

BIENES Y SERVICIOS AMBIENTALES OBTENIDOS DEL RALEO I Y II EN PINARES EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SAN DIEGO, PINAR DEL RÍO

ENVIRONMENTAL GOODS AND SERVICES FROM THINNING I AND II ON PINE PLANTATION IN THE SAN DIEGO WATERSHED, PINAR DEL RÍO

M. Sc. YOLANIS RODRÍGUEZ-GIL,¹ ING. ARSENIO RENDA-SAYOUX,¹ DR. C. JOSÉ E. GUTIÉRREZ-HERNÁNDEZ²
Y DR. C. TOMÁS PLASENCIA-PUENTES³

¹ Instituto de Investigaciones Agro-Forestales. Calle 174 no 1723 e/17B y 17C, reparto Siboney, Playa, La Habana, yoly@forestales.co.cu, teléf.: 208 2554

² Universidad de La Habana, MES. La Habana

³ Estación Experimental Hidrológica Amistad, La Habana

RESUMEN

El presente trabajo forma parte del Proyecto Bienes y Servicios Ambientales Derivados del Manejo de los Pinares, perteneciente al Programa Ramal Preservación de los Recursos Naturales, auspiciado por la Dirección de Ciencia y Técnica del Ministerio de la Agricultura. En él se dan a conocer los resultados de la influencia del raleo I y II en el régimen hidrológico, efectuado después de quince años de reforestada una subcuenca previamente talada en su totalidad, comparados con una subcuenca colindante (testigo) en la región natural Alturas de Pizarras, macizo montañoso Guaniguanico, provincia de Pinar del Río. Los bienes obtenidos se determinaron calculando el volumen de madera total, y los servicios se partieron de las determinaciones diarias del caudal basado en la fórmula de Tompson, para luego calcular el volumen y los índices hidrológicos en las subcuencas de estudio. El objetivo central del presente trabajo consiste en revelar las alteraciones de algunos índices hidrológicos causados por las intervenciones silvícolas en subcuencas cubiertas de pinares y el impacto económico ambiental que se genera.

Palabras claves: *Pinus, índices hidrológicos, raleo.*

ABSTRACT

The present paper forms part of the Project Goods and Environmental Services derived from Pine Plantation Management, belonging to the Program Entitled Preservation of the Natural Resources, addressed by the Ministry of the Agriculture. The results of the influence of the thinning I and II in the hydrological regime, made after 15 years of having reforested a small catchment previously whole cutting, compared with an adjacent (witness) one, located at the Alturas de Pizarras, are given. The obtained goods were determined calculating the wooden total volume and the services from the daily determinations of the flow based on the formula of Tompson, then the volume and the hydrological indexes in the small catchment studied, were calculated. The central objective of the present paper consists on revealing the alterations of some hydrological indexes caused by the thinning in small catchment covered by pine plantation and the economic environmental impact that it is generated.

Key words: *Pinus, hydrological indexes, thinning.*

INTRODUCCIÓN

En el III Foro Mundial del Agua en Kyoto, Japón, 2003, así como en la Reunión Internacional de Expertos sobre el Bosque y el Agua, celebrada en Shiga, Japón, en 2002, Calder *et al.* (2007) señalan que se puso de relieve la

necesidad de adoptar una apreciación más holística de la interacción entre el agua, los bosques, otras formas de aprovechamiento de la tierra y los factores socioeconómicos que entran en juego en los complejos ecosistemas

de cuencas para el diseño de una nueva generación de políticas forestales y de aguas.

Lo anterior guarda mucha relación con el hecho de que un tercio de las 100 ciudades más grandes del mundo dependen de los bosques para la obtención de una proporción considerable del agua potable que consumen [Donovan, 2007].

El presente trabajo está en franca correspondencia con estos pronunciamientos, y forma parte del Proyecto Bienes y Servicios Ambientales Derivados del Manejo de los Pinares, perteneciente al Programa Ramal Preservación de los Recursos Naturales, auspiciado por la Dirección de Ciencia y Técnica del Ministerio de la Agricultura.

