

# RELACIÓN ENTRE VARIABLES PLUVIOGRAFICAS y EROSIÓN BAJO TRES CUBIERTAS ARBÓREAS

Manuel Ibarra<sup>1</sup>  
Gabriel Mancilla<sup>1</sup>

## INTRODUCCIÓN

**Las precipitaciones constituyen uno de los principales determinantes de la magnitud e intensidad de la erosión hídrica. En efecto, los dos agentes erosivos de la lluvia, gota de lluvia y escorrentimiento superficial, interactúan para causar la degradación del suelo, la cual es de mayor cuantía en la medida que otras variables ambientales y de manejo lo permitan (características del suelo, topografía, cobertura vegetal y prácticas de conservación).**

De acuerdo a STALLINGS (1969), el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo ocasiona más del 90 % de las remociones de material edáfico en la erosión hídrica, y el resto se debería a la escorrentía superficial. Al respecto, es conveniente señalar que la masa de la gota afectará directamente la energía que tendrá al golpear sobre el suelo. Si se considera que la magnitud de la gota es proporcional a la intensidad de las precipitaciones, podrá entenderse la importancia que tiene estudiar la incidencia y relación existente entre variables pluviográficas y la erosión del suelo.

Diversas investigaciones efectuadas en este

ámbito, han determinado como variables pluviográficas útiles a el monto de agua caída en la tormenta, la intensidad media, la intensidad máxima en 30 minutos, duración de la lluvia y frecuencia de ellas (LOPEZ y BLANCO, 1968; BAVER, 1973; CONTANTINESCO, 1976; PERALTA, 1976; POISSON, 1990). Además, debe mencionarse el establecimiento de «Índices de erosividad», explicativos de la erosión del suelo (LAL, 1988). Al respecto, destaca claramente el índice de erosividad definido por WISCHMEIER y SMITH (1978), que corresponde al producto de la energía total de una tormenta por su máxima intensidad en 30 minutos y se simboliza como «El» o «El<sub>30</sub>».

Conforme con lo anterior, el presente trabajo fija sus objetivos en dar a conocer algunas relaciones entre variables pluviográficas con pérdidas de suelo y escorrentía superficial y su posterior análisis, en áreas con diversas situaciones vegetacionales. Dichas determinaciones corresponden a parte de las labores realizadas en el marco del proyecto «Bases ecológicas y productivas para el uso de los terrenos forestales de la Cordillera de Nahuelbuta», de Fundación Andes, Forestal Río Vergara S. A. (actualmente Forestal Mininco S. A.), y la Universidad de Chile, y se circunscriben

---

<sup>1</sup> Departamento de Silvicultura, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile. Casilla 9206, Santiago.

a un período de medición de un año (1991 -1992).

## MATERIAL Y MÉTODO

### Área de estudio

Las relaciones se obtuvieron a partir de datos recogidos en el predio «Los Barros», de propiedad de Forestal Mininco S.A., localizado en la vertiente oriental de la Cordillera de Nahuelbuta, a unos 50 km al suroeste de Nacimiento (VIII Región).

La zona presenta, a nivel general, clima de tipo templado infratermal estenotérmico con régimen mediterráneo perhúmedo (FUENZALIDA, 1971). Las precipitaciones alcanzan un rango de 2.000 a 2.700 mm y las temperaturas tienen una media anual de 10 a 13°C. Las lluvias se concentran aproximadamente en un 80 % los meses de otoño e invierno.

Predomina la fisiografía de cerros, el relieve inclinado a quebrado y las pendientes de 30 a 40%. Los suelos, de acuerdo a muestreos efectuados en el sector, se originaron *in situ* a partir de granodioritas, y muestran texturas franco a franco arcillo-arenosas, una profundidad de 70 a 90 cm, permeabilidad moderada y drenaje excesivo (SCHMIDT et al., 1992).

El paisaje es dominado por plantaciones de Pino insigne (*Pinus radiata* D. Don), establecidas de manera primordial sobre terrenos de aptitud forestal degradados por su utilización agrícola. También existe vegetación natural de manera discontinua y abarcando superficies pequeñas, en que la formación más común la constituyen renovales de Roble (*Nothofagus obliqua*

Mirb. Oerst). En sectores con menor influencia antrópica existe una vegetación más densa y variada que incluye Roble, Lingue (*Persea lingue*), Avellano (*Gevuina avellana*), Raulí (*Nothofagus alpina*), Olivillo (*Aextoxicum punctatum*), Laurelia sp., Coihue (*Nothofagus dombeyi*), y Ulmo (*Eucryphia cordifolia*), entre otros (MANCILLA, 1995).

