

EPIDOMETRÍA, BASADA EN ANÁLISIS DE IMAGEN Y APOYADA EN UN SIG

S. Cuadros Tavira, A. Ramírez García y B. Abellanas Oar

Departamento de Ingeniería Forestal. ETSIAM. Universidad de Córdoba. Av. Menéndez Pidal s/n. 14004-CÓRDOBA (España). Correo electrónico: scuadros@uco.es

Resumen

Se describe un procedimiento para estudiar variables epidométricas de grosor en secciones de árboles en los que los incrementos anuales son muy reducidos, haciendo uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG) para obtener datos precisos sobre el modelo de crecimiento en grosor. La aplicación del método a un caso concreto se ha realizado en pinsapos considerados como regeneración consolidada a la espera en los que se ha podido analizar con precisión la edad y la evolución del crecimiento en grosor.

Palabras clave: *Abies pinsapo*, Anillos crecimiento, Regeneración, Edad

INTRODUCCIÓN

Existen varios programas informáticos (Windendro®, Lignovision®), destinados específicamente al estudio de anillos de crecimiento que están basados en el reconocimiento automático o semiautomático de imágenes digitales procedentes de secciones transversales y probetas de barrena. Tales programas son una excelente solución cuando se trata de procesar un importante número de muestras, dada la rapidez con la que se obtienen los resultados, siempre que éstas muestras presenten unas características o condiciones que no dificulten el proceso de identificación de componentes de la imagen en el que se basa la separación de anillos. En los casos en que esto sucede, se multiplican los errores y dudas en la resolución, lo que conduce a una operación con mayor intervención manual.

Cuando se añan la complejidad de las muestras y un reducido número de las mismas, es posible que, de no disponer previamente de

alguno de estos programas, sea difícil decidir su adquisición para este fin concreto, puesto que son relativamente caros debido a la reducida demanda frente a los costes de desarrollo de estos programas. En estas circunstancias es cuando el método que se describe en este trabajo puede ser de utilidad ya que permite obtener la información epidométrica con gran exactitud, a partir de un análisis de imagen dirigido por el observador, con posibilidad de resolver situaciones puntuales de duda y utilizando programas de uso libre fácilmente accesibles.

ANTECEDENTES

El estudio de la dinámica de los procesos de regeneración de las distintas estructuras de pinsapar en la zona de reserva del Parque Natural de Grazalema, como parte de los conocimientos necesarios para informar la toma de decisiones sobre la gestión selvícola del pinsapar, está en el origen del procedimiento que se describe.

Los trabajos previos descriptivos sobre la situación del pinsapar (MADRIGAL, 1996) y de las actuaciones llevadas a cabo en él (NEVA, 1994; NAVARRO, 1994), así como las recomendaciones sobre manejo y regeneración (GARCÍA VIÑAS Y ORIA, 1994), situaban sus fundamentos en el terreno del empirismo combinado con la racionalidad y los reducidos conocimientos disponibles sobre la especie y el comportamiento de sus comunidades. Se carecía de una base de conocimiento científico basado en investigación en la que sustentar las posibles recomendaciones de gestión, por lo que se acometieron diversos trabajos orientados a conocer aquellos aspectos que pudieran ser de utilidad para la gestión conservadora del pinsapar.

Los aspectos biológicos de la reproducción del pinsapo fueron revisados en diversos trabajos recopilados en ARISTA *et al.*, (1997); la estructura y dinámica de la regeneración en el pinsapar en DE MIGUEL (1998), PADRON (1999) y ABELLANAS *et al.* (2001). Este último trabajo puso de manifiesto la existencia de cuatro tipos estructurales en el pinsapar, de los cuales dos son monoespecíficos, pinsapar estructurado y pinsapar latizal fustal y otros dos son mixtos, encinar con pinsapo y quejigal con pinsapo.

El estudio de la dinámica del regenerado en los tipos monoespecíficos, reveló en ambos una misma tendencia decreciente en el número de individuos por unidad de superficie desde la clase de plántula (diseminado menor de un año de edad) hasta la de regenerado consolidado de 50-100 cm de altura, desapareciendo prácticamente la clase de 100-150 cm y experimentando un resurgir en la clase de pies menores (altura mayor de 1,5 m y diámetro normal menor de 5 cm) (CUADROS *et al.*, 2003).

