

5.1 LA HIDROSFERA

LA HIDROSFERA REGULA EL CLIMA, PARTICIPA EN EL MODELADO DEL RELIEVE Y HACE POSIBLE LA VIDA SOBRE LA TIERRA

- La hidrosfera es el subsistema de la Tierra, estrechamente relacionado con los otros subsistemas (geosfera, atmósfera y biosfera), constituido por el conjunto del agua en sus tres estados físicos: líquido (aguas subterráneas, mares, océanos, lagos y ríos), sólido (casquetes polares, glaciares e icebergs) y gaseoso (vapor de agua de la atmósfera y nubes que se forman por su condensación). Constituye una cubierta dinámica, con continuos movimientos y cambios de estado.
- Se formó por la condensación y solidificación del vapor de agua presente en la atmósfera durante las primeras etapas de la historia de la Tierra, al irse enfriando ésta.

5.2 ESTRUCTURA Y PROPIEDADES DEL AGUA

EL AGUA TIENE PROPIEDADES ÚNICAS Y ESENCIALES

- El agua está formada por dos átomos de hidrógeno unidos covalentemente a uno de oxígeno formando un ángulo de 105° . Debido a esta disposición y a la distribución desigual de los electrones en los enlaces covalentes, la molécula de agua constituye un dipolo, con una zona positiva y otra negativa que se corresponde con los átomos de hidrógeno y oxígeno respectivamente.
- A causa de esta polaridad las moléculas de agua tienden a unirse con las vecinas, lo que proporciona al agua una serie de propiedades únicas:
 - El agua existe en forma líquida en una banda de temperaturas muy ancha. Esto determina que se pueda mantener líquida en la mayor parte de las regiones climáticas de la Tierra.
 - El agua líquida cambia de temperatura muy lentamente, porque es capaz de acumular una gran cantidad de calor sin sufrir un cambio notable en su temperatura. Esta alta capacidad calorífica protege a los organismos de los cambios bruscos de temperatura, regula el clima en la Tierra y hace que sea un excelente refrigerante.
 - Hace falta mucho calor para evaporar el agua líquida y se desprende mucho calor al condensarse el vapor de agua. Esto es fundamental en la distribución del calor por todo el mundo y contribuye también en su capacidad refrigerante.
 - El agua líquida puede disolver una gran cantidad de compuestos. Esto la capacita para actuar como medio de transporte de nutrientes y de productos de desecho en los seres vivos; también se aprovecha para eliminar los residuos producidos por la actividad humana.
 - La cohesión entre las moléculas de agua y su capacidad de adhesión a distintos materiales determina los fenómenos de capilaridad que contribuyen al transporte de sustancias en los vegetales.
 - Al contrario que la mayoría de los líquidos, el agua se expande cuando se congela (la densidad máxima se alcanza a los 4°C). Gracias a esta propiedad las masas de agua se congelan desde la superficie hacia dentro, quedando frecuentemente agua líquida en el interior, lo que facilita la supervivencia de las especies acuáticas.
- Todas estas propiedades hacen que el agua haya jugado un papel fundamental en la aparición y el mantenimiento de la vida sobre la Tierra.

5.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS OCEÁNICAS Y CONTINENTALES

LA SALINIDAD DE LOS MARES Y OCÉANOS VARÍA DE UNAS ZONAS A OTRAS

- El carácter salino del agua oceánica se debe a dos causas: la disolución, por los ríos, de sales en los continentes, y los aportes de sales desde las dorsales oceánicas.
- La salinidad puede variar dependiendo de varios factores: la evaporación y la formación de hielo incrementan la salinidad, mientras que las precipitaciones y el aporte de agua dulce, procedente de ríos o de la fusión de glaciares, la hacen disminuir.

- Las zonas de menor salinidad corresponden a las latitudes intertropicales y templadas, donde las precipitaciones son más abundantes, mientras que las de mayor salinidad son las zonas de los cinturones subtropicales de altas presiones, donde la evaporación es más intensa y las precipitaciones son menos abundantes.

