

# factores ambientales y el crecimiento de 5 especies forestales en costa rica

PABLO CAMACHO MORA\*

## INTRODUCCION

El crecimiento de las plantas y entre ellas el de los árboles, es controlado y afectado por la combinación de todos los factores ambientales. Sin embargo, algunos de estos factores ejercen una mayor influencia que otros.

En primera instancia, se debe tomar en cuenta que los factores ambientales son muchos y a la vez diversos en su naturaleza (geografía, suelo, atmósfera, agua, y sus múltiples componentes). Esta diversidad de factores hace que el análisis de los mismos se convierta en una complicada actividad. Sin embargo, los recientes adelantos tecnológicos y el uso de la computadora han hecho posible determinar cuál alternativa o qué combinación de factores está más relacionada con determinada especie en estudio. Para este análisis se usan variables dependientes, que son aquellas sobre las cuales se va a medir la respuesta al ambiente. Para el caso de una especie forestal se pueden usar como variables dependientes **el diámetro, la altura o el volumen**. Como variables predictoras o **independientes** se pueden usar los **factores ambientales** (cantidad de lluvia durante el año, distribución de la precipitación a través del año, aspectos físicos y químicos del suelo, entre otros).

Todo lo anteriormente expuesto dio lugar a que se analizara el crecimiento de cinco especies forestales en Costa Rica (Jaúl: *Alnus acuminata* (HBK) O. Ktze.; Ciprés: *Cupressus lusitanica* Mill; Melina: *Gmelina arborea* Roxb; Pino: *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. y Golf; y Teca: *Tectona grandis* L.), junto con 27 factores de clima y suelo, con el propósito de determinar

la relación que algunos de estos factores (variables independientes) tienen en el crecimiento de esas especies. Como parte del análisis, se comparó el crecimiento de estas especies para diferentes zonas climáticas de Costa Rica (Zona Atlántica y Norte, Pacífico Seco, Zona Sur y Valle Central del país) y para el país en general. En todos los casos analizados, se seleccionaron aquellos factores ambientales que mostraron mayor relación con el crecimiento de los árboles, para estas zonas climáticas. De igual manera se procedió cuando el análisis de las plantaciones fue hecho para todo el país.

Las plantaciones de árboles o parcelas experimentales usadas en este estudio fueron instaladas por la Dirección General Forestal del Ministerio de Agricultura y Ganadería, mediante su Departamento de Investigación Forestal.

También hubo participación de la empresa privada al hacerse uso de las plantaciones forestales establecidas por ellos.

Como fuera mencionado anteriormente, en el estudio se usó como indicadores del crecimiento o variables dependientes, el diámetro y altura promedio de las plantaciones y el incremento medio anual de volumen de estas en metros cúbicos por hectárea. Como posibles factores que puedan afectar el desarrollo de los árboles (variables independientes) se usaron doce indicadores del clima, los cuales fueron obtenidos de los archivos del Instituto Meteorológico Nacional. Esta información fue complementada con el análisis del suelo de las parcelas y con ello se obtuvieron quince características físicas y químicas del lugar de la plantación.

\* Profesor del Departamento de Ing. Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

## REVISION DE LITERATURA

### Experiencias en el campo

Scott (1969) mencionó que pueden establecerse las siguientes formas de relación entre las plantas y el medio en el cual estas viven:

1. Cuando el principal aspecto del crecimiento es afectado por un único factor ambiental.
2. Cuando el crecimiento es afectado por pocos factores y cada uno de estos con importancia similar.
3. Cuando pocos factores afectan el crecimiento, pero con una importancia diferente.
4. Cuando el crecimiento es afectado por muchos factores y cada uno de estos con efectos diferentes sobre el crecimiento de las plantas.

Los factores ambientales que presentan algún efecto sobre el crecimiento de los árboles pueden ser agrupados de manera muy general en: atmosféricos, del suelo y geográficos. Los factores atmosféricos que más se han encontrado relacionados con el comportamiento de las plantas son: la evaporación del agua, radiación, temperatura, precipitación, brillo solar (número de horas de luz y/o intensidad de luz), termoperíodo y las diferentes estaciones de crecimiento.

