

# PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA DE DIFERENTES CLONES DE CHOPO

A. Gutiérrez Oliva; M.V. Baonza Merino  
Dep de industrias forestales. CIFOR-INIA. apdo. 8.111 – 28080 Madrid

## RESUMEN

Se estudian las principales características físicas de la madera de diferentes clones de chopo plantados en tres parcelas de experimentación, ubicadas en la Cuenca del Duero (Valladolid, 15 clones), Cuenca del Ebro (Zaragoza, 19 clones) y Zona Centro (Madrid, 6 clones). Las propiedades estudiadas fueron: densidad, humedad y contracciones. Se determinaron las características a diferentes alturas del tronco y se analizó la influencia de la altura y del clon dentro de cada parcela. En los clones comunes se estudió el efecto parcela

**PALABRAS CLAVE:** Chopo, madera, densidad, contenido de humedad, contracción, extractivos

## SUMMARY

The most important physical properties of lumber from 176 trees of different clones of poplar were studied. The clones and trees were coming from experimental plots, sited in the Duero river (Valladolid 15 clones), Ebro river (Zaragoza, 19 clones) and Central Region (Madrid, 6 clones). The studied properties were: density, humidity and shrinkage. The variation of these properties within the stem and the clon was also studied. Where possible the plot factor was also studied.

**KEY WORDS:** Poplar, wood, density, moisture content, shrinkage, extractives

## INTRODUCCIÓN

La densidad es la característica que más información aporta sobre la calidad de una madera (YANCHUK *et al*, 1983). La mayoría de las restantes propiedades están relacionadas con ella, existiendo fórmulas empíricas que dan los valores de algunas de estas características en función de la densidad (SHOTTAFER *et al*, 1981; GREEN *et al*, 1999). En los chopos, la densidad varía en función de diversos factores, entre los que destacan: el medio ambiente, el clon y la posición dentro del árbol.

La humedad de la madera del árbol recién apeado no influye directamente en la calidad de la madera, aunque sí en la elaboración de la misma, sobre todo en el proceso de secado, problema que se agudiza con la madera de corazón negro, por su muy alto contenido de humedad.

Como consecuencia de las variaciones de humedad, por debajo del PSF, se producen variaciones en sus dimensiones que pueden dar lugar a deformaciones de la madera durante el proceso de secado.

El objetivo de este trabajo es la determinación de estas características y su variación con los factores clon, procedencia y altura en el tronco

## 2. - MATERIAL Y MÉTODOS

Los árboles fueron tomados en tres parcelas de experimentación ubicadas en diferentes cuencas hidrográficas españolas: Cuenca del Duero (Zamadueñas, Valladolid), Cuenca del Ebro (Montañana, Zaragoza) y Cuenca del Tajo (Torrelaguna, Madrid). Se han seleccionado y analizado un total de 176 árboles, pertenecientes a 25 clones. La relación del número de árboles y edad de los mismos, utilizados por clon en cada parcela, vienen detallados en la tabla 1

De cada árbol se obtuvieron 5 discos, de unos 5 cm de espesor: dos contiguos a la altura de 1,30 m (B) y uno cada 5,20 m a partir del anterior: 6,50 m (C), 11,70 m (D) y 16,90 m (E), (figura 1). Inmediatamente después de cortados y marcados, los discos fueron introducidos en bolsas de plásticos y enviados al laboratorio donde se conservaron en cámara frigorífica hasta el momento del ensayo.

En uno de los discos tomados a la altura 1,3 m, se procedió a la corta de una pieza diametral de 2 x 2 cm de sección que, una vez eliminada la médula, dio lugar a dos piezas radiales opuestas, cada una de las cuales se dividió en tres probetas que representaban a las tres zonas del tronco: interior "I" (solo corazón negro), media "M" (corazón negro y albura) y exterior "E" (solo albura), como se ve en la figura 2.

Mediante la determinación del peso y de las dimensiones longitudinal, radial y tangencial, en los estados verde, al 12% y anhidro, se obtuvieron los valores de: humedad, densidades (anhidra, al 12%, en verde y básica) y contracciones (volumétrica, radial y tangencial), para las diferentes posiciones radiales.