LA TEMPERATURA DEL AGUA VARÍA TANTO HORIZONTAL COMO VERTICALMENTE

- La temperatura de los océanos y los lagos varía tanto en horizontal como en la vertical. Las variaciones horizontales son latitudinales y son equivalentes a las que se dan sobre los continentes.
- En la vertical, los océanos tienen dos zonas térmicas: una somera templada (epilimnion) y otra fría profunda (hipolimnion). La zona de transición se llama termoclina (mesolimnion).

LOS ORGANISMOS FOTOSINTÉTICOS NO SE PUEDEN DESARROLLAR EN LAS ZONAS PROFUNDAS

- Igual que en los ambientes terrestres, la iluminación de las aguas varía con la latitud, siendo máxima en las zonas intertropicales y mínima en los polos. La profundidad a la que penetra la luz depende también de la materia en suspensión que tenga el agua y del crecimiento del fitoplancton.
- Las zonas iluminada o fóticas permiten la existencia de organismos fotosintetizadores y contiene alimento para otros organismos consumidores. En las zonas afóticas sólo existen organismos heterótrofos y quimiosintéticos.

LAS AGUAS TIENEN DISUELTOS LOS MISMOS GASES QUE EXISTEN EN LA ATMÓSFERA

- El CO₂ es el gas más soluble y, por lo tanto, el más abundante en el agua, seguido por el O₂ y el N₂.
- El oxígeno disuelto en el agua procede de la atmósfera y de la actividad fotosintética y disminuye principalmente por el aumento de la temperatura y por el consumo de los organismos, que lo utilizan para respirar. Las aguas más agitadas, frías y con abundantes organismos fotosintéticos serán las que tengan más oxígeno.

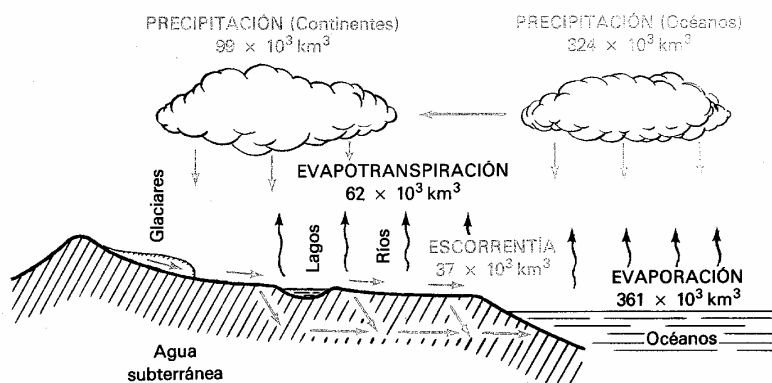
5.4 EL CICLO HIDROLÓGICO

LA SALINIDAD DE LOS MARES Y OCÉANOS VARÍA DE UNAS ZONAS A OTRAS

- El agua se encuentra en la atmósfera, los continentes y los océanos. Los depósitos de la hidrosfera están conectados, y el agua fluye a través de ellos configurando un circuito cerrado conocido como ciclo hidrológico o ciclo del agua.

Océanos y mares	97,2 %
Glaciares	2,2 %
Aguas subterráneas	0,6 %
Ríos y lagos	0,02 %
Atmósfera	0,001%

- El calor del sol evapora el agua de los océanos, lagos y ríos (especialmente en las zonas intertropicales), este vapor de agua se condensa formando nubes que, al enfriarse, liberan el agua en forma líquida o de nieve, según su grado de enfriamiento. Los ríos o glaciares así formados terminan por desembocar en el océano (escorrentía). El agua también pasa del suelo a la atmósfera a través de las plantas (transpiración).



El balance numérico de la figura permite comprobar que el movimiento del agua en la hidrosfera es realmente un ciclo, ya que $\text{evaporación} = \text{precipitación} + \text{escorrentía}$.

