

CENTRO AGRONOMOICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS FORESTALES
Turrialba, Costa Rica

✓ LA TALA Y MANEJO DE LOS BOSQUES COMO UN MEDIO DE AUMENTAR
EL AGUA DE LAS CUENCAS

Iván H. Mojica
Especialista - Manejo de
Cuencas Hidrográficas

Enero de 1975

INTRODUCCION

La demanda por los recursos hídricos, como resultado de las crecientes necesidades de la población, ha estimulado una búsqueda de medios para aumentar el suministro de agua de las Hoyas Hidrográficas. Los hidrólogos forestales, al considerar el agua como un producto forestal, investigan las posibilidades de incrementar la producción hídrica de las Cuencas mediante la eliminación o el manejo de la cobertura boscosa de las mismas.

El caudal de los ríos es el resultado del exceso de agua precipitada en una área luego de ciertas demandas del medio ambiente sobre la precipitación total. Los bosques, como parte de este medio ambiente, requieren agua para satisfacer sus necesidades fisiológicas y requerimientos ambientales. La tala de los bosques disminuye el consumo del agua, creando en esta forma, un mayor suministro hídrico en las áreas captadoras. Se considera que la razón de este incremento es la cantidad de agua que se conserva por la reducción de la evapotranspiración, por la eliminación de la intercepción y el agua requerida por las plantas para llevar a cabo sus procesos vitales.

LA CUBIERTA FORESTAL Y EL BALANCE HIDRICO+

El balance de una cuenca puede expresarse como:

$$P = Et + D + \Delta A$$

donde: P = precipitación total;
Et = pérdidas de evaporación y transpiración (evapotranspiración);
D = caudal o descarga;
 ΔA = cambio en el almacenamiento de la cuenca.

En esta ecuación las pérdidas por evapotranspiración (Et) pueden considerarse como:

$$Et = T + IC + Im + (Es + w)$$

donde: T = transpiración;
IC = intercepción de las copas;
Im = Intercepción del mantillo del suelo del bosque;
Es+w = la evaporación de los suelos y superficies de agua.

Estas cuatro variables se consideran pérdidas de agua. La tala de bosques afecta a la cantidad de agua interceptada, transpirada y evaporada de los suelos y superficies de agua, así como también los cambios de humedad en el suelo.

Un breve análisis muestra cómo alterando la cubierta forestal se altera el fenómeno de la evaporación y cómo éste afecta el balance hídrico de un área.

INTERCEPCION

Según Hamilton y Rowe (5) la intercepción es el proceso en el cual la precipitación es detenida por la cubierta vegetal y redistribuida mediante el paso a través del follaje, el descenso por los tallos, la absorción por los tejidos de las plantas y la evaporación de las superficies de detención. El agua que pasa a través del follaje y la que baja por los tallos, representan la precipitación neta en relación a la "precipitación bruta", que es la cantidad recogida en el campo abierto o sobre las copas de los árboles. La precipitación que queda en la cubierta de las hojas y que no llega al suelo, se llama "pérdida por intercepción". Según Hewlet (6) esta cantidad interceptada puede eliminar o reducir temporalmente la transpiración, y por consiguiente, no debe ser considerada como una pérdida total por la masa vegetal. Debido a esto, la pérdida efectiva por intercepción debía ser la cantidad de agua interceptada que se evapora del follaje, sustrayendo la transpiración bajo condiciones similares.

Es de notarse que la magnitud relativa de las pérdidas por intercepción está influenciada en parte por los patrones climáticos del área. En las zonas templadas en áreas con alta precipitación en el invierno y con verano seco, los procesos de intercepción y transpiración predominan en diferentes épocas del año. En estas áreas, la intercepción en la estación lluviosa es menos importante, pues la lluvia cae en la estación de descanso (hibernación, baja actividad) de las plantas y los árboles de maderas duras no tienen hojas. La importancia de la intercepción en esta época podría ser en rodales de coníferas, pero la energía evaporante en estas latitudes es escasa durante este período del año.

