



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-090

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Empleo del láser escáner terrestre para la construcción de nuevas ecuaciones de cubicación en el País Vasco

CANTERO AMIANO, A.¹,

¹ Fundación HAZI Fundazioa. Granja Modelo s/n. 01192 Arkaute (Álava). acantero@hazi.eus

Resumen

Las ecuaciones de cubicación suelen ser un instrumento muy útil para calcular con fiabilidad el volumen de madera contenido en un arbolado de una zona conocida.

A lo largo de las últimas décadas en el País Vasco, el alargamiento del turno medio de las masas forestales, el aumento de las dimensiones medias de los árboles inventariados y el descenso en los recursos destinados a actualizar ecuaciones de cubicación mediante derribo y medición de los árboles han ido originando que las ecuaciones disponibles a nivel regional vayan quedando desfasadas respecto a la realidad. Se impone, por tanto, la construcción de nuevas ecuaciones para las principales especies arbóreas procedentes de plantación, acompañadas además de una propuesta volumétrica de clasificación de productos maderables, con el fin de aumentar la fiabilidad de las tasaciones forestales.

El empleo de un láser escáner y de programas informáticos adecuados, que permiten cubicar el fuste de un gran número de árboles sin necesidad de derribarlos, han posibilitado la consecución de nuevas ecuaciones de cubicación. Estos resultados se han publicado recientemente, mediante los programas de tasación generados para el sector forestal vasco.

Palabras clave

Inventario de recursos naturales, dasimetría, plantaciones forestales, razón de volumen

1. Introducción

El pino radiata es la principal especie productiva del País Vasco. Por ello, desde que a mediados del siglo XX empezó a popularizarse el empleo de esta especie en plantaciones forestales, el sector forestal vasco deseó contar con unas adecuadas ecuaciones de cubicación para poder cuantificar el recurso maderable disponible.

Los mayores cambios en la estructura de estos pinares se han ido produciendo debido al alargamiento de sus turnos de corta final. Se ha ido pasando en estas últimas décadas de un turno medio de 20-25 años, diseñado para producir principalmente madera destinada a la industria papelera, a unos turnos actualmente comprendidos entre 40 y 50 años, buscando unos mayores volúmenes de madera gruesa en la corta final. Obviamente, este alargamiento de los turnos se ha ido reflejando en un aumento de la edad media de estos pinares, en un aumento de las existencias medias por unidad de superficie y en un desplazamiento de la curva altura-diámetro hacia la derecha y hacia arriba, tal y como sucede en un rodal coetáneo al aumentar su edad. De esta forma, a lo largo de estas últimas décadas, los pinos radiata han ido evolucionando de promedio hacia mayores diámetros y alturas medios.

Colateralmente, se deduce que las ecuaciones de cubicación disponibles para cubicar esta especie han tenido que evolucionar y adaptarse a esta situación cambiante. Desde 1975, con las Tablas de producción de *Pinus radiata* de MADRIGAL y TOVAL, pasando por el Inventario Forestal del País Vasco de 1986 y terminando con las ecuaciones de cubicación para el pino radiata y el pino laricio en el País Vasco (IKT, 1990), se derribaron y cubicaron cientos de pinos con el fin de poder construir unas ecuaciones adaptadas a la estructura de edades de cada momento.

Otras especies empleadas en plantaciones forestales del País Vasco han ido conociendo este mismo proceso, debido a la evolución natural de las masas plantadas desde mediados del siglo XX y al alargamiento de sus turnos. Sin embargo, no se dispone de muchos datos de árboles derribados y cubicados para estas especies en el pasado, cuyo turno de corta final puede oscilar entre 13-15 años en el caso de los eucaliptos hasta 80-100 años en el pino silvestre.

El Inventario Forestal Nacional no proporciona ecuaciones de cubicación adaptadas a las masas forestales actuales debido a su antigüedad. El proceso de elaboración de estas ecuaciones se detalla en el documento “Explicaciones y métodos” del IFN2. Las ecuaciones de cubicación empleadas en los últimos ciclos del IFN se elaboraron a partir de los árboles apeados en el IFN1 (1971-1972 en el País Vasco). Por tanto, las ecuaciones de cubicación que se vienen utilizando en el IFN se basan en árboles derribados y cubicados en los años 70, cuando la muestra de diámetros y alturas de los árboles existentes en los montes vascos era muy distinta a la actual. Para la elaboración de esas ecuaciones se empleó un escaso número de árboles gruesos, ya que ese tipo de árboles no era frecuente en los montes vascos, como sí sucede en la actualidad. Ello supone la asunción de un considerable riesgo en el empleo de esas ecuaciones para cubicar árboles actuales.