5.5 DINÁMICA DE LAS AGUAS OCEÁNICAS

EL OLEAJE ES PRODUCIDO POR EL ROZAMIENTO DEL VIENTO SOBRE LA SUPERFICIE DEL MAR

- El viento provoca en la superficie de los océanos el oleaje, un movimiento ondulatorio que se propaga radialmente hasta encontrar una línea de costa, donde las olas transmiten su energía a la litosfera, rectificando los perfiles costeros.

- El tamaño y la velocidad de las olas formadas dependen de tres factores: la velocidad del viento, la duración del mismo y la superficie de agua sobre la que sopla.
- El movimiento de cada partícula de agua al ser agitada por la ola es prácticamente circular. Cuando la profundidad es menor que la mitad de la longitud de onda, la ola "siente" el fondo, con lo que es frenada y aumenta su altura, transformándose las órbitas en ovals. Cuando el fondo es ya muy somero, la base pierde tanta velocidad que la cresta la adelanta y la ola rompe.

LA ENERGÍA SOLAR, EL VIENTO Y LA ROTACIÓN DE LA TIERRA ORIGINAN LAS CORRIENTES OCEÁNICAS SUPERFICIALES

- Casi todas las corrientes marinas importantes son causadas por los vientos dominantes que soplan sobre la superficie. La energía se transmite del viento al agua a través del rozamiento del aire con la superficie del océano.
- Como la Tierra gira hacia el E, el agua tiende a acumularse en los bordes occidentales de los océanos, situándose en esa zona las corrientes más intensas.
- Debido a la fuerza de Coriolis, el movimiento del agua se ve desviado hacia la derecha en el hemisferio norte y, por consiguiente, la corriente tiene en la superficie una dirección que forma un ángulo de 45° con la dirección del viento (figura 7.19, pág. 204).

LAS DIFERENCIAS DE TEMPERATURA Y SALINIDAD PROVOCAN MOVIMIENTOS VERTICALES DEL AGUA OCEÁNICA

- En las corrientes superficiales el agua se mueve sobre todo en la horizontal. Existen otras corrientes que tienen una componente vertical importante y que son debidas a las diferencias de densidad. De este modo, el agua superficial enfriada en los océanos Ártico y Antártico se sumerge hacia el fondo, extendiéndose hacia el ecuador y desplazando hacia arriba al agua menos densa y más cálida.
- Las diferencias de densidad también pueden ser consecuencia de la distinta salinidad. Lógicamente, una mayor evaporación conduce a una mayor salinidad, aunque en algunas zonas oceánicas ecuatoriales la máxima evaporación se ve compensada por el aporte de grandes cantidades de agua dulce realizado por las lluvias o por ríos importantes.
- Las corrientes originadas por diferencias de temperatura y salinidad reciben el nombre de corrientes termohalinas.
- Los océanos tienen dos capas, las aguas superficiales (0-200 m de profundidad) y las aguas profundas (>200 m de profundidad). Más de un 85% del volumen de los océanos son aguas profundas. La termoclina impide la mezcla. El desplazamiento del agua superficial hacia el oeste provocado por los alisios provoca un "vacío" de agua en la superficie que favorece el ascenso de aguas profundas y frías. Estas zonas de afloramiento de aguas profundas son muy ricas ya que éstas arrastran hacia la superficie los nutrientes acumulados en el fondo.
- La configuración del fondo oceánico y de las costas es otro factor que contribuye a determinar los movimientos del agua de los océanos.

LA "CINTA TRANSPORTADORA OCEÁNICA" RECORRE LA MAYORÍA DE LOS OCEANOS DEL PLANETA

- El conjunto formado por todos los mares y océanos del globo recibe el nombre de océano global, ya que todos ellos están conectados.
- Existe una corriente que recorre la mayoría de los océanos de la Tierra y que recibe el nombre de "cinta transportadora oceánica. Una parte circula como corriente profunda, condicionada por la mayor densidad del agua enfriada en los polos, y otra como corriente superficial relacionada con los vientos dominantes (figura 7.20, pág. 205).
- Esta "cinta transportadora" tiene una gran influencia en el clima global. Es responsable, por ejemplo, del mantenimiento de la temperatura en Europa occidental por encima de lo que le correspondería.

