

Nueva herramienta para desarrollar propuestas de manejo de plantaciones de eucaliptos en la provincia de Buenos Aires

Javier Gyenge^{1,2,8}, Ana Lupi^{3,8}, Paula Ferrere⁴, Germán Milione⁵, Alejandro Martínez Meier^{6,8}, Gonzalo Caballé^{6,8}, Diego Domínguez Daguer⁷, María Elena Fernández^{1,2,8}

¹ CONICET

² AER Tandil, EEA Balcarce INTA

³ Instituto de Suelos INTA, Castelar

⁴ AER 9 de Julio, EEA Pergamino INTA

⁵ Cátedra de Dasonomía, Facultad de Agronomía, UNCPBA.

⁶ EEA Bariloche INTA, Bariloche

⁷ Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación.

⁸ Laboratorio Internacional Asociado LIA FORESTIA (INTA-INRAE)

Contacto: Javier Gyenge (Grupo de Ecología Forestal, AER Tandil INTA),

Javier_gyenge@yahoo.com

El eucalipto blanco, *Eucalyptus viminalis*, es una de las especies forestales más plantadas en la región pampeana dado su rápido crecimiento, adaptabilidad a distintos ambientes y la calidad de su madera. A diferencia del *Eucalyptus globulus* que crece de manera excelente, pero en una franja restringida a la zona con influencia marítima del sudeste bonaerense, el eucalipto viminalis puede crecer en toda la región pampeana, siempre que los suelos sean bien drenados, gracias a su tolerancia a la sequía y heladas. Esto la hace la especie de eucalipto de madera clara por excelencia que se puede plantar hacia el centro y oeste de la provincia, donde los extremos térmicos y el balance hídrico son más desfavorables que en la costa. A pesar de la enorme área donde esta especie puede ser plantada, sin competir con la agricultura, y de la existencia de numerosos rodales dispersos, es una especie forestal que, como otras en esta región, no se maneja adecuadamente (o simplemente, no se maneja en lo absoluto). En este sentido, existe un escaso desarrollo de modelos que permiten estimar las existencias de madera del rodal y, por lo tanto, su valor. Por este motivo, desarrollamos un diagrama de manejo de eucalipto blanco que permite estimar el volumen y la biomasa en pie junto a la cobertura aérea de distintas planta-

ciones, a partir de ecuaciones alométricas e información de inventarios forestales en rodales distribuidos en casi todos los ambientes de la provincia de Buenos Aires. Esta herramienta permite estimar con cierto margen de error, el volumen del tronco y su biomasa, el grado de competencia entre árboles y la cobertura aérea, a partir de datos sencillos como la densidad de la plantación (número de árboles por unidad de superficie) y el diámetro de los árboles del rodal. Así, este diagrama cumple con el objetivo multipropósito de ser útil para el productor y la industria, permitiendo estimar la cantidad, no la calidad, del producto para diversos destinos o usos (leña, madera, láminas, pulpa) a la vez que puede plantearse un manejo del rodal (unidad de manejo forestal) teniendo en cuenta la necesidad de sombreo del pasto, como el necesario para llevar adelante los sistemas silvopastoriles.

¿Qué es un diagrama de manejo de densidad forestal?

Un concepto generalmente utilizado en Ecología es la capacidad de carga de un ecosistema, la que se define como la cantidad o magnitud máxima de individuos, o su biomasa, por unidad de terreno. A medida que se alcanza este límite o capacidad de carga, no es posible que los individuos puedan multiplicarse o crecer porque algún elemento importante