En la misma zona templada y en áreas con precipitación mensual durante todo el año, altas cantidades de intercepción pueden ocurrir durante la estación de crecimiento. El tipo de vegetación bajo este clima, está compuesto por maderas duras, con la excepción de las regiones de pinos del sur de los Estados Unidos. En este clima una gran porción de la lluvia cae sobre las copas de

los árboles, brindando así mayores oportunidades para la intercepción.

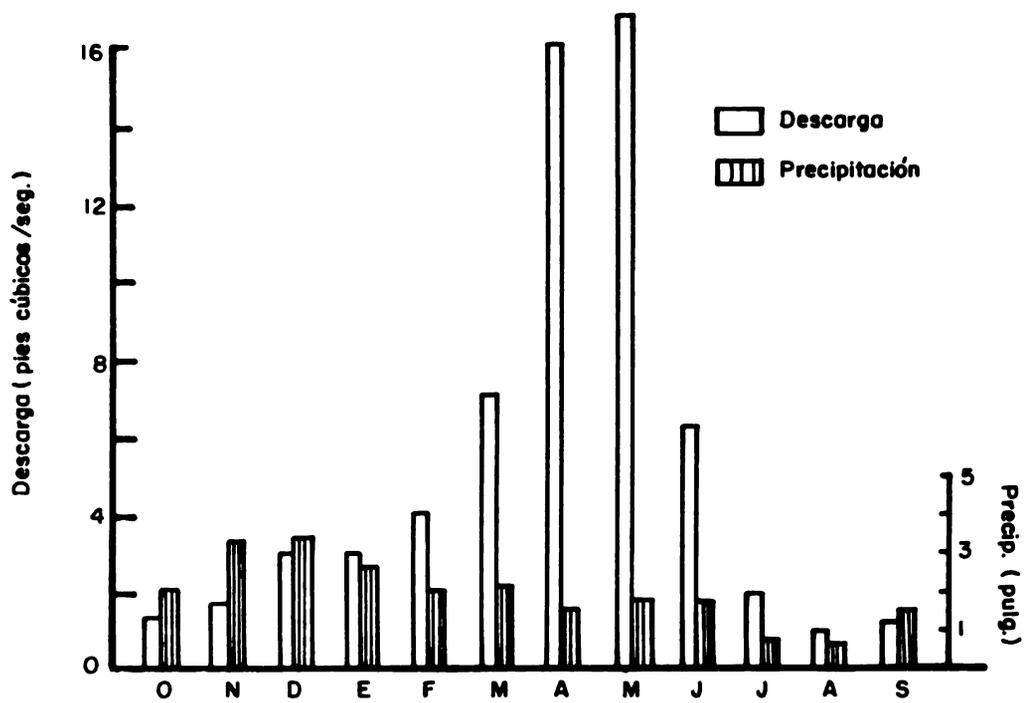
La Figura 1, tomada por Wooldridge (24), presenta la distribución de precipitación y descarga en un clima marítimo y otros continentes respectivamente en la zona templada de los Estados Unidos.

Un análisis de la distribución de la precipitación y los tipos de cobertura vegetal en cuencas de estas zonas dará una idea de la magnitud de los valores de la intercepción durante el año.

