



LA DEGRADACIÓN DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Aníbal Rosales H. y Pedro García M.

Caracas, 28 de mayo de 2015

Foro "Seguridad Energética: Amenazas a la Generación Hidroeléctrica en Venezuela"

LA CUENCAS HIDROGRÁFICAS Y SU DEGRADACION

Aníbal Rosales y Pedro García

Este documento forma parte de una serie de cuatro documentos derivados de igual número de presentaciones realizadas en el Foro “Seguridad Energética: amenazas a la generación hidroeléctrica”, organizado por el Grupo Orinoco de la Fundación Konrad Adenauer, en Caracas, el día 28 de mayo de 2015.

En las presentaciones previas a la que genero este documento, a saber “Generación hidroeléctrica y termoeléctrica en Venezuela: la necesidad de un balance deseable” del Ing. Cesar Quintini Rosales, y “El potencial hidroeléctrico nacional” del Ing. Jesús Gómez, se evidencio la importancia de la hidroelectricidad en Venezuela, alcanzando más de 65 % de la generación eléctrica nacional. También que la generación hidroeléctrica es un proceso dependiente del agua que se capta en las cuencas hidrográficas que tienen potencial hidroeléctrico. Con la presentación “Incertidumbre en la producción de agua: efectos del cambio climático en la generación hidroeléctrica” del Ing. José Migue Pérez Godoy, igualmente, nos percatamos que la producción de agua que mueve las turbinas generadoras de electricidad, lleva consigo un nivel de incertidumbre asociado a la variabilidad climática, que con algún grado, se ha hecho sentir en el país en varias oportunidades.

Si a esta situación se le agrega el nivel de degradación o deterioro que presentan los espacios de captación, almacenamiento y entrega de agua, que son las cuencas hidrográficas, el cuadro tiende a complicarse, y la “seguridad energética”, en lo que concierne a hidroelectricidad, se ve comprometida en el corto, así como en el mediano y largo plazo. El cuadro se dramatiza, como está sucediendo en estos tiempos, cuando las organizaciones responsables de la conservación y protección de las cuencas hidrográficas, especialmente las que tienen potencial hidroeléctrico, llámense Ministerio de Ecosocialismo y Agua; o Ministerio de Energía Eléctrica o Corpoelec, están en un nivel muy bajo o nulo de efectividad en la gestión integral de cuencas. Esencialmente, este documento, en el contexto del Foro realizado, aborda el tema de la degradación de las cuencas, y cómo esto afecta la seguridad energética.

Los autores del documento han adoptado un enfoque pedagógico sobre las cuencas hidrográficas y la significación de su degradación, convencidos de la necesidad de la divulgación de este conocimiento básico en personas interesadas en el tema. El documento está basado en la presentación en laminas realizada en el Foro

CUENCAS HIDROGRÁFICAS: CONCEPTOS BASICOS

Son áreas con límites topográficos definidos que conforman un espacio común de drenaje de aguas, que fluyen través de un curso de agua (o una red) que confluye con otros cursos de agua de mayor carácter, y que desemboca en un río de jerarquía superior, lago o en el mar. La Figura N° 1 muestra una cuenca con límites topográficos

definidos y un curso de agua principal que desemboca en un río de jerarquía superior. El agua que precipita sobre una cuenca escurre siguiendo el sentido de las pendientes, y si lo hace sobre la superficie del suelo, se le denomina escurrimiento superficial, mientras que si penetra en el suelo, y escurre por el subsuelo se le llama escurrimiento subsuperficial.