para su desarrollo comienza a ser limitante. Así, se llega a una situación de máxima competencia por los recursos, en donde no se verificaría un aumento de biomasa a menos que mueran individuos. En este caso, el recurso limitante vuelve a estar disponible por lo que es posible que los individuos remanentes hagan uso del mismo. En el caso de las especies forestales, o de cualquier otra planta, existe una relación lineal que pasa por todos los puntos que conjugan la cantidad máxima de individuos en relación a sus tamaños. En el caso de los cultivos anuales, la densidad de siembra está relacionado con este concepto, así como la determinación de carga animal en el caso de la ganadería. Desde un punto de vista forestal, esto quiere decir que una vez que los individuos de ese rodal o bosque alcancen un tamaño máximo los individuos no podrán seguir creciendo, a menos que un individuo muera. Esta es la dinámica normal de un bosque natural, y también ocurre con las forestaciones con especies de rápido crecimiento. En el caso de las forestaciones (es decir, plantaciones donde todos los árboles son de la misma especie y poseen la misma edad), la competencia por los recursos se incrementa desde el momento de la plantación hasta alcanzar esta línea de máxima ocupación de sitio. A medida que el rodal se aproxima a estos máximos valores se acelera la muerte de los individuos con menor

capacidad de competir. Este es el camino que sigue cualquier forestación sin manejo emulando los bosques naturales. Sin embargo, esto no es deseable en las plantaciones forestales, en donde el costo de plantación es alto y no es económicamente rentable llegar al punto en que los árboles mueran por falta de recursos. A esto se suma que los impactos ambientales negativos asociados al reemplazo de pastizales por forestaciones se incrementan ante la falta de manejo de las mismas. Es decir, el "desmanejo" forestal es el peor de los escenarios en términos productivos, económicos y ambientales. Desde el punto de vista productivo, el manejo forestal tiende a disminuir la competencia por recursos entre los árboles de manera tal de favorecer el crecimiento de aquellos con las características más deseadas y obtener una alta tasa de crecimiento de todo el rodal.

Existe un cúmulo de teoría ecológica y conocimiento empírico que permiten desarrollar diagramas de densidad de forestaciones y bosques manejados en donde es posible establecer ciertos límites relacionados con las tasas de crecimiento y producción. Estos límites se trazan como proporción al valor máximo de ocupación del sitio, por lo que se denominan índices de densidad relativa (IDR, Figura 1). Así, la relación máxima entre cantidad de individuos y su tamaño de denomina IDR100 (100% del IDR). Dependiendo de la especie, en general se menciona que entre los IDR 60 u 80 y el IDR100 se observaría la muerte de los individuos con menor capacidad de competir (proceso de auto-raleo del rodal); con IDR de entre 40 y 60 se observaría un crecimiento lineal en el tiempo del rodal (la competencia iría incrementándose en la medida que se aumenta el IDR), y con valores inferiores a IDR40 existiría una subocupación del sitio (los individuos crecen sin competir entre ellos). Estos valores de IDR surgen del estudio de muchas especies, por lo que los límites pueden ser distintos según la plasticidad y capacidad de hacer un uso eficiente de los recursos de las especies y/o genotipos en cuestión. Teniendo estos límites en mente, el manejo forestal tiende entonces a mantener al rodal dentro de la fase de crecimiento lineal, maximizando así la productividad del mismo. A la vez, no sólo se observa una alta productividad sino también, una mayor tolerancia o resiliencia a plagas o eventos climáticos adversos. Por otro lado, cuando lo que se desea es hacer una producción mixta, como los sistemas agroforestales o sil-

Figura 1 | Relación entre la densidad de árboles por unidad de terreno y su tamaño (en este caso, el diámetro medio) en donde se indican los valores máximos del Índice de Densidad Relativa (IDR100) y otros valores intermedios (IDR 60, 40 y 25). En rojo se indican las trayectorias de los rodales no manejados y en verde los sometidos a raleos (quita de árboles).