### Áreas específicas de estudio

Para los propósitos descritos, fueron seleccionadas tres áreas con similares características edafoclimáticas, misma exposición (sur), mismo rango de pendiente (30 a 40%), y posición altitudinal (800 a 840 msnm); variando sólo en el aspecto vegetacional, ya sea por especie, estructura y/o presencia y tipo de manejo. Estas áreas corresponden a:

-Bosque de Pino insigne establecido en 1969, sin intervención silvícola, 1970 árb/ha y 87% de cobertura de copas.

-Plantación de Pino insigne del año 1979, manejo de poda y raleo, 440 árb/ha y 43 % de cobertura de copas. Además, se presenta un sotobosque de Roble que consta de rebrotos de tocón, de 0,5 a 4 m de altura, y 1.560 individuos por hectárea.

-Renoval de Roble con 15 a 25 años de edad, sin manejo, 3.485 árb/ha y 160% de cobertura de copas en la estación de crecimiento.

### Diseño experimental

En cada área detallada anteriormente se obtuvieron relaciones entre variables pluviográficas con montos de pérdidas de

suelo y escorrentía superficial.

Para determinar los valores de suelo perdido y los escurrimientos superficiales, en cada sector se instalaron 3 parcelas de escorrentía con 5 m<sup>2</sup> de sección efectiva de escurrimiento, dispuestas en posiciones de media ladera. Las evaluaciones fueron realizadas tras cada lluvia, considerando los valores promedio como representativos de cada área.

Para el caso de las variables pluviográficas, se contó con un pluviógrafo Hellman de 10 mm de capacidad de carga y localizado en una estación meteorológica no distante más de 1 km de las áreas seleccionadas. A partir del análisis directo de las cintas pluviográficas pudo determinarse variables tales como:

- Monto total de agua caída por tormenta
- Monto de precipitaciones erosivas (de montos superiores a 12,7 mm de agua caída).
- Duración de la tormenta
- Intensidad media de la lluvia
- Intensidad máxima en 30 minutos

De manera indirecta, fue precisada la energía e índice de erosividad de las tormentas erosivas. La energía de la tormenta se obtuvo mediante aplicación de la fórmula enunciada por WISCHMEIER y SMITH (1978), correspondiente a:

$$\text{Energía} = 1,2136 + 0,89 * \log.$$

(intensidad media de cada intervalo de igual pendiente existente en la curva pluviográfica).

Esta entrega la energía en kgm/m<sup>2</sup> de cada milímetro de lluvia caído a esa intensidad. Este valor fue multiplicado por el total de milímetros de agua caída en el intervalo,

calculándose así la energía total del intervalo de similar intensidad. Por último, la sumatoria de las energías de todos los intervalos de la tormenta erosiva, entregó el valor de energía total del evento.

El índice de erosividad de la tormenta se obtuvo a través del producto de la energía de la tormenta por su intensidad máxima en 30 minutos.

## Determinación de las relaciones

De acuerdo a los objetivos del trabajo, y según los antecedentes recopilados, se procedió a probar regresiones simples, múltiples y polinómicas que usaron como variable dependiente las pérdidas de suelo, o bien los montos de escorrentía superficial, y como independientes a las variables pluviográficas ya descritas.

## RESULTADOS

### Relaciones entre variables pluviográficas y escorrentía superficial

En el Cuadro 1 se observa que las variables pluviográficas muestran relaciones disímiles con los valores de escurrimiento superficial de las tormentas. En general, las regresiones evidencian errores estándar relativamente elevados, lo cual se debe a la amplitud de variaciones respecto a los valores esperados. Este hecho es consecuencia de que los montos de flujos superficiales, y en rigor, el proceso de erosión, son influidos por muchos otros factores (climáticos, edáficos, vegetacionales, etc).

Las correlaciones de las tres áreas indicaron una mayor similitud entre las tendencias de los escurrimientos superficiales con los

montos totales de agua caída, ya sea incluyendo todas las tormentas, o considerando sólo las erosivas. En el caso de esta última clase de lluvias, la variable energía de la tormenta también evidenció correlaciones aceptables; incluso en el área con Pino insigne no manejado, el coeficiente de determinación fue levemente superior.

Las variables de intensidad media, intensidad máxima en 30 minutos e índice de erosividad (para el caso de las tormentas erosivas), no mostraron comportamientos consistentes con los volúmenes de escorrentía superficial registrados. Esto último pudo deberse al efecto interceptor de las cubiertas vegetales y hojarasca, que impidieron el impacto directo de las gotas de lluvia sobre el suelo. De esa forma, los flujos superficiales ocurren una vez que se acumula una cantidad adecuada de agua y esto dependerá principalmente de la cantidad de lluvia recibida.

Las regresiones múltiples y polinómicas mejoran en parte las correlaciones de las variables pluviográficas con los escorrentimientos superficiales, pero sólo cuando se consideran el monto de agua caída para todas las lluvias, y el monto de lluvia erosiva y/o la energía de la tormenta para las precipitaciones erosivas, como acompañantes del resto de las variables predictivas.