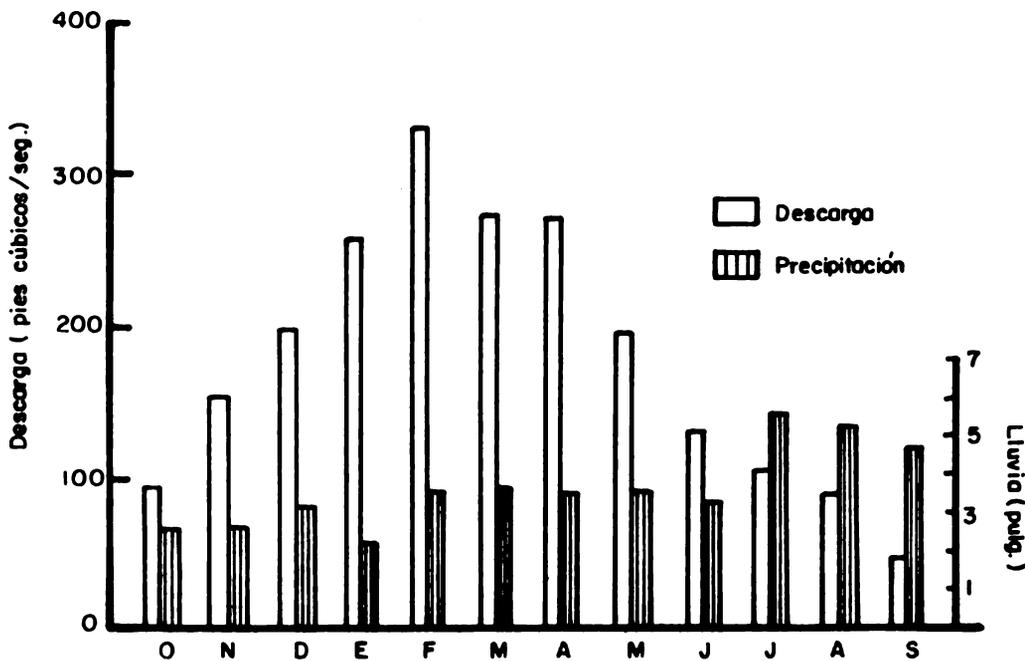
En las zonas tropicales, la magnitud y época de las pérdidas por intercepción difieren de aquellas de las zonas templadas. Primeramente, en el trópico la lluvia es el tipo de precipitación característica y la cobertura vegetal está compuesta por bosques latifoliados y por lo general no botan las hojas. Esto es cierto, para aquellos bosques con una buena distribución anual de humedad. Sin embargo, algunos tipos de vegetación de áreas secas o pendientes pronunciadas en áreas húmedas pierden las hojas en la época seca. Pero es de anotar que durante el período de sequía las pérdidas de intercepción son insignificantes debido a la ausencia de lluvia. La figura 2 que representa la distribución de la precipitación, descarga y temperatura de la Cuenca del Río Liberia en Guanacaste (Costa Rica), muestra la ausencia de lluvias durante la época que los árboles están sin hojas. De abril a diciembre las pérdidas por intercepción aumentan con el crecimiento del nuevo follaje. Nótese la poca variación de la temperatura durante el año, lo que deja ver un potencial de pérdida de agua por evaporación durante los meses secos.

En las costas húmedas del trópico y las regiones templadas, así como en los cinturones de condensación en las montañas del trópico, las copas de los árboles interceptan y retienen el agua de las masas de aire ascendentes. Este fenómeno es muy importante debido a que el agua retenida por el follaje de la masa boscosa es incorporada como precipitación a los terrenos de las cuencas. Sin la cubierta arbórea, posiblemente el agua interceptada de esta forma podría pasar sobre las divisorias de agua de la cuenca siendo una pérdida para una área abastecedora dada. Bajo estas condiciones especiales, la intercepción no es una pérdida y la evaporación es reducida considerablemente, especialmente durante la época de mayor concentración de neblinas.

Generalmente, las pérdidas por intercepción varían, no solamente con las características, tamaño, edad, tipo, densidad, etc., de la cubierta, sino con el tamaño, número y espaciamiento de tormentas donde el fenómeno ocurre.



a) Descarga mensual promedio en relación a la precipitación promedio mensual para un clima marítimo con temperatura media de invierno bajo 0°C (Río Spoke, Washington)



b) Descarga mensual promedio en relación a la precipitación promedio mensual para un clima continental (Río Neuse, Clayton, N.C.)