En estas mismas probetas se procedió a la eliminación de extractivos; en primer lugar con metanol, en un extractor soxhlet durante dos periodos de 8 horas, seguido de una inmersión en agua caliente a 78° C durante 8 horas. Por último, se procedió a repetir todas las operaciones y medidas efectuadas en las probetas antes de la eliminación de los extractivos. Con estos valores se obtuvieron las densidades y contracciones de la madera extractada, así como el porcentaje de extractivos.

En el otro disco B y, en los C, D y E, se procedió de la forma siguiente, una vez labrados por las dos caras y descortezados:

- en los discos B, C y D se extrajo un sector completo, de unos 30°, del que se obtuvieron dos probetas: una conteniendo solo corazón negro y otra exclusiva de albura (figura 3), y que fueron utilizadas para la determinación de la humedad en sus respectivas zonas.
- en la parte restante de los discos B, C y D y, en el disco E, se determinó el peso y el volumen en verde; éste último por inmersión en agua mediante el principio de Arquímedes y, finalmente, se desecó en estufa a  $103 \pm 2^\circ$  C, hasta peso constante, para la determinación de su peso anhidro.

Con estos datos se obtuvieron, para las diferentes alturas, las siguientes características:

- Humedad total de la sección y las de la albura y el corazón negro
- Densidad media de la sección (Densidad básica y densidad en verde)

TABLA 1. Datos de la muestra y valores medios ponderados de la densidad y humedad, para el total del tronco, y de las contracciones a 1.3 m de altura