En él se dan a conocer los resultados de la influencia del raleo I y II en el régimen hidrológico, efectuado después de quince años, comparados con una subcuenca colindante (testigo) en la región natural Alturas de Pizarras, macizo montañoso Guaniguanico, provincia de Pinar del Río, con un área forestal cubierta de pinares naturales y plantaciones de 124 025,3 ha equivalente al 28,7 % del total provincial [Dinámica Forestal, 2005, Pinar del Río].

Las investigaciones se ejecutaron en la Estación Hidrológica Forestal Amistad, ubicada en este macizo montañoso, cuyas aguas tributan hacia el arroyo Bermejales, y este a su vez al río San Diego, que ha sido represado en el embalse La Juventud, con capacidad de 105 millones de metros cúbicos.

Revelar las alteraciones de algunos índices hidrológicos causadas por las intervenciones silvícolas en subcuencas cubiertas de pinares, y el impacto económico ambiental que se genera constituye el objetivo central del presente trabajo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La Estación Hidrológica Forestal está ubicada a una altura entre 95 y 135 msnm, ocupando un área de 52 ha. Geográficamente se localiza entre las coordenadas 22°40'43" de latitud norte y 83°25'32" de longitud oeste (Fig. 1).



Figura 1. Esquema de ubicación (cuenca San Diego).

TABLA 1
Superficie boscosa y características morfométricas de las subcuencas de estudio

Subcuencas	Superficies			Pendiente media (%)	Altura media (m)	Altura máxima (m)
	Total	Bosque galería	(%)			
II testigo	10,3	2,20	21,3	27,1	119,4	134
III raleada	8,5	1,60	18,8	24,9	120,4	136

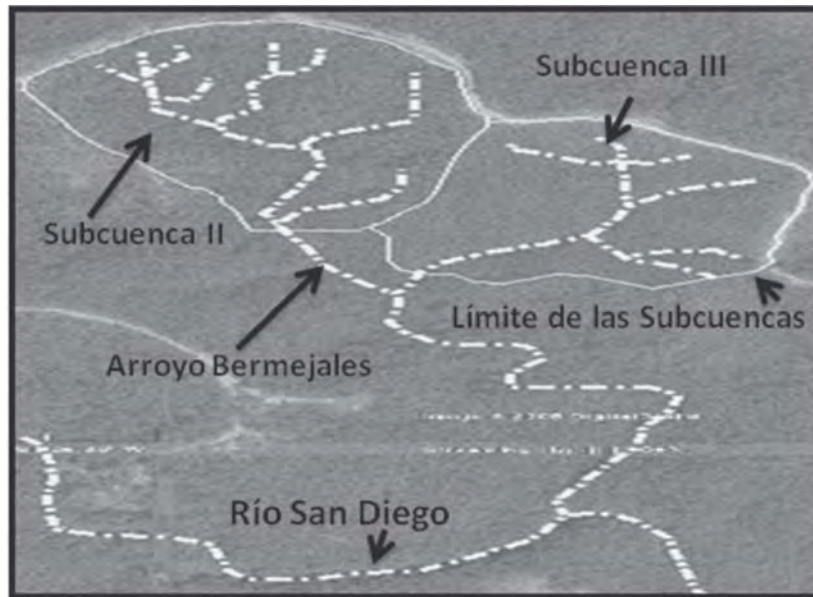


Figura 2. Localización de las subcuencas con sus afluentes.

Como se observa en las Figs. 1 y 2 y en la Tabla 1, las subcuencas II y III con superficie de 10,3 y 8,5 ha, respectivamente, están cerradas en un punto con vertedores triangulares con un ángulo de 90° en el vértice, y un registrador automático del nivel de las aguas (Limnigrafo). Estas subcuencas son representativas de la región natural Alturas de Pizarras, con topografía accidentada.

Los suelos que sustenta son del tipo ferralítico cuarcítico amarillo rojizo lixiviado [Calzadilla, 1978] y varían en profundidad y contenido de gravas. Según este autor, el nivel de materia orgánica varía entre el 2-3 %, el pH del medio es ácido (5-5,5) y presenta una textura areno-limoso. Pertenecen al agrupamiento Ferric Luvisol, según FAO-Unesco (1968) y al Grande Grupo Ustults [Soil Taxonomy, 1975].