Fig. 1 Descargas promedio mensuales en relación a precipitación promedio mensual para climas marítimo y continental (Fuente, Wooldrige, D. 1965)

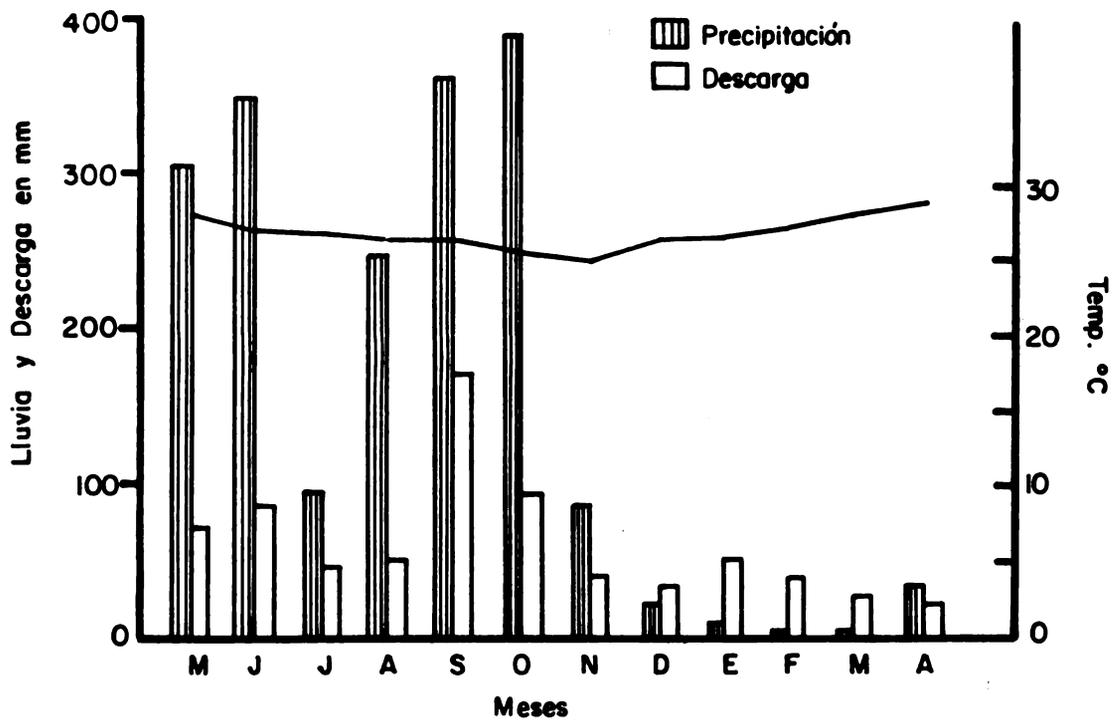


Fig. 2 Descarga media mensual en relación con la lluvia y la temperatura en la Cuenca del Río Liberla. Guanacaste. Costa Rica

Kittridge (9) reunió datos de intercepción de una gran variedad de rodales, con valores que van del 3 al 40 por ciento de la precipitación. En una revisión sobre estudios de intercepción en los Estados Unidos, Zinke (25) presentó valores más altos. Mayores valores de intercepción fueron obtenidos en rodales de coníferas que con latifoliadas.

Resultados de estudios en la finca experimental de La Selva, Costa Rica (13) dejan ver que lluvias ligeras separadas por períodos sin lluvias son interceptadas casi en su totalidad. Estudios más detallados mostraron que la cantidad de agua interceptada por las copas de los árboles pueden ser tanto como un 50 - 60 por ciento de la precipitación estacional. La intercepción de lluvia de eventos mayores y más frecuentes, fue menor del 20 por ciento. Estas cifras de lluvia alcanzan el suelo.

EVAPOTRANSPIRACIÓN

La ~~evapotranspiración~~ evapotranspiración y la transpiración juntas son comúnmente identificadas como "evapotranspiración" y es un proceso mediante el cual el agua líquida en suelos y plantas se convierte en vapor. Más concretamente la evaporación es la tasa de vapor transferida a la atmósfera y, como un caso especial de ésta, la transpiración es la vaporización del agua dentro de la superficie de la hoja. Además de la transpiración, las plantas usan agua para completar procesos vitales como fotosíntesis y respiración. La capacidad de intercambio de CO_2 se relaciona directamente con la capacidad de intercambiar vapor de agua. Las plantas con alta tasa de fotosíntesis usualmente tienen un promedio más alto de pérdida de agua a través de la transpiración (2). Lemon (10) basado únicamente en la transferencia de radiación solar, sugiere que mucha más energía está disponible para transpiración, que para fotosíntesis. Esto significa que áreas con mayor incidencia de radiación solar tendrán mayores pérdidas por transpiración.