| CLON                           | nº de pies | edad (años) | diám. norm. (cm) | densid. básica (kg/m <sup>3</sup> ) | hum. verde (%) | extrac tivos (*) % | (*) contracciones (%) |      |       |
|--------------------------------|------------|-------------|------------------|-------------------------------------|----------------|--------------------|-----------------------|------|-------|
|                                |            |             |                  |                                     |                |                    | radial                | tang | volum |
| <b>Zamadueñas (Valladolid)</b> |            |             |                  |                                     |                |                    |                       |      |       |
| CAMPEADOR                      | 3          | 17          | 45,3             | 313                                 | 98             | 2.9                | 2.7                   | 8.0  | 10.8  |
| I – 214                        | 3          | 17          | 32,1             | 328                                 | 110            | 3.5                | 2.8                   | 7.8  | 10.8  |
| I – 262                        | 3          | 17          | 36,9             | 365                                 | 107            | 2.8                | 3.2                   | 8.9  | 12.2  |
| CANAD. LEONES                  | 3          | 17          | 36,6             | 380                                 | 91             | 2.9                | 3.0                   | 9.1  | 12.1  |
| I – MC                         | 3          | 17          | 38,2             | 357                                 | 103            | 2.4                | 3.4                   | 9.1  | 12.5  |
| PA – 1                         | 3          | 17          | 39,2             | 375                                 | 99             | 2.6                | 3.0                   | 9.4  | 12.7  |
| I – 476                        | 3          | 15          | 38,8             | 361                                 | 117            | 2.5                | 3.3                   | 9.6  | 13.0  |
| FLEVO                          | 3          | 15          | 38,8             | 359                                 | 120            | 2.8                | 3.5                   | 9.4  | 13.0  |
| AGATHE F                       | 2          | 15          | 40,4             | 360                                 | 142            | 2.8                | 3.1                   | 9.3  | 12.5  |
| DORSKAMP                       | 2          | 14          | 38,1             | 364                                 | 132            | 2.5                | 3.3                   | 9.2  | 12.5  |
| 1 – Z                          | 3          | 14          | 41,1             | 346                                 | 113            | 2.5                | 2.6                   | 8.0  | 10.5  |
| 454 – 40                       | 3          | 14          | 34,8             | 368                                 | 115            | 2.2                | 2.8                   | 9.4  | 12.1  |
| CANAD. BLANCO                  | 3          | 14          | 36,9             | 387                                 | 94             | 2.5                | 2.6                   | 8.6  | 10.8  |
| TR 56/75                       | 3          | 14          | 33,7             | 379                                 | 121            | 3.1                | 2.4                   | 7.8  | 9.8   |
| LUX                            | 3          | 14          | 31,0             | 414                                 | 103            | 1.7                | 3.1                   | 8.7  | 11.3  |
| <b>Montañana (Zaragoza)</b>    |            |             |                  |                                     |                |                    |                       |      |       |
| I – 214                        | 5          | 14          | 45,2             | 328                                 | 82             | 3.2                | 2.6                   | 7.9  | 10.7  |
| FLEVO                          | 6          | 14          | 45,8             | 362                                 | 99             | 3.1                | 3.2                   | 9.3  | 12.8  |
| B - 1M                         | 6          | 14          | 46,1             | 332                                 | 106            | 3.2                | 3.0                   | 8.5  | 11.7  |
| I – MC                         | 6          | 14          | 43,9             | 361                                 | 81             | 3.0                | 2.8                   | 8.6  | 11.7  |
| CAMPEADOR                      | 6          | 14          | 43,6             | 321                                 | 86             | 3.0                | 2.7                   | 8.0  | 11.1  |
| CANAD. BLANCO                  | 6          | 14          | 36,8             | 412                                 | 76             | 3.1                | 3.4                   | 10.1 | 13.6  |
| TRIPLO                         | 6          | 14          | 37,4             | 349                                 | 114            | 3.7                | 2.8                   | 8.6  | 11.8  |
| LUX                            | 6          | 14          | 34,0             | 434                                 | 100            | 2.0                | 3.6                   | 8.4  | 11.8  |
| UNAL                           | 6          | 14          | 38,8             | 352                                 | 108            | 2.7                | 3.1                   | 8.9  | 11.8  |
| HUNNEGEM                       | 6          | 14          | 37,8             | 330                                 | 104            | 2.9                | 2.4                   | 7.6  | 9.8   |
| BEAUPRE                        | 6          | 14          | 35,8             | 349                                 | 101            | 3.1                | 3.1                   | 9.3  | 12.5  |
| RASPALJE                       | 6          | 14          | 39,1             | 329                                 | 113            | 3.1                | 3.0                   | 9.1  | 12.2  |
| BOELARE                        | 6          | 14          | 35,4             | 330                                 | 113            | 2.7                | 3.4                   | 9.6  | 13.1  |
| MONZON                         | 6          | 15          | 40,1             | 369                                 | 112            | 4.3                | 2.9                   | 7.9  | 10.8  |
| I – 488                        | 6          | 15          | 40,1             | 405 *                               | 107 *          | 2.7                | 3.5                   | 8.2  | 11.5  |
| I – 262                        | 6          | 15          | 37,6             | 369                                 | 100            | 2.4                | 2.7                   | 8.0  | 10.6  |
| PINSEQUE                       | 6          | 16          | 37,5             | 425                                 | 88             | 2.9                | 2.8                   | 8.4  | 11.0  |
| CANAD. LEONES                  | 6          | 16          | 29,0             | 413                                 | 85             | 2.6                | 2.8                   | 8.8  | 11.3  |
| DORSKAMP                       | 2          | 15          | 41,9             | 371                                 | 127            | 3.7                | 3.4                   | 9.3  | 12.5  |
| <b>Torrelaguna (Madrid)</b>    |            |             |                  |                                     |                |                    |                       |      |       |
| I – MC                         | 4          | 17          | 31,2             | 374                                 | 93             | 2.8                | 3.4                   | 9.4  | 12.8  |
| I – 262                        | 4          | 17          | 26,9             | 363                                 | 95             | 2.6                | 4.0                   | 9.2  | 13.1  |
| I – 214                        | 4          | 17          | 30,1             | 330                                 | 102            | 3.2                | 2.8                   | 8.0  | 10.9  |
| FLEVO                          | 4          | 17          | 30,2             | 363                                 | 106            | 3.1                | 3.5                   | 9.6  | 13.1  |
| CAMPEADOR                      | 4          | 17          | 32,3             | 323                                 | 98             | 3.1                | 2.8                   | 8.1  | 11.0  |
| 1 – Z                          | 4          | 17          | 31,5             | 364                                 | 86             | 2.6                | 3.6                   | 8.9  | 12.6  |

(\*) Datos correspondientes a la altura de 1,30 m

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Humedad:** La humedad de la madera de una troza de chopo recién apeado depende de muchos factores: proporción de corazón negro, clon, edad, densidad básica, época de corta, humedad del suelo, etc., por lo que los valores medios de la humedad de la madera, por clones, de la tabla 1, se dan solo a título indicativo. Donde existen diferencias importantes es entre la humedad del corazón negro y la de la albura, así como entre las diferentes alturas en el tronco. En la tabla 2 se exponen, para el conjunto de todos los árboles, los valores medios de la humedad de la madera y de la corteza, según su posición en el tronco.

