

INFLUENCIA DE LA VEGETACION SOBRE LOS ELEMENTOS FUNDAMENTALES DEL CICLO HIDROLOGICO

Por FILIBERTO LOPEZ CADENAS DE LLANO

Doctor ingeniero de Montes.

Jefe de la Sección de Hidrología del Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ICONA).

Es evidente que la vegetación está íntimamente relacionada con la cuantía, distribución y posibilidad de aprovechamiento de los recursos hidráulicos y que las transformaciones que se realicen en la cubierta vegetal pueden tener repercusiones notables en la disponibilidad de agua.

Se resumen en este estudio los conocimientos actuales en relación con las influencias de la vegetación sobre los elementos del régimen hidrológico, con el fin de evidenciar ciertos principios que aporten una base racional y científica, para que al proyectar determinadas prácticas selvícolas se puedan predecir las repercusiones que tendrán en los recursos hidráulicos.

El esquema del estudio es el siguiente:

Influencia de la vegetación en la:

- Precipitación: en su origen; en la intercepción.
- Precipitación oculta, precipitación horizontal, rocío y escarcha.
- Infiltración.
- Escorrentía.
- Evapotranspiración.

El agua en la naturaleza sigue un amplio ciclo hidrológico de cuya observación se pueden deducir los siguientes principios:

- Que los recursos hidráulicos se regeneran periódicamente gracias a las precipitaciones.
- Que no toda la precipitación es susceptible de ser aprovechada, ya que parte se vuelve a la atmósfera por evaporación directa o transpiración.
- Que la distribución de la precipitación en recursos superficiales y subterráneos está fundamentalmente condicionada a la infiltración.

A la vista de estos principios puede presumirse que la vegetación está íntimamente relacionada con la cuantía, distribución y posibilidad de aprovechamiento de los recursos hidráulicos y que las transformaciones que se realicen en la cubierta vegetal pueden tener repercusiones notables en las disponibilidades de agua.

Se hace a continuación un esquema de las influencias de la vegetación sobre cada uno de los elementos fundamentales del ciclo hidrológico con el propósito de establecer un criterio ordenado en la exposición.

— Influencia de la vegetación en la:

1. Precipitación:
 - 1.1. En su origen.
 - 1.2. En la intercepción.
2. Precipitación oculta, precipitación horizontal, rocío y escarcha.
3. Infiltración.
4. Escorrentía.
5. Evapotranspiración.

1. INFLUENCIA DE LA VEGETACION EN LA PRECIPITACION

1.1. En el origen de la precipitación.

Las precipitaciones pueden ser de origen ciclónico, convectivo y orográfico. Evidentemente, en las precipitaciones de origen ciclónico la vegetación no tiene influencia apreciable. En las de origen convectivo parece evidente que el aporte de vapor de agua por los bosques a la atmósfera en las regiones de clima continental y cálido, donde durante el día se producen grandes caldeamientos del suelo, pueden aumentar en alguna medida, e incluso intensificar las precipitaciones convectivas.

En cuanto a las precipitaciones orográficas, se ven influenciadas por la vegetación en un doble aspecto; por un lado, los bosques acrecientan la altura efectiva y en consecuencia los desniveles que han de remontar los vientos, lo que puede corresponder con un aumento de las precipitaciones comprendido entre un 0,84 y un 1,2 por 100, según experiencias realizadas en diferentes bosques centroeuropeos; por otro lado, está el efecto de fricción que ejercen los bosques tendiendo a frenar la velocidad del viento y producir un movimiento ascensional del aire, que favorecerá las precipitaciones; este efecto se origina incluso en los bosques de llanura y su aumento puede suponer, según datos experimentales, entre un 2 y un 3 por 100.

1.2. La influencia de la vegetación en la intercepción de la precipitación.

Las precipitaciones atmosféricas, bien en forma de lluvia o de nieve, al incidir sobre una superficie boscosa

son interceptadas o retenidas por sus hojas y ramillas y, en consecuencia, parte de las mismas no llega al suelo. Al conjunto del agua que llega al suelo se le llama precipitación neta P_n y al volumen que queda a disposición del estrato vegetal, intercepción I , de manera que puede establecerse la siguiente ecuación: $P = P_n + I$.

Entre los factores que influyen en este proceso pueden destacarse: la especie vegetal y su edad, el tipo de bosque y las circunstancias del medio (temperatura ambiental, presión atmosférica, etc.).

