

Los Ríos

Particularidades Físicas y Biológicas

Hidrología y Limnología

El principio energético del funcionamiento de los ecosistemas responde a las leyes de la Termodinámica.

Todo lo que ocurre dentro del ambiente acuático responde a estas leyes que se cumplen inaplazable e invariablemente. El hecho de que los niveles de calor determinen las estaciones y las zonas geográficas, y estas a su vez alteren el nivel de presión atmosférica que, con sus desplazamientos nubosos y tipo de precipitaciones, incide directamente en los ambientes acuáticos fluyentes y estancados.

Ríos y embalses lacustres contienen masas de agua fluyente que de acuerdo a caudal y pendiente, tienen mayor o menor cantidad de energía que transferir conforme a factores climáticos estacionales. Y uno de los grandes temas físicos de las aguas corrientes concernido con la actividad humana dentro de las cuencas hidrolacustres, se trata del ingenio aplicado sea al aprovechamiento como a la disipación de esa energía excedente durante crecidas.

El fluir físico de las aguas produce sinnúmero de fenómenos relacionados con la pendiente,

la forma de los cauces que las portan, su permeabilidad, los materiales y su granulometría, los factores climáticos, las velocidades de acumulación, el volumen fluyente y sus tasas de recurrencia correspondientes (de estiaje y crecida).

Estos fenómenos son estudiados por la Ingeniería Hidráulica y la Hidrología, a partir de las cuales se llega a entender su funcionamiento, a punto tal de poder proyectar modelos a escala para su aprovechamiento y control racional.

Desde la construcción de enormes represas y canales, hasta el manejo y conducción mínimas de un riego por goteo; desde la comprensión de su dinámica hasta la capacidad de sistematización de riberas, la Hidráulica y la Hidrología son las ciencias aplicadas al uso del agua, estudiando la física de los fenómenos que ella produce en su fluir.

Sin embargo, no todo termina en el ámbito de la física para el tema de las aguas, ya que en sus modalidades, tanto salada como dulce, el agua es el medio de existencia de millones de especies animadas, todas imprescindibles para el equilibrio metabólico del planeta, muchas de las cuales nos sirven de alimento, o son la base del alimento que ingieren las especies que comemos.

Del mismo modo, en el ámbito químico y biológico, todos los organismos para vivir, cumplen con trabajo cuando dan con vertientes energéticas que puedan ser utilizadas. Estas vertientes están constituidas por la energía química.

Las diversas asociaciones atómicas que constituyen la materia, es retroalimentada por los mismos átomos, entrando en combinaciones y asociaciones nuevas que pueden liberar energía.

En la dinámica de la existencia, los mismos átomos sólo atraviesan trasmutaciones nucleares como la del Hidrógeno en Helio, liberando la energía que viene transmitida a la tierra en forma de ondas electromagnéticas de longitudes variables entre el infrarrojo y el ultravioleta; y de ello depende la vida sobre la tierra.

El proceso clave por medio del cual se logra la producción de material orgánico es representado por una reacción química que ocurre en las plantas verdes: la fotosíntesis.

El anhídrido carbónico, el agua y la energía luminosa, en presencia de la clorofila asociada a un complejo sistema enzimático, se transforman en glucosa que conforma los cuerpos y oxígeno que liberan al ambiente.

La energía ingresa al ecosistema con la conversión de la energía lumínica en energía química, o para usar un término más afín, en "energía alimentaria", la que es retransferida de especie a especie a través de la "red de cadenas alimentarias".

La eficiencia de esta conversión para un área cubierta por plantas en estado vegetativo pleno es del orden del 1%, teniendo en cuenta que la energía luminosa visible utilizada por el pigmento clorofiliano se encuentra en el rango de entre los 400 y 700 nanómetros. Se ha calculado a escala mundial que la pequeña fracción utilizada de energía lumínica produce entre 150 y 200 millones de toneladas en peso seco de material orgánico.

Para mantener la existencia, las plantas que producen materia orgánica generan sus cuerpos consumiendo energía y, al igual que animales y humanos, respiran. La respiración, desde el punto de vista estrictamente biológico, es la reacción química inversa a la fotosíntesis. De hecho, la glucosa ingresada en los alimentos reacciona con el oxígeno liberando anhídrido carbónico y calor. Mucha de la energía acumulada y fijada con la fotosíntesis, es inmediatamente consumida por la planta con la respiración. La parte remanente es utilizada para el crecimiento y la reproducción, quedando un cierto resto de energía potencial alimentaria a disposición de los organismos consumidores.

No obstante que el estudio específico de lagos y de los organismos acuáticos evolucionó hacia la mitad del siglo XVII gracias a B. Varenio y A. Kircher, recién a partir de los estudios y trabajos de F.A. Forel la LIMNOLOGIA (del griego: estudio de lagos) alcanza la dignidad de ciencia en el significado moderno del término.



Pintura digital - Alejandro Barzi

ompeten a la Limnología los estudios relacionados con el agua dulce diseminada sobre la superficie terrestre, como son

los lagos profundos, grandes y pequeños, estanques, embalses, acuíferos y pozos. Como es fácilmente intuible, muchas son las disciplinas científicas que la limnología debe compendiar en una única visión dinámica. La limnología es una ciencia interdisciplinaria que estudia los múltiples aspectos de los fenómenos relativos a los cuerpos de agua, y para ello necesita continuamente recibir apoyo de disciplinas como la geografía, la geología, la hidrología, la meteorología, la física, la química, la botánica, la zoología, la microbiología, la matemática, la informática y principalmente de la fisiología, donde se interpretan los balances metabólicos y las estructuras y funciones que los determinan.

Ambientes Lóticos y Ambientes Leníticos

La Sra. Ecóloga Acuática Irene Rut Wais de Badgen, en su libro "Introducción a la Ecología de Ríos", del Programa de Educación y de Divulgación Científico Técnica en temas Ambientales, PROEDICITTA, enero de 1992, expresa los siguientes conceptos respecto de los ríos:

La limnología, utiliza el léxico de ambientes lóticos para las aguas corrientes superficiales con flujo unidireccional (arroyos y ríos) y el de lénticos o leníticos para aquellos ambientes o espacios donde el agua no corre en tal sentido unidireccional sino que se estanca renovándose más lentamente (lagos, lagunas, humedales, embalses, estanques).

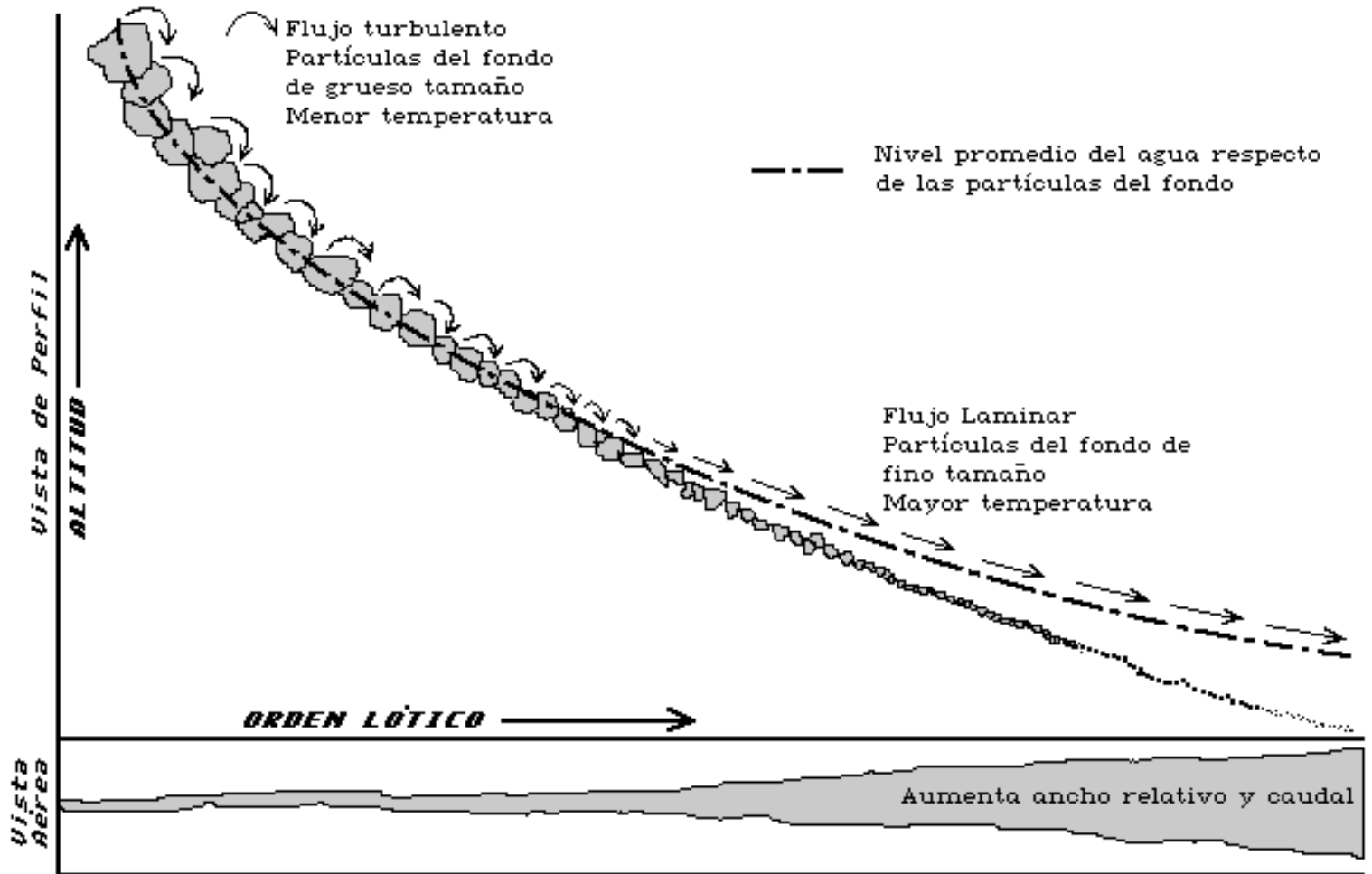
En el orden lótico, a todo río se le pueden definir tres secciones: las nacientes o "crenon", el "rhithron" correspondiente a los arroyos y tributarios de cuenca alta, y el "potamon" donde el río ya es mayor hasta su desembocadura en la cuenca oceánica.

Rhithron y Potamon son zonas que tienen características muy distintas tanto desde el punto de vista hidrológico como hidrobiológico, presentando diferenciadas cualidades físicas, químicas y biológicas.

Las causas de esta distribución longitudinal en zonas definidas a lo largo de la cuenca responden a la geomorfología del terreno, a las interacciones entre parámetros físicos, químicos y biológicos en cada tramo desde que nace el curso fluvial hasta su desembocadura como un gran río.

En términos biológicos, estas interacciones determinan que las presiones de la Selección Natural a lo largo de milenios de evolución, condujo a que los organismos vivos hayan desarrollado estrategias adaptativas a cada ambiente en particular, de acuerdo a sus factores ecológicos (oxígeno disuelto, pH, conductividad, dureza de las aguas, nutrientes, etc.).

Todo en los ríos y corrientes superficiales es una delicada combinación de factores físicos y biológicos, dentro de la majestuosa gama dinámica del Agua.



Variación de algunos parámetros ecológicos en relación con la altitud y la distancia desde las nacientes hasta la desembocadura de un curso fluvial.

Irene Rut Wais de Badgen, Introducción a la Ecología de Ríos, Proedicitta, 1992.

Desde su nacimiento los ríos fluyen aguas abajo, disminuyendo progresivamente su altitud respecto del nivel del mar, obviamente dado a que las aguas siguen unidireccionalmente bajando sobre los cauces por acción de la fuerza de gravedad. Desde "aguas arriba" hacia "aguas abajo" el tamaño promedio de las partículas del fondo de los cursos de agua se van reduciendo desde los grandes bolones o rocas mayores de los arroyos de montaña, pasando por piedras bochas y cantos rodados de mediano tamaño y gravas menores llegando hasta los finos sedimentos arenosos y arcillosos de los grandes ríos.



Sector ritral de la alta cuenca del Arroyo Alerzal Cortesía Sr. Juan Jofré

Las Corrientes de Agua

Conceptos Hidrológicos

En términos hidrológicos, los estudios y experiencias realizadas determinan que en los ríos ocurre el transporte de materiales de origen erosivo que tiene diversas formas y estas son:

- a. Suspensión: Los materiales son arrastrados por la corriente sin tocar el fondo
- b. Saltación: Los materiales avanzan a saltos sucesivos, describiendo trayectorias discontinuas

tanto en el espacio como en el tiempo.

- c. Acarreo: Los materiales ruedan o se deslizan sobre el fondo.

Los materiales transportados por los cursos de agua están formados por una mezcla de partículas de varios tamaños. Su granulometría se determina mediante análisis mecánicos y los resultados se presentan gráficamente mediante una curva de granulometría acumulativa.

A modo ilustrativo, a continuación se vierte la clasificación granulométrica que utilizan los laboratorios de Obras Públicas de Francia, a partir de la clasificación de Atterberg:

Materiales de los acarreos, Tipo y Dimensión Aproximada

Gravas:

- Guijarros de 200 a 20 mm.
- Gruesas de 20 a 10 mm.

- Medias de 10 a 5 mm.
- Finas de 5 a 2 mm.