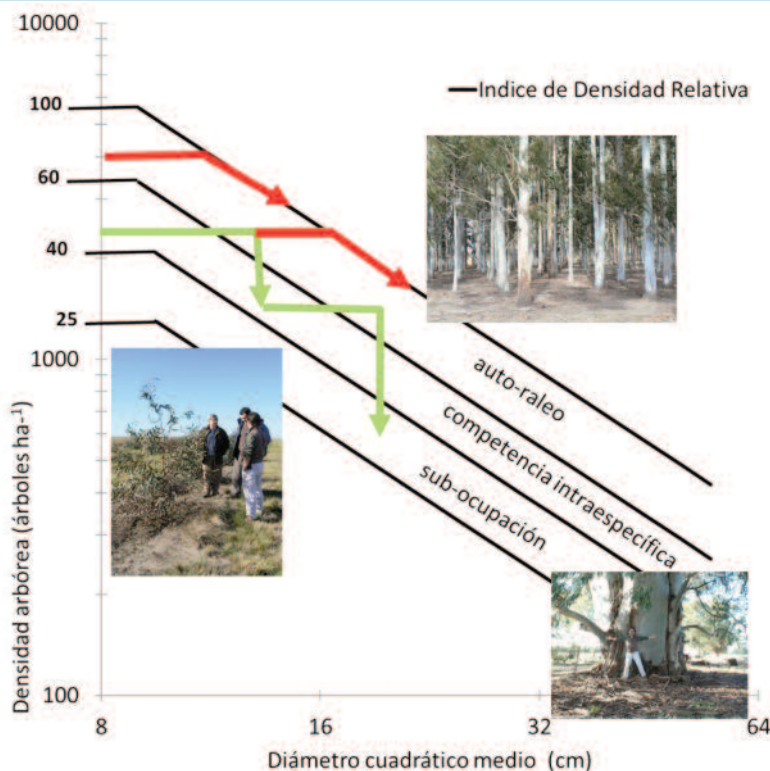


Figura 1 | Relación entre la cobertura arbórea de eucaliptos y el desarrollo de pastos en distintas regiones de Buenos Aires.

- A.- Plantación en sierras de Tandil con pasto ovillo,
- B. plantación en Del Valle con gramillón,
- C. Plantación densa y D. rala en Guaminí.



vopastoriles, es necesario hacer una subocupación del espacio para dar posibilidad de crecimiento óptimo a las otras especies.

Finalmente, al diagrama de densidad básico es posible incorporarle más información que se relacione con características denso-dependientes, como puede ser el volumen de madera o la biomasa. En general, es posible establecer ecuaciones matemáticas que permitan estimar estos atributos a partir de ciertas mediciones, como el diámetro y la altura de los árboles, así como también, la cantidad e individuos por hectárea. De esta manera es posible aumentar la información que estos diagramas pueden ofrecer.

Diagrama de manejo de densidad de *Eucalyptus viminalis* para la provincia de Buenos Aires

Este diagrama de manejo surge a partir de la información recabada por

varios grupos de investigación, de datos publicados en revistas científicas e incluso, de material inédito. La información necesaria para construir este diagrama fue el número de individuos por hectárea (densidad del rodal¹) y su tamaño (diámetro estándar a la altura de 1,30 m o altura al pecho). A esto se le sumó la capacidad de estimar el volumen y la biomasa, así como también, la cobertura aérea generada por el dosel arbóreo. Con esta información (mayor detalle se puede encontrar en la publicación científica de acceso libre cuyo link se indica más abajo) se construyó el diagrama de densidad cuyo principal objetivo fue el de poder estimar la cantidad de madera en pie o cosechada en cada momento (pudiendo valorarse el producto económicamente), así como también, el grado de cobertura arbórea para poder diagramar manejos de sistemas mixtos de producción como los silvopastoriles.