La vegetación en la parte superior y media de las subcuencas es de coníferas naturales (*P. caribaea* y *P. tropicalis*) con densidad de 0,5 a 0,7, y las riveras del arroyo están ocupadas por bosques de galería con especies de latifolias (*Bursera simaruba* L. *sargentee*, *Calophyllum pinetorum* Bisse, entre otras); sin embargo, en la subcuenca III, después de efectuar la tala rasa total al bosque natural, se reforestó con árboles de *Pinus caribaea*, al igual que el bosque de galería.

Las condiciones climáticas son propias del trópico, con un promedio anual de lluvias superior a los 1700 mm y temperatura media anual de 23 °C. En 1998 y 1999 el promedio anual de lluvias fue de 1935,3 y 1938,4 mm, respectivamente, y la temperatura alcanzó un promedio de 24,9 °C.

Para determinar en qué medida el aprovechamiento del bosque influye en el rendimiento hídrico, la erosión y la calidad de las aguas, la subcuenca III se sometió en 1981 a una tala rasa total, y al siguiente año no se realizó ningún tipo de intervención con el propósito de que la subcuenca se repusiera de los efectos negativos de la tala y de la mecanización empleada en la extracción y acopio de la madera.

En 1983 se realizó la plantación con *Pinus caribaea* Morelet. Para ello se chapeó, y el sitio se preparó con bueyes a curvas de nivel en la parte superior y con terrazas individuales de forma manual en la parte inferior, donde estaba el bosque de galería. El marco de plantación de los pinos fue de 2 x 2 m en forma de tres bolillos.

En total se plantaron 2500 plantas/ha que cubrieron 6,9 ha en la subcuenca III. En las riveras se plantaron, más el rebrote, 9850 plantas de ocuje, todo lo cual conformó una

faja forestal hidrorreguladora con un ancho de 8 m.

Luego de quince años de establecida la plantación de *P. caribaea* Morelet se realizó en 1998 el raleo I, con una intensidad del 43 %, se extrajeron 1075 árboles/ha, dejando en

pie 1425 árboles/ha. Al cabo de los siete años, en 2005, se realiza el raleo II, con una intensidad del 30 %, se extraen 425 árboles/ha y dejan en pie 1000/ha (Tabla 2). Para calcular el volumen de madera total se empleó el método planteado por Nacimiento *et al.* (1983) y en la NRAG (1985).

TABLA 2
Resultados del raleo I y II en la subcuenca III

Área Pinar (ha)	Árbol (ha)	Árbol extraído (ha)	Árbol en pie (ha)	Edad (año)	D _{1.3} (cm)	Altura media árbol (m)	Volumen extraído (m ³ /ha)	Volumen en pie (m ³ /ha)
Raleo I, subcuenca III, año 1998								
6,9	2500	1075	1425	15	11,5	12,5	62,35	82,65
Raleo II, subcuenca III, año 2005								
6,9	1425	425	1000	22	14	16	44,75	105,30

Para calcular el volumen (m³), el módulo (L/s/ha) y el coeficiente de escurrimiento superficial en las subcuencas de estudio, se partió de las determinaciones diarias del caudal (L/s) basado en la fórmula de Tompson, específica para este tipo de vertedor.

$$Q = 1,343 H^{2,47} \text{ (expresándose en L/s)}$$

Donde:

Q: Gasto del caudal y H: Nivel del agua sobre el vértice del vertedor (cm)

A partir de esto se calculó la lámina (mm) por la fórmula:

$$R = V (m^3) / A (m^2)$$

Donde:

R: Lámina de escurrimiento

V: Volumen de escurrimiento

A: Área total de la subcuenca (Fig. 3)



Figura 3. Vertedor triangular.

Con el fin de encontrar la existencia de alguna dependencia entre el comportamiento del régimen de lluvia, lámina, módulo y coeficiente de escurrimiento en las subcuencas de estudio, estos indicadores fueron sometidos a un análisis de regresión múltiple con un nivel de significación del 0,1, con la finalidad de encontrar cuál de esas variables influyen o están relacionadas con las variables dependientes; se aplicó a la lámina, módulo y el coeficiente de escurrimiento indistintamente.