Las variables del suelo anotadas en la literatura como las de un mayor efecto sobre los árboles son: la textura, temperatura, contenido de humedad, profundidad, pendiente y pedregosidad en el perfil del suelo.

Entre los factores geográficos con mayor influencia sobre el crecimiento de especies forestales se mencionan la altitud o elevación sobre el nivel del mar, la latitud, exposición del terreno a los rayos solares y la pendiente del mismo.

En relación con todo lo anteriormente mencionado, Fritz (1974), encontró que períodos anuales de lluvia por arriba del promedio, generalmente dieron como resultado un crecimiento de los árboles también por arriba del promedio.

En relación con la temperatura, Fritz (1974) encontró una relación inversa con el grosor de los

anillos de crecimiento durante el otoño, primavera y verano. De los factores de sitio que este autor encontró más relacionados con las diferencias en el crecimiento, están la exposición a los rayos solares (aspecto norte o sur) y en segundo lugar a la elevación sobre el nivel del mar y la latitud de la plantación.

Graham et al. (1982) relacionó factores ambientales con la regeneración forestal en cortas totales y parciales del bosque. Las ecuaciones, con base en un análisis de regresión múltiple de los datos, mostraron que la dificultad de regenerar las áreas parcialmente taladas, se incrementa al haber un aumento en la radiación solar, en la temperatura del aire, en la cobertura de piedras y en la profundidad del horizonte A del suelo. También Minore et al. (1982) hizo uso de un análisis de regresión múltiple en el que relacionó factores ambientales y de la vegetación con la regeneración del bosque después de haber sido cortado. Este estudio, permitió identificar el aspecto, la pendiente, la elevación, el contenido de piedras y la vegetación como los principales factores que limitan la regeneración del bosque en ese lugar.

De toda la variedad de factores climáticos evaluados por Gholz (1979), la demanda en transpiración durante la estación de crecimiento y la media en la temperatura mínima del aire durante el mes de enero, explicaron en gran medida la variación en el área foliar (área de hojas), en la biomasa y en la producción primaria neta de la vegetación.

La producción de materia seca se sabe que depende de la cantidad de radiación solar interceptada, que a la vez es determinada por el área foliar de la plantación (Biscoe and Gallagher, 1977). A principios de la estación de crecimiento los bajos índices de área foliar causan una baja interceptación de la radiación solar por las plantaciones y esto limita la tasa de crecimiento del rodal. La tasa de expansión del área foliar es fuertemente dependiente de la temperatura, por lo cual tiempos fríos limitan severamente la tasa de crecimiento de las hojas. Períodos de alta temperatura y alto brillo solar pueden limitar la tasa de crecimiento foliar y el tamaño final de las hojas, si los árboles tienen limitaciones en el abastecimiento de agua.

La tasa de crecimiento en altura, en rodales de *Pinus silvestris* L., fue evaluada en relación con factores de sitio por White (1982). La conclusión del autor fue que las variaciones en crecimiento están mayormente asociadas con la radiación solar, textura y contenido de humedad del suelo. Para zonas individuales, la variable radiación solar no entró en los modelos de regresión.

Slatyer (1982) encontró que la temperatura óptima de fotosíntesis para plantaciones de *Eucalyptus pauciflora*, decrece con un aumento en la elevación, y que para determinada altitud este óptimo varía de acuerdo con la estación del año y con el régimen de temperatura anual.

### Latifoliadas versus coníferas

El crecimiento de *Betula verrucosa*, *Populus trichocarpa*, *Acer pseudoplatanus*, *Larix leptolepis*, *Pinus silvestris* L y *Pinus radiata* D. Don; fue estudiado por Pollard y Wareing (1968). Este estudio demostró que no existen claras diferencias en las tasas de crecimiento relativo entre las especies de hoja ancha (latifoliadas) y las coníferas, como grupos mayores de especies, sin embargo sí se encontraron diferencias significativas entre los diferentes grupos de especies. La tasa de crecimiento anual mostró una rápida reducción a través del experimento y los valores de la tasa de crecimiento al final de éste, fueron bastante similares en las seis especies. Los autores concluyeron que esto fue debido sobre todo a:

- 1) Reducción en las diferencias interespecíficas en la tasa de crecimiento durante el verano de las especies caducifolias, y,
- 2) Un crecimiento que compensó la producción de materia seca durante el invierno en las dos especies de coníferas.

