenca está el abastecimiento de agua potable a la ciudad de Ushuaia, así como a los asentamientos turísticos de los tramos medios de la cuenca. La toma de agua de la DPOSS, incluida la planta potabilizadora de la ciudad de Ushuaia, se sitúa en la cota de 100 m. Pero hay tomas de agua para el consumo de los asentamientos turísticos por encima de esa cota. Por otro lado, los vertidos y la depuración de estos asentamientos se sitúan asimismo por encima de la cota de 100 m, generando con ello problemas de contaminación; además están previstas nuevas tomas de agua y obras de tratamiento de vertidos para nuevos asentamientos turísticos, lo que agrava la situación.

La tendencia es a incrementar cada vez más la cota de edificación, ocupando la parte media de la cuenca, lo que genera problemas incluso en el abastecimiento de los servicios. Por otra parte, este sector está zonificado para la actividad turística en el Plan Urbano de la ciudad de Ushuaia, razón por la que, además de los hoteles y cabañas turísticas existentes, se siguen recibiendo solicitudes de tierras para el asentamiento de grandes hoteles aguas arriba de la ciudad. Se destaca que en la planificación del uso de la tierra para la zona, no se ha considerado la necesidad de determinar la capacidad de carga urbana y turística, para un sector de la cuenca, caracterizado por la presencia de bosque natural en suelos de escasa profundidad y fuertes pendientes. En el mapa de pendientes de la misma (Figura 5.7) se comprueba que, descartando el espacio ocupado por la ciudad, las pendientes limitan cualquier tipo de usos a áreas muy reducidas de la cuenca. A este respecto cabe también recordar el evento extraordinario del 6 de noviembre de 1954.

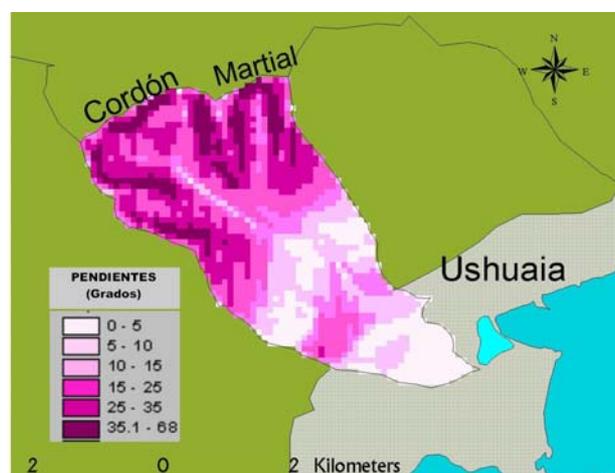


Figura 5.7. Mapa de pendientes de la cuenca del arroyo Buena Esperanza

CUENCAS DE LOS ARROYOS DE BUENA ESPERANZA Y DEL HAMBRE  
(PROVINCIA DE TIERRA DE FUEGO. ARGENTINA)

Además, la zona en cuestión tiene un potencial riesgo de deslizamientos, por cuanto éstos son frecuentes en este tipo de terrenos con suelos poco estables y de escasa profundidad. Sin embargo, estas consideraciones no han sido tomadas en cuenta por la Municipalidad para la planificación de uso del suelo y las construcciones se realizan sin analizar la factibilidad de ocurrencia de estos fenómenos. Incluso las construcciones de asentamientos turísticos y caminos que ya han provocado problemas de erosión en algunos sectores, se realizan sin considerar que pueden además favorecer los deslizamientos en áreas de riesgo.

En síntesis no existe una zonificación específica para el tramo medio de la cuenca. El Plan Urbano define a la zona superior a la cota 100 (donde se ubica la Toma de DPOSS) como apta para asentamientos turísticos, sin limitar su capacidad de carga por las fuertes pendientes del terreno en la zona, ni considerar el reducido tamaño de la cuenca, ni el caudal medio del curso principal (300 l/s). Por todo ello, es factible deducir que se puede llegar a una situación en la que la solución de las Plantas de tratamiento de efluentes, podría no ser suficiente o definitiva para resolver el problema de la calidad del agua del arroyo Buena Esperanza, dada la gran afectación de la cuenca en las zonas aguas arriba de la toma.

Se considera por lo tanto *crítica* la zona hotelera de la cuenca media del arroyo Buena Esperanza, así como la zona correspondiente al centro de esquí alpino, donde se realizan continuamente modificaciones del cauce, apertura de nuevas pistas con afectación del bosque y se observa una creciente afluencia de turismo en la Aerosilla del Glaciar Martial. Se define también como *área crítica* la cuenca baja (barrios de la zona urbana cercanos a la desembocadura), dada la existencia de numerosos vertidos de efluentes clandestinos.