Arena:

- Muy Gruesa de 2 a 1 mm.
- Gruesa de 1 a 0.5 mm.
- Media de 0.5 a 0.2 mm.
- Fina de 0.2 a 0.1 mm.
- Muy Fina de 0.1 a 0.05 mm.

Limo:

- Grueso de 50 a 20 micrones
- Medio de 20 a 10 micrones
- Fino de 10 a 5 micrones

Arcilla:

- Gruesa de 5 a 2 micrones
- Fina de 2 a 1 micrones

Los Escurrimientos

Se entiende por escorrentía a la parte de la precipitación que llega o alimenta a las corrientes superficiales, continuas o intermitentes de una cuenca. La escorrentía así definida, tiene diversas procedencias en el conjunto de la cuenca, lo cual hace que se consideren distintos tipos de escorrentías:

1. Esorrentía Superficial:

Es la precipitación que no se infiltra en ningún momento y llega a la red de drenaje moviéndose sobre la superficie del terreno por acción de la gravedad. Corresponde pues a la precipitación que no se infiltra, que no queda retenida en las depresiones del suelo y que escapa a los fenómenos de la evapotranspiración.

Cuando se inicia un aguacero, la primera precipitación caída se invierte en abastecer la capacidad de retención de la parte aérea de las plantas y en saturar el suelo, y solamente cuando la capacidad de infiltración es inferior a la intensidad de la lluvia, comenzará el agua a moverse por la superficie del terreno. Es entonces cuando se forma una delgada capa de agua que se mueve por la acción de la gravedad según la pendiente del terreno, que es frenada por las irregularidades del suelo y por la presencia de vegetación, hasta incorporarse a la red de drenaje donde se mezcla con los otros componentes que constituyen la escorrentía total.

2. Escorrentía Subsuperficial o Hipodérmica:

Es el agua de precipitación que habiéndose infiltrado en el suelo, se mueve lateralmente por los horizontes superiores para reaparecer de pronto al aire libre e incorporarse a los microsurcos superficiales que la conducirán a la red de drenaje.

3. Escorrentía Subterránea:

Es la precipitación que se infiltra hasta alcanzar la capa freática, circulando a través de acuíferos hasta alcanzar la red de drenaje. Así como la escorrentía superficial se mueve con cierta rapidez, la velocidad del agua subterránea suele ser muy baja, del orden de metro por hora.

Aparte de las tres formas referidas, la escorrentía de un curso de agua está además constituida por la precipitación que cae directamente sobre su superficie de nivel, fracción que en la mayor parte de los casos reviste importancia muy escasa en relación con las otras aportaciones.

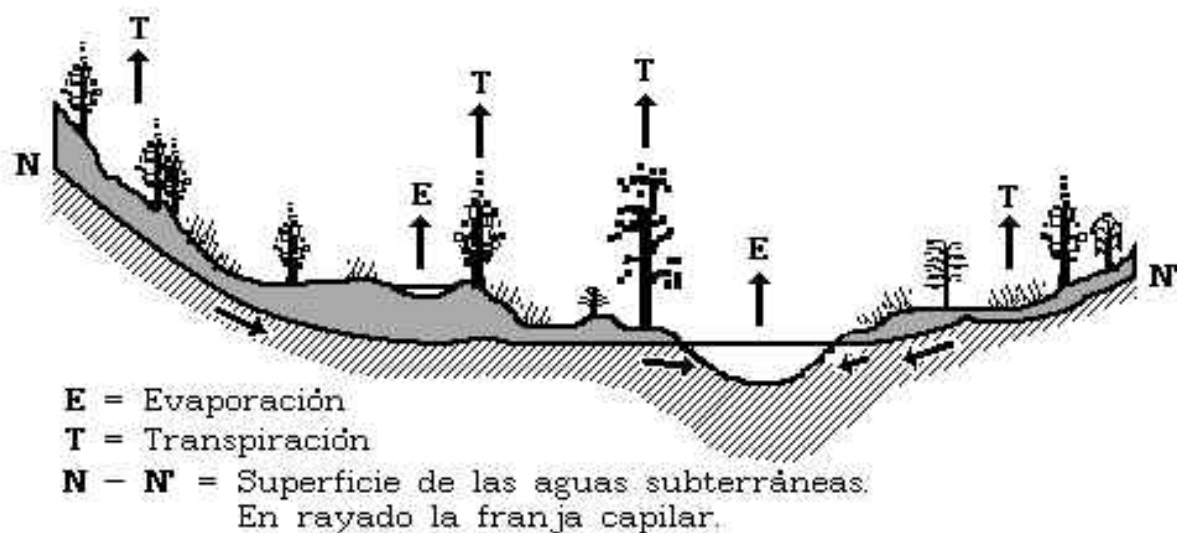
Ciclo de la Escorrentía

Los componentes de la escorrentía evolucionan según un ciclo cuyo estudio permite apreciar su significación particular. Este ciclo que se considera, distingue cuatro fases en correlación con el ritmo de las precipitaciones.

Primera Fase o Período sin precipitaciones:

Después de un período sin precipitaciones, la evapotranspiración tiende a agotar la humedad

CICLO DE LA ESCORRENTIA 1ª FASE: Período Sin Precipitación

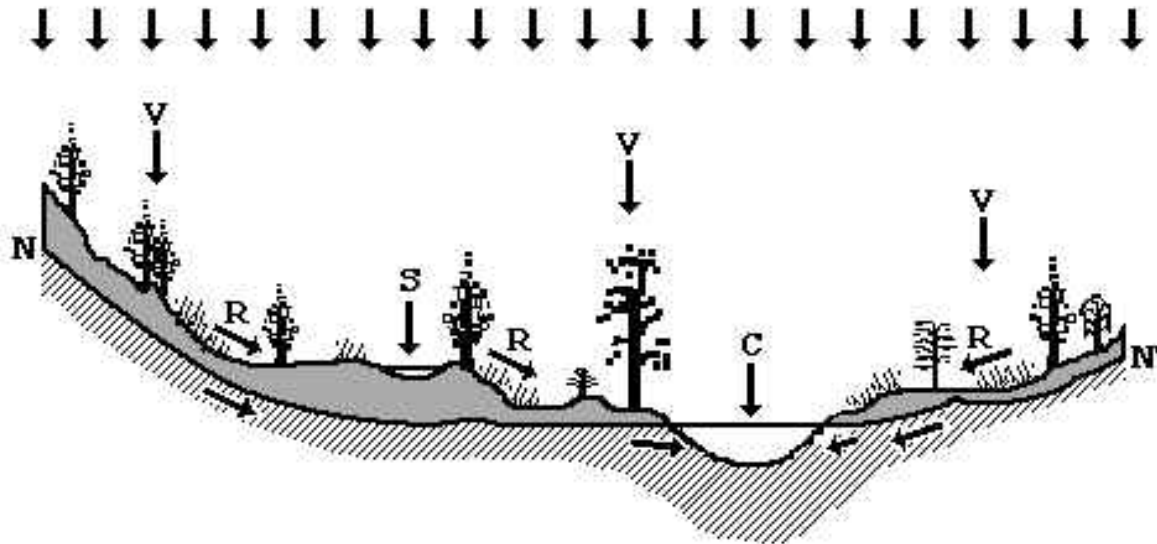


existente en las capas superficiales y a extraer agua de las subterráneas a través de la franja capilar. Las aguas subterráneas alimentan a las corrientes superficiales descendiendo progresivamente su nivel.

Segunda Fase o Período de Iniciación de la Precipitación:

La evapotranspiración cesa, las aguas meteóricas son interceptadas por la vegetación, las superficies de agua libre, los cursos de agua y el suelo. En éste se infiltra una cantidad importante de agua que abastece su capacidad de almacenamiento; el excedente se mueve superficialmente en forma de escorrentía directa que alimenta debilmente los cursos de agua.

CICLO DE LA ESCORRENTIA 2ª FASE: Inicio de Precipitación



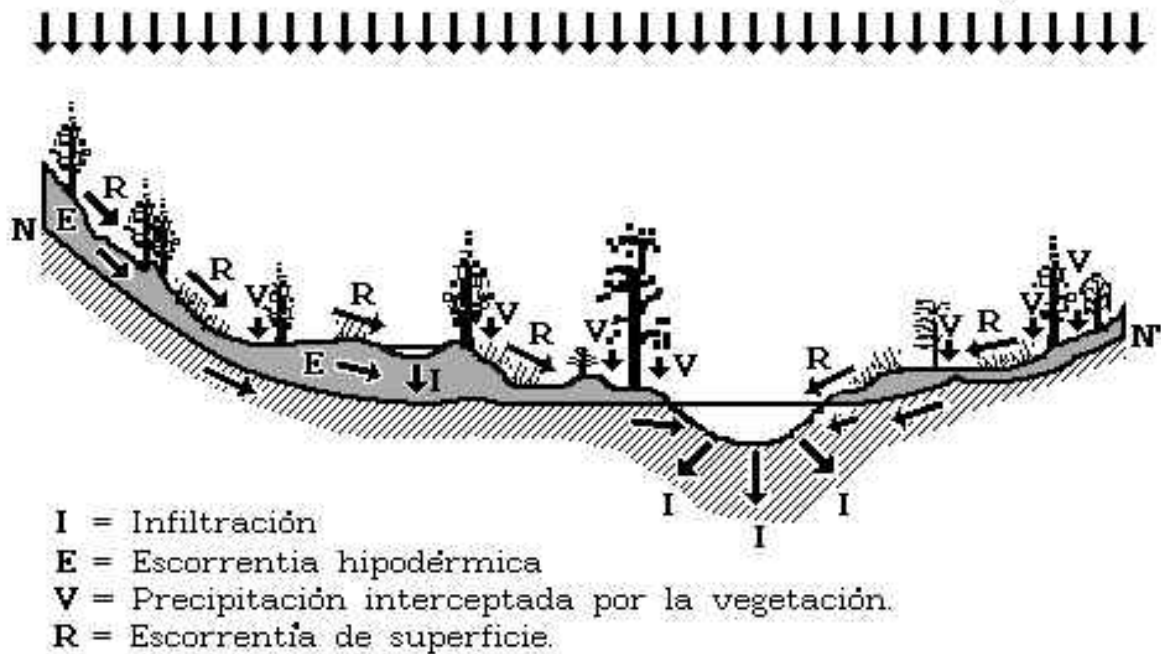
- V = Precipitación interceptada por la vegetación.
- S = Precipitación interceptada por la superficie de agua libre.
- C = Precipitación interceptada por cursos de agua.
- R = Escorrentía de superficie.

Continúan las aportaciones de las corrientes subterráneas a los cursos superficiales no interrumpiéndose el descenso de los niveles de la capa freática.

Tercera Fase o de Período de Precipitación Máxima:

Luego de una cierta duración de la precipitación, la cubierta vegetal apenas intercepta el agua y prácticamente la totalidad de la precipitación alcanza el suelo. Las capas superficiales llegan a estar completamente saturadas. Parte de las precipitaciones se infiltran alimentando la escorrentía hipodérmica y a los acuíferos, originándose en éstos últimos una elevación en su nivel. La precipitación que no se infiltra genera escorrentía superficial, que en esta fase alcanza su nivel máximo. La escorrentía subterránea aumenta ligeramente.

CICLO DE LA ESCORRENTIA 3ª FASE: Máxima Precipitación

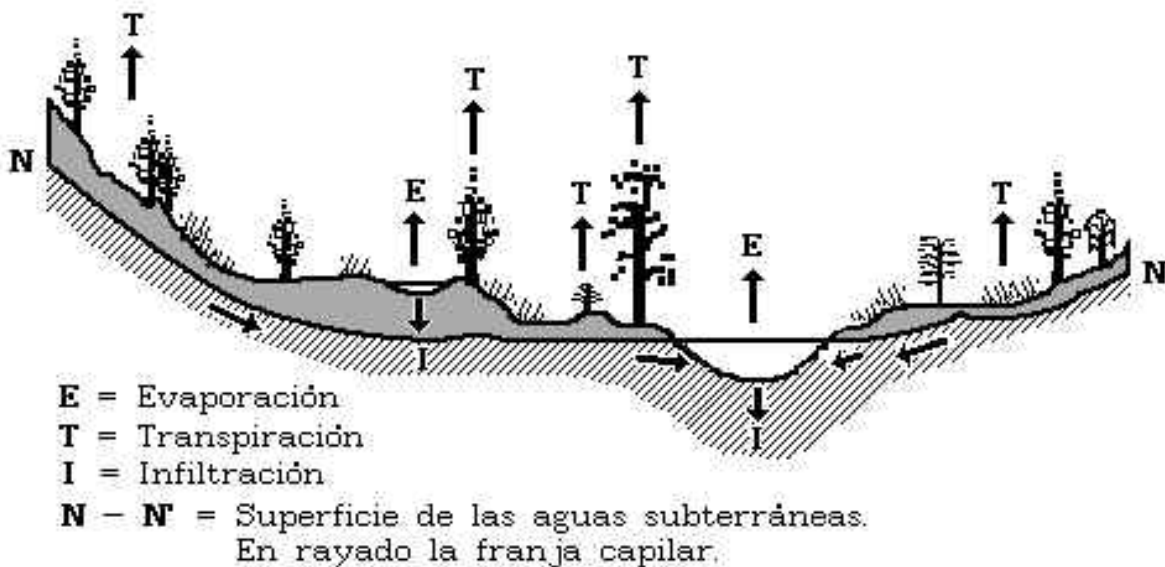


La escorrentía total: suma de las escorrentías de superficie, hipodérmica y subterránea, alcanza igualmente su valor máximo, apareciendo las crecidas. Durante esta fase puede ocurrir que en determinadas zonas se produzca una alimentación de los cursos de agua a las corrientes subterráneas, es decir, un proceso contrario a lo que normalmente ocurre. Esta fase solamente tiene existencia si la intensidad del aguacero alcanza cierto valor.