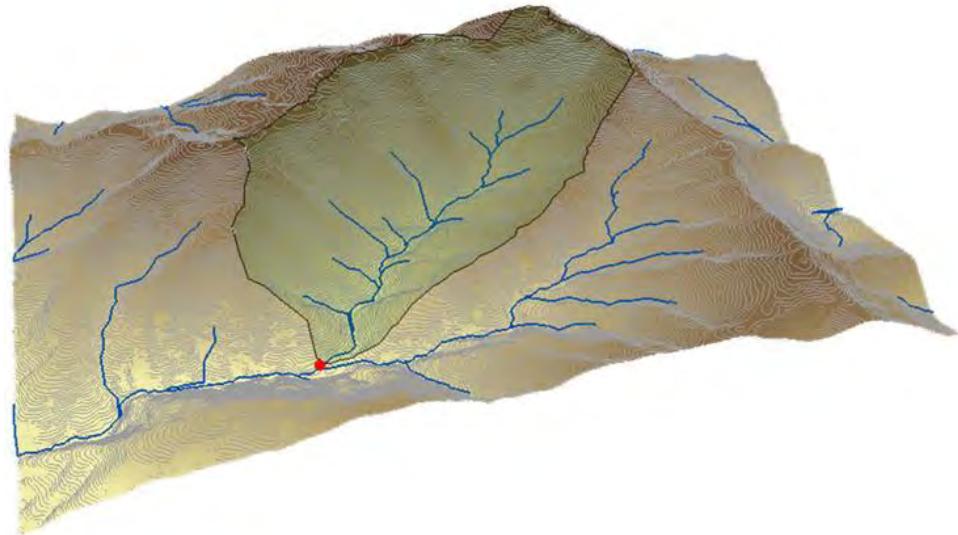


Figura N° 1. Modelo de una cuenca hidrográfica

Diversidad de cuencas

Una cuenca, desde la perspectiva físiconatural, constituye una unidad funcional – un sistema hidrológico y ecológico- donde interactúan componentes bióticos y abióticos, y donde se dan combinaciones particulares de tales componentes, como el clima, la geología, el relieve, los suelos, con la vegetación y la fauna silvestre. La diversidad de combinaciones de los componentes determina las diferencias entre las cuencas, la capacidad de provisión de servicios ambientales fundamentales, como por ejemplo producir agua, tal como si fueran verdaderas factorías de agua.

A los procesos naturales de las cuencas hidrográficas mencionados se le agregan otros procesos de carácter económico, social, político y cultural, asociados principalmente al poblamiento y a las actividades productivas, ocasionando en algunos casos intervenciones y afectaciones ambientales de diferentes grado, alterando la provisión de los servicios ambientales.

Sectores de las cuencas

Las cuencas usualmente se sectorizan en cuencas altas, medias y bajas, tal como se muestra en la Figura N° 2.



Figura N° 2. Sectores de las cuencas

Cada sector de la cuenca tiene sus características particulares con potencialidades y limitaciones según los propósitos de su aprovechamiento. Las cuencas bajas usualmente tienen tierras planas, con buena aptitud para la agricultura, aun cuando eventualmente están sujetas a inundaciones. Las cuencas bajas no se inundan pero están amenazadas por movimientos en masa, según la geología, las pendientes y la cobertura vegetal.

La red de drenaje en las cuencas

La red de drenaje en las cuencas puede ser más o menos compleja. Las corrientes o ríos individuales tienen un orden jerárquico tal como se muestra en la Figura N° 3. Dependiendo de las características del sustrato geológico, el relieve, la cantidad de precipitación y otros criterios asociados, las cuencas desarrollan patrones característicos de patrones de drenaje y complejidad. La Figura N° 3 muestra una red de drenaje jerarquizada en una cuenca idealizada con hasta 4 niveles jerárquicos de ríos, reflejando la complejidad de la cuenca.