En la Tabla 5.2 adjunta se muestra la preocupación de la Administración de la Provincia (Dirección de Recursos Hídricos), por las conexiones entre los usos del suelo y los posibles impactos negativos que de los mismos puedan derivarse para la situación de la cuenca del arroyo de Buena Esperanza, por la ausencia de un plan de ordenación del territorio para la cuenca. En la tabla también se evidencia la necesidad de llevar adelante estudios específicos, en aquellas conexiones que figuran con un interrogante (?).

Usos de la Tierra	Conexiones Físicas
Asentamientos turísticos: Hoteles (2, de cuatro estrellas) Complejos Cabañas (3) Centros de esquí: (3)	Riesgos por contaminación (?) Disminución de la calidad del agua.
Corta de leñas Deforestación en la zona media de la cuenca Cambios en la cubierta vegetal	Posible inicio de fenómenos geo-torrenciales en la cuenca (erosión, transporte de los sedimentos y deposición de los mismos en las áreas dominadas) (?). Disminución de la calidad del agua.
Construcción de caminos en la zona media de la cuenca	Posible inicio de fenómenos geo-torrenciales en la cuenca (erosión, transporte de los sedimentos y deposición de los mismos en las áreas dominadas) (?).
Planta Potabilizadora DPOSS la zona media de la cuenca.	
Zona Urbana	Disminución de la calidad del agua.
Cambios observados en la sección de salida de la cuenca	Disminución de la calidad del agua.

Tabla 5.2. Conexiones entre los usos de la tierra y sus posibles impactos, cuando se practican sin una previa ordenación del territorio.

## CUENCAS DE LOS ARROYOS DE BUENA ESPERANZA Y DEL HAMBRE (PROVINCIA DE TIERRA DE FUEGO. ARGENTINA)

Entre las principales causas del problema de deterioro de la calidad del agua, pueden citarse:

- **Falta de Manejo Integrado:** El manejo del uso de la tierra y del uso del agua no se efectúa de forma coordinada; permitiéndose dentro de la cuenca numerosos asentamientos humanos y actividades (tala de bosque, usos recreativos, etc.) aguas arriba del lugar donde se ubica la toma de agua para consumo humano de la ciudad de Ushuaia.
- **Dilatación de tiempos de desarrollo, análisis y aprobación de Planes de Ordenamiento:** Existieron numerosos planes y zonificaciones relativas al uso del suelo en las partes medias de esta cuenca, sin que se haya logrado hasta el presente un acuerdo entre los diferentes actores involucrados (Instituciones, habitantes, etc.).
- **Falta de Estudios básicos relativos a los efectos del cambio del uso de la tierra en la zona media de la cuenca.**
- **Falta de Programas de Monitoreo asociados a la creciente ocupación del suelo.**
- **Falta de normativas en materia de aguas:** Los organismos estatales, vinculados a la administración del agua, no han podido hacer un adecuado manejo y control de los usos del agua; ante la falta de una Ley de Aguas y de las normativas de procedimientos que le otorguen a la Autoridad de Aplicación en materia de aguas las facultades para acometer una serie de acciones legales, con un alto componente técnico de protección del territorio, tales como: decretar zonas de reserva; determinar líneas de ribera como límite entre el dominio privado y el público; regular del uso del agua y de los márgenes; llevar el registro de usuarios del agua pública para proceder a su control; imponer obligaciones a los usuarios del agua pública en el acto de autorización de uso; contar con un régimen contravencional para quienes afecten el agua y las cuencas, etc.

### 5.4.2.b. Características físicas; de habitabilidad y potencial bio-climático de la cuenca del arroyo del Hambre

La cuenca del arroyo del Hambre se sitúa entre los 67° 48' 08'' y los 67° 53' 23'' de longitud oeste y los 54° 40' 30'' y los 54° 44' 30'' de latitud sur. Se ubica en la cordillera Fueguina en proximidades del Paso Garibaldi (400 m s.n.m) y vierte hacia el canal Beagle a través del río Lasifashaj, en el que desemboca después del cruce con la Ruta Nacional núm. 3. La cabecera de la cuenca comprende el área situada aguas arriba de Paso Garibaldi, ubicándose los nacientes en la Sierra de Alvear, su máxima elevación alcanza los 1060 m. El área dominada comprende desde el paso Garibaldi hasta la desembocadura del arroyo en el río Lasiparshak, a 170 m s.n.m. Su superficie es de 18 Km<sup>2</sup>. Presenta una orografía accidentada, morfología rectangular-oblonga y su red de drenaje es muy densa, de corto recorrido, pendientes fuertes y de caudal medio moderado, estimado en 600 l/s.