La transpiración de las hojas húmedas es, bajo todas las condiciones de evapotranspiración, menor que para los valores correspondientes a hojas secas cuando los tejidos de las plantas, de acuerdo a Rutter (20) resisten la presión del agua cuando ésta es eliminada. Bajo condiciones de humedad, la energía disponible para la vaporización es usada parcialmente para evaporar la precipitación interceptada, reduciendo la cantidad de energía posible para la transpiración. Rijtema (12) sugiere que la transpiración de las hojas húmedas es reducida mediante el incremento del contenido de vapor de agua en el microclima de las copas arbóreas, causando una reducción en el gradiente de presión de vapor entre las

cavidades sub-estomáticas y la superficie de las hojas. Sin embargo, alrededor de un 95 por ciento del agua tomada por las plantas se pierde a través de la transpiración, siendo quizá el aspecto más importante en la especulación de los incrementos potenciales en el suministro de agua.

De acuerdo a Shaw (21) y Slatyer (22) la transpiración es un fenómeno determinado por:

- a. La cantidad de energía necesaria que suple la demanda de calor latente para la evaporación del agua.
- b. La disponibilidad de agua en la superficie de la planta, cuando ocurre la evaporación.
- c. La existencia de un mecanismo de transferencia para mover el vapor de agua de la superficie de la planta --donde ocurre evaporación-- a la atmósfera.

Debido a que todos estos factores afectan la transpiración, y que ésta es afectada por el tipo y densidad de la vegetación, cualquier alteración cultural que sufra la vegetación modificará las tasas de transpiración y con ello, la cantidad de agua disponible en el caudal.

Un promedio de 40 a 60 por ciento de la precipitación total, es devuelto a la atmósfera mediante la evapotranspiración. Estos porcentajes representan pérdidas de agua para las cuencas, siendo lo ideal o meta final, retener esta cantidad para incrementar el suministro de agua. Se estima que talando los bosques se reduzca significativamente las pérdidas de evapotranspiración. Sin embargo, el calor latente de vaporización causa la pérdida de agua del sistema, esto quiere decir, que pueden ocurrir pérdidas de agua aún después de que se elimina la vegetación.

A una tasa de evaporación baja, la cantidad de agua transferida a la atmósfera es la misma en suelos húmedos, que en una reserva de agua abierta. Bajo esta condición, los factores ambientales controlan las pérdidas.

Cuadro 1. Agotamiento máximo promedio de humedad del suelo en áreas taladas y no taladas (en porcentaje de suelos secados al horno).

Profundidad en pulgadas	Area Talada	Area sin talar
3	9.4	16.0
9	7.6	12.1
15	2.8	11.5
21	4.2	7.8
Promedio	6.0	11.8

Considerando las cuatro profundidades muestreadas, el agotamiento máximo promedio observado fue 6.0 por ciento en el área talada, en contraste de un 11.8 por ciento en el área no talada; lo que indica el consumo de agua por la cobertura boscosa. Resultados similares fueron obtenidos por Gessel y Cole en el noroeste de los Estados Unidos (3), quienes encontraron que cerca de un 45 por ciento de la precipitación registrada en un área boscosa se desplazó a través de las primeras 36 pulgadas del suelo. En áreas completamente taladas, el porcentaje de precipitación aumentó a un 74 por ciento, habiendo así más agua disponible para el almacenaje en el suelo y para los caudales.