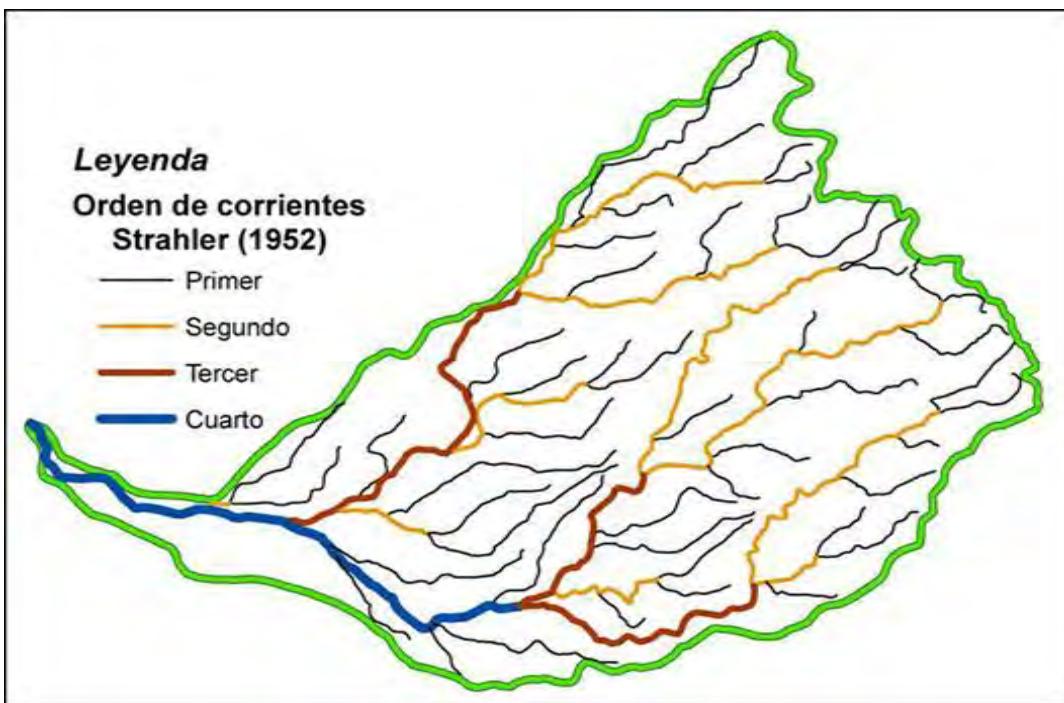


Figura N° 3. Red de drenaje de una cuenca idealizada con varios niveles de ríos superficiales.

El río como un continuo ecológico

Los ríos constituyen conectores ecológicos longitudinales a lo largo de sus cuencas. Se distinguen gradientes a lo largo del curso longitudinal en: pendiente, la velocidad de la corriente, características del lecho del río, caudal, temperatura, carga de sedimentos y turbidez de las aguas, ictiofauna, vegetación acuática, entre otros. Igualmente existe un gradiente ecológico transversal con cambios en los ecosistemas acuáticos y terrestres ribereños, adyacentes al curso de agua. Comprender el funcionamiento ecológico de los ríos implica abordar y estudiar los continuos longitudinales y transversales, y con el conocimiento adquirido, utilizarlo en su conservación y protección integral. La Figura N° 4 muestra secciones longitudinales y transversales de un río, tal como se han mencionado en este párrafo.



Figura N° 4. Secciones longitudinal y transversal de un río

FUNCIONES DE LAS CUENCAS

En las cuencas hidrográficas se realizan tres clases de funciones básicas: hidrológicas, ecológicas y socioeconómicas. Todas son importantes y están interrelacionadas.

FUNCIONES HIDROLÓGICAS DE LAS CUENCAS

Las funciones hidrológicas son: captación de agua, almacenamiento de agua y descarga de agua.

- **Captación de agua.** Se refiere a la colecta del agua precipitada como lluvia sobre la cuenca, o como deshielo de glaciares, y que es conducida directamente como escorrentía superficial, o a espacios (volúmenes) de almacenamiento de agua, por la red de drenaje superficial y subsuperficial. Existen los llamados núcleos de concentración de producción de agua en algunas cuencas hidrográficas, que obviamente deben ser objeto de mayor atención en su conservación, especialmente en aquellas de aprovechamiento hidroeléctrico. La Figura N° 5 muestra algunos de tales núcleos en la cuenca del río Caroní en el sur del país.