El clima es similar a la de la cuenca del arroyo de Buena Esperanza. La precipitación varía entre los 700 mm en la zona baja de la cuenca y 1400 mm en la zona de cabecera. La vegetación predominante es el bosque nativo de *Nothofagus pumilio* en las laderas altas y fondos de valle, mientras en las laderas medias de la cuenca se observan además algunas zonas con bosque puro o mixto de *Nothofagus betuloides*. En los fondos de valle y en ciertos sectores del faldeo próximos a Paso Garibaldi se observan turberas mixtas de *Sphagnum magellanicum*, juncáceas y ciperáceas

La calidad de sus aguas es buena y no presenta indicios de contaminación. Sin embargo, se observa una importante acumulación de sedimentos ante la ocurrencia de eventos torrenciales.

**5.4.3.b Comportamiento previsible de las cuencas ante eventos torrenciales, tanto ordinarios como extraordinarios; problemas que los mismos generan.**

Al tratarse de una cuenca deshabitada, los efectos de los eventos meteorológicos extraordinarios no representan un objetivo inmediato para su ordenación hidrológico-forestal; aunque su interés científico se mantenga intacto. Por tanto, no desarrolla en este documento.

**5.4.4.b Utilización que se realiza de los recursos naturales de la cuenca, especialmente del agua y del uso del suelo.**

No existen usos antrópicos de la tierra en la cuenca, que se mantiene prácticamente inalterada, excepto por la existencia de la Ruta Nacional núm. 3. La actividad turística en la zona se concentra antes y después de la cuenca, que sólo se ve afectada por la existencia y el intenso uso de la Ruta y de la Dirección Nacional de Vialidad.

Aunque la cuenca del arroyo Hambre no pertenece a ninguna figura de área protegida, es colindante con una reserva turístico-paisajística; razón por la que las normativas correspondientes a la planificación y regulación de usos de la tierra surgen de la Dirección de Planificación Territorial de la Provincia, la cual establece los usos admisibles mediante zonificaciones; pero, hasta la fecha, no existe zonificación para el sector perteneciente a dicha cuenca.

El manejo de los recursos hídricos y del bosque en esta cuenca es responsabilidad del Estado Provincial a través de la Subsecretaría de Recursos Naturales (Dirección de Recursos Hídricos y Dirección de Bosques respectivamente) y de acuerdo a la clasificación de la Ley Provincial de Bosques núm.145, sus masas arboladas están clasificadas en su totalidad como bosques fiscales de protección, razón por la cual el bosque nativo no tiene aprovechamientos forestales.

En relación con las *prácticas de ordenación de la vegetación en las áreas dominantes*, en esta cuenca no se realiza en el presente, ni se ha realizado en el pasado ningún tipo de actividad silvo-pastoril en altitudes superiores a la línea de vegetación, ni en los tramos medio e inferior de la cuenca. En ningún sector de la cuenca se observan terrenos cultivados o aprovechados para pastizales.

Las áreas con cotas inferiores a la línea de vegetación están completamente pobladas de bosque nativo, con la presencia de *Nothofagus pumilio* como vegetación predominante en las laderas altas y fondos de valle y zonas con bosque puro o mixto de *Nothofagus betuloides* en las laderas medias de la cuenca. Según la clasificación que le asigna la Ley de Bosques, todo el arbolado que existente en la cuenca pertenece a la categoría de Bosque Protector. En esta zona no se realizan labores para la persistencia del bosque. Aunque éste se vea afectado por la pavimentación de la Ruta Nacional núm. 3, no se realiza ningún tipo de manejo

Como se ha indicado, la actividad turística constituye la principal actividad en la zona, aunque la afectación a la cuenca se restringe prácticamente al área ocupada por los tramos de la única Ruta Nacional núm. 3 que la atraviesa, ya que no existen hoteles ni construcción alguna. Dicha Ruta Nacional transcurre por una ladera de pendiente significativa, observándose la desestabilización de algunos de sus sectores. Se ve como poco probable que puedan trazarse nuevos caminos en la cuenca.

Respecto de las *prácticas de ordenación de la vegetación en las áreas dominadas*, estas áreas están completamente cubiertas por el bosque natural, que se mantiene como bosque

## CUENCAS DE LOS ARROYOS DE BUENA ESPERANZA Y DEL HAMBRE (PROVINCIA DE TIERRA DE FUEGO. ARGENTINA)

protector, con una mínima afectación por la construcción de la Ruta Nacional núm. 3 y por la utilización que Vialidad Nacional hace de algunos sectores para la instalación de maquinaria. Se destaca que si bien en esta cuenca existe un alto riesgo de deslizamientos por sus características naturales, los únicos asentamientos (ocupados por Vialidad Nacional) se encuentran ubicados fuera de las zonas de riesgo. Por otro lado, aunque su bosque está declarado como Bosque Protector, no se realizan ningún tipo de actuaciones para su persistencia.

Existen actividades potenciales que podrían provocar severos cambios hidrológicos, como la actividad turística a mayor escala que la actual y el drenaje de las turberas existentes. No obstante, estas actividades no constituyen en el presente riesgos inmediatos.