La intercepción es mayor en precipitaciones débiles que en aguaceros fuertes. Según experiencias de EE. UU., la capacidad de retención de las masas arbóreas varía entre los 0,18 y 7,75 mm, recomendándose tomar como valor medio 1,3 mm. En España se atribuye a nuestras especies de pinos una retención de 0,3 mm.

En general, las experiencias demuestran que las especies de hoja caduca (frondosas) interceptan un volumen de lluvia menor que las de hoja perenne (fundamentalmente coníferas) y que la intercepción aumenta, en general, con la edad de los árboles hasta un límite, en que empieza a disminuir; en el caso de los abedules ese límite corresponde a los sesenta años y es del 23 por 100.

Se han realizado intentos para evaluar el fenómeno de la intercepción mediante fórmulas empíricas, fundamentándose en la capacidad de retención y en la evaporación. Más recientemente, los estudios y experiencias de Aussinnac han abierto nuevas perspectivas a la investigación.

Puede establecerse que la intercepción contribuye fundamentalmente a la redistribución de las precipitaciones y que en cuanto al aspecto de que la intercepción pudiera llevar implícita una disminución de los recursos hídricos, las investigaciones parecen señalar que carecen de una base sólida tales supuestos, ya que la capacidad de evaporación del agua depende sobre todo de la radiación luminosa y de la temperatura y, en consecuencia, si la energía se utiliza en evaporar el agua de las hojas no se podrá utilizar en evaporar la del suelo.

No obstante, sería fundamental llegar a conocer si la energía solar, la radiación neta y la radiación absorbida aumentan o disminuyen al estar la cubierta vegetal humedecida como consecuencia de la intercepción. De cualquier modo, el cambio de la cubierta vegetal es un factor a considerar en el balance hídrico de la cuenca.

2. LA INFLUENCIA DE LA VEGETACION EN LA PRECIPITACION OCULTA, PRECIPITACION HORIZONTAL, ROCIO Y ESCARCHA

La precipitación oculta, fijación en el interior del suelo del vapor atmosférico, se produce cuando la temperatura del suelo es más baja que la del aire.

La vegetación favorece la condensación del vapor de agua en el interior del suelo por:

- La presencia de los árboles mismos, gracias a que su temperatura es inferior a la del aire que les rodea (sus raíces aumentan los huecos y fisuras del suelo facilitando la penetración del aire y hacen de condensadores).

- La acumulación de una capa de materia orgánica, que contribuye a aumentar la porosidad y produce una mayor condensación de vapor.

- La existencia de una mayor humedad relativa bajo cubierta vegetal.

Las experiencias demuestran que la presencia del bosque produce la ganancia de 1 mm/día, durante cuatro meses de tiempo caluroso, lo que representa 120 mm al año.

En el interior de un bosque hay un aumento de precipitación que se escapa al pluviómetro corriente, pero que se comprueba directamente por la llovizna que se produce y que no existe fuera de él. A este efecto, debido a la retención de las gotitas de agua de la niebla por el ramaje y las hojas, es a lo que denominó Suerling "precipitación horizontal".

El bosque favorece este tipo de precipitaciones por doble motivo, presentando una mayor superficie de adherencia y favoreciendo la formación de nieblas al ser mayor la humedad relativa en su interior que en el raso.

Experiencias realizadas en las Islas Canarias han demostrado que en la estación de Posada de las Vacas, en plena laurisilva, a 966 m de altitud, el pluviómetro normal contabilizó la precipitación total del año 1951, considerado como normal, en 955 mm, mientras que un pluviómetro colocado bajo arbolado y para ese mismo año arrojó la cifra de 3.038 mm.

En cuanto al rocío y escarcha, se señalan como factores idóneos para su formación los siguientes: aire con suficiente humedad relativa, superficies de contacto más frías que las de saturación del aire, gran superficie de condensación y, por último, viento suave.

Todas estas condiciones cumple sobradamente el bosque, ya que la humedad relativa en su interior es superior a la del raso, debido fundamentalmente al fenómeno de transpiración que es más acusado en el bosque que fuera de él.

El bosque presenta superficies de contacto más frías que la del aire del ambiente que les rodea.

Por otra parte, el bosque presenta una mayor superficie de contacto entre ramajes y hojas, cinco veces la del raso, lo que le constituye en un magnífico condensador; y, por último, el bosque representa una verdadera barrera contra el viento al que hace disminuir su velocidad. Así, en experiencias realizadas en Avila, en áreas rasas y de pinos, dan diferencias favorables para el bosque de cerca de 150 mm/año.