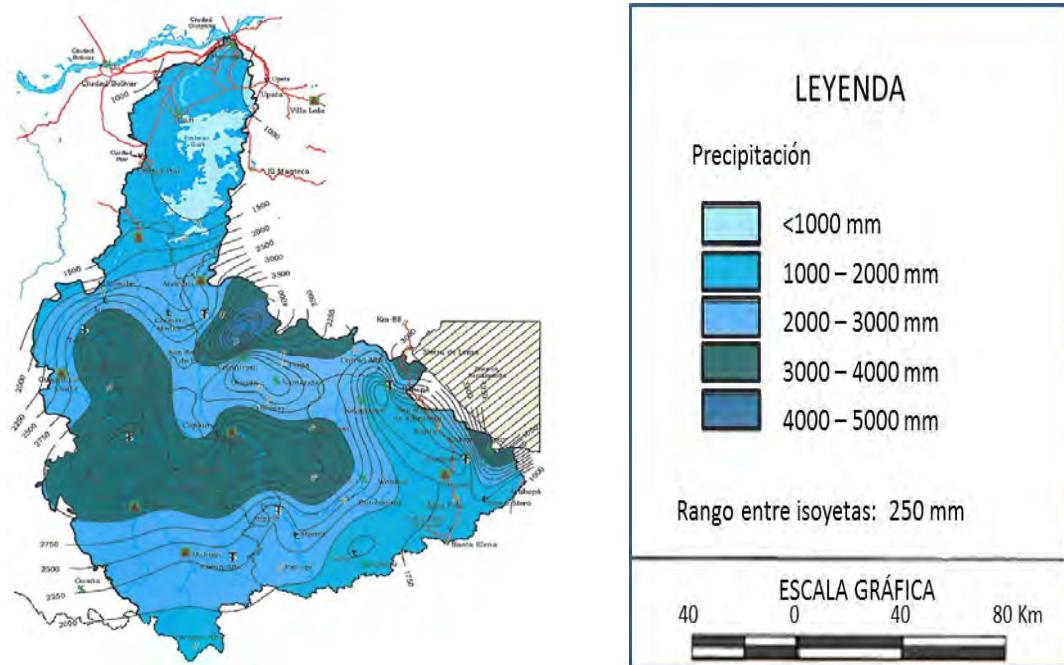


Figura N° 5. Núcleos de concentración de precipitación en la cuenca del río Caroní.

- **Almacenamiento de agua.** Es una de las más importantes funciones de las cuencas hidrográficas. Se manifiesta por el efecto de los denominados “almacenes de agua”, que esencialmente son los suelos, la vegetación, los acuíferos. Mediante estos mecanismos las cuencas atenúan la energía asociada a la entrega usualmente irregular, y muchas veces repentina, del agua captada de la precipitación.

Los suelos constituyen los “almacenes” temporales por excelencia del agua que se capta en las cuencas hidrográficas ya que constituyen una especie de “esponjas” que mantienen el agua que se infiltra en sus espacios porosos. La Figura N° 6 presenta un volumen de suelo con horizontes (capas) que varían desde la superficie (horizontes oscuros) hasta horizontes profundos que podrían constituir sus materiales parentales; la capacidad de retención de agua de estos horizontes varía con sus características y espesores, por ejemplo los horizontes superiores que usualmente contienen mayor contenido de materia orgánica retienen mayor cantidad de agua.

Es evidente que el suelo ocupa un rol central en el funcionamiento hidrológico de la cuenca ya que no solo almacena sino que regula la “entrega” del agua que alcanza la red de drenaje natural. Se comprende que la conservación de los suelos en las cuencas hidrográficas es imprescindible, y por lo indicado en esta sección, se trata no solo de suelos sino también de conservación de aguas.

Varios factores afectan la capacidad de almacenamiento de agua en las cuencas hidrográficas; la erosión de suelos es quizás el más importante, al reducir esa capacidad. La Figura N° 7a muestra con líneas blancas profundidades idealizadas de erosión; la Figura N° 7b muestra en la secuencia idealizada, las consecuencias en la reducción del volumen de almacenamiento de agua de acuerdo a la intensidad del proceso erosivo de la Figura N° 7a. La producción de sedimentos por erosión de los suelos y su transporte aguas abajo constituye la mayor amenaza a la sustentabilidad de los embalses, para su aprovechamiento múltiple, desde generación de hidroelectricidad hasta abastecimiento de agua a poblaciones.

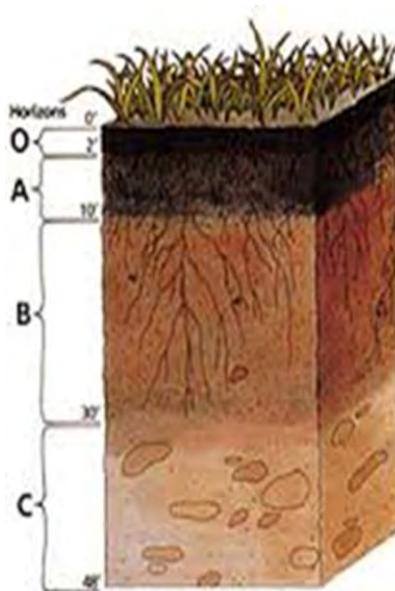


Figura N°6. Volumen de suelo que actúa como una “esponja” en cuyo espacio poroso se almacena el agua infiltrada