Existe, por tanto, una cierta cantidad de árboles tipo o árboles muestra disponibles para su cubicación, pero adolecen de presentar dimensiones relativamente bajas. Para adaptarse a los arbolados actuales del País Vasco, hace falta reforzar esa muestra incorporando árboles más viejos, gruesos y altos que los actuales. Sin embargo, la dificultad y la carestía de las labores de cubicación por métodos tradicionales de estos árboles gruesos son problemas prácticos, que han impedido hasta la fecha acometer este trabajo.

La adquisición por parte de HAZI de un láser escáner Focus3D-S 120 en el marco del proyecto Interreg IV B SUDOE Forrisk (2012-2014) ha permitido modelizar el riesgo por derribo en diversos tipos de arbolado. Esta herramienta es capaz de escanear un gran número de árboles en cada posición y la nube de puntos generada puede ser empleada para calcular el diámetro del fuste a cualquier altura, junto a otras magnitudes como el número o tamaño de las ramas o la excentricidad de cada fuste. Ello abre nuevas posibilidades para conseguir cubicar árboles tipo de diversas especies sin necesidad de derribarlos.

2. Objetivos

Se plantea aumentar la muestra de árboles tipo con el fin de construir ecuaciones para cubicar las principales especies arbóreas procedentes de plantación, acompañadas además de una propuesta volumétrica de clasificación de productos maderables. A tal fin, se va a emplear un láser escáner o Terrestrial Laser Scanner (TLS).

3. Metodología

Existe ya un método contrastado en el País Vasco para procesar árboles tipo y construir con ellos distintas ecuaciones regionales de cubicación. El proceso es el siguiente:

- En función de la distribución geográfica y diamétrica de cada especie, se elige un mínimo de 5 árboles de cada clase diamétrica representativa. Las parcelas del Inventario Forestal del País Vasco (IFN) son un buen estimador para elegir esa muestra de árboles tipo, que son los que tratan de representar las características medias de todos los demás árboles de la misma especie.
- Una vez elegidos los árboles a cubicar, se procede a derribarlos, desramarlos, trocearlos y medir una serie de parámetros. En los primeros cinco metros del fuste se procede a medir diámetros en cruz cada metro, mientras que a partir de esa altura se miden cada dos metros.

- Los datos recogidos permiten cubicar el fuste por medio de la fórmula de Smalian o producto de la semisuma de las secciones extremas por la longitud de cada troza. Las regresiones logarítmicas biparamétricas del tipo $v=f(d,h)$ son las que se han venido empleando para cada especie.

- Siguiendo el método de la razón de volumen, desarrollado por CHAUCHARD y SBRANCIA (2005). En este método, la proporción entre los volúmenes cubicados hasta distintos diámetros en punta y el volumen total de cada árbol se traduce en unos coeficientes (r) propios de cada especie, que permiten estimar para cada árbol su volumen maderable hasta el diámetro en punta delgada que se desee. La aplicación de este método ha permitido una primera clasificación de productos maderables en las especies cubicadas.

En la Tabla 1 figura el número de árboles empleados en estas primeras ecuaciones de cubicación. Se aprecia que los diámetros medios de las distintas especies es relativamente bajo, inferior en general al que suelen presentar los arbolados de esas especies en las cortas finales.

El último Inventario Forestal del País Vasco (IFN4, 2011) mostraba que el conjunto de las plantaciones forestales iban mostrando década a década diámetros medios crecientes, como consecuencia de la selvicultura realizada, del alargamiento de los turnos y de que gran parte de esas plantaciones proceden de los años 60 y 70. La necesidad de actualización de las ecuaciones de cubicación, adaptadas a la situación actual, era una necesidad detectada en el sector forestal vasco, pero que se enfrentaba a la carestía de acometer ese trabajo por el método tradicional.

