



Universidad de Valladolid
Campus de Palencia

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍAS AGRARIAS

Máster en Ingeniería de Montes

ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO EN
CALIDAD DE LA CHAPA DE TRES CLONES
DE CHOPO MEDIANTE ULTRASONIDOS

Alumno: Gonzalo Arrea Navarro

Tutora: Milagros Casado Sanz

Cotutor: Roberto San Martín

Mayo de 2015

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a mi tutora Milagros, por toda la ayuda facilitada y la continua disposición que ha mostrado ante la elaboración de este estudio.

En segundo lugar, agradecer a mis padres y a mi hermano por el apoyo continuo hacia mi persona y por aguantarme en mis años de universidad, que no han sido pocos.

En tercer lugar, agradecer a Enrique de la Monja y a Pedro Romero, compañeros del departamento forestal de Garnica Plywood Baños de Río Tobía S.A.U, por la ayuda ofrecida en la toma de datos para la realización del estudio, así como por su apoyo.

Por último, agradecer al conjunto de la empresa Garnica Plywood Baños de Río Tobía S.A.U, por darme la oportunidad de realizar las prácticas en sus instalaciones y ofrecerme la oportunidad de elaborar el presente estudio, así como por la disposición de utilización de instrumentos y maquinaria para la toma de datos.

A todos ellos, GRACIAS.

ÍNDICE

1	Resumen.....	7
2	Antecedentes.....	10
2.1	Introducción.....	10
2.1.1	Los bosques	10
2.1.2	Industria de la madera.....	15
2.2	El chopo y su cultivo	16
2.2.1	El género <i>Populus</i>	16
2.2.2	Populicultura	18
2.2.3	<i>Populus x euramericana</i>	20
2.2.4	<i>Populus x interamericana</i>	23
2.3	El Chopo en España	25
2.4	Las plantaciones de chopo como sumidero de CO₂.....	26
2.5	Singularidades de la madera.....	28
2.6	Calidad de la chapa de chopo	32
2.7	Propiedades de la madera.....	38
2.7.1	Propiedades físico-mecánicas.....	38
2.7.2	Comparación con otros materiales estructurales	43
2.8	Madera de chopo para chapa o desarrollo	44
2.8.1	Normativa europea y española para la clasificación de madera en rollo.....	45
2.9	Relación con estudios anteriores	46
3	Objetivos.....	48
4	Material y métodos	50
4.1	Datos generales del muestreo	50
4.2	Metodología empleada	54
4.2.1	Mediciones en campo	55
4.2.2	Medición en parque.....	62
4.2.3	Medición en el torno.....	66
4.2.4	Mediciones en el laboratorio.....	67
4.2.5	Equipos e instrumentos de uso común	69

4.3	Tratamiento estadístico de los datos	70
4.3.1	Estadística descriptiva. Medidas de centralidad y dispersión	71
4.3.2	Estadística comparativa. Análisis de varianza para comparación de medias	72
4.3.3	Funciones de predicción	72
5	Resultados y discusión	75
5.1	Estadística descriptiva	75
5.1.1	VARIABLES MEDIDAS EN CAMPO Y EN PARQUE	75
5.1.2	VARIABLES MEDIDAS EN LABORATORIO	79
5.1.3	VARIABLES MEDIDAS EN EL TORNO	81
5.1.4	Tabla resumen de la estadística descriptiva	85
5.2	Diferencia entre clones	87
5.2.1	Diferencias entre clones para las variables medidas en la chopera	87
5.2.2	Diferencia entre clones para las variables medidas en el parque de madera	90
5.2.3	Diferencia entre clones para las variables medidas en el laboratorio	92
5.2.4	Diferencia entre clones para las variables medidas en el torno	96
5.2.5	Diferencias de velocidades de ultrasonidos en pie y en troza para cada clon por separado	105
5.3	Funciones de predicción	108
5.3.1	Estimación de la densidad básica de la madera en función de la penetración con el equipo "Pilodyn"	110
5.3.2	Estimación de la densidad en verde de la madera en función de la penetración con el equipo "Pilodyn"	118
5.3.3	Estimación del volumen de chapa obtenida en función de la velocidad de ultrasonidos en pie y el diámetro normal	126
5.3.4	Estimación del volumen de chapa obtenida en función de la velocidad directa de ultrasonidos sobre la troza y el diámetro normal	128
5.3.5	Estimación del volumen de chapa obtenida en función de la velocidad indirecta de ultrasonidos sobre la troza y el diámetro normal	130
5.3.6	Estimación del volumen de chapa de calidad "Almas Verdes" obtenido en función de 7 variables independientes	132
5.3.7	Estimación del volumen de chapa de calidad "Almas Blancas" obtenido en función de 7 variables independientes	134

5.3.8	Estimación del volumen de chapa de calidad "C Blanca" obtenido en función de 7 variables independientes.	136
5.3.9	Estimación del volumen de chapa de calidad "BB" obtenido en función de 7 variables independientes.	139
5.3.10	Estimación del volumen de chapa de calidad "B" obtenido en función de 7 variables independientes.	141
5.3.11	Tabla resumen de las funciones de predicción	144
5.4	Relación de la calidad visual con la calidad de chapa obtenida	145
6	Conclusiones.....	148
7	Bibliografía	152

1. RESUMEN

1. Resumen

Para el presente estudio se ha trabajado con tres clones de chopo diferentes, por un lado con los clones *Populus x euramericana* "I-214" y *Populus x euramericana* "I-MC" y por otro lado con el clon *Populus x interamericana* "Beaupre". Se puede decir que estos tres clones son los más utilizados en plantaciones de chopo en la actualidad las cuales van destinadas para la industria del desarrollo.

Se ha pretendido desarrollar una metodología de ensayos utilizando la velocidad de transmisión de la onda sónica con el ensayo de ultrasonidos, para la determinación de la calidad de chapa obtenida tras el desarrollo de la madera a partir de las mediciones del árbol en pie y sobre las trozas, así como con otras mediciones sobre la morfología del árbol.

Para ello se ha trabajado con 40 chopos por clon, haciendo un total de 120 chopos, procedentes de una chopería situada en el término municipal de Mahave (La Rioja), los chopos fueron apeados y tras el tronzado fueron trasladados a la fábrica de Garnica Plywood Baños de Río Tobía S.A.U situada en el término municipal de Baños de Río Tobía (La Rioja).

En campo se realizaron mediciones de ultrasonidos sobre los 120 chopos en pie hasta una altura de 2.6 m, así como otra serie de mediciones sobre morfología y calidad visual de la madera. Ya en fábrica las trozas de chopo de 5.2 m se tronzaron en dos trozas de 2.6 m realizando las mediciones del árbol apeado sobre la misma troza que se había realizado en pie. Una vez que las trozas de ensayo han sido marcadas para su correcta identificación estas se introdujeron en el torno donde se tomó medida del número de chapas de cada calidad que se obtuvieron a partir de las 120 trozas.

Tras la realización de las mediciones mencionadas anteriormente y procesando los datos con el programa estadístico STATGRAPHICS CENTURION XVI, se obtuvieron resultados concluyentes sobre la densidad en verde de la madera, la penetración con el equipo "Pilodyn", la calidad visual de la madera, así como con la calidad de chapa y el rendimiento en el desarrollo.

Se han determinado también varias funciones de predicción para variables como la densidad básica de la madera, la densidad en verde y el volumen de chapa obtenido para cada calidad.

Se ha reflejado también una clara relación entre la calidad visual de la madera medida sobre los árboles en pie y la calidad de chapa que dichos árboles producen tras el desenrollo de la madera.

Para finalizar se debe apuntar que no existe relación alguna entre la velocidad de ultrasonidos tanto en pie como sobre la troza y la densidad de la madera como se creía, ya que esta velocidad depende de otros factores como la tensión de la madera, las singularidades de esta y el corazón de la misma.

2. ANTECEDENTES

2. Antecedentes

2.1 Introducción

2.1.1 Los bosques

En la mayoría de las regiones del mundo, los bosques y los sistemas agroforestales desempeñan un papel importante para los medios de vida de la población rural al proporcionarle empleo, energía, alimentos nutritivos y una vasta gama de bienes y servicios de los ecosistemas. Los bosques gestionados correctamente poseen un enorme potencial para contribuir al desarrollo sostenible y a una economía más verde; sin embargo, faltan datos empíricos que permitan demostrarlo con claridad.

Estos sistemas forestales contribuyen al mantenimiento de la biodiversidad, tanto de especies animales como vegetales; poseen una elevada capacidad de autoregeneración y reciclado de nutrientes, ejercen un importante papel protector sobre el suelo frente a la erosión así como una función de sistema filtrante del aire y del agua en el sustrato. Por último, ejercen una contribución importante dentro del ciclo global del carbono y, por tanto, del cambio climático, debido a la capacidad de los bosques para actuar como sumideros de carbono.

Los ecosistemas forestales cubren grandes áreas y tienen una importante contribución en los flujos de masa y energía. Concretamente en Europa, los bosques representan un 46% de la superficie terrestre; incrementando en nuestro continente un 0.1% cada año (FAO, 2001). La distribución de la superficie forestal de la Unión se encuentra localizada de forma desigual: solo seis Estados miembros (Alemania, España, Finlandia, Francia, Polonia y Suecia) abarcan dos tercios de la superficie forestal europea.

España es el país de la Unión Europea donde más ha crecido la superficie forestal en el periodo 1990-2005; según el Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN 3) (www.mma.es/secciones/biodiversidad/inventarios), contamos con un total de 27.527.974 ha de uso forestal y 23.064.588 ha de uso no forestal. Por comunidades autónomas, la superficie forestal se distribuye tal como se indica en la Tabla 1.

ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO EN CALIDAD DE LA CHAPA DE TRES CLONES DE CHOPO MEDIANTE ULTRASONIDOS

	Monte arbolado no adheresado	Bosque adheresado	Monte arbolado ralo y disperso	Total monte arbolado	Monte desarbolado	Total de uso forestal	Total de uso no forestal	Total
Galicia	1299621	0	105831	1405452	634123	2039575	917872	2957447
Islas Baleares	170967	0	15410	186377	37224	223601	257565	499166
Murcia	289435	0	26857	316292	169727	486019	645241	1131260
Asturias	434903	0	16213	451116	313481	764597	295760	1060357
Cantabria	209611	0	4646	214257	145202	359459	172680	532139
Navarra	445670	0	16994	461664	123849	586513	452556	1039069
La Rioja	163206	0	6346	169552	131924	301476	203051	504527
Madrid	225402	19466	25217	270086	150007	420093	382676	802769
Extremadura	783838	1035976	101436	1921250	805982	2727233	1436221	4163453
Cataluña	1541244	0	84968	1626212	304270	1930482	1280886	3211368
Canarias	122102	0	11989	134091	429554	563645	181050	744695
Castilla y León	2435329	396881	150106	2982317	1825414	4807731	4614812	9442543
Castilla La Mancha	2238000	266803	234794	2739598	825182	3564779	4378493	7943272
Aragón	1458277	0	119714	1577991	1030321	2608312	2163683	4771996
País Vasco	395268	0	2563	397831	97224	495055	228409	723464
Valencia	680069	0	74390	754459	500879	1255338	1070114	2325452
Andalucía	1947467	375879	332503	2665849	1738216	4394066	4365519	8759585
ESPAÑA	14840411	2095006	1329977	18265394	9262580	27527974	23064588	50592561

Tabla 1. Superficie forestal y no forestal, en hectáreas, según tipo de formación por comunidades autónomas (IFN3).

La superficie forestal de La Rioja ocupa un 62% del territorio regional, siendo la superficie cubierta por árboles del 57% de la superficie forestal y la superficie desarbolada un 43%. Dentro de la superficie arbolada de la comunidad el 50.6% de la superficie es arbolado denso, el 5.8% es arbolado ralo y el 0.5% es arbolado temporalmente sin cobertura. En la Tabla 2 podemos observar la evolución de la superficie arbolada y desarbolada de la comunidad desde el primer Inventario Forestal Nacional (IFN) hasta el cuarto Inventario.

	Evolución de la superficie forestal (ha) entre el IFN1 y el IFN4				Valoración IFN3/IFN4 (%)
	IFN1	IFN2	IFN3	IFN4	
Monte arbolado total	92590.00	128916.75	169919.85	176826.02	4.06
Monte arbolado denso		118805.63	160200.47	157267.16	-1.83
Monte arbolado ralo		10111.12	8068.21	17993.26	123.01
Monte temporalmente sin cobertura			1651.17	1565.60	-5.18
Monte desarbolado total	174568.00	165486.86	131555.62	134126.25	1.95
Monte desarbolado con arbolado disperso			1282.84	632.96	-50.66
Monte desarbolado			130272.78	133493.29	2.47
Total forestal	267158.00	294403.61	301475.47	310952.27	3.14

Tabla 2. Evolución de la superficie arbolada y desarbolada en hectáreas de la Comunidad Autónoma de la Rioja.

En relación con las especies, las frondosas representan el 59.8% de las masas arboladas, siendo las especies más representativas la encina, el roble, el haya, el chopo etc., mientras que las coníferas cubren el 35.4% representado principalmente por pinos y abetos. El 4.8% restante está ocupado por mezcla de ambos grupos de especies (4º IFN).

La superficie ocupada por las principales especies según el IFN 4 es la dispuesta en la Tabla 3.

Formaciones forestales arboladas	Superficie	
	(ha)	(%)
Melojares (<i>Quercus pyrenaica</i>)	30726.61	17.53
Hayedos (<i>Fagus sylvatica</i>)	25555.07	14.58
Encinares (<i>Quercus ilex</i>)	19514.87	11.13
Quejigares de <i>Quercus faginea</i>	5244.21	2.99
Masas dominadas por frondosas autóctonas	81040.76	46.23
Pinares de pino albar (<i>Pinus sylvestris</i>)	16316.59	15.02
Pinares de pino salgareño (<i>Pinus nigra</i>)	9428.37	5.38
Pinares de pino carrasco (<i>Pinus halepensis</i>)	8808.03	5.03
Enebrales y sabinares (<i>Juniperus sp.</i>)	5374.25	3.07
Pinares de pino negro (<i>Pinus uncinata</i>)	2169.17	1.24
Masas dominadas por coníferas autóctonas	52096.41	29.74
Bosque mixto de frondosas autóctonas	13746.06	7.84
Mezcla de coníferas y frondosas autóctonas	8452.83	4.82
Mezcla de coníferas autóctonas	8101.93	4.62
Mezcla de coníferas y/o frondosas autóctonas	30300.82	17.28
Bosques ribereños	6563.59	3.75
Riberas	6563.59	3.75
Choperas de producción	3455.38	1.97
Otras coníferas alóctonas de producción	1803.46	1.03
Replantaciones de producción	5258.84	3.00
Total	175260.42	100.00

Tabla 3. Superficie en hectáreas, de las principales especies en La Rioja según el 4º IFN

En la siguiente figura (Figura 1) podemos observar la variación de los metros cúbicos de madera con corteza para las principales especies en el periodo comprendido entre el tercer y cuarto Inventario Forestal Nacional (IFN).

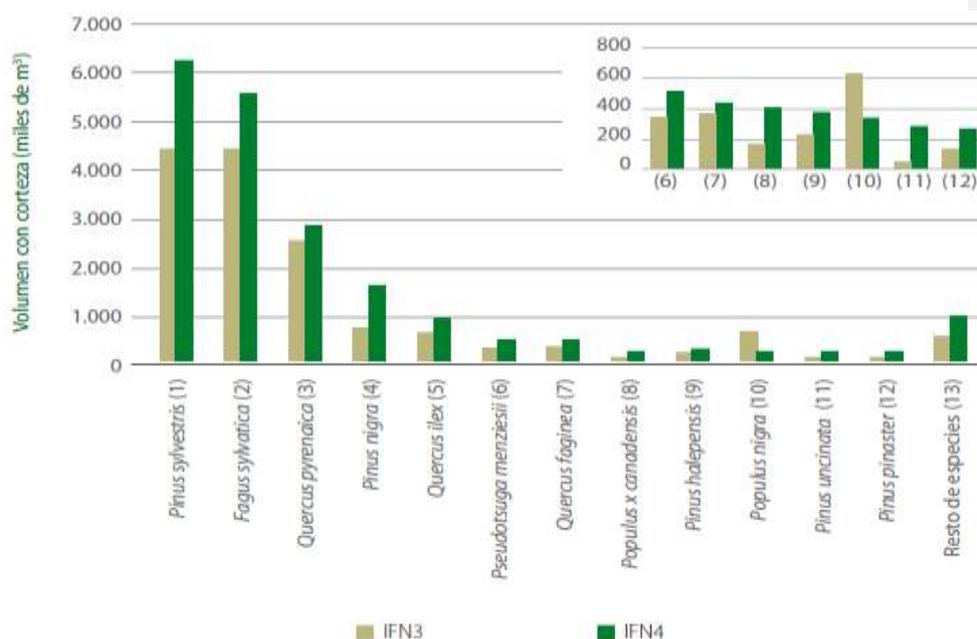


Figura 1. Volumen maderable con corteza para las principales especies forestales de la Comunidad: variación entre el IFN3 al IFN4.

En cuanto a la superficie forestal ocupada por el chopo únicamente nos incumbe para el presente trabajo la superficie ocupada por choperas de producción debido a que a partir de ellas se obtiene la materia prima que va a ir destinada para la producción de chapa. Como ya se ha indicado con anterioridad los clones más utilizados en la actualidad son el *Populus x euramericana* "I-214", *Populus x euramericana* "I-MC" y *Populus x interamericana* "Beaupre", sobre estos tres clones se va a realizar el presente trabajo.

Dichas choperas de producción están establecidas en zonas de ribera, en la cercanía de los cursos de agua con escasa pendiente, por debajo de los 600 metros. En la comunidad riojana se presentan principalmente en la mitad norte, en las zonas de valle asociadas mayoritariamente a las riberas de los ríos Oja y Najerilla. También aparecen en menor medida en los ríos Tirón, Iregua y Leza, todos afluentes o subafluentes del Ebro, y en el propio Ebro, en el extremo correspondiente a la región de la Rioja Baja.

En la siguiente tabla (Tabla 4) obtenida a partir del cuarto Inventario Forestal Nacional (IFN 4), se puede observar las existencias totales de madera en número de pies para las choperas de producción.

Existencias totales	
Nº pies mayores	1198483
VCC (m ³)	421501
Nº pies menores	675100

Tabla 4. Existencias totales en número de pies y volumen maderable para las choperas de producción de la Comunidad Autónoma de la Rioja (IFN 4).

A continuación se presenta el mapa de la Comunidad Autónoma de La Rioja en el cual aparecen detalladas las zonas ocupadas por las choperas de producción de la comunidad, dicho mapa así como las tablas anteriores han sido obtenidos del cuarto Inventario Forestal Nacional (IFN 4) para la comunidad de La Rioja, el cual se puede obtener a partir de la página del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (<http://www.magrama.gob.es/es/>).

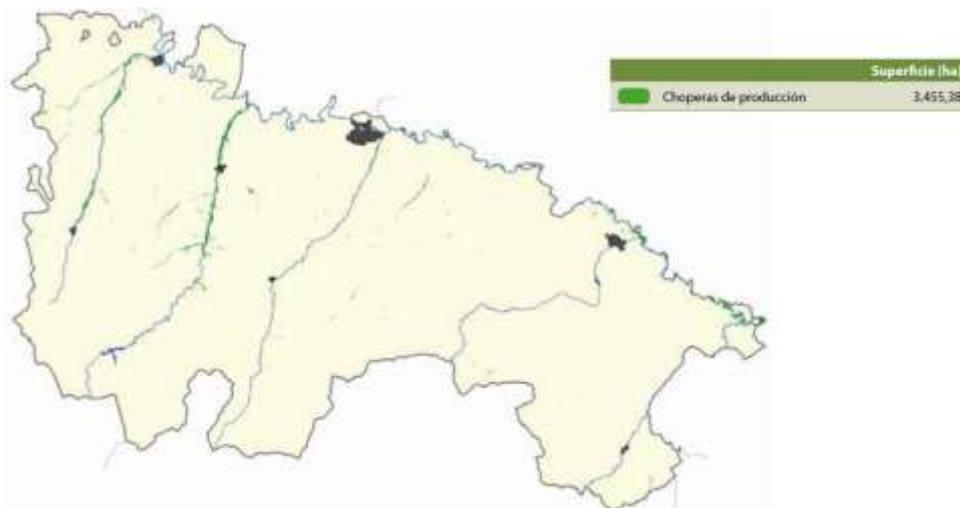


Figura 2. Localización de las choperas de producción en La Rioja.

Como se puede observar en la figura anterior, las choperas de producción en La Rioja ocupan una superficie de 3455 ha, localizadas fundamentalmente en los cursos bajos de los ríos Oja, Najerilla, Tirón y en la ribera del Ebro a su paso por la región de la Rioja Baja.

2.1.2 Industria de la madera

La estructura general de la industria forestal en La Rioja es la de una región en la que a pesar de contar con una buena situación en cuanto a disponibilidad de recursos forestales presenta un escaso desarrollo industrial.

En el año 2012, uno de los años más castigados por la crisis española el sector del Mueble y la Madera en La Rioja situó a los productos procesados a partir de la madera en el decimosegundo producto en cuanto a exportaciones en la región.

El valor de las ventas alcanzó los 24,80 millones de euros. Los muebles del hogar representaron el 89,29% de las exportaciones riojanas del sector. A continuación se situaron los muebles de cocina (7,10%), los muebles de oficina (1,85%) y los somieres y colchones (1,85%). Francia fue el principal país de destino, ya que acaparó el 29,11% de las ventas internacionales.

En la actualidad del total de empresas existentes en La Rioja, el 12% viene a suponer el sector industrial y dentro de éste, el 17% lo conforman las empresas de la madera y el mueble. En términos de empleo supone el 4% del trabajo que se crea en el sector industrial.

A nivel nacional, los datos del segundo trimestre del 2014 publicados por la Encuesta de Población Activa (EPA) suponen un giro positivo para el empleo en la industria de la madera y el mueble, con un aumento del 1,9% de los trabajadores ocupados en esta industria. El sector madera y mueble pasa a ocupar a 128.200 trabajadores, frente a los 125.800 del primer trimestre del año.

El sector de la madera, sin duda, se trata de un sector histórico en La Rioja que requiere de unos cuidados especiales dado que su situación es realmente delicada en un estado de crisis continuo por muchos motivos. Pero aún así, cuenta con un destacado subsector del mueble, especialmente el de cocina, baño, sillas, auxiliar; y que maneja cifras de primer orden en tablero contrachapado de chopo; sobresalientes empresas en el sector de butacas de madera, envases, fabricación de pallets, tonelería o carpintería, por el que sin duda merece la pena apostar. Existen en esta región ejemplos que demuestran cómo la innovación permite mantener una regularidad exportadora que garantiza puestos de trabajo, este es el caso de las empresas dedicadas a la fabricación de tablero contrachapado de chopo y las empresas del sector de la butaca.

El sector de la chapa y el tablero contrachapado en esta comunidad consume unos 300 m³/día de madera de chopo procedente de cultivo, siendo el 80% del clon I-214, con un consumo anual de 72000 m³/año. Se pueden distinguir tres tipos de productos, desarrollándose un subsector por cada uno de ellos (GIL & TORRE, 2007):

- Chapa seca de gran formato para tablero industrial de grandes dimensiones.
- Tablero contrachapado de pequeñas dimensiones para envase, lamas o industria en pequeño formato.
- Chapa verde.

La madera de chopo de mayor calidad es utilizada para la construcción de estructuras. El actual marco legislativo y normativo, con la *Ley de Ordenación de la Edificación*, el *Código Técnico de la Edificación*, y la *Directiva Europea de Productos de la construcción*, contempla por primera vez a la madera y sus productos derivados para uso estructural en igualdad de condiciones con otros materiales, ofreciendo en la edificación las mismas garantías de calidad y seguridad estructural.

2.2 El chopo y su cultivo

2.2.1 El género *Populus*

El género *Populus* pertenece taxonómicamente al Orden Salicales, al Grupo Amentiflora y a la Familia Salicáceas (SERRADA *et al.*, 2008).

A su vez la Familia Salicáceas está formada únicamente por dos géneros, por un lado el Género *Salix* (sauces) y por otro lado el Género *Populus* (álamos y chopos), entre ambos géneros la familia reúne unas 530 especies. Estas especies se encuentran distribuidas en su mayoría por las regiones templadas y frías del Hemisferio Norte.

Se trata de árboles o arbustos de hoja caduca. Las hojas son simples, alternas, muy raramente opuestas, con estípulas que se caen por lo general muy pronto. Las flores son siempre unisexuales; las flores femeninas y las masculinas van por lo general en pie de planta diferente, estas se encuentran agrupadas y se encuentran con frecuencia colgantes (*Populus*) y otras veces erguidas (*Salix*); carecen de sépalos o pétalos y se sitúan en la axila de una bráctea. Las flores femeninas poseen un pistilo formado por 2 hojas carpelares, mientras que las flores masculinas tienen 1 (2)-60 estambres; el ovario es súpero; el estilo es corto y acaba por lo general en dos estigmas que suelen ser bífidos. El fruto es seco, en cápsula, con una sola cavidad; se abre al madurar en 2-4 valvas. Contiene unas semillas diminutas las cuales están cubiertas por finos pelos

algodonosos para poder ser diseminadas por la acción del viento (LÓPEZ GONZÁLEZ, 2004).

Según la clasificación de Eckenwalder (1996) (SERRADA *et al.*, 2008), se hace diferenciación entre 29 especies dentro del género *Populus*, estas especies se agrupan en 6 secciones (Turanga, Abaso, Leucoides, *Populus*, Tacamahaca y Aigeiros), de las 29 especies solamente tres son autóctonas de nuestro país, *Populus nigra* L. (Sección Aigeiros), *Populus alba* L. y *Populus tremula* L. (ambas pertenecientes a la Sección *Populus*). El género *Populus* es un género de crecimiento rápido y presenta una fácil reproducción por semilla y una sobresaliente propagación por estacas, estaquillas brotes etc.

Los clones se definen como el grupo de ramets los cuales proceden originariamente de un único individuo denominado ortet, mediante propagación vegetativa. Esta capacidad de hibridación entre las diferentes especies hace que sea posible encontrar la opción adecuada al objetivo productivo fijado y a las características de la estación en la cual va a establecerse la nueva población.

En el caso de España los clones de chopo comercializados son aquellos que se encuentran incluidos en el Catálogo Nacional de Materiales Base para el género *Populus* (Orden Ministerial de 24 de junio de 1992), así como la Orden de ampliación (6 de marzo de 2003), que recogen un conjunto de 28 clones (Tabla 5) que han sido testados bajo diferentes condiciones edafoclimáticas en nuestro país, de tal forma que están admitidos bajo la categoría de material controlado.

	1992	2003
	Agathe F	2000 verde
	Campeador	B-1M
	Canadá Blanco	BI-Constanzo
	Flevo	Branagesi
<i>Populus x euramericana</i> (Doge) .Guinier	I-Mc	Dorskamp
	I-214	Guardi
	I-488	I-454/40
	Luis avanzo	NNDV
	Tripló	

Tabla 5. Clones de chopo que constituyen el Catálogo Nacional de Materiales Base (SERRADA *et al.*, 2008).

	1992	2003
<i>Populus x interamericana</i> Broekhuizen	Beaupre	Boelare
	Raspalje	Unal
		USA 49-177
<i>Populus deltoides x Populus alba</i>	114/69	-
<i>Populus deltoides</i> Marsh	Lux	Viriato
<i>Populus nigra</i> L.	Anadolu (tr 56/75)	Boridis
		Lombardo leonés

Tabla 5 (Cont). Clones de chopo que constituyen el Catálogo Nacional de Materiales Base (SERRADA et al., 2008).

2.2.2 Populicultura

La selvicultura del chopo o también denominada populicultura es la técnica que trata el cultivo del chopo. La policultura es una parte muy especializada de la selvicultura debido a su marcado carácter intensivo en las labores y tratamientos que se llevan a cabo sobre el arbolado y a que se trabaja habitualmente con individuos controlados genéticamente.

Actualmente en la CEE se ha producido un aumento de los productos derivados de la madera, esto hace que las plantaciones de chopo sean una alternativa a los cultivos agrícolas excedentarios o al abandono de las tierras (GRAU *et al.*, 1996), el aumento de estas superficies de producción de chopo nos lleva a un aumento en la producción de madera de alto valor económico contribuyendo a la captura de carbono procedente de la contaminación atmosférica, a la reforestación de terrenos agrícolas o deforestados, nos permite reducir las importaciones de madera desde terceros países y ayuda a la estabilización del empleo del medio rural.