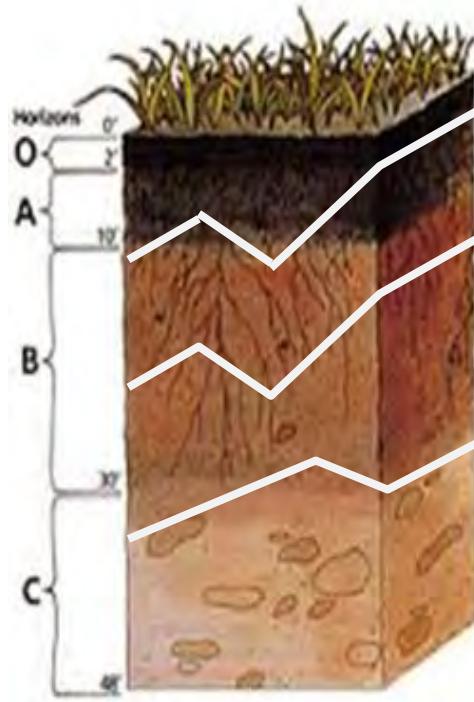


Figura N° 7a. Volumen de suelo que muestra niveles idealizados de profundidad de erosión, reduciendo la capacidad de almacenamiento de agua.

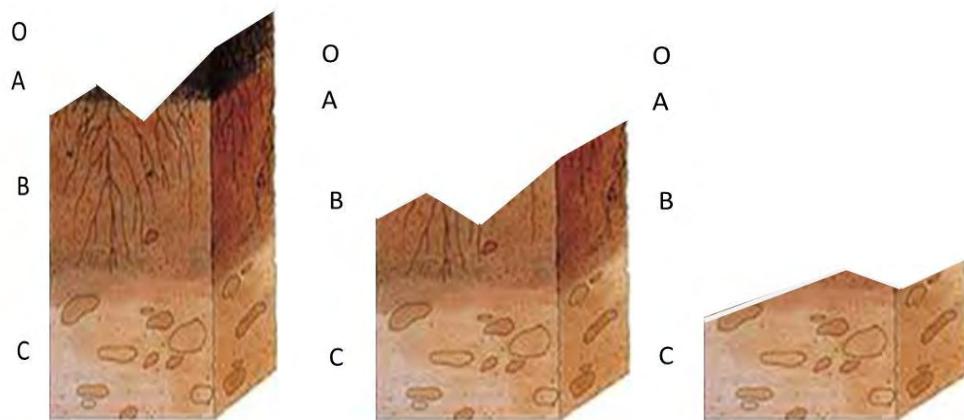


Figura N° 7b. Secuencia de suelos cuya capacidad de almacenamiento de agua se ha reducido debido a la diferente intensidad de la erosión, tal como se muestra en la Figura N° 7a.

- **Descarga de agua.** Se refiere al proceso de “entrega” del agua captada y temporalmente almacenada en la cuenca. La degradación de los “almacenes de agua” en las cuencas afecta las descargas, generando usualmente impactos ambientales adversos aguas abajo.

FUNCIONES ECOLOGICAS DE LAS CUENCAS

- **Provisión de hábitats de fauna acuática y terrestre.** Las cuencas hidrográficas contienen una multiplicidad de hábitats de vida silvestre terrestre y acuática debido a la variabilidad espacial de sus componentes bióticos y abióticos. La conservación de la cuenca en su integralidad no solamente se refiere a la conservación de suelos y aguas, sino que también incluye la conservación de esa enorme diversidad biológica y de hábitats.
- **Los bosques en las cuencas hidrográficas.** Relevancia especial en el funcionamiento ecohidrológico de las cuencas hidrográficas tienen los ecosistemas dominados por formaciones boscosas. Los bosques ribereños o de galerías, usualmente en ambas márgenes de los cursos de agua cumplen un rol muy importante al cumplir funciones ecológicas relevantes, como son: áreas de amplia biodiversidad, hábitats de fauna, regulación y atenuación del flujo de las aguas superficiales, protección de las márgenes de los ríos y conectores ecológicos en los diferentes tramos de la cuenca. Cualquier programa de rehabilitación de cuencas debe darle máxima prioridad a los ecosistemas de bosques de galerías, por su significación ecológica e hidrológica.