En el año 2016 se ha dado una serie de circunstancias, como la colaboración de las Diputaciones Forales en la elección de arbolados de grandes dimensiones, la posibilidad de dedicación de un técnico forestal en este tipo de trabajos y la disponibilidad de un láser escáner y de programas informáticos adecuados para poder cubicar en pie el fuste de un gran número de árboles por todo el País Vasco (ver Figura 1). Los programas empleados han sido FARO Scene para unir los escaneos en una sola nube de puntos y 3D-Reshaper para modelar las superficies de los fustes.

El método empleado ha sido:

- Se han elegido diversos arbolados de las principales especies forestales, caracterizados por su variedad geográfica, su considerable edad y su estructura diamétrica dominada por árboles gruesos, altos y bien formados. Algunos de esos arbolados iban a ser cortados en breve, por lo que servirían para contrastar la validez del método de escaneo.

- Una vez elegidos al menos 5-10 árboles representativos de cada localización, se procede a marcarlos con pintura o con pequeños carteles, a medir su diámetro normal con forcípula y su altura total y su altura de Pressler-Bitterlich por medio de un hipsómetro. Este último proceso se debe a que la nube de puntos generada por el láser escáner suele aportar pocos puntos en la parte superior de los árboles, debido a la distancia y a la densidad de ramas y fustes, lo que dificulta el cálculo exacto de esas alturas con el escaneo.

- Para poder cubicar los árboles partiendo de la nube de puntos, es preciso seguir los siguientes pasos: 1) unir los escaneos realizados en cada arbolado, para poder trabajar con una sola nube de puntos unificada y que proporcione una perspectiva 3D completa de los fustes elegidos, 2) seleccionar los puntos de cada árbol tipo seleccionado y numerado, para poder trabajar de forma independiente con su fuste (Clipping Box), 3) eliminar los puntos de las ramas y delinear la malla o superficie continua de cada fuste a partir de su eje central y 4) inscribir distintos círculos que se ajusten a las secciones de cada árbol y altura seleccionada y así poder calcular esos diámetros.

- Al igual que en el método tradicional, se cubica cada fuste por la fórmula de Smalian, empleando longitudes de trozas de un metro, hasta la altura en la que la nube de puntos era insuficiente para cubicar la parte superior (entre 20 y 30 cm en punta delgada). El resto del fuste se ha cubicado por asimilación a un cono o una parábola, en función de su altura total y su altura de Pressler-Bitterlich. Las cubicaciones realizadas en pie permiten reforzar las muestras disponibles de árboles tipo derribados y actualizar las regresiones logarítmicas biparamétricas para cada especie.



- Se sigue el método citado de la razón de volumen para estimar los volúmenes maderables hasta distintos diámetros en punta delgada. La aplicación de este método de escaneo ha permitido también mejorar la anterior clasificación de productos maderables, debido a que los nuevos árboles presentaban unos mayores volúmenes medios de madera.

Las especificaciones de las muestras empleadas en cada especie han sido:

Pino radiata:

Se contaba con una muestra enorme procedente de un trabajo encargado por el Gobierno Vasco a IKT, S.A., en 1990 por todo el País Vasco: 814 pinos derribados y con un diámetro normal comprendido entre 7,5 y 85 cm. En 2016 se ha procedido a escanear y medir 23 nuevos pinos con diámetro normal comprendido entre 48,3 y 79,3 cm. Estos pinares, caracterizados por sus grandes dimensiones medias y su edad superior a los 50 años, se han localizado en Amurrio, Sopeña (Karrantza) y Oiz (Berriz).

Pino laricio de Córcega:

Se contaba con una importante muestra procedente de un trabajo encargado por el Gobierno Vasco a IKT, S.A., en 1990 por todo el País Vasco: 353 pinos derribados y con un diámetro normal comprendido entre 8,5 y 52,4 cm. En 2016 se ha procedido a escanear y medir 11 nuevos pinos, con diámetro normal entre 40,4 y 70,6 cm, en un pinar de 90 años en Leintz-Gatzaga.