Como una de las variables independientes es cualitativa en escala nominal, se crea una variable ficticia, dando valor cero a la testigo (subcuenca II) y valor uno a la tratada o intervenida (subcuenca III). Este análisis se realizó aplicando el paquete estadístico SPSS 11.5.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En trabajos previos, Mora *et al.* (1988), Toledo *et al.* (1998) y Renda *et al.* (1999, 2003) indicaron que en la subcuenca III, un año después de efectuar la tala rasa total y la

reforestación inmediata, se produjo un aumento de la lámina de escurrimiento de 588 mm a 1017 mm (1,7 veces), el módulo de 0,20 a 0,32 L/s/ha, el coeficiente de 0,34 a 0,48 y la erosión del suelo de 229 kg/ha a 1340 kg/ha (5,8 veces).

Sin embargo, al efectuar el raleo I un año posterior, después de quince años de haberse reforestado la subcuenca III se vuelven a alterar los índices hidrológicos, como se observa en la *Tabla 3*, en que la lámina aumentó en la subcuenca III comparado con el año anterior de 531 mm a 700 mm al año de realizar la intervención, a pesar de que el régimen anual de lluvias fue también casi igual.

Estos resultados confirman el criterio muy generalizado de que la intervención del hombre en la masa boscosa altera y modifica el ciclo hidrológico natural, lo que debe ser considerado en la ordenación y manejo de cuencas hidrográficas y en la valoración económica de los bienes y servicios ambientales de los ecosistemas forestales, referidos fundamentalmente al servicio hidrológico del bosque.

TABLA 3
Tratamientos silvícolas aplicados a la subcuenca

Año	Precipitación anual (mm)	Subcuenca II		Subcuenca III	
		R (mm)	Ke	R (mm)	Ke
1997	1972	450	0,23	531	0,27
1998	1935	755	0,39	619	0,32
1999	1938	677	0,34	700	0,36
2000	1245	189	0,15	202	0,16
2001	1822	446	0,25	546	0,30
2002	2060	762	0,36	914	0,45
2003	1995	493	0,24	661	0,33
2004	1628	325	0,19	381	0,23
2005	2569	700	0,27	958	0,37
2006	1745	450	0,26	709	0,41
2007	2006	723	0,36	667	0,33
2008	2346	833	0,39	1356	0,58

De ahí que Calder *et al.* (2007) plantearan que la relación bosque-agua se haya convertido en un asunto crítico que debe ser objeto de atención prioritaria, lo cual implica la creación de capacidades en materia de hidrología forestal para condicionar la política de aplicación inmediata de los resultados de la investigación.

Observando detenidamente la *Tabla 3* puede notarse en ambas subcuencas, hasta el sexto año después del raleo I, que la lámina de escurrimiento muestra un comportamiento muy dependiente del régimen de lluvias anual, con una tendencia de estabilización del coeficiente de infiltración del suelo, con valores entre 0,81 y 0,77, lo cual significa

que el coeficiente de escurrimiento superficial también se ha estabilizado con valores entre 0,19 y 0,23.

Estos resultados reiteran el criterio generalizado de que a partir del sexto año, luego de realizar intervenciones silvícolas, se estabiliza el rendimiento hídrico en las cuencas hidrográficas cubiertas de vegetación forestal, constituyendo una referencia importante para la aplicación y planificación del pago del servicio hidrológico de la vegetación forestal.

Sin embargo, en el año en que se aplicó el raleo II, el régimen de lluvia resultó más alto con 2569 mm, produciéndose una lámina de escurrimiento de 958 mm en la subcuenca raleada, que equivale a 9580 m³/ha, cantidad necesaria para regar 1,5 ha de cultivos anuales, mientras que en la testigo fue de 700 mm, una diferencia de 258 mm, lo que permitió que el 30 % del total de lluvias, expresado como coeficiente de escurrimiento, escurriera por la subcuenca tratada, y en la testigo solo el 27 %.