Cuarta Fase o Período Posterior a la Precipitación:

Cuando la lluvia cesa, la escorrentía de superficie desaparece rápidamente. El suelo y subsuelo permanecen saturados y continúa la infiltración del agua estancada en depresiones superficiales, alimentando a la humedad del suelo, a la escorrentía hipodérmica y a las aguas subterráneas. Se reinician nuevamente los procesos de evapotranspiración. Los cursos de agua, alimentados únicamente por las escorrentías hipodérmica y subterránea entran en régimen de decrecida y se normaliza la alimentación de los cursos de agua por los acuíferos, desapareciendo las posibles inversiones de la fase anterior.

CICLO DE LA ESCORRENTIA 4ª FASE: Período Sin Precipitación



El ciclo se cierra con la reaparición de la primera fase.

La erosión

Desde la gota de lluvia hasta el gran movimiento en masa de materiales en los acarrees durante crecidas, el espectro de la erosión juega un papel muy significativo en la morfología y el metabolismo de las cuencas hidrográficas

La erosión hídrica es el proceso de disgregación y transporte de las partículas del suelo por la acción del agua. Son múltiples y diversas las variables y factores que inciden en las características de los procesos erosivos. El agua ataca al suelo superficialmente o en la profundidad de su perfil. En el primer caso las partículas son arrastradas aisladamente. En el segundo, masivamente. Ambos siendo consecuencia de la acción del agua, difieren en el mecanismo.

Dicho mecanismo requiere de dos acciones: Acción de las precipitaciones y acción del flujo, derrame o escurrido.

Acción de las Precipitaciones

La acción de las precipitaciones produce erosión por salpicadura. Cuando la gota de agua cae a través de la atmósfera, sufre cambios en su tamaño aumentando o disminuyendo por condensación o evaporación. Desciende por la acción de la fuerza de gravedad, frenando su caída la resistencia que le ofrece el aire. En ausencia de obstáculos golpea al suelo con fuerza considerable disgregando las partículas terrosas y proyectándolas en el aire. En los estudios e investigaciones realizadas se ha determinado que, como consecuencia del choque con el suelo, las gotas proyectan partículas hasta los 60 cm. de altura en vertical y hasta los 1.50 m. en plano horizontal. Sin embargo, la precisa determinación de la energía erosiva de las gotas de agua, exige el adecuado conocimiento del tamaño de las gotas y la velocidad de caída. También interviene en la erosión un factor de relación que liga la intensidad de la precipitación con el tamaño medio de sus gotas.

El tamaño de las partículas de agua para las distintas formas de precipitación es:

Forma de lluvia	Intensidad mm./hora	Diámetro de las en milímetros	Velocidad en m/seg.
Niebla	0.13	0.055	0.1
Llovizna	0.25	0.500	4.0
Lluvia Ligera	0.75	1.000	5.5
Lluvia	18.00	2.000	6.5
Chubasco	100.00	4.000	9.0

Acción del escurrido

Al llegar al suelo, la precipitación puede evaporarse, infiltrarse o quedar en la superficie. Descontando la parte evaporada, la permeabilidad del suelo regula en todo momento la distribución de lo precipitado, entre el agua que penetra en el interior y el agua que queda detenida o bien fluye en la superficie. La formación del escurrido superficial depende del régimen de precipitaciones y de las características hidrológicas del suelo. Si la permeabilidad del suelo permite en todo momento la infiltración de una cantidad de agua mayor o igual a la que aporta la precipitación, no se producirá ninguna corriente superficial. En caso contrario, se formará en la superficie una lámina de agua que puede llegar a ponerse en movimiento por acción de la pendiente del terreno.

La acción del escurrido en el proceso erosivo se manifiesta en un doble aspecto: disgrega a los elementos terrosos y, al mismo tiempo, transporta a otros lugares aquellas partículas de tierra que por su tamaño y forma son susceptibles de arrastre.

La acción del escurrido en cuanto a transportar partículas de tierra, encierra una mayor importancia. Los frotamientos y choques de la corriente de agua con la superficie rugosa del suelo, hacen rodar, deslizar o dar pequeños saltos a los granos de tierra. Tales tensiones serán causa de la formación de una turbulencia en la corriente, originándose torbellinos que al contener vectores de fuerza de trayectoria helicoidal, con zonas circulantes de suficiente velocidad ascensional, pueden llegar a poner en suspensión a las partículas de tierra más pequeñas.

Intensidad, Duración y Frecuencia de los Aguaceros

Al considerar a la precipitación en el espacio y tiempo de ocurrencia, surge como unidad natural el aguacero. La intensidad, duración y frecuencia de los aguaceros son características de la precipitación de gran significado en la erosión. El producto de la intensidad y duración define la abundancia.

Quando la intensidad es superior a la penetración del agua en el suelo, se formará en escurrido superficial promotor fundamental de que se produzcan erosiones, siendo evidente que los efectos revestirán una mayor o menor y importancia según el tiempo de duración del fenómeno. Así como las gotas de lluvia tienen mayores efectos erosivos para lluvias violentas y de velocidades elevadas.

La frecuencia de los aguaceros ejerce influencia en el fenómeno erosivo debido a sus repercusiones en el estado de humedad del suelo en el tiempo. Si los intervalos son cortos, el contenido de humedad del suelo es elevado al iniciarse un nuevo aguacero, incidiendo en la generación de escorrentías superficiales, aunque su intensidad sea baja. Si los citados intervalos son largos en cambio, el suelo llegará prácticamente a secarse, retardándose la formación de escorrentías superficiales e incluso, puede que no lleguen a existir si la intensidad de la lluvia es baja.

Los principios racionales expuestos han sido corroborados en multitud de experiencias.

Factores determinantes del fenómeno erosivo

Determinan al fenómeno erosivo:

a. el suelo:

La cantidad de tierra desplazada por la percusión de las gotas de lluvia es tanto más grande cuanto más susceptibles sean las partículas a disgregarse.

En lo que concierne al escurrido, debe primero señalarse que su existencia está condicionada por el poder de infiltración del suelo, y para que las partículas sean arrastradas deben tener cierto tamaño, en lo que influye fundamentalmente la composición granulométrica y las propiedades fisico-químicas del suelo.

b. el relieve:

La erosión hídrica acelerada, prácticamente no existe en las zonas llanas, siendo posible únicamente en suelos de pendiente suficiente, donde la percusión de las gotas de lluvia y la acción del flujo superficial llegan a ejercer efectos considerables.

Cuando el terreno es más o menos horizontal, el desplazamiento de las partículas de tierra por el impacto de las gotas se hace en todos los sentidos, existiendo así una compensación mutua. Por el contrario, si el terreno es inclinado predominarán los desplazamientos hacia las partes más bajas. La influencia del relieve en la acción del escurrido encierra una mayor importancia. La potencia erosiva del flujo superficial y su capacidad de transporte depende de la densidad de las aguas y de la velocidad con que éstas se mueven. A su vez la velocidad es mayor cuanto más grande sean la altura del flujo y el grado de pendiente del terreno.

La longitud de la pendiente es también un determinante de gran significado en los fenómenos erosivos. Su influencia aparece manifiesta al considerar que cada zona de una ladera está sometida a la escorrentía de zonas de mayor altitud, y que la altura del flujo en cada punto debe ser mayor a medida que aumenta su distancia a la cumbre, y por consiguiente es de esperar que en las zonas bajas los fenómenos erosivos revestirán mayor intensidad.

De esto se deduce que los desplazamientos de tierra en las laderas, por unidad de superficie, deben ser mayores cuanto mayores sean la inclinación y la longitud de la pendiente.

Pérdidas de suelo en parcelas de 2.5 m. de largo con diferente grado de pendiente:

1

Pendiente de las parcela (en porcentaje)	Peso de suelo perdido (en Kg.)
2 %	1.3 kg.
4 %	2.6 Kg.
8 %	5.9 Kg.

c. la vegetación:

La influencia de la vegetación en el fenómeno de la erosión obedece a diferentes causas:

- Protege el suelo de la percusión de las gotas de agua
- Aumenta el poder de infiltración del suelo, disminuyendo el volumen de agua de escorrentía
- En las zonas boscosas los troncos y ramas caídas obstaculizan el escurrimiento reduciendo su velocidad hasta su cuarta parte. Esto significa que la energía erosiva se reduce enormemente respecto de la que resultaría en terreno desnudo.
- Brinda mayor consistencia del suelo a consecuencia del entrelazamiento de las raíces. Esta consecuencia afecta a mayor o menor profundidad, según sea la naturaleza de la vegetación: pequeña cuando se trate de hierbas y mucho mayor cuando se trata de árboles o arbustos.

De lo anterior se deduce que en las zonas forestales con cierta densidad de cubierta vegetal, se reduce el fenómeno de la erosión al mínimo.

El mecanismo mencionado en síntesis consiste: primero en una disgregación de los elementos terrosos y, luego en un transporte de las partículas individualizadas, por las aguas que corren en la superficie del suelo.

Esta es la manifestación más frecuente de erosión hídrica aunque existen otras formas no tan generalizadas y que obedecen a mecanismos distintos. A veces la actuación de las aguas crea condiciones propicias en el suelo para que éste se desplace por la acción de la gravedad, como en el caso de los desplazamientos en masa.

La acción del agua en estos casos es diversa. La saturación del suelo es una circunstancia favorable a los movimientos en masa. Cuando ello ocurre en suelos con pendiente y no sujetos por vegetación, es posible que por gravedad se originen movimientos de tierra, tanto en la superficie como en el interior. Estos últimos con las cavernas que generan pueden ir acompañados de hundimientos.



Otra circunstancia favorable ocurre cuando el agua alcanza a un horizonte de suelo apoyado en una capa impermeable. Esta se lubrica por acción de las aguas y si está en pendiente puede crear un desequilibrio en toda la zona del suelo situada por encima. Tal desequilibrio se ve favorecido por el hecho de que las raíces de las plantas no penetran esas capas impermeables, sin contribuir a sujetar impidiendo que se produzca el movimiento del suelo.

Procesos de Erosión Hídrica

En la erosión hídrica se incluyen los siguientes procesos:

- erosión laminar y en regueros
- erosión en barrancos y cárcavas

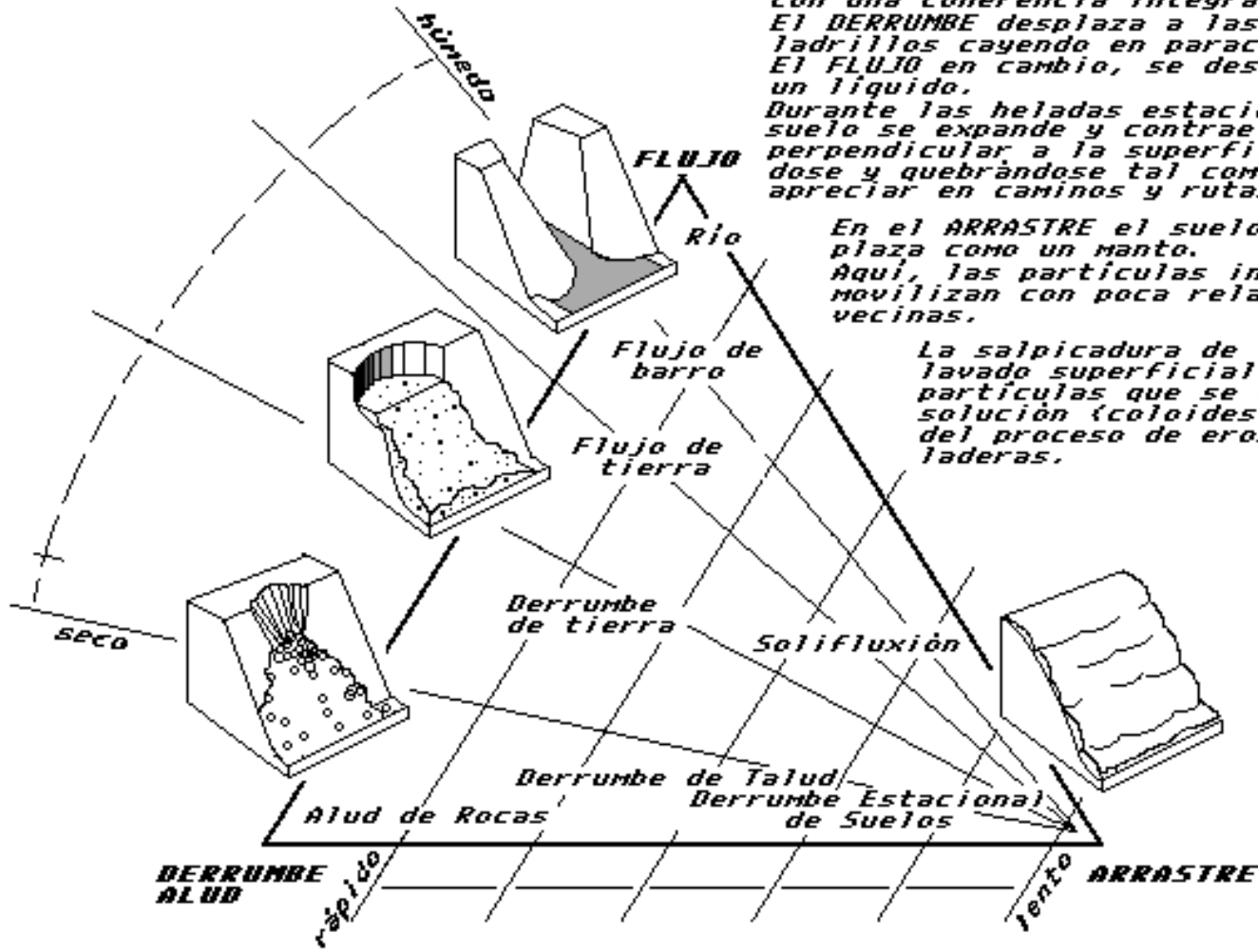
- corrientes de lodo
- Deslizamientos
- movimientos en masa

DERRUMBE, FLUJO Y ARRASTRE

Durante el desplazamiento de la masa de las laderas de montes y montañas, las partículas del suelo se comportan con una coherencia integral. El DERRUMBE desplaza a las rocas como ladrillos cayendo en paracaídas. El FLUJO en cambio, se desplaza como un líquido. Durante las heladas estacionales, el suelo se expande y contrae en forma perpendicular a la superficie, alzándose y quebrándose tal como podemos apreciar en caminos y rutas.