LAS MAREAS SON PRODUCIDAS POR LA ATRACCIÓN DE LA LUNA Y EL SOL

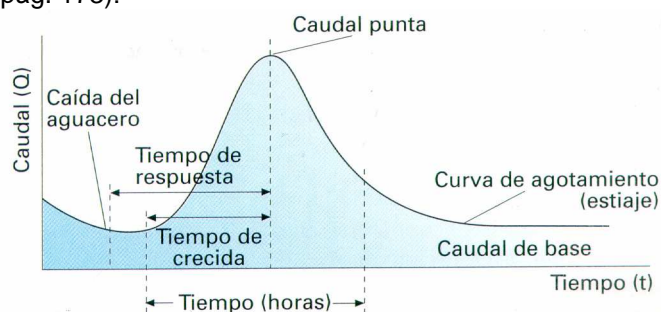
- Son las deformaciones causadas en la Tierra por la atracción de otros astros, sobre todo la Luna y el Sol (éste en mucha menor medida). Aunque también afectan a la litosfera se reflejan mejor en los fluidos, y son especialmente visibles en los límites de la hidrosfera.
- La atracción de la Luna produce un abombamiento (protuberancia mareal) en la zona de la superficie de los océanos más próxima a ella, y también se produce una protuberancia equivalente en el extremo diametralmente opuesto, aunque en este caso debido a la diferencia de atracción entre la superficie y el centro de la Tierra.

- La amplitud de las mareas no es constante, puesto que depende de la posición relativa y de las distancias entre la Tierra, la Luna y el Sol, las cuales van variando continuamente. Cuando la Luna y el Sol están en sici-gia (conjunción u oposición, es decir, en el plenilunio y en el novilunio) sus efectos se suman, produciéndose mareas más amplias de lo habitual, denominadas mareas vivas. En cambio, cuando están en cuadratura, sus efectos se contrarrestan, produciéndose mareas menos marcadas de lo habitual denominadas mareas muertas.
- Al ir girando la Luna (que es el cuerpo que produce las máximas mareas) respecto a la Tierra, la protuberancia mareal va girando con ella, alternándose, en cada punto de la costa, los momentos de marea alta (pleamar) con los de marea baja (bajamar). Como, por el efecto de la rotación, cada punto de la Tierra se alinea con la Luna dos veces al día, habrá dos pleamares y dos bajamares diarias.
- Las mareas provocan corrientes locales que pueden intervenir en el transporte de materiales y amplían la zona de actuación de las olas como agente erosivo.