La superficie que ocupan las masas de *Populus* en el mundo asciende a 20 millones de hectáreas. La mayor parte de esta superficie ocupada por *Populus* tiene origen natural, ocupando una superficie de tan solo 1.5 millones de hectáreas aquellas plantaciones de chopos para producción, con todos los cuidados culturales que requiere este cultivo. Dichas plantaciones de chopos para producción se encuentran fundamentalmente en Francia, España, Italia y otros países de nuestro entorno (Gil & TORRE, 2007).

En el 2007 había 135.710 ha ocupadas por el chopo en nuestro país, alrededor de un 0.5 % de la superficie total forestal y cerca del 1% de la superficie arbolada. Una cifra minúscula en comparación a la riqueza que ofrece respecto a la productividad de esta superficie forestal.

Es destacable la importancia de las especies de crecimiento rápido (eucalipto, pino radiata y chopo, siendo esta última la única autóctona) en el cómputo global de la

madera cortada en España, ocupan alrededor 12% de la superficie forestal arbolada y proporcionan aproximadamente el 68% de las cortas anuales de madera para todos los usos.

Según los últimos datos ofrecidos por la Comisión Nacional del Chopo, en el período 2002-2008 se produjo un incremento medio de la superficie total de choperas del 1,78%, aumentando cerca de 13.000 ha y ocupando un total de 135.710 ha.

Castilla y León con 87.600 ha es la Comunidad Autónoma con mayor superficie dedicada a la producción de chopo y por tanto la principal productora de esta madera en España abarcando el 62,5% de la superficie plantada. El resto de comunidades en las que existen plantaciones de chopo son las siguientes; Aragón (6,5%), Castilla-La Mancha (6,4%), Cataluña (5,9%), Andalucía (5,8%), La Rioja (3%), presentando el resto de comunidades donde se cultivan chopos superficies inferiores al 2% (SERRADA *et al.*, 2008).

A continuación se presenta la Tabla 6 en la que se puede observar la comparativa entre la superficie y las existencias de las choperas de producción entre la comunidad de referencia en este ámbito (Castilla y León) y La Rioja; datos obtenidos del cuarto Inventario Forestal Nacional (IFN 4) para el caso de La Rija y del tercer Inventario Forestal Nacional (IFN 3) para el caso de Castilla y León.

Chopo (<i>Populus sp.</i>)	IFN3 (2002)	IFN 4 (2013)
	Castilla y León	La Rioja
Sup. (ha)	61516	3500
Vol. (m ³)	7990250	426930

Tabla 6. Comparativa de superficie ocupada y existencias maderables de chopo para Castilla y León (IFN3) y La Rioja (IFN4).

Las plantaciones de choperas de producción en nuestro país se encuentran enfocadas principalmente hacia dos fines:

- Plantaciones destinadas a la producción de madera, principalmente para desarrollo, estas plantaciones se caracterizan por presentar marcos de plantación más elevados, con turnos de corta comprendidos entre 11 y 18 años y por la obtención de escuadrías mayores, indispensables para la industria de tableros contrachapados (DE LA CRUZ, 2005).
- Plantaciones destinadas a la producción de biomasa, bioenergía o pulpa de madera, estas plantaciones se caracterizan por marcos de plantación pequeños, turnos de poca duración (4 a 8 años) y densidades de plantación y producciones muy elevadas (DE LA CRUZ, 2005).

2.2.3 *Populus x euramericana*

Se trata de la especie básica más utilizada en la populicultura tanto española como europea. Presenta un crecimiento más que notable en el área mediterránea. Su procedencia se basa en la hibridación de *Populus deltoides* (Chopo negro americano) el cual actúa como parental femenino y *Populus nigra* (Chopo negro europeo) que actúa como parental masculino.

Al tratarse de una hibridación el nuevo individuo aún a las buenas características de ambos progenitores, por un lado presenta las características culturales del *Populus deltoides* que le confieren una buena adaptación a las diferentes estaciones, y por otro lado presenta una alta facilidad para la multiplicación vegetativa y mayor resistencia a plagas y enfermedades, características que provienen del *Populus nigra* (SERRADA *et al.*, 2008).

A continuación se van a presentar las características diferenciadoras del *Populus x euramericana* frente a otros híbridos del chopo.

Descripción

Árbol originado a mediados del siglo XVIII, mediante hibridación artificial, posee una altura más que notable pudiendo alcanzar los 30 metros de alto, presenta un crecimiento muy rápido.

Se trata de un árbol de tronco derecho el cual no presenta abultamientos, presenta corteza con tonalidad que varía entre gris a pardo-grisácea, con la edad la corteza se agrieta de forma longitudinal. Los ramillos son redondeados, angulosos o apostillados, presentando yemas resinosas. Las hojas son de grandes a muy grandes y anchamente deltoideas, estas presentan pelo cortos en el borde o en la cara inferior, el peciolo es largo rojizo y comprimido lateralmente.

Floración y maduración

Las flores femeninas tienen disco persistente y son subsentadas, mientras que las masculinas presentan entre 25 y 30 estambres. Su floración se produce a mitad-final del invierno, la diseminación de los ejemplares femeninos se produce de forma difusa a lo largo de los meses de marzo y abril (RUIZ DE LA TORRE, 1979).

Ecología, temperamento y suelo

Se trata de árboles muy exigentes en cuanto a la fertilidad del suelo y a la humedad edáfica. Requieren suelos muy fértiles con una altura freática alta, abundante y renovada. Se adapta muy bien a climas templados o templados fríos. Prefieren los suelos neutros o básicos no estableciéndose en suelos con pH inferior a 5.8. Precisa un volumen de suelo lo más elevado posible para su crecimiento. Si se cumplen las características anteriormente mencionadas no es preciso que se establezcan en las orillas de los ríos. Se trata de un híbrido que no va bien en suelos permanentemente encharcados o con aguas estancadas, sin movimiento, así como en zonas cálidas (RUIZ DE LA TORRE, 1979).

Distribución

Las plantaciones de *Populus x euramericana* se centran en las vegas de ríos, con valles abiertos, que determinan zonas de capa freática alta, sin encharcamiento continuado. En España, en las cuencas del Ebro, Segura, Genil, Hoya de Guadix y Duero (Comisión Nacional del Chopo).

Otros datos de interés

Se trata de individuos con maderas muy blandas y ligeras, sin corazón diferenciado, las cuales presentan una fibra homogénea que las hace ser aptas para el aserrío, chapa a la plana, desenrollo y fabricación de pasta. Para todas las aplicaciones comentadas anteriormente se necesitan pies de grandes diámetros, madera recta, sana y limpia de nudos.

Los diferentes chopos de este grupo se multiplican por estaquilla a final del invierno, siempre antes de que se produzca el brote. Las nuevas plantaciones se realizan con pies obtenidos en vivero con edades comprendidas entre el año y los tres años. La demanda de fustes rectos de gran diámetro y las exigencias de luz y nutrientes de los clones más productivos, imponen un espaciamiento amplio, con lo que se puede llegar a obtener diámetros de 40 cm a los 15 años. El turno para estas especies está comprendido entre los 12-15 años.

2.2.3.1 *Populus x euramericana* "I-214"

Se trata de un clon de procedencia italiana con sexo femenino. Pertenece a la especie híbrida *Populus x euramericana* (Doge) Guinier. Este clon fue obtenido en el Instituto de Casale Monferrato en el año 1929, su expansión comenzó en el territorio italiano

con la conclusión de la Segunda Guerra Mundial, y más tarde se extendió por la populicultura mediterránea (DE LA CRUZ, 2005).

En cuanto a sus características se trata de un clon de crecimiento muy rápido, con fuste tortuoso, el cual es sensible a las rupturas por acción del viento. Presenta una corteza fina y lisa de coloración grisácea. En cuanto a su ramificación se trata de un clon con tendencia a formar rápidamente ramas gruesas, presentando una ramificación verticilada, esta ramificación le hace ser muy exigente en las podas para evitar horquillamientos. Su madera es lisa y ligera, de calidad discutida, válida para las aplicaciones industriales, incluyendo el desenrollo, si bien su calidad en determinados aspectos puede ser mejorada. Baja densidad ($0,361 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ con un 10,88% de coeficiente de variación (Casado M.: Acuña, L.; Basterra, L.A.; Ramón-Cueto, G.; Vecilla, D.; 2012).

Individuos de floración precoz. Defoliación a medio plazo. Buen aprovechamiento del periodo vegetativo. Propagación vegetativa excelente que produce pocas marras en su plantación.

Presenta plasticidad muy alta, prefiriendo suelos fértiles y ligeros, no excesivamente turbosos o gravosos donde se desarrolla mal. Prefiere clima cálido, sintiendo de manera notable las heladas precoces y tardías así como el fototropismo y el viento.

Producción alta alcanzando los 30-40 m³·ha⁻¹·año⁻¹ en nuestro país.

En cuanto a las plagas y enfermedades se trata de un clon resistente a *Dothichiza* sp., *Xanthomonas* sp. y *Venturia populina* y especies del género *Melampsora*. Por otro lado es sensible al virus del mosaico y a *Marsonnina*. Esta última no muy extendida por España debido a que las condiciones climáticas no son las adecuadas para su correcto desarrollo. Al tratarse de una especie de crecimiento rápido, es susceptible al ataque de barrenadores y defoliadores.

Como otros datos de interés podemos decir que el "I-214" es el clon más utilizado en la populicultura española. Debido a su facilidad de cultivo y crecimiento rápido, se conocen muchos datos del "I-214", al utilizarse como patrón y testigo en ensayos experimentales con otros clones. Generalmente con turno selvícola de 12 a 14 años, con un marco de plantación de 6 x 6 m (DE LA CRUZ, 2005 [PADRÓ, 1992]; SERRADA *et al.*, 2008).

2.2.3.2 *Populus x euramericana* "I_MC"

El clon *Populus x euramericana* "I-MC" es uno de los clones con mayor futuro dentro de la populicultura, tanto nacional como internacional, esto se debe a su rápido crecimiento y a su calidad en cuanto a madera industrial se refiere. En las parcelas experimentales construidas exclusivamente para el estudio de dicho clon, se ha experimentado que quizás sea el clon que mejores resultados está dando en cuanto a crecimiento y a madera se refiere.

Su origen es italiano, su sexo femenino, posee copa semiamplia y con mayor dominancia apical que el I-214. Se caracteriza por su fuste recto, con mayor ramificación que el I-214, pero ramas menos gruesas y semiverticiladas. La poda del I-MC es algo más fácil que en el I-214. Posee una alta plasticidad y capacidad de adaptación, pero se adapta mal a zonas muy frías o con una altura elevada para la especie.

Su madera es de excelente calidad para el desarrollo, siendo ésta muy homogénea y con una densidad básica (0.370 gr/cm³). Posee también una baja pérdida volumétrica. En cuanto al estado fitosanitario de las masas de dicho clon cabe destacar su sensibilidad ligeramente mayor que el I-214 a *Marsonnina brunnea*, con índice de sensibilidad de 1.33. La única precaución es limitar su uso en zonas con riesgo de enfermedades foliares, *Marsonnina* en particular, así como en lugares con períodos vegetativos cortos.

2.2.4 *Populus x interamericana*

2.2.4.1 *Populus x interamericana* "BEAUPRE"

El clon *Populus x interamericana* "BEAUPRE", es un clon con un gran futuro dentro de la populicultura nacional. El país de origen de este clon es Bélgica, y su sexo es femenino. Cuenta con un fuste recto y cilíndrico, con verticilos muy marcados. Su madera es de calidad para el desarrollo. Su producción es elevada en buenos terrenos, tolera algo la arcilla si el terreno es rico, y es sensible a la caliza activa.

Se trata de un clon en fase de introducción, que se está plantando en altitudes comprendidas entre los 400 y 1100 metros. Va bien en estaciones aluviales secas y soporta fuertes bajadas de la capa freática en verano, aunque no le convienen los calores extremos. Puede aguantar cierto encharcamiento durante la época vegetativa.

Es más sensible a plagas y enfermedades que los euroamericanos y necesita más tratamientos preventivos sobre todo durante los tres primeros años de vida. No tiene tendencia al fototropismo. Su poda es sencilla debido a que tiene abundantes ramas pero delgadas. No forma dobles guías.

Es un clon que presenta prácticamente las mismas ventajas que el Raspalje, siendo superado por este en casi todas las situaciones.

A continuación se muestra la tabla comparativa de los clones mencionados.

	Crecimiento	Tronco	Podas	Plasticidad	Madera	Ensayos	
<i>Populus x euramericana</i> (Doge) Guinier	I-214	Bueno, muy rápido	Ligeramente tortuoso pero se corrige con la poda	Complicada debido al verticilamiento de las ramas	Muy plástico	Buena calidad, válida para cualquier aplicación industrial	Es el clon más utilizado y el que mejor resultados obtiene
	I-Mc	Bueno, muy rápido (superior al del I-214)	Recto	Poda más sencilla que el I-214	Muy plástico excepto en zonas frías	Excelente calidad para el desarrollo	Muy buenos resultados
<i>Populus x interamericana</i> Brokehuizen	Beaupre	Crecimiento rápido, similar al de I-214	Recto y cilíndrico, con verticilos muy marcados	Poda sencilla. No forma dobles guías y las ramas son delgadas y abundantes	Plástico	Madera de calidad para el desarrollo	Muy buenos resultados en terrenos apropiado

Tabla 7. Comparativa de las características de los distintos clones a estudiar

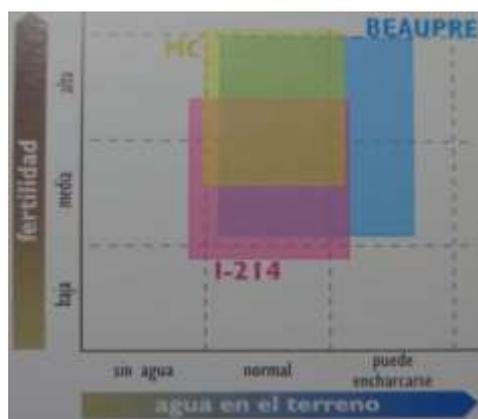


Figura 3. Gráfico comparativo de las características de los clones

Fuente: Libro; El cultivo del chopo en la mitad norte de España (GARNICA, C.H.I-214)

2.3 El Chopo en España

En el territorio español se pueden considerar tres zonas diferentes en cuanto a producción de chopo en cuanto al suelo, clima y método de cultivo (MAPA, 2005):

- Zona del Valle del Ebro y Cataluña, plantaciones realizadas a raíz superficial, con riego y un turno de corta de 12 años.
- Zona del Duero, el sistema de plantación más utilizado es la raíz profunda, con un turno de corta en torno a los 15 años.
- Zona de granada, plantaciones localizadas fundamentalmente en el valle del Genil y del Darro, con plantación con riego y con un turno de aprovechamiento de entre 8 y 10 años.

Actualmente la populicultura está enfocada a tres vías, según la Comisión Nacional del chopo en España (PADRÓ y ALONSO. 2003):

- Populicultura de producción: este tipo de populicultura presenta dos vertientes en su desarrollo:
 - a. Intensiva: se utilizan clones de chopo altamente productivos, plantados a raíz profunda o superficial con riego, dichas plantaciones se sitúan en vegas y riberas favorables para su desarrollo.
 - b. Sostenible: se utilizan clones rústicos y frugales, con menos exigencias hídricas y capaces de resistir situaciones más extremas en su adaptación, tanto por altitud como por el clima, las heladas etc. Son plantaciones idóneas para la conservación del suelo y del medio ambiente.
- Populicultura de conservación: es utilizada para el mantenimiento de zonas pobladas con bosques naturales que se encuentran por lo general degradados y poblados principalmente por especies de chopo autóctonas *P. alba*, *P. nigra* y *P. tremula*.
- Populicultura para la producción de biomasa: se trata de cultivos forestales de alto potencial energético donde los marcos de plantación son mínimos y los turnos de corta o rotación son cortos.

En España, las especies forestales de crecimiento rápido ocupan un 18% de la superficie forestal arbolada, de las cuales 128832 ha corresponden a choperas y producen 757262 m³ de madera (Anuario de Estadística Agroalimentaria, MAPA, 2004). En la Comunidad de Castilla y León es donde se encuentra la mayor superficie de terrenos dedicados a la populicultura (65%), seguida de Aragón (7,6%) y Castilla-La

Mancha (6%). La Comunidad Autónoma de Madrid, con 2376 ha de choperas (1,8%) presenta producciones de casi 4000 m³ (con corteza) de madera de chopo (Tabla 8).

CCAA	Superficie		Cortas (m ³ c.c)
	Ha	%	
Castilla y León	87600	64.6	333943
Aragón	6716	7.6	74066
Castilla La Mancha	9371	6.0	36228
Andalucía	8434	5.1	9661
Cataluña	7307	4.0	55798
La Rioja	5068	3.0	21132
Navarra	3135	2.2	20529
Galicia	573	1.9	7000
Madrid	1864	1.8	1525
Extremadura	1298	1.8	2593
País Vasco	950	1.1	3526
Asturias	680	0.5	774
Cantabria	599	0.5	1678
Murcia	102	0.1	35
Baleares	0	0	0
Canarias	0	0	0
ESPAÑA	133697	100	568488

Tabla 8. Distribución de la superficie plantada (ha) por CCAA y sus porcentajes respecto a la superficie total (2008) y los m³ de chopo cortados con corteza (2007).

Fuente: Anuario de Estadística agroalimentaria del MAPA (2010)

2.4 Las plantaciones de chopo como sumidero de CO₂

En los últimos años se ha constatado un aumento en las concentraciones de los llamados gases de efecto invernadero (GEIs), debido al uso frecuente de combustibles fósiles que lanzan a la atmósfera grandes cantidades de CO₂, NO₂, SF₆, CH₄, HFC y PCF. Además, se añade la tala masiva de bosques para la comercialización de madera y cambio a uso agrícola del terreno forestal, contribuyendo al progresivo calentamiento generalizado de nuestro planeta.

En el Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático celebrado en 1992, la comunidad científica alertó y propició una concienciación mundial sobre el problema creciente del calentamiento global y del cambio climático. A partir de entonces y tras varias reuniones en 1997 se firma el Protocolo de Kioto, que en 2002 fue ratificado por la Unión Europea, con el objetivo de que los países industrializados reduzcan sus emisiones en un 8% por debajo del volumen del año 1990. En el artículo 10 del Protocolo de Kioto, se adoptan modalidades y procedimientos para forestar y reforestar, como Mecanismos de Desarrollo Limpio. Los países participantes en estos proyectos deben seguir la guía de Buenas Prácticas para el Uso de la Tierra, Cambios

de Suelo y Selvicultura, elaborado por el IPCC (Panel Intergubernamental del Cambio Climático, 2003).

Además, la importancia creciente del CO₂ debida al cambio climático experimentado en estos últimos años, hace de los bosques unos posibles aliados como almacenes o depósitos potenciales de carbono (KARJALAINEN *et al.*, 1994; SCHULZE, 2000; EGGERS, 2002; MASERA *et al.*, 2003). En el Protocolo de Kioto, se contempla la posibilidad de utilizar los bosques como sumideros de carbono, al contribuir al aumento de la fijación de CO₂ a corto y medio plazo, mientras se buscan medidas para reducir las emisiones netas de CO₂ por la quema de combustibles fósiles y por el cambio de uso forestal a agrícolas y paliar los efectos negativos sobre el cambio climático. Es importante por tanto, conocer y cuantificar la capacidad de captación del CO₂ atmosférico por parte de la biomasa arbórea.

La vegetación arbórea fija, acumula y emite carbono durante los procesos de fotosíntesis, respiración y descomposición de la misma. Las plantas tienen la capacidad de absorción del dióxido de carbono existente en el aire o en el agua. Una fracción de este carbono es utilizada para la respiración de la planta, mientras que el resto, entra a formar parte de los tejidos vegetales de la planta. No todas las formaciones vegetales absorben la misma cantidad de carbono, dentro de los diferentes ecosistemas terrestres, los bosques acumulan un mayor porcentaje de carbono, siendo este de alrededor del 89%, con mayor periodo de acumulación de biomasa que los ecosistemas agrícolas.

En España, existen estudios recientes de la cuantificación del CO₂ fijado por especies forestales. En muchos casos, los modelos utilizados han sido aplicados a datos aportados en los inventarios forestales nacionales o regionales, para la estimación del CO₂ absorbido por parte de la vegetación. A partir de muestreos destructivos de árboles tipo o de diferentes clases diametrales, se han obtenido ecuaciones para ajustar la biomasa arbórea, tanto de fuste como de ramas o total, y los contenidos de carbono por árbol y especie (BALBOA *et al.*, 2005).

Por otra parte el "efecto sumidero" de carbono de los chopos es superior al de otras especies arbustivas o herbáceas y que desempeñan una labor "depuradora", que junto a la correcta administración y gestión forestal de las choperas presentes en las riberas y otras zonas genera unos beneficios indirectos muy importantes (Junta de Castilla y León, 2001).

En España, se estima en el Plan Nacional de Asignación de Derechos de Emisión 2005-2007, que un 2% del 15% de la disminución de los gases que España debe reducir, sea debido a la absorción por parte de las actividades forestales y reforestación, así como a la gestión de bosques y terrenos agrícolas como sumideros de carbono (Real Decreto 1866/2004). Además, en el ciclo de emisiones y captura de CO₂ fijado por la masa arbórea, habrá que tener en cuenta las emisiones de CO₂ que se realizan en el momento de la corta, en la transformación y en la destrucción del producto (RODRÍGUEZ et al., 2005).

2.5 Singularidades de la madera

Las singularidades de la madera que se describen a continuación, desde el punto de vista fisiológico no corresponden al concepto de defecto, dado que son particularidades de la estructura de la madera como consecuencia de la necesaria existencia del árbol. El concepto de defecto se debe a los problemas que, desde el punto de vista del usuario, llevan consigo estas particularidades, algunas de las cuales como por ejemplo los nudos son un defecto muy importante, hasta el punto de ser el elemento más utilizado para la clasificación de la madera según calidades (VIGNOTE & MARTÍNEZ, 2006).

Estas singularidades son las que le otorgan a la madera su papel de material heterogéneo y que determinan sus propiedades físicas y mecánicas; siendo elementos fundamentales a la hora de realizar la clasificación de la madera según su calidad.

A continuación se expone el origen y las consecuencias de las singularidades más destacables; teniendo en cuenta la normativa específica para la clasificación de la madera en rollo de forma visual (UNE-EN 1316-2:2012).

Nudos

Se trata de una inclusión de la porción basal de una rama dentro del tallo del árbol. Los nudos tienen una importancia fundamental en la calidad de la madera, hasta el punto de que suele ser el factor más influyente en la calidad de la madera. La presencia de nudos en la madera tiene varios inconvenientes, causan deformaciones en las piezas, dificultan el procesado de la madera y merman considerablemente la resistencia mecánica de las piezas.

Fendas

Son roturas locales de la madera, producidas según planos de corte que incluyen la dirección radial y la del eje del árbol. Se producen por esfuerzos superiores a los que la madera puede resistir. Su origen es dispar, puesto que pueden estar producidas por el viento, por las heladas o por la desecación.

Su principal efecto es la pérdida de resistencia de la madera, que se hace especialmente patente en los esfuerzos de flexión y tracción perpendicular a la fibra.

Acebolladuras

Son roturas locales de la madera producidas entre los anillos de crecimiento y a lo largo del eje del árbol. Están causadas por esfuerzos que inciden sobre la madera. Poseen el mismo origen que las fendas. La probabilidad de aparición de acebolladuras aumenta con la edad del árbol y dentro de estos con en los de diámetro menor. Los efectos de las acebolladuras son los mismos que los de las fendas, con el agravante de ser indicativos de la presencia de otro tipo de alteraciones de la madera.

Gemas

Defecto característico del aserrado, por el cual la pieza presenta en alguna de sus aristas restos de corteza, dejando ver claramente la sección circular del fuste. La presencia de gemas en el fuste disminuye la capacidad de trabajo con las trozas.

Curvatura

Las plantas son capaces de percibir la gravedad y responder a ella. Los tallos suelen responder a un geotropismo negativo, es decir, crecen en sentido contrario a la fuerza de la gravedad, lo que origina que los fustes de los árboles, sean en general, perfectamente verticales y rectos, pero en ocasiones, esta rectitud no es absoluta, pudiendo aparecer una o varias curvaturas más o menos acusadas, cuyo origen u orígenes puede ser debido a diversas causas (VIGNOTE & MARTÍNEZ, 2006).

En términos generales, la curvatura del fuste se considera un defecto de la madera, el cual disminuye el rendimiento del procesado de la madera.

Ovalidad

Hace referencia al crecimiento en anchura del tronco del árbol en una o varias direcciones de forma sobresaliente en relación a las demás direcciones. Este crecimiento puede venir dado por acción de los vientos que impide el crecimiento del lado o los lados del tronco en contacto directo con los vientos dominantes. Este

defecto de la madera disminuye de forma considerable el rendimiento del procesado debido a que solo se aprovecha la sección correspondiente al diámetro menor.

Bifurcaciones

Como consecuencia de la existencia de la guía terminal, el árbol crece en altura con un único fuste, pero en ocasiones, ya sea un accidente o un ataque de plaga, una helada u otra circunstancia, esta guía terminal se pierde, pudiendo pasar a realizar esta función una o más ramas situadas en la copa. Cuando esta función la realizan dos o más ramas, se produce el defecto denominado bifurcación.

Producida la pérdida de la guía terminal, el fenómeno de la bifurcación parece ser hereditario, principalmente como característica de la especie, aunque también influye en menor medida la procedencia. Así es frecuente la bifurcación en especies de ramificación opuesta como el arce o el fresno (VIGNOTE & MARTÍNEZ, 2006).

Los efectos más importantes que producen las bifurcaciones son los siguientes: pérdida de sección brusca del árbol, madera de reacción, doble corazón o entrecasco y aparición de fibra ondulada.

Conicidad

El fuste del árbol, como consecuencia de la superposición del crecimiento en altura y el crecimiento en grosor, posee una forma que simplídicamente se puede suponer cónica. El factor de conicidad del fuste se mide, de acuerdo con la norma UNE EN 1310, con la relación, expresada en tanto por ciento, entre la diferencia del diámetro basal y el diámetro en la punta, con la distancia que los separa (VIGNOTE & MARTÍNEZ, 2006).

El efecto más importante que provoca la conicidad es la pérdida de rendimiento de la madera en los procesos de aserrado, desenrollo y chapa a la plana, ya que solo se aprovecha bien la sección correspondiente a la testa más pequeña.

Desviación de la fibra

Se trata del ángulo que forma la fibra de la madera con la dirección de las aristas de las piezas obtenidas. La presencia de desviación de la fibra dificulta el trabajo con la madera, disminuyendo a su vez el rendimiento del procesado.

Madera de reacción

La madera de reacción surge también como consecuencia de las bifurcaciones, al estar las ramas de la bifurcación sometidas al efecto de la gravedad.

En frondosas la densidad de este tipo de madera puede ser algo superior que la de la madera normal.

Doble corazón

Son defectos que se producen en la zona inmediatamente por debajo de la bifurcación, consecuencia de la unión por efecto del crecimiento de grosor, de las ramas de la bifurcación.

Se denomina entrecasco a la corteza interna que se queda ocluida entre ambos corazones. El entrecasco produce inconvenientes de orden estético y de resistencia. Aunque no suele afectar más que a unos pocos centímetros por debajo de la bifurcación tiene mucha importancia, por el valor decorativo que alcanza esta zona de la madera.

Médula excéntrica

La médula es la zona situada en el interior del primer anillo de crecimiento, que tiene una estructura anatómica diferente al resto de la madera. Su constitución es totalmente diferente al del resto de la madera, al estar compuesta principalmente de parénquima. Debido a esto, la médula está caracterizada por ser un material blando y de escasa resistencia, que hace depreciar a las piezas que la contienen.

La médula excéntrica se trata de un desplazamiento lateral de esta.

Plantas parásitas

Los efectos de las plantas parásitas son múltiples. Por un lado, estimulan la producción de yemas adventicias, las que dan crecimientos conocidos como “escobas de bruja”, que reducen el crecimiento y el vigor del árbol, haciéndolo propenso al ataque de patógenos e insectos. Por otra parte, en los puntos en que se implanta la planta parásita, se presentan deformaciones o abultamientos y la madera se vuelve esponjosa y anormalmente vetada, por lo que no puede aprovecharse; con frecuencia, los árboles sufren quebraduras en esos puntos. En plántulas y plantas jóvenes puede provocar incluso la muerte.