En el ARRASTRE el suelo todo se desplaza como un manto. Aquí, las partículas individuales se movilizan con poca relación a sus vecinas.

La salpicadura de lluvia, el lavado superficial y las partículas que se desplazan en solución (coloides) son ejemplo del proceso de erosión de laderas.



Características Generales de la Erosión de Laderas.

La erosión laminar

La erosión laminar es una de las formas más comunes de erosión en las áreas de recepción, y consiste en la remoción de delgadas capas del suelo extendido, más o menos uniformemente por toda la superficie del área citada.

Resulta de la disgregación de los elementos terrosos por el impacto de las gotas y por la acción del escurrido. Entonces la formación de un flujo superficial homogéneo en el espacio, transportará las partículas previamente disgregadas y susceptibles de ser arrastradas o puestas en suspensión. Así, el conjunto agua/tierra fluye a lo largo de las pendientes como una lámina y el suelo se va degradando por capas sucesivas.

La erosión laminar es muy pernicioso ya que es la principal causa de grandes aportes de sedimentos a los cursos de agua, por otro lado, las pérdidas ocasionadas al suelo en sus partículas más finas, incide con notable empobrecimiento

de la fertilidad.

La existencia de este tipo de erosión no es fácil de determinar, permaneciendo a veces totalmente oculta. Generalmente tiene ocurrencia en suelos desprovistos de vegetación donde las aguas se evidencian lodosas y son más propicias las áreas de terrenos con suelo superficial, que descansan sobre subsuelo impermeable y en todos aquellos suelos de poca cohesión y de escaso contenido de materia orgánica.

Síntomas de erosión laminar pueden ser la existencia de plantas con el sistema radicular al descubierto, presencia de montículos en el suelo, invasión de especies típicas de suelos degradados y la abundancia de pedregales en la superficie del suelo de las mismas características litológicas que las que se encuentran en el interior.

La erosión en regueros

La erosión en regueros, también llamada en surcos, se manifiesta por la formación de surcos orientados siguiendo los desniveles naturales del terreno. Estas fisuras que se forman sobre el perfil del suelo (edáfico) son poco profundas y se producen cuando el agua no escurre uniformemente por toda la superficie, sino que se concentra en corrientes de una potencia erosiva capaz de abrirlas.

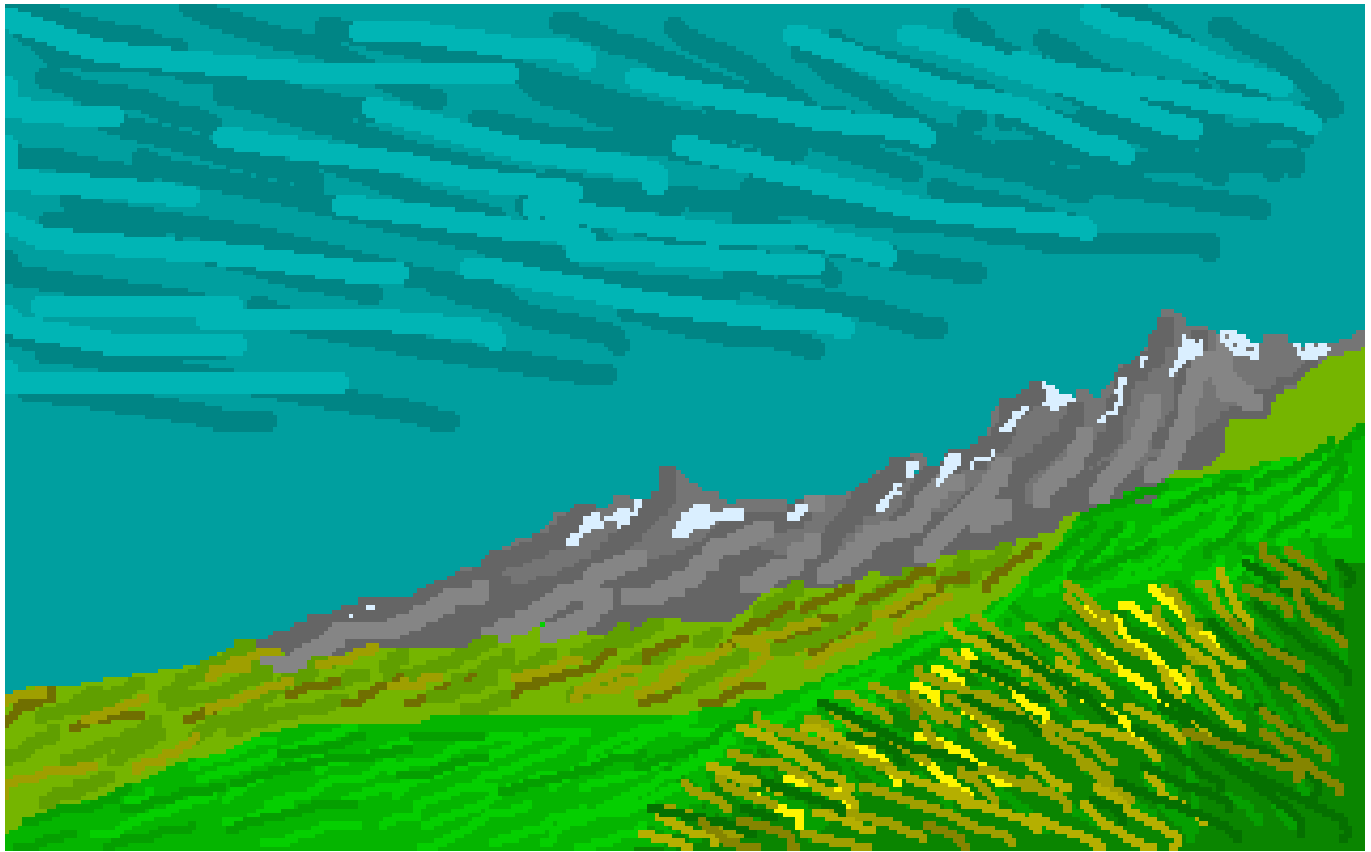
La erosión en barrancos y cárcavas

La erosión en barrancos consiste en profundas incisiones del terreno, originadas generalmente cuando existe una gran concentración de escorrentía en alguna zona determinada.

La formación de barrancos suele ir precedida de intensas erosiones laminares o de la constitución previa de surcos o líneas de concentración de aguas. Cuando estos surcos o líneas no se corrigen, paulatinamente se irá intensificando la acción erosiva encausando las aguas de futuras precipitaciones hasta llegar a ocasionar el barranco. Aunque menos frecuente, en zonas con suelos de poca consistencia, puede formarse un barranco en el transcurso de solo un aguacero.

Una vez iniciada la formación del barranco su forma evoluciona según la consistencia relativa que ofrezcan los estratos del suelo y subsuelo. Cuando los estratos son de material de consistencia uniforme, el barranco se desarrolla en paredes más o menos verticales adoptando forma de U. Si a medida que se profundiza incrementa la resistencia de las capas, las paredes serán inclinadas en forma de V. Los barrancos con forma de U presentan mayor intensidad erosiva por mayor inclinación de las márgenes, y la posible socavación de las partes bajas ocasionan fuertes desplomes.

La erosión en cárcavas es generatriz de torrencialidad. Dado a las severas pendientes de los montes y montañas desde sus cimas hasta sus valles glaciarios, el agua de precipitación y de licuación nívea tiende a correr velozmente y en forma crepitante.



Pintura digital - Alejandro Barzi

La exposición de suelos rocosos, inhomogéneos, o quebrados por la continua exposición a las variables y fenómenos climáticos, con poca masa vegetal que enraizando soporte el suelo y con sus copas contenga el efecto de erosión directa de la precipitación, resultan áreas propicias para que se generen cárcavas y barrancos. Estos espacios encausan las aguas que, golpeando contra la roca expuesta o cruzando depósitos de derrumbes conformado por rocas, piedras, gravas y arenas, generan profundos surcos descendentes que provocan un intenso flujo torrencial. Este flujo contiene energía suficiente como para acarrear grandes rocas y bolones de piedra hacia abajo, los que se van acumulando en secciones más cerradas de los surcos cuencos o en sectores de menor pendiente, provocando continuas sucesiones de saltos descendentes.

La erosión en cárcavas y barrancos es mucho más llamativa que la erosión laminar y por tal motivo se le atribuye mayor importancia, sin embargo es la erosión laminar la de mayores repercusiones ya que aparte de ser más extendida y oculta, su existencia crea una situación propicia para la formación de surcos y erosiones más profundas.

Las Corrientes de lodo

A consecuencia de grandes lluvias o durante períodos de deshielo de nieve, la capa superior del suelo embebe gran cantidad de agua, y si está en pendiente y no suficientemente sujeto por vegetación, una masa de tierra superficial puede convertirse en un fluido viscoso capaz de escurrir hacia las partes más bajas. A tales desplazamientos se los denomina corrientes de lodo.

Los Deslizamientos

Existen deslizamientos superficiales y de fondo. Los primeros se originan cuando una capa superficial de suelo, más o menos profunda, retiene gran cantidad de agua. El aumento de peso de la masa terrosa y la consecuente pérdida de consistencia pueden originar un resbalamiento de la capa de suelo hacia partes más bajas. Los deslizamientos de

fondo ocurren generalmente cuando capas permeables del suelo descansan sobre arcillosas, que con la lubricación del agua tienden a ceder y deslizarse. Otras veces son consecuencia de socavones en las laderas que al reducirse su base de apoyo de la capa situada por encima, puede perder estabilidad y deslizarse generando amplios abanicos.

Los movimientos en masa provocados por la acción del agua pueden ser derrumbes particulares masivos de una ladera, aunque principalmente se trata del acarreo de materiales que se impulsa en forma masiva en los ríos medianos y mayores durante crecidas.

Esta forma de erosión, sumada a las anteriores está determinada por:

- Las características climáticas,
- los tipos de vegetación si la hubiere y,
- las clases de suelo

Para la correcta determinación cualitativa y cuantitativa de la erosión hídrica conviene ajustarse a la unidad hidrológica de actuación, es decir, la cuenca hidrográfica. Comprendiendo el concepto de cuenca hidrográfica en toda su amplitud, desde las cuencas de pequeña extensión, generalmente bastante homogéneas en cuanto a los parámetros que las definen, hasta grandes cuencas heterogéneas que integran encausando otras subcuencas de menor superficie. La cuenca hidrográfica de un curso de agua, en una sección determinada, es la superficie limitada por el contorno a partir del cual la precipitación caída se dirige hacia esa sección del curso.

La erosión del suelo por el flujo de agua se expresa en pérdidas de suelo (tn/año ó mm/año). Su evaluación puede hacerse directamente por medición del fenómeno erosivo en parcelas experimentales, o indirectamente por medida de los sólidos transportados por las corrientes de agua, donde la densidad del transporte en suspensión se considera consecuencia representativa y medible de la erosión del suelo de la cuenca.

El Flujo de las Aguas, la Erosión y los Meandros

Conforme a sus características hidráulicas, los cursos de agua se clasifican en torrentes y ríos. En la alta montaña, los cursos son de corta longitud y fuerte pendiente, de caudal escaso durante la mayor parte del año, sujetos a imprevisibles crecidas de poca duración. A este tipo de corrientes de agua se los denomina torrentes.

Los ríos en cambio son cursos de agua de características opuestas, es decir, cursos de agua de llanura, con pendiente y velocidad muy limitados, de flujo permanente, cuyo régimen de caudales puede preverse, respondiendo dentro de un margen de tolerancia a fluctuaciones periódicas.

El curso de un torrente se divide en tres partes:

1. Su cuenca imbrífera o de recolección, donde se encausan los diversos hilos de agua en ella comprendidos, formados por la escorrentía superficial e hipodérmica, que convergen para formar un curso único
2. El canal de escurrimiento, que es el colector de varios cursos de agua superiores que escurren sobre fuertes pendientes; y
3. El cono de deyección, a través del cual el canal de escurrimiento descarga en el río o lago receptor.

En los torrentes, la pendiente de fondo es pronunciada y puede alcanzar desniveles de valores de varias decenas de metros por km. Esa pendiente de fondo, puede experimentar fuertes variaciones, en muchos casos se generan rápidos,

que son tramos de fuerte pendiente comprendidos entre otros dos de poca pendiente.