FUNCIONES SOCIOECONOMICAS DE LAS CUENCAS

Además de los servicios ambientales y ecológicos que suministran las cuencas hidrográficas, sus funciones socioeconómicas son de una importancia capital para la sociedad. Ejemplo de ello se tiene en las múltiples cuencas hidrográficas de la región andina del país, en donde son evidentes las siguientes funciones básicas:

- Provisión de espacios agrícolas con exigencias agroclimáticas específicas.
- Provisión de espacios para asentamientos humanos, por la existencia de condiciones climáticas y de salud favorables.
- Provisión de sitios para el emplazamiento de obras de aprovechamiento hidráulico, con fines múltiples, como son los embalses.
- Provisión de espacios con recursos escénicos naturales para el turismo y la recreación.

LA DEGRADACIÓN DE LAS CUENCAS HIDROGRAFICAS

Se refiere al deterioro, de origen natural o antrópico, de sus recursos naturales, que afecta y disminuye las funciones básicas de las cuencas. La degradación de las cuencas tiene consecuencias negativas que afectan a sus pobladores, e incluso a los pobladores extra-cuenca que se benefician de sus servicios. El deterioro se manifiesta entre otros efectos como:

- Alteración de los mecanismos naturales que regulan el flujo de agua.
- Desmejora significativa de la calidad del agua aprovechable.
- Pérdida del valor ecológico de sus espacios naturales y humanizados.
- Afectación de las funciones socioeconómicas.

CLASES DE ACCIONES DEGRADANTES DE LAS CUENCAS

- **Cambio de uso de la tierra**

Se refiere a los cambios de usos de la tierra sustentables y de gran valor ecológico, en otros usos de poca o ninguna sustentabilidad; por ejemplo, estas acciones se vienen sucediendo en las regiones andinas, donde ecosistemas valiosos para la captación y almacenaje de agua, como los bosques nublados y los ecosistemas de paramos, en las cuencas altas, se han venido sustituyendo por potreros para ganadería extensiva, degradantes de los suelos y socialmente insustentable, y sembradíos de papa y zanahoria, degradando con agroquímicos esas regiones alto andinas, respectivamente. La Figura N° 8 muestra dos facetas de cambio de uso de la tierra en cuencas con efectos degradantes que tendránemergerán con el tiempo; un bosque nublado siendo suplantado por potreros y vegetación protectora de laderas muy pendientes (100 %) sustituida por cultivo de zanahorias !!.

- **La deforestación**

Venezuela es uno de los países con la mayor tasa de deforestación. Se estiman 288.000 ha/año, lo que significa una tasa de 0,6%/año. La región de Venezuela más afectada por la deforestación está en el norte del río Orinoco, con solo 20% de la cobertura boscosa y 94% de la población. Es quizás uno de los mayores problemas ambientales del país por sus efectos sobre el comportamiento hidrológico de las cuencas hidrográficas al promover la erosión de suelos y movimientos en masa, y la pérdida de biodiversidad y hábitats de fauna silvestre. La Figura N° 9 muestra un caso dramático de pérdida de bosques y exposición del suelo desnudo al impacto de las gotas de lluvia. Obviamente, las deforestaciones están estrechamente asociadas a cambios en el uso de la tierra.

- **La minería ilegal.**

Es igualmente uno de los mayores problemas ambientales del país, especialmente en las cuencas hidrográficas del sur del territorio, tal como la del río Caroní. La actividad minera de superficie (ilegal) trae consigo efectos degradantes en los ecosistemas, al realizar deforestaciones intensas y remoción de suelos mediante monitores hidráulicos de alta potencia. Las Figuras N° 10 y 11 muestran los impactos ambientales que ocasionan las actividades mineras en la cuenca del Caroní; es importante señalar que actualmente la minería de oro y diamante ilegal en esta zona tiene un alta intensidad. La gran cantidad de sedimentos que alcanza el lago Guri ya es evidente en las áreas de la cola del embalse.