Madera carbonizada

La madera expuesta al fuego arde en su superficie rápidamente, formándose una capa carbonosa que impide que el oxígeno necesario para la combustión pase al interior de la madera, ralentizándose la combustión, de forma que si el aporte de calor no continúa el proceso puede incluso pararse.

En cualquier caso, al menos los tres primeros milímetros de la madera quedan totalmente negros, cuarteados y sin resistencia mecánica, de forma que cualquier esfuerzo aplicado sobre ella, hace que dicha parte se rompa y se desprenda de la madera.

Otros daños

Daños producidos por causas externas como puede ser golpes producidos por la maquinaria, ruptura de ramas por caída de árboles, deformaciones y roturas producidas por causas ambientales etc. Estos daños producen una depreciación del valor de la madera, y pueden producir disminuciones del rendimiento del procesado de la madera

Cuerpos extraños

Clavos, metales, balas, plomos de escopeta y otros cuerpos extraños que pueden localizarse en los fustes de los árboles produciendo daños en estos, disminuir el rendimiento del procesado de la madera y producir daños en la maquinaria utilizada para el procesado sobre todo en cadenas de motosierras, sierras, astilladoras de cuchillas etc.

2.6 Calidad de la chapa de chopo

En términos generales, el chopo es fácilmente desenrollable, sin un estufado previo, además de cumplir con otras condiciones que se precisan en esta utilización industrial, como es el proporcionar trozas lo más cilíndricas posible, de color claro homogéneo y de un diámetro suficiente para asegurar un buen rendimiento (Dulbecco et al., 1995).

En las especies destinadas a este proceso industrial, además de los requerimientos que son exigibles con relación a las características físicas de la madera, hay que tener en cuenta una serie de defectos que atañen a la morfología del tronco.

Estas características van a ser relevantes a la hora del desenrollo, obteniéndose chapas de distintas calidades dentro de una misma troza, dependiendo de estos defectos. Los nudos sanos y muertos, fendas y grietas abiertas, fendas cerradas y

coloraciones son algunos de los defectos que van a determinar la calidad de chapa obtenida tras el desenrollo.

En las tablas siguientes cedidas por la empresa Garnica Plywood Baños de Río Tobía S.A.U. se pueden observar el nivel máximo aceptable de cada defecto para la conformación de tres tipos de tableros diferentes.

DEFECTO	NIVEL MÁXIMO ACEPTABLE				
	CALIDAD B	CALIDAD BB	CALIDAD BB 2	CALIDAD C	
NUDOS SANOS	4 nudos Si $\emptyset \leq 5$ cm	Nº máx de nudos 4	Se admiten un máximo de 20 nudos Si $\emptyset \leq 5$ cm	Se admiten Nº máx de nudos 40 Si $\emptyset \leq 5$ cm 50	Se admiten
NUDOS MUERTOS	4 nudos Si $\emptyset \leq 3$ cm				
FENDAS Y GRIETAS ABIETAS	Se admiten 2 grietas de ancho menor de 1 cm si están correctamente enmasilladas				
FENDAS CERRADAS	Se admiten di la chapa es plana y Largo ≤ 900 mm				
COLORACIONES	Se admite decoloración suave hasta el 20 % de la superficie	Se admiten			
ANOMALIAS DE INSECTOS	No se admiten				
REPELO	Se admite si es suave	Se admite si es suave	Se admite		
HONGOS XILÓFAGOS	No se admiten				
CORTEZAS	No se admiten				
JUNTADO	Se admite solo en gama parquet				
JUNTAS ABIERTAS O SOLAPADAS	No se admiten				
AMPOLLAS	No se admiten				
RUGOSIDADES	Se admiten si son muy ligeras	Se admiten si son ligeras	Se admiten	Se admiten	
PENETRACIÓN DE LA COLA A TRAVÉS DE LA CHAPA	Se admiten uniformemente en fenólico				
PARTÍCULAS EXTRAÑAS	No se admiten				
PARCHES Y CHAPAS DE RELLENO	No se admiten				

Tabla 9. Especificaciones de características intrínsecas de la madera para tableros de medida estándar (hasta 1220 mm).

DEFECTO	NIVEL MÁXIMO ACEPTABLE			
	CALIDAD B	CALIDAD BB	CALIDAD BB 2	CALIDAD C
NUDOS SANOS	8 nudos Si $\emptyset \leq 5$ cm	Se admiten un máximo de 20 nudos Si $\emptyset \leq 5$ cm	Se admiten	Se admiten
NUDOS MUERTOS	8 nudos Si $\emptyset \leq 3$ cm		Nº máx de nudos 8	
FENDAS Y GRIETAS ABJETAS	Se admiten 3 grietas de Largo ≤ 80 cm y ancho ≤ 1 cm ó Largo ≤ 10 cm y ancho ≤ 3 cm si están correctamente enmasilladas Largo < 600 mm no se admiten			
FENDAS CERRADAS	Se admiten di la chapa es plana y Largo ≤ 800 mm			
COLORACIONES	Se admiten blanqueadas	Se admiten		
ANOMALIAS DE INSECTOS	No se admiten			
REPELO	Se admite si es suave		Se admite	
HONGOS XILOFAGOS	No se admiten			
CORTEZAS	No se admiten			
JUNTADO	Se admite solo en gama parquet			
JUNTAS ABIERTAS O SOLAPADAS	No se admiten			
AMPOLLAS	No se admiten			
RUGOSIDADES	Se admiten si son muy ligeras	Se admiten si son ligeras	Se admiten	Se admiten
PENETRACIÓN DE LA COLA A TRAVÉS DE LA CHAPA	Se admiten uniformemente en fenólico			
PARTÍCULAS EXTRAÑAS	No se admiten			
PARCHES Y CHAPAS DE RELLENO	No se admiten			

Tabla 10. Especificaciones de características intrínsecas de la madera para tablero ancho (más de 1300 mm).

DEFECTO	NIVEL MÁXIMO ACEPTABLE						
	CALIDAD B		CALIDAD BB		CALIDAD BB 2		CALIDAD C
NUDOS SANOS	5 nudos Si $\emptyset \leq 4$ cm	Nº máx de nudos	10 nudos Si $\emptyset \leq 5$ cm	Nº máx de nudos	Se admiten 80 nudos Si $\emptyset \leq 3$ cm	Nº máx de nudos 80	Se admiten
NUDOS MUERTOS	8 nudos Si $\emptyset \leq 1$ cm	10	20 nudos Si $\emptyset \leq 3$ cm	20			
FENDAS Y GRIETAS ABIETAS	Se admiten 3 grietas de Largo ≤ 20 cm y ancho ≤ 3 cm		Se admiten 3 grietas de Largo ≤ 30 cm y ancho ≤ 10 cm		Se admiten 3 grietas de Largo ≤ 50 cm y ancho ≤ 15 cm		Se admiten 3 grietas de Largo ≤ 50 cm y ancho ≤ 30 cm
FENDAS CERRADAS	Se admiten di la chapa es plana y Largo ≤ 800 mm						
COLORACIONES	Se admiten blanqueadas			Se admiten			
ANOMALÍAS DE INSECTOS	No se admiten						
REPELO	Se admite si es suave			Se admite			
HONGOS XILÓFAGOS	No se admiten						
CORTEZAS	No se admiten						
JUNTADO	Se admite solo en gama parquet						
JUNTAS ABIERTAS O SOLAPADAS	No se admiten						
AMPOLLAS	No se admiten						
RUGOSIDADES	Se admiten si son muy ligeras	Se admiten si son ligeras		Se admiten		Se admiten	
PENETRACIÓN DE LA COLA A TRAVÉS DE LA CHAPA	Se admiten uniformemente en fenólico						
PARTÍCULAS EXTRAÑAS	No se admiten						
PARCHES Y CHAPAS DE RELLENO	No se admiten						

Tabla 11. Especificaciones de características intrínsecas de la madera para tablero a la contra.

En las figuras siguientes cedidas por la empresa Garnica Plywood Baños de Río Tobía S.A.U. se pueden observar chapas de diferentes calidades en las cuales se muestran los defectos característicos de las chapas que conforman los tableros de contrachapado de chopo

Chapa de calidad B



Figura 4. Chapas de calidad B.

Chapa de calidad BB



Figura 5. Chapas de calidad BB.

Chapa de calidad BB 2



Figura 6. Chapas de calidad BB 2.

Chapa de calidad C



Figura 7. Chapas de calidad C.

Como se puede observar en las figuras anteriores las chapas de mayor calidad son las chapas B, estas chapas son utilizadas para las caras del tablero para que este presente mejor acabado y obtenga una mayor presencia. En el caso que el tablero vaya a ser rechapado con una chapa natural o con una chapa decorativa este puede presentar las caras con chapas de otras calidades debido a que estas no vana a ser visibles.

Las chapas de calidad BB, BB 2 y C son utilizadas para interiores, que son las capas internas que conforman el tablero.

Durante el proceso de desenrollo también se obtienen almas verdes y almas blancas que provienen de la parte interna de la troza hasta que se alcanza el grosor del rulo. Estas chapas son las de peor calidad y son utilizadas para almas, que es la parte central del tablero. Las chapas que conforman el alma (almas verdes y almas blancas), son de mayor grosor que las chapas de otras calidades que conforman los interiores.

2.7 Propiedades de la madera

La madera, posee unas características que dependen no sólo de su composición sino también de su constitución (o de la manera en que estén colocados los elementos que la forman).

2.7.1 Propiedades físico-mecánicas

La madera es un material anisótropo y heterogéneo, cuyas propiedades físicas determinan su comportamiento ante distintos factores que intervienen en el medio natural, sin producir modificación química alguna de su estructura.

Tradicionalmente, se han considerado como propiedades mecánicas de la madera a las distintas resistencias (a tracción, a compresión, a flexión y a cortante) capaces de soportar una pieza. En la actualidad, esta resistencia se suele expresar en forma de valor característico, el cual no es sino el quinto percentil de una distribución de frecuencia de la resistencia. Representa pues, el valor de la resistencia que garantiza que el 95% de la población presenta una resistencia igual o superior al valor seleccionado.

Humedad

Se define como humedad de la madera a la relación del peso del agua contenida en la madera respecto al peso de la madera anhidra, y se calcula como:

$$H = \frac{(Ph - Po) * 100}{Po}$$

siendo: H : humedad de la madera,

Ph : peso húmedo de la madera estudiada,

Po : peso de la madera anhidra.

Densidad

La densidad (ρ) es la relación existente entre la masa (m) y el volumen (V) de la madera. Su expresión matemática es la siguiente:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Como el peso y el volumen de la madera están afectados por el contenido en humedad, a la hora de hablar de densidad, se debe hablar de la densidad de la madera a una determinada humedad.

En lo que a densidad se refiere, se distinguen dos tipos de la misma: la densidad real y la aparente. La densidad aparente considera como volumen el ocupado tanto por la pared celular como por los huecos interiores de las células. Ésta es la densidad que normalmente se mide en la madera (JIMÉNEZ, 1999). En la real, sólo se considera como volumen el ocupado por las paredes de las células; es decir, es la densidad de la pared celular. Su valor es del orden de $1,56 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ y es prácticamente igual para todas las especies. Para la comparación entre especies, se utiliza la determinada con el peso y volumen medidos al 12 % de humedad, denominada densidad normal.

En general, la densidad de la madera de chopo se sitúa entre $310\text{-}425 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

En la siguiente tabla se muestra la densidad de los diferentes clones de chopo. (ACUÑA *et al.*, 2006; CASADO, 2010).

Especie/Clon	Centro de estudio	Nº de datos	Densidad al 12% de Humedad (kg.m ⁻³)
<i>P. x euramericana</i>	INIA		397
<i>P. x euramericana</i> "I-72"	U. A. Chile		394
<i>P. x euramericana</i> "I-161"	U. A. Chile		379
<i>P. x euramericana</i> "I-214"	U. Valladolid	71	376.71
		123	355.20
		111	334.35
		80	369.79
		136	348.84
		120	378.48
<i>P. x euramericana</i> "I-488"	U. A. Chile		390
<i>P. tremuloides</i>	U. Wisconsin		495
	U. Laval		385
	U. Québec		395
<i>P. trichocarpa</i>	U. Oregón		382
	U. Québec		397

Tabla 12. Valores medios de densidad para distintos clones de chopo.

Resistencia a la tracción

El esfuerzo de tracción es aquel al cual se somete un cuerpo al aplicarle dos fuerzas que actúan en sentido opuesto y tienden a estirarlo.

La madera es un material que cuenta con una gran resistencia a la tracción siempre y cuando esta se realice de forma paralela a sus fibras, esta resistencia viene motivada por la elevada resistencia que las cadenas de celulosa presentan ante este esfuerzo. Por otro lado, la resistencia a la tracción perpendicular a las fibras que presenta la madera es muy baja, del orden de 30 a 70 veces inferior que la resistencia a la tracción paralela a las fibras.

Esta falta de resistencia transversal es debida a la orientación marcadamente longitudinal de la estructura de la madera, muy preparada para resistir los esfuerzos de flexión a los que se ve sometido un árbol en pie. Cuanto más marcada sea la estructura transversal de una especie arbórea, esta tendrá mayor resistencia a la tracción transversal.

Se suele afirmar que la resistencia a la tracción está muy relacionada con la calidad de la madera pero que no es sensible a la humedad, de ahí que no suelen considerarse factores correctores (FERNÁNDEZ-GOLFÍN *et al.*, 2000).

Resistencia a la compresión

Para una madera libre de defectos, la resistencia a la tracción paralela a las fibras es mayor que la de compresión paralela. Este hecho se pone de manifiesto en el ensayo a flexión de probetas libres de defectos, en el que puede observarse que el fallo se suele producir por aplastamiento de las fibras en la zona comprimida. Por el contrario, en la madera con defectos, la resistencia a la compresión es mayor que la resistencia a la tracción.

Cuando sometemos a una pieza de madera a esfuerzos de compresión no resulta clara la zona por donde se produce la rotura de la pieza, debió a que se produce un aplastamiento de las fibras, no una rotura directa; el material puede seguir siendo sometido a nuevos esfuerzos.

En la resistencia a esfuerzos de compresión la capacidad que presenta la madera ante estos, se ve muy afectada con el contenido en humedad que tenga la madera, no afectando la humedad de forma importante a la resistencia a la tracción (FERNÁNDEZ-GOLFÍN *et al.*, 2000). Otros factores que influyen son la inclinación de las fibras, la densidad, los nudos o la propia constitución química de la madera.

Resistencia a la flexión

La madera presenta una notable resistencia a la flexión, sobre todo si se compara con su densidad. El módulo de rotura (MOR) hace referencia a la máxima capacidad de esfuerzo de flexión al que puede ser sometido una pieza de madera y es proporcional al momento máximo soportado. Este módulo es un criterio aceptado de resistencia, aunque no es una medida real de la tensión, ya que la fórmula que se emplea para su cálculo sólo es válida hasta el límite elástico.

La flexión de una pieza genera tensiones y compresiones de tracción paralelas a la fibra, que adoptan valores máximos en las fibras externas de la pieza y nulos en la fibra neutra.

El comportamiento a flexión de la madera aserrada es distinto al de la madera del árbol en pie, ya que en el primer caso se puede observar que la rotura se produce por compresión (por aplastamiento de las fibras en la zona comprimida) y en el segundo por tracción (por rotura de las fibras de la zona traccionada), debido a la mayor incidencia que los nudos tienen en la resistencia a la tracción.

La resistencia a la flexión viene afectada por varios factores; por un lado influyen no solo el tamaño de los nudos sino también la frecuencia de estos, de forma que nudos

grandes repetidos, aunque sean pocos, influyen más que los nudos pequeños muy abundantes, por otro lado también influye el contenido en humedad de la pieza de madera, aunque esta influencia es menos acusada que en los esfuerzos de compresión, presentando, como es lógico, un comportamiento intermedio entre tracción y compresión (FERNÁNDEZ-GOLFÍN *et al.*, 2000).

Resistencia al cortante

El cortante es debido a esfuerzos en dirección perpendicular a las fibras. Estos esfuerzos pueden generar otros de tipo tangencial como consecuencia de la deformación de la madera.

La manifestación del esfuerzo cortante puede tener tres formas distintas:

- Cortante puro: las fibras son cortadas transversalmente por la acción del esfuerzo que se genera en dirección perpendicular a las fibras. El fallo se produce por aplastamiento y posterior rotura de las fibras.
- Deslizamiento: producido por tensiones de tipo tangencial, generadas por la acción del cortante y provocadas por la deformación de las piezas de madera solicitadas a flexión. La rotura se produce por deslizamiento de unas piezas sobre las otras en dirección longitudinal.
- Rodadura: similar al anterior pero en dirección transversal, produciéndose la rodadura de unas fibras sobre las otras. Su resistencia es del orden de 20% al 30% de la resistencia por desplazamiento.

La resistencia al cortante se encuentra fuertemente afectada por el contenido de humedad de la madera.

Elasticidad

Al someter a la madera a un esfuerzo constante, esta se deforma, dicha deformación es, al principio, proporcional a la fuerza que lo produce, existiendo una relación lineal entre las tensiones y las deformaciones. En el momento en el que la madera es sometida a estas fuerzas, la madera se comporta de forma elástica, desapareciendo las tensiones al cesar el esfuerzo. Si las tensiones continúan tiene lugar la rotura de la madera (VIGNOTE & MARTÍNEZ, 2006).

Este comportamiento no se perpetua de forma indefinida en la madera, de forma que para un esfuerzo continuo y creciente llega un momento, normalmente llamado límite de proporcionalidad, a partir del cual las deformaciones dejan de ser proporcionales al

esfuerzo aplicado, creciendo de forma rápida y dejando de ser totalmente recuperables, encontrándose bajo un comportamiento inelástico.

El módulo de elasticidad es la variable de mayor trascendencia para el análisis de este comportamiento. El módulo de elasticidad se caracteriza por el inverso de la relación entre la deformación elástica unitaria y el esfuerzo unitario que lo ha provocado.

$$E = \frac{F}{A}$$

siendo: E : módulo de elasticidad,

F : esfuerzo,

A : sección en la que se aplica F.

2.7.2 Comparación con otros materiales estructurales

A continuación se muestra la Tabla 10, en la que se muestra la comparación entre los valores medios de las tensiones admisibles para la madera (CUEVAS, 2002), el hormigón y el acero (FERNANDEZ GOLFÍN *et al.*, 2000).

Material	Flexión	Tracción		Compresión		Cortante	Densidad (kg*m ⁻³)	Módulo de elasticidad
		Par. *	Perp. *	Par. *	Perp. *			
Madera sin defectos	155	-	-	120	25	20	460	110000
Madera de chopo	25	40	2	40	15	7	371	70000
Hormigón	80	6	6	80	80	6	2400	200000
Acero	1700	1700	1700	1700	1700	1000	7850	2100000

Tabla 13. Comparación de las tensiones admisibles (kp* cm⁻²) de la madera, el hormigón y el acero (CUEVAS, 2002; FERNÁNDEZ-GOLFÍN *et al.*, 2000).

* Par.: paralelo a la fibra. Perp.: perpendicular a la fibra.

De la tabla anterior (Tabla 13), se puede deducir que la madera posee un bajo módulo de elasticidad comparado con el hormigón y sobre todo con el acero, lo que puede acarrear problemas de deformaciones excesivas y de estabilidad.

La comparativa realizada en la tabla anterior tiene más sentido si se consideran los valores de la densidad de la madera, el hormigón y el acero. De esta forma obtenemos la Tabla 14, en la que se comparan las relaciones resistencia-peso y rigidez-peso de la madera y el acero.

Material	Relación resistencia/peso		Relación rigidez/peso
	Madera limpia	Madera clasificada	
Acero	1	1	1
Madera	1.6	1.1	1.2

Tabla 14. Comparativa de las propiedades elastomecánicas de la madera y del acero en relación a su peso (FERNANDEZ-GOLFÍN *et al.*, 2000).

De la tabla anterior se deduce que la madera libre de defectos resulta, a igualdad de peso, 1.6 veces más resistente que el acero. Sin embargo para la madera clasificada con algún tipo de anomalía, el comportamiento del material es muy similar.

2.8 Madera de chopo para chapa o desenrollo

La calidad de la madera está directamente relacionada con el precio que esta tendrá en el mercado. Para hacernos una idea, el valor relativo para una madera que sirva para desenrollo es de 10, si la madera solo sirve para sierra gruesa, su valor será de 5, si es para sierra delgada valdrá 3 y si solo vale para trituración el valor relativo será de 1.

A pesar de lo comentado anteriormente, gran parte de la producción actual sirve únicamente para trituración, debido a la calidad de esta. La madera destinada al desenrollo debe de tener una calidad alta, debido a que se necesitan trozas seleccionadas, rectas, con poca conicidad y albura libre de nudos, de entre 2,6 y 3 metros de longitud y de al menos 20 centímetros de diámetro en punta delgada. Dado que para chapa solamente se aprovecha la albura, se exige que $\frac{3}{4}$ partes del volumen del árbol sea albura.

Para poder conseguir madera con estas características se necesitan árboles gruesos, que hayan crecido espaciados, bien formados y en los que se ha aplicado podas tempranas al menos hasta los 6 metros. La madera se deprecia mucho si la poda está mal hecha y han quedado ramas secas, sobre todo en los primeros 6 metros, o si el árbol es viejo, porque la madera se oscurece y pierde calidad.

El crecimiento excesivo de una plantación también puede reducir su calidad, por ejemplo el clon "I-214", plantado en un lugar muy productivo, crecerá muy deprisa y la madera será tan blanda que difícilmente servirá para desenrollar, debido a que se rajará, valiendo exclusivamente para sierra o trituración.

2.8.1 Normativa europea y española para la clasificación de madera en rollo

Debido a que en los últimos años se ha producido la apertura de los mercados, se ha producido un aumento en cuanto a la heterogeneidad de los materiales de construcción. Esta heterogeneidad ha sido patente también en la madera, debido a la utilización de diferentes especies, con diferentes zonas de procedencia para cada una de ellas, a esto hay que añadir la variabilidad inherente de la propia madera, que es una de las principales limitaciones que impiden el uso creciente como material constructivo. Todo lo anterior ha contribuido a la confusión de los productores y consumidores por el desconocimiento de las características de las maderas introducidas.

Para ello se han creado una serie de normas con carácter nacional y europeo que nos ayudan a unificar los criterios de clasificación para la madera en rollo, que hagan que la madera como material de construcción cumpla con la normativa de calidad y seguridad que se le exige a otros materiales.

A nivel europeo, el encargado de la redacción de esta normativa es el Comité Europeo de Normalización (CEN). Para el caso de la madera aserrada y en rollo, el encargado de la redacción de esta normativa es el CEN TC 175, para el caso de tableros de madera (Tableros contrachapados), el encargado de la redacción es el CEN TC 112.

A nivel nacional, el organismo encargado de la redacción de las normas es la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR); existen varias normas referentes a la clasificación de la madera aserrada y en rollo, por un lado tenemos la norma UNE-EN 1309-2, "*Madera aserrada y madera en rollo. Método de medida de las dimensiones. Parte 2: Madera en rollo. Requisitos para la medida y reglas de cálculo del volumen*", por otro lado tenemos la norma UNE-EN 1310, "*Madera aserrada y madera en rollo. Método de medida de las singularidades*", también contamos con la norma UNE-EN 1311, "*Madera aserrada y madera en rollo. Método de medida de las alteraciones biológicas*" y por último tenemos la norma más específica para la determinación de la calidad de la madera en rollo de chopo, la norma UNE-EN 1316-2, "*Madera en rollo de frondosas. Clasificación de calidades. Parte 2: Chopo*". A parte de lo anterior, AENOR también ha redactado normativa para la clasificación de tableros contrachapados, esta norma es la UNE-EN 313-2, "*Tableros contrachapados. Clasificación y terminología. Parte 2: Terminología*".

2.9 Relación con estudios anteriores

Históricamente los estudios relacionados con la caracterización de maderas se basaban en maderas de coníferas, con especial atención a los pinos, por su gran uso estructural. Aunque hoy en día no son muchos los estudios efectuados en madera de chopo, en el presente proyecto se prestará especial atención a aquellos realizados con esta especie, por ser la especie sobre la que hemos realizado el estudio de investigación.

Al tratarse de un estudio de investigación experimental en el cual se han realizado mediciones en árboles en pie y recién apeados, no se han encontrado trabajos anteriores que guarden una gran relación con el presente estudio, pero sí que se han tenido en cuenta **cuatro** trabajos relacionados con el presente estudio a realizar.

MERLO *et al.* (2009), se ha tenido en cuenta este trabajo por ser uno de los pocos estudios basados en mediciones realizadas en árboles en pie y en sus trozas recién apeadas. Este equipo trabaja con 36 árboles, siendo la mitad cerezos y la mitad nogales. La tecnología que se utiliza está basada en la velocidad de transmisión de ondas de impacto a través de un martillo sónico.

DÍEZ (2009), estima la densidad de la madera de *Populus x euramericana* mediante técnicas no destructivas, como son el extractor de tornillos y el resistógrafo. Para ello ensaya 77 tablones de *Populus x euramericana* "I-214", sobre los que realiza 308 extracciones de tornillos, 231 ensayos resistográficos y determina la densidad al 12% de cada uno de ellos.

MARTÍN (2009), estudia la determinación de la capacidad resistente en madera estructural de *Populus x euramericana* "I-214" mediante la técnica de ultrasonidos.

CASADO SANZ *et al.*, (2013), estima de la calidad de la madera en rollo de *Populus x euramericana* mediante ultrasonidos. Para ello trabaja con 10 chopos en pie de las clases diamétricas entre 33 y 43 cm, de las que se obtuvieron 141 tablas sobre las que se realizaron las mediciones de ultrasonidos.

Comentario [M1]: Falta añadir alguna conclusión de cada estudio

Comentario [M2]: Ampliar con una búsqueda en scopus

3. OBJETIVOS

3. Objetivos

A continuación se exponen los objetivos que se pretenden alcanzar en el presente estudio:

1. Desarrollar una metodología de ensayos utilizando el equipo de ultrasonidos Fakopp en árboles en pie y recién apeados, que permita estimar eficientemente el rendimiento en calidad de chapa tras el desenrollo en tres clones de *Populus*.
2. Estudiar la capacidad de predicción de la densidad mediante el empleo del penetrómetro Pilodyn en árboles en pie.
3. Analizar la influencia del clon en los resultados del ensayo de ultrasonidos en madera en pie y apeada.
4. Analizar la influencia de las variables morfológicas del tronco, nudosidad y densidad de cada clon en el rendimiento final en chapa tras el desenrollo.
5. Definir una función de predicción de rendimiento en calidad de la chapa en función de la velocidad de propagación de la onda en madera en pie y apeada, y de otras variables morfológicas del tronco y la nudosidad.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4. Material y métodos

4.1 Datos generales del muestreo

En el presente estudio se realizó las mediciones sobre 120 pies, pertenecientes a tres clones diferentes. Todos los clones presentaban un marco de plantación de 6.2 x 6.2 metros. Los clones sobre los que se realizaron las mediciones fueron: *Populus x euramericana* "I-214" y *Populus x euramericana* "I-MC" y *Populus x interamericana* "Beaupre".

La plantación está localizada en el término municipal de Mahave, provincia de La Rioja (Figura 8).



Figura 8. Localización de Mahave (La Rioja).

El titular de la explotación es GARNICA PLYWOOD Baños de Río Tobía S.A.U., se trata de una plantación de 57 hectáreas, en la cual se encuentran presentes otros clones a parte de los mencionados anteriormente como: *Populus x euramericana* (Dorskamp) y *Populus interamericana* (Raspalje), el cual presenta unas características muy similares a *Populus x interamericana* "Beaupre", aunque supera a este en muchos aspectos. La distribución de los clones objeto de estudio se puede observar en la siguiente figura (Figura 5), facilitada por; GARNICA PLYWOOD Baños de Río Tobía S.A.U.