Contrariamente, en el curso de un río por lo general la pendiente del fondo es poca y la velocidad del flujo, baja. Las características de los ríos son diversas dependiendo principalmente de la naturaleza del terreno que atraviesa, según sea su permeabilidad y resistencia a la erosión.

La pendiente disminuye considerablemente cuenca abajo hasta adquirir valores próximos al 0.01 por mil, y la velocidad puede variar desde valores próximos a los 3 m/seg., hasta de pocos decímetros en igual tiempo.

Inestabilidad del curso de los ríos y la formación de meandros

El desarrollo del curso de un río es por lo general inestable y después de cada creciente, puede presentar novedades en su traza, tanto planimétrica como altimétrica.

La generación de un banco de arena en el lecho de un río puede originarse con la presencia de un elemento dentro del cauce capaz de producir un remanso. Un árbol o parte de él derrumbado por la erosión de una costa, al bararse en el curso por tocar fondo, produce aguas abajo de ese lugar, torbellinos y remansos vorticales disminuyendo la velocidad de la corriente, por lo que el agua va progresivamente depositando, tanto el material que lleva en suspensión, como el que arrastra por saltación.

Ese pequeño banco en formación progresivamente llega a afianzarse con la vegetación que comienza a crecer aguas abajo en el mismo. En los ríos navegables, como ha acontecido en numerosos lugares del río Paraná, el hundimiento de barcos, aún aquellos de pequeño tonelaje, ha dado lugar a la generación de grandes bancos de arena, muchos de los cuales con el correr del tiempo, terminan convertidos en islas, a causa de la fijación que le otorga a su suelo el enraizamiento de la vegetación que los ha poblado.

La aparición de un banco sea grande o pequeño, produce en todos los casos una desviación en la trayectoria de los filetes líquidos, reflejándose contra alguna de las batientes, produciendo en ella mayor erosión que, al concentrarse en un frente estrecho da lugar a la formación de un recodo, creándose una batiente cóncava y una convexa en la orilla opuesta.

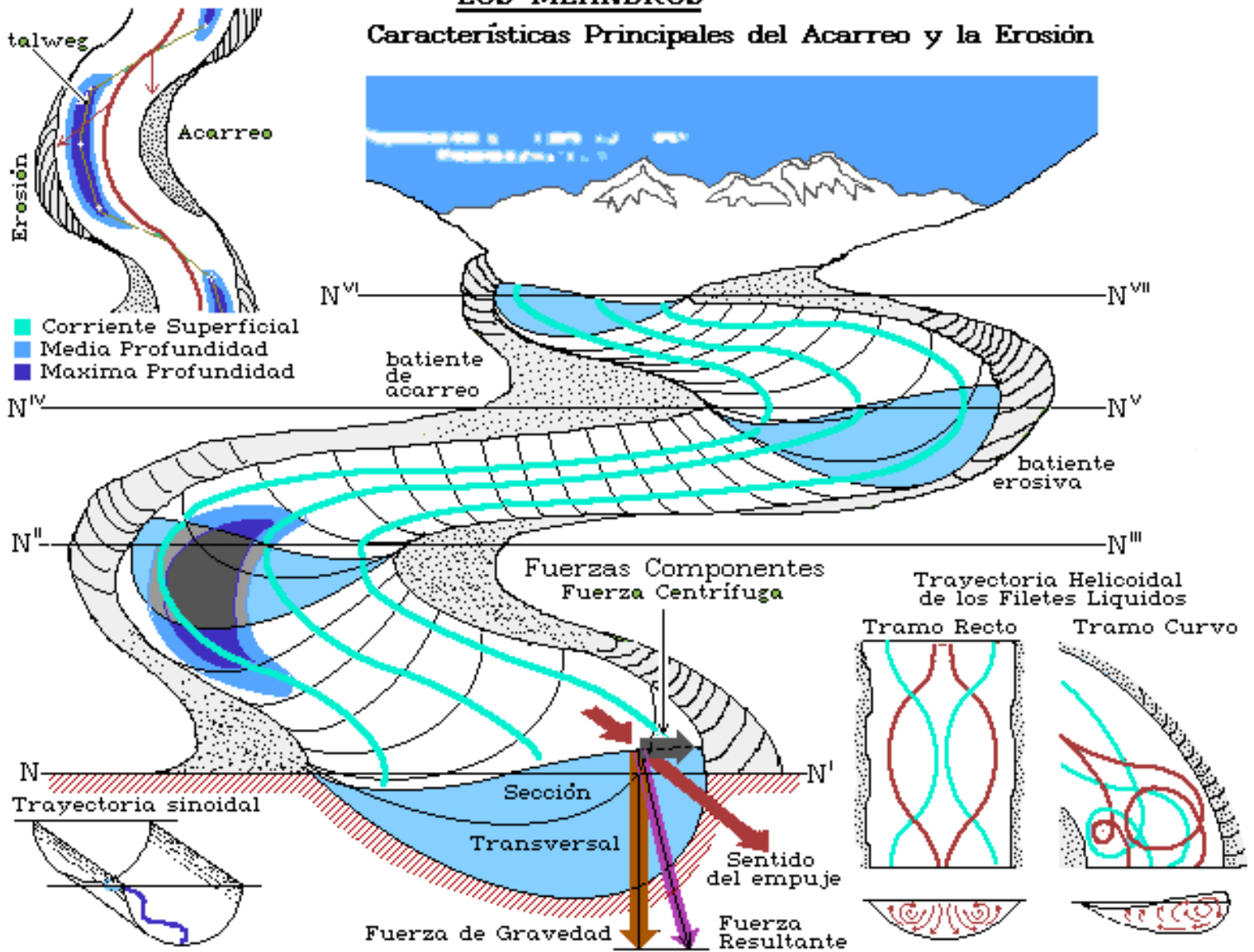
Resistencia de los terrenos y acción de la trayectoria de los filetes líquidos

En la interpretación del fenómeno de la formación de meandros se compara su desarrollo al de la trayectoria que describe un cuerpo esférico que cae rodando por la cara interna de un cilindro inclinado. Observar al pié izquierdo de la figura de los Meandros.

Las resistencias variadas que ofrece el terreno por su naturaleza y topografía, son factores que influyen en el trazado del un meandro. También la concurrencia del caudal que cada tributario puede introducir en el curso contribuye, con su componente lateral, al desvío de la corriente del caudal receptor.

LOS MEANDROS

Características Principales del Acarreo y la Erosión



Sin embargo, la causa principal de la irregularidad del trazado de un meandro reside en la inestabilidad de cada una de las secciones transversales de su curso, y explicable con el estudio del recorrido de los filetes líquidos.

Cuando el curso del meandro se repliega aproximando mucho dos curvas de igual sentido, durante una creciente se puede establecer comunicación entre ellas, produciendo un canal o cortada en el curso de la corriente, con aumento de la velocidad en ese tramo, a raíz de la pendiente que aumenta por salvar el mismo desnivel con menor recorrido.

En los meandros ya encausados, el álveo siempre tiende a modificarse, alterándose los tramos rectos o de poca curvatura.

En los tramos curvos el río tiende a estabilizarse.

Simultáneamente con el cambio de configuración planimétrica, se produce la alteración del perfil transversal y del perfil longitudinal. La línea que reúne los puntos de mayor profundidad de cada transversal determinan el talweg.

Según Schoklistch, la sección transversal varía del siguiente modo:

"Cuando no hay bancos de depósito que entropézcan la corriente, la sección varía entre la forma de un trapecio y una

elipse o parábola con el vértice extremo en el centro del cauce.

La inclinación de las márgenes depende de la naturaleza de las tierras y si hay bancos, la sección se aproxima a la forma triangular.

Todavía no se tiene una solución satisfactoria para establecer una relación matemática para la forma de la sección. En las curvas, el punto más profundo de cada sección, está próximo a la orilla exterior, y en este punto, el nivel de la corriente es más elevado.

En el álveo, la velocidad disminuye y los filetes líquidos son desviados hacia la parte interior de la curva, que es la de menor presión (menor tirante). Para reemplazarlos, las capas superficiales más rápidas bajan al llegar a la orilla, estableciéndose un movimiento helicoidal que provoca la erosión del lecho en la parte exterior de la curva. Se produce así también una clasificación natural por tamaños del material arrastrado.

El movimiento de agua en el álveo, aún en los tramos rectilíneos de un curso de agua, no se produce según filetes paralelos a la dirección del álveo, sino según trayectorias helicoidales, cuyas proyecciones horizontales indican un recorrido serpenteante.

La superficie libre no adquiere forma perfectamente plana y su deformación se hace más notable cuando los álveos presentan irregularidades, incrementándose dicha divergencia para los tramos en curva.

En una sección transversal, la superficie libre se presenta cóncava, por cuanto en correspondencia con las batientes el agua tiende a sobreelevarse, tanto por el movimiento reflejado en las costas por efecto de la asperezas que presentan, y/o porque las masas mismas que provienen de lugares de mayor velocidad deben reducirla ante el obstáculo ofrecido por el accidente en la trayectoria, tendiendo a sobreelevarse para aumentar la sección de escurrimiento.

La aceleración de las partículas de agua, desde las batientes hacia el centro del álveo, correspondiéndose con la que va dirigida según el eje del movimiento de traslación, producirían el movimiento helicoidal antes descrito. Las aguas convergentes hacia el centro del álveo tienden a inclinarse hacia el fondo para luego reaparecer en la superficie. De tal manera, el movimiento del agua es rotativo y traslatorio al mismo tiempo, según dos hélices cuyo sentido está dirigido hacia el centro. La acción de estas hélices opuestas sobre el lecho produce gran erosión con sucesiva profundización. Cuanto más fuerte es el movimiento rotatorio del agua, tanto más sensible es el movimiento del lecho. En un curso de agua perfectamente regular y de ancho no excesivo, esta zona se halla en el centro del álveo y los materiales excavados son transportados hacia las costas.

En correspondencia con una curva, subsiste solamente uno de los movimientos helicoidales según lo indican las secciones transversales de la figura anterior.

Los conceptos vertidos nos permiten conocer en líneas generales la conducta de las cuencas y sus ríos. Estos fundamentos esenciales son el cimiento conceptual general sobre el cual deben realizarse los minuciosos estudios particulares de los sitios donde se vayan a proyectar y realizar obras civiles e hidráulicas, destinadas tanto a la sistematización y protección de riberas como aquellas de aprovechamiento del recurso (riego, energía, etc.).

Las Crecidas

Planteamiento General

Tiene un gran interés, evitar o reducir los daños que los grandes caudales de los ríos pueden producir en los regadíos, terrenos, vías de comunicación, zonas urbanas, industrias y obras hidráulicas, especialmente presas.

Los terrenos de las vegas de los ríos son generalmente fértiles, por lo que no es extraño que siempre se haya tendido a cultivar las áreas que no son alcanzadas por las crecidas de frecuencia anual, aunque sean periódicamente anegados durante las crecidas de carácter extraordinario. En los ríos que tienen formado un cauce de crecidas, al producirse caudales fuertes, las aguas invaden extensas zonas relativamente llanas, que no es conveniente sustraer al cultivo, si la frecuencia de inundación no es muy elevada.

Por otra parte, la escasez de terrenos en muchas zonas de valles estrechos, hace que las poblaciones se extiendan hacia los ríos, construyéndose viviendas e industrias en los cauces de crecidas o planicies inundables e invadiendo, a veces completamente, los cauces alternativos de corrientes menores no permanentes, ignorando o despreciando el riesgo de inundación y destrucción de viviendas e industrias durante las crecidas, amenazando, no sólo a las construcciones erigidas en el cauce, sino también a otras zonas situadas fuera, o aguas abajo, pero hacia las que pudieran derivarse las aguas al encontrar obstáculos en su fluir.

Sería conveniente que una rigurosa policía de ríos impidiera edificar en cauces de crecidas o, al menos, ordenar estas construcciones con las correspondientes obras de defensa, que evitarán daños a edificios y terrenos.

Sin embargo, como en muchas comarcas son muy cuantiosos los intereses creados en zonas inundables, es a veces, económico reducir los riesgos mediante obras de encausamiento, corrección de cauces, defensa de márgenes y regulación para el control de crecidas. En algunos casos puede ocurrir que, aunque no se haya comenzado a invadir los cauces, se considere económico ganar extensión dentro de los cauces de crecidas extraordinarias, por medio de algunas de las obras de hidráulica fluvial antes mencionadas.

Para estudiar las obras de defensa contra crecidas, es necesario conocer, lo más profundamente posible, los caudales máximos previsibles, las planimetrías de la vega, sus principales accidentes topográficos, niveles alcanzados por las aguas en los diversos perfiles del río, la frecuencia de las crecidas y el hidrograma completo de crecida.

Tiene especial importancia el estudio de los caudales y la evolución de las crecidas para el proyecto de presas, tanto por lo que afecta a la seguridad de las mismas, como a los efectos que los embalses pueden tener sobre las crecidas, bien sea amortiguándolas o retardándolas o, en otros casos, acelerándolas e incrementándolas. El correcto dimensionamiento de los aliviaderos de las presas para que puedan dar paso, sin peligro de rebosamiento y erosión, a los mayores caudales de crecida previsibles y la ordenación de los órganos de desagüe de la presa, para evitar crecidas artificiales por funcionamiento incorrecto, son factores fundamentales para la seguridad de la presa y para evitar daños adicionales en las márgenes del río, aguas abajo de la presa.