Abeto Douglas:

Se contaba con una muestra procedente de diversos trabajos de ordenación forestal en Gipuzkoa: 123 abetos derribados y con un diámetro normal comprendido entre 13 y 46,7 cm. En 2016 se ha procedido a escanear y medir 12 nuevos abetos, con diámetro normal entre 45,6 y 121 cm, en las localizaciones que presentan las mayores edades y existencias medias del País Vasco, como son los montes de Barazar y Albiztur.

Alerce:

Se contaba con una muestra procedente de diversos trabajos de ordenación forestal en Gipuzkoa: 76 alerces derribados y con un diámetro normal comprendido entre 10,5 y 50,4 cm. En 2016 se ha procedido a escanear y medir 11 nuevos alerces, con diámetro normal entre 50,2 y 68,6 cm, en una masa de 90 años en la Parzonería de Otzaurte.

Eucalipto:

Se contaba con una muestra procedente de diversos trabajos de ordenación forestal en Bizkaia: 199 eucaliptos derribados y con un diámetro normal comprendido entre 8,6 y 44 cm. En 2016 se ha procedido a escanear y medir 18 nuevos eucaliptos, con diámetro normal entre 32,5 y 53,6 cm, en dos masas de 28 años en Bermeo. En ambas muestras se han cubicado indistintamente árboles de *E. nitens* y de *E. globulus*, ya que las curvas de diámetro-volumen son coincidentes.

Pino silvestre:

No se contaba con pinos derribados y cubicados de trabajos anteriores. En 2016 se ha procedido a escanear y medir 48 pinos, con diámetro normal entre 26,7 y 74,4 cm, en diversas plantaciones de los tres Territorios vascos y en masas naturales de la Sierra de Artzena. Se han cubicado indistintamente árboles procedentes de plantación y regeneración natural, ya que en ambos casos las curvas de diámetro-volumen son coincidentes.

Pino pináster:

No se contaba con pinos derribados y cubicados. En 2016 se ha procedido a escanear y medir 42 pinos, con diámetro normal entre 23,4 y 61,14 cm, en diversas plantaciones de los Territorios de Álava y Bizkaia.

Ciprés de Lawson:

No se contaba con cipreses derribados y cubicados. En 2016 se ha procedido a escanear y medir 45 cipreses, con diámetro normal entre 19 y 34 cm, en diversas plantaciones de Bizkaia. La dificultad de escanear los fustes de masas tan cerradas y con un alto número de árboles bifurcados como los cipresales ha obligado a medir únicamente masas recién aclaradas, en las que se han eliminado la mayoría de los pies malformados y en las que es posible escanear en su totalidad los fustes seleccionados.

Otras especies:

Se ha procedido a escanear otros arbolados relevantes de regeneración natural, formados por frondosas de gran tamaño y cercanía a la edad de corta. Es el caso de robledales en Leintz-Gatzaga y en La Txara (término municipal de Zuya) y de hayedos en el Parque Natural de Gorbeia. Sin embargo, la escasez y ramosidad de los árboles escaneados, que dificulta la adopción de un único fuste recto hasta el diámetro en punta fina, han impedido hasta la fecha la elaboración de ecuaciones de cubicación para masas naturales. La ampliación de la muestra recogida servirá en el futuro para conseguirlo.

4. Resultados

Se han conseguido las siguientes ecuaciones. Para el cálculo del volumen total maderable, V_{tcc} en m^3 , se emplean logaritmos neperianos, el diámetro normal D_{ap} en cm y la Altura total en m. Para el cálculo de la razón de volumen (R), se emplea el volumen con corteza hasta distintos diámetros en punta fina, D_{pf} , en cm. Así, para poder estimar el volumen hasta 30 cm, se emplearía: $V_{30} = V_{tcc} * R_{30}$. En el caso del pino radiata se presentan los dos modelos obtenidos, Burkhart y Parresol, mientras que en el resto de especies únicamente el modelo de Burkhart.