LA TALA DE BOSQUES Y LA PRODUCCIÓN DE AGUA DE LAS CUENCAS

Si aceptamos que en un clima normal* la tala de los bosques elimina o reduce las pérdidas por intercepción y transpiración, entonces es de esperarse que con prácticas de manejo de la cobertura vegetal y más específicamente la cobertura boscosa, se puedan imprimir cambios en los caudales de los ríos.

Como previamente se estableció, las pérdidas por evapotranspiración dependen de la cantidad de agua y energía térmica presentes en las superficies de las Cuencas. Estas superficies, como fueron expuestas por Goodell (4), son: 1) superficies externas de las hojas y los tallos de las plantas; 2) superficies internas de las plantas; 3) superficie del suelo y 4) en las zonas templadas y montañas altas del trópico, superficies cubiertas con nieve. Entonces, es de esperarse que la eficiencia de los tratamientos o prácticas de manejos dependen de la eficiencia en la modificación de los flujos de agua y de energía en las cuencas.

La magnitud de la respuesta a las prácticas que se apliquen pueden variar considerablemente de un lugar a otro. Así, por ejemplo, la tala total de los árboles de una Cuenca en las montañas del Este de Africa (15) resultó en un aumento de caudal de 457 milímetros (mm), luego del primer año de haber ocurrido la tala. La misma práctica produjo 34 mm en las Montañas Pocosas, en Colorado (17) y 370 mm en la Cuenca N° 13 en Coweeta, North Carolina (7).

* Clima normal o zonal según Holdridge (8) es un clima en donde la distribución de precipitación y humedad promedio normal es de acuerdo con los promedios de bio-temperatura y precipitación y sin condiciones atmosféricas especiales como vientos fuertes, neblinas y condensación de vapor de agua en la superficie de los árboles.

Repetida la práctica después de 20 años en Coweeta (13), mostró el mismo aumento en caudal. Es de notarse que en esta Cuenca, ocurrieron mayores incrementos durante el invierno; sin embargo, se observó un aumento a través de todo el año.

En la Cuenca Coweeta 17, una tala completa luego del primer año después de la corta, mostró un incremento de 431 mm, en el caudal. En el período entre el tercero y el treceavo año después de la tala, se mantuvo un incremento de 280 mm. Los incrementos en esta cuenca ocurrieron en el período noviembre-febrero, pero también fueron significativos en julio y agosto. Es importante resaltar que en áreas caracterizadas por lluvias fuertes en invierno, incrementos significativos ocurrieron después de cada tratamiento. Sin embargo, en volumen fueron de menos de 1 mm por día durante la estación de menores caudales (7).

Incrementos en caudales debido a reducción de la masa boscosa para fines agropecuarios fueron obtenidos por Mojica en la Cuenca del Río Reventazón, Costa Rica (14). La tala de bosques naturales en un 13 por ciento del área dio como resultado un promedio de 150 mm de incremento en el caudal. Incrementos de 400 mm fueron obtenidos para la subcuenca Cachí (9-6), luego de que la cobertura boscosa y el suelo del área superior de la Cuenca fuera afectado por las erupciones del Volcán Irazú en los años 1963-1965.

En condiciones semi-áridas en las Montañas Rocosas, donde la mayor parte de la lluvia cae en el invierno y prevalecen veranos muy calientes y secos, la tala de árboles de 1.7 por ciento del área de la cuenca a lo largo del cauce del río, produjo un incremento de 625 mm de aumento en el caudal en el primer año (23). La mayor parte de este aumento apareció en el verano. Sin embargo, cortas de áreas boscosas menores del 1 por ciento del área de captación, bajo condiciones similares en el Bosque Experimental de Sierra Ancha, en Arizona, no produjeron aumento de caudales detectables (7).

Cortando el 22 por ciento del área basal (Soto bosque) del bosque en la Cuenca Coweeta 19 resultó en un incremento de 71 mm en el primer año y se redujo a 39 mm al quinto año, luego de la regeneración natural (7). Cortes de 35 y 27 por ciento de área basal fueron realizados en Coweeta 40 y 41 con incrementos de caudal promedio anual de 25 y 55 mm. Reducción de área basimétrica de 32, 9 y 6 por ciento en Sierra Ancha Arizona no dio incrementos de caudales significativos (17). Resultados con poco incremento fueron reportados por Rothacher en Oregon (19) y otros sin ningún incremento por Marfin y Tinney en Washington (11).