La interpretación práctica de estos datos indica que a pesar de la obligada alteración del régimen hidrológico por efecto del tratamiento silvícola, hay una mayor oferta de agua para el cobro del servicio ambiental en la subcuenca raleada que en la testigo durante ese año.

No obstante, un año después, con un promedio de lluvia de 1745 mm, resulta superior el rendimiento hídrico expresado como lámina de escurrimiento en la testigo con 709 mm por escurrir el 41 % del total de lluvias; pero al segundo año del tratamiento se mantiene más alto el rendimiento hídrico con 723,1 mm, y en la subcuenca raleada con solo 667,3 mm, en que el promedio anual de lluvias fue de 2006,2 mm, con un 36 % de ese total escurriendo por la testigo y el 33 % en la subcuenca raleada. En ambas subcuencas el escurrimiento superficial es muy alto, y debe tenerse muy en cuenta para un mejor manejo de subcuencas cubiertas por vegetación de pinares.

En el estudio también se obtuvo que al comparar los valores entre el raleo I y II observamos que en la segunda intervención hay un

mayor escurrimiento superficial que en el anterior, al igual que en los años siguientes después de realizados los tratamientos silvícolas, a pesar de que están influenciados por el nivel de las precipitaciones caídas.

Como se ha visto, el raleo I y II o tratamientos silvícolas aumentan el rendimiento hídrico, lo que concuerda con lo indicado por Bruijnzeel (2004) y Calder *et al.* (2007), cuando señalan que «hasta el aclareo de árboles en diversos grados o extracción de biomasa aumentan el rendimiento hídrico de las cuencas».

Este concepto permite evaluar económicamente los bienes maderables y el servicio hidrológico de los pinares en la provincia de Pinar del Río, ya que al aplicar raleo II con intensidad del 30 % a 2000 ha de plantaciones jóvenes (representa casi el 22 % del volumen de tratamiento anual de la provincia de Pinar del Río), la utilidad neta sería de 74 480 m³ de madera rolliza por el precio de un metro cúbico de 73,30 pesos, un total de 5 489 384 pesos (datos de la EFI La Palma).

No obstante, las variables hidrológicas lámina de escurrimiento y coeficiente de escurrimiento fueron sometidas a un análisis estadístico de regresión, considerando la subcuenca sometida al raleo II y la testigo, que no se sometió a ningún tratamiento silvícola, con el fin de explicar el funcionamiento de estos indicadores en el espacio cuencas hidrográficas cubiertas de bosques.

Se obtuvo con respecto a la lámina de escurrimiento (variable dependiente, R) que está influenciada tanto por la lluvia, en aproximadamente un 100 %, como por las características de la subcuenca en un 95,2 %.

Las intervenciones silvícolas dentro de la cuenca tratada han provocado que el comportamiento del rendimiento hídrico (escurrimiento superficial) tenga mayor variabilidad al menos hasta el sexto año (*Tabla 3*), con una fuerte dependencia de la variación de la lluvia, provocando una disminución de la regulación natural del escurrimiento.

Por otra parte, el coeficiente de escurrimiento superficial es un indicador muy utilizado también en las evaluaciones y en los cálculos

hidrológicos de las cuencas hidrográficas, pues indica la proporción que representa el escurrimiento superficial respecto a la lluvia total anual que cae sobre las subcuencas.

En sentido general este indicador guarda mucha relación con las alteraciones que se producen en la cubierta del suelo (en este caso con las intervenciones silvícolas), al igual que los otros que tienen que ver con el uso y manejo de las subcuencas.

Lo anterior explica la fuerte dependencia de este indicador (K_e) con las características de la subcuenca en aproximadamente un 100 %, y con la lluvia en un 93 % durante el período de investigación.

Estos resultados nos indican que la variación de este indicador hidrológico durante el período de estudio alcanzó su mayor valor inmediatamente al año de aplicar los tratamientos silvícolas, confirmando la modificación del ciclo hidrológico que se produce en el bosque cuando se efectúan intervenciones silvícolas. El incremento inmediato del coeficiente de escurrimiento se produce a expensas de una reducción de la capacidad de infiltración del suelo.