Las tasas de crecimiento y producción de materia seca fueron examinadas por Sweet y Wareing (1968) b) en plantaciones de *Larix leptolepis*, *Pinus contorta* y *Pinus radiata* D. Don. El género *Larix* tuvo una tasa de producción de materia seca mucho mayor que las dos especies de *Pinus* hasta el tiempo en que sus hojas cayeron, esto también fue acompañado por alturas y diámetros superiores. Sin embargo, durante la pérdida total de hojas por *Larix* y el fin de la siguiente estación de crecimiento, las especies de

*Pinus* incrementaron en materia seca más de un 250% y en consecuencia, *Larix*, por sus características de árbol deciduo, perdió la mayoría de su ventaja en cuanto especie de rápido crecimiento.

### Experiencias en el laboratorio

El efecto de varios niveles de termoperíodo y temperaturas del suelo en el crecimiento de Douglas—fir: *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, fueron estudiados por Lavender y Scott (1972). Árboles de las variedades *glauca* y *menziesii* lograron su máximo crecimiento con temperaturas del suelo y del aire entre 18 y 24°C. Temperaturas bajas del suelo redujeron notablemente el crecimiento y apresuraron el período de adormecimiento (latencia) de las plantas que estaban creciendo bajo diferentes niveles de termoperíodo en este estudio.

El crecimiento de western hemlock: *Psuga heterophylla* y Douglas—fir: *Pseudotsuga menziesii*, fue estudiado por Brix (1971) bajo 11 regímenes de temperatura controladas entre el día y la noche. Douglas—fir tuvo un óptimo de temperatura de crecimiento más amplio, oscilando entre 18 y 24°C, mientras que hemlock tuvo un pronunciado óptimo a los 18°C, especialmente a altas intensidades de luz. Altas temperaturas tuvieron mayor efecto para el crecimiento de hemlock que para Douglas—fir. Bajas temperaturas afectaron de manera muy similar a las dos especies. La producción de materia seca de Western hemlock fue considerablemente más baja que la producida por Douglas—fir en todas las condiciones de crecimiento.

Larson (1967) condujo un experimento en el cual árboles de *Pinus ponderosa* Laws, crecieron bajo varias combinaciones de temperaturas constantes del suelo y del aire. El crecimiento en raíces respondió más a la temperatura del suelo, mientras que el crecimiento aéreo respondió más a las temperaturas del aire. Las raíces crecieron mejor a una temperatura de 15°C en el aire y 23°C en el suelo. El crecimiento en altura fue mejor a una temperatura de 23°C en el suelo y 23°C en el aire.

Sweet y Wareing (1968 a) informó los resultados obtenidos en experimentos en los cuales los parámetros de crecimiento fueron evaluados en árboles de *Pinus contorta* logrados a partir de

semillas de cuatro diferentes procedencias geográficas. Diferencias muy significativas en fotosíntesis neta se observaron entre las diferentes procedencias y para un amplio ámbito de intensidades de luz.

Se realizó un estudio en el cual la tasa de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), tomado por árboles de *Pinus rigida*, decrecía con la edad de las plántulas y que las respuestas a cambios en luminosidad y temperatura fueron menos pronunciadas conforme la edad aumentó (Ledig et al. 1977).

Los estudios mencionados demuestran de manera muy general la importancia y efectos que los factores ambientales tienen en el crecimiento de las plantas y por ende en el desarrollo del bosque. Sin embargo, como se podrá notar, muy poco se menciona que estos factores hayan sido evaluados para el trópico y para especies forestales tropicales.

### RESULTADOS OBTENIDOS PARA COSTA RICA

Los resultados más sobresalientes de este estudio son:

1. **El crecimiento del jaúl:** *Alnus acuminata* (HBK) O. Ktze., tal como se ilustra en el cuadro No.1, se encontró relacionado con la humedad del aire o humedad relativa, la distribución de las lluvias a través del año y los nutrientes calcio, magnesio, potasio y sodio, que se encuentran retenidos en las arcillas del suelo (porcentaje de saturación de bases). Dentro del ámbito evaluado para la humedad relativa (78–85º/o), un incremento en la media anual de la humedad relativa, producirá un efecto negativo o reducción en el crecimiento de esta especie. Observe los diferentes coeficientes de regresión en la ecuación 1 para la especie en el cuadro No.2.