Pino radiata:

$$\log(V_{TCC}) = -9,96287 + 1,87626 * \log(\text{diam}) + 1,010987 * \log(\text{Altura}); R_2 = 99,73\% \%$$

$$R = 1 - 0,200352 * (D_{pf}^3,30859) / (D_{ap}^2,85171); R_2 = 94,9\% \%$$

$$R = e^{-(0,459337 * (D_{pf}^4,30265 / D_{ap}^3,9148))}; R_2 = 97,6\% \%$$

Pino laricio de Córcega:

$$\log(V_{Tcc}) = -9,41771 + 1,93609 * \log(D_{ap}) + 0,837258 * \log(\text{Altura}); R_2 = 99,4465\% \%$$

$$R = 1 - 0,130315 * (D_{pf}^2,68165) / (D_{ap}^2,18843); R_2 = 94,1666\% \%$$

Abeto Douglas:

$$\log(V_{Tcc}) = -9,76082 + 1,80492 * \log(D_{ap}) + 1,04494 * \log(\text{Altura}); R_2 = 99,457\% \%$$

$$R = 1 - 0,172595 * (D_{pf}^3,36472) / (D_{ap}^2,89154); R_2 = 97,072\% \%$$

Alerce:

$$\log(V_{Tcc}) = -9,73871 + 2,02147 * \log(D_{ap}) + 0,824641 * \log(\text{Altura}); R_2 = 99,571\% \%$$

$$R = 1 - 0,157636 * (D_{pf}^3,31153 / D_{ap}^2,8337); R_2 = 94,219\% \%$$

Eucalipto:

$$\log(V_{Tcc}) = -10,2008 + 1,94855 * \log(D_{ap}) + 1,01242 * \log(\text{Altura}); R_2 = 98,9546\% \%$$

$$R = 1 - 0,452605 * (D_{pf}^2,27948) / (D_{ap}^2,12894); R_2 = 91,7531\% \%$$

Pino silvestre:

$$\log(V_{Tcc}) = -9,65896 + 2,0035 * \log(D_{ap}) + 0,802545 * \log(\text{Altura}); R_2 = 98,6116\% \%$$

$$R = 1 - 0,494235 * (D_{pf}^3,47043) / (D_{ap}^3,3271); R_2 = 93,9456\% \%$$

Pino pináster:

$$\log(V_{Tcc}) = -10,6677 + 2,14662 * \log(D_{ap}) + 0,954609 * \log(\text{Altura}); R_2 = 98,8587\% \%$$



$$R = 1 - 1.10772 * (Dpf^{3.04944}) / (Dap^{3.13474}); R2 = 93.0161 \%$$

Ciprés de Lawson:

$$\log(VTcc) = -8.66301 + 1.66518 * \log(Dap) + 0.895703 * \log(Altura); R2 = 98.5264 \%$$

$$R = 1 - 0.0820259 * (Dpf^{3.91108}) / (Dap^{3.23295}); R2 = 93.0879 \%$$

5. Discusión

Resulta interesante remarcar las principales diferencias entre ambos métodos de cubicación basados en árboles tipo.

La cubicación por el método tradicional de derribo y troceo destaca por su sencillez y su toma de datos de forma manual con cinta y forcípula. La dificultad proviene de la laboriosidad de las labores de tala, desramado, troceo y medición. El troceo facilita la toma de numerosos datos que pueden ser de utilidad para conocer la distribución de variables a lo largo del fuste, como el espesor de corteza, el crecimiento anual o la existencia de defectos en la madera.

Por su parte, la cubicación por el nuevo método de escaneo y medición en pie destaca por el carácter masivo y relativamente rápido en la toma de datos, pero también por su complejidad en el proceso de los datos en oficina. Tanto el láser escáner como los programas de manejo de la nube de puntos son costosos y requieren de preparación técnica adecuada. La dificultad proviene de la lentitud en las labores de depuración manual de las nubes de puntos que forman la superficie continua de cada fuste. Otra ventaja de este método es su carácter no destructivo, lo que permite repetir las mediciones en años posteriores y, por ejemplo, medir el crecimiento del mismo fuste a distintas alturas (Figura 6) o analizar la existencia de posibles secciones de rotura de los fustes por efecto del viento o de la nieve.

La comparación realizada entre ambos tipos de mediciones, en el caso de árboles tipo que después de ser escaneados fueron cortados y medidos en el suelo, ha aportado resultados satisfactorios. Las diferencias encontradas entre los diámetros a distintas alturas del fuste, obtenidos entre ambos métodos, no han sido superiores en ningún caso a 2 cm.

6. Conclusiones

Se ha testado un nuevo método para medir árboles tipo partiendo de un láser terrestre, que simplifica el proceso en árboles gruesos o de alto valor y que abre nuevas posibilidades de medición.