En lo relativo a la *conservación y mantenimiento de los cauces y sus márgenes*, en esta cuenca no se realiza ningún tipo de práctica. Los cauces presentan su estructura natural alterada por causas naturales: como avenidas extraordinarias, las actuaciones de los castores que construyen diques en diversos tramos y por el fuerte impacto del arrastre de LWD en los cursos de la cuenca. Se observan algunos cambios naturales en los cursos a lo largo del recorrido que se compensan aguas abajo.

En la mayor parte de la cuenca los cursos se encuentran protegidos por bosques autóctonos espontáneos en galería, aunque existen algunos tramos sin protección; debiéndose dicha situación a una consecuencia natural del ecosistema y no al resultado de prácticas de manejo del mismo. En alguna medida y dependiendo de los sectores de la cuenca, los cauces han sufrido alteraciones y muestran algunos estrechamientos en los tramos medios de la cuenca y en algunos cruces con la ruta en las partes bajas. La alcantarilla correspondiente al cruce de la Ruta Nacional núm. 3 constituye la única construcción que impide una normal evacuación ante crecidas extraordinarias; habiendo provocado, coincidiendo con la ocurrencia de algún evento extremo de precipitación, la rotura de la misma y el corte de la ruta.

No se han aplicado hasta el presente prácticas de corrección de cauces de forma sistemática.

### **5.4.5.b Diagnostico del estado actual de la cuenca y objetivos específicos que podrían plantearse en la misma.**

Los únicos problemas de cierta importancia que se detectan en esta cuenca, se relacionan con su red de drenaje. No existen encauzamientos propiamente dichos ni obras, excepto en las partes bajas de la cuenca, que corresponden al alcantarillado para cruces de la Ruta Nacional núm.3, que han sido dañadas por la acción de LWD durante las crecidas extraordinarias

No se presentan problemas de contaminación en la cuenca alta, algunos problemas menores de contaminación se presentan en la cuenca media y baja.

En cuanto a riesgos de alteraciones futuras de los cauces, puede afirmarse que la magnitud de los síntomas que se observan en la actualidad, en su mayoría de origen natural, no presentan riesgos de significación. No obstante, en algunas situaciones, los diques construidos por los castores pueden ocasionar riesgos futuros por roturas. También se deben considerar el arrastre de sedimentos y LWD durante crecidas extraordinarias.

No se han realizado en la cuenca estudios específicos relativos a la afectación de la calidad del agua por procesos de erosión y/o alteraciones de la cubierta vegetal, pero se puede observar que las crecidas extraordinarias, la actividad de los castores y la importancia del arrastre de LWD, provocan acumulación de sedimentos y procesos erosivos.

#### **5.4.6. Plan de actuaciones a corto, medio y largo plazo que se proponen en la cuenca**

El estudio de las características físicas de ambas cuencas y el diagnóstico efectuado a las mismas ante los posibles eventos nivo-torrenciales y frente a los impactos incontrolados del turismo que puedan afectarlas; pone de relieve la gran fragilidad ecológica de las mismas; debido a sus terrenos de fuertes pendientes y suelos poco desarrollados, tipo de vegetación de crecimientos lentos, pero sobre todo por las condiciones climáticas extremas del área en cuestión, que al limitar el periodo vegetativo por falta de temperatura, condiciona de un modo muy importante cualquier recuperación de tipo biológico.

A esto se añade el que hasta la fecha no se haya planteado una estrategia para la ordenación de las mismas desde un concepto integrado, que considere todas sus singularidades relevantes, que necesariamente se deben conservar para que el área no deje de ser lo que es y de este modo mantenga su capacidad ecológica y estética, en el que se asienta sus potencialidades para un turismo de calidad.

Se ha constatado que, si bien existen planes y zonificaciones para el uso de la tierra en ambas cuencas, no se plantean pautas para la protección de los recursos hídricos y del bosque conjuntamente, cuando en el área en cuestión el equilibrio suelo-agua bosque es la base de su ecosistema. En la actualidad y como norma general el manejo de los recursos agua y bosque y el uso de la tierra se realiza en forma no vinculada, prácticamente sin coordinación entre los responsables. Los estudios existentes relativos al manejo del bosque, se focalizan casi exclusivamente en el análisis y definición de técnicas silvícolas apropiadas para la zona, tanto para la regeneración de áreas degradadas, como de rentabilidad productiva de las masas.