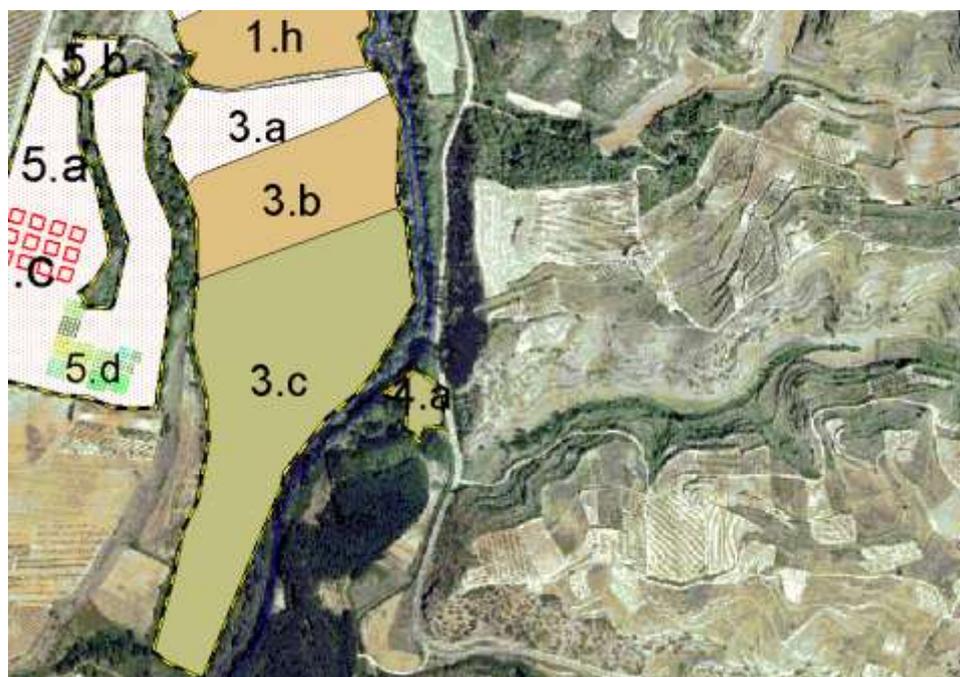


Figura 9. Distribución de los clones en la explotación de Mahave.

El rodal 3 ha sido el elegido para la realización del trabajo debido a que en él se encuentran instalados los tres clones sobre los que se va a basar el estudio. Dentro del rodal 3, en la zona más al norte (3.a), tendríamos localizado el *Populus x interamericana* "Beaupre", lindante con este subrodal, se encuentra el subrodal 3.b, en el que se encuentra el *Populus x euramericana* "I-MC", y en la zona más al sur del rodal se encuentra el subrodal 3.c, el de mayor superficie y en el cual se encuentra instalada la población de *Populus x euramericana* "I-214".

De cada uno de los 120 chopos en pie se tomó el diámetro a 1.10 metros, así también se anotó la nudosidad, defectos y se tomaron cuatro medidas de ultrasonidos (N-S, S-N, E-O y O-E), con el Fakkop. Una vez realizadas estas mediciones se apearon los árboles obteniendo la troza basal de 2.6 metros por pie, estas se marcaron con spray por sus testas, y se numeraron en la corteza.

Tras la corta y una vez realizadas todas las mediciones en campo anteriormente mencionadas las trozas se llevaron a la fábrica I de GARNICA PLYWOOD Baños de Río Tobía S.A.U. donde se realizaron otras cuatro mediciones de ultrasonidos con el Fakkop (Dos mediciones directas y otras dos indirectas), sobre las trozas ya apeadas y se tomó el diámetro basal y en punta. De cada troza se obtuvo una rodaja la cual se

numeró, estas rodajas fueron obtenidas para la toma de datos de humedad, peso de cada rodaja y densidad de cada pié.

En las rodajas también se llevo a cabo la toma de datos con el aparato Pilodyn, para el cálculo de la densidad de la madera de una forma experimental.

Una vez obtenidas las rodajas para la toma de datos en el laboratorio, las trozas fueron introducidas en el transfer gracias a la colaboración de los operarios de la empresa, este las dirigió a la peladora y al torno donde fueron desenrolladas. Una vez desenrolladas, se anotó el número de chapas de cada calidad que se obtuvieron para cada pie de cada clon.

Con los datos obtenidos, se realiza un análisis estadístico para averiguar la relación existente entre las mediciones realizadas en campo, en el parque de madera, en torno y en laboratorio.



Figura 10. Izq.: Detalle árboles en pié. Dcha.: Árboles recién apeados del clon I-214.



Figura 11. Izq.: Máquina con cabezal procesadora. Dcha.: Carga de madera.



Figura 12. Izq.: Trozas marcadas del clon I-214 en el parque. Dcha.: Trozas en el transfer.



Figura 13. Izq.: Entrada de trozas del clon I-214 al torno. Dcha.: Apiladores.



Figura 14. Detalle de la chapa ya apilada por tipo de calidad del clon I-214.

4.2 Metodología empleada

El trabajo se inicia con el marcado de los 120 pies de chopo en la misma chopera, una vez marcados se empieza la toma de datos de los árboles en pie, clon por clon. Los datos obtenidos en primer lugar son: el diámetro a 1,10 m, características del pie, defectos, nudosidad, y cuatro mediciones con el equipo Fakopp Microsecond Timer.



Figura 15. Marcado de los árboles en pie. Arriba Izq. I-214. Arriba Dcha. Beaupre. Abajo. I-MC.

Las labores de toma de datos de ultrasonidos en pie para los diferentes clones fueron realizadas el día martes 6 de enero del 2015 para el clon I-214, y el miércoles 7 de enero del 2015 para el Beaupre y el I-MC. Una vez tomados estos datos los árboles fueron apeados, dividiéndolos en trozas de múltiplos de 1,3 metros. La troza válida para el estudio es la basal (los primeros 2,6 metros), de la cual se obtiene una rodaja por pie y estas fueron marcadas para su posterior reconocimiento y estudio.

Posteriormente al apeo de los 120 pies, y a la obtención de la troza basal y las rodajas, estas fueron trasladadas a la planta I de la empresa GARNICA PLYWOOD Baños de Río Tobía S.A.U., localizada en el municipio de Baños de Río Tobía. Una vez en la planta, estas se extendieron en el parque de madera, separadas por clones y perfectamente numeradas.



Figura 16. Izq.: Descarga de las trozas. Dcha.: Trozas numeradas en parque del clon I-214.

Estando las trozas basales (2,6 metros) ya en el parque de madera y comprobando que estaban todas, se procedió a la toma de datos del diámetro basal y en punta mediante una forcípula electrónica. Posteriormente se tomaron cuatro mediciones de ultrasonidos con el equipo Fakopp Microsecond Timer (dos mediciones directas y dos indirectas). Con los datos obtenidos mediante los ultrasonidos obtenemos la velocidad de la onda ultrasónica a la humedad de los chopos. Dichos datos fueron obtenidos el lunes 12 de febrero de 2015 para el clon I-214, y el martes 13 de febrero de 2015 para los clones Beaupre e I-MC.

Tras realizar estas operaciones se llevaron las trozas al transfer de la planta, donde pasaron a la peladora, y de ahí al torno donde se procedió al desenrollado de las 120 trozas. En el torno, una vez desenrolladas las trozas se tomaron los datos del número de chapas de cada calidad (calidad B, BB, C, alma verde y alma blanca) que se obtuvieron para cada pie, de cada clon. La finalidad del desenrollado fue poder relacionar las mediciones anteriormente tomadas con la calidad de chapa que se obtenía para cada clon. El proceso de desenrollado se produjo el lunes 2 de febrero para el I-214, y el martes 3 de febrero para los clones Beaupre e I-MC.

Una vez obtenidos los datos, se agruparon en función del pie de procedencia y separado por clones, para realizar el análisis estadístico mediante el programa STATGRAPHICS CENTURION XVI.

4.2.1 Mediciones en campo

Como ya se ha explicado en el apartado anterior, las mediciones en campo se realizaron sobre los 120 árboles en pie. Se realizaron mediciones del diámetro (1.10 metros), nudosidad, defectos del tronco y otras singularidades para su clasificación de

la madera en rollo según norma UNE EN 1316-2, y las mediciones en pie con un equipo de ultrasonidos.

Medición del diámetro

Se llevo a cabo con la forcípula electrónica (Figura 17), se tomaron dos medidas perpendiculares (N-S y E-O) a una altura de 1.10 metros en todas los pies.



Figura 17. Detalle de la forcípula.

Clasificación visual de la madera

El análisis visual de la madera se llevo a cabo en campo, con la madera en pie, sin ser apeados, con el objetivo de poder observar todas las características del árbol de la forma más sencilla posible. Para el análisis visual de la madera se ha utilizado las pautas descritas en la norma española UNE-EN 1316-2:2012.

Esta norma establece unos criterios de clasificación visual para la madera en rollo de frondosas. En concreto esta segunda parte de la norma hace referencia a la clasificación visual de la madera de chopo.

El objetivo de la norma es el de establecer unos criterios de determinación de la calidad para la madera en rollo para poder determinar su utilización posterior. Esta clasificación es de aplicación para todos los clones de chopo comercializados.

Se debe de clasificar cada rollo, troza o porción de madera en rollo de forma individual, teniendo en cuenta sus dimensiones, así como la presencia, el tamaño y la distribución de las características específicas.

- Designación de clases

La designación normalizada de las clases incluye tres caracteres, el último de los cuales está separado por un guión:

- los dos primeros caracteres representan la inicial y la primera letra del género en latín.
- el tercer carácter indica la clase de calidad.

La clasificación del chopo incluye tres clases de calidad:

- Po-A: representa una clase de calidad excepcional;
- Po-B representa una clase de calidad normal;
- Po-C: representa una clase de calidad que incluye a todo rollo, troza o porción de troza que no se pueda incluir en las clases anteriores.

- Características consideradas en la clasificación

Las características contempladas en la tabla 12 deben medirse según las Normas UNE EN 1316-2 y EN 1311.

La presencia de una sola característica que no satisfaga las exigencias de una clase de calidad determinada es suficiente para desclasificar el elemento o porción de elemento considerado.

La longitud y el diámetro deben medirse según el método descrito en la Norma EN 1309.

La presencia de las siguientes características puede ser objeto de selección o rechazo contractual: entrecasco, protuberancias ramosas, abultamientos por nudos, pasmo, pudrición, curvatura, ovalidad, fendas, etc-.

- Tabla de los criterios de clasificación

Características	Clase		
	Po-A	Po-B	Po-C
(1) medidas			
longitud mínima	2.5 m ^b	2 m ^b	2 m ^b
diámetro medio sin corteza ^a	30 cm ^b	25 cm ^b	20 cm ^b
(2) nudos sanos	1 (≤ 6 cm) cada 2.5 m ^c	1 (≤ 12 cm) cada m; o 1 corona cada 2 m (cada nudo individual ≤ 8cm)	≤ 12 cm se admite
(3) nudos podridos	no se admiten	no se admiten	1 (≤12 cm) cada 1 m
(4) curvatura	< 2 cm/m	< 5 cm/m	sin límite
(5) ovalidad	< 10 %	sin límite	sin límite
(6) fendas de corazón	no pasantes	menos que la mitad del diámetro medio	se admiten

Tabla 15. Criterios de clasificación visual para el chopo según norma UNE EN 1316-2.

Características	Clase		
	Po-A	Po-B	Po-C
(7) fendas de acebolladuras	no se admiten	se admiten en el 15% central del radio	se admiten en el 15% central del radio
(8) fendas de heladura	no se admiten	no se admiten	se admiten
(9) pudrición	no se admite	no se admite	no se admite
(10) ataque de insectos	no se admite	no se admite	se admite

^a Los contratistas deben acordar una reducción de la corteza.

^b Excepto artículos contractuales.

^c No se admiten para trozas de enchapado.

Tabla 15 (Cont). Criterios de clasificación visual para el chopo según norma UNE EN 1316-2.

Medición de ultrasonidos en los chopos en pie

Se tomaron cuatro mediciones longitudinales indirectas con una separación de 2.6 metros entre el emisor y el receptor. Las mediciones tuvieron orientación N-S, S-N, E-O y O-E, con el objetivo de que las ondas pasasen por la totalidad de la troza y se detectasen los fallos internos de las trozas. Las medidas se realizaron con el equipo Fakopp Microsecond Timer (Figura 18).



Figura 18. Detalle del equipo Fakopp Microsecond Timer.

Las mediciones longitudinales indirectas se realizaron:

1. Siguiendo la dirección “**norte-sur**”; es decir, la aguja localizada en el norte en la parte superior del árbol (2.6 metros) y la aguja localizada en el sur en la zona inferior del árbol (zona basal), de manera que la onda ultrasónica atraviesa el tronco transversalmente en toda su longitud (Figura 19).

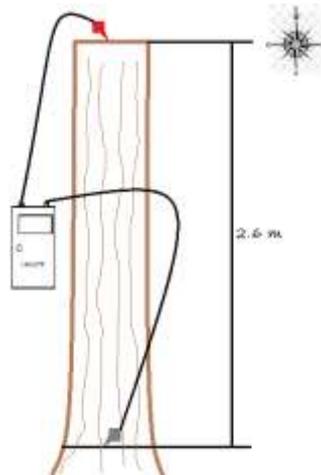


Figura 19. Esquema de la medición longitudinal indirecta, siguiendo la dirección “norte-sur”.

2. Medida “**sur-norte**”, tal como se muestra en la Figura 20.

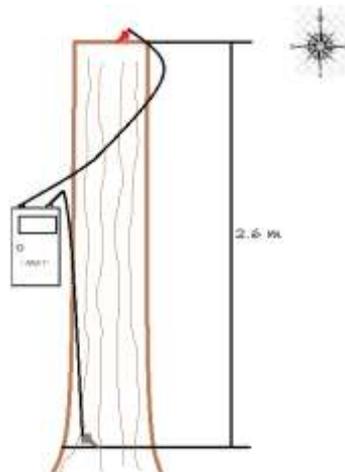


Figura 20. Esquema de la medición longitudinal indirecta, siguiendo la dirección “sur-norte”.

3. Medida “**este-oeste**”, tal como se muestra en la Figura 21.

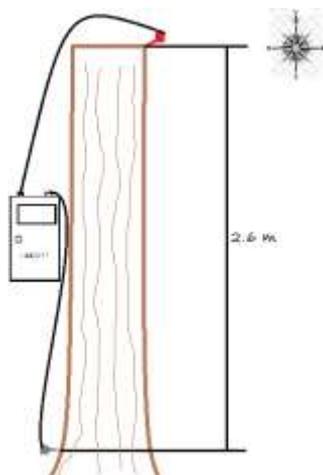


Figura 21. Esquema de la medición longitudinal indirecta, siguiendo la dirección “este-oeste”.

4. Medida “**oeste-este**”, tal como se muestra en la Figura 22.

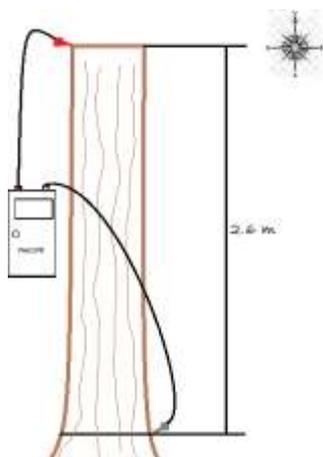


Figura 22. Esquema de la medición longitudinal indirecta, siguiendo la dirección “oeste-este”.

Para llevar a cabo el cálculo de la velocidad de propagación de la onda ultrasónica a través de la madera a la humedad en que se ha realizado el ensayo, se utilizó la siguiente ecuación:

$$V_h = \frac{l}{t}$$

siendo: V_h : velocidad de propagación de la onda ultrasónica por la madera a la humedad en la que ha sido realizado el ensayo.

l : distancia entre el emisor y el receptor

t : tiempo que tarda a recorrer la onda ultrasónica la distancia entre los palpadores.

Esta velocidad de propagación de la onda ultrasónica se obtiene con una humedad de la madera en los chopos mayor del 100%.

Medición de la nudosidad

Se anoto la nudosidad existente en todos y cada uno de los pies objeto de estudio, cabe indicar que la mayor parte de los nudos presentes en los pies son nudos sanos y cerrados debido al tipo de selvicultura de producción que se lleva a cabo en este tipo de plantaciones. Algún pie sí que presentaba algún nudo abierto en la primera troza pero por lo general esto no ocurría, debido a que la mayor parte del valor de la madera se encuentra en los 5.20 primeros metros, así que estos deben de estar bien podados y con nudos cerrados para que no se deprecie el valor de esta.



Figura 23. Izq.: Detalle de nudo cerrado. Dcha.: Detalle de nudo abierto en el clon I-214.

Medición de defectos en el tronco

Se tomaron también apuntes sobre defectos encontrados en los pies. Alguno de los efectos que se encontraron fueron: fendas, ovalidad y curvatura.



Figura 24. Izq.: Fenda de heladura. Dcha.: Curvatura en el tronco en el clon I-214.

4.2.2 Medición en parque

Una vez realizadas las mediciones en campo, las 120 trozas de 2.6 metros de largo fueron trasladadas a las instalaciones de GARNICA PLYWOOD Baños de Río Tobía S.A.U., mediante tráileres equipados con pinza para la carga y descarga de las trozas. Una vez en el parque las trozas fueron separadas por clones y colocadas por separado y extendidas en el suelo para facilitar la toma de datos. Se tomaron datos de diámetro basal y en punta, así como cuatro mediciones con el equipo Fakopp Microsecond Timer (dos mediciones directas y dos mediciones indirectas).

Medición del diámetro

Al estar las trozas apeadas se antoja difícil realizar las mediciones del diámetro de forma perpendicular con la ayuda de una forcípula. Por ello se utilizó para la toma de datos del diámetro basal y en punta una cinta métrica. Se tomaron dos medidas perpendiculares (N-S y E-O) en el culo y en la parte más delgada.



Figura 25. Detalle de la cinta métrica.

Medición de ultrasonidos en las trozas de 2.6 metros

Se tomaron cuatro mediciones longitudinales, dos directas y dos indirectas con una separación de 2.6 metros entre el emisor y el receptor. Las mediciones directas se realizaron de testa a testa, y las mediciones indirectas con el emisor y el receptor en la zona de la corteza y con dirección contraria uno con otro, de manera que el ultrasonido atraviesa el tronco transversalmente en toda su longitud. Las medidas se realizaron con el equipo Fakopp Microsecond Timer (Figura X).



Figura 26. Medición de ultrasonidos de la troza del clon I-214 en parque con el equipo Fakopp.

Las mediciones longitudinales directas se realizaron:

1. Del punto medio al punto medio de la mitad superior de la testa, como se muestra en la Figura 27.

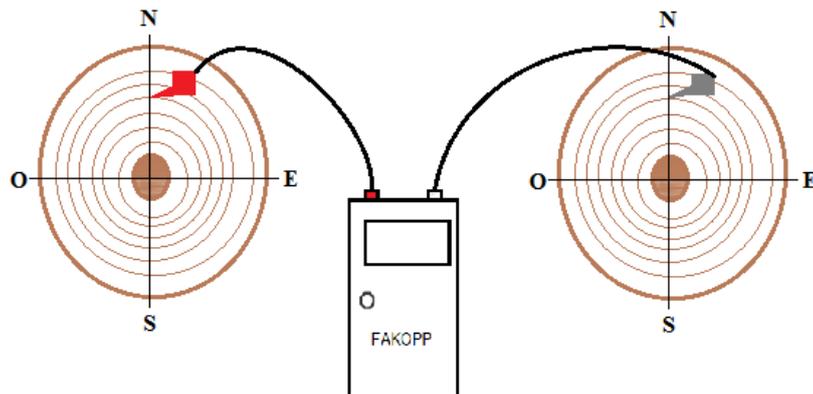


Figura 27. Esquema de la medición de ultrasonidos de forma directa en la parte superior.

2. Del punto medio al punto medio de la mitad inferior de la testa, como se puede observar en la Figura 28.

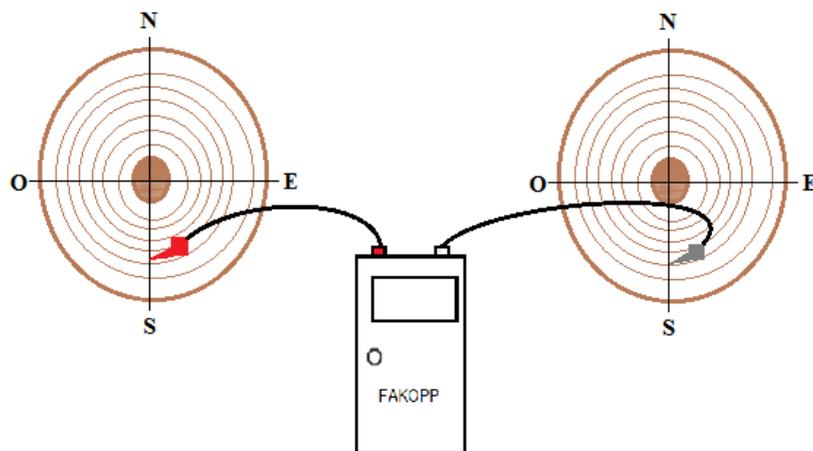


Figura 28. Esquema de la medición de ultrasonidos de forma directa en la parte inferior.

Las mediciones longitudinales indirectas se realizaron:

1. Siguiendo la dirección "este-oeste"; es decir, una de las agujas se clavaba en el lateral este del tronco, en la zona de la corteza, en dirección oeste, y la otra aguja clavada en el lateral oeste del tronco, en la corteza, en dirección contraria (este); de manera que la onda ultrasónica atraviesa el tronco transversalmente en toda su longitud (Figura 29).

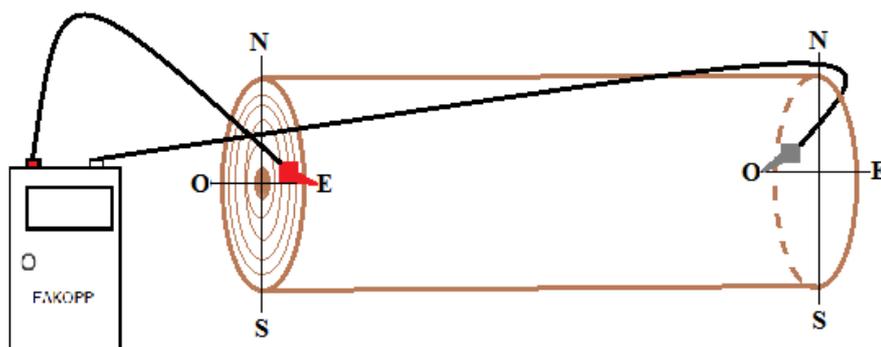


Figura 29. Esquema de la medición de ultrasonidos longitudinal indirecta, siguiendo la dirección "este-oeste".

2. De "oeste a este" de forma contraria a lo indicado en el apartado anterior, tal como se muestra en la Figura 30.

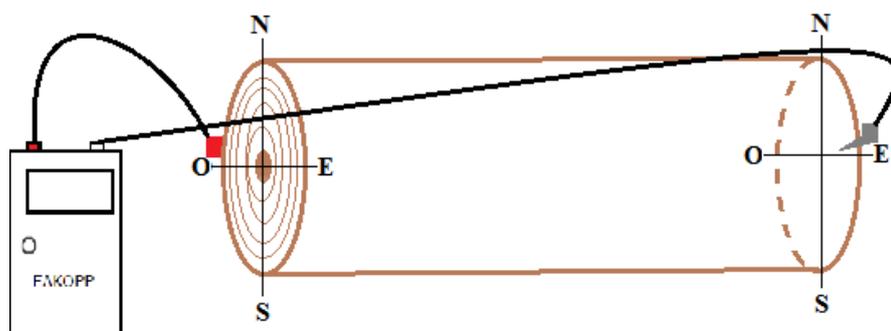


Figura 30. Esquema de la medición de ultrasonidos longitudinal indirecta, siguiendo la dirección "oeste-este".

El ensayo se realizó dando un golpe de martillo en el sensor vibratorio (sensor rojo en las figuras anteriores), de manera que el equipo Fakopp Microsecond Timer mide el tiempo (μs) que tarda la onda ultrasónica generada por el emisor en llegar al receptor (sensor gris en las figuras anteriores).

Para el cálculo de la velocidad de propagación de la onda ultrasónica a través de la madera a la humedad en que ha sido realizado el ensayo, se utilizó la ecuación vista anteriormente:

$$V_h = \frac{l}{t}$$

siendo: V_h : velocidad de propagación de la onda ultrasónica por la madera a la humedad en la que ha sido realizado el ensayo.

l : distancia entre el emisor y el receptor

t : tiempo que tarda a recorrer la onda ultrasónica la distancia entre los palpadores.

4.2.3 Medición en el torno

Finalizadas las mediciones en campo y en el parque de madera, se realizaron las mediciones en el torno, para conocer la cantidad de chapa de cada calidad que se obtiene de cada pie una vez desenrolladas todas las trozas. Con esta toma de datos se pretende obtener algún tipo de relación entre las mediciones anteriormente tomadas para cada pie y la calidad de chapa obtenida después del desenrollo.

Para ello se introdujeron en el transfer las trozas separadas por clones, y se anotó el orden en que las trozas entraban al torno. Una vez anotado esto, nos dirigimos a los apiladores donde, con ayuda de un ordenador, fuimos anotando la cantidad de chapas de un grosor determinado que se obtenían para cada clase de calidad para todas y cada una de las trozas desenrolladas.

No nos interesa el número de chapas de cada calidad si no el volumen de madera de cada calidad que se obtiene, el cual lo calculamos con el número de chapas obtenido y las dimensiones de estas.

Mediciones en los apiladores

Se trata de una toma de datos sencilla en la cual solo se debe anotar el número de chapas de cada calidad que se van obteniendo de cada troza. Esta medición se lleva a cabo con la ayuda de un ordenador que se encuentra conectado con los apiladores de chapa y en el cual se puede observar, el número de chapas que va a parar a cada pila.



Figura 31. Detalle de los apiladores de chapa para cada calidad.

4.2.4 Mediciones en el laboratorio

Las mediciones en laboratorio se llevaron a cabo sobre las rodajas obtenidas anteriormente en campo; estas se encontraban ya numeradas y separadas por clones para su correcta identificación. Sobre ellas se trabajó con la finalidad de obtener la humedad de las rodajas y la densidad de estas. Dichas labores se realizaron en el laboratorio de Garnica Plywood Fuenmayor S.L.U.

Determinación de la humedad

Para la obtención de la humedad se procedió al pesado de las trozas en una balanza de precisión 0.1 g.

Posteriormente, las rodajas se introdujeron por tandas en una estufa a 100 °C durante 3 días, con la intención de que estas perdiesen la totalidad de su humedad. Una vez las rodajas estaban secas se procedió a su pesaje en seco con la ayuda de la misma balanza que en el caso anterior.

Se calculo el contenido en humedad medido como porcentaje de humedad, con la siguiente ecuación:

$$H = \left(\frac{Ph - Po}{Po} \right) \times 100$$

siendo: H: contenido en humedad de la rodaja (%).

Ph; peso húmedo de la rodaja (g).

Po: peso anhidro de la rodaja (g).



Figura 32. Detalle de la estufa.

Determinación de la densidad

Se llevo a cabo el cálculo de la densidad para cada rodaja mediante el principio de Arquímedes.

Arquímedes buscando descubrir la forma de medir la densidad de los cuerpos descubrió el siguiente principio “Todo cuerpo sumergido en el seno de un fluido, sufre una fuerza ascendente (empuje) cuyo valor es igual al peso del fluido desalojado por el cuerpo.”

Para llevar a cabo las mediciones utilizamos una balanza de sensibilidad 0.1 g. En primer lugar se debía anotar la masa de las rodajas, este dato ya lo teníamos de las operaciones del cálculo de la humedad. Luego, colocamos en el plato de la balanza un recipiente con agua, donde pudimos sumergir los cuerpos sin que se produjese derramamiento de agua. Posteriormente se taró la balanza y se introdujeron una a una las rodajas anotando el dato que indicaba la balanza. La determinación del valor del empuje del agua (M_e) se calculó según el principio de Arquímedes:

$$M_e = V_c \times \rho_a = \frac{M_c}{\rho_c} \times \rho_a$$

siendo: M_e : valor del empuje del agua (g).

V_c : volumen del cuerpo (cm^3).

ρ_a : densidad del agua (g/cm^3).

M_c : masa del cuerpo (g).

ρ_c : densidad del cuerpo (g/cm^3).

De esta ecuación se deduce que:

$$\rho_c = \frac{Mc}{Me} \times \rho_a$$

Ensayo con penetrómetro Pilodyn

Para estimar la densidad de la madera se utilizó el "Pilodyn". Se trata de un aparato de ensayo no destructivo para la determinación de la dureza y la densidad de la madera viva o en postes y vigas, a través de un método rápido y no destructivo. La principal aplicación del Pilodyn es la de determinar la calidad y dureza de todo tipo de elementos de madera.

Pilodyn, funciona mediante el disparo de una aguja de acero (\varnothing 2,5 mm. o \varnothing 2,0 mm) sobre la madera con una energía uniforme. La profundidad de penetración se lee en una escala. Esta medida se relaciona con una determinada densidad de la madera



Figura 33. Izq.: Detalle del Pilodyn. Dcha.: Detalle de la toma de datos con el Pilodyn.

