

# CÁLCULO DE LA PRODUCTIVIDAD POTENCIAL FORESTAL A ESCALA REGIONAL BASADA EN UN MODELO BIOFÍSICO EN LA ZONA MONTAÑOSA DEL NORTE DE ESPAÑA, ASTURIAS

Raquel Benavides Calvo<sup>1</sup>, Fernando Montes Pita<sup>2</sup>, Agustín Rubio Sánchez<sup>2</sup>, Koldo Osoro Otaduy<sup>1</sup> y Sonia Roig Gómez<sup>3</sup>

<sup>1</sup> SERIDA. Área de Sistemas de Producción Animal. 33300-VILLAVICIOSA (Asturias-España). Correo electrónico: rbenavides@serida.org.

<sup>2</sup> Departamento de Silvopascicultura. Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria. 28040-MADRID (España)

<sup>3</sup> Departamento de Sistemas y Recursos Forestales. CIFOR, INIA. Carretera de A Coruña km 7,5. 28040-MADRID (España)

## Resumen

Se calcula un modelo tradicional de la productividad potencial forestal basado en un índice bioclimático: el Índice de Paterson corregido según la litología. Se aplica el modelo en una zona montañosa de España, en Asturias, con la ayuda de Sistemas de Información Geográficos y las técnicas geoestadística. Para la modelización de las variables climáticas (temperatura media mensual del mes más cálido ( $V$ ), oscilación térmica ( $A$ ), duración en meses del período vegetativo ( $G$ )), se han comparado cuatro métodos geoestadísticos: *Ordinary Kriging* (OK), *Ordinary Kriging with External Drift* (OKED), y 2 variantes de *Universal Kriging* (UK). Como información auxiliar se utilizó un modelo digital de elevaciones con una resolución de 50 m. El factor de insolación  $f$ , que depende del número de horas de insolación anuales, se halló con una variante de un modelo para la radiación solar mediante una rutina aml para ArcInfo GIS. Finalmente, para la corrección litológica, se utilizó como base el mapa de litología de Asturias a escala 1:25.000, reclasificado en 8 clases en función de las distintas características productivas de los suelos a los que dan lugar; y se establecieron unos coeficientes de corrección ( $C$ ) para aplicar a la productividad climática en función de la litología. La integración de todos los factores permitió obtener el mapa de productividad potencial climática.

Palabras clave: *Índice de Paterson, Planificación, Técnicas geoestadísticas*

## INTRODUCCIÓN

El cambio climático, la captura del carbono, la búsqueda de sistemas sostenibles y la defensa de la biodiversidad son líneas que están condicionando la investigación del mundo forestal. De manera que cada vez se demandan estimaciones

más precisas de biomasa, de productividad forestal y de tasas de crecimiento de los bosques (TICKLE et al., 2001) y, que a ser posible, tengan una fácil aplicabilidad para los gestores. En la actualidad, se están realizando grandes avances en la estimación de la productividad forestal con proyectos como ECOLEAP (BERNIER et al.,

1999) o el desarrollo de modelos como el 3-PG (LANDSBERG & WARING, 1997) que tratan de poder representar a una escala de paisaje datos que se han tomado a escala de parcela.

La estimación de la productividad potencial forestal también requiere una especial atención, con el objetivo de obtener aplicaciones sencillas, pero con significado suficiente para poder justificar una ordenación del territorio o diferentes actuaciones selvícolas por parte de los gestores. Hasta ahora, la utilización del índice de sitio para la evaluación de la productividad potencial, relacionándola con la altura dominante de una masa, ha estado bastante extendida (HÄGGLUND, 1981). Sin embargo, esta relación no siempre puede ser estimada correctamente ya que es un índice ligado a una especie específica, y no puede evaluarse en áreas desarboladas o donde no está presente una especie determinada (UNG *et al.*, 2001; WANG *et al.*, 2005). Tampoco parece muy apropiada para masas jóvenes, ya que un pequeño error de predicción puede llevar a grandes errores, al ser curvas que pasan por el origen o que tienden a cero en edades tempranas (GOELZ & BURK, 1992).