Por otro lado, este diagrama tiene sus limitantes. No es posible estimar la calidad de la madera ya que la misma

dependerá del manejo que realice el productor (por ejemplo, la presencia de nudos o la forma general del árbol que incidirá en la posibilidad de usar esa madera para producir tablas o láminas), así como tampoco es posible determinar el tiempo que le llevará al rodal generar dicha biomasa ya que carecemos de información que nos permita estimar la *tasa de crecimiento* de los rodales de acuerdo al sitio y manejo del rodal. Sin embargo, el diagrama sí puede ofrecer un panorama sobre cuánta madera se puede producir de acuerdo al esfuerzo de raleo, a la cantidad de árboles plantados, e incluso, permite probar manejos alternativos y ver cuál es el más adecuado de acuerdo a distintos escenarios productivos o económicos. En este caso, es posible optar por un manejo que tienda a buscar la máxima productividad de madera sin importar el tamaño individual de los árboles (por ej. para la producción de biomasa para dendroenergía o para la industria celulósica), o bien maximizar la productividad de árboles de cierto tamaño medio, aptos para la industria del ase-

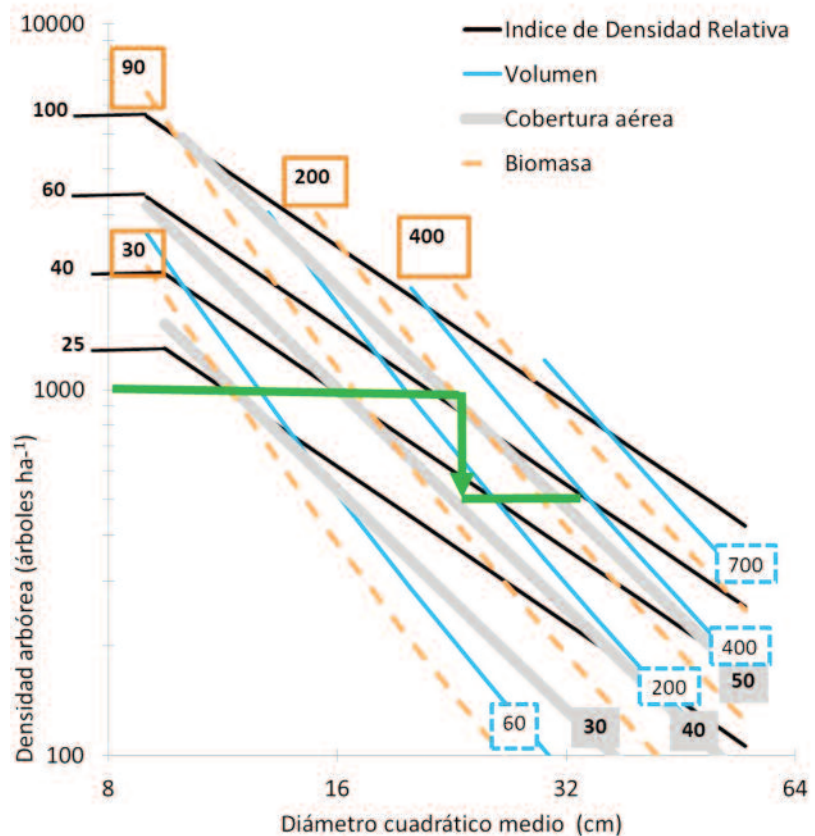
¹ Distinguir entre “densidad del rodal o plantación”, que se refiere a la cantidad de individuos por unidad de superficie, del término “densidad de madera” que es una propiedad intrínseca del producto, que relaciona su volumen con su peso y que afecta la calidad industrial de la misma. En este artículo nos referimos siempre al primer término.

rado, o bien mantener un cierto nivel de sombreado (cobertura) que favorezca el desarrollo de especies forrajeras pensando en sistemas silvopastoriles. Si bien no contamos con medidas de productividad de pasto, es posible encontrar diversas especies con distinto grado de calidad forrajera creciendo dentro de forestaciones con eucaliptos (figura 2). De manera básica, la presencia de pastos está íntimamente relacionada con la cobertura aérea y no directamente con la densidad de árboles (si bien hay una cierta correlación).