4.2.5 Equipos e instrumentos de uso común

En la realización de los diferentes ensayos que componen el presente estudio, se han necesitado los siguientes instrumentos auxiliares:

- Cinta métrica: con una precisión de 1 mm, se utilizó para determinar el diámetro basal y en punta de las trozas ya apeadas, debido a la dificultad de tomar los diámetros perpendiculares con la ayuda de una forcípula. También fue utilizada para la determinación de las dimensiones (largo y ancho) de las chapas obtenidas tras el desenrollado y para la evaluación visual de cada defecto o anomalía.

- Calibre: con una precisión de 0.01 cm, se utilizó para determinar el grosor de las chapas obtenidas tras el desenrollo.
- Estufa: utilizada para secar totalmente las rodajas y poder obtener así el peso anhidro.
- Balanza: con una precisión de 0.1 g, para determinar el peso húmedo y el peso anhidro de cada rodaja y poder obtener así la humedad de cada rodaja.
- Ordenador: donde se veía reflejado el número de chapas que se iban acumulando en cada apilador y gracias al cual se pudo determinar el número de chapas de cada calidad que se obtenían de cada troza.

4.3 Tratamiento estadístico de los datos

El tratamiento estadístico de los datos se ha llevado a cabo mediante el programa estadístico "STATGRAPHICS CENTURIÓN XVI.I". Para poder realizar el tratamiento estadístico de los datos obtenidos de las mediciones realizadas, estos se han recopilado en ficheros Microsoft Excel, y posteriormente han sido cargados en el programa.

En primer lugar, se realizó la estadística descriptiva para cada clon, con los datos recogidos del árbol en pie, apeado y las mediciones en laboratorio y del torno (Diámetro, altura maderable, ultrasonidos en pie y en troza, nudosidad, densidad, humedad, penetración, número de chapas obtenidas, volumen de chapas por calidades y rendimiento de chapa).

En segundo lugar se han realizado análisis comparativos para los tres clones de las variables anteriormente mencionadas, estos análisis comparativos se han llevado a cabo mediante la realización de Anovas.

Por último se han realizado regresiones para poder predecir la densidad en pie y la calidad de chapa en función de las variables estudiadas.

4.3.1 Estadística descriptiva. Medidas de centralidad y dispersión

En este apartado se muestra un resumen con la estadística descriptiva empleada para cada variable tomada, utilizada para su descripción cuantitativa.

Número (N): número total de mediciones para cada variable estudiada.

Promedio o media aritmética: se refiere a la medida de centralidad de una muestra.

Se define como la suma de todos los valores de la distribución dividida por el número total de datos.

$$\chi = \frac{\sum_{i=1}^K X_i \cdot n_i}{N} \cdot 100$$

Valor específico al 5% (o quinto percentil): este valor hace referencia al punto en la abscisa de la distribución a la derecha del cual se encuentra el 95% de los datos de la muestra.

Se calcula como:

$$\text{Valor característico} = \text{Promedio} - (1.654 \text{ Desv. estandar})$$

Desviación estándar (Desv. estándar): se trata de una medida de dispersión y se define como la raíz cuadrada, con signo positivo de la varianza:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^k (X_j - \chi)^2 \cdot n_i}$$

Coefficiente de variación (CV): medida de dispersión que se calcula como:

$$CV = \frac{\text{Desv. estandar}}{\text{Promedio}} \cdot 100$$

Al expresarse en porcentaje y tratarse de un valor adimensional, permite la dispersión de variables expresadas en unidades distintas.

Mínimo: valor mínimo del total de valores de la variable para la muestra.

Máximo: valor máximo del total de los valores de la variable para la muestra.

4.3.2 Estadística comparativa. Análisis de varianza para comparación de medias

En estadística, el análisis de la varianza es una colección de modelos estadísticos y sus procedimientos asociados. El análisis de la varianza tiene como objetivo constatar diferencias entre grupos en torno a sus medias y varianzas. Sirve para comparar si los valores de un conjunto de datos numéricos son significativamente distintos a los valores de otro o más conjunto de datos.

El procedimiento para comparar estos valores está basado en la varianza global observada en los grupos de datos numéricos a comparar. Típicamente, el análisis de varianza ANOVA de 1 factor se utiliza para asociar una probabilidad a la conclusión de que la media de un grupo de mediciones es distinta a la media de otro grupo de mediciones.

Para la realización del análisis de varianza ANOVA, lo primero que se ha hecho ha sido comprobar que:

- La variable dependiente debe medirse al menos a nivel de intervalo.
- Independencia de las observaciones.
- Errores o residuos aleatorios siguen una distribución normal, de media cero y varianza constante.

A los residuos se les aplica un test de normalidad, para comprobar que éstos tienden a una distribución normal de media cero. Para ello se realiza una prueba de bondad de ajuste de los residuos, conocida como Test de Kolmogorov-Smirnov. Para comprobar que su varianza es constante se estudian los gráficos de residuos-niveles de factor y residuos-predichos.

En caso de que los residuos para una variable no siguiesen una distribución normal, no se puede realizar un análisis ANOVA de 1 factor, por lo que recurriremos a la prueba de Kruskal-Wallis, que trabaja con la hipótesis nula de que las medianas son iguales.

4.3.3 Funciones de predicción

Las regresiones han sido utilizadas en este estudio para definir las ecuaciones de las funciones que nos relacionan las diferentes variables estudiadas.

El objetivo de un análisis de regresión es investigar la relación causa-efecto que existe entre una variable dependiente (Y) y una o más variables independientes (X_1, X_2, X_3, \dots) a través del ajuste de ecuaciones.

Las regresiones elegidas en este estudio son aquellas cuyo p-valor resulta significativo, de manera que la variable o variables independientes definan a la variable dependiente en un cierto porcentaje, mostrado a través del coeficiente de determinación R^2 .

Una vez se ha definido el mejor modelo o regresión, que será aquella función más eficaz en la descripción de la variable dependiente con el menor error posible, dicho con otras palabras, con la menor diferencia entre los valores observados y predichos, se observarán los residuos para localizar posibles outliers, es decir, valores erráticos que se deben dejar fuera del modelo.

A continuación de esto se realiza el ajuste con los datos ya depurados, lo que permite obtener la ecuación del modelo ajustado, el coeficiente de determinación ajustado y el p-valor del análisis de la varianza, con el que se puede definir el grado de confianza al cual es estadísticamente significativa la relación entre variables.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5. Resultados y discusión

En el siguiente apartado (completado con el ANEJO I. Estadística) se presentan y discuten los resultados estadísticos obtenidos empleando la metodología expuesta en el capítulo anterior.

5.1 Estadística descriptiva

El apartado 5.1 *Estadística descriptiva* se ha dividido en tres subapartados en relación a la toma de datos.

Por una parte tenemos las variables tomadas en campo y en parque que se han englobado en un solo subapartado (5.1.1. Variables mediadas en campo y en parque) para mostrar de forma conjunta todos los datos de ultrasonidos estudiados. Por otro lado tenemos las variables obtenidas en laboratorio, que hacen referencia a los datos tomados sobre las rodajas de chopo. El último subapartado hace referencia a los datos obtenidos tras el desenrollo de las trozas, es decir al número de chapas obtenido, el volumen de las mismas y el rendimiento de chapa en relación al volumen de madera procesado.

5.1.1 Variables medidas en campo y en parque

En campo se tomaron los datos de diámetro normal, altura maderable por clon, nudosidad, clasificación visual y ultrasonidos en pié (cuatro medidas por pie, de forma indirecta, tal como se muestra en las Figuras 19, 20, 21 y 22). Una vez los árboles fueron apeados y tronizados a 2.6 metros, estos fueron trasladadas al parque de madera donde se tomaron los datos de diámetro basal y en punta delgada, así como las medidas de ultrasonidos directas e indirectas sobre cada troza (dos medidas directas y dos medidas indirectas como se muestra en las Figuras 27, 28, 29 y 30).

A continuación se muestran las medidas de centralidad y dispersión para cada variable medida en campo y en parque para los tres clones por separado.

Variable	N	Promedio	Desv. estánd.	C.V (%)	Mínimo	Máximo
Ø basal.	40	37.15	5.156	13.88	27.8	54.2
Ø normal.	40	34.62	4.014	11.59	25.8	41.8
Ø punt. delg.	40	33.33	3.870	11.64	24.5	41.2
Velocidad con Fakopp en pié (m*s ⁻¹)	40	2454.48	65.331	2.66	2343.38	2598.43
Velocidad directa con Fakopp troza (m*s ⁻¹)	40	4267.92	315.804	7.40	3942.56	5408.66
Velocidad indirecta con Fakopp troza (m*s ⁻¹)	40	3975.56	201.47	5.07	3657.21	4425.69

Tabla 16. Medidas de centralidad y dispersión de las variables medidas en campo y en parque para el clon I-214.

Variable	N	Promedio	Desv. estánd.	C.V (%)	Mínimo	Máximo
Ø basal.	40	36.75	3.194	8.69	29.8	42.0
Ø normal.	40	34.41	2.748	7.89	27.5	38.8
Ø punt. delg.	40	32.86	2.813	8.56	25.8	37.5
Velocidad con Fakopp en pie (m*s ⁻¹)	40	2827.88	275.886	9.76	2142.23	3447.70
Velocidad directa con Fakopp troza (m*s ⁻¹)	40	4253.55	110.225	2.59	3863.38	4407.24
Velocidad indirecta con Fakopp troza (m*s ⁻¹)	40	4083.83	88.644	2.17	3849.61	4210.66

Tabla 17. Medidas de centralidad y dispersión de las variables medidas en campo y en parque para el clon I-MC.

Variable	N	Promedio	Desv. estánd.	C.V (%)	Mínimo	Máximo
Ø basal.	40	36.65	4.655	12.70	26.3	44.3
Ø normal.	40	32.55	3.799	11.67	24.4	38.3
Ø punt. delg.	40	30.83	3.676	11.93	22.8	36.8
Velocidad con Fakopp en pie (m*s ⁻¹)	40	2451.13	124..238	5.07	2219.76	2909.47
Velocidad directa con Fakopp troza (m*s ⁻¹)	40	4154.33	119.79	2.88	3583.87	4276.73
Velocidad indirecta con Fakopp troza (m*s ⁻¹)	40	4068.69	118.733	2.92	3623.78	4210.55

Tabla 18. Medidas de centralidad y dispersión de las variables medidas en campo y en parque para el clon Beaupre.

Al tratarse la clasificación visual de un valor categórico no se pudo llevar a cabo la descripción numérica realizada para las variables anteriormente expuestas. Por este motivo a continuación se muestra la frecuencia y la frecuencia relativa existente para cada calidad atendiendo a la norma UNE-EN 1316-2, para los diferentes clones. La máxima calidad está vinculada al código Po-A, la peor calidad al código Po-C, siendo el código Po-B el de calidad media.

I-214		
Valor	Frecuencia	Frecuencia relativa
Po-A	25	0.625
Po-B	9	0.225
Po-C	6	0.150
I-MC		
Valor	Frecuencia	Frecuencia relativa
Po-A	26	0.650
Po-B	2	0.050
Po-C	12	0.300

Tabla 19. Frecuencia y frecuencia relativa del tipo de calidad para cada clon.

BEAUPRE		
Valor	Frecuencia	Frecuencia relativa
Po-A	20	0.500
Po-B	11	0.275
Po-C	9	0.225

Tabla 19 (Cont.). Frecuencia y frecuencia relativa del tipo de calidad para cada clon.

En trabajos como PADRO *et al.* (2005), que utilizan la misma norma para la clasificación visual de la madera en pie pero en un número más elevado de clones, se obtienen resultados más o menos semejantes a los obtenidos en este trabajo, especificándose que el alto porcentaje de madera de calidad Po-A que se clasifica en pie, es debido a los cuidados culturales que se realiza sobre el arbolado, al tratarse de cultivos cuya finalidad es la obtención de madera de calidad para el desenrollo.

PADRO *et al.* (2005), afirma que la calidad visual de la madera Po-A, corresponde a maderas de las cuales se pueden obtener chapas de calidad B o BB. Que de las maderas de calidad Po-B se obtienen chapas de calidad C, y que de las maderas catalogadas como Po-C, cabe esperar solamente chapas de calidad para interiores.

Por otro lado podemos llevar a cabo la comparativa de las velocidades obtenidas mediante la utilización del equipo "Fakopp" de las medidas tomadas en el parque de madera. Esta comparativa se lleva a cabo al ser ambas medidas de naturaleza diferente, debido a que la medida directa es longitudinal al árbol y la medida indirecta es transversal a este.

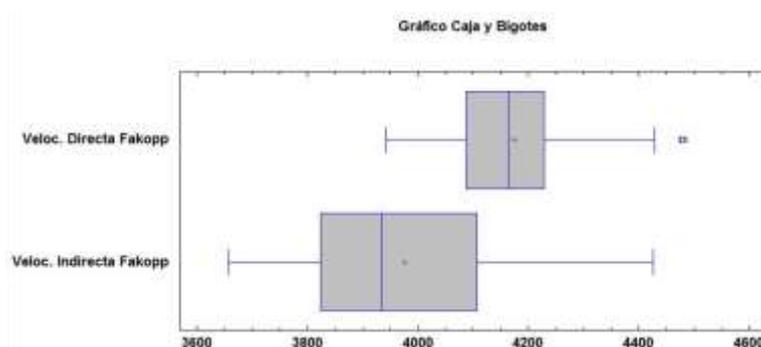


Figura 34. Gráfico de cajas y bigotes para las velocidades medidas en parque sobre el I-214.

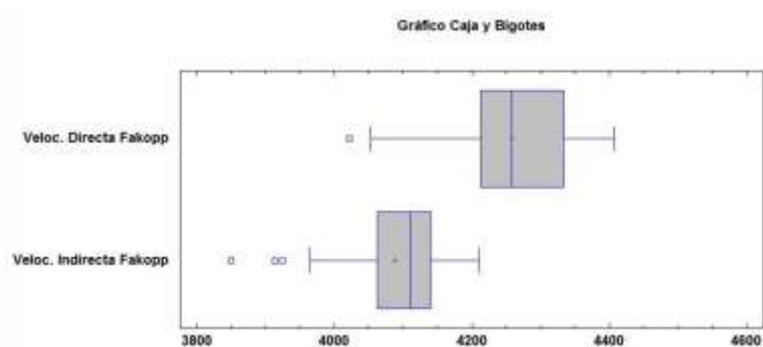


Figura 35. Gráfico de cajas y bigotes para las velocidades medidas en parque sobre el I-MC.

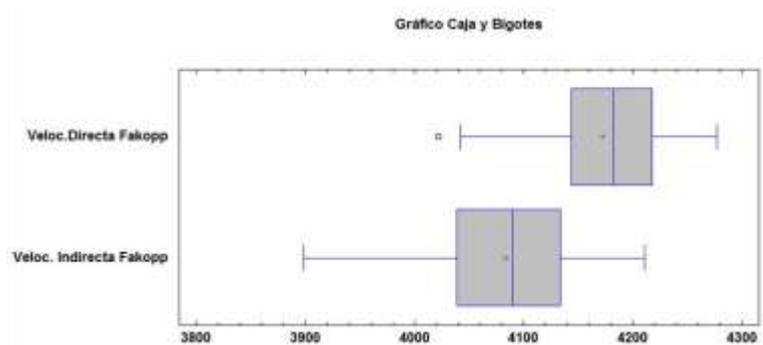


Figura 36. Gráfico de cajas y bigotes para las velocidades medidas en parque sobre el BEUPRE.

Como era de suponer y los gráficos anteriores constatan, la velocidad directa es mayor en los tres clones, ya que la onda de ultrasonidos atraviesa el árbol de forma paralela al eje longitudinal y a las fibras; en cambio, la onda atraviesa transversalmente el árbol cuando realizamos la medición de forma indirecta.

Por último se va a estudiar la correlación existente entre las dos velocidades. El rango de los coeficientes de correlación va de -1 a +1, y miden la fuerza de la relación lineal entre las variables. También se muestra, entre paréntesis, el número de datos utilizados para calcular cada coeficiente. El tercer número de cada bloque de la tabla es un p-valor que prueba la significatividad estadística de las correlaciones estimadas. P-valores por debajo de 0.05 indican correlaciones significativas con un nivel de confianza del 95%.

	Veloc. Directa Fakopp	Veloc. Indirecta Fakopp
Veloc. Directa Fakopp		0.5729
		(40)
		0.000
Veloc. Indirecta Fakopp	0.5729	
	(40)	
	0.000	

Tabla 20. Correlaciones momento producto de Pearson entre las velocidades medidas en parque para el I-214.

	Veloc. Directa Fakopp	Veloc. Indirecta Fakopp
Veloc. Directa Fakopp		0.6502
		(40)
		0.000
Veloc. Indirecta Fakopp	0.6502	
	(40)	
	0.000	

Tabla 21. Correlaciones momento producto de Pearson entre las velocidades medidas en parque para el I-MC.

	Veloc. Directa Fakopp	Veloc. Indirecta Fakopp
Veloc. Directa Fakopp		0.3614
		(40)
		0.0219
Veloc. Indirecta Fakopp	0.3614	
	(40)	
	0.0219	

Tabla 22. Correlaciones momento producto de Pearson entre las velocidades medidas en parque para el BEAUPRE.

Para los dos primeros clones podemos observar una correlación aceptable debido a la proximidad de los valores de la relación lineal a la unidad y un p-valor menor de 0.05. Para el clon Beaupre vemos que esta correlación entre medidas no es tan significativa como lo es para los otros dos clones debido a un valor de relación lineal bajo.

5.1.2 Variables medidas en laboratorio

Una vez realizadas las medidas en campo y en el parque de madera, se obtuvo una rodaja por pié con la finalidad de estimar la densidad, humedad y la penetración con el equipo "Pilodyn". La razón de la estimación de estas variables fue clara; relacionarlas con las medidas de ultrasonidos en pie y en troza, así como con la calidad de chapa obtenida para cada troza.

A continuación se va a estudiar las medidas de centralidad y dispersión para cada una de las variables obtenidas en el laboratorio.

Variable	N	Promedio	Desv. estánd.	C.V (%)	Mínimo	Máximo
Densidad básica (g/cm ³)	40	0.291	0.020	7.00	0.253	0.318
Densidad verde (g/cm ³)	40	0.733	0.011	1.87	0.703	0.771
Humedad (%)	40	153	19.52	12.75	122	190
Penetración "Pilodyn" (mm)	40	25.03	1.92	7.70	20	28

Tabla 23. Medidas de centralidad y dispersión de las variables medidas en el laboratorio (I-214).

Variable	N	Promedio	Desv. estánd.	C.V (%)	Mínimo	Máximo
Densidad básica (g/cm ³)	40	0.370	0.001	1.49	0.361	0.379
Densidad verde (g/cm ³)	40	0.837	0.003	0.31	0.832	0.842
Humedad (%)	40	126	0.03	2.71	120	132
Penetración "Pilodyn" (mm)	40	22.03	2.26	10.26	17	26

Tabla 24. Medidas de centralidad y dispersión de las variables medidas en el laboratorio (I-MC).

Variable	N	Promedio	Desv. estánd.	C.V (%)	Mínimo	Máximo
Densidad básica (g/cm ³)	40	0.351	0.009	2.59	0.333	0.366
Densidad verde (g/cm ³)	40	0.827	0.004	0.58	0.814	0.835
Humedad (%)	40	136	0.06	4.63	126	147
Penetración "Pilodyn" (mm)	40	22.63	1.72	7.60	20	26

Tabla 25. Medidas de centralidad y dispersión de las variables medidas en el laboratorio (Beaupre).

De entre todos los clones de chopo utilizados en la populicultura española, el I-214 ha sido el más estudiado, y por lo tanto sobre el que más datos experimentales existen, por ser este, el clon más utilizado y presentar unos buenos resultados en la mayor parte de terrenos.

Sobre el papel y como forma teórica sabemos que de los tres clones con los que trabajamos el I-214 es el que menos densidad básica presenta. Esta densidad oscila entre 0.25 y 0.32 g/cm³, DE LA CRUZ (2005), otros estudios apuntan a que la densidad media del clon es de 0.361 g/cm³ al 10% de humedad, CASADO *et al.* (2012). También se sabe que la humedad en verde para el I-214 se encuentra en torno al 140%, y que esta disminuye de forma inversa con la densidad GUTIERREZ OLIVA *et al.* (2005).

Como se puede observar en las tablas anteriores y los datos bibliográficos constatan, el clon I-214 presenta una densidad más baja que el resto de los clones. El clon I-MC es el que mayor densidad básica tiene de los clones estudiados, siendo el clon Beaupre el que presenta características medias entre ambos. En el estudio de la densidad en verde observamos que la relación de densidad que se da para esta

variable, es igual que para la densidad básica, siendo el clon I-214 el que menos densidad verde presenta y el clon I-MC el que más.

Estudios como el de PADRO *et al.* (2005), apuntan que de los tres clones estudiados el que menor densidad verde presenta es el clon I-214, con un valor semejante al del presente estudio (0.711 g/cm^3). Por otro lado tenemos que para PADRO, la densidad en verde es superior en el clon Beaupre, que en el I-MC al contrario que en este estudio, aunque la densidad del Beaupre se asemeja mucho a la obtenida con nuestras mediciones.

En cuanto a la humedad observamos que el clon I-MC es el que menos humedad tiene, esto puede ser debido a su alta densidad en comparación con otros clones de chopo. Al contrario tenemos el clon I-214 que en este estudio presenta una humedad media de 150%, que se asemeja a la humedad experimental estudiada para dicho clon.

Para los datos de penetración con el equipo "Pilodyn" observamos que el clon que menor penetración presenta es el I-MC, esto es debido a que se trata del clon con una densidad más alta y por lo tanto ejerce mayor resistencia a la penetración de la aguja.

Como apunte final observamos que el clon Beaupre presenta características medias en comparación a los otros dos clones estudiados en este trabajo, tanto en densidad, como en humedad y en penetración con el equipo "Pilodyn".

5.1.3 Variables medidas en el torno

Como último paso en la toma de datos para este estudio se llevó a cabo el desarrollo de las trozas estudiadas, con la finalidad de conocer el volumen de chapa de cada calidad obtenidas tras este proceso.

El desarrollo se llevó a cabo en tres fases. En cada fase se desarrolló un clon diferente con el objetivo de crear tres lotes de desarrollo independientes para poder conocer el rendimiento del torno para cada proceso por separado y dar más tiempo para la toma de datos, facilitando así esta tarea.

Se muestra ahora una tabla resumen de las dimensiones de las chapas por calidad para cada clon. Las medidas de estas chapas no son iguales, debido a que el desarrollo se realizó en fechas diferentes y los requerimientos de chapas en la fábrica variaron entre estas fechas. Los cálculos del volumen de chapa por calidades están realizados teniendo en cuenta estas dimensiones, por lo tanto se trata del volumen real de chapa para cada calidad.

I-214			
Calidad	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)
Almas verdes	2500	1850	2.5
Almas blancas	2500	1850	2.5
C blanca	2500	1850	1
BB	2500	1220	1
B	2500	1220	1
I-MC			
Calidad	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)
Almas verdes	2500	2850	2.6
Almas blancas	2500	2850	2.2
C verde	2500	1220	1
C blanca	2500	1720	1
BB	2500	1220	1
BEAUPRE			
Calidad	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)
Almas verdes	2500	2850	2.2
Almas blancas	2500	2850	2.2
C verde	2500	1220	1
C blanca	2500	1720	1
BB	2500	1220	1

Tabla 26. Tabla resumen de las dimensiones de chapa para cada clon.

También se debe apuntar que el código utilizado para la calidad de chapa va de mejor a peor calidad en este orden descendente: B, BB, C blanca, C verde, Almas blancas y Almas verdes.

A continuación se va a estudiar las medidas de centralidad y dispersión para cada una de las variables obtenidas en el torno. Para cada clon existen dos descripciones estadísticas; la primera hace referencia al estudio estadístico del número de chapas obtenidas de cada calidad, y la segunda al volumen de estas.

Variable	N	Promedio	Desv. estánd.	C.V (%)	Mínimo	Máximo
Almas Verdes	40	3.40	2.12	62.41	0	13
Almas Blancas	40	1.60	2.10	131.10	0	9
C	40	5.02	5.37	106.88	0	20
BB	40	4.75	6.64	139.79	0	24
B	40	4.78	7.77	162.81	0	35

Tabla 27. Medidas de centralidad y dispersión del número de chapas obtenidas en el torno (I-214).

Variable	N	Promedio	Desv. estánd.	C.V (%)	Mínimo	Máximo
Almas Verdes (m ³)	40	0.0393	0.0245	62.41	0.0000	0.1503
Almas Blancas (m ³)	40	0.0185	0.0243	131.10	0.0000	0.1041
C (m ³)	40	0.0232	0.0248	103.88	0.0000	0.0925
BB (m ³)	40	0.0145	0.0203	139.79	0.0000	0.0732
B (m ³)	40	0.0146	0.0237	162.81	0.0000	0.1066

Tabla 28. Medidas de centralidad y dispersión del volumen de chapa obtenido en el torno (I-214).

Para el clon I-214 se colocaron cinco apiladores de chapa. Al tratarse de un clon de coloración blanquecina y con madera de calidad, se colocó un apilador de chapas de calidad B. Esta calidad es la más alta de las presentes en este estudio. Dichas chapas son utilizadas para las caras del tablero por su homogeneidad, coloración y ausencia de nudos.

Como vamos a poder observar a continuación, al resto de los clones no presentaban ningún apilador de calidad B, puesto que no se requerían en fábrica chapas de dicha calidad en el día del desenrollo de estos dos lotes.

Variable	N	Promedio	Desv. estánd.	C.V (%)	Mínimo	Máximo
Almas Verdes	33	4.79	1.90	39.68	1	8
Almas Blancas	33	0.52	1.12	217.68	0	6
C Blanca	33	-	-	-	-	-
C Verde	33	-	-	-	-	-
BB	33	13.94	9.13	65.48	0	32

Tabla 29. Medidas de centralidad y dispersión del número de chapas obtenidas en el torno (I-MC).

Variable	N	Promedio	Desv. estánd.	C.V (%)	Mínimo	Máximo
Almas Verdes (m ³)	33	0.0887	0.0352	39.68	0.0185	0.1482
Almas Blancas (m ³)	33	0.0081	0.0186	217.69	0.0000	0.0941
C Blanca (m ³)	33	-	-	-	-	-
C Verde (m ³)	33	-	-	-	-	-
BB (m ³)	33	0.0425	0.0278	65.18	0.0000	0.0976

Tabla 30. Medidas de centralidad y dispersión del volumen de chapa obtenido en el torno (I-MC).

Variable	N	Promedio	Desv. estánd.	C.V (%)	Mínimo	Máximo
Almas Verdes	40	3.70	1.51	40.69	1	7
Almas Blancas	40	0.38	0.90	239.18	0	4
C Blanca	40	0.15	0.95	632.16	0	6
C Verde	40	-	-	-	-	-
BB	40	17.5	8.94	51.08	0	29

Tabla 31. Medidas de centralidad y dispersión del número de chapas obtenidas en el torno (Beaupre).

Variable	N	Promedio	Desv. estánd.	C.V (%)	Mínimo	Máximo
Almas Verdes (m ³)	40	0.0580	0.0236	40.69	0.0157	0.1097
Almas Blancas (m ³)	40	0.0059	0.0141	239.18	0.0000	0.0627
C Blanca (m ³)	40	0.0006	0.0041	632.46	0.0000	0.0258
C Verde (m ³)	40	-	-	-	-	-
BB (m ³)	40	0.0534	0.0273	51.08	0.0000	0.0885

Tabla 32. Medidas de centralidad y dispersión del volumen de chapa obtenido en el torno (Beaupre).

Como se ve reflejado en las tablas anteriores para los clone I-MC y Beaupre, la máxima calidad obtenida fue BB. Es de destacar el elevado número de chapas de esta calidad que se obtienen por troza con un promedio de 13.94 chapas para el I-MC y de 17.5 chapas por troza para el Beaupre. Se debe de indicar que para el clon I-MC se desecharon siete trozas, por no cumplir las características requeridas para el desenrollo de madera larga (2.6 metros).

A continuación se ha realizado una tabla resumen de los datos anteriores para los tres clones. En dicha tabla se ha añadido el rendimiento de chapa en relación al volumen de madera que entró en el torno para cada clon.

		I-214	I-MC	BEAUPRE
Rendimiento TOTAL (%)		45.04	57.64	54.66
Rendimiento respecto al total del volumen de chapa (%)	Almas verdes	35.70	63.68	49.19
	Almas blancas	16.80	5.80	4.99
	C verde	-	-	-
	C blanca	21.11	-	0.55
	BB	13.16	30.52	45.27
	B	13.23	-	-
Rendimiento respecto al total del volumen de madera (%)	Almas verdes	16.08	36.70	26.89
	Almas blancas	7.57	3.34	2.73
	C verde	-	-	-
	C blanca	9.51	-	0.30
	BB	5.93	17.59	24.75
	B	5.96	-	-

Tabla 33. Tabla resumen de los datos obtenidos tras el desenrollo para los tres clones estudiados.