De acuerdo a Hibbert (7), los experimentos realizados en Coweeta y Fernow indican que podría existir una relación lineal entre la reducción de la cubierta vegetal y los aumentos hídricos del primer año, después de la tala. Sin embargo, cuando este

autor consideró todos estos estudios colectivamente encontró poca relación entre estas variables. Una tendencia fue encontrada cuando el autor comparó el incremento de la producción hídrica con el porcentaje del área talada de cuencas con las orientaciones Norte y Sur.

Basado en su análisis de todos los estudios del efecto de la deforestación en la producción hídrica, Hibbert (7) concluye que es prematuro sugerir 450 mm como el incremento máximo luego del primer año de haberse eliminado la cobertura boscosa. Es de notar entonces, que los valores mayores sugeridos por Hibbert prevalecen bajo condiciones climáticas especiales. La experiencia hasta la fecha, de acuerdo a lo expuesto por este autor y los resultados de otros estudios, muestra que la tala completa de la masa boscosa produce menos de 300 mm de aumento de flujo durante el primer año después de la tala.

CONCLUSION

Está establecido que la influencia de la cobertura boscosa en el balance hídrico de las cuencas radica primordialmente en las pérdidas por Evapotranspiración y el cambio de almacenaje. Resultados de algunos estudios para determinar la influencia de la cobertura boscosa en el flujo de los ríos, muestran que eliminando o reduciendo la cobertura boscosa de las cuencas, causa un aumento proporcional en el caudal. El volumen de agua debido a este aumento se debe a la cantidad ganada como consecuencia de la reducción de evapotranspiración.

Las pérdidas por evapotranspiración se deben a que la intercepción de la precipitación en la copa de los árboles, el transporte del agua del suelo a través de las raíces de las hojas y la exposición del agua al calor latente de vaporación, el que transfiere el vapor de agua a la atmósfera. Es decir, que la vegetación, a través del proceso de transpiración afecta la cantidad de agua que podría conservarse en el suelo, fuente de la distribución regulada de los caudales.

Cualquier práctica cultural a la masa boscosa traerá como consecuencia cambios en el régimen hídrico de la cuenca, los que entre otras cosas se manifiestan como un incremento del caudal de los ríos. Este incremento o aumento ha sido difícil estimar debido a las condiciones climáticas, edáficas, topográficas y otros factores de sitios que están asociados con la relación masa boscosa - régimen hídrico de las cuencas. Sin embargo, la importancia de tales aumentos es variable y depende del porcentaje del flujo medio

anual que este aumento represente, del tamaño de la cuenca, cuándo ocurren estos cambios o aumentos y cuándo son las mayores demandas de agua en el área.

Es de anotarse, que los incrementos en caudales como consecuencia de la tala de bosques, pueden aparecer rápidamente o tardarse, semanas y hasta meses, dependiendo de los factores de localización previamente descritos. El re-establecimiento de la vegetación, bien sea natural o artificial, causará una disminución del incremento ganado, por lo que habrá menos agua para la descarga de los ríos.