3. LA INFLUENCIA DE LA VEGETACION EN LA INFILTRACION

El agua que penetra en el suelo llena de huecos de los horizontes superficiales, cumplido lo cual su velocidad de penetración dependerá de la velocidad con que puede moverse a través de su perfil. Experimentalmente, se ha visto que esta velocidad es del orden siguiente, en pulgadas por hora:

	Superficie	Subsuelo
Suelo forestal	37,5	7,5
Suelo agrícola	20,0	1,5

es decir, la infiltración disminuye rápidamente en relación directa con la profundidad del suelo.

La permeabilidad está definida por los grandes poros a través de los cuales el agua puede moverse por la acción de la gravedad. Experiencias realizadas conducen a las conclusiones siguientes:

	Edad de la masa	Porosidad		Infiltración (mm/min)
		Horiz. A	Horiz. B	
Bosque de roble	26	55,2	58,2	11,20
	60	58,2	58,7	12,54
	130	54,4	48	7,01
Bosque de fresnos	18	56	49,8	20,74
	36	58,6	50,7	22,91
	65	58,4	48,9	16,79
Borde del bosque				6
Pastos a 1 Km del bosque				0,30
Zonas cortadas de bosque				7,63

Las razones que favorecen esta manifiesta permeabilidad de los suelos que soportan bosques son: por una parte, la continua incorporación de la materia orgánica al suelo forestal, como consecuencia de la caída de las hojas, ramillos, etc., de los árboles, lo que contribuye a que su estructura sea más granular. Esta incorporación varía con el tipo de bosque y a lo largo de las estaciones del año; por otra parte, el congelamiento, cuando se produce, en los suelos con abundante materia orgánica casi no afecta a la penetración del agua.

En lo que respecta al sistema radical, especialmente si se trata de vegetación arbórea, al descomponerse las raíces crean innumerables canalillos, más o menos vacíos o rellenos de material sumamente permeable, por donde circulan las aguas con relativa facilidad.

Podrían establecerse las conclusiones siguientes: una cubierta arbórea con tapiz natural no perturbado mantiene la máxima infiltración en una situación dada. La infiltración es mayor en masas arbóreas viejas que en las jóvenes; en los bosques sin pastoreo que en los de pasto; en los montes aclarados que en los rasos. La diferencia de infiltración entre suelos forestales y agrícolas puede llegar a una relación de 100 a 2, por unidad de superficie.

LA INFLUENCIA DE LA VEGETACION EN LA ESCORRENTIA

Son efectos negativos de la escorrentía, la erosión y el transporte del suelo y la posible pérdida de recursos hídricos.

La vegetación actúa sobre estos dos efectos negativos, mitigándolos.

Ante la acción erosiva la vegetación amortigua el cho-

que de las gotas de agua contra el suelo, disminuye la velocidad del agua al oponerle resistencia y fija al suelo con sus raíces impidiendo su disgregación.

Experimentalmente se ha demostrado que el coeficiente de escorrentía es menor en los bosques que en los rasos. La tabla siguiente representa el coeficiente de escorrentía, según pendientes y tipo de vegetación (en milímetros por minuto).

Situación	Pendientes, en grados				
	5	10	20	30	40
Pastizal	0,78	0,82	0,90	0,95	—
Rodales esparcidos de picea con poco musgo y fina cubierta de restos vegetales	0,28	0,34	0,53	0,77	—
Picea con cubierta bien desarrollada y capa de restos vegetales espesa	0,02	0,03	0,05	0,08	0,34
Hayedo con cubierta no alterada y capa de restos vegetales espesa	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05

En cuanto a la pérdida de recursos hídricos hay que señalar el papel de la vegetación como acondicionador de la textura del suelo, gracias a su aportación en materia orgánica del mismo. Se sabe que la escorrentía es mayor en suelos compactos que en los arenosos y en los saturados de humedad que en los no saturados; el efecto de la vegetación es moderar ambos extremos.

Las distintas escorrentías para una pendiente constante y en un bosque de hayas, en función del espesor de los restos vegetales, en centímetros, son:

Espesor de los restos vegetales (cm)	Escorrentía superficial (mm/min.)
1,2	0,005
0,7	0,08
0,2	0,18
0,1	0,30

Por último, también influye la vegetación en el control de las avenidas, reduciendo o redistribuyendo la cantidad de agua que alcance el suelo, incrementando la capacidad de infiltración de los terrenos, mejorando e incrementando la capacidad de almacenamiento de agua en el propio suelo y favoreciendo la penetración y drenaje de las aguas.