La falta de estudios que analicen la estrecha interdependencia entre el bosque y el agua es preocupante, porque el bosque: 1) representa un factor de protección fundamental ante los riesgos de inundaciones por eventos meteorológicos extremos para las áreas dominadas o bajas de la cuenca (se recuerda la inundación que afectó a la ciudad de Ushuaia con ocasión del evento extremo acaecido el 6-11-1954); 2) es la mejor defensa posible ante los riesgos por aludes y 3) supone la mejor protección del suelo frente a la erosión hídrica y en consecuencia contribuye a que el agua de escorrentía contenga menos sedimentos en suspensión y en definitiva sea de mejor calidad. Por otro lado, frente a los beneficios indicados, la posibilidad de que el bosque pueda reducir los recursos de agua por transpiración es poco o nada relevante; porque la transpiración depende de las necesidades hídricas de la planta, que a su vez es función de la temperatura y tiene su última manifestación en los crecimientos que experimenta la vegetación; pero en el área en cuestión la temperatura es baja o muy baja, el periodo vegetativo muy reducido y el crecimiento del bosque muy lento. Razones todas ellas para preservarlo donde aún se conserve.

A estos aspectos, que son generales a todas las cuencas de características similares a las que se analizan, cabe añadir otros riesgos específicos, en los que también cabe considerar la interrelación agua-bosque, como: 1) el problema suscitado con la intensa actividad de castores en la Provincia, que altera la estructura natural de los cauces; 2) el alto contenido de acumulación de sedimentos presente en la mayoría de los cursos de agua y 3) el fuerte arrastre de LWD que se observa en la mayoría de los mismos; lo cual pone en riesgo el equilibrio

CUENCAS DE LOS ARROYOS DE BUENA ESPERANZA Y DEL HAMBRE  
(PROVINCIA DE TIERRA DE FUEGO. ARGENTINA)

natural de los cauces y la seguridad de las obras hidráulicas e incluso de las áreas dominadas de la cuenca.

Considerando la situación y a los efectos de preservar la calidad del agua en el arroyo Buena Esperanza, una de las principales fuentes de suministro de agua potable de la ciudad de Ushuaia; así como de preservar el paisaje y la calidad de aguas de la cuenca del Arroyo Hambre, dado su importante potencial turístico; se considera necesario contar con recomendaciones de manejo que abarquen los siguientes aspectos:

- ✓ Pautas para el ordenamiento territorial (usos del suelo permitidos, incompatibilidades, capacidad de carga, etc.)
- ✓ Pautas para el manejo del agua (usos incompatibles, etc.)
- ✓ Pautas para el manejo del bosque: sectores a preservar, riesgos asociados a su afectación, etc.)
- ✓ Recomendaciones relativas a la preservación del bosque en zonas de protección de cuencas.
- ✓ Recomendaciones relativas a las prácticas de protección de cauces y márgenes de cursos de agua.
- ✓ Recomendaciones normativas
- ✓ Recomendaciones sobre estudios básicos a ejecutar.
- ✓ Recomendaciones para el manejo de LWD.
- ✓ Otras recomendaciones que se consideren pertinentes.

En gran medida, el establecimiento de estas pautas y recomendaciones requiere de una previa **ordenación hidrológico-forestal** de ambas cuencas con un sentido integrador; que tenga en cuenta que en su estado natural (antes de ser afectadas por cualquier intervención) en dichas cuencas existía (aún existe en la cuenca del Hambre) unas relaciones suelo-agua vegetación, que responden a las condiciones ecológicas de la cuenca y que son los responsables de mantener las disponibilidades hídricas en buen estado. Este puede ser la primera actuación a abordar para ambas cuencas.

**Documentos consultados:**

**Collado L.** (2001) Los Bosques de Tierra del Fuego. Análisis de su estratificación mediante imágenes satelitales para el inventario forestal de la Provincia, *Multequina* Vol. 10, pp. 1-16. ISSN 0327-9375.

**Iturraspe R., Urciuolo A.**, (2000) Clasificación y Caracterización de las Cuencas Hídricas de Tierra del Fuego, *Actas del XVIII Congreso Nacional del Agua*, Santiago del Estero, Argentina.

**Puigdefábregas J., del Barrio G. y Iturraspe R.** (1988) Régimen térmico estacional de un ambiente montañoso en la Tierra del Fuego, con especial atención al límite superior del bosque, *Pirineos* (132), pp. 37-48, Inst. Pirenaico de Ecología, Consejo Sup. de Investigaciones Científicas, Jaca, España.

**Rabassa J., Bujalesky G., Meglioli A., Coronato A, Gordillo S., Roig C. y Salemme M.** (1992) The Quaternary of Tierra del Fuego, Argentina: the status of our knowledge. *Sveriges Geologiska Undersökning*, Ser. Ca. 81, pp. 249-256, ISBN 91-7158-518-4

**Roig, Fidel** (1988) La vegetación de la Patagonia,. *Flora Patagónica*, INTA. Colección Científico T. VIII, Vol. I.

**Urciuolo A., Iturraspe R.** (2005) Ordenamiento hídrico de las cuencas de fuentes aptas para provisión de agua potable a la ciudad de Ushuaia, *Actas del XX Congreso Nacional del Agua*, Mendoza, Argentina

## **5.5. Investigaciones efectuadas en un conjunto de parcelas y pequeñas cuencas experimentales situadas en una zona de alta producción forestal de Chile.**

Información aportada por: **Andrés Iroume; Jorge Gayoso; Sylvana Gayoso**  
Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Valdivia, Chile.