2. **Para el crecimiento del Cupressus lusitanica** (Mill): también incluido en el cuadro No.1, se encontró que la textura del suelo, específicamente el contenido de limos que es un tipo de partículas intermedias entre la arcilla y la arena, la altitud en metros sobre el nivel del mar en la que están establecidas las plantaciones y la saturación de bases del suelo, fueron los factores más relacionados con el crecimiento de esta especie.

CUADRO No. 1. Factores ambientales incluidos en los modelos de regresión para predecir el crecimiento medio anual en volumen para los árboles de las especies evaluadas.

ESPECIE	JAUL	CIPRES	MELINA	PINO	TECA	FRECUENCIA
Factores climáticos <sup>1</sup>	Edad	Edad	-----	Edad	Edad	4
	HR	-----	-----	-----	-----	1
	Pluvioso	-----	-----	Ecosecos	Ecosecos	3
	-----	Altitud	-----	-----	-----	1
	-----	-----	-----	Luz	Luz	2
Factores del suelo <sup>1</sup>	-----	-----	-----	-----	Evaporación	1
	Saturación bases	Saturación bases	-----	Saturación bases	-----	3
	-----	Limo	-----	-----	Arcilla	2
	-----	-----	Fósforo	-----	-----	1
	-----	-----	Sodio	-----	Sodio	2
	-----	-----	Carbono/ Nitrógeno	-----	Carbono/ Nitrógeno	2
-----	-----	Potasio	Potasio	Potasio	3	
Variables climáticas	2	1	0	2	3	
Variables del suelo	1	2	4	2	4	
Total seleccionadas	4	4	4	4	8	

1. Para la descripción de variables y unidades de medición vea Cuadro No. 2

Para el Valle Central del país se encontró que la capacidad de intercambio catiónico o capacidad que tienen las arcillas de absorber ciertos elementos (calcio, potasio, sodio y magnesio) presentes en el suelo y el contenido total de nitrógeno en el suelo, fueron otros de los factores relacionados con el crecimiento de esta especie.

Para el ámbito de elevación en metros sobre el nivel del mar (1100–2620), una reducción en el crecimiento de esta especie puede esperarse conforme la elevación aumenta; sin embargo, su ámbito de elevación óptimo no ha sido determinado para el país. Véase modelo de regresión número 2 en Cuadro No.2.

**3. El crecimiento de *Gmelina arborea* Roxb:** se encontró relacionado con las propiedades del suelo: fósforo disponible, sodio y potasio intercambiable, capacidad de intercambio catiónico y el contenido de materia orgánica (Cuadro No. 1). De acuerdo con el análisis realizado y con experiencias en otros países, se puede afirmar que

el árbol de melina requiere suelos fértiles con condiciones físicas favorables para su desarrollo óptimo. Sin embargo, esta especie crece satisfactoriamente en la mayoría de las áreas por debajo de los 500 metros de elevación sobre el nivel del mar en Costa Rica.

**4. El crecimiento del pino hondureño *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. y Golf,** como se ilustra en el Cuadro No. 1, se encontró relacionado con la cantidad de lluvias y su distribución a través del año, con el potasio, sodio y magnesio intercambiable, la textura del suelo y un factor energético (número de horas de luz de los días y la radiación total o energía calórica acumulada en el ambiente proveniente del sol).

**5. El crecimiento de la teca *Tectona grandis* L.,** se encontró relacionado con la textura del suelo, la temperatura del aire, potasio, sodio y calcio intercambiable. Mayores detalles en relación con la ecuación de regresión pueden observarse en el modelo de regresión número 5.