El índice de Paterson (PATERSON, 1956) es un índice bioclimático que encuentra una estrecha relación entre la productividad potencial forestal de una estación y sus factores ecológicos, en concreto con el clima. Su aplicación inicial era para escalas globales, pero con las nuevas tecnologías y la existencia de más datos y cada vez más precisos, se puede aplicar a una escala regional. A pesar de esta aplicación de escala limitada es muy útil para comparar capacidades de zonas de una misma región independientemente de la existencia o no de una masa arbolada o de la especie que exista en ese momento.

En este trabajo se calcula la productividad potencial mediante un modelo basado en un índice bioclimático, el Índice de Paterson, corregido según la litología, y que fue desarrollado por SERRADA (1976) en su tesis doctoral y posteriormente revisado por SÁNCHEZ Y SÁNCHEZ (2000). Se aplica el modelo en una zona montañosa de España, en Asturias, con la ayuda de los avances en los Sistemas de Información Geográfica y otras herramientas estadísticas como son las técnicas geoestadísticas.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### La zona de estudio

El área de estudio se centra en la Comunidad Autónoma de Asturias, y abarca una superficie de 10.604 km<sup>2</sup>. Esta región se caracteriza por un relieve abrupto, con altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 2640 m, con pendientes que superan el 50% en el 35% del territorio autonómico.

### Productividad Climática

#### Índice de Paterson (IP)

El Índice de Paterson que se utiliza en este trabajo es la variante propuesta por SERRADA (1976) [1], donde  $V$  es la temperatura media mensual del mes más cálido,  $A$  es la diferencia de las medias de la temperatura máxima del mes más cálido y la temperatura mínima del mes más frío,  $P$  es la precipitación anual,  $G$  es la duración del período vegetativo, y  $f$  es el factor de insolación propuesto por GANDULLO (1994) [2], siendo  $n$  el número de horas de sol al año

$$IP = \frac{V.P.G.f}{A.12} \quad [1] \quad f = \frac{2500}{n+1000} \quad [2]$$

#### Datos de entrada

El factor de insolación  $f$  disminuye según aumenta el número de horas de sol anuales, debido a que se considera que el crecimiento de las masas forestales se ve favorecido por una insolación baja que reduce la evapotranspiración y aumenta el crecimiento en altura (SERRADA, 1976). El número de horas se halló como una variante del modelo desarrollado por KUMAR *et al.* (1997) para modelizar la radiación solar mediante una rutina *aml* para ArcInfo GIS, en la que se contabilizaron las horas de insolación cuando esta superaba los 120 W/m<sup>2</sup> (umbral mínimo de detección de un heliógrafo). Para los cálculos se utilizó un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) de precisión 50 m.

$V$  es un indicador del nivel térmico de la estación, en relación con el crecimiento de los vegetales.  $A$  es el efecto inhibitorio de las bajas temperaturas sobre el crecimiento vegetal. Por otra parte, cuanto mayor sea la duración del período vegetativo ( $G$ ) mayor será el crecimiento vegetal. Para hallar estos tres parámetros fue necesario modelizar las variables precipitacio-

nes y temperaturas medias mensuales, y las temperaturas medias máxima y mínima de los meses más cálido y más frío, respectivamente. Se llevó a cabo una comparación de técnicas geoestadísticas buscando la que produjera menor error de estimación, prestando especial atención a zonas de mayor altitud, dado que más del 20% de la superficie asturiana se halla por encima de los 1.000 m. Las técnicas empleadas están descritas en BENAVIDES *et al.* (2007) y son: *Ordinary Kriging* (OK), *Ordinary Kriging with External Drift* (OKED) y dos variantes de *Universal Kriging* (UK). A excepción de la primera, estos métodos utilizan una variable auxiliar para la estimación, en este caso la altitud obtenida del MDE de resolución 50 m.

Los datos de partida fueron las temperaturas y precipitaciones medias mensuales, del periodo 1970-2000, obtenidas de las estaciones del Instituto Nacional de Meteorología. Debido a las altas pendientes registradas en Asturias, el tamaño de píxel utilizado en la modelización fue de 0,25 km<sup>2</sup>, inferior al utilizado en trabajos similares, superiores a 1 km<sup>2</sup>, como el de HUDSON & WACKERNAGEL (1994).