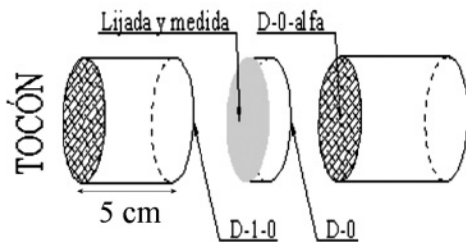


Figura 1. Esquema de obtención del disco de estudio a partir de la troza basal

Esta situación anómala condujo al estudio de la relación entre altura y edad en este segmento del regenerado, ante la sospecha de que se tratase de un grupo heterogéneo en el que se concentrase la regeneración a la espera de condiciones favorables para acceder a los estratos superiores del arbolado. Para ello, se seleccionaron 32 individuos pertenecientes al grupo de pies menores, alejados a los cuatro cuadrantes en los que se dividen cada una de las ocho parcelas situadas en el dispositivo experimental establecido previamente en los dos tipos estructurales monoespecíficos (DE MIGUEL, 1998). Estos arbolitos identificados individualmente fueron extraídos realizando un corte en la base del tronco, troceados cada 20 cm y trasladados para su estudio en laboratorio.

MATERIAL Y MÉTODOS

A partir de la troza basal de cada uno de los árboles extraídos se obtuvo el disco a cinco cm del corte basal, cuya cara proximal se utilizaría para el estudio según el esquema de la figura 1. Dado el pequeño grosor de las secciones se utilizó una sierra de calar para obtener estos discos cuyas secciones debían ser transversales al eje de la troza, sujeta a un banco de trabajo. El grosor del disco obtenido es ligeramente inferior a 10 mm para asegurar la resistencia a la fractura del mismo y permitir posteriores operaciones de desbaste.

La cara de la que se obtendría la imagen se pulió con una lijadora orbital usando primero un grano medio (100) y a continuación un grano fino (>150) o muy fino, hasta que la superficie quedaba alisada y los anillos bien definidos. En la otra cara (D-0), simplemente se procedía a desbastar, sirviendo de soporte para la identificación del disco con la información correspondiente al árbol concreto.

Para la obtención de una imagen digital en color de 24 bits se utilizó un escáner plano de 600 ppp de resolución óptica. En la imagen se incluía una referencia milimétrica. Si era necesario se procedía al tratamiento de la imagen obtenida aplicando un filtro automático de mejora de contraste para realzar la separación de la madera de otoño. El formato de imagen empleado fue TIFF (Tagged Image File Format) sin compresión.

Con la imagen definitiva se procedía a una referenciación métrica de forma que al abrirla en el Sistema de Información Geográfica las unidades correspondieran exactamente con las reales de la sección, para ello se utilizaba como referencia la escala milimétrica incluida en la imagen. De esta forma tanto las distancias longitudinales como las superficies tendrían medidas reales. En nuestro caso concreto se usó una opción del programa R2V, generando un archivo asociado TFW (Tiff File World) reconocido por los programas que usan georeferenciación.

Análisis de la imagen y reconocimiento de anillos

Para la delineación de los anillos se utilizó el Sistema de Información Geográfica Arcview®, por su difusión y disponibilidad, aunque podría utilizarse cualquier otro con las mínimas prestaciones de edición requeridas para dibujar polígonos sobre la imagen de fondo. Cada imagen se trató de forma independiente, delimitando un polígono irregular que abarca el perímetro exterior característico de la madera de otoño para cada anillo de crecimiento, procediendo desde el centro hacia la periferia. El reconocimiento termina al alcanzar la corteza. El procedimiento, aunque bastante laborioso, es muy fiable debido a que, en todo momento, puede variarse la escala de trabajo para examinar con mayor detalle cualquier dificultad surgida por proximidad de los anillos o la aparición de algún defecto (Figura 2).

Al tratarse de secciones casi basales, muchas de ellas presentan fuertes excentricidades debido al crecimiento bajo influjo de la pendiente que genera madera de reacción. Esta circunstancia es eventualmente importante para el proceso de reconocimiento de los anillos puesto que, en estas zonas de la rodaja, los anillos se discriminan bien, sirviendo de referencia para completar el polígono en aquellas partes en las que se difuminan y se aprecian con mayor dificultad. En algún caso en el que se ha perdido una pequeña parte del disco durante la preparación, se puede reconstruir con bastante aproximación la sección original siguiendo la pauta marcada por los anillos adyacentes.

Obtención de series epidométricas

Completado el reconocimiento de los anillos, se pueden conseguir los valores correspondientes a la superficie y al perímetro de los polígonos irregulares reconocidos a partir de la información generada en la tabla de datos asociada. Estos datos exportados a una hoja de cálculo en un formato compatible, permiten obtener las series ordenadas cronológicamente de los valores epidométricos de interés, ya sean directos o derivados.