Figura N° 8. Cambios extremos de uso de la tierra en (i) la imagen de la izquierda, la cuenca del río Santo Domingo (subcuenca Aracay) donde vegetación arbórea ha sido sustituida por cultivo, y (ii) en la imagen de la derecha, donde un sector de bosque nublado esta siendo sustituido por potreros



Figura N° 9. Bosque prístino comenzando a ser eliminado por la deforestación incontrolada

- **La minería ilegal.**



Figura N° 10. Impactos sobre los suelos por acción de monitores hidráulicos en la cuenca del río Caroní.



Figura N° 11. Impactos generalizados por actividad minera ilegal de oro y diamante en las adyacencias del embalse de Guri (Cuenca del río Caroní).

- **Incendios de vegetación.**

Constituyen una causa natural y antrópica importante de la perdida de vegetación, especialmente boscosa protectora, que trae consigo pérdida de biodiversidad y hábitats de fauna, durante la estación de sequía (verano) de cada año, principalmente en el norte del país.



Figura N° 12. Incendios de vegetación recurrentes en las orillas del embalse Tucupido en el estado Portuguesa.

- **Movimientos en masa.**

Son movimientos masivos de materiales de suelos, rocas, piedras, vegetación, construcciones (si fuera el caso), que se desprenden o deslizan por acción de la gravedad y el agua, desde las vertientes montañosas, usualmente con suficiente pendiente, material de suelo poco cohesivo, geología con formaciones fracturadas y fallamientos, y agua proveniente de lluvias intensas y prolongadas. Aportan grandes cantidades de sedimentos y materiales gruesos que se incorporan a cauces y reservorios de agua, contribuyendo a su colmatación temprana. En muchos casos ocasionan tragedias humanas en aquellas cuencas o sectores ocupados con cierta densidad de población. La Figura N° 13 muestra resultados de movimientos en masa que frecuentemente ocurren en las áreas montañosas del país.



Figura N° 13. Movimientos en masa en áreas montañosas andinas venezolanas.

- **Contaminación de suelos y aguas por agroquímicos.**

Las tierras de las cuencas altas y medias de las cordilleras y montañas en el país tienen en muchos casos condiciones de clima y suelo propicios para cultivos como las hortalizas y algunos frutales de piso alto. Las prácticas agrícolas convencionales de estos sistemas de cultivos incluyen aplicaciones de altas dosis de diferentes agroquímicos, especialmente insecticidas, para combatir las plagas. Los productos tóxicos pueden incorporarse a los suelos y ser transportados por las aguas de escorrentía superficial y subsuperficial a los cursos de agua o persistir en los suelos y afectar la flora microbiana, finalmente contaminando las aguas y suelos. Enfoques conocidos en la agricultura de estos cultivos son necesarios implementar, tal como la denominada agricultura orgánica, mediante el uso de productos inocuos al ambiente, a los productos cosechados y a las personas.



Figura N° 14. Aplicación de agroquímicos en cultivos hortícolas de la región andina venezolana.

- **Producción de sedimentos y colmatación de embalses.**

En otros acápite de este documento se han mencionado los procesos generadores de sedimentos en las cuencas hidrográficas, destacando la erosión de suelos y los movimientos en masa. También se han mencionado las consecuencias en términos de la colmatación anticipada de los embalses, que en algunos casos en el país, ya se han perdido completamente. No hay otro mejor indicador que revele el fracaso o la ausencia de gestión de cuencas, que la colmatación y pérdida prematura de un embalse. La Figura N°15 muestra datos (imagen) de 10 embalses en el país que han o están aun sufriendo procesos intensos de colmatación por sedimentos provenientes de sus respectivas cuencas.