Una vez desarrollados los modelos climáticos se hallaron los parámetros climáticos necesarios: *V* como la temperatura media del mes más cálido, que con un estudio previo se comprobó que era agosto (al igual que ocurrió con enero como mes más frío); *G* se estimó como la suma de los meses en los que la precipitación media (mm) era mayor al doble temperatura media (°C), siendo mayor de 6°C (criterio de Gausson); *P* como la suma de las precipitaciones mensuales; y finalmente *A*, la oscilación térmica, se halló como diferencia entre la máxima del mes más cálido (agosto) y la mínima del mes más frío (enero).

### Corrección litológica

El IP relaciona el clima con la productividad potencial forestal, sin embargo los suelos son el otro factor determinante en el crecimiento vegetal. Dada la inexistencia de un mapa de suelos,

se estableció una corrección de la productividad en función de la litología existente. Se reclasificó el mapa de litología de Asturias a escala 1:25.000 en 8 clases, en función de las distintas características productivas de los suelos a los que dan lugar, y a cada clase se le asignó un coeficiente de corrección (*C*) de la productividad climática (Tabla 1). El mapa se transforma a formato ráster de 10 m de lado de píxel. Estos coeficientes surgieron de la comparación de las tablas de producción de las especies autóctonas de máximo crecimiento y las producciones existentes entre distintas calidades de estación (SERRADA, 1976; SÁNCHEZ Y SÁNCHEZ, 2000), de manera que la diferencia de productividad entre ambas se supone que vienen determinadas por las distintas características de los suelos.

### Productividad Potencial Forestal

La relación entre el IP y la productividad potencial (*P*, en m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>) se establece mediante la ecuación [3] que desarrolló Paterson y que fue ratificada para el caso de la Península Ibérica por SERRADA (1976) con datos de 55 parcelas distribuidas con masas autóctonas de máximo rendimiento (del género *Pinus*) próximas a la edad del turno, y condiciones aproximadas al concepto de productividad potencial.

$$P = C \cdot 5,3 \log \left( \frac{VJPG}{A12} \right) - 7,4 \quad [3]$$

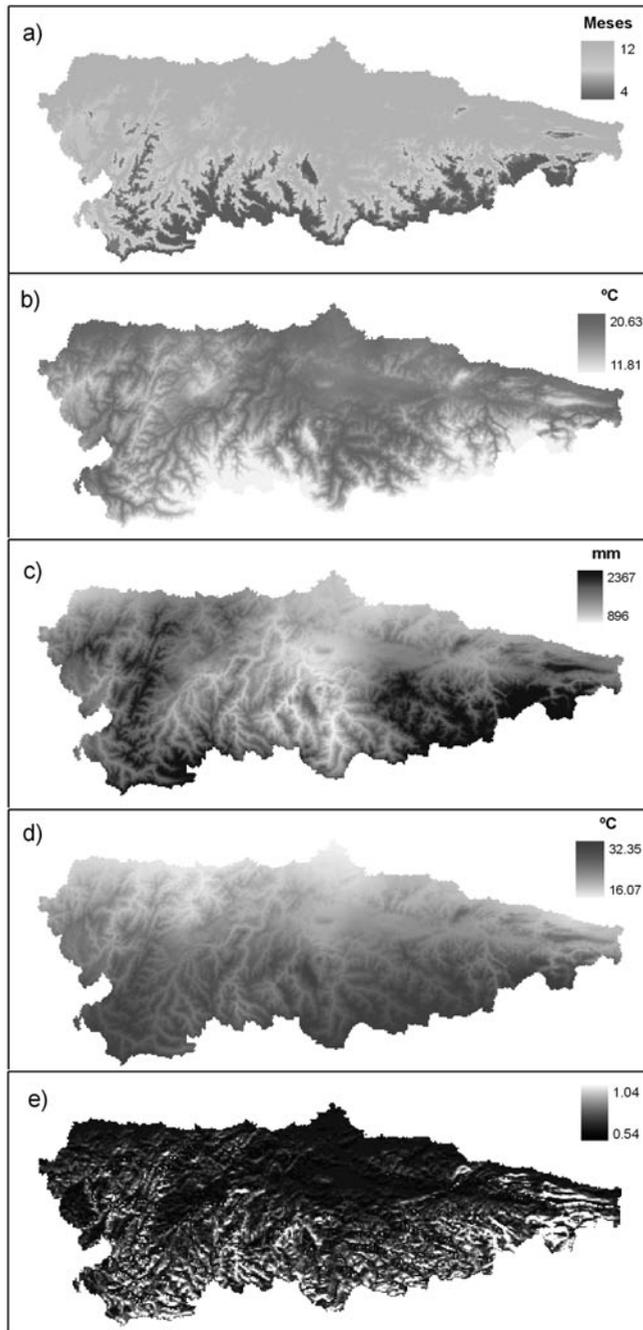
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Modelización de las variables ecológicas para la evaluación del IP