En primer lugar atendiendo al rendimiento de chapa en relación al volumen de madera introducido en el torno, observamos que el rendimiento más alto obtenido en el ensayo es el del clon I-MC, debido a su rectitud y escaso corazón que presentaba este lote en concreto.

El menor rendimiento lo encontramos en el I-214. Este bajo rendimiento es normal para este clon, por su sinuosidad que hace que en el cilindrado de la troza se pierda un alto porcentaje de madera.

En relación al número de chapas de calidad, observamos que para los tres clones se obtiene un alto porcentaje de estas, con la apreciación mencionada con anterioridad de que la calidad B solo está presente en el clon I-214.

Los porcentajes más altos hacen referencia a las almas verdes para los tres clones. Estas chapas se obtienen en la última fase de desenrollo, antes de llegar al rulo (Parte

final no desenrollada), y son utilizadas para las láminas interiores del tablero contrachapado.

PADRO *et al.* (2005), afirma en cuanto al rendimiento de los tres clones estudiados, que el clon Beaupre es el que mejor rendimiento presenta en el desarrollo de la madera, seguido y con valores muy próximos tendríamos el clon I-MC, y por último y con un valor bastante inferior el clon I-214. Achaca las pérdidas de rendimiento en el clon I-214, al cilindrado de la madera y a la pérdida por rajados que se experimenta en la manipulación de esta.

En este estudio obtenemos resultados del rendimiento semejantes a los de PADRO *et al.* (2005), con la diferencia de que el clon que mejor rendimiento experimenta es el I-MC (57.64%), pero con valores muy próximos al clon Beaupre (54.66%). En todo caso el clon I-214 tiene unos valores inferiores en cuanto a rendimiento se refiere (45.04%).

5.1.4 Tabla resumen de la estadística descriptiva

A continuación se muestra una tabla resumen por clon con todas las variables descritas anteriormente, catalogadas en la tabla atendiendo al lugar donde se realizó su medición.

Variable	N	Promedio	Desv. estánd.	C.V (%)	Mínimo	Máximo
EN CAMPO Y EN PARQUE:						
Ø basal.	40	37.15	5.156	13.88	27.8	54.2
Ø normal.	40	34.62	4.014	11.59	25.8	41.8
Ø punt. delg.	40	33.33	3.870	11.64	24.5	41.2
Velocidad con Fakopp en pie (m*s ⁻¹)	40	2454.48	65.331	2.66	2343.38	2598.43
Velocidad directa con Fakopp troza (m*s ⁻¹)	40	4267.92	315.804	7.40	3942.56	5408.66
Velocidad indirecta con Fakopp troza (m*s ⁻¹)	40	3975.56	201.47	5.07	3657.21	4425.69
EN LABORATORIO:						
Densidad básica (g/cm ³)	40	0.291	0.020	7.00	0.253	0.318
Densidad verde (g/cm ³)	40	0.733	0.011	1.87	0.703	0.771
Humedad (%)	40	153	19.52	12.75	122	190
Penetración "Pilodyn" (mm)	40	25.03	1.92	7.70	20	28
EN TORNO:						
Almas Verdes	40	3.40	2.12	62.41	0	13
Almas Blancas	40	1.60	2.10	131.10	0	9
C	40	5.02	5.37	106.88	0	20
BB	40	4.75	6.64	139.79	0	24
B	40	4.78	7.77	162.81	0	35
Almas Verdes (m ³)	40	0.0393	0.0245	62.41	0.0000	0.1503
Almas Blancas (m ³)	40	0.0185	0.0243	131.10	0.0000	0.1041
C (m ³)	40	0.0232	0.0248	103.88	0.0000	0.0925
BB (m ³)	40	0.0145	0.0203	139.79	0.0000	0.0732
B (m ³)	40	0.0146	0.0237	162.81	0.0000	0.1066

Tabla 34. Tabla resumen de la estadística descriptiva para el clon I-214.

ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO EN CALIDAD DE LA CHAPA DE TRES CLONES DE CHOPO MEDIANTE ULTRASONIDOS

Variable	N	Promedio	Desv. estánd.	C.V (%)	Mínimo	Máximo
EN CAMPO Y EN PARQUE:						
Ø basal.	40	36.75	3.194	8.69	29.8	42.0
Ø normal.	40	34.41	2.748	7.89	27.5	38.8
Ø punt. delg.	40	32.86	2.813	8.56	25.8	37.5
Velocidad con Fakopp en pie (m*s ⁻¹)	40	2827.88	275.886	9.76	2142.23	3447.70
Velocidad directa con Fakopp troza (m*s ⁻¹)	40	4253.55	110.225	2.59	3863.38	4407.24
Velocidad indirecta con Fakopp troza (m*s ⁻¹)	40	4083.83	88.644	2.17	3849.61	4210.66
EN LABORATORIO:						
Densidad básica (g/cm ³)	40	0.370	0.001	1.49	0.361	0.379
Densidad verde (g/cm ³)	40	0.837	0.003	0.31	0.832	0.842
Humedad (%)	40	126	0.03	2.71	120	132
Penetración "Pilodyn" (mm)	40	22.03	2.26	10.26	17	26
EN TORNO:						
Almas Verdes	33	4.79	1.90	39.68	1	8
Almas Blancas	33	0.52	1.12	217.68	0	6
C blanca	33	-	-	-	-	-
C verde	33	-	-	-	-	-
BB	33	13.94	9.13	65.48	0	32
Almas Verdes (m ³)	33	0.0887	0.0352	39.68	0.0185	0.1482
Almas Blancas (m ³)	33	0.0081	0.0186	217.69	0.0000	0.0941
C blanca (m ³)	33	-	-	-	-	-
C verde (m ³)	33	-	-	-	-	-
BB (m ³)	33	0.0425	0.0278	65.18	0.0000	0.0976

Tabla 35. Tabla resumen de la estadística descriptiva para el clon I-MC.

Variable	N	Promedio	Desv. estánd.	C.V (%)	Mínimo	Máximo
EN CAMPO Y EN PARQUE:						
Ø basal.	40	36.65	4.655	12.70	26.3	44.3
Ø normal.	40	32.55	3.799	11.67	24.4	38.3
Ø punt. delg.	40	30.83	3.676	11.93	22.8	36.8
Velocidad con Fakopp en pie (m*s ⁻¹)	40	2451.13	124..238	5.07	2219.76	2909.47
Velocidad directa con Fakopp troza (m*s ⁻¹)	40	4154.33	119.79	2.88	3583.87	4276.73
Velocidad indirecta con Fakopp troza (m*s ⁻¹)	40	4068.69	118.733	2.92	3623.78	4210.55
EN LABORATORIO:						
Densidad básica (g/cm ³)	40	0.351	0.009	2.59	0.333	0.366
Densidad verde (g/cm ³)	40	0.827	0.004	0.58	0.814	0.835
Humedad (%)	40	136	0.06	4.63	126	147
Penetración "Pilodyn" (mm)	40	22.63	1.72	7.60	20	26
EN TORNO:						
Almas Verdes	40	3.70	1.51	40.69	1	7
Almas Blancas	40	0.38	0.90	239.18	0	4
C blanca	40	0.15	0.95	632.16	0	6
C verde	40	-	-	-	-	-
BB	40	17.5	8.94	51.08	0	29
Almas Verdes (m ³)	40	0.0580	0.0236	40.69	0.0157	0.1097
Almas Blancas (m ³)	40	0.0059	0.0141	239.18	0.0000	0.0627
C blanca (m ³)	40	0.0006	0.0041	632.46	0.0000	0.0258
C verde (m ³)	40	-	-	-	-	-
BB (m ³)	40	0.0534	0.0273	51.08	0.0000	0.0885

Tabla 36. Tabla resumen de la estadística descriptiva para el clon BEAUPRE.

5.2 Diferencia entre clones

En este apartado se estudiará si existen diferencias significativas entre los tres clones con los que se ha trabajado, para después poder comparar las mediciones realizadas sobre estos.

Para ello se ha realizado un análisis ANOVA de 1 factor, que atiende a la siguiente expresión:

$$V_{ij} = \mu + \alpha_i + E_{ij}$$

donde:

V_{ij} : variable medida en el árbol i del clon j , con $i = 1, 2, \dots, 40$ y $j = 1, 2, 3$,

μ : efecto media general,

α_j : efecto del factor árbol,

E_{ij} : error aleatorio, con $N(0, \sigma^2)$ independientes.

Esta expresión trabaja con la hipótesis nula (H_0) e hipótesis alternativa (H_i) siguientes:

$$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \dots = \alpha_n = 0$$

$$H_i: \alpha_i \neq 0$$

Por lo que un p-valor menor de 0.05 implica que la hipótesis nula (H_0) se rechaza, existiendo diferencias significativas entre clones para esa variable.

5.2.1 Diferencias entre clones para las variables medidas en la chopera

En la chopera se midió el diámetro normal, el altura maderable por clon y la velocidad de ultrasonidos para el árbol en pié.

1. Análisis ANOVA del diámetro normal medido en la chopera:

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	p-valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
Clon	104.145	2	52.0723	4.10	0.0190
RESIDUOS	1485.89	117	12.6999		
TOTAL (CORREGIDO)	1590.04	119			

Tabla 37. Análisis de la varianza para el diámetro normal medido en la chopera.

La Tabla 37 ANOVA, descompone la variabilidad del diámetro normal medido en la chopera para los tres clones. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados, la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los p-valores muestran la significatividad estadística de cada uno de los factores. En este

caso, puesto que el p-valor es menor que 0,05, el factor clon si tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el diámetro normal con un 95.0% de nivel de confianza.

A continuación se muestra el gráfico de medias (Figura 37) con los valores para cada clon estudiado.

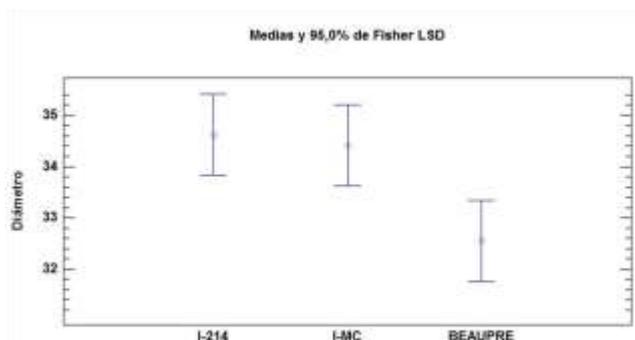


Figura 37. Gráfico de medias, para cada clon, para el diámetro normal medido en la chopera.

Como se puede observar en el gráfico anterior, en relación al diámetro normal medido en la chopera tenemos dos clones con un diámetro parejo (I-214 e I-MC) y otro clon (Beaupre), el cual presenta un diámetro medio ligeramente inferior a los otros dos clones.

2. Análisis ANOVA de la altura maderable para cada clon medida en la chopera:

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	p-valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
Clon	82.0	2	41.0		
RESIDUOS	0	120	0		
TOTAL (CORREGIDO)	82.0	122			

Tabla 38. Análisis de la varianza para la altura maderable medida en la chopera.

La Tabla 38 ANOVA, descompone la variabilidad de la velocidad de ultrasonidos medida en la chopera para los tres clones sobre los árboles en pie.

A continuación se muestra el gráfico de medias (Figura 38) con los valores para cada clon estudiado.

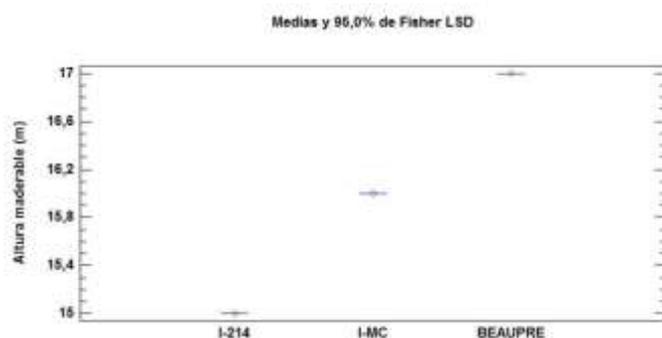


Figura 38. Gráfico de medias, para cada clon, de la altura maderable medida en la chopera.

Para la altura maderable como cabía de esperar por su esbeltez y rectitud el clon Beaupre es el que mayor altura maderable presenta, en segundo lugar tendríamos el clon I-MC, que a pesar de ser un clon con gran rectitud, en su parte alta presentaba un diámetro más reducido que el Beaupre, de ahí que su altura maderable sea menor. En último lugar tenemos el I-214, cuya ramificación hace que este clon presente una altura maderable menor que los otros dos clones estudiados, en la mayor parte de los casos en la populicultura española.

3. Análisis ANOVA de la velocidad de ultrasonidos medida en la chopera sobre los árboles en pie:

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	p-valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
Clon	3.7518E6	2	1.8759E6	58.73	0.0000
RESIDUOS	3.7368E6	117	31938.8		
TOTAL (CORREGIDO)	7.4886E6	119			

Tabla 39. Análisis de la varianza para la velocidad de ultrasonidos medida en la chopera.

La Tabla 39 ANOVA, descompone la variabilidad de la velocidad de ultrasonidos medida en la chopera para los tres clones sobre los árboles en pie. En este caso, puesto que el p-valor es menor que 0,05, el factor clon si tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la velocidad de ultrasonidos con un 95.0% de nivel de confianza.

A continuación se muestra el gráfico de medias (Figura 39) con los valores para cada clon estudiado.

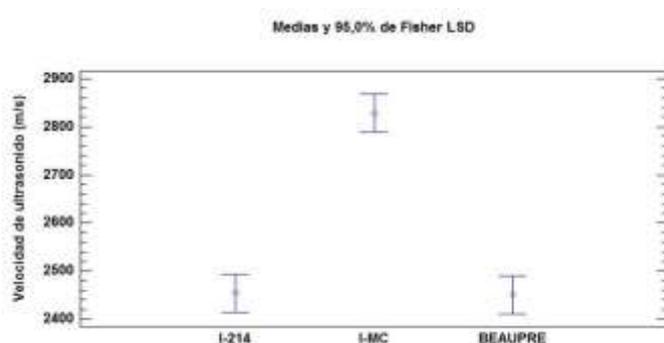


Figura 39. Gráfico de medias, para cada clon, de la velocidad de ultrasonidos medida en la chopera.

Para la velocidad de ultrasonidos en pie (m/s), tenemos dos grupos homogéneos. En primer lugar tenemos un grupo formado por el clon I-MC cuya velocidad de ultrasonidos es más alta que la del resto de los clones, y por otro lado tenemos un grupo formado por los clones I-214 y Beaupre. Teóricamente y atendiendo a la densidad, la velocidad de ultrasonidos debería ser más alta en el clon I-214, y más baja en los otros dos clones, debido a que estos son más densos. Como vemos en la figura esto no es así; puede ser debido a las tensiones que soporta la madera en pie. Como ya hemos indicado anteriormente el clon I-214 presenta mayor sinuosidad, con lo cual su madera soporta mayores tensiones sobre todo en los primeros metros del tronco, sobre los que se realizó la prueba. En el caso del clon Beaupre, la altura de este o una poda ineficaz pueden ser las causas de la baja velocidad de ultrasonidos experimentada.

5.2.2 Diferencia entre clones para las variables medidas en el parque de madera

Una vez tomadas las medidas en la chopera, los árboles fueron apeados y trasladados al parque de madera, donde se tomaron datos de la velocidad de ultrasonidos directa e indirecta de cada troza así como la calidad de cada troza según la norma UNE-EN 1316-2:2012.

1. Análisis ANOVA de la velocidad directa medida en parque sobre la troza:

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	p-valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
Clon	306062	2	153031	3.64	0.0294
RESIDUOS	4.9229E6	117	42076.6		
TOTAL (CORREGIDO)	5.2290E6	119			

Tabla 40. Análisis de la varianza para la velocidad directa de ultrasonidos medida en el parque.

La Tabla 40 ANOVA, descompone la variabilidad de la velocidad directa de ultrasonidos medida en el parque de madera sobre las trozas. En este caso, puesto que el p-valor es menor que 0,05, el factor clon si tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la velocidad directa de ultrasonidos con un 95.0% de nivel de confianza.

A continuación se muestra el gráfico de medias (Figura 40) con los valores para cada clon estudiado.

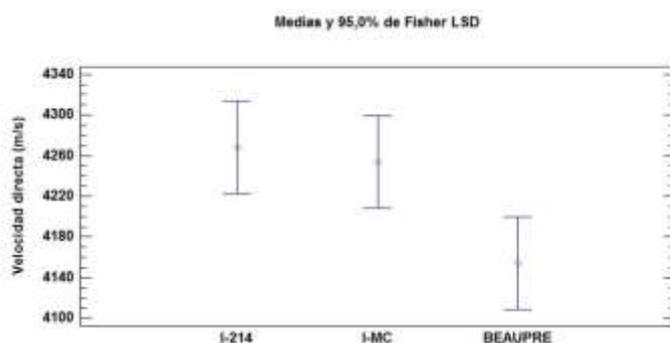


Figura 40. Gráfico de medias, para cada clon, de la velocidad directa de ultrasonidos medida en el parque de madera.

En este caso también tenemos dos grupos de datos homogéneos. Por un lado los clones I-214 e I-MC, y por otro lado el clon Beaupre. Como hemos apuntado en la gráfica anterior la tensión que soporta la madera en pie del clon I-214 le hacía tener una velocidad de ultrasonidos menor, en este caso como las pruebas se han realizado sobre la troza vemos que el efecto de la tensión ha desaparecido, presentando valores semejantes a los del clon I-MC a pesar de la diferencia de densidad de estos. El clon Beaupre, sigue experimentando velocidades más bajas que el resto de los clones, puede ser debido a una poda ineficaz.

2. Análisis ANOVA de la velocidad indirecta medida en parque sobre la troza:

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	p-valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
Clon	275010	2	137505	6.60	0.0019
RESIDUOS	2.4393E6	117	20849.0		
TOTAL (CORREGIDO)	2.7143E6	119			

Tabla 41. Análisis de la varianza para la velocidad indirecta de ultrasonidos medida en el parque.

La Tabla 41 ANOVA, descompone la variabilidad de la velocidad indirecta de ultrasonidos medida en el parque de madera sobre las trozas. En este caso, puesto

que el p-valor es menor que 0,05, el factor clon si tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la velocidad de ultrasonidos con un 95.0% de nivel de confianza.

A continuación se muestra el gráfico de medias (Figura 41) con los valores para cada clon estudiado.

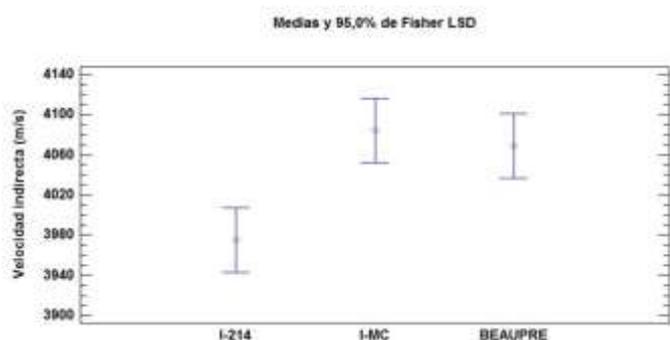


Figura 41. Gráfico de medias, para cada clon, de la velocidad indirecta de ultrasonidos medida en el parque de madera.

También se presentan en este gráfico dos grupos homogéneos, aunque estos han variado respecto a la velocidad de ultrasonidos directa sobre la troza. Los clones I-MC y Beaupre presentan velocidades más altas que el clon I-214, esto puede ser debido a la humedad del corazón de la madera del I-214 al pasar las ondas por el corazón de la troza cuando se realiza la medida indirecta. Como vemos ahora el clon Beaupre ha tomado valores semejantes a los del I-MC, puede ser por que las ondas no pasan por la superficie y no se topan con tantos nudos como en la medida directa

5.2.3 Diferencia entre clones para las variables medidas en el laboratorio

1. Análisis ANOVA de la densidad básica:

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	p-valor
EFECTOS PRINCIPALES					
Clon	0.1351	2	0.0675	382.81	0.0000
RESIDUOS	0.0206	117	0.0002		
TOTAL (CORREGIDO)	0.1557	119			

Tabla 42. Análisis de la varianza para la densidad básica medida en el laboratorio.

La Tabla 42 ANOVA, descompone la variabilidad de la densidad básica medida en el laboratorio sobre las rodajas de chopo. En este caso, puesto que el p-valor es menor que 0,05, el factor clon si tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la densidad básica con un 95.0% de nivel de confianza.

A continuación se muestra el gráfico de medias (Figura 42) con los valores para cada clon estudiado.

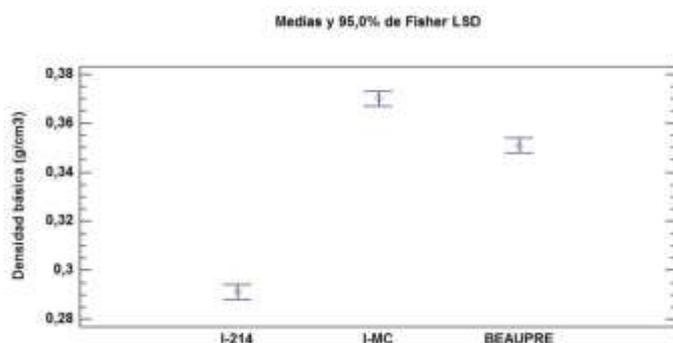


Figura 42. Gráfico de medias, para cada clon, de la densidad básica medida sobre las rodajas de chopo.

La densidad básica del clon I-MC es la más alta y la del clon I-214 la más baja. Se dan resultados que ya se conocían de ante mano debido a los estudios existentes sobre este parámetro para los diferentes clones de chopo.

2. Análisis ANOVA de la densidad en verde:

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	p-valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
Clon	0.2599	2	0.1299	1782.28	0.0000
RESIDUOS	0.0085	117	0.0001		
TOTAL (CORREGIDO)	0.2684	119			

Tabla 43. Análisis de la varianza para la densidad verde medida en el laboratorio.

La Tabla 43 ANOVA, descompone la variabilidad de la densidad verde medida en el laboratorio sobre las rodajas de chopo. En este caso, puesto que el p-valor es menor que 0,05, el factor clon si tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la densidad en verde con un 95.0% de nivel de confianza.

A continuación se muestra el gráfico de medias (Figura 43) con los valores para cada clon estudiado.

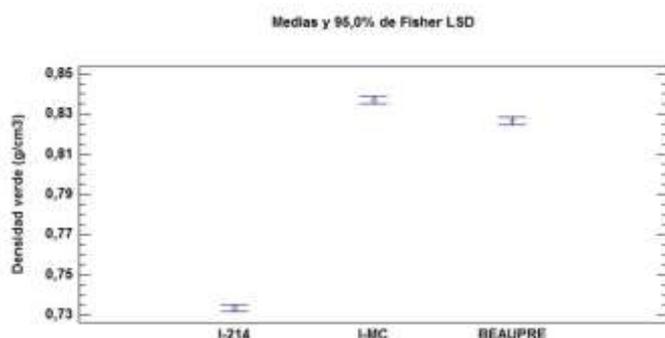


Figura 43. Gráfico de medias, para cada clon, de la densidad en verde medida sobre las rodajas de chopo.

Para la densidad en verde se mantienen los parámetros de la densidad básica, siendo el clon I-MC el que mayor densidad en verde presenta y el clon I-214 el que menos.

3. Análisis ANOVA de la humedad:

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	p-valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
Clon	1.4897	2	0.7448	51.70	0.0000
RESIDUOS	1.6858	117	0.0144		
TOTAL (CORREGIDO)	3.1754	119			

Tabla 44. Análisis de la varianza para la humedad de las rodajas medida en el laboratorio.

La Tabla 44 ANOVA, descompone la variabilidad de la humedad medida en el laboratorio sobre las rodajas de chopo. En este caso, puesto que el p-valor es menor que 0,05, el factor clon si tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la humedad con un 95.0% de nivel de confianza.

A continuación se muestra el gráfico de medias (Figura 44) con los valores para cada clon estudiado.

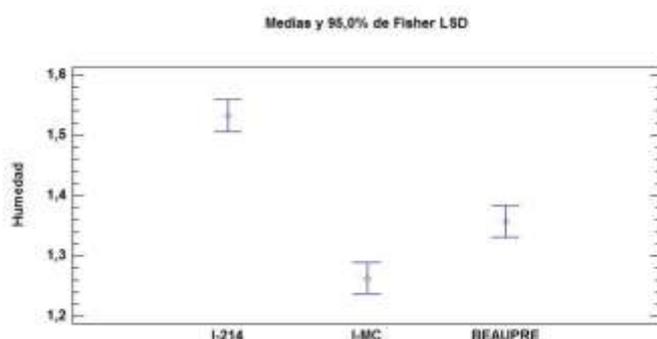


Figura 44. Gráfico de medias, para cada clon, de la humedad medida sobre las rodajas de chopo.

Al presentar una menor densidad, el clon I-214 tiene la capacidad de albergar mayor cantidad de agua en su interior, por lo tanto la humedad es mayor. El clon I-MC presenta la menor humedad en relación a los tres clones estudiados.

4. Análisis ANOVA de la penetración con el equipo “Pilodyn”:

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	p-valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
Clon	201.600	2	100.8	25.68	0.0000
RESIDUOS	459.325	117	3.9259		
TOTAL (CORREGIDO)	660.925	119			

Tabla 45. Análisis de la varianza para la penetración (mm) medida sobre las rodajas en el laboratorio con el equipo “Pilodyn”.

La Tabla 45 ANOVA, descompone la variabilidad de la penetración medida en el laboratorio sobre las rodajas de chopo con el equipo “Pilodyn”. En este caso, puesto que el p-valor es menor que 0,05, el factor clon si tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la penetración con el equipo “Pilodyn” con un 95.0% de nivel de confianza.

A continuación se muestra el gráfico de medias (Figura 45) con los valores para cada clon estudiado.

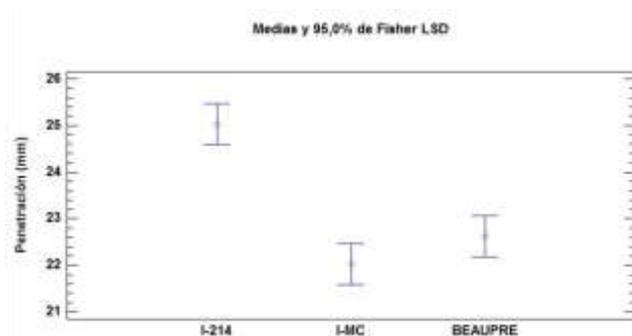


Figura 45. Gráfico de medias, para cada clon, de la penetración “Pilodyn” medida sobre las rodajas de chopo.

Como era de esperar la penetración experimentada con el equipo “Pilodyn”, es más alta para el clon I-214, al ser esta una medida inversamente proporcional a la densidad de la madera sobre la que se efectúa el ensayo. La mínima penetración ha sido experimentada para el clon I-MC.

5.2.4 Diferencia entre clones para las variables medidas en el torno

1. Análisis ANOVA del número de chapas por calidades:

- Almas verdes

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	p-valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
Clon	37.599	2	18.799	5.45	0.0055
RESIDUOS	379.515	110	3.450		
TOTAL (CORREGIDO)	417.115	112			

Tabla 46. Análisis de la varianza para el número de chapas de calidad “Almas verdes” obtenidas en el trono tras el desarrollo de las trozas.

La Tabla 46 ANOVA, descompone la variabilidad del número de chapas de calidad “Almas verdes” obtenidas en el torno tras el desarrollo de las trozas. En este caso, puesto que el p-valor es menor que 0,05, el factor clon si tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el número de chapas de esta calidad con un 95.0% de nivel de confianza.

A continuación se muestra el gráfico de medias (Figura 46) con los valores para cada clon estudiado.

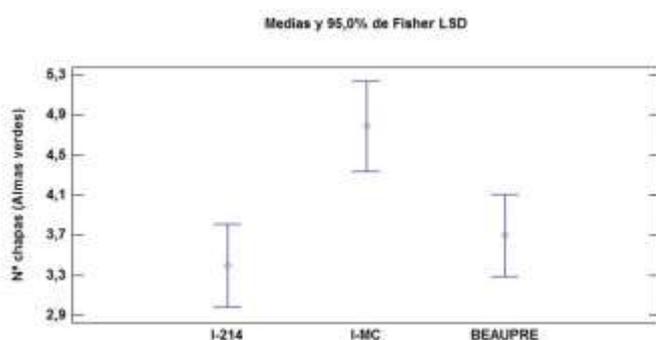


Figura 46. Gráfico de medias, para cada clon, del número de chapas de calidad “Almas verdes” obtenidas tras el desarrollo.