Embalse	Río	Estado	Área de la cuenca (km ²)	Tiempo de operación (Años)	Retención de sedimentos m ³ /km ² /año		Relación Real/Proyecto
					Proyecto	Real	
Agua Viva	Motatan	Trujillo	4.200	9 (1993-2002)	1.569	724,87	0,46
Cumaripa	Yaracuy	Yaracuy	435	18 (1971-1989)	165	5.573,44	33,78
				20 (1971-1991)	165	3.939,08	23,87
				28 (1971-1999)	165	2.463,05	14,93
El Guamo	Guarapiche	Monagas	582	19 (1979-1998)	172	2.712,0	15,77
El Pilar	Caratal	Sucre	43	35 (1965-2000)	232	1.528,24	6,59
Guanapito	Orituco	Guárico	180	32 (1963-1995)	167	1.284,72	7,69
Guaremal	Guaremal	Lara	72	14 (1971-1985)	1.067	2.309,52	2,16 Colmatado 100%
La Honda	Uribante	Táchira	1.323	16 (1983-1999)	783	2.374,34	3,03
Los Quediches	Los Quediches		83	11 (1977-1989)	292	6.605,00	22,62
Manuelote	Socuy	Zulia	509	18 (1975-1993)	785	172,89	0,22
Pedregal	Pedregal	Falcón	1.270	11 (1978-1989)	5.402	11.181	2,07 Colmatado 100%

Figura N° 15. Imagen de una tabla que muestra datos de varios embalses recopilados por el Prof. De Gaspar (UCV), donde indican algunos embalses completamente colmatados y otros en proceso.

LOS DESAFÍOS DE LA GESTIÓN INTEGRADA DE CUENCAS Y RECURSOS HÍDRICOS

La degradación de las cuencas hidrográficas es indudablemente una de las amenazas a la seguridad energética vinculada con la hidroelectricidad; así como lo hemos podido percibir en este documento, asociada a las ya mencionadas de la incertidumbre por las anomalías climáticas de El Niño y los cambios climáticos globales, y las debilidades institucionales de los organismos nacionales responsables de la gestión de cuencas. ¿Qué hacer? ¿Cómo afrontar el desafío de la gestión integral de cuencas? ¿Se pueden revertir los procesos de degradación de cuencas hidrográficas? Son las preguntas pertinentes para el gobierno, particularmente para los responsables de las instituciones oficiales encargadas del ambiente y la generación de electricidad, la sociedad civil y las organizaciones no gubernamentales, y para los ciudadanos preocupados por el ambiente, particularmente por las cuencas hidrográficas.

1. Crear capacidades de gobernabilidad sobre las cuencas para regular y ordenar las intervenciones de los distintos actores con el propósito de minimizar los conflictos: gestión compartida.
2. Crear sistemas de financiamiento continuo para cubrir los costos de todas las actividades de la gestión de cuencas.
3. Aplicar la normativa legal, para regular y controlar las intervenciones de los actores.
4. Elaborar e implementar planes de ordenamiento del territorio de las cuencas (Zonificación).
5. Promover la participación efectiva de la sociedad, de los usuarios de la cuenca y del Estado.

BIBLIOGRAFÍA

Black, P. E. 1997. Watershed functions. Journal of the American Water Resources Association, 33: 1–11. www.watershedhydrology.com/pdf/Functions.pdf

CATIE, 2006. Gestión integral de cuencas hidrográficas. Curso dictado en Cali, Colombia. Documento del curso elaborado por: Jorge Faustino, Francisco Jiménez, Sergio Velásquez, Francisco Alpízar y Cornelis Prins. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. pp.400. [\[intranet.catie.ac.cr/.../Manejo%20de%20Cuenca%20I/.../...\]](http://intranet.catie.ac.cr/.../Manejo%20de%20Cuenca%20I/.../...)

Córdova, J. R. y M. González. 2007. Hidrografía, cuencas y recursos hídricos. Tomo 2. Medio Físico y Recursos Ambientales. Capítulo 14. P. 330-401. Fundación Empresas Polar. Caracas

Dourojeanni, A. 2009. Los Desafíos de la gestión integrada de cuencas y recursos hídricos en América Latina y el Caribe. Santiago de Chile.
https://www.cede.org.ec/.../Los_Desafios_de_la_Gestion_Integrada_de_cuencas

FAO, 2011. Situación de los bosques del mundo. Anexo, Cuadro 2: Extensión de bosques y variaciones en la misma. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. www.fao.org/docrep/013/i2000s/i2000s00.htm.

De Jesús Gaspar, J. J. 2003. Sedimentación de embalses, problemática y soluciones. Situación de los embalses en Venezuela. Trabajo de ascenso. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

USDA-EPA. (2012). Watershed Ecology Modules. Online Training in Watershed Management. Watershed Academy Web. United States Environmental Protection Agency. [cfpub.epa.gov/watertrain/index.cfm]; [water.epa.gov].