Las variables precipitaciones y temperaturas medias mensuales, temperaturas medias máximas y mínimas fueron estimadas mediante las 4 técnicas geoestadísticas. De acuerdo con los resultados obtenidos por BENAVIDES *et al.* (2007) y al conocido papel que la altitud juega en los cambios espaciales climáticos en zonas montañosas (STOUTJESDIJK & BARKMAN, 1992), las

Clase	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Coefficiente	1,66	1,44	1,22	1,00	0,77	0,55	0,33	0,00

Tabla 1. Coeficientes de corrección litológica (*C*)



**Figura 1.** Datos de entrada para la estimación de la productividad potencial climática: a) Número de meses activos para la vegetación (G); b) Temperatura media de agosto (V); c) Precipitación anual (P); d) Oscilación térmica entre los meses más calido y más frío, (A); e) Coeficiente de insulación (f)

estimaciones fueron más precisas cuando se introdujo la altitud como variable auxiliar, y por tanto son OKED, UK1 y UK2 las seleccionadas para la modelización. Los errores cometidos con las temperaturas fueron inferiores a 1°C, y en torno al 10% en el caso de las precipitaciones.

La figura 1 muestra los parámetros climáticos y el factor de insolación  $f$  modelizados para la estimación del índice de Paterson. En la figura 2.a aparece el mapa de productividad potencial climática, resultado de integrar según la Eq. (1) los modelos de estas variables. Los valores van desde los 126 hasta los 1123, superando el valor de 25, que indica la imposibilidad de regeneración natural de un bosque (GANDULLO, 1994). Como cabía esperar las zonas más productivas se corresponde con zonas bajas próximas al mar (con temperaturas más suaves, menor oscilación térmica, mayor periodo vegetativo), aunque destaca con los valores mayores la zona occidental, debido a la principal entrada de los frentes por esta región (GARCÍA Y REJIA, 1994), y el extremo oriental por presentar un índice de insolación más favorable (las laderas norte son las que presentan menos horas de luz, y en esta

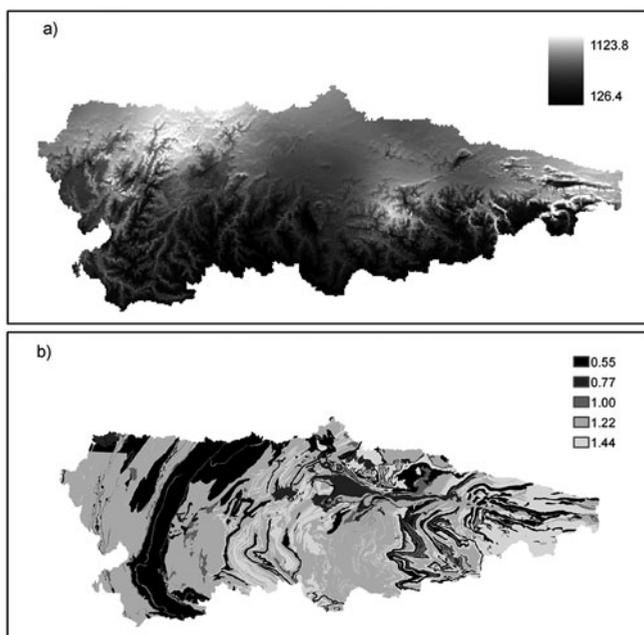
zona las pendientes son más pronunciadas al encontrarse la cordillera más próxima a la costa).