Para el número de chapas de calidad “Almas verdes” observamos dos grupos de datos homogéneos, por un lado tenemos al clon I-MC cuyo número medio de chapas de esta calidad es más elevado que para el resto de clones del estudio, los cuales conforman otro grupo homogéneo con una media en torno a 3.5 chapas por troza desarrollada.

- Almas blancas

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	p-valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
Clon	35.225	2	17.613	7.97	0.0006
RESIDUOS	243.217	110	2.211		
TOTAL (CORREGIDO)	278.442	112			

Tabla 47. Análisis de la varianza para el número de chapas de calidad “Almas blancas” obtenidas en el trono tras el desenrollo de las trozas.

La Tabla 47 ANOVA, descompone la variabilidad del número de chapas de calidad “Almas blancas” obtenidas en el torno tras el desenrollo de las trozas. En este caso, puesto que el p-valor es menor que 0,05, el factor clon si tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el número de chapas de esta calidad con un 95.0% de nivel de confianza.

A continuación se muestra el gráfico de medias (Figura 47) con los valores para cada clon estudiado.

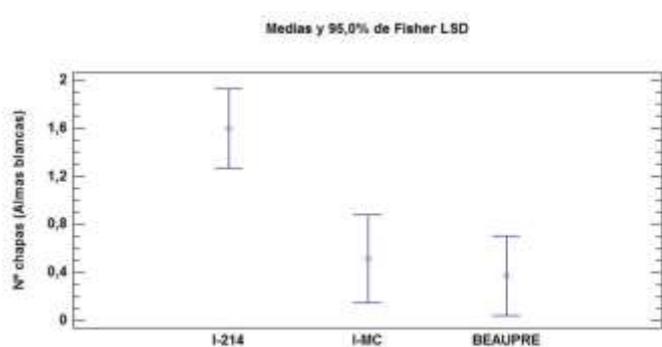


Figura 47. Gráfico de medias, para cada clon, del número de chapas de calidad “Almas blancas” obtenidas tras el desenrollo.

Para las chapas de calidad “Almas blancas”, destacamos el bajo número de estas para los clones I-MC y Beaupre, el cual es casi testimonial con unas medias en torno a 0.45 chapas por troza desenrollada. Por otro lado tenemos el clon I-214 cuya media se sitúa en 1.6 chapas para dicha calidad.

- C blanca

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	p-valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
Clon	631.73	2	315.865	29.95	0.0000
RESIDUOS	1160.07	110	10.546		
TOTAL (CORREGIDO)	1791.81	112			

Tabla 48. Análisis de la varianza para el número de chapas de calidad “C blanca” obtenidas en el trono tras el desenrollo de las trozas.

La Tabla 48 ANOVA, descompone la variabilidad del número de chapas de calidad “C blanca” obtenidas en el tomo tras el desarrollo de las trozas. En este caso, puesto que el p-valor es menor que 0,05, el factor clon si tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el número de chapas de esta calidad con un 95.0% de nivel de confianza.

A continuación se muestra el gráfico de medias (Figura 48) con los valores para cada clon estudiado.

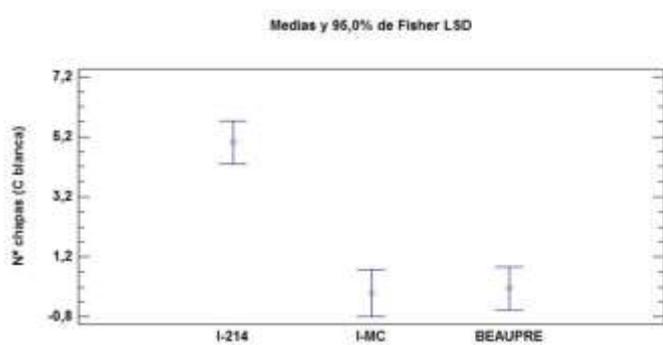


Figura 48. Gráfico de medias, para cada clon, del número de chapas de calidad “C blanca” obtenidas tras el desarrollo.

Para el clon I-MC no se obtuvieron chapas de esta calidad tras el desarrollo del lote. Po otro lado cabe destacar el número elevado de chapas de dicha calidad obtenidas para el clon I-214, obteniendo un número también escaso de chapas “C blanca” para el clon Beaupre.

- BB

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	p-valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
Clon	3436.3	2	1718.15	25.19	0.0000
RESIDUOS	7501.38	110	68.19		
TOTAL (CORREGIDO)	10937.7	112			

Tabla 49. Análisis de la varianza para el número de chapas de calidad “BB” obtenidas en el trono tras el desarrollo de las trozas.

La Tabla 49 ANOVA, descompone la variabilidad del número de chapas de calidad “BB” obtenidas en el tomo tras el desarrollo de las trozas. En este caso, puesto que el p-valor es menor que 0,05, el factor clon si tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el número de chapas de esta calidad con un 95.0% de nivel de confianza.

A continuación se muestra el gráfico de medias (Figura 49) con los valores para cada clon estudiado.

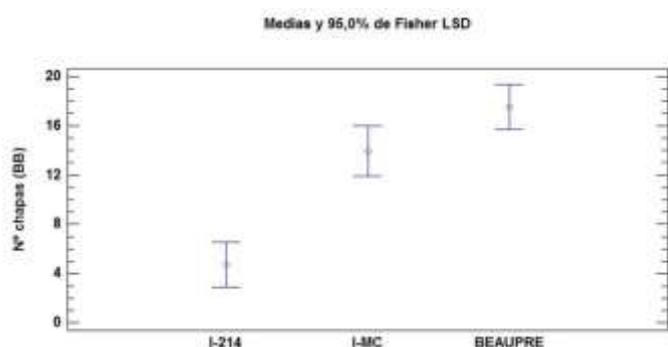


Figura 49. Gráfico de medias, para cada clon, del número de chapas de calidad “BB” obtenidas tras el desarrollo.

Para la calidad “BB” se obtuvo un elevado número de chapas para los clones I-MC y Beaupre. Para el clon I-214, aunque el número de chapas de dicha calidad también es elevado, no se acerca a los registros de los otros dos clones, esto es debido a que como ya se comentó con anterioridad para el desarrollo de dicho clon se colocó un apilador de chapas de calidad “B”, abarcando este un número elevado de chapas, haciendo así que disminuyan las chapas de calidad “BB” obtenidas para dicho clon.

- B

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	p-valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
Clon	589.184	2	294.592	13.75	0.0000
RESIDUOS	2356.970	110	21.427		
TOTAL (CORREGIDO)	2946.160	112			

Tabla 50. Análisis de la varianza para el número de chapas de calidad “B” obtenidas en el tronco tras el desarrollo de las trozas.

La Tabla 50 ANOVA, descompone la variabilidad del número de chapas de calidad “B” obtenidas en el turno tras el desarrollo de las trozas. En este caso, puesto que el p-valor es menor que 0,05, el factor clon sí tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el número de chapas de esta calidad con un 95.0% de nivel de confianza.

A continuación se muestra el gráfico de medias (Figura 50) con los valores para cada clon estudiado.

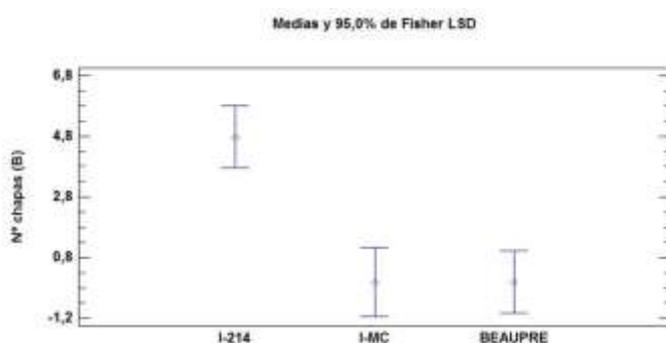


Figura 50. Gráfico de medias, para cada clon, del número de chapas de calidad “B” obtenidas tras el desarrollo.

Para los clones I-MC y Beaupre, no se obtuvieron chapas de calidad “B”, debido a que no se colocó ningún apilador con dicho fin. Para el clon I-214 se obtuvo un número elevado de estas chapas por troza, con unos valores medios semejantes a los obtenidos en las chapas de calidad “BB” para dicho clon.

2. Análisis ANOVA del volumen de chapas por calidades:

- Almas verdes

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	p-valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
Clon	0.044	2	0.022	28.81	0.0000
RESIDUOS	0.085	110	0.001		
TOTAL (CORREGIDO)	0.129	112			

Tabla 51. Análisis de la varianza para el volumen de chapas de calidad “Almas verdes” obtenidas en el trono tras el desarrollo de las trozas.

La Tabla 51 ANOVA, descompone la variabilidad del volumen de chapas de calidad “Almas verdes” obtenidas en el torno tras el desarrollo de las trozas. En este caso, puesto que el p-valor es menor que 0,05, el factor clon sí tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el volumen de chapas de esta calidad con un 95.0% de nivel de confianza.

A continuación se muestra el gráfico de medias (Figura 51) con los valores para cada clon estudiado.

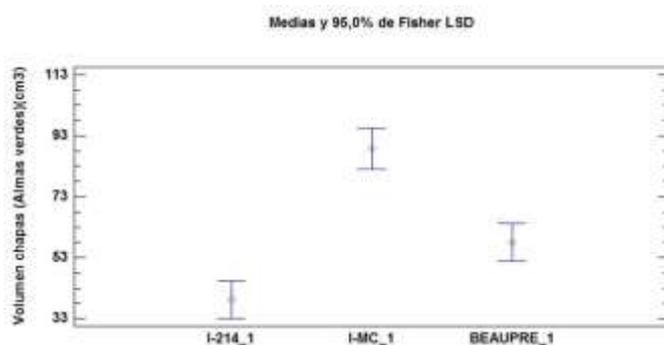


Figura 51. Gráfico de medias, para cada clon, del volumen de chapas de calidad “Almas verdes” obtenidas tras el desarrollo.

- Almas blancas

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	p-valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
Clon	0.004	2	0.002	4.86	0.0095
RESIDUOS	0.041	110	0.000		
TOTAL (CORREGIDO)	0.044	112			

Tabla 52. Análisis de la varianza para el volumen de chapas de calidad “Almas blancas” obtenidas en el trono tras el desarrollo de las trozas.

La Tabla 52 ANOVA, descompone la variabilidad del volumen de chapas de calidad “Almas blancas” obtenidas en el torno tras el desarrollo de las trozas. En este caso, puesto que el p-valor es menor que 0,05, el factor clon si tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el volumen de chapas de esta calidad con un 95.0% de nivel de confianza.

A continuación se muestra el gráfico de medias (Figura 52) con los valores para cada clon estudiado.

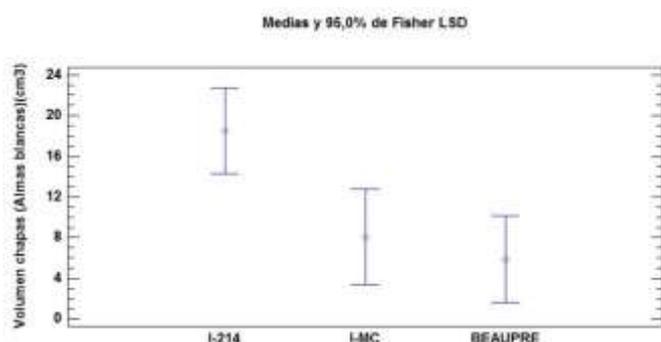


Figura 52. Gráfico de medias, para cada clon, del volumen de chapas de calidad “Almas blancas” obtenidas tras el desarrollo.

- C blanca

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	p-valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
Clon	0.014	2	0.007	30.14	0.0000
RESIDUOS	0.025	110	0.000		
TOTAL (CORREGIDO)	0.038	112			

Tabla 53. Análisis de la varianza para el volumen de chapas de calidad “C blanca” obtenidas en el trono tras el desarrollo de las trozas.

La Tabla 53 ANOVA, descompone la variabilidad del volumen de chapas de calidad “C blanca” obtenidas en el torno tras el desarrollo de las trozas. En este caso, puesto que el p-valor es menor que 0,05, el factor clon si tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el volumen de chapas de esta calidad con un 95.0% de nivel de confianza.

A continuación se muestra el gráfico de medias (Figura 53) con los valores para cada clon estudiado.

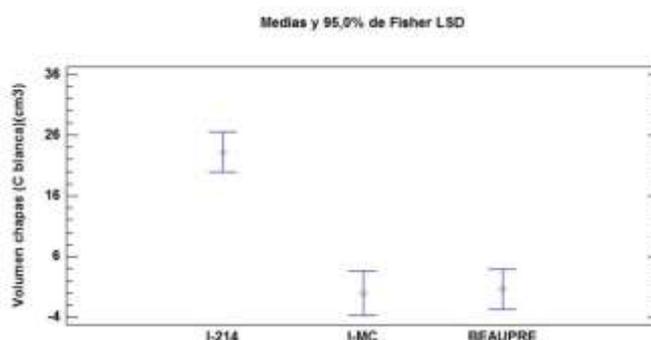


Figura 53. Gráfico de medias, para cada clon, del volumen de chapas de calidad “C blanca” obtenidas tras el desarrollo.

- BB

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	p-valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
Clon	0.032	2	0.016	25.19	0.0000
RESIDUOS	0.070	110	0.000		
TOTAL (CORREGIDO)	0.102	112			

Tabla 54. Análisis de la varianza para el volumen de chapas de calidad “BB” obtenidas en el trono tras el desarrollo de las trozas.

La Tabla 54 ANOVA, descompone la variabilidad del volumen de chapas de calidad “BB” obtenidas en el torno tras el desarrollo de las trozas. En este caso, puesto que el

p-valor es menor que 0,05, el factor clon si tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el volumen de chapas de esta calidad con un 95.0% de nivel de confianza.

A continuación se muestra el gráfico de medias (Figura 54) con los valores para cada clon estudiado.

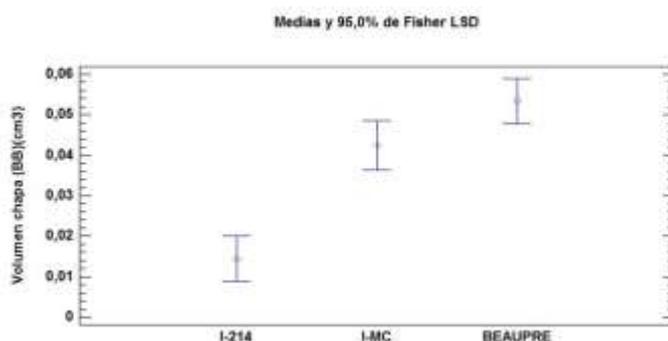


Figura 54. Gráfico de medias, para cada clon, del volumen de chapas de calidad “BB” obtenidas tras el desarrollo.

• B

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	p-valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
Clon	0.005	2	0.003	13.75	0.0000
RESIDUOS	0.022	110	0.000		
TOTAL (CORREGIDO)	0.027	112			

Tabla 55. Análisis de la varianza para el volumen de chapas de calidad “B” obtenidas en el trono tras el desarrollo de las trozas.

La Tabla 55 ANOVA, descompone la variabilidad del volumen de chapas de calidad “B” obtenidas en el torno tras el desarrollo de las trozas. En este caso, puesto que el p-valor es menor que 0,05, el factor clon si tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el volumen de chapas de esta calidad con un 95.0% de nivel de confianza.

A continuación se muestra el gráfico de medias (Figura 55) con los valores para cada clon estudiado.

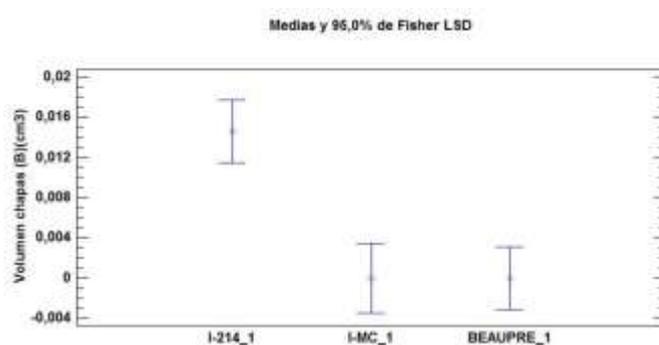


Figura 55. Gráfico de medias, para cada clon, del volumen de chapas de calidad “B” obtenidas tras el desenrollo.

3. Análisis comparativo del rendimiento de chapa en relación al volumen de madera:

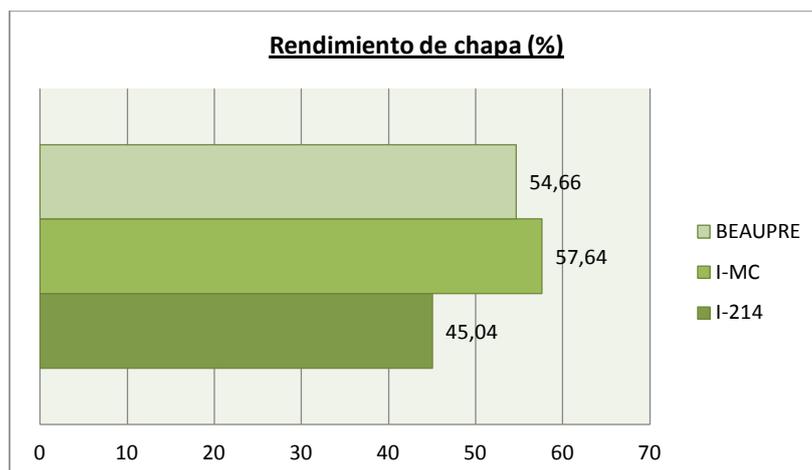


Figura 56. Rendimiento de chapa por clon, en relación al total de madera introducida en el torno.

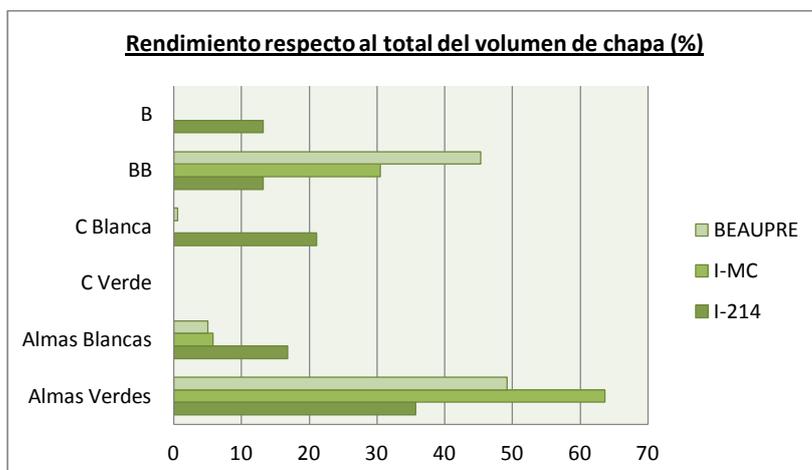


Figura 57. Rendimiento de chapa por clon, en relación al total de madera introducida en el torno.

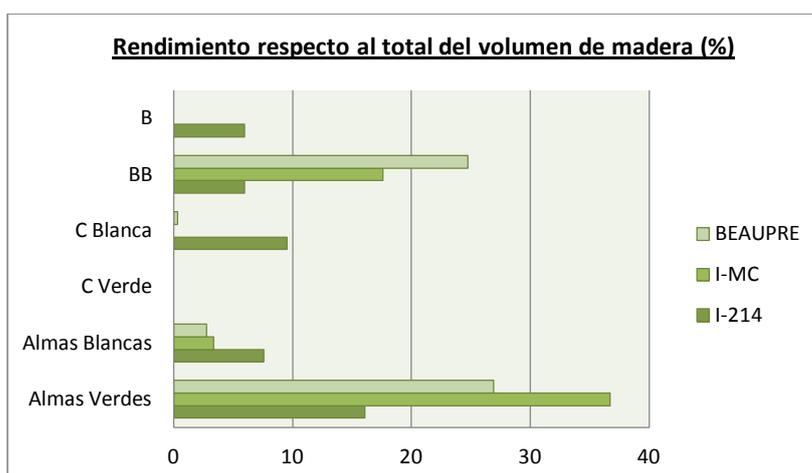


Figura 58. Rendimiento de chapa por clon, en relación al total de madera introducida en el torno.

5.2.5 Diferencias de velocidades de ultrasonidos en pie y en troza para cada clon por separado.

1. Diferencia de velocidades (m/s) para el I-214:

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	p-valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
Clon	7.584E7	2	3.792E7	786.73	0.0000
RESIDUOS	5.639E6	117	48197.3		
TOTAL (CORREGIDO)	8.148E7	119			

Tabla 56. Análisis de la varianza para la velocidad en pie y en troza para el clon I-214.

La Tabla 56 ANOVA, descompone la variabilidad de la velocidad (m/s) tomada sobre el árbol en pie y sobre la troza. En este caso, puesto que el p-valor es menor que 0,05, el factor pie/troza si tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la velocidad con un 95.0% de nivel de confianza.

A continuación se muestra el gráfico de medias (Figura 59) con los valores para cada clon estudiado.



Figura 59. Gráfico de medias, para el clon I-214, de la velocidad de ultrasonidos tomada sobre el árbol en pie y sobre la troza.

Para los valores de ultrasonidos en el clon I-214 tenemos tres grupos de datos homogéneos. El primero hace referencia a los ultrasonidos en pie, el valor de estos es mucho más bajo que para el resto de las pruebas, esto es debido a la tensión de la madera cuando el árbol se encuentra en pie. Otro grupo hace referencia a la medida de ultrasonidos indirecta sobre la troza, este valor es algo menor a la medida directa debido a que las ondas atraviesan el árbol de forma transversal. La mayor velocidad ha sido registrada para la medida directa sobre la troza.

2. Diferencia de velocidades (m/s) para el I-MC:

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	p-valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
Clon	4.852E7	2	2.426E7	757.12	0.0000
RESIDUOS	3.749E6	117	32040.1		
TOTAL (CORREGIDO)	5.227E7	119			

Tabla 57. Análisis de la varianza para la velocidad en pie y en troza para el clon I-MC.

La Tabla 57 ANOVA, descompone la variabilidad de la velocidad (m/s) tomada sobre el árbol en pie y sobre la troza. En este caso, puesto que el p-valor es menor que 0,05, el factor pie/troza si tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la velocidad con un 95.0% de nivel de confianza.

A continuación se muestra el gráfico de medias (Figura 60) con los valores para cada clon estudiado.



Figura 60. Gráfico de medias, para el clon I-MC, de la velocidad de ultrasonidos tomada sobre el árbol en pie y sobre la troza.

Para el clon I-MC se sigue el mismo patrón que para el clon I-214, pero con unos valores de la velocidad de onda sobre el árbol en pie más elevados debido a que el tronco de este clon por su rectitud presenta menor tensión en la madera haciendo que la onda pase más fácilmente por esta. Los valores de la velocidad tanto directa como indirecta son semejantes a los del clon I-214.

3. Diferencia de velocidades (m/s) para el BEAUPRE:

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	p-valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
Clon	7.366E7	2	3.683E7	2518.03	0.0000
RESIDUOS	1.711E6	117	14627.0		
TOTAL (CORREGIDO)	7.537E7	119			

Tabla 58. Análisis de la varianza para la velocidad en pie y en troza para el clon BEAUPRE.

La Tabla 58 ANOVA, descompone la variabilidad de la velocidad (m/s) tomada sobre el árbol en pie y sobre la troza. En este caso, puesto que el p-valor es menor que 0,05, el factor pie/troza si tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la velocidad con un 95.0% de nivel de confianza.

A continuación se muestra el gráfico de medias (Figura 61) con los valores para cada clon estudiado.



Figura 61. Gráfico de medias, para el clon BEAUPRE, de la velocidad de ultrasonidos tomada sobre el árbol en pie y sobre la troza.

Para dicho clon también se sigue el patrón anteriormente descrito, con una velocidad de ultrasonido para el árbol en pie mucho más baja que para los valores medidos sobre la troza.

Como dato a resaltar para las velocidades de ultrasonidos tomadas tanto en campo como en el parque de madera, observamos que los tres clones siguen el mismo patrón.

Se puede concluir que la densidad no afecta de forma significativa al paso de la onda, siendo la tensión de la madera y las irregularidades de esta el factor que más altera de forma negativa la velocidad de ultrasonidos tanto en las medidas tomadas con el árbol en pie como en las medidas tomadas sobre la troza.

5.3 Funciones de predicción

En este apartado, se intentará predecir una variable Y , a partir de otra u otras variables, X_1, X_2, \dots, X_n .

El objetivo es buscar la mejor función de predicción para cada variable. Para el presente estudio se va a utilizar regresiones múltiples de tipo:

$$Y = a + (b \cdot X_1) + (c \cdot X_2) + \dots (d \cdot X_n) + E$$

donde:

Y : variable dependiente, variable a predecir,

a : término independiente o intercepto,

b : pendiente de la recta,

X : variable independiente utilizada para la predicción de Y,

E : errores o residuos aleatorios, con $N(0, \sigma^2)$ independientes,

Se realiza un análisis de la varianza, de modo que si el p-valor es menor de 0.05 indicará que existe una relación estadísticamente significativa entre la variable dependiente (Y) y la variable independiente (X).

Se comprueba la normalidad de los residuos o errores mediante el Test de Kolmogorov-Smirnov.

Se han establecido una serie de objetivos en relación a las funciones de predicción, estos son:

1. Estimación de la densidad básica de la madera en función de la penetración con el equipo "Pilodyn", y ver cómo afecta la humedad en esta relación (Por clones y en conjunto).
2. Estimación de la densidad en verde de la madera en función de la penetración con el equipo "Pilodyn" (Por clones y en conjunto).
3. Estimación del volumen de chapa obtenida en función de la velocidad de ultrasonidos en pie y el diámetro normal.
4. Estimación del volumen de chapa obtenida en función de la velocidad directa de ultrasonidos sobre la troza y el diámetro normal.
5. Estimación del volumen de chapa obtenida en función de la velocidad indirecta de ultrasonidos sobre la troza y el diámetro normal.
6. Estimación del volumen de chapa de calidad "Almas verdes", a partir de una serie de variables independientes.
7. Estimación del volumen de chapa de calidad "Almas blancas", a partir de una serie de variables independientes.
8. Estimación del volumen de chapa de calidad "C blanca", a partir de una serie de variables independientes.
9. Estimación del volumen de chapa de calidad "BB", a partir de una serie de variables independientes.
10. Estimación del volumen de chapa de calidad "B", a partir de una serie de variables independientes.

5.3.1 Estimación de la densidad básica de la madera en función de la penetración con el equipo “Pilodyn”.

Se ha buscado una función de predicción de la densidad básica de la madera para los tres clones en conjunto, en función de los resultados de la penetración obtenidos con el equipo “Pilodyn”.

En primer lugar se ha intentado buscar una función de regresión simple, entre la densidad básica y la penetración con el equipo “Pilodyn”, obteniéndose datos muy bajos para el estadístico R^2 . El modelo de regresión por el cual obteníamos un mayor R^2 era el de “Cuadrado de Y”, teniendo este un valor de tan solo el 20.53%, por lo que se ha optado por introducir la variable de la humedad y realizar una regresión múltiple.

Estos son los resultados obtenidos mediante la utilización de la regresión múltiple entre la densidad básica (g/cm^3), la penetración “Pilodyn” (mm) y la humedad como variables independientes.