### **Relaciones entre variables pluviográficas y pérdidas de suelo**

Al igual que en el caso de la escorrentía superficial, el monto total de agua caída fue la variable pluviográfica de tendencia más similar a la de las pérdidas de suelo, en todas las áreas consideradas. De manera similar, a excepción del sector con bosque

de pino manejado, el volumen de precipitación erosiva fue la variable de mayor correlación con las pérdidas de suelo en esa clase de tormentas. En aquella área, dominó la relación encontrada con la energía de la tormenta, variable que, en todo caso, tuvo buenas aproximaciones en todos los sectores (Cuadro 2).

De modo general, los errores estándares fueron relativamente bajos, lo cual señaló la existencia de variaciones menores respecto de los valores esperados de pérdidas de suelo.

Las regresiones simples con las variables de intensidad media o máxima en 30 minutos tampoco mostraron buenas correlaciones con las pérdidas de suelo. Asimismo, el índice de erosividad se relacionó en forma medianamente satisfactoria con las cifras de suelo desechado sólo en el área bajo pino manejado.

Las regresiones múltiples y polinómicas evidenciaron mejores correlaciones con las pérdidas de suelo, pero sólo cuando se incluían las variables agua caída, en el caso de todas las lluvias, y precipitación total erosiva y/o energía de la tormenta para las tormentas erosivas.

Los argumentos anteriores corroboran, al igual que en el caso de la escorrentía superficial, que la erosión bajo los tipos de cubiertas vegetales considerados se verifica al acumularse una cantidad determinada de agua en el suelo. En el caso del rodal de pino manejado, la mayor influencia que parece tener la energía de la tormenta se debería a la reducción de la cobertura arbórea por efectos del raleo.

Cuadro 1: Regresiones de escorrentía superficial y variables pluviográficas

Sector	Regresión obtenida	R2	E. estandar
Pino manejado, plantado en 1979	<u>Total de lluvias</u> E.sup = -2,83 + 0,44*pp E.sup = 3,35 + 9,88*Im E.sup = 0,58 + 1,75*I <sub>30</sub> E.sup = -4,08 + 0,39*pp + 0,39*I <sub>30</sub>  <u>Lluvias erosivas</u> E.sup = -6,62 + 0,48*pper E.sup = -3,83 + 2,49*etor E.sup = 13,45 + 0,06*ei <sub>30</sub> E.sup = -1,16 + 4,08*etor - 0,32*pper	0,80 0,15 0,45 0,81  0,74 0,79 0,52 0,80	10,30 21,32 17,30 10,00  13,59 12,28 18,51 12,24
Pino no manejado, plantado en 1969	<u>Total de lluvias</u> E.sup = -0,90 + 0,32*pp E.sup = 3,37 + 7,43*Im E.sup = 3,15 + 1,08*I <sub>30</sub> E.sup = -1,10 + 0,32*pp + 0,27*Im  <u>Lluvias erosivas</u> E.sup = -1,33 + 0,33*pper E.sup = 1,42 + 1,62*etor E.sup = 13,86 + 0,03*ei <sub>30</sub> E.sup = -2,48 + 1,33*etor + 6,56*etor/I <sub>30</sub>	0,87 0,17 0,34 0,87  0,79 0,77 0,35 0,81	5,96 14,76 13,21 6,01  8,03 8,46 14,22 7,70
Renoval de Roble	<u>Total de lluvias</u> E.sup = -1,12 + 0,24*pp E.sup = 2,78 + 4,92*Im E.sup = 2,52 + 0,73*I <sub>30</sub> E.sup = -0,60 + 0,26*pp - 0,18*I <sub>30</sub>  <u>Lluvias erosivas</u> E.sup = -2,01 + 0,25*pper E.sup = 0,22 + 1,23*etor E.sup = 10,02 + 0,02*ei <sub>30</sub> E.sup = -3,45 + 0,96*etor + 6,17*etor/I <sub>30</sub>	0,82 0,13 0,26 0,83  0,74 0,70 0,27 0,77	5,35 11,70 10,81 5,31  7,18 7,62 11,96 6,90
<b>Simbología:</b>			
pp: Precipitación total del evento	Im: Intensidad media de la lluvia		
etor: Energía de la tormenta erosiva	ei <sub>30</sub> : Valor de Indice de erosividad		
pper: Precipitación total de un evento erosivo			
I <sub>30</sub> : Intensidad máxima en 30 minutos del evento			