5.6 DINÁMICA DE LAS AGUAS CONTINENTALES

LOS RÍOS Y LOS TORRENTES SON LOS PRINCIPALES ESCULTORES DEL RELIEVE CONTINENTAL

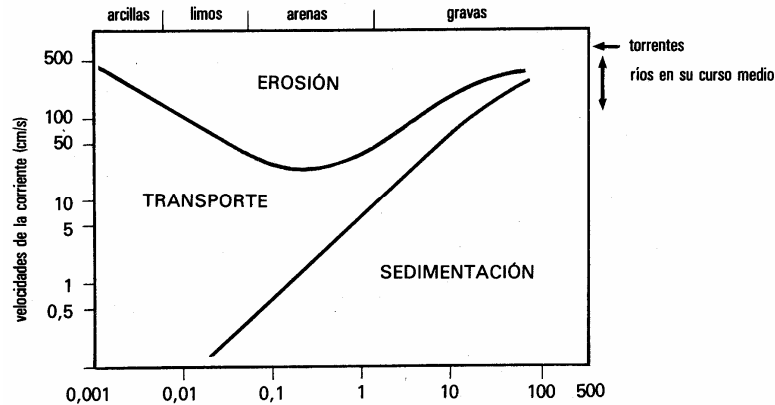
- En la mayoría de los paisajes se pueden distinguir valles, más o menos amplios, separados por lomas o crestas (interfluvios). La erosión del fondo del valle es producida principalmente por los ríos y torrentes y se conoce como erosión lineal, mientras que la erosión de las vertientes de los interfluvios, denominada erosión areolar, la realizan fundamentalmente los fenómenos de ladera.
- El caudal es la cantidad de agua que lleva un río o torrente y puede variar de forma estacional o temporal, aumentando por el deshielo o el incremento de precipitaciones provocando crecidas y disminuyendo en las épocas de estiaje.
- La variación del caudal con el tiempo se representa mediante una gráfica denominada hidrograma. Estas gráficas se elaboran en función de las variaciones del caudal a lo largo del año, utilizándose entonces para apreciar las épocas de crecida o de estiaje (figura 6.43, pág. 173), o de unos días, en cuyo caso se utiliza para predecir las avenidas (figura 6.44, pág. 173):



Se puede apreciar el caudal máximo o caudal punta, el tiempo transcurrido entre la precipitación y la avenida, denominado tiempo de respuesta, y la curva de agotamiento hasta recuperar el caudal de base.

- La capacidad de una corriente (Q) es la cantidad de material que puede transportar (depende del caudal y la velocidad), mientras que la carga (C) es la cantidad real de material transportado. Un curso de agua es capaz de erosionar cuando su carga es inferior a su capacidad, en el caso contrario deposita sedimentos. En función de esto se pueden dar tres situaciones:
 - Si $Q > C$ la corriente tendrá capacidad erosiva y profundizará en el valle.
 - Si $C > Q$ predominará la sedimentación.
 - Cuando $C = Q$, la corriente invierte toda su energía en vencer el rozamiento y transportar sin erosión ni sedimentación.
- La proyección de la altura de todos los puntos de un curso de agua en función de la distancia da lugar a una curva que se conoce como perfil longitudinal, en el que el extremo más bajo corresponde al nivel de base. Las corrientes de agua tienden a profundizar su cauce tratando de alcanzar el nivel de base. Como parte de su energía la invierte en vencer el rozamiento nunca llegará a alcanzarlo; el perfil teórico hasta el cual un río podría profundizar su cauce se conoce como perfil de equilibrio. El proceso de excavación por el cual el río profundiza en su cauce para lograr igualar el nivel de base se denomina erosión remontante (figura 6.50, pág. 179).

- El diagrama de Hjulström permite determinar los procesos geológicos (erosión, transporte, sedimentación) que realizará una corriente de agua en función de su velocidad y del tamaño de las partículas.



En el diagrama se puede apreciar que limos y arcillas (más pequeños) requieren velocidades mayores para su transporte que las arenas. Esta circunstancia, conocida como efecto Hjulström, se debe a que arcillas y limos son sedimentos más cohesivos y ofrecen mayor resistencia a la corriente.

- Dependiendo del tamaño y la solubilidad de los materiales, el transporte puede ser realizado como carga de fondo (por arrastre, rodadura o saltación), como carga en suspensión o como carga en disolución.