TABLA 2.- Densidad básica y humedad según posición en el tronco

| altura en el tronco (m) | densidad básica madera (kg/m <sup>3</sup> ) | humedad de la madera (%) | humedad corazón negro (%) | humedad de la albura (%) | Relación humedad coraz. negro y albura | humedad de la corteza (%) |
|-------------------------|---|--------------------------|---------------------------|--------------------------|--|---------------------------|
| 1.30                    | 346 (*)                                     | 111 (*)                  | 190 (*)                   | 66 (*)                   | 3.0 (*)                                | 118 (*)                   |
| 6.50                    | 364 (*)                                     | 101 (*)                  | 169                       | 75                       | 2.4                                    | 136 (*)                   |
| 11.70                   | 388 (*)                                     | 91 (*)                   | 170                       | 79                       | 2.3                                    | 145                       |
| 16.90                   | 412 (*)                                     | 85 (*)                   |                           |                          |  | 149                       |

(\*) existen diferencias, significativas al 95 %, con las otras posiciones en altura

De estos valores y del estudio estadístico realizado se puede concluir lo siguiente:

- La humedad media de la sección total del tronco sin corteza disminuye con la altura, existiendo diferencias significativas entre las cuatro alturas estudiadas.
- La humedad del corazón negro es máxima a la altura de 1.30 m, existiendo diferencias significativas con las de las otras alturas.
- La humedad de la albura, al contrario que la del corazón negro, es mínima a la altura de 1.30 m, existiendo diferencias significativas con las otras dos.
- La relación entre la humedad del corazón negro y la de la albura disminuye con la altura en el tronco, existiendo diferencias significativas entre la de la altura en el tronco de 1.30 m, que da el valor máximo, y las otras dos.
- La humedad de la corteza aumenta con la altura, existiendo diferencias significativas entre las tres primeras alturas.

Según la posición radial, la humedad disminuye, de forma altamente significativa, al aumentar la distancia a la médula ( tabla 3).

**Densidad:** A igualdad de clon, las diferencias de densidades existentes entre parcelas no son importantes. Los de la parcela de Valladolid tienen la densidad básica (relación entre la masa anhidra y el volumen en verde) algo más baja que los de la de Zaragoza, siendo más acusada esta diferencia en los clones de densidad más elevada.

En el gráfico de la figura 4 se dan, por clones y parcelas, los valores medios ponderados de la densidad básica correspondientes al tronco entre la base y los 13 m de altura.

Entre clones existen diferencias significativas. En la parcela de Zaragoza, con mayor número de clones y de árboles por clon, se pueden considerar los siguientes grupos homogéneos, con diferencias significativas al 95 %:

Densidad baja (320-340 kg/m<sup>3</sup>): Campeador, I-214, Raspalje, Boelare, Hunnegen y B-1M

Densidad media baja (340-360 kg/m<sup>3</sup>): Triplo, Beaupre y Unal

Densidad media alta (360-380 kg/m<sup>3</sup>): MC, Flevo, I-262, Monzón y Dorskamp

Densidad alta (400-420 kg/m<sup>3</sup>): Canadiense leonés y Canadá blanco

Densidad muy alta (420-440 kg/m<sup>3</sup>): Pinseque y Lux

La densidad básica aumenta con la altura en el tronco. Considerando el total de los árboles estudiados, sin distinción de clon ni parcela, se han encontrado diferencias, altamente significativas, entre los valores medios de la densidad básica, en las cuatro alturas consideradas (tabla 2).

Esta regla general de aumento de la densidad básica con la altura en el tronco no se cumple en la parte baja del mismo, donde la densidad disminuye desde la base hasta una altura próxima a 1,30 m (GUTIÉRREZ, 1992) para aumentar, a partir de ese punto, con la altura en el tronco.

En cuanto a su posición radial, la densidad básica presenta diferencias significativas entre las tres zonas estudiadas (tabla 3), en la que puede verse que la máxima densidad se encuentra en la zona exterior y, la mínima, en la zona media. El hecho de que la densidad básica del interior sea superior a la de la zona intermedia, podría hacer pensar en la diferencia del contenido de extractivos, pero las determinaciones realizadas con la madera extractada dan valores muy similares, aunque ligeramente más bajos, que los de la madera sin extractar (tabla 4).