Año cronológico de cada anillo obtenido a partir del correspondiente al último (año de corte), permite situar las demás variables en el tiempo y determinar la edad del árbol a la altura de la sección de estudio.

Área basal sin corteza (mm²) de cada anillo, corresponde a la superficie del polígono que define el anillo.

Perímetro (mm) de cada anillo.

Incremento anual de Área basal sin corteza (mm²), calculado restando al valor de cada año, el correspondiente al año inmediatamente anterior.

Diámetro Equivalente sin corteza (mm) obtenido dividiendo el Área basal sin corteza de cada anillo por el perímetro del mismo y multiplicando por 4. De esta forma se hacen intervenir los dos valores obtenidos directamente del polígono, para el cálculo de esta magnitud representativa, en lugar de obtenerlo a partir de uno sólo de ellos.

Incremento Corriente de Diámetro Equivalente sin corteza [InCoDeq] (mm), se obtiene restando al valor de cada año, el correspondiente al año inmediatamente anterior.

De esta misma tabla y a partir de los valores acumulados se pueden derivar otras variables de árbol de interés como la edad del árbol a la altura de la sección, el Área basal de la sección o el Crecimiento Medio Anual (CMA).

RESULTADOS

Como expresión de la aplicación de esta metodología se presentan los resultados obtenidos en tres aspectos concretos del análisis posterior llevado a cabo sobre los datos obtenidos de algunas secciones.

Edades y otras características de los árboles estudiados

El rango de edades encontrado entre oscila entre 29 años (árbol P, cuadrante 4, parcela A4, diámetro normal 1 cm, altura 1,80 m) y 74 años (árbol A cuadrante 1, parcela A1, diámetro normal 2 cm, altura 1,80 m). Los valores medios del conjunto de los 32 árboles estudiados son:

Edad: $51,3 \pm 8,8$ años
 Diámetro normal con corteza: $2,58 \pm 0,28$ cm
 Diámetro basal Equivalente sin corteza:
 $4,31 \pm 0,32$ cm
 Altura: $2,42 \pm 0,27$ m
 Crecimiento Medio Diámetro basal Equivalente:
 $0,87 \pm 0,08$ mm/año

Las cifras dan idea de la clase sociológica a la que pertenecen los árboles estudiados, que con edades situadas alrededor del medio siglo no llegan a 3 cm de diámetro normal y muestran crecimientos inferiores al milímetro por año. Esto permite demostrar que el regenerado de pinsapo consolidado puede sobrevivir en una situación de espera de muy larga duración, hasta que un cambio en las condiciones del entorno le permita acceder a los recursos vedados hasta ese momento (CUADROS et al., 2003).

Evolución del Diámetro Equivalente sin corteza

El empleo de un valor equivalente en lugar de uno obtenida de forma directa, puede reflejar mejor la evolución de una variable. Esto es de aplicación al caso del diámetro, magnitud que

puede exhibir una gran variabilidad dentro de una misma sección transversal. Dependiendo de la forma que presente la sección, el diámetro medido en una dirección puede diferir mucho del medido en otra diferente. Cuando no hay una dirección establecida, el diámetro equivalente obtenido de la manera indicada anteriormente, es mejor indicador de esta variable al proporcionar un valor integrador de toda la sección.

La figura 3 muestra una serie temporal correspondiente a los incrementos corrientes del diámetro equivalente sin corteza para una de las secciones basales estudiada (árbol A). Para evitar las oscilaciones excesivas producidas por las variaciones anuales, se ha aplicado una media móvil de amplitud 5, que produce un suavizado de la gráfica haciendo más fácil su interpretación. En ella aparecen períodos de mayor crecimiento (picos) seguidos de otros en los que éste se ralentiza (valles), aunque dentro de un contexto general de crecimiento muy reducido, siempre menor de 1 mm por año, lo que puede atribuirse a variaciones en las condiciones climáticas fundamentalmente.

Las series de datos obtenidas han permitido comparar los crecimientos anuales entre los diferentes árboles y detectar, si las hubiera, concordancias en los crecimientos, períodos de estancamiento, máximos en el crecimiento, etc., como paso previo a los análisis numéricos.

Una de los aspectos que interesaba estudiar era si existía alguna variación en el crecimiento de los pinsapos según los diferentes estratos y parcelas, es decir si los patrones de crecimiento estén relacionados con las parcelas experimentales o los estratos a los que pertenecen los diferentes árboles. Para ello en primer lugar se pueden comparar gráficamente las distintas series temporales de datos de InCoDeq, una vez suavizadas (Figura 4).