### **5.5.1. El enfoque principal bajo el que se entiende el análisis de las investigaciones**

En Chile el área objeto de estudio no se limita al territorio definido por una cuenca hidrográfica, sino en superficies concretas destinadas a la producción de madera; se trata por tanto de fincas o propiedades más o menos extensas que pueden estar inconexas, aunque el efecto de las prácticas forestales que en ellas se realizan, no cabe duda que repercute en la hidrología de las cuencas en las que las mismas se ubican. Por lo tanto, el análisis del uso del suelo en estas áreas, aunque no represente un estudio integral a nivel cuenca, si puede aportar una información aprovechable para establecer el comportamiento del suelo y del agua en superficies con diferentes cubiertas forestales. Por tanto, no se plantea una restauración hidrológico-forestal sensu estricto, sino un modelo de gestión para el mejor aprovechamiento del suelo-agua-bosque.

A pesar de las diferencias entre el contenido del presente apartado y el de los cuatro apartados anteriores, se tratará de encauzar su esquema expositivo de un modo similar.

Las prácticas de manejo forestal que se comentan en este epígrafe, están dirigidas mayormente al ámbito de los caminos forestales, al aprovechamiento o extracción de madera, a la habilitación y preparación de los terrenos, al uso y aplicación de los productos químicos y el manejo de campamentos, bodegas y residuos. Todas ellas más ligadas a la certificación forestal de los productos que se obtienen de estas áreas por la actividad privada, que a una política de cuenca ejercida por la administración pública competente. No obstante algunas de las medidas consideradas pueden influir a nivel de cuenca en la mitigación de los eventos extremos, como es el caso de la prohibición de sustitución del bosque nativo, la obligatoriedad de contar con un plan de manejo para poder intervenir en las áreas forestales y la de reforestar las áreas intervenidas.

### **5.5.2. Características físicas de la zona de estudio**

En este caso no cabe hacer una descripción de un área concreta, como ocurre en los casos del resto de participantes L. A., en donde se han definido las respectivas cuencas hidrográficas objeto de análisis, sino adoptar como ámbito de estudio todo el territorio chileno ocupado por plantaciones forestales.

### **5.5.3. Comportamiento previsible de las zonas de estudio ante eventos torrenciales, tanto ordinarios como extraordinarios**

En la presente situación, al no centrarse en una cuenca específica, la problemática se generaliza, en el sentido de que se admite que los eventos torrenciales afectan a todo el territorio; pero asimismo el análisis se reduce, al considerar únicamente el comportamiento de un determinado uso del suelo, las explotaciones forestales, ante dichos eventos.

En Chile la zona más afectada por los eventos torrenciales extremos es la comprendida entre la región V y la X, por ser donde se concentra la mayor cantidad de población y el mayor

desarrollo industrial. Aunque en ocasiones se hayan reconocido algunas desgracias personales, debido a las circunstancias, intensidad y características del fenómeno extremo; el mayor número de daños son materiales (infraestructura vial, viviendas, cultivos, ganado, bienes personales, pérdida de calidad de las tierras de cultivo, etc.). La frecuencia ha aumentado en los últimos años y se constatan del orden de tres eventos de importancia anualmente, frente a las décadas anteriores en las que se registraba un promedio de un evento cada dos años. Este incremento no parece que se deba a un aumento generalizado de las precipitaciones, sino a una mayor presencia del fenómeno *El Niño*.

En los últimos años se ha comentado insistentemente en que, para cuencas de gran superficie el mayor o menor porcentaje de cobertura forestal no parece influir en la frecuencia de los eventos extremos causantes de daños; lo que es cierto tanto en lo que se refiere al origen de las precipitaciones, como a la formación de los caudales de avenida; pero no es totalmente cierto en lo relativo a los daños, porque si bien es verdad que las superficies forestales, una vez saturadas de agua, no son capaces de retener más precipitaciones; esto no impide para que puedan influir en que las avenidas circulen con menor carga de sedimentos en suspensión, al limitar la velocidad de circulación de la lámina de escorrentía.

### **5.5.4. Utilización del suelo en la zona de estudio**

Se trata de terrenos destinados a repoblaciones forestales, en cualquiera de sus fases del ciclo productivo, desde la plantación hasta el aprovechamiento (o explotación) final de la madera.

### **5.5.5. Diagnóstico de los efectos causados por los eventos extremos e influencia de las plantaciones forestales en su control**

La percepción pública en los últimos años indica un agravamiento de los daños ocasionados por los eventos torrenciales, lo cual se podría deber a una mayor ocupación de los terrenos en las áreas bajas o dominadas y a unas insuficientes infraestructuras de evacuación de los flujos de avenida en las ciudades importantes.