Tanto la densidad anhidra "DA" (masa y volumen en estado anhidro) como la densidad normal "D12" (masa y volumen al 12 % de humedad) están estrechamente correlacionadas con la densidad básica. Las ecuaciones de regresión, calculadas con los datos obtenidos de probetas de todos los árboles, fueron las siguientes:

$$DA = 1,143 * DB - 4,4 \quad (\text{coeficiente de correlación } 0,996)$$

$$D12 = 1,191 * DB - 3,5 \quad (\text{coeficiente de correlación } 0,996)$$

La densidad en verde (DV) depende de dos factores: la densidad básica (DB) y la humedad (H), existiendo la siguiente relación matemática exacta

$$DV = DB * (1 + 0.01 * H) \quad \text{para } H \geq \text{PSF}$$

Por lo que la densidad en verde varía con la humedad.

No existen diferencias significativas de la densidad en verde entre las tres alturas principales: 1.30, 6.50 y 11.70 m; el aumento de la densidad básica con la altura se ve compensado por la disminución de la humedad. Su comportamiento radial es similar al de la humedad, por su gran dependencia de la misma, disminuyendo desde el interior al exterior (tabla 3)

TABLA 3.- Valores medios, según la posición radial y a la altura en el tronco de 1,3 m, de la humedad, densidad y contracciones de la madera sin extractar

| posición radial | humedad % | densidad en verde kg/m <sup>3</sup> | densidad básica kg/m <sup>3</sup> | contr. volum. % | contr. radial % | contr. tang. % | anisot. absol. índice | anisot. relativa índice |
|-----------------|-----------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------------|-------------------------|
| interior        | 182 *     | 932 *                               | 332 *                             | 12.3 *          | 2.96            | 9.30 *         | 6.34 *                | 3.27 *                  |
| media           | 132 *     | 756 *                               | 326 *                             | 11.8            | 2.96            | 8.83 *         | 5.98 *                | 3.03 *                  |
| exterior        | 60 *      | 555 *                               | 345 *                             | 11.6            | 3.12 *          | 8.46 *         | 5.34 *                | 2.75 *                  |

(\*) existen diferencias, significativas al 95 %, con las otras posiciones radiales

TABLA 4.- Valores medios, según la posición radial y a la altura en el tronco de 1,3 m, de extractivos, densidad básica y contracciones de la madera extractada

| posición radial | contenido extractivos % | densidad básica kg/m <sup>3</sup> | contr. volum. % | contr. radial % | contr. tang. % | anisotr. absoluta índice | anisotr. relativa índice |
|-----------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------------------|--------------------------|
| interior        | 3.20 *                  | 323 *                             | 12.7            | 3.26 *          | 9.54           | 6.34 *                   | 3.27 *                   |
| media           | 3.02 *                  | 318 *                             | 12.8            | 3.45 *          | 9.55           | 5.88 *                   | 3.04 *                   |
| exterior        | 2.53 *                  | 337 *                             | 12.8            | 3.71 *          | 9.28 *         | 5.34 *                   | 2.73 *                   |

(\*) existen diferencias, significativas al 95 %, con las otras posiciones radiales

**Contracciones:** Los valores medios de las contracciones, para el conjunto de los árboles, obtenidos en las tres posiciones radiales, a la altura en el tronco de 1,3 m, pueden verse en la tabla 3. Destaca el hecho de que mientras la contracción radial tiene su valor máximo en la zona externa (albura), la tangencial lo tiene en la interior (corazón negro) y disminuye hacia el exterior. Como consecuencia de ello, los valores de los coeficientes de anisotropía absoluta (diferencia entre las contracciones tangencial y radial) y de la anisotropía relativa (relación entre las mismas) son significativamente más altos en el corazón negro que en la albura y, por tanto, el riesgo de deformación durante el secado, es mayor en el primero. Los valores de estos coeficientes son altos. Valores superiores al 2,2 de la anisotropía relativa, unido a valores superiores a 3 de la absoluta, pueden dar problemas de deformaciones en el proceso de secado (RIJSDIJK & LAMINNG 1994).

Los valores de las contracciones de la madera extractada (tabla 4) son algo mayores que los de la madera sin extractar. Este incremento es mayor, de forma significativa, en la albura que en el corazón negro, a pesar del menor contenido de extractivos.