*CUADRO No. 2. Análisis de regresión múltiple para las cinco especies en estudio (en todos los casos se usó el crecimiento medio en volumen de los árboles como variable dependiente).*

ESPECIE	ECUACION No.	NUMERO DE OBSERVACIONES (n)	ECUACION DE REGRESION ESTIMADA	R <sup>2</sup>	Pr (F > $\hat{F}$ )
Jaúl	1	8	$\hat{Y} = 2,27 - 0,012 (\text{edad}) + 0,035 (\text{Pluvioso}) - 0,029 (\text{HR}) + 0,0048 (\text{Sat. bases})$	0,85	0,1224
Ciprés	2	13	$\hat{Y} = 0,58 + 0,013 (\text{edad}) - 0,000064 (\text{Altitud}) + 0,021 (\text{Limo}) + 0,0018 (\text{Sat. Bases})$	0,99	0,0001
Melina	3	12	$\hat{Y} = 1,46 - 2,005 (\text{Sodio}) + 0,18 (\text{Potasio}) + 0,013 (\text{Fósforo}) - 0,06 (\text{Carbono/Nitrógeno})$	0,98	0,0001
Pino	4	26	$\hat{Y} = 0,05 + 0,0091 (\text{edad}) - 0,082 (\text{Ecosecos}) + 0,00017 (\text{Luz}) - 0,0092 (\text{Sat. bases}) + 0,26 (\text{Potasio})$	0,75	0,0001
Teca	5	21	$\hat{Y} = 0,30 - 0,0084 (\text{edad}) + 0,14 (\text{Ecosecos}) + 0,0005 (\text{Luz}) - 0,0008 (\text{Evaporación}) - 0,0005 (\text{Arcilla}) - 0,42 (\text{Sodio}) + 0,36 (\text{Potasio}) + 0,02 (\text{Carbono/Nitrógeno})$	0,73	0,0048

Explicación de términos:

Edad	= Edad de la plantación en años.	Potasio	= Contenido de potasio en el suelo (primeros 40 cm de profundidad) en miliequivalentes por 100 gramos de suelo.
HR	= Humedad relativa en porcentaje.	Sodio	= Contenido de sodio en el suelo (primeros 40 cm de profundidad) en miliequivalentes por 100 gramos de suelo.
Sat. bases	= Saturación de bases (Promedio de los primeros 40 cm) en porcentaje.	Fósforo	= Contenido de fósforo en el suelo (primeros 40 cm de profundidad) en microgramas de fósforo disponible por mililitro de suelo.
Altitud	= Elevación sobre el nivel del mar en metros.	Carbono/Nitrógeno	= Relación del carbono entre el nitrógeno contenido en el suelo.
Evaporación	= Promedio anual de evaporación en milímetros.	$\hat{Y}$	= Incremento medio de los árboles en m <sup>3</sup> /año.
Arcilla	= Contenido de arcillas del suelo (primeros 40 cm de profundidad) en porcentaje por volumen.	R <sup>2</sup>	= Coeficiente de determinación.
Ecosecos	= Número de meses del año en precipitaciones menores a los 30 milímetros.	Pr (F > $\hat{F}$ )	= Probabilidad de que F calculada sea mayor que la F tabular.
Luz	= Promedio anual de horas diarias de luz solar.		
Pluvioso	= Número de meses del año con precipitaciones mayores a los 100 milímetros.		
Limo	= Contenido de limos del suelo (primeros 40 cm de profundidad) en porcentaje por volumen.		



## CONCLUSIONES

Con base en el análisis estadístico realizado se pudieron establecer las relaciones más importantes entre los factores ambientales y el crecimiento de los árboles. La consistencia de estos resultados permitió presentar las siguientes conclusiones:

1. La influencia de la variación en los factores climáticos fue menor cuando la especie se analizó por separado para cada una de las zonas climáticas del país. Esto dio lugar a que las propiedades de los suelos mostraran una relación más fuerte con el crecimiento de los árboles.
2. Los factores del ambiente que demostraron tener efecto en el crecimiento de una especie en una zona climática determinada, no fueron necesariamente los mismos que aquellos que se relacionaron con el crecimiento de la especie para todo el país.
3. Para cada una de las especies en forma individual y para diferentes zonas del país, se encontró que uno o más factores ambientales se relacionaban en forma repetitiva con el crecimiento de los árboles, en una y otra zona analizada. Sin embargo, también se dio el caso de que los factores relacionados con el crecimiento de una especie en una zona no eran necesariamente los mismos que explicaban el crecimiento de esa misma especie en otra zona climática.
4. Por lo general, el tipo de análisis empleado en este estudio surtió mejores resultados (relaciones más significativas) cuando el análisis fue hecho para las diferentes zonas en que se dividió el país.