5. INFLUENCIA DE LA VEGETACION EN LA EVAPOTRANSPIRACION

La importancia y complejidad del tema hacen que se analicen por separado sus distintos aspectos:

- La evaporación y el contenido de humedad en el suelo.

Se ha aceptado que la vegetación toma agua del suelo y se desarrolla cuando el contenido de humedad de éste está comprendido entre la capacidad de campo y el punto de marchitez o agotamiento. Pero, dentro de estos límites de humedad, el problema estriba en si la vegetación tiene las mismas posibilidades de utilizar el agua o, por el contrario, esas posibilidades se reducen a medida que se está más cerca del punto de marchitez.

Existen asociaciones de plantas y tipos de suelos para los cuales se mantiene una transpiración constante hasta las proximidades del punto de marchitez. La apertura de los estomas no es afectada por la sequía gradual del suelo. Pero en otras plantas, debido a la mayor sensibilidad de los estomas, a la tensión de la humedad en la hoja (reacción osmótica), la transpiración decrecerá con la menor humedad del suelo.

- Procesos físicos y fisiológicos.

Los procesos físicos comprenden la difusión y flujo del agua a través de las células radicales, vasos del sistema, tejidos de las hojas y difusión del vapor de agua al exterior. Los procesos fisiológicos comprenden la variación en la permeabilidad de las células de la raíz, el complejo mecanismo de absorción y el control de la apertura de los estomas.

El movimiento del agua viene definido por la existencia de gradientes potenciales y por las resistencias que encuentren su camino. Así, las mayores resistencias se encuentran en las células de la raíz. Las bajas temperaturas y la pobre aireación reducen la evapotranspiración.

- La apertura estomática.

La resistencia de la fase de vapor depende de la apertura de los estomas, que, a su vez, está relacionada con la intensidad de la luz, succión en los tejidos de las hojas y temperatura de éstas.

Esta reacción ante la luz parece estar relacionada con la fotosíntesis.

- El sistema radical.

La profundidad y extensión (clima semiárido) del sistema radical son factores del consumo de agua por las plantas. La sustitución de especies de sistema radical profundo por otras de raíces más superficiales puede favorecer el balance hídrico.

- Los parénquimas foliares.

La transpiración, en un principio, aumenta proporcionalmente con el índice de superficie foliar, relación entre superficie foliar y área ocupada por la vegetación, pero llegará un momento en que el incremento de dicho índice no signifique aumento en la transpiración, debido a interferencias del propio follaje que reducirán la ventilación y las disponibilidades de energía solar.

- Evaporación y transpiración de la cubierta vegetal.

Según las experiencias realizadas se ha puesto de manifiesto que:

- La evaporación es diferente, según la composición de la cubierta.
- Al aumentar la edad y disminuir la espesura de la masa forestal la evaporación de la superficie cubierta tiende a aumentar.
- En suelos cubiertos con hojarasca sin descomponer la evaporación es inferior a la producida en un suelo arenoso desnudo. La transpiración con déficits higrométricos elevados es más intensa que la obtenida (Dalton) y, por el contrario, menos intensa para déficits bajos. La transpiración en diferentes especies arbóreas encuentra como factor más influyente la temperatura del aire, con correlaciones del 0,97 para los pinos y 0,90 para el abedul.

También influyen la luz solar, la temperatura, contenido de humedad y fertilidad del suelo y la composición de la vegetación. La transpiración en función de la temperatura media anual es para las frondosas de 200 a 300 mm anuales, mientras que para las coníferas es de 100 a 150 mm.

Las transpiraciones, de distintas especies, obtenidas en veinticuatro horas son:

Alfalfa	3,4 mm	Centeno	2,3 mm
Avena	3,9 mm	Viñedo	1,0 mm
Trigo	2,7 mm	Picea	0,8 mm
Trébol	2,2 mm	Roble	0,65 mm

Las especies arbóreas tienen, pues, una transpiración inferior a las herbáceas y arbustivas.

En cuanto a la edad de la masa, la mayor transpiración se observa en pinos de cuarenta años, robles de sesenta años, píceas de sesenta años y álamos y fresnos de veinte a cuarenta años, y posteriormente decrece. La evaporación total de los bosques está también influenciada por las condiciones meteorológicas que prevalezcan durante el año. El consumo de humedad por transpiración y evaporación total está íntimamente relacionado con el volumen del follaje. Esto permite, en cierta medida, regular el régimen de humedad del suelo mediante la selección de especies arbóreas y mediante tratamientos selvícolas.