**Extractivos:** El contenido de extractivos disminuye, de forma significativa, desde el corazón negro hasta la albura (tabla 4); sin embargo, sus diferencias no son importantes.

Los valores medios por clon, a la altura en el tronco de 1,3 m, se dan en la tabla 1. Entre ellos destacan: por abajo, el "Lux" que, en ninguna de las dos parcelas dio valores superiores al 2%, mientras el "Monzón" superó el 4 %. Los valores de los restantes clones oscilaron entre el 2,2 y el 3,7 %

## CONCLUSIONES

La humedad disminuye con la altura en el tronco siendo, la del corazón negro, del orden de 2.2 a 3 veces superior a la de la albura

El factor clon es el que mayor influencia tiene en la densidad básica, existiendo clones como: Campeador, I-214, Raspalje, Boelare, Hunnegen y B-1M con valores medios que no llegan a los 350 kg/m<sup>3</sup>, mientras otros: Canadiense leonés, Canadá blanco, I-488, Pinseque y Lux, superan los 400 kg/m<sup>3</sup>. En todos los clones, la densidad básica aumenta, a partir de 1.30 m, con la altura en el tronco. El factor parcela, aunque existe, tiene una influencia menor en la densidad básica.

La contracción volumétrica de los chopos no es elevada, sin embargo, las grandes diferencias entre los valores de las contracciones tangenciales y las radiales, principalmente en el corazón negro, pueden provocar problemas durante el secado..

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer la valiosa colaboración de las siguientes personas y organismos: a los investigadores D. Leonardo Plana Claver del SIA de Zaragoza y D. Federico González Antoñanzas del INIA de Madrid, por su información sobre los datos de los árboles y de las parcelas de procedencias, a D. Armando Herrero del Servicio Territorial de Medio Ambiente de Valladolid, al SIA de Zaragoza y al Servicio Territorial del Medio Ambiente de Valladolid por el aporte de los árboles utilizados en este trabajo, a las firmas "Madhis-Fic" de Cuenca, "Envases Monzón" de Ateca (Zaragoza) y "Ufesa" de Hellín (Albacete) por su ayuda en el apeo y tronzado de los troncos y a D. Lorenzo Ortiz y D<sup>a</sup> Purificación Parra, por el trabajo realizado en todas las operaciones llevadas a cabo en el laboratorio.

## BIBLIOGRAFÍA

GREEN D.W., WINANDY J.E., KRETSCHMANN D.E.; (1999). *Mechanical properties of wood*, In: Wood Handbook; Forest Prod. Lab., USDA Forest Servi. Madison , Wisconsin. pp. 4-1 a 4-45

GUTIÉRREZ, A.; (1992). *Características físico-mecánicas*, In: Tecnología selvícola e industrial del chopo, vol II Proceedings 19<sup>a</sup> session of the IPC, Zaragoza, pp 227-275

RIJSDIJK, J. F. & LAMINNG, P. B.; (1994). *Physical and related properties of 145 timbers*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 380 p.

SHOTTAFFER J.E., SHEPARD R.K., KERR R.D.; (1981). *Effect of specific gravity variation on the strength properties of wood*. CFRU information report 9, University of Maine Orano. 9 p.

YANCHUK A.D., DANKIK B.P., MICKO M.M.; (1983). *Intraclonal variation in wood density of trembling aspen in Alberta*. Wood an Fiber Sci. 15 (4), pp. 387-394