Desde el punto de vista práctico estos resultados significan prever la disponibilidad de agua durante y después de haber efectuado tratamientos silvícolas, debido a la reducción que se produce en la infiltración para el humedecimiento natural, y en consecuencia en la ulterior disponibilidad de agua para los árboles. También permiten calcular la cantidad de agua que se puede disponer para todos los usos con su consiguiente valoración económica del servicio ambiental del bosque.

CONCLUSIONES

- Al realizar el raleo I se produjo un volumen maderable de 62,35 m³/ha, mientras que en el raleo II resultó de 44,75 m³/ha.
- Al efectuarse cualquier intervención silvícola (raleo) se produce alteraciones en el ciclo hidrológico, comenzando su recuperación a partir del sexto año de realizada.

- Comparando los dos raleos I y II se obtuvo que en la segunda intervención la lámina de escurrimiento aumentó considerablemente con valores entre 619 y 958 mm.
- La lámina de escurrimiento y coeficiente de escurrimiento, sometidas a un análisis estadístico de regresión, arrojó que ambas variables hidrológicas están influenciadas tanto por las precipitaciones como por las características de la cuenca.
- Los bienes y servicios ambientales, en término del agua que drenan después de aplicar el tratamiento silvícola, contribuye notablemente a la creación de una cuenta nacional para el cobro de los servicios ambientales de los ecosistemas forestales, en especial la formación forestal Pinar, muy extendida en el país.

BIBLIOGRAFÍA

- Bruijnzeel, L. A. 2004: «Hydrological Functions of Tropical Forests: Not Seeing the Soil for the Tree», *Agriculture, Ecosystem and Environment* (US) 104 (1): 185-228, abril.
- Calder, I. et al. 2007: «Hacia una nueva comprensión de los bosques y el agua», *Unasylva* (IT) 58(6)229: 3-10.
- Calzadilla, E. 1978: «Estudio de los suelos del área experimental de la estación hidrológica forestal Amistad», Centro de Investigación Forestal, Ciudad de La Habana, p. 11.
- Dinámica Forestal. 2005. Servicio Estatal Forestal Provincial. Pinar del Río.
- Donovan, D. G. 2007: «El agua, los bosques y el Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos», *Unasylva* (IT) 58(229): 62-63.
- FAO. Unesco. 1968: «Correlación aproximada de los esquemas de clasificación de los suelos de Cuba con la Clasificación Soil Taxonomy y la lista de unidades de suelo», Italia.
- Mora, N. et al. 1988: «Resultados obtenidos sobre la influencia de la tala del bosque en el rendimiento hídrico, la erosión y la calidad de las aguas en la Estación Hidrológica Forestal Amistad», Informe Técnico, La Habana, 24 pp.
- Nacimiento, J. F. et al. 1983: «Tabla preliminar de rendimiento para *Pinus caribaea*. Pinar del Río», *Revista Forestal Baracoa* (CU) 13(2): 103-124.
- NRAG 595. Tratamientos Silviculturales. Raleos. Vig. julio 1983.
- Renda, A.; Plasencia, T. 1999: «Manejo Hidrológico Forestal y Agroforestal de Microcuencas de la Región de Alturas de Pizarras. Pinar del Río», Taller sobre Manejo de Cuencas Montañas, Querétaro, México.
- Toledo, R. et al. 1998: «Rendimiento hídrico, erosión y calidad de las aguas. Su comportamiento en la Estación Hidrológica Forestal Amistad». Resúmenes, La Habana, II Congreso Forestal de Cuba, p. 110.

RESEÑA CURRICULAR

Autor principal: Yolanis Rodríguez Gil

Ingeniero agrónomo, máster en Geografía, Medio Ambiente, Ordenación Territorial en la mención de Hidroclimatología y Manejo de Cuencas, labora en el Grupo de Medio Ambiente del Instituto de Investigaciones Agro-Forestales. Realiza trabajos de investigación en temas relacionados al Manejo de Cuencas y el Medio Ambiente. Ha impartido conferencias y asesoramientos a personal técnico y especialistas en la agricultura urbana. Obtuvo Premio Organismo perteneciente al Ministerio de la Agricultura en 2010. Ha participado en eventos nacionales e internacionales.