### Corrección litológica

La figura 2.b. representa el mapa de corrección litológica. En ella destaca una gran franja con valores pequeños en la mitad occidental que recorre la región de norte a sur, y que se corresponde con zonas de cuarcitas que dan lugar a suelos ácidos con numerosos afloramientos rocosos.

### Mapa de productividad potencial forestal

Uniendo la productividad climática y las correcciones por la litología, se obtiene el mapa de productividad potencial forestal de Asturias (Figura 3). La resolución es de 10 m x 10 m. Se aprecia la influencia de la corrección litológica sobre la productividad climática: ésta aparece como una variable continua en el espacio, como lo son las variables climáticas y las fisiográficas (puntos próximos tienen valores próximos), mientras que la litología presenta cambios más bruscos a la escala estudiada. La productividad encontrada va desde los 2,32 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>, hasta los 12,63 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>. La estimación de las



**Figura 2.** a) Productividad potencial climática; b) Coeficiente de corrección litológica

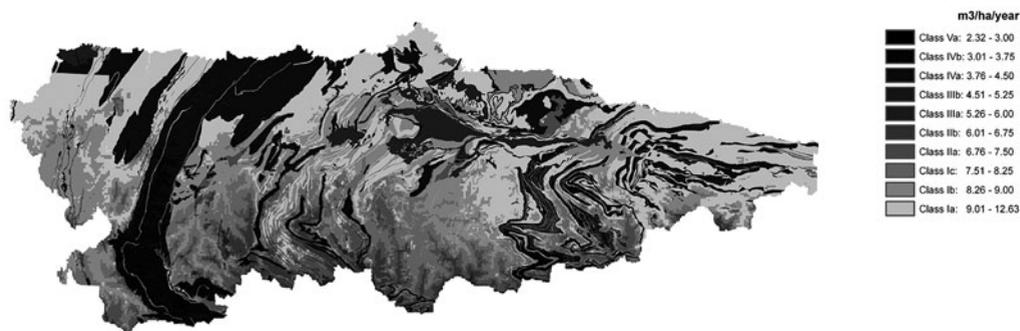


Figura 3. Productividad potencial forestal

superficies pertenecientes a las distintas clases productivas aparece en la tabla 2.

**CONCLUSIONES**

Se plantea un método para la estimación de la productividad potencial forestal, basado en un método tradicional, pero con la utilización de modernas técnicas basadas en los Sistemas de Información Geográfica y las técnicas geoestadísticas. De esta manera la estimación de la productividad potencial mejora al modelizar con mayor precisión las variables climáticas y al utilizar datos litológicos con mayor detalle que los estudios previos. Cabe mencionar la

gran influencia que parece ejercer la litología sobre la producción, probablemente debido a la variación moderada en cuanto al clima se refiere por las dimensiones moderadas de la región en estudio.

Es un método que no está especialmente destinado al cálculo exacto de las productividades forestales, dado que no utiliza datos concretos de las masas existentes en la región. Sin embargo, tiene una gran utilidad en la comparación de zonas localizadas en áreas próximas que se encuentran bajo condiciones ambientales similares, independientemente de si están arboladas o no y de las especies que habiten en ellas, proporcionando una información muy importante a los gestores para la toma de decisiones.