Uso del diagrama de densidad de manejo para *E. viminalis*

El diagrama de densidad que contempla, además de la relación densidad – tamaño medio de los árboles, los atributos de volumen, biomasa y cobertura aérea se muestra en la figura 3. Es posible ensayar un ejercicio similar al realizado en la figura 1, solo que ahora contaremos con más información sobre el rodal. Por ejemplo, es posible plantear un manejo en donde se comienza un ciclo forestal con una plantación de 1000 árboles por hectárea (línea verde de la figura 3). Estos árboles crecerán hasta alcanzar un valor planteado como objetivo productivo, que, en este caso, se planteó como umbral para intervenir el rodal cuando el mismo supere el IDR60. En dicho momento se realizará un raleo sistemático en donde se planea cortar la mitad de los árboles (por ejemplo, se corta una fila por medio). Es importante resaltar que los ejes del diagrama se expresan de manera logarítmica para simplificar el uso al poder dibujar líneas rectas. En el momento del raleo, el diagrama de densidad nos permite estimar que el rodal tendría árboles con un diámetro promedio de 21 cm, que se podría cosechar un volumen de 120 m³/ha de madera, lo que significaría una biomasa de 84 T ha. La cobertura al momento del raleo sería del 50% y dado el raleo, bajaría a un 38%. El IDR del rodal remanente sería de 30. Esto es un mero ejercicio, por lo que también se podría plantear, por ejemplo, quitar una fila cada dos por lo que se cosecharía 1/3 de los árboles del rodal. Posteriormente, el rodal seguiría creciendo tomándose la decisión de cortar todos los árboles cuando el diámetro medio alcance los 34 cm. En dicho momento se planifica cosechar los 500 árboles remanentes, con lo que se podría obtener casi 400 m³/ha de madera y unas 300 T/ha de biomasa. Otra posible forma de intervención en un rodal en el momento del raleo es cosechando los individuos más chicos, enfer-

Figura 3 | Diagrama de manejo de densidad de *Eucalyptus viminalis* teniendo en cuenta los distintos índices de densidad relativos, el volumen (m³/ha) y biomasa (Mg/ha) de los árboles, así como también, de la cobertura arbórea (% de cielo cubierto). En verde se denota un ejemplo de manejo forestal.



mos y de mala forma, liberando recursos para aquellos árboles que tendrían mayor valor forestal. Este tipo de raleo, denominado raleo por lo bajo, si bien es más costoso en cuanto a tiempo y logística, permite aumentar el valor del rodal. El modelo inmerso en el diagrama permite emular este tipo de labores. En este caso, el diámetro medio del rodal remanente será mayor que el original, ya que habremos quitado los más pequeños. En este caso, el modelo usa la trayectoria que sigue la relación entre altura y diámetro. De todas maneras, el diagrama permite estimar tanto las nuevas características del rodal luego de la intervención como del material raleado.

Como mencionamos, detrás de la figura existe una serie de ecuaciones matemáticas que permiten obtener un valor de cada atributo (tamaño, volumen, biomasa y cobertura). Para facilitar estas operaciones, desarrollamos una forma amigable en base a hojas de cálculo para

que cualquier usuario pueda realizar las estimaciones. Esta hoja de cálculo, al igual que la publicación científica que describe la forma en la que se calculó el modelo, pueden ser solicitadas al autor del presente artículo por correo electrónico. El mismo es gratuito y de distribución libre. El artículo está además libre en la página de la revista donde se publicó: GYENGE J, LUPI A, FERRERE P, MILIONE G, MARTÍNEZ-MEIER A, CABALLÉ G, DOMÍNGUEZ DAGUER D, FERNÁNDEZ ME. 2019. Stand density management diagrams of *Eucalyptus viminalis*: predicting stem volume, biomass and canopy cover for different production purposes. CERNE 25(4): 463-472. DOI 10.1590/01047760201925042666

<http://www.cerne.ufla.br/site/index.php/CERNE/article/view/2283>