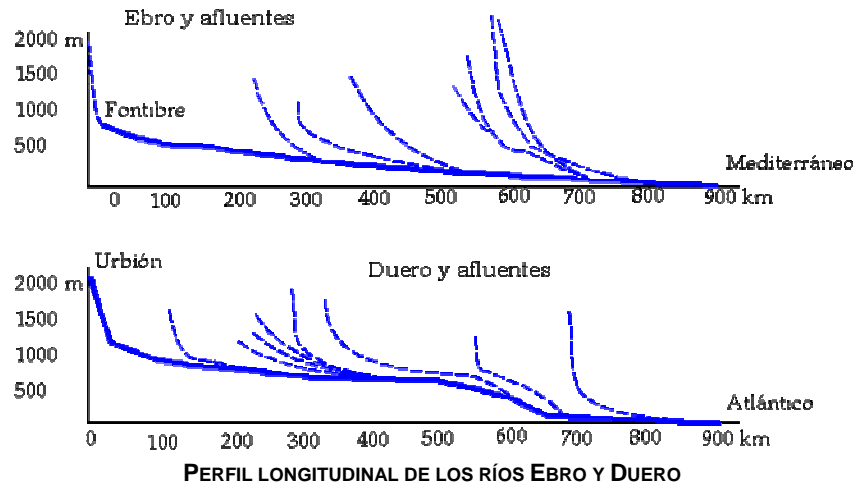
LOS TORRENTES SON CURSOS DE AGUA CON UN CAUDAL ESTACIONAL

- Los torrentes son cursos de agua, característicos de las regiones montañosas, de cauce permanente y con un caudal estacional que depende de las lluvias o del deshielo.
- En su parte alta están formados por un conjunto de barrancos cuyas aguas confluyen y que constituyen la cuenca de recepción del torrente; el canal común que siguen estas aguas es el canal de desagüe.
- Los cauces torrentiales se caracterizan por sus fuertes pendientes, que hacen que sus aguas sean veloces y turbulentas. Por lo tanto, su capacidad es casi siempre superior a la carga que transportan.
- Su capacidad erosiva es suficiente para evacuar todos los productos de la meteorización que llegan a los cauces procedentes de las laderas y para ejercer una intensa erosión lineal en el fondo de los mismos, encajándose y dando lugar a valles con perfiles en forma de V.
- Si predomina la erosión de fondo sobre la erosión de las vertientes, el perfil transversal del valle tiene forma de V cerrada; esto ocurre cuando las rocas que atraviesa el cauce son coherentes, de forma que pueden mantenerse en paredes verticales o subverticales sin sufrir derrumbamientos; el valle puede adoptar entonces la forma de garganta o desfiladero.
- Si la pendiente del cauce es menor la erosión de fondo disminuye, quedando su efecto compensado por el ensanchamiento del valle debido a la erosión de las vertientes; resultan así valles en forma de V abierta.
- Cuando los torrentes desembocan en valle amplio sus aguas se extienden, pierden velocidad y, por tanto, capacidad de transporte y depositan casi toda su carga formando así abanicos aluviales o conos de deyección. La unión de varios abanicos aluviales origina un manto continuo denominado piedemonte.

EN LOS RÍOS SE PUEDEN DISTINGUIR TRES TRAMOS: CURSO ALTO, CURSO MEDIO Y CURSO BAJO

- Una cuenca hidrográfica, o el perfil longitudinal de un río, puede dividirse en tres tramos caracterizados por tener pendientes cada vez más suaves. Estos tramos son:
 - Curso alto: cerca de su nacimiento el río discurre por fuertes pendientes y tiene aspecto de torrente. Predomina la erosión y el transporte sobre la sedimentación. El valle adopta forma de V más o menos cerrada o incluso de garganta o desfiladero.
 - Curso medio: se reduce la pendiente y el río pierde capacidad erosiva, predominando el transporte y la sedimentación.
 - Curso bajo: próximo a su desembocadura el río ha perdido totalmente su capacidad erosiva y solo es capaz de transportar los materiales más finos. En este tramo predomina la sedimentación.
- En el curso medio y bajo los ríos recorren pendientes suaves y una altura cercana al nivel de base. El río invierte su energía en transportar todos los sedimentos aportados aguas arriba por sus tributarios. Se forman valles amplios con un fondo plano denominado llanura aluvial o de inundación (o vega). Estas llanuras constituyen terrenos especialmente fértiles para la agricultura por la presencia de agua freática y por el aporte de los dos y barros que suministra el río durante las crecidas.