Los problemas causados por la erosión y la sedimentación se consideran también daños ocasionados por los eventos extremos y afectan a 34,5 millones de hectáreas.

Es importante tener en cuenta que la mayoría del caudal para el abastecimiento de la población se capta de los cursos de agua, por lo que el arrastre de sedimentos afecta directamente a los parámetros de calidad del agua y su posterior sedimentación afecta a la eficiencia de las infraestructuras destinadas a su control y regulación. Todo esto sin tener en cuenta la incidencia que pueda ocasionar en la biodiversidad del medio acuático y ribereño.

Las precipitaciones en Chile no son tan intensas como las tormentas tropicales (no sobrepasan los 150 a 200 mm/día). A pesar de ello provocan frecuentes crecidas e inundaciones, registrándose además movimientos de tierra en laderas como consecuencia de precipitaciones prolongadas que saturan los suelos. La zona más afectada es la comprendida entre las regiones V y X, como ya se ha comentado, debido a su densidad de población y a la creciente ocupación de los terrenos dominados. Este desarrollo social no ha ido acompañado de una política y de una planificación de prevención ante estos eventos, lo que ha ocasionado que el riesgo de daños aumente.

## PARCELAS EN ZONAS DE ALTA PRODUCCIÓN FORESTAL (CHILE)

En la zona norte, a pesar de que las lluvias no superan los 10 o 20 mm anuales, se presentan inundaciones, destrucción de viviendas y avalanchas, debido fundamentalmente a la naturaleza del material constitutivo de los cerros y a la inadecuada infraestructura existente en la zona. Mientras que en la zona sur las precipitaciones anuales pueden superar los 2000 mm y en las cordilleras sobrepasan ampliamente los 4000 mm. A lo largo del siglo XX se ha registrado un descenso de las precipitaciones medias, pero en cambio han aumentado los valores de intensidad.

Centrándonos en los problemas ambientales, uno de los principales es la erosión del suelo en determinadas zonas del país, resultado de un proceso gradual que comenzó con la desaparición del bosque nativo, para dedicar sus tierras a fines agrícolas y ganaderos; un aprovechamiento excesivo y un cierto desconocimiento de las labores de manejo y conservación de suelos, derivó finalmente en un severo proceso de erosión desde principios del siglo XX hasta el presente. Si a esto se une el incremento de las intensidades de precipitación y la textura fina altamente erosionable de los suelos, llegamos a la dramática realidad de la erosión de suelos en algunas zonas de Chile.

La cubierta vegetal protege al suelo de la erosión hídrica laminar o en regueros e incluso en barranqueras y pequeños deslizamientos de tierra superficiales; pero resulta poco o nada eficiente con los deslizamientos de fondo, aunque no sean estructurales. Sin embargo, hay una gran labor que realizar en este sentido, del que puede obtener beneficios importantes. En las superficies afectadas por las operaciones de tala rasa (Figura 4.7, izquierda), una acertada planificación de los rodales de corta puede disminuir sensiblemente la erosión del suelo.

A pesar de la reconocida contribución de las plantaciones forestales en la reducción de la erosión, la recuperación de la fertilidad en los suelos degradados, al balance del ciclo del carbono y las diferentes estrategias voluntarias que se han implementado en las operaciones forestales, persiste cierta incertidumbre sobre la efectividad de algunas prácticas. En general se responsabiliza al desarrollo de obras de infraestructura y del manejo forestal de la mayor parte de la producción de sedimentos en una cuenca (Figura 5.8, derecha), aunque los suelos desnudos y los cultivos tradicionales son los que presentan la mayor tasa de pérdida de suelos. Esto nos lleva a considerar la necesidad de desarrollar prácticas que mitiguen sus efectos negativos cuando se presentan eventos extremos.



Figura 5.8. Izquierda: Corta a tala rasa que afecta a una superficie importante a nivel de cuenca. Derecha: Producción de sedimentos debido a unas operaciones de extracción de la madera sin controles adecuados.

### 5.5.6. Plan de actuaciones a corto, medio y largo plazo

Lo que se pretende con el plan de actuaciones es perfeccionar los sistemas silvo-culturales y de aprovechamiento o extracción de los productos forestales, para conseguir la plena compatibilidad con los objetivos de una ordenación forestal sustentable. En Chile existen dos estándares relevantes, dentro del marco del Manejo Forestal Sustentable, para la conservación y ordenación sostenible de los bosques templados y boreales objeto de aprovechamiento; Los principios del Forest Stewardship Council (ICEFI-FSC) y la iniciativa nacional CERTFOR desarrollada por el Estado y la participación de las empresas forestales y definidas por consenso.