BIBLIOGRAFIA

1. BETHLAMY, N. 1961. First-year effects of timber removal on soil moisture. *Int. Ass. of Sci. Hydr.* 7(2):34-38. 1962.
2. BLACK, C.A. Crop yields in relation to water supply and soil fertility. pp 177-201. In: *Plant environment and efficient water use*. Ed. by Pierre W.H. et al. American Society of Agronomy and soil science society of America. Madison 1965. 295 p.
3. GESSEL, S.P. and COLE, D.W. Influence of forest removal on movement of water and associated elements through soil. *Jour. Amer. Wat. Works Ass.* 57(10):1201-1310. 1965.
4. GOODELL, B.C. Watershed treatment, effects on evapotranspiration. pp. 477-482. In *International Symposium on Forest Hydrology*. Ed by W.E. Sopper and H.W. Lull. Pergamm Press. New York. 1965.
5. HAMILTON, E.L and ROWE, P.B. Rainfall Interception by chaparral in California, Calif. Forestry and range Experimental Station in cooperati3n with Calif. Div. of Forestry. 43 pp. 1949.
6. HEWLETT, J.D. Summary of forests and precipitation section. pp 241-246. In *International Symposium on Forest Hydrology*. Ed. by W.E. Sopper and H.W. Lull. Pergamm Press. New York. 1965.
7. HIBBERT, A.R. Forest Treatment effect on water yield. pp 527-544. In *International Symposium on Forest Hydrology*. Ed by W.E. Sopper and H.W. Lull. Pergamm Press. New York. 1965.
8. HOLDRIDGE, L.R. The determination of the atmospheric water movements *Ecology* 43(1):1-9. 1962,
9. KITTREDGE, J. *Forest influences*. McGraw-Hill, N.Y. 1948. 480 p.
10. LEMON, E.R. Energy conversion and water use efficiency in plants. pp. 28-39. In *Plant Environment and Efficient Water Use*. Ed by Pierre W.H. et al, American Society of agronomy and soil science society of America. Madison. 1965. 295 p.

11. MARTIN, I.L. and TINNEY, E.R. Logging in west coast watershed shows no effects on area's water yield. The Timberman, may. pp 46-48. 1962.
12. MERRIAN, R.A. Saving water through chemical brush control. Journal soil water conservation: 16(2):84-85. 1961.
13. MOJICA, I.H. Interception and stemflow studies in a tropical rain forest: La Selva - Costa Rica. Unpublished report to the Organization for Tropical Studies (OTS) and University of Washington. Seattle, Washington. 1970
14. _____ . Effects of changes in land use on the streamflow of the Reventazon River, Costa Rica. Ph.D Thesis. University of Washinton. Seattle, 1971. 185 p.
15. PEREIRA, H.C. Land use and water resources. Cambridge at the University Press. 1973. 243 p.
16. REINHART, K.G., ESCHNER, A.R. and TRIMBLE Jr., G.R. Effect on streamflow of four forest practices in the Mountains of West Virginia. U.S.D.A. Forest Service. Research paper NE-1. Northeast For. Exp. Sta. 1963.
17. RICH, L.R., REYNOLDS, H.G. and WEST, J.A. The workman creek experimental watershed. U.S.D.A. Forest Serv. Rocky Mountain For. Exp. Sta. Pap 65, 1961
18. RIJTEMA, P.E. Evapotranspiration. Institute for land and water management research. Tech. Bull. 47, 1966.
19. ROTHACHER, J. Streamflow from small watersheds on the Western slope of the Cascade Range of Oregon. Water Resources Research 1(1):125-134. 1965.
20. RUTTER, A.J. Studies in the water relationships on Pinus sylvestris in plantation conditions. 1-Measurement of rainfall and interception. Jour. Ecol. 51:191-203. 1963.
21. SHAW, R.H. and LAING, D.R. Moisture stress and plant response pp 73-92. In Plant environment and efficient water use. Ed by Pierre W.H., and et al! American society of agronomy and soil science society of America. Madison. 1965. 295 p.
22. SLATYER, R.O. and DENMEAD, O.T. Water movement through the soil-plant-atmosphere system. In Water Resources use and Management pp 276-289. Proc. of a Symp. Canberra. 1964.

23. U.S. Forest Service. Moist-site timber harvest increases streamflow in Arizona. p 59. In Annual report 1963, Rocky Mountain Forest Experimental Station.
24. WOOLDRIDGE, D.D. Water transport in soils and streams. USDA. For. Serv. Wenatchee, Washington. 20 p.
25. ZINKE, P.J. Forest interception studies in the U.S.A. pp 137-162. In International Symposium on Forest Hydrology, Ed by W.E. Sopper and H.W. Lull. Pergamm Press. New York. 1965.