En ríos de cierta importancia se pueden reducir notablemente los daños causados por las grandes crecidas, si por un servicio técnico eficiente se puede prever, con horas o días de anticipación, la evolución de caudales o niveles de agua en secciones del cauce situadas en el tramo inferior del río, mediante los datos comunicados por otros puestos de observación, situados aguas arriba, o mediante observaciones meteorológicas. El rápido aviso de los niveles o caudales que pueden preverse, pasados algunos días u horas, puede permitir adoptar las oportunas medidas de defensa o evacuación, con lo que se pueden amortiguar los efectos de los caudales máximos de crecidas.

Más adelante se enuncian los principales métodos utilizados para resolver el problema; ninguno de ellos es enteramente satisfactorio, pero cada uno permite utilizar, racionalmente, los datos (climatología, pluviometría, caudales, etc), generalmente incompletos, de que se dispone, y en general se utilizan simultáneamente métodos basados en conceptos muy diferentes, pues de la síntesis de los diversos modos de estimación, se pueden esperar resultados más seguros.

Tipos de Crecidas

Las crecidas pueden ser agrupadas, en consideración a las causas que las engendran, en tres clases:

1. Crecidas por precipitación líquida
2. Crecidas por precipitación sólida
3. Crecidas mixtas.

Las grandes crecidas tienen, sobre todo, como origen tormentas excepcionales por su intensidad, extensión, duración y repetición.

Considerados en una larga serie de años, los temporales fuertes, que persisten muchos días en grandes extensiones, parecen reproducirse a intervalos más o menos alejados, siguiendo modalidades casi análogas; esto parece indicar la existencia en ciertas regiones, de distribuciones pluviométricas tipo, que corresponden a situaciones meteorológicas semejantes, de una vez a otra, producidas principalmente por la posición geográfica y el relieve de las cuencas consideradas, así como por las trayectorias y frecuencias habituales de las perturbaciones meteorológicas.

Fuera de esas lluvias generales, los aguaceros tempestuosos cortos, violentos y muy localizados, producen en las pequeñas cuencas, principalmente de montaña, crecidas “de punta” cuyos caudales máximos pueden producir efectos importantes en pequeños torrentes, sin influir notablemente en el caudal de los grandes cursos de agua.

A una misma altura total de lluvia pueden corresponder caudales de punta muy diferentes, según:

- La topografía, las dimensiones y la forma de la cuenca vertiente, el trazado de la red hidrográfica, elementos todos que condicionan, en primer lugar, al “tiempo de concentración”.
- La temperatura, el estado de la superficie (suelo helado, cobertura vegetal, etc.), la permeabilidad del suelo, la estación del año (factores de que dependen las “pérdidas”).
- La intensidad y la distribución espacial y temporal de las precipitaciones (las cuales influyen en la forma del hidrograma).

Algunas cuencas montañosas de elevada altitud están, a veces en gran parte, cubiertas de nieve desde el comienzo del otoño y, en tal situación, un súbito aumento de la temperatura lleva la isoterma de 0° C a una elevación de 2000 a 2500 m. Puede resultar de ello la fusión rápida de las nieves por debajo de esa cota, produciéndose grandes crecidas. Caso muy cercano a este fue el de la última crecida de Julio de 1997, en la que una gran acumulación progresiva de nieve en las alturas de los cerros, con posteriores heladas que la cristalizaron aumentando su densidad, recibió una corriente térmica cálida con gran descarga de precipitaciones líquidas que la lavaron torrencialmente cuenca abajo, acumulándose en los ríos de valles bajos en un tiempo de concentración muy breve. Esa crecida extraordinaria, cuya recurrencia se estima en 15 años demostró claramente el error de haber permitido el establecimiento de tantas construcciones y barrios sobre áreas ribereñas de disipación de la energía de las crecidas de un río torrencial como el Quemquemtrey, cuya pendiente media ronda a la altura de El Bolsón el 1.2 %. El flujo torrencial con enormes acarrees, cuyo caudal superó probablemente 10 veces su media histórica, erosionó escapando inconteniblemente por diversos espacios sobre esas planicies inundables en el área de asentamiento de El Bolsón y la zona de confluencia en Lago Puelo. Así, en un plazo de 48 horas, el lago aumentó su cota por arriba de los 6 metros. Llamó la atención entonces, comparando con las consecuencias sufridas en la cuenca del río Manso, cuyas áreas bajas quedaron cubiertas por las aguas varios días después de la crecida, la velocidad de escurrimiento de estos valles fluvio-glaciares, que drenaron el fluido mucho más rápidamente.

En materia de crecidas en general, este fenómeno es bastante raro, y la influencia de la fusión de la nieve sobre el caudal de las grandes crecidas es generalmente sobreestimada. Sin embargo, en la región de la cuenca del lago Puelo con valles de tan baja altitud, rodeados de pendientes con promedios de entre el 30 y el 40 %, donde por configuración topográfica los cordones montañosos se presentan completamente transversales al viento predominante del Oeste,

este tipo de fenómenos, pueden ser bastante frecuentes. Si bien se considera que los efectos cálidos de primavera en el manto de nieve (destáquese que la mencionada crecida extraordinaria ocurrió en pleno invierno) son débiles y lentos, y que las precipitaciones tienen una incidencia mínima en el derretimiento níveo, basándose en el hecho de que, suponiendo que la lluvia cae a una temperatura cercana a los 6° C, cada centímetro de precipitación no podría fundir más que un milímetro de nieve, (es decir, sólo el 10% de las precipitaciones), puesto que el calor de fusión del hielo es de 80 kcal/kg. En realidad lo que ocurre en nuestra región es la posibilidad concreta de conjunción de diversos factores que ocasionan estas crecidas, donde la influencia del viento cálido y húmedo tiene gran incidencia. En realidad, la influencia de la insolación, de la temperatura y sobre todo de los vientos cálidos, es preponderante en el proceso de fusión de las nieves.

La acción mecánica de la lluvia y la escorrentía superficial pueden aumentar esta influencia, al desmenuzar el manto de nieve.

La parte de nieve en los volúmenes totales de las crecidas, en estación cálida, es casi siempre pequeña, salvo en algunos pequeños cursos de agua nivoglaciares. Sin embargo, la cobertura nivosa, al retardar el deshielo del suelo o al saturar a este último la humedad, puede aumentar el valor del coeficiente de escorrentía superficial de ciertos aguaceros (reducción de la capacidad inicial de infiltración).

En las regiones frías, en las que los cursos de agua se congelan en invierno con una capa de gran espesor, las lluvias o el deshielo primaverales producen crecidas que arrastran consigo bloques de hielo que entran en el cauce. Detenidos por obstáculos, o por un estrechamiento del cauce, esos bloques pueden acumularse y formar presas cuyo vaso se extiende aguas arriba y provoca inundaciones. A veces, esas presas son bruscamente arrastradas por la corriente, produciendo aguas abajo crecidas violentas que se agotan rápidamente y por esa razón no afectan más que a tramos bastante cortos.

Esos fenómenos juegan un gran papel en el régimen de los ríos siberianos y canadienses que, corriendo de sur a norte, se deshuelan progresivamente de aguas arriba hacia aguas abajo.

Además de por los efectos simultáneos de las crecidas descritos anteriormente, en pequeños cursos de agua, las crecidas pueden ser engendradas o aumentadas por la ruptura de presas naturales o artificiales, liberando bruscamente las aguas acumuladas en ellas; el agrietamiento de bolsones de agua inculidos en masas glaciares ha producido en ocasiones, crecidas catastróficas.

La acumulación en ciertos puntos cerrados, de desechos de todas clases, arrastrados por la crecida, produce a veces una oclusión del lecho o inundaciones aguas arriba.

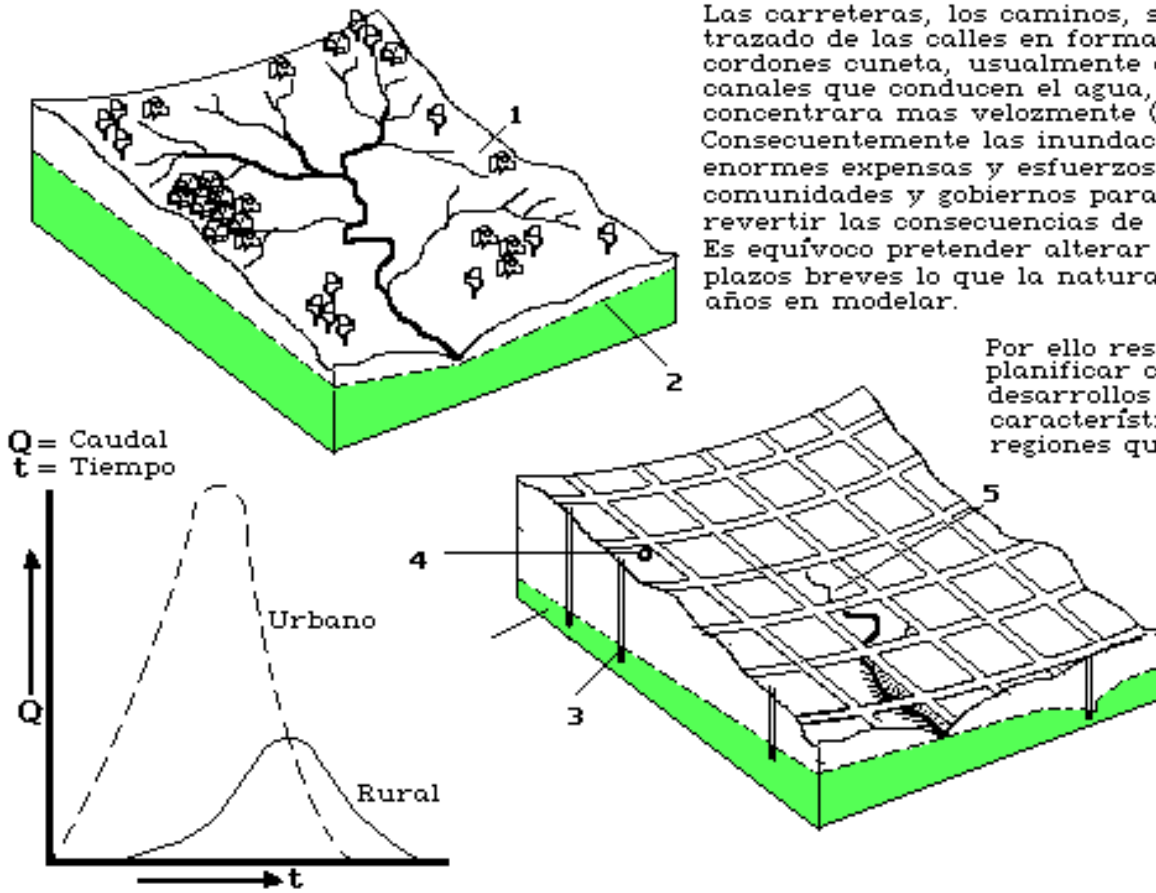
Consecuencias Hidrológicas de la Urbanización de Areas Rurales

La urbanización de las zonas rurales conduce a cambios mayores en las cuencas hídricas. Primero cambia la geometría de la cuenca. La red hidrográfica(1) es reemplazada por la red de desagües de tormenta(4). Los cauces superficiales son rellenados(5), mientras las pendientes son cortadas y niveladas para la construcción de viviendas, de modo tal que el flujo (escorrentía) superficial es transformado en algo enteramente diferente al que trazo la naturaleza.

El sostenido bombeo de agua a través de perforaciones incide disminuyendo el nivel de las napas subterráneas(3), cambiando su gradiente natural.

Las carreteras, los caminos, sus intersecciones y el trazado de las calles en forma ortogonal, con sus cordones cuneta, usualmente duplican del número de canales que conducen el agua, por lo que se se concentrara mas velozmente (ver hidrograma). Consecuentemente las inundaciones demandan de enormes expensas y esfuerzos desalentadores a las comunidades y gobiernos para lograr superar y revertir las consecuencias de la catástrofe. Es equívoco pretender alterar eficientemente y en plazos breves lo que la naturaleza tardó millones de años en modelar.

Por ello resulta tan imprescindible planificar concienzudamente los desarrollos basándose en las características naturales de las regiones que se abordan



Un caudal sólido elevado con grandes acarrees de material erosivo, produce a menudo, sobreelevaciones del nivel del lecho sin relación con el caudal que pasa; es así principalmente, cuando a consecuencia de la disminución de la velocidad del agua, los materiales acarreados se depositan en ciertos puntos y cubren el lecho inicial con muchos metros de arena, grava o bloques; los umbrales o montículos así constituidos son a veces erosionados o barridos, en una fase ulterior a la crecida. Importa determinar la eventualidad de esos fenómenos cuando se intenta estimar el caudal de una crecida, según su nivel máximo, indicado por las huellas dejadas en las orillas ; por ejemplo: es generalmente difícil asegurar que, en el momento en que el nivel de las aguas alcanza su máximo, el lecho del río, y, muy especialmente los controles de su línea de agua, se hallaban en el mismo nivel en que ha podido observárselos después del paso de la crecida (a menudo los montículos existentes en la punta de la crecida son erosionados en el curso del descenso y distribuidos en el lecho aguas abajo).