El énfasis de los estándares de manejo forestal está en tratar de asegurar que las actividades silvo-culturales, incluyendo la extracción de la madera, preparación del monte (lugar de la plantación) y la construcción de caminos, sean realizadas de forma cautelosa, principalmente en lo referente a la conservación de los recursos suelo y agua.

El estándar nacional CERTFOR se basa en nueve principios fundamentales, que se desarrollan en forma de Criterios. Estos Criterios se verifican en el terreno a través de indicadores que son evaluados por equipos de auditores. Los nueve principios son (en forma resumida):

PRINCIPIO 1: Hay que conseguir un flujo sostenido de productos y servicios.

PRINCIPIO 2: Proteger los ecosistemas nativos y minimizar los impactos sobre ellos.

PRINCIPIO 3: Proteger los recursos forestales.

PRINCIPIO 4: Conservar y mejorar los recursos suelo y agua.

PRINCIPIO 5: Respetar los derechos, usos y costumbres de las comunidades aledañas.

PRINCIPIO 6: Respetar acuerdos, compromisos y derechos legalmente establecidos, así como tener en consideración a las etnias originarias.

PRINCIPIO 7: Respetar los derechos de los trabajadores.

PRINCIPIO 8: Respetar las leyes Chilenas y los convenios y tratados internacionales.

PRINCIPIO 9: Evaluar el grado de cumplimiento de estos Principios.

Los principios en los que se apoya el FSC son similares a los anteriormente descritos.

Las Mejores Prácticas de Manejo (BMP) son un conjunto de medidas operativas para reducir los impactos negativos de las actividades forestales, especialmente sobre el suelo y el agua. Estas medidas deben ser eficientes económicamente, efectivas desde un punto de vista ambiental y aceptadas socialmente.

En esta línea de trabajo se enmarcan:

*Código de Prácticas Forestales para Chile* (OIT-Corma, 1997). Este código se mantiene como referencia en los estándares, pero ha sido superado por estos mismos y por las prácticas actuales.

*Manual de campo de las Mejores Prácticas de Manejo Forestal* (Gayoso & Acuña, 1999). Este manual fue propuesto por el Programa de Producción Forestal y Medio Ambiente de la Universidad Austral de Chile. El manual cubre la preparación del monte (lugar de la plantación), la extracción de la madera, los caminos forestales, el transporte forestal y el manejo de los combustibles, químicos y residuos. Se validó mediante consulta y

observaciones directas en el terreno. En algunos casos las recomendaciones pueden parecer demasiado rigurosas, pero hay que tener en cuenta que son unas orientaciones que dejan margen al juicio profesional en la toma de decisiones.

***Guías expertas de manejo forestal sustentable.*** Están siendo desarrolladas como un puente de capacitación a la certificación de estándares de desempeño, por lo que integran aspectos ambientales, sociales y económicos.

Es importante destacar que las medidas son aplicables y verificables a escala de unidad de manejo forestal y no a escalas territoriales mayores o de cuenca, de tal forma que no se reconocen medidas que podrían mitigar las crecidas, inundaciones o avalanchas generadas por eventos extremos. Sin embargo, las medidas en cuestión pueden ayudar a prevenir la erosión y evitar la sedimentación en los cauces debidos a dichos eventos.

Las mayores carencias se refieren al tamaño en superficie del método de extracción de madera más agresivo, es decir de la tala rasa; el diseño de franjas ribereñas; los niveles de cambio permitido en la alteración del suelo; la densidad límite de plantación en zonas con déficit hídrico; edad de rotación y normas secundarias de emisión para agua. También es importante reseñar la falta de un vínculo que obligue, que no asegure la consecución de los objetivos que se plantearon a la hora de elaborar estas guías.

Dada la dificultad que supone promover medidas al nivel de cuenca patrocinadas por la administración pública, se han dirigido los esfuerzos hacia una actuación con enfoque marginalista, en la que se intente llegar a unos objetivos de control proyecto a proyecto. Esta línea requiere un compromiso vinculante con los estándares certificables, como mecanismo para asegurar su cumplimiento; así como la incorporación participativamente en su desarrollo y diseño a todos los interesados. Por esta razón es importante llegar a acuerdos con los desarrolladores de los dos estándares vigentes e ir incorporando también al sector público de la administración forestal.

### **Documentos consultados:**

**Gayoso J. & Gayoso S.** (2005) Revisión de las mejores prácticas de manejo forestal y su relación con la mitigación de los efectos de eventos hidrológicos extremos en el caso de Chile, Universidad Austral, Valdivia, Chile, pp. 14.

**Gayoso J. & Gayoso S.** (2005) Eventos Extremos: Revisión del caso de Chile, Universidad Austral, Valdivia, Chile, pp. 33.

**Gayoso J. & Gayoso S.** (2005) Marco político para la mitigación de las consecuencias de los eventos extremos: Conservación de los recursos Agua y Bosque en el Caso Chileno, Universidad Austral, Valdivia, Chile, pp. 42.