Ajuste a funciones de crecimiento biológico

Las magnitudes sometidas a crecimiento biológico presentan una gráfica de crecimiento acumulado que se ajusta con bastante aproximación a funciones de tipo sigmoide. Con el fin de estudiar hasta qué grado los datos de crecimiento de los pinsapos dominados responden a modelos establecidos de crecimiento, se probaron tres distintas funciones: Richards, Logística

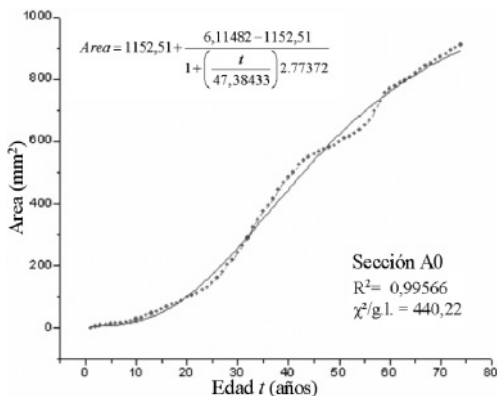


Figura 5. Ajuste del Área basal sin corteza acumulada según el modelo logístico para la sección basal del árbol A.

y Boltzmann, utilizando el Área basal sin corteza como variable biológica.

Todos presentaron muy buenos ajustes con coeficientes de determinación superiores del orden de $R^2 = 0,99$, siendo el modelo logístico el mejor de entre ellos

CONCLUSIONES

La metodología descrita para el estudio de anillos de crecimiento permite analizar con gran detalle los incrementos anuales aun siendo éstos de muy pequeña cuantía. En estas condiciones especiales, proporciona mediciones más exactas que las técnicas convencionales habitualmente usadas en el análisis epidométrico, con las que no hubiese sido posible discriminar algunos de los anillos. El uso del diámetro equivalente es más conveniente en estos casos en los que la forma de la sección del anillo presenta anisotropía.

Las series de datos obtenidas permiten un análisis preciso de los distintos aspectos relacionados con la epidimetría de elementos dimensionales en grosor, permitiendo el estudio comparativo, tanto gráfica como analíticamente. La práctica totalidad de las series correspondientes a los diversos individuos se ajustan a modelos de crecimiento teóricos, resultando coeficientes de determinación muy elevados. Concretamente el Logístico es el modelo que mejores resultados ha presentado para la mayoría de los pies menores estudiados, si bien es válido tan sólo para el rango de datos utilizado.

BIBLIOGRAFÍA

- ABELLANAS, B., CUADROS, S., OLIET, J. Y COCA, M.; 2001. *Estudio sobre modelos selvícolas en el pinsapar de Grazalema. Estudio de base para el manejo y conservación del pinsapar del Parque Natural Sierra de Grazalema*. ETSIAM. Córdoba.
- ARISTA, M.; TALAVERA S. Y HERRERA F.J.; 1997. *Biología del Pinsapo*. Monografías de Medio Ambiente. Ed. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.
- CUADROS, S., OLIET, J, ABELLANAS, B., COCA, M. Y PADRÓN, E.; 2003. La regeneración en el pinsapar de la sierra de Grazalema II: estructura y dinámica del regenerado consolidado en el pinsapar puro. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 15(2): 21-26.
- DE MIGUEL, A.; 1998. *Estudio selvícola en el Parque Natural Sierra de Grazalema*. Trabajo Profesional Fin de Carrera. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. Universidad de Córdoba. Córdoba.
- GARCIA VIÑAS, J.I. Y ORIA DE RUEDA, J.A.; 1994. Selvicultura, manejo y regeneración de los pinsapares. *En: Asociación Forestal Andaluza, Junta de Andalucía (eds.). Gestión y Conservación de los Pinsapares Andaluces*. Monografías Forestales Andaluces 1: 27-34. Sevilla.
- MADRIGAL, A.; 1996. *Informe selvícola sobre el pinsapar del Parque Natural Sierra de Grazalema*. Fundación General de la Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- NAVARRO, F.J.; 1994. La gestión forestal del pinsapar del Parque Natural Sierra de Grazalema. *En: Asociación Forestal Andaluza-Junta de Andalucía (eds.). Gestión y Conservación de los Pinsapares Andaluces*. Monografías Forestales Andaluces 1: 47-56. Sevilla.
- NEVA, J.C.; 1994. Evaluación de la gestión y manejo de las masas de pinsapo en el parque natural Sierra de Grazalema. *En: Asociación Forestal Andaluza-Junta de Andalucía (eds.). Gestión y Conservación de los Pinsapares Andaluces*. Monografías Forestales Andaluces 1: 41-46. Sevilla.
- PADRON, E.; 1999. *Estudio de la dinámica y la mortalidad estival de la regeneración de Abies Pinsapo Boiss. en la Sierra de Grazalema*. Proyecto Fin de Carrera. Departamento de Ingenieros Rural. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. Universidad de Córdoba. Córdoba.