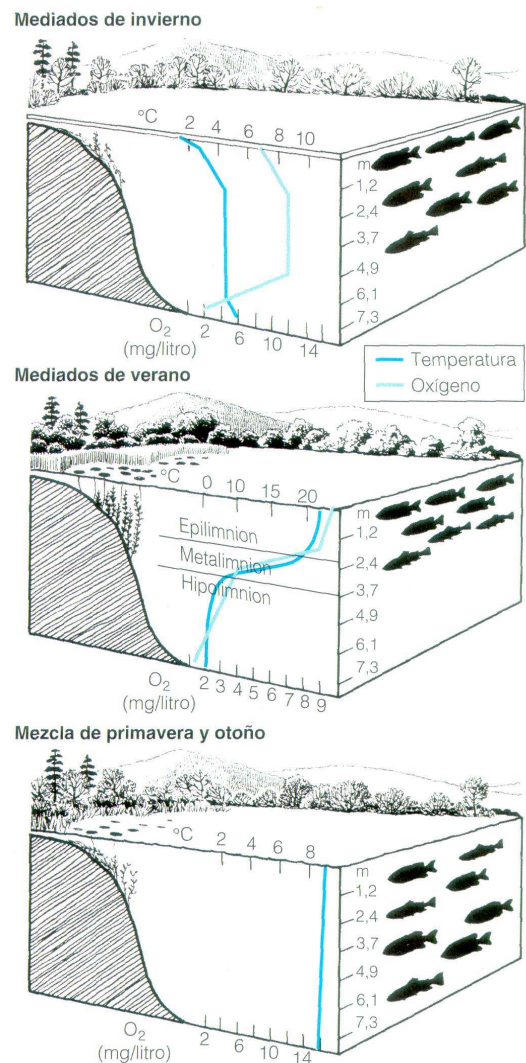
El río corre habitualmente por un canal más o menos encajado en dicha llanura que recibe el nombre de lecho menor y sólo esporádicamente llega a cubrir la llanura de inundación (durante las crecidas).



- En la llanura aluvial el cauce puede adoptar dos tipos de trazado: el cauce anastomosado o trenzado y el cauce meandriforme.
- En ocasiones, los ríos llegan a erosionar verticalmente su llanura de inundación, encajándose en la misma. Esto puede ocurrir por variaciones del nivel de base o por cambios importantes en el clima y, por tanto, en el caudal. El resultado es la formación de una serie de escalones en las laderas del valle denominadas terrazas (figura 6.42, pág. 172).

LOS LAGOS DE LAS ZONAS TEMPLADAS EXPERIMENTAN VARIACIONES ESTACIONALES

- En los lagos profundos la temperatura cambia tanto estacionalmente como con la profundidad. La cantidad de luz que penetra se ve influida por los materiales aportados al lago que permanecen en suspensión y por el crecimiento del fitoplancton. La disponibilidad de oxígeno puede ser limitada, principalmente en verano, ya que únicamente una pequeña proporción del agua está en contacto directo con el aire, mientras que es consumido por la descomposición en las capas profundas.
- Las poblaciones de organismos que habitan en los lagos de las zonas templadas experimentan cambios estacionales relacionados con los cambios de temperatura y, sobre todo, de las concentraciones de oxígeno.
- En verano las aguas superficiales se calientan y, debido a su menor densidad, permanecen en la superficie estableciéndose una clara estratificación de aguas superficiales cálidas y oxigenadas y aguas profundas frías con déficit de oxígeno, separadas por la termoclina.
- Al llegar el otoño las aguas superficiales empiezan a enfriarse, volviéndose más densa, hasta que llega un momento en que se hunde y desplaza hacia la superficie el agua profunda. Este proceso se repite, por lo que la temperatura del lago tiende a uniformizarse y se produce una mezcla vertical en la que toda la masa del lago se recarga de oxígeno y nutrientes.
- En invierno, si el agua superficial alcanza temperaturas inferiores a 4°C, se hace menos densa y se detiene la mezcla.
- Con el deshielo primaveral y el calentamiento del agua hasta los 4°C se produce una nueva mezcla, cargándose de oxígeno y nutrientes las aguas superficiales.
- Los periodos de mezcla favorecen el desarrollo del fitoplancton, el cual es fundamental para el mantenimiento de las cadenas tróficas en estos ecosistemas.