Clase	Productividad (m³/ha/año)	Área (ha)	Porcentaje del total (%)
Ia	>9,00	289841	27,34
Ib	8,25-9,00	213920	20,18
Ic	7,50-8,25	122201	11,53
IIa	6,75-7,50	73382	6,92
IIb	6,00-6,75	37453	3,53
IIIa	5,25-6,00	52092	4,91
IIIb	4,50-5,25	6424	0,61
IVa	3,75-4,50	191933	18,11
IVb	3,00-3,75	65084	6,14
Va	2,25-3,00	7619	0,72
Vb	1,50-2,25	0	0,00
VIa	1,00-1,50	0	0,00
VIb	0,50-1,00	0	0,00
VII	<0,50	0	0,00
Total		1059950	100,00

Tabla 2. Distribución de la superficie según la clase productiva

## Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a Miguel Ángel Álvarez, Director del INDUROT (Asturias), la cesión de los datos meteorológicos para la realización de este trabajo, y al Dr. Otilio Sánchez Palomares, del INIA, por colaborar con la revisión de la clasificación de los suelos asturianos a escala 1:25.000. Este estudio está financiado por la beca concedida a R. Benavides del Ministerio de Educación y Ciencia, dentro del proyecto AGL2003-05342.

## BIBLIOGRAFÍA

- BENAVIDES, R.; MONTES, F.; RUBIO, A. & OSORO, K.; 2007. Geostatistical modelling of air temperature in a mountainous region of Northern Spain. *Agric. For. Meteorol.* 146 : 173-188.
- BERNIER, P.Y.; FOURNIER, R.A.; UNG, C.H.; ROBITAILLE, G.; LAROCQUE, G.; LAVIGNE, M.B.; BOUTIN, R.; RAULIER, F.; PARÉ, D.; BEAUBIEN, J. & DELISLE, C.; 1999. Linking ecophysiology and forest productivity: an overview of ECO-LEAP project. *For. Chron.* 75(3): 417-421.
- GANDULLO, J.M.; 1994. *Climatología y Ciencia del Suelo*. Universidad Politécnica de Madrid. ETSI de Montes. Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid.
- GARCÍA, L. Y REIJA, A.; 1994. *Tiempo y clima en España. Meteorología de las Comunidades Autónomas*. Madrid.
- GOELZ, J.C.G. & BURK, T.E.; 1992. Development of a well-behaved site index equation: Jack pine in north central Ontario. *Can. J. For. Res.* 22: 776-784.
- HÄGGLUND, B.; 1981. Evaluation of forest site productivity. *Forestry Abstract* 42(11): 515-527.
- HUDSON, G. & WACKERNAGEL, H.; 1994. Mapping temperature using kriging with external drift: theory and an example from Scotland. *Int. J. Climatol.* 14: 77-91.
- KUMAR, L.; SKIDMORE, A. K. & KNOWLES, E.; 1997. Modelling topographic variation in solar radiation in a GIS environment. *IJGIS* 11(5): 475-497.
- LANDSBERG, J.J. & WARING, R.H.; 1997. A generalised model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. *Forest Ecol. Manage.* 95: 209-228.
- PATERSON, S.S.; 1956. *The forest area of the world and its potential productivity*. Royal University of Göteborg. Göteborg.
- SÁNCHEZ PALOMARES, O. Y SÁNCHEZ SERRANO, F.; 2000. *Mapa de productividad potencial forestal de España. Cartografía digital*. Ministerio de Medio Ambiente. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Madrid.
- SERRADA, R.; 1976. *Método para la evaluación con base ecológica de la productividad potencial de las masas forestales en grandes regiones y su aplicación en la España Peninsular*. Universidad Politécnica de Madrid. ETSI de Montes. Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid.
- STOUTJESDIJK, P. & BARKMAN, J.J.; 1992. *Microclimate, Vegetation and Fauna*. Sweden.
- TICKLE, P.K.; COOPS, N.; C. HAFNER, S.D. & TEAM, T.B.S.; 2001. Assessing forest productivity at local scales across a native eucalypt forest using a process model, 3PG-SPATIAL. *Forest Ecol. Manage.* 152: 272-291.
- UNG, C.H.; BERNIER, P.Y.; RAULIER, F.; FOURNIER, R.A.; LAMBERT, M.C. & REGNIERE, J.; 2001. Biophysical site indices for shade tolerant and intolerant boreal species. *For. Sci.* 47(1): 83-95.
- WANG, Y.; RAULIER, F. & UNG, C.H.; 2005. Evaluation of spatial predictions of site index obtained by parametric and nonparametric methods-A case study of lodgepole pine productivity. *Forest Ecol. Manage.* 214: 201-211.