EPIDOMETRÍA, BASADA EN ANÁLISIS DE IMAGEN Y APOYADA EN UN SIG

S. Cuadros Tavira, A. Ramirez García y B. Abellanas Oar

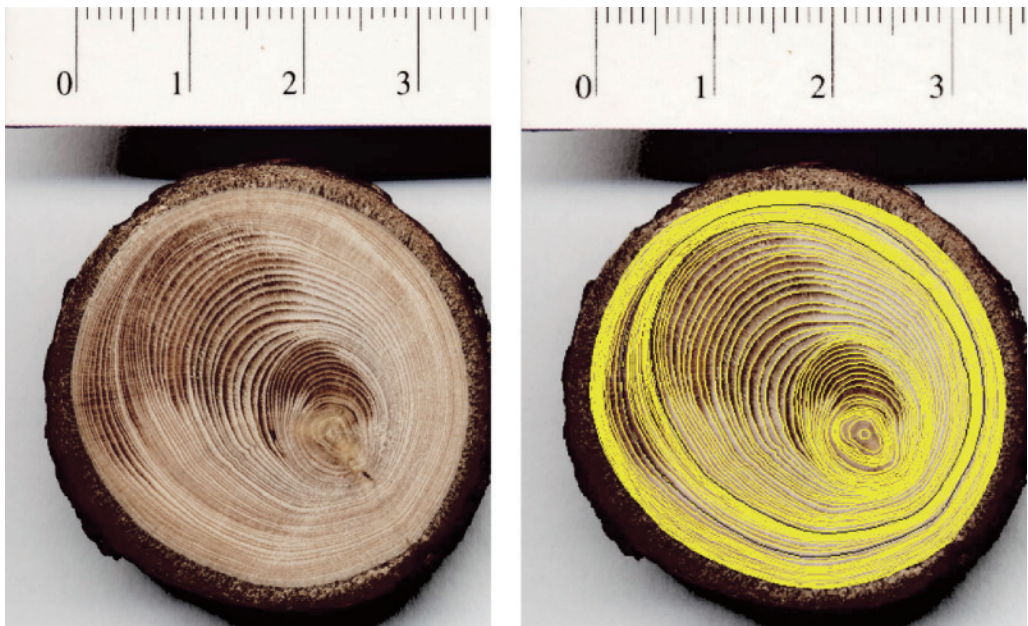


Figura 2. Imágenes de una sección antes y después del reconocimiento de anillos de crecimiento. Edad a la altura de la sección, 74 años, diámetro sin corteza 30-35 mm

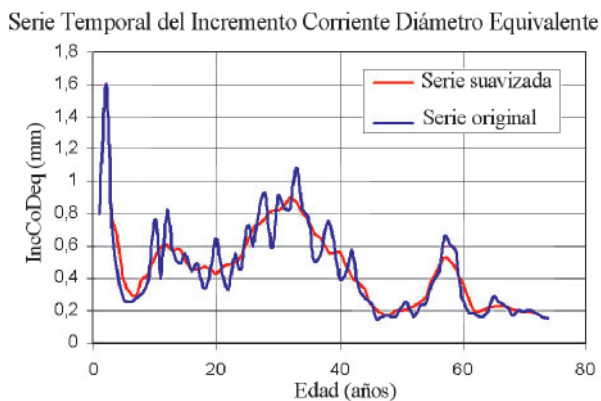


Figura 3. Evolución del Incremento Corriente del Diámetro Equivalente en una sección basal. Suavizado de media móvil de 5 años

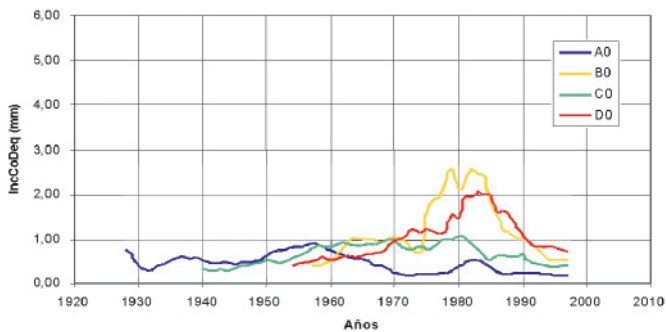


Figura 4. Series cronológicas del Incremento Corriente de diámetro equivalente sin corteza para los árboles A, B, C, y D, pertenecientes a una misma parcela del estrato pinsapar estructurado.