Las ecuaciones de cubicación conseguidas para diversas especies están siendo publicadas y testadas mediante el Programa *on-line* de tasación "Cubica", realizado para Baskegur con el fin de ayudar a los tasadores a cubicar los arbolados productivos del País Vasco.

7. Agradecimientos

A los Servicios de Montes de las tres Diputaciones Forales vascas y a Baskegur, por su colaboración en la elección de los rodales a escanear. A Jan Albert por su inagotable capacidad de trabajo y por su continuo interés en mejorar.

8. Bibliografía

BERTOMEU, M.; 2011. Manual de Dasonetría. Serie Técnica: Naturaleza y Parques Nacionales. Organismo Autónomo Parques Nacionales. 135 pp. Madrid.

CHAUCHARD, L.; SBRANCIA, R.; 2005. Funciones de razón para la estimación de los volúmenes maderables de Pino radiata en el País Vasco. *Invest Agrar: Sist Recur For* 14(2), 185-194

ICONA; 1990. Segundo Inventario Forestal Nacional 1986-1995. Explicaciones y métodos. 174 pp. Madrid.

MADRIGAL A., TOVAL G., 1975. Tablas de producción de Pinus radiata D. Don en el País Vasco. Dirección General de la Producción Agraria. Ministerio de Agricultura. 21 pp. Madrid.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE, 2013. Cuarto Inventario Forestal Nacional. Comunidad Autónoma del País Vasco/Euskadi. 59 pp. Madrid.

PARDÉ, J.; BOUCHON, J.; 1988. Dendrométrie, 2^a édition. GREF. 328 pp. Nancy.

RONDEUX, J.; 1993. La mesure des arbres et des peuplements forestiers. Les Presses Agronomiques de Gembloux. 522 pp. Gembloux.

SRINIVASAN, S; POPESCU, S. C.; ERIKSSON, M; NIAN-WEI KU; 2015. Terrestrial Laser Scanning as an Effective Tool to Retrieve Tree Level Height, Crown Width, and Stem Diameter. *Remote Sensing* 7(2):1877-1896. Recuperado de <http://www.mdpi.com/2072-4292/7/2/1877/htm>

Tabla 1. Número de árboles disponibles para su cubicación, distinguiendo entre los obtenidos mediante derribo y troceo y los escaneados. Se indica entre paréntesis el diámetro normal medio de cada submuestra.

Espece	Derribo	Escaneo
Pino radiata	814 (32 cm)	23 (63 cm)
Pino laricio	353 (23 cm)	11 (56 cm)
Abeto Douglas	123 (31 cm)	12 (73 cm)
Alerce	76 (35 cm)	11 (60 cm)
Eucalipto	199 (22 cm)	18 (42 cm)
Pino silvestre	-	48 (44 cm)
Pino pináster	-	42 (39 cm)
Ciprés de Lawson	-	45 (40 cm)





Figura 3. Escaneo de árboles tipo.



Figura 4. Selección de un árbol tipo y establecimiento de distintas secciones de su fuste.