La información obtenida en este estudio provee una mejor base para conocer el efecto que los factores ambientales tienen en el crecimiento de las especies analizadas. Sin embargo, las recomendaciones de manejo y zonificación ecológica de estas especies deben esperar a la realización de un análisis más profundo, específicamente, el número de plantaciones a incluir en el análisis debe ser aumentado.

## LITERATURA CONSULTADA

1. Biscoe, P.V. and J.N. Gallagher. 1977. *Weather, dry matter production and yield*. P. 75–100 in J.J. Landsberg and C.V. Cutting (eds.). **Environmental Effects on Crop Physiology**. New York: Academic Press.
2. Brix, H. 1971. *Growth response of western hemlock and Douglas-fir seedlings to temperature regimes during day and night*. **Can. J. Bot.** 49: 289–294.
3. Camacho, P. 1981. **Ensayos de adaptabilidad y rendimiento de especies forestales en Costa Rica**. Instituto Tecnológico de Costa Rica y Ministerio de Agricultura y Ganadería. Cartago, 287 pp.
4. Camacho, P. 1983. **The effect of major environmental factors on growth rates of five important tree species in Costa Rica**. M.Sc. Thesis in Oregon State University, Corvallis, Oregon. 127 pp.
5. Fritts, H.C. 1974. *Relationships of ring width in arid-site conifers to variations in monthly temperature and precipitation*. **Ecol. Monographs**. 44: 440–441.
6. Gholz, H.L. 1979. **Limits on above ground net primary production, leaf area, and biomass in vegetational zones of the Pacific Northwest**. Ph.D. Thesis. Oregon State University. 61 pp.
7. Graham, J.N., Edward W. Murray and Don Minore. 1982. **Environment, vegetation, and regeneration after timber in the Hungry-Pickett Area of Southwest Oregon**. Research note PNW-400.
8. Larson, N.M. 1967. *Effect of temperature on initial development of ponderosa pine seedlings from three sources*. **Forest Science**. 13: 286–294.
9. Lavender, D.P. and W. Scott Overton. 1972. **Thermoperiods and soil temperatures as they affect growth and dormancy of Douglas-fir seedlings of different geographic origin**. Forest Research Lab. Research paper No. 13. 26 pp.
10. Ledig, F.T., Joseph G. Clark, and Allan P. Drew. 1977. *The effects of temperature treatment on photosynthesis of pitch pine from northern and southern latitudes*. **Bot. Gaz.** 138: 7–12.

11. Minore, Don; Albert Abee, Stuart D. Smith, and E. Carlos White. 1982. **Environment, vegetation, and regeneration after timber harvest in the Applegate Area of Southwestern Oregon.** Research note PNW-399.
12. Pollard, D.F.W. and P.F. Wareing. 1968. *Rates of dry-matter production in forest tree seedlings.* **Annals of Botany** 32: 573-591.
13. Scott, D. 1969. *Determining the type of relationship between plants and environmental factors.* **Proceedings of the New Zealand Ecological Society.** 16: 29-31.
14. Slatyer, R.O. 1982. *Photosynthetic adaptation in altitudinal populations of the Australian snow-gum, *Eucalyptus pauciflora*.* **Proceedings of an IUFRO workshop on Ecology of Subalpine Zones.** p. 31-37.
15. Sweet, G.B. and P.F. Wareing. 1968 a. *A comparison of the rates of growth and photosynthesis in first-year seedlings of four provenances of *Pinus contorta* Dougl.* **Annals of Botany.** 32: 735-751.
16. \_\_\_\_\_. 1968 b. *A comparison of the seasonal rates of dry matter production of three coniferous species with contrasting patterns of growth.* **Annals of Botany.** 32: 721-734.
17. White, E.J. 1982. *Relationship between height growth of Scots pine (*Pinus silvestris* L.) and site factors in Great Britain.* **Forest Ecology and Management.** 4: 225-245.