LOS HUMEDALES SON IMPORTANTES REFUGIOS DE LA BIODIVERSIDAD

- Los humedales son zonas en cuyos suelos se acumula agua, aunque no tengan un río que la aporte y sufran una intensa evaporación, ya que suelen estar conectados con aguas subterráneas y, por tanto, no se secan.
- Tradicionalmente se han considerado zonas sin valor económico e insalubres por la proliferación de mosquitos transmisores de enfermedades, como la malaria, y han llegado a ser desecadas artificialmente en muchos sitios.
- En ocasiones se han degradado al extraer de forma abusiva el agua subterránea para el regadío, como ha ocurrido en las Tablas de Daimiel (Ciudad Real).
- En la actualidad, estas áreas se protegen como reserva de la biodiversidad por su valor para la supervivencia de especies en peligro de extinción, por ser zonas de invernada o reposadero de aves, por proporcionar un microclima a la región y por constituir ecosistemas muy productivos. Además, regulan las escorrentías y evitan grandes crecidas en los ríos e inundaciones.
- Las marismas, los marjales, las charcas, las zonas pantanosas, las turberas o los manglares, entre otros, son considerados humedales.

LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

- Parte de las precipitaciones se infiltran en la tierra y se filtran hacia dentro a través de huecos (poros, grietas y otros espacios) del suelo y de las rocas. El agua existente en esos huecos se llama agua subterránea.
- En los terrenos permeables se pueden distinguir las siguientes partes:
 - Zona de saturación, con sus poros completamente llenos de agua. Constituye el acuífero o manto freático subterráneo.
 - Zona de aireación, situada sobre la anterior, en la que los poros no están llenos de agua.
 - Nivel freático es el plano que delimita el acuífero en su zona superior.
 - Nivel piezométrico es el nivel al que llegaría el agua si no estuviera confinada en su parte superior por una capa impermeable.
 - Zona de recarga, por la cual el agua se infiltra y desciende hasta llegar al acuífero.
- Los acuíferos libres están limitados por roca impermeable sólo por debajo, mientras que en los acuíferos confinados o cautivos, también lo están por encima. En el segundo caso se pueden formar pozos surgentes o artesianos si el nivel piezométrico queda por encima de la superficie terrestre.
- El agua puede fluir en los acuíferos, pero lo hace lentamente. Como consecuencia, cuando se extrae agua de un pozo el nivel freático adquiere una forma característica de cono invertido denominada cono de depresión, que alcanza grandes dimensiones cuando el acuífero es sobreexplotado.

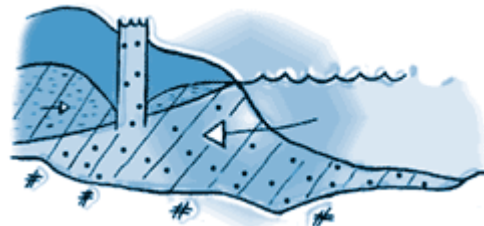
SALINIZACIÓN DE UN ACUÍFERO (Intrusión salina)



Cuando existe equilibrio natural el agua salada permanece estacionaria mientras el agua dulce fluye hacia el mar.



Al bombear agua dulce se reduce su flujo y la cuña de agua salada avanza tierra adentro a la vez que se eleva la interfase.



Si el bombeo de agua dulce es excesivo la interfase alcanza el nivel del pozo, extrayéndose agua salada.

- La lentitud del flujo de agua en un acuífero determina también el tiempo que requiere para su recarga y, como consecuencia, el agua subterránea debe ser considerada como recurso no renovable a escala de la vida humana. Además, esta lenta dinámica determina que sea muy difícil la depuración del agua freática una vez que se ha contaminado.