Cuadro 2: Regresiones de pérdidas de suelo y variables pluviográficas

Sector	Regresión obtenida	R2	E. estándar
Pino manejado, plantado en 1979	<u>Total de lluvias</u> P.suelo = $-0,34 + 0,09*pp$ P.suelo = $0,76 + 2,23*Im$ P.suelo = $0,08 + 0,40*I_{30}$ P.suelo = $0,15 + 4,5*10^{-4}*pp^2 + 0,18*I_{30}$  <u>Lluvias erosivas</u> P.suelo = $-0,96 + 0,10*ppe$ P.suelo = $-0,48 + 0,52*etor$ P.suelo = $2,88 + 0,01*ei_{30}$ P.suelo = $1,11 + 0,63*etor - 2,68*etor/I_{30}$	0,77 0,17 0,52 0,85	2,37 4,47 3,41 1,94
Pino no manejado, plantado en 1969	<u>Total de lluvias</u> P.suelo = $0,21 + 0,04*pp$ P.suelo = $0,75 + 0,99*Im$ P.suelo = $0,81 + 0,13*I_{30}$ P.suelo = $0,28 + 0,05*pp - 0,02*I_{30}$  <u>Lluvias erosivas</u> P.suelo = $0,48 + 0,04*ppe$ P.suelo = $0,85 + 0,19*etor$ P.suelo = $2,38 + 0,004*ei_{30}$ P.suelo = $0,24 + 0,03*ppe + 0,52*etor/I_{30}$	0,93 0,19 0,33 0,93	0,54 1,84 1,68 0,53
Renoval de Roble	<u>Total de lluvias</u> P.suelo = $0,21 + 0,03*pp$ P.suelo = $0,58 + 0,66*Im$ P.suelo = $0,57 + 0,10*I_{30}$ P.suelo = $0,08 + 0,04*pp - 5,9*10^{-5}*pp^2$  <u>Lluvias erosivas</u> P.suelo = $0,71 + 0,02*ppe$ P.suelo = $0,91 + 0,12*etor$ P.suelo = $1,81 + 0,002*ei_{30}$ P.suelo = $0,74 + 0,02*ppe - 0,01*I_{30}$	0,88 0,18 0,35 0,89	0,49 1,29 1,15 0,47
<u>Simbología:</u>			
pp:	Precipitación total del evento	Im:	Intensidad media de la lluvia
etor:	Energía de la tormenta erosiva	ei <sub>30</sub> :	Valor de Indice de erosividad
ppe:	Precipitación total de un evento erosivo	I <sub>30</sub> :	Intensidad máxima en 30 minutos del evento

## CONCLUSIONES

Conforme a las tendencias observadas, es posible postular que, bajo las cubiertas vegetales estudiadas, la acumulación de agua es el factor que muestra una mayor significancia con las pérdidas de suelo y los flujos superficiales. Esto se debe a que la presencia de vegetación y la hojarasca impiden el impacto directo de la gota de lluvia sobre el terreno.

De esta manera, la influencia de la energía de la tormenta (dependiente directamente de la gota de lluvia), está supeditada a la apertura del dosel, lo cual se verificó de forma más notoria en el área con pino manejado y bajo tormentas erosivas.

## BIBLIOGRAFÍA

- BAVER, L. 1973. Física de Suelos. México: Centro Regional de Ayuda Técnica. 529p.
- CONTANTINESCO, I. 1976. Conservación de suelos para los países en desarrollo. Roma: FAO. 91 p.
- FUENZALIDA, H. 1971. Climatología de Chile. Universidad de Chile. Departamento de Geofísica y Geodesia. 73p.
- LAL, R. 1988. Soil erosion research methods. Iowa, USA: Soil and Water Conservation Society. 244 p.
- LOPEZ, F.; BLANCO, M. 1968. Aspectos cualitativos y cuantitativos de la erosión hídrica, y del transporte y Ciencias Forestales Vol. 10 N° 1-2. 1995. depósito de materiales. Madrid: Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. 112 p.
- MANCILLA, G. 1995. Erosión bajo cubiertas vegetales en la Cordillera de Nahuelbuta (VIII Región). Memoria Ingeniería Forestal. Universidad de Chile. 177p.
- PERALTA, M. 1976. Uso, Clasificación y Conservación de Suelos. Chile: Servicio Agrícola y Ganadero. 340 p.
- POISSON, M. 1990. Evaluación de la acción de la gota de lluvia en suelos sujetos a madereo en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don, con el uso de simulador de lluvia. Memoria Ingeniería Forestal. 105 p.
- SCHMIDT, H.; CALDENTEY, J.; IBARRA, M.; PERALTA, M. 1992. Bases ecológicas y productivas para el uso de terrenos forestales de la Cordillera de Nahuelbuta (Análisis comparativo de bosques naturales y artificiales). Chile: Proyecto C11001 Fundación Andes. Informe de avance N° 1.41 p.
- STALLINGS, J. 1969. El suelo: Su uso y mejoramiento. México: Editorial Continental S. A.. Tercera Edición. 480p.
- WISCHMEIER, W.; SMITH, D. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. Supersedes Agriculture Handbook N° 282. 58 p.