Además de los factores directos que intervienen, hay que considerar los siguientes factores indirectos:

Físicos:

Indice de pendiente

Indice de compacidad

Perfil longitudinal

Geomorfológicos:

Red de drenaje

Densidad del drenaje

Permeabilidad de las capas superficiales

Geológicos

Características generales

Cubierta vegetal:

Cultivos

Praderas

Monte alto

Monte bajo

Métodos de Estimación de Crecidas - Cálculo de la Crecida de Proyecto

La existencia de un gran número de procedimientos de cálculo de crecidas de proyecto, sin que ninguno de ellos haya sido adoptado unánimemente, indica la magnitud y complejidad del problema y las diferentes actitudes o posiciones, a menudo contradictorias, que los especialistas sostienen en este tema.

Ello es consecuencia, por una parte, de la reducida extensión de las series hidrometeorológicas utilizables, así como de su falta de precisión, particularmente para valores extremos, y, por la otra, de la oposición de criterios y resultados que supone la consideración de los elementos primordiales ligados a los proyectos particulares de toda obra: seguridad y economía.

Como podemos advertir, el fenómeno de la máxima crecida es muy complejo y depende de muchas variables, cuya probabilidad de coincidencia caracteriza el riesgo. Debido a esta complejidad, resulta no sólo recomendable sino absolutamente necesario, el estudio del problema por los distintos métodos conocidos: directos, empíricos, estadísticos, correlación hidrológica e hidrológicos, siendo estos últimos los que tienen mayor sentido físico, y en los que cabe la posibilidad de estudiar bastante aceptablemente el fenómeno de la máxima crecida.

El cálculo de los caudales máximos de los torrentes como de la estimación de crecidas son problemas complejos, aún hoy con los sistemas y modelos hidrodinámicos digitales con los que se cuenta.

La ordenación de las cuencas hidrográficas, en el sentido hidrológico de la noción, es una acción compleja que consiste en la aplicación de un conjunto, unitariamente entendido - de medidas de organización, por una parte, y de trabajos biológicos, agrotécnicos, e hidrotécnicos por la otra, los cuales permitan la realización de un control permanente y racional del agua y del suelo, en la cuenca entera, para llegar a la consecución de algunos objetivos primordiales como:

- corrección de la escorrentía superficial
- lucha contra la erosión del suelo
- reducción de transporte de aluviones
- puesta en valor de terrenos degradados
- protección de objetivos amenazados por las crecidas.

El carácter complejo de la acción de ordenación está determinado por la propia complejidad de lazos que existen entre los factores que participan y dirigen la génesis, el desarrollo y las particularidades del comportamiento de los procesos torrenciales, es decir, de las escorrentías torrenciales (crecidas), de la erosión torrencial, del transporte y sedimentación torrenciales - procesos que se entrelazan y se condicionan recíprocamente en una cuenca hidrográfica.

Resulta de ello que, para fundamentar las soluciones de ordenación, es necesario estudiar profundamente los factores que influyen de una manera importante los procesos que hemos expuesto. En este contexto, un lugar de primordial importancia es ocupado por el conocimiento preciso del caudal líquido máximo establecido en condiciones naturales.

Para profundizar los métodos mencionados se requiere de un lenguaje técnico que escapa al objeto de éste trabajo, por lo que solamente hemos descrito hasta cierto punto la complejidad del problema, brindando los conceptos básicos que son tenidos en cuenta cuando se trata de la estimación técnica.

Conceptos Hidrobiológicos

El Flujo de las Aguas, la Temperatura y el Oxígeno Disuelto

La velocidad de las aguas disminuye de la montaña a la llanura, su flujo de superficie pasa de turbulento a laminar, es decir que mientras cubre sólo parcialmente el fondo de los arroyos de montaña, dejando al descubierto gran parte de las rocas, produciendo saltos y cascadas, en los grandes ríos de llanura, fluye en capas paralelas o laminares, dejando el sedimento de fondo cubierto a mayor profundidad. Las partículas del lecho disminuyen su tamaño relativo debido a que las rocas son meteorizadas por la acción mecánica de la corriente. Así, las partículas más pesadas permanecen aguas arriba y las mas pequeñas y livianas, son arrastradas aguas abajo (areas erosionales y deposicionales respectivamente).

Como consecuencia del cambio de flujo, de turbulento a laminar, el oxígeno disuelto disminuye relativamente desde las nacientes del curso fluvial hasta su desembocadura, ya que la turbulencia cuenca arriba mantiene las aguas saturadas de dicho gas vital, por la permanente mezcla con la atmósfera debido al agitado movimiento torrencial.

En los ríos que corren por regiones de escasa pendiente con flujo laminar, en cambio las proporciones de oxígeno disuelto de las capas inferiores suele ser mucho menor que el valor de saturación, especialmente si no llega la luz que posibilite la fotosíntesis a esas profundidades, y aún puede desaparecer en condiciones extremas. Es usual que se alcancen situaciones de severa depleción de oxígeno por los aportes alóctonos de materia orgánica biodegradable, en

condiciones en que la contaminación invade el curso de agua.

Generalmente la temperatura de las aguas aumenta en forma inversamente proporcional a la altitud, aunque existen excepciones a este respecto.

La temperatura es uno de los factores decisivos para la vida de los organismos acuáticos y que por lo general, incide en la distribución de los mismos. Así el rhithron tiene un rango de temperatura inferior a los 20 C, mientras que el potamon presenta un rango anual de temperaturas medias mensuales que supera los 20 C.

Caracterización Biológica de Tramos Lóticos

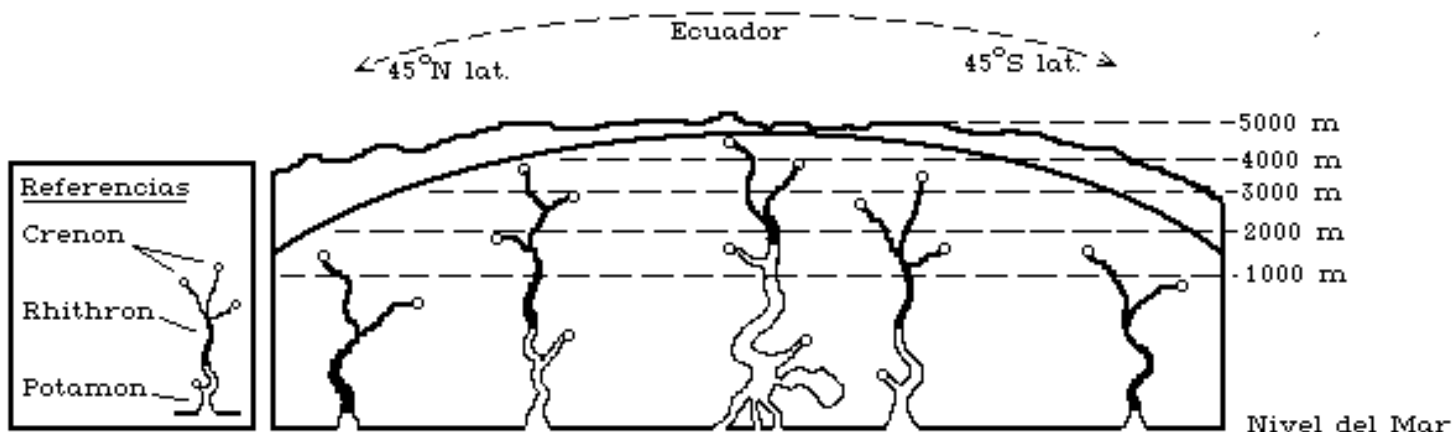
El "rhithron" y el "potamon" son tramos caracterizados por sus particularidades faunísticas.

Los organismos ritrales están adaptados a bajas temperaturas, aguas corrientes rápidas y bien oxigenadas. Para mantenerse en esa zona y no ser arrastrados por la corriente intensa tienen en su mayoría adaptaciones morfológicas y de comportamiento que les permiten fijarse a las rocas del fondo.

En contraste, los organismos de los tramos potamales como los grandes ríos, están adaptados para soportar mayores temperaturas, corrientes de menor velocidad e inferiores tenores de oxígeno disuelto en el agua. Se trata de organismos muy similares a los que habitan los ambientes leníticos por la semejanza de los valores de los parámetros ecológicos limitantes para la existencia de los mismos.

En el potamon, la velocidad de la corriente sobre el lecho del río es baja en relación con el tramo anterior y el fondo está constituido por arena o lodo arcilloso, aunque pueda presentarse algo de grava.

En base a la interpretación limnológica general de la secuencia lótica de los ríos, Illies (1961) realizó un esquema gráfico de gran claridad que permite interpretar la presencia relativa de las zonas de rhithron y de potamon en relación a la temperatura de acuerdo con la latitud y la altitud geográficas.



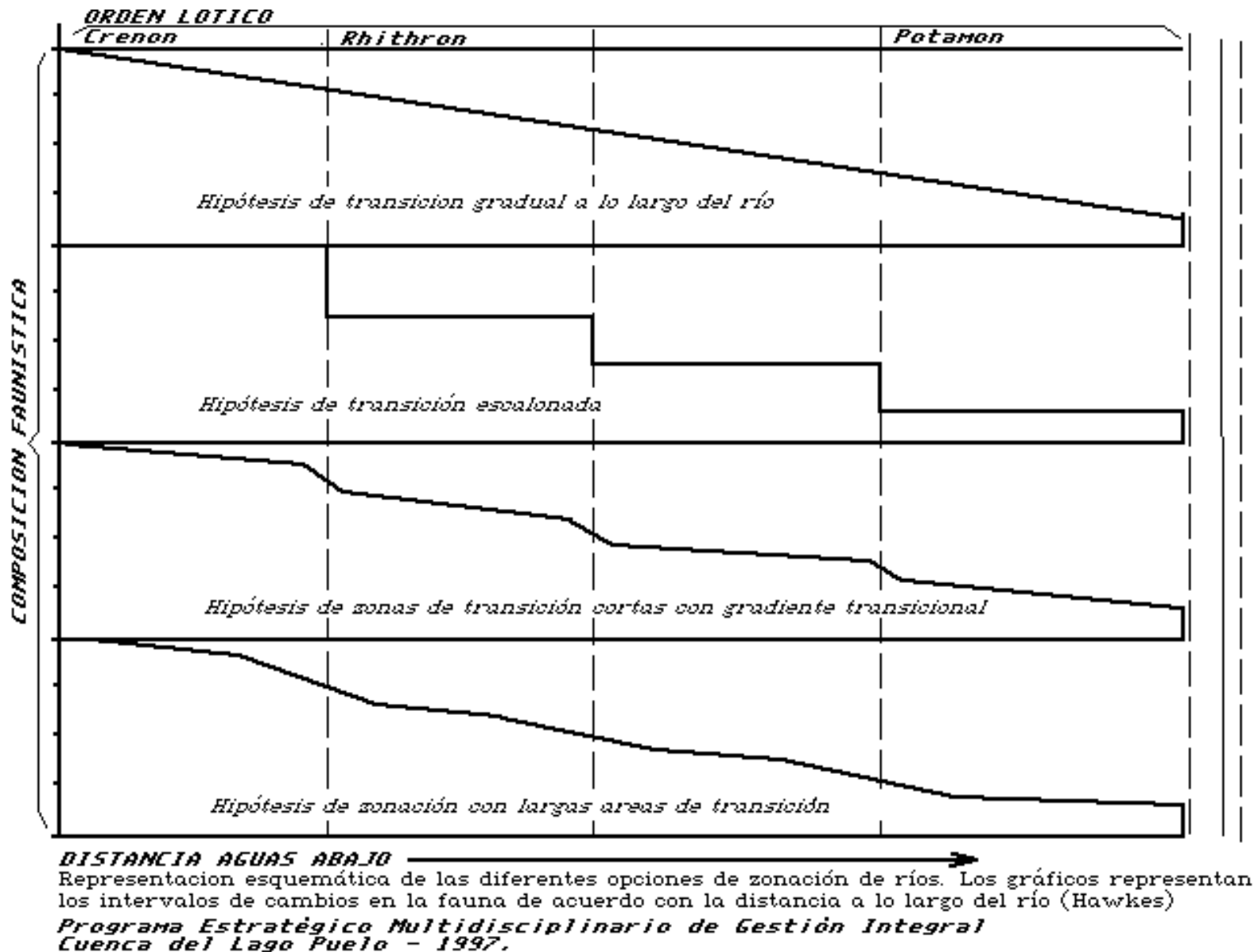
Sección esquemática de un corte sobre un meridiano ideal de la Tierra en un área continental. Se incluyen las regiones templadas del norte y del sur, mostrando los efectos de las condiciones geográficas de latitud y altitud respecto de la zonación de los ríos en el crenon, rhithron y potamon (Illies, 1961).

La transición de los órdenes lóticos

Es evidente que existe una distribución longitudinal de las especies en los ríos con una sucesión a lo largo de su

recorrido, desde su origen hasta su desembocadura. Los diferentes patrones en los cuales se identifican y encuadran los tramos de la sucesión en los ríos está esquematizada en la siguiente figura de Hawkes, 1975:

Algunos investigadores como Funk y Campbell (1953) consideran que la sucesión se produce a través de una transición gradual a lo largo del río. Sin embargo, la mayoría de los autores generalizan tendiendo en cuenta una distribución zonal en la cual existe un límite más o menos pronunciado entre las áreas sucesivas, representadas hipotéticamente en el gráfico b. de la figura siguiente, y de modo más ajustado a la realidad en el c. Ocurre en ocasiones que las zonas definibles e identificables están separadas por largas áreas de transición, tan extensas como las zonas propiamente dichas, como se observa en b. (Backiel, 1964; Hawkes, 1975).