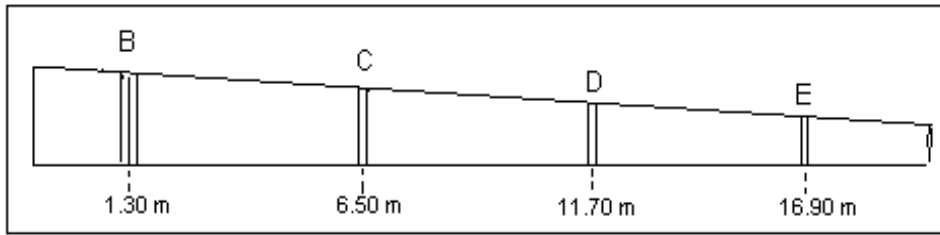


Figura 1.- Corte de discos en el tronco

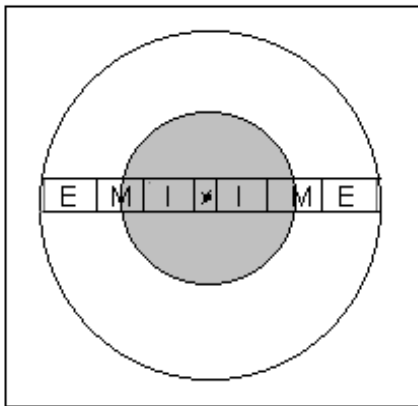


Figura 2.- Probetas de contracción

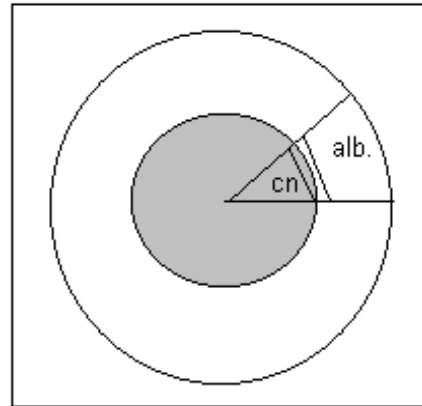


Figura 3.- Probetas de humedad

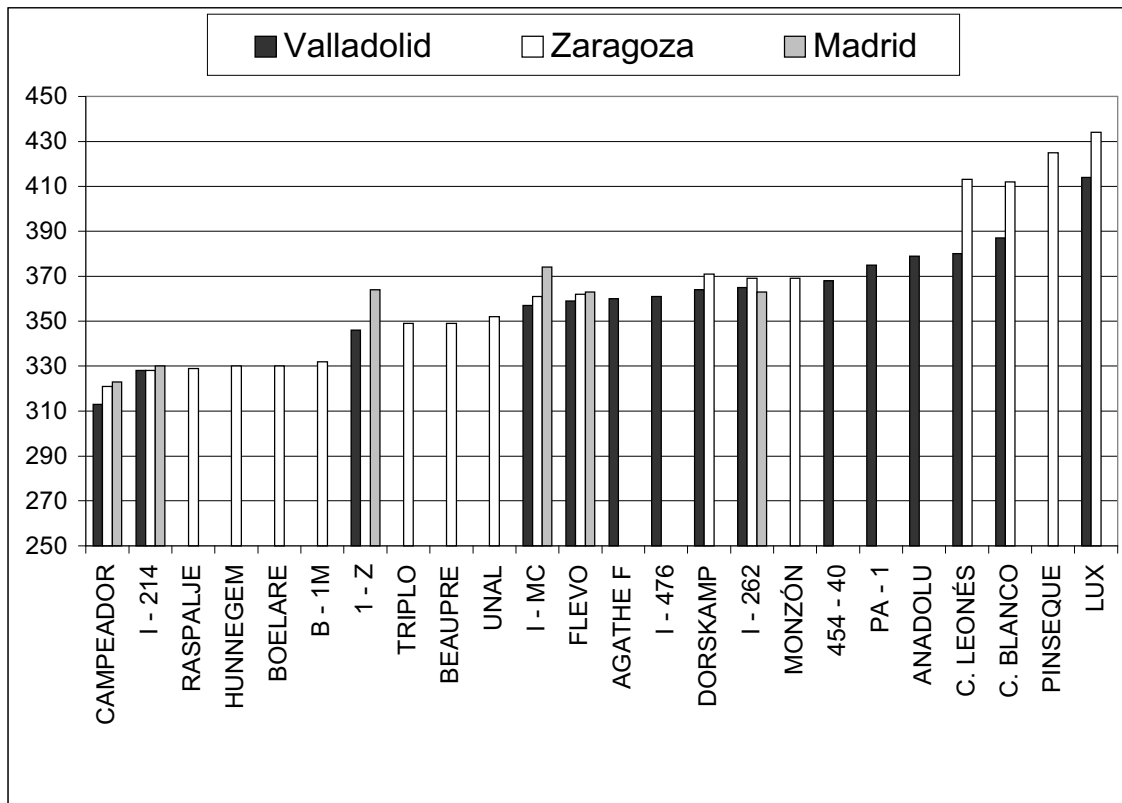


Figura 4.- Densidad básica por clon y parcela