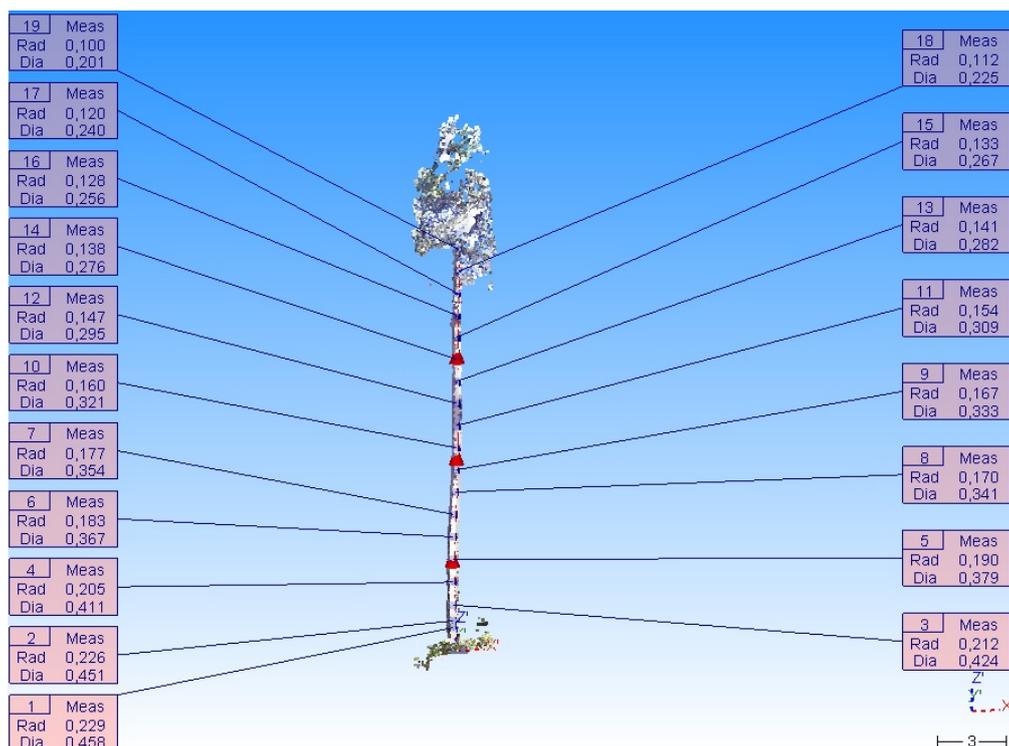


Figura 5. Ajuste de diámetros en distintas secciones de un fuste.

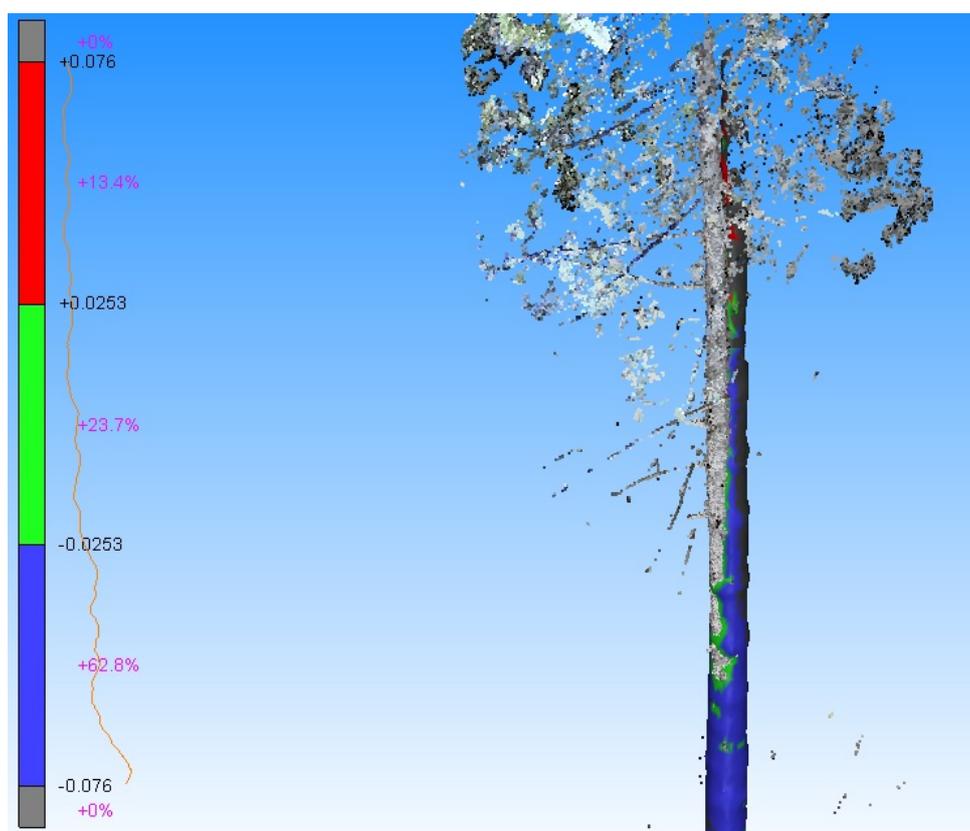


Figura 6. Medición del crecimiento de un fuste a distintas alturas mediante repetición anual de escaneos.