Según Wais, 1985, en los tramos altos de las cuencas andinopatagónicas por ejemplo, las adaptaciones en los organismos bentónicos varían de acuerdo al tipo de microhábitat hospedante considerado, sea sobre roca desnuda, en los intersticios e interfases entre piedras o entre los musgos que crecen sobre rocas semicubiertas de agua. Por ejemplo las diversas formas que presentan en su cuerpo los invertebrados: achatados dorsoventralmente, subcilíndricos o comprimidos lateralmente, y las diversas formas de fijación, por superficies de adhesión rugosas sin espinas, por secreciones adherentes, por ventosas, por segmentos superpuestos que producen contacto marginal, por concavidades retráctiles en el abdomen, por proyecciones laterales carnosas, por espinas dorsales fuertes en el cuerpo y/o en las patas, por crestas espiniformes dorsales, por conjuntos de espínulas ventrales, por ganchillos espinosos dispuestos en círculos, por pelos rígidos, por uñas terminales fuertes en las patas, por garras posteriores abdominales.

La inserción lateral de las patas en el cuerpo y la tibia articulada en una concavidad del fémur en los insectos acuáticos les permite tener una mayor rigidez en las patas y estar a la vez protegidos del efecto destructor de las corrientadas intensas.

Algunos organismos carecen de pigmentación en la zona ventral, y este hecho, sumado al de ser aplanados dorsoventralmente indica que viven continuamente adosados al substrato de manera tan estrecha como les sea posible, no dejando pasar el agua por debajo de sí.

En contraste, como antes lo expresáramos, los organismos de los tramos potamales de grandes ríos, están adaptados a soportar mayores temperaturas, corrientes de menor velocidad y menores tenores de oxígeno disuelto en el agua. Se trata de organismos muy similares a los que habitan en los cuerpos leníticos por la semejanza de los parámetros de los valores ecológicos limitantes para la vida de los mismos. Caracterizan este tramo los moluscos, tales como las almejas de agua dulce (bivalvos) que se entierran en el fino sedimento de los grandes ríos, y caracoles que se adhieren a las rocas. Mientras que el rhithron es mucho más rico en bentos (organismos de fondo de cauce) que en plancton (comunidad de microorganismos vegetales y animales en suspensión), en los tramos potamales sucede lo contrario.

Estas consideraciones permiten interpretar los cambios que se producen en cada tramo por obra del hombre, desde el momento en que uno conoce cuáles son los organismos animados que habitan estas zonas delimitadas faunísticamente.

Aunque existe una transición entre ambas zonas, por motivos prácticos a los efectos de su estudio, se convino en separarlas de acuerdo con sus características más destacadas, pero fundamentalmente por uno de los factores más decisivos en la mayor parte para la existencia de los organismos acuáticos y que por lo general gobierna su distribución: **la temperatura**.

Desde los arroyos de cabecera hasta la desembocadura, las variables físicas del sistema hidrográfico presentan una gradiente de condiciones. Este cambio paulatino y progresivo de los parámetros físicos, suscita una serie de respuestas en las poblaciones de los organismos acuáticos, de lo que resulta un continuo escalonamiento de ajustes bióticos y consecuentes patrones de carga, transporte, utilización y almacenamiento de la materia orgánica a lo largo del curso fluvial, desde los pequeños arroyos hasta los grandes ríos. Este concepto se basa en la "Teoría del Equilibrio Energético" de los geomorfólogos fluviales que sostiene como hipótesis que las características estructurales y funcionales de las comunidades biológicas líticas se adaptaron a lo largo de la evolución, de tal forma que se ubican en las posiciones más probables y adecuadas del sistema físico en relación con sus estrategias adaptativas desarrolladas por selección natural a lo largo de milenios. Así, las poblaciones productoras y consumidoras características de un tramo dado del río, se establecen en completa armonía con las condiciones físicas del medio.

Capitalización de la Energía

De este modo, las especies se reemplazan en el espacio capitalizando eficientemente la energía del recurso, y las comunidades de aguas abajo están adaptadas a aprovechar las ineficiencias procesales de las ubicadas a mayor altitud, utilizando aquello de lo que éstas no sacaron provecho aguas arriba.

En los arroyos de alta cuenca encontramos por lo general un frondoso bosque marginal. Esta masa arbórea fija el suelo con sus raíces y frena impidiendo que las precipitaciones caigan bruscamente sobre el suelo, evitando el escurrimiento superficial severo. Producen sombra casi permanente aún durante los mediodías, por cubrir casi enteramente a los angostos arroyos con sus copas y realizan un continuo aporte de materia orgánica con la caída de ramas, frutos, semillas y hojas al agua. Esta materia alóctona ingresante a los ecosistemas acuáticos, juega un papel muy importante en los ambientes acuáticos de cabecera de cuenca.

La vegetación caducifólea con sus ciclos estacionales de renovación vierte las hojas secas sobre los cauces y los árboles perennes durante el invierno aportan ramas que se quiebran debido al peso de la nieve, ya que estos arroyos

por lo general son de altitud y la precipitación suele presentarse en estado sólido.

Como consecuencia de la ausencia de luz, no existe prácticamente producción primaria por fotosíntesis dentro del curso de agua, sin embargo habita una gran comunidad de invertebrados acuáticos y peces adaptados a vivir en este tipo de ambientes, formando tramas tróficas cuyas bases están constituidas por materia vegetal de origen alóctono. Los árboles ribereños proveen de "materia orgánica gruesamente particulada" (MOGP), (Vannote et al. 1980), bautizada así por el tamaño de las hojas, ramas, frutos, etc., de dimensiones superiores al milímetro.

Una vez en el agua, esta materia de origen alóctono es atacada por bacterias y hongos de la putrefacción. Algunos invertebrados se alimentan de esos hongos y bacterias, pero para poder consumirlos deben ingerir la MOGP sobre la cual se encuentra su alimento. El Dr. Ken Cummins en sus clases en la Universidad Estatal de Oregon comentaba que el comportamiento alimentario de estos invertebrados puede compararse a la de un ser humano que quiere comer manteca pero debe ingerirla con el pan de las tostadas. Así, la MOGP es ingerida por estos invertebrados denominados "fragmentadores". En el tracto digestivo de estos pequeños animales la MOGP se continúa fragmentando, ya triturada inicialmente por las piezas bucales, y es finalmente eliminada aquella materia vegetal que contiene lignina y celulosa, habiéndose digerido la fracción de alimento que contenía a los hongos y bacterias, los que quedan incorporados a su metabolismo.

Existen otros invertebrados que se denominan "colectores", en su mayoría filtradores, que aprovechan para su nutrición los hongos y bacterias de la putrefacción, pero de la "materia orgánica finamente particulada" (MOFP), de tamaño inferior al milímetro. Esta MOFP puede caer directamente al agua con ese tamaño o haber resultado de la particularización de los fragmentadores previamente a partir de la MOGP.

La tasa producto del cociente entre la producción primaria y la respiración resulta mucho menor que 1, lo cual evidencia el carácter heterotrófico del sistema de arroyos de los primeros órdenes.

Fragmentadores, colectores, predadores y ficófagos bentónicos son los cuatro grupos funcionales que por lo general caracterizan a los ambientes lóticos del primer orden

Una porción menor de invertebrados y otros animales acuáticos, son los "predadores" y los "ficófagos bentónicos" que son comedores de las algas del fondo. En los tramos de cabecera de cuenca con densos bosques marginales su presencia es escasa debido a la falta de luz que limita el desarrollo de algas en los cursos de agua.

En los tramos inferiores de cuenca media, la mayor entrada de energía solar provoca un incremento considerable en la productividad primaria, especialmente algas filamentosas y vegetales superiores arraigados denominados fitobentos. El crecimiento vegetal autóctono genera un inicio de mayor número de tramas tróficas. Así encontramos en estos tramos que los ficófagos que comen directamente las algas del fondo aumentan. Los fragmentadores en cambio, disminuyen considerablemente como consecuencia del menor aporte alóctono de MOGP

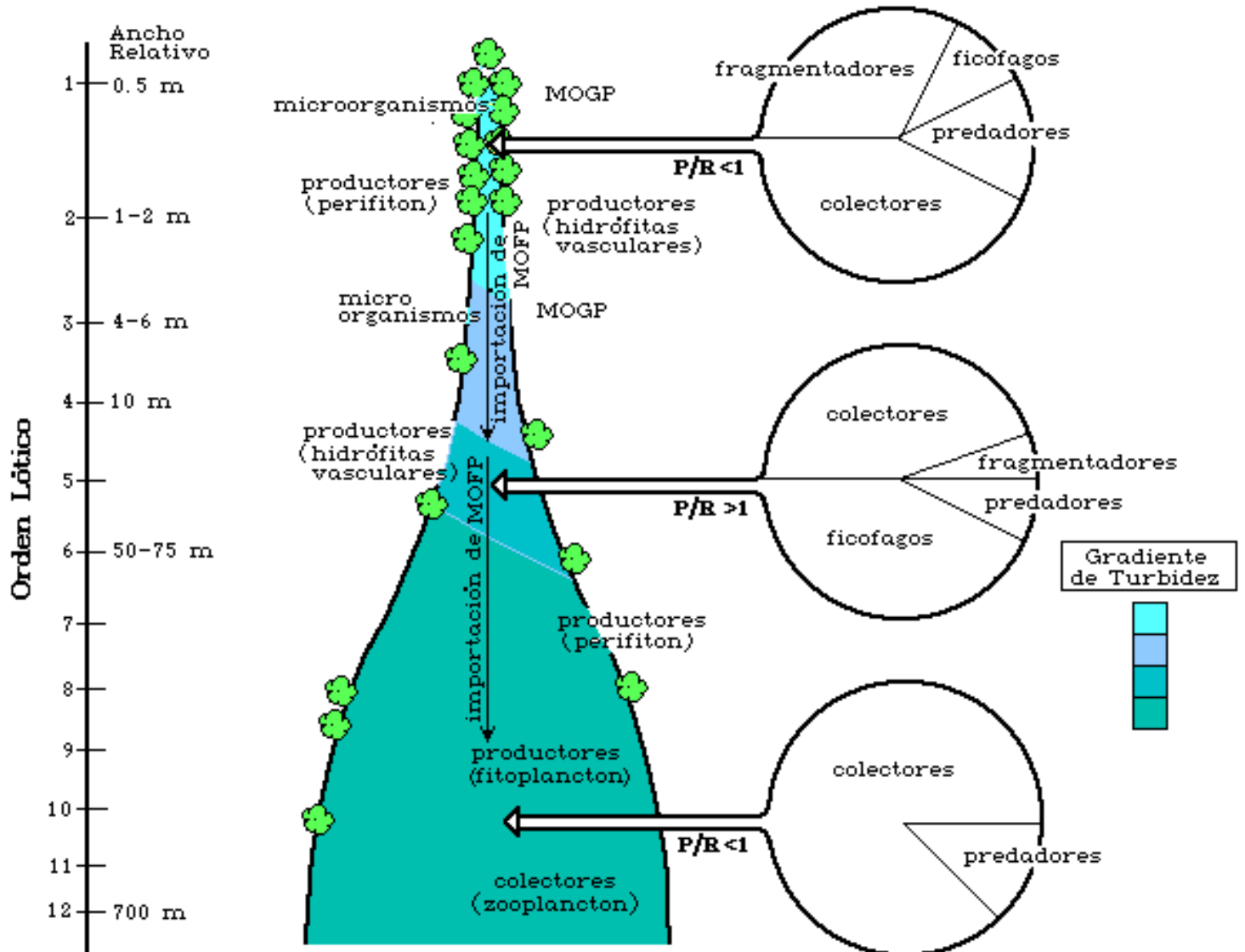
La tasa de producción primaria sobre la respiración es mayor que 1 con lo que hay producción primaria como resultado del metabolismo vegetal fotosintético dentro del agua.

El último tramo se caracteriza por la proliferación del fitoplancton y del zooplancton que crece a expensas de esas algas en suspensión, los grupos funcionales en este tramo quedan casi reducidos a dos, el de los colectores a causa de la gran cantidad de MOFP transportada desde aguas arriba y aportada por los componentes muertos del plancton que decantan, y una porción de predadores que se ha mantenido más o menos constante en los tres trechos lóticos.

Los colectores de los tramos ritrales son, entre otras, las larvas de los insectos simúlidos que se ubican casi perpendicularmente sobre el substrato pedregoso, filtrando las partículas alimenticias de la MOFP con los abanicos de su cabeza. En cambio, ejemplos de colectores de los grandes ríos, enterrados en el sedimento fino, filtrando las partículas de alimento a través de "sifones" del cuerpo, son las almejas. También se encuentran entre los colectores de

estos tramos los gusanos tubificidos.

La turbiedad producida por material fino en suspensión limita la fotosíntesis, por lo que en estos tramos inferiores, la relación producción/respiración es ligeramente menor que 1.



Relación entre el orden lótico, el ancho relativo de un curso fluvial, la turbidez de las aguas y el progresivo cambio en los atributos estructurales y funcionales de las comunidades acuáticas mejorado según el Concepto de Continuidad de Cursos Lóticos (Cummins, 1977; Vanotte et al, 1980)

El efecto directo de la vegetación ribereña es prácticamente insignificante en este tramo.

Resumiendo, resulta evidente que toda la materia orgánica soluble o insoluble que no es utilizada aguas arriba, se procesa, se acumula o se transfiere aguas abajo, de forma tal que el río "capitaliza" en cada tramo las ineficiencias de los procesos en sectores de aguas arriba.