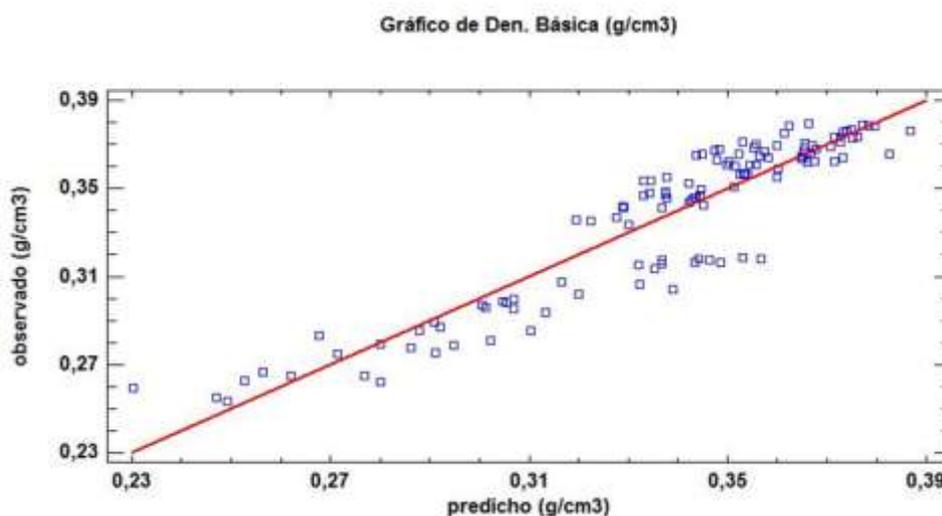


Figura 62. Gráfico del modelo ajustado para la densidad básica en función de dos variables independientes.

$$\text{Den. Básica} = 0.687497 - 0.00407034 \cdot \text{Pilodyn} - 0.184706 \cdot \text{Humedad}$$

El modelo así ajustado muestra una constante de 0.687497, una constante para la penetración de -0.00407034 y una constante para la humedad de -0.184706.

El análisis de la varianza revela que existe una relación estadísticamente significativa entre la densidad básica, la penetración con el equipo “Pilodyn” y la humedad de la madera, ya que se obtiene para ambas un p-valor de 0.0000.

El estadístico R^2 indica que el modelo así ajustado explica el 85.91% de la variabilidad de la densidad básica.

En la siguiente tabla (Tabla 59) muestra las correlaciones momento producto de Pearson entre cada par de variables. El rango de estos coeficientes de correlación va de -1 a +1, y mide la fuerza de la relación lineal entre ambas variables. El segundo número en cada bloque de la tabla es el p-valor que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas, P-valores por debajo de 0.05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95.0%.

	Den. Básica (g/cm ³)	Pilodyn (mm)	Humedad
Den. Básica (g/cm ³)		-0.5683 0.0000	-0.9084 0.0000
Pilodyn (mm)	-0.5683 0.0000		-0.4438 0.0000
Humedad	-0.9084 0.0000	-0.4438 0.0000	

Tabla 59. Correlaciones momento producto de Pearson entre la densidad básica, la penetración y la humedad.

Los siguientes pares de datos muestran p-valores por debajo de 0.05, los cuales indican correlaciones estadísticamente significativas entre las variables. Se puede observar que la correlación entre la densidad y la humedad es alta debido a que el valor del momento producto de Pearson se aproxima a la unidad. Siendo esta correlación más baja para la relación entre la penetración y la humedad.

La Figura 63 muestra el mismo dato, pero representado gráficamente, donde se puede corroborar la correlación existente entre estas variables.

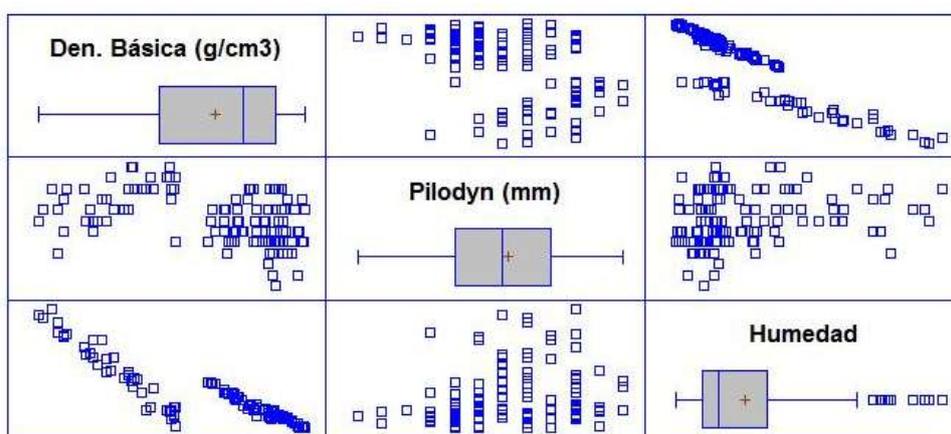


Figura 63. Gráfico de correlación entre la densidad básica, la penetración con el equipo "Pilodyn" y la humedad.

5.3.1.1 Estimación de la densidad básica de la madera para el clon "I-214", en función de la penetración con el equipo "Pilodyn".

En el siguiente apartado se va a buscar la función de predicción de la densidad básica de la madera en función de la penetración obtenida con el equipo "Pilodyn" y la humedad de la madera para el clon I-214.

Estos son los resultados obtenidos mediante la utilización de la regresión múltiple entre la densidad básica (g/cm^3), la penetración "Pilodyn" (mm) y la humedad como variables independientes.

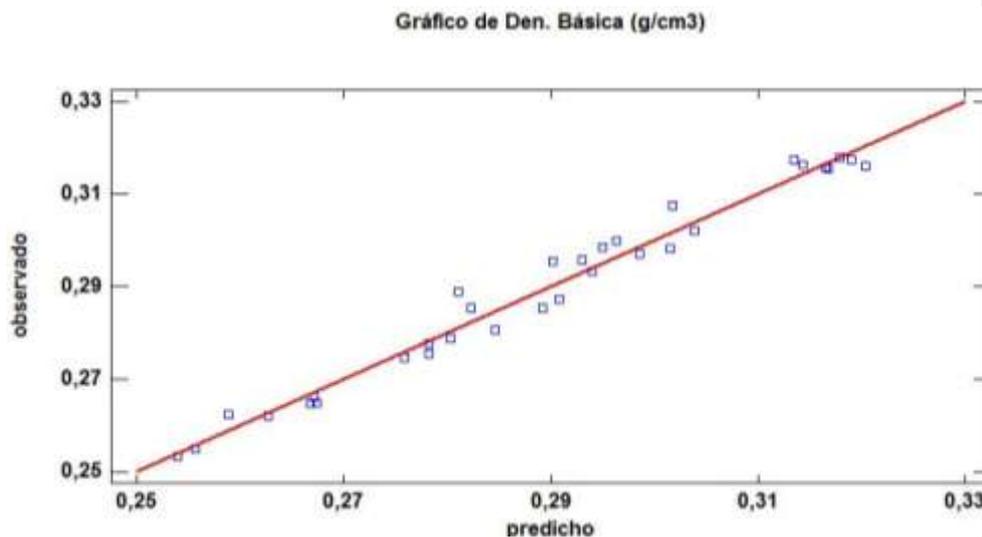


Figura 64. Gráfico del modelo ajustado para la densidad básica para el clon I-214, en función de dos variables independientes.

$$\text{Den. Básica} = 0,43799 + 0,000657482 \cdot \text{Pilodyn} - 0,10674 \cdot \text{Humedad}$$

El modelo así ajustado muestra una constante de 0.43799, una constante para la penetración de +0.000657482 y una constante para la humedad de -0.10674.

El análisis de la varianza revela que existe una relación estadísticamente significativa entre la densidad básica y la humedad ya que se obtiene un p-valor de 0.0000, no ocurre lo mismo entre la densidad básica y la penetración con el equipo "Pilodyn" para este clon.

El estadístico R^2 indica que el modelo así ajustado explica el 97.59% de la variabilidad de la densidad básica.

En la siguiente tabla (Tabla 60) muestra las correlaciones momento producto de Pearson entre cada par de variables. El rango de estos coeficientes de correlación va de -1 a +1, y mide la fuerza de la relación lineal entre ambas variables. El segundo número en cada bloque de la tabla es el p-valor que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas, P-valores por debajo de 0.05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95.0%.

	Den. Básica (g/cm ³)	Pilodyn (mm)	Humedad
Den. Básica (g/cm ³)		0.6287 0.0001	-0.9867 0.0000
Pilodyn (mm)	-0.6287 0.0001		-0.5978 0.0003
Humedad	-0.9867 0.0000	-0.5978 0.0003	

Tabla 60. Correlaciones momento producto de Pearson entre la densidad básica, la penetración y la humedad.

Los siguientes pares de datos muestran p-valores por debajo de 0.05, los cuales indican correlaciones estadísticamente significativas entre las variables.

La Figura 65 muestra el mismo dato, pero representado gráficamente, donde se puede corroborar la correlación existente entre estas variables.

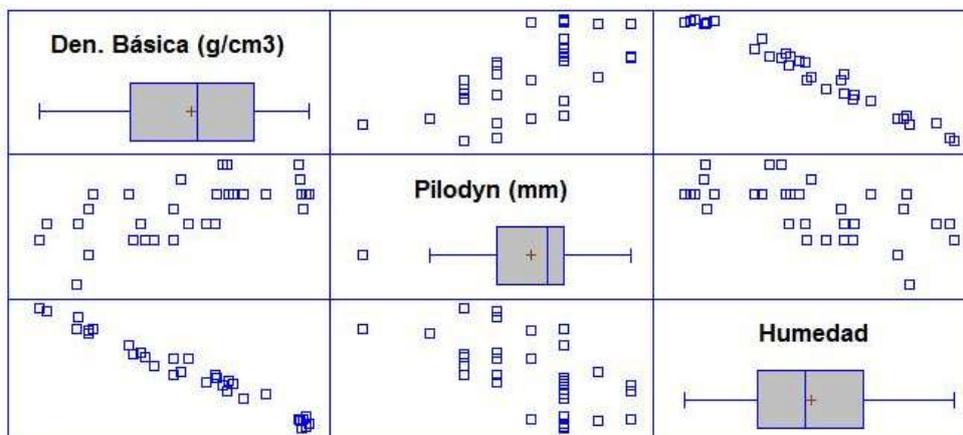


Figura 65. Gráfico de correlación entre la densidad básica, la penetración con el equipo "Pilodyn" y la humedad.

5.3.1.2 Estimación de la densidad básica de la madera para el clon "I-MC", en función de la penetración con el equipo "Pilodyn".

En el siguiente apartado se va a buscar la función de predicción de la densidad básica de la madera en función de la penetración obtenida con el equipo "Pilodyn" y la humedad de la madera para el clon I-MC.

Estos son los resultados obtenidos mediante la utilización de la regresión múltiple entre la densidad básica (g/cm^3), la penetración "Pilodyn" (mm) y la humedad como variables independientes.

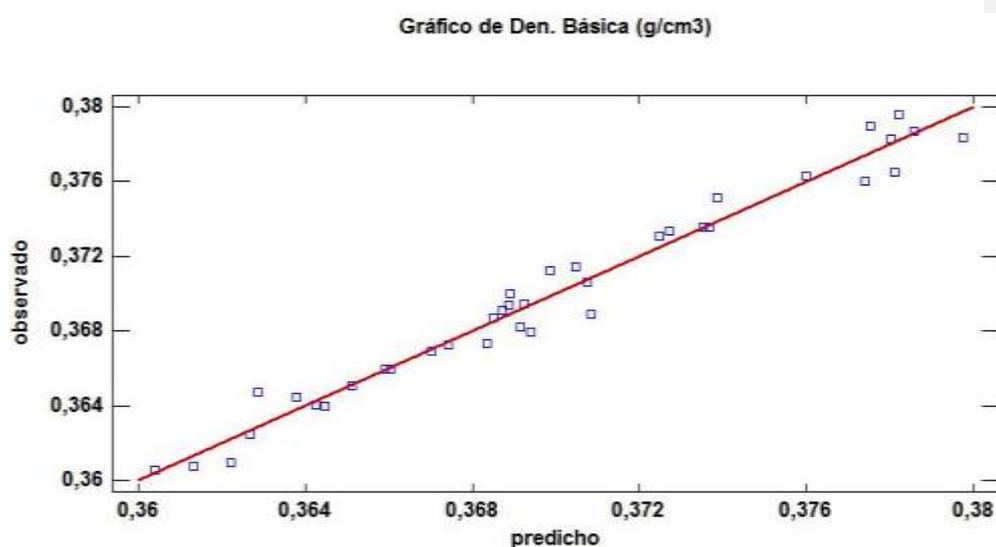


Figura 66. Gráfico del modelo ajustado para la densidad básica para el clon I-MC, en función de dos variables independientes.

$$\text{Den. Básica} = 0,577189 - 0,000223223 \cdot \text{Pilodyn} - 0,160094 \cdot \text{Humedad}$$

El modelo así ajustado muestra una constante de 0.577189, una constante para la penetración de -0.000223223 y una constante para la humedad de -0.160094.

El análisis de la varianza revela que existe una relación estadísticamente significativa entre la densidad básica, la penetración con el equipo "Pilodyn" y la humedad ya que se obtiene valores para el p-valor por debajo de 0.05.

El estadístico R^2 indica que el modelo así ajustado explica el 97.18% de la variabilidad de la densidad básica.

En la siguiente tabla (Tabla 61) muestra las correlaciones momento producto de Pearson entre cada par de variables. El rango de estos coeficientes de correlación va

de -1 a +1, y mide la fuerza de la relación lineal entre ambas variables. El segundo número en cada bloque de la tabla es el p-valor que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas, P-valores por debajo de 0.05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95.0%.

	Den. Básica (g/cm ³)	Pilodyn (mm)	Humedad
Den. Básica (g/cm ³)		-0.0652	-0.9819
Pilodyn (mm)	-0.0652		-0.0230
Humedad	0.6971	0.8909	
	-0.9819	-0.0230	
	0.0000	0.8909	

Tabla 61. Correlaciones momento producto de Pearson entre la densidad básica, la penetración y la humedad.

Los siguientes pares de datos muestran p-valores significativos para la relación entre la densidad básica y la humedad.

La Figura 67 muestra el mismo dato, pero representado gráficamente, donde se puede corroborar la correlación existente entre estas variables.

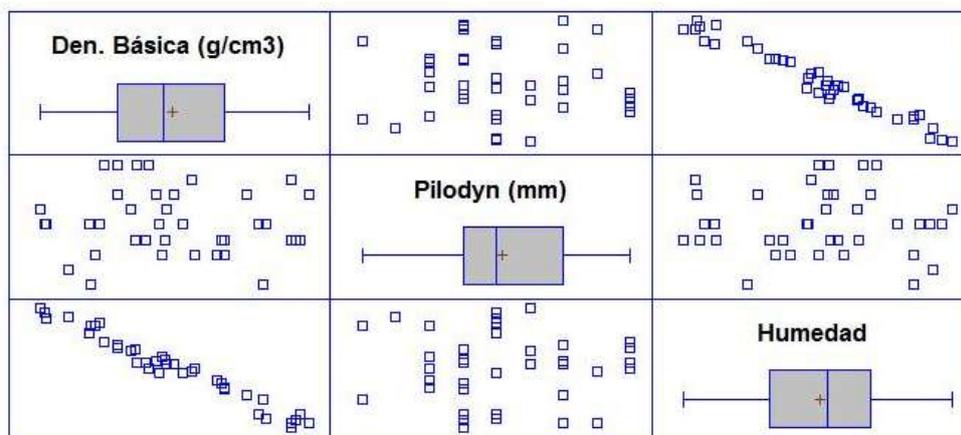


Figura 67. Gráfico de correlación entre la densidad básica, la penetración con el equipo "Pilodyn" y la humedad.

5.3.1.3 Estimación de la densidad básica de la madera para el clon "BEAUPRE", en función de la penetración con el equipo "Pilodyn".

En el siguiente apartado se va a buscar la función de predicción de la densidad básica de la madera en función de la penetración obtenida con el equipo "Pilodyn" y la humedad de la madera para el clon Beaupre.

Estos son los resultados obtenidos mediante la utilización de la regresión múltiple entre la densidad básica (g/cm^3), la penetración "Pilodyn" (mm) y la humedad como variables independientes.

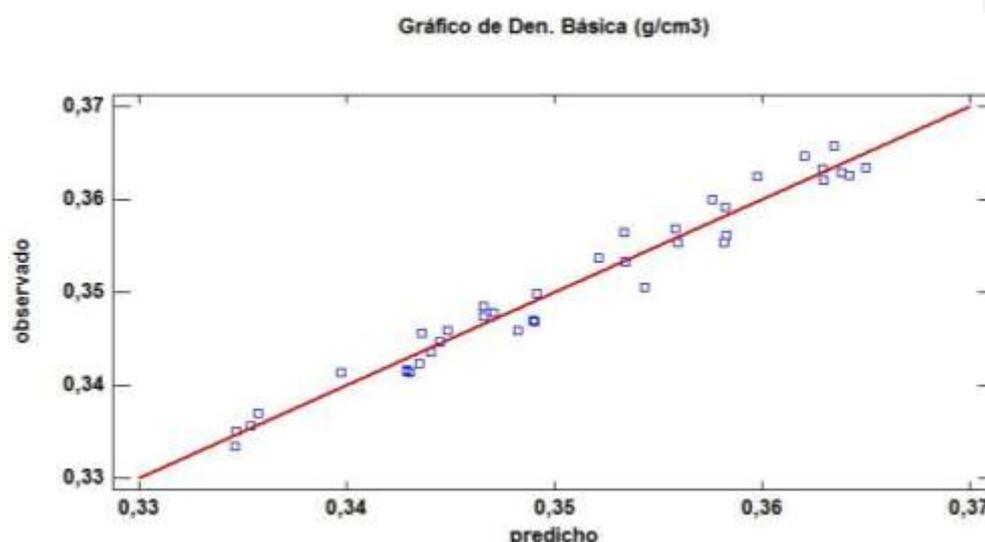


Figura 68. Gráfico del modelo ajustado para la densidad básica para el clon Beaupre, en función de dos variables independientes.

$$\text{Den. Básica} = 0,551586 - 0,000153499 \cdot \text{Pilodyn} - 0,14516 \cdot \text{Humedad}$$

El modelo así ajustado muestra una constante de 0.551586, una constante para la penetración de -0.000153499 y una constante para la humedad de -0.14516.

El análisis de la varianza revela que existe una relación estadísticamente significativa entre la densidad básica y la humedad ya que se obtiene un p-valor de 0.0000, no ocurre lo mismo entre la densidad básica y la penetración con el equipo "Pilodyn" para este clon.

El estadístico R^2 indica que el modelo así ajustado explica el 96.49% de la variabilidad de la densidad básica.

En la siguiente tabla (Tabla 62) muestra las correlaciones momento producto de Pearson entre cada par de variables. El rango de estos coeficientes de correlación va de -1 a +1, y mide la fuerza de la relación lineal entre ambas variables. El segundo número en cada bloque de la tabla es el p-valor que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas, P-valores por debajo de 0.05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95.0%.

	Den. Básica (g/cm ³)	Pilodyn (mm)	Humedad
Den. Básica (g/cm ³)		-0.0511	-0.9818
Pilodyn (mm)	-0.0511		0.0234
Humedad	0.0000	0.8891	

Tabla 62. Correlaciones momento producto de Pearson entre la densidad básica, la penetración y la humedad.

Los siguientes pares de datos muestran p-valores significativos para la relación entre la densidad básica y la humedad.

La Figura 69 muestra el mismo dato, pero representado gráficamente, donde se puede corroborar la correlación existente entre estas variables.

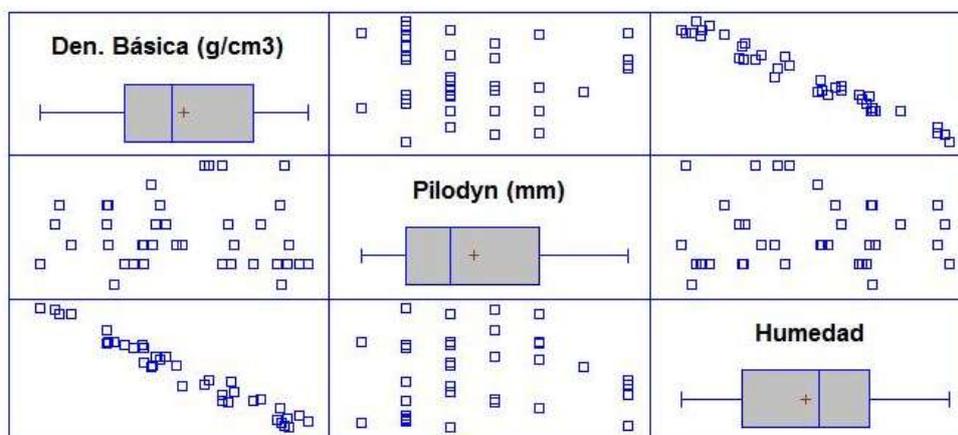


Figura 69. Gráfico de correlación entre la densidad básica, la penetración con el equipo "Pilodyn" y la humedad.

5.3.2 Estimación de la densidad en verde de la madera en función de la penetración con el equipo “Pilodyn”.

Como en el apartado anterior, se ha intentado buscar una función de regresión simple que relacionara, en este caso, la densidad en verde con la penetración con el equipo “Pilodyn”. Tras la realización de la regresión simple observamos valores muy bajos del estadístico R^2 , lo que hace que dicha función no sea lo suficientemente precisa para ser utilizada en la determinación de la densidad en verde a través de la penetración obtenida con el equipo “Pilodyn”. El valor del estadístico R^2 más alto obtenido con este tipo de regresión es de 32.58% con el modelo de regresión de “Cuadrado doble”.

Como en el caso anterior hemos decidido introducir la variable de la humedad para aumentar la precisión de la función, realizando por tanto una regresión múltiple.

Estos son los resultados obtenidos mediante la utilización de la regresión múltiple entre la densidad en verde (g/cm^3), la penetración “Pilodyn” (mm) y la humedad como variables independientes.

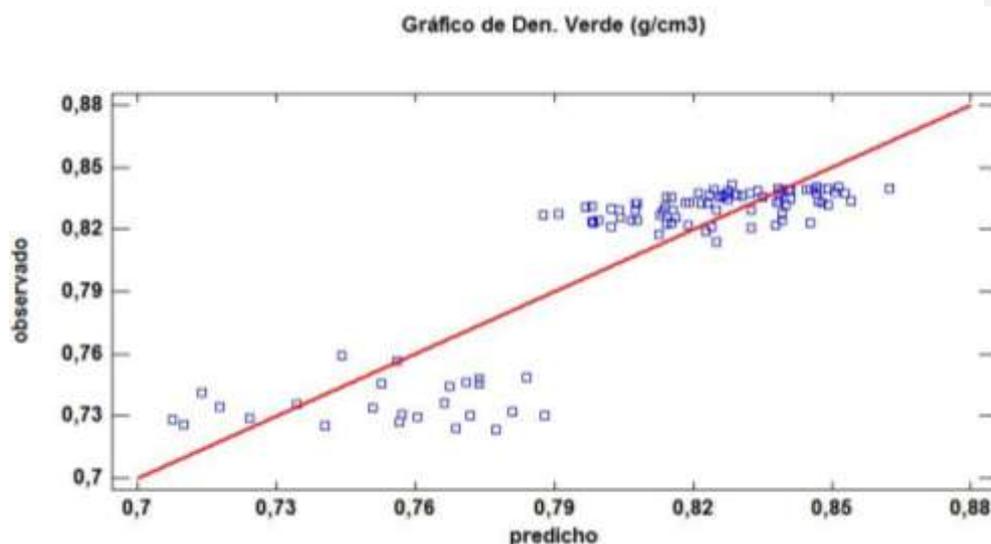


Figura 70. Gráfico del modelo ajustado para la densidad en verde en función de dos variables independientes

$$\text{Den. Verde} = 1.19577 - 0.00456447 \cdot \text{Pilodyn} - 0.204014 \cdot \text{Humedad}$$

El modelo así ajustado muestra una constante de 1.19577, una constante para la penetración de -0.00456447 y una constante para la humedad de -0.204014.

El análisis de la varianza revela que existe una relación estadísticamente significativa entre la densidad en verde, la penetración con el equipo “Pilodyn” y la humedad de la madera, ya que se obtiene para ambas un p-valor de 0.0000.

El estadístico R^2 indica que el modelo así ajustado explica el 76.48% de la variabilidad de la densidad en verde.

En la siguiente tabla (Tabla 63) muestra las correlaciones momento producto de Pearson entre cada par de variables. El rango de estos coeficientes de correlación va de -1 a +1, y mide la fuerza de la relación lineal entre ambas variables. El segundo número en cada bloque de la tabla es el p-valor que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas, P-valores por debajo de 0.05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95.0%.

	Den. Verde (g/cm ³)	Pilodyn (mm)	Humedad
Den. Verde (g/cm ³)		-0.4844 0.0000	-0.8461 0.0000
Pilodyn (mm)	-0.4844 0.0000		0.3255 0.0000
Humedad	-0.8461 0.0000	0.3255 0.0000	

Tabla 63. Correlaciones momento producto de Pearson entre la densidad verde, la penetración y la humedad.

Los siguientes pares de datos muestran p-valores por debajo de 0.05, los cuales indican correlaciones estadísticamente significativas entre las variables.

La Figura 71 muestra el mismo dato, pero representado gráficamente, donde se puede corroborar la correlación existente entre estas variables

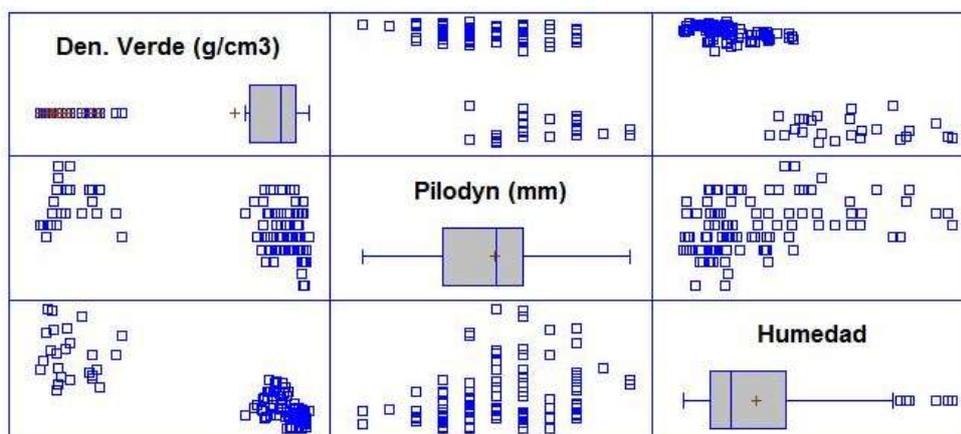


Figura 71. Gráfico de correlación entre la densidad en verde, la penetración con el equipo “Pilodyn” y la humedad.

5.3.2.1 Estimación de la densidad en verde de la madera para el clon "I-214", en función de la penetración con el equipo "Pilodyn".

En este apartado se va a tratar de buscar la función de predicción de la densidad en verde a partir de los datos de penetración con el equipo "Pilodyn" y la humedad de la madera para el clon I-214.

Estos son los resultados obtenidos mediante la utilización de la regresión múltiple entre la densidad en verde (g/cm^3), la penetración "Pilodyn" (mm) y la humedad como variables independientes.

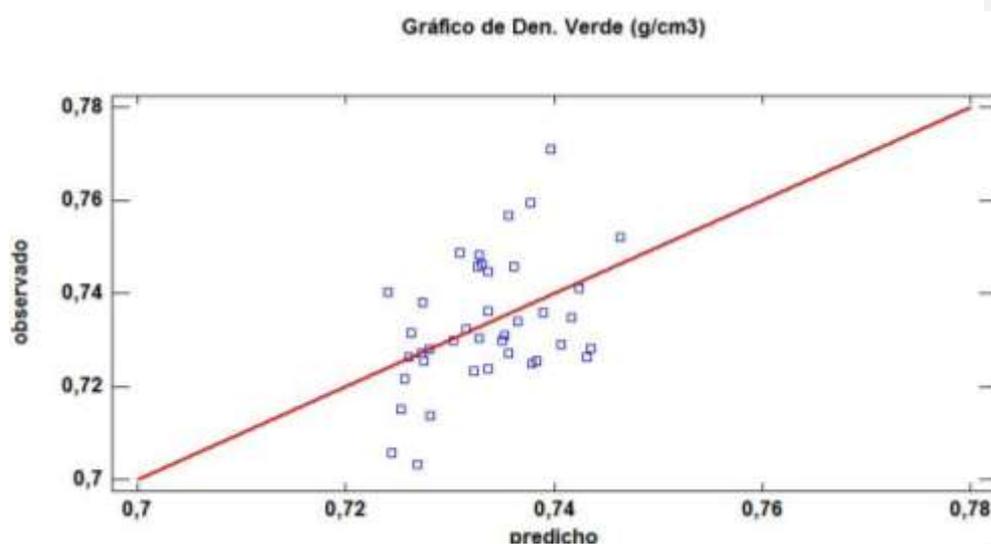


Figura 72. Gráfico del modelo ajustado para la densidad en verde para el clon I-214, en función de dos variables independientes.

$$\text{Den. Verde} = 0,666405 + 0,000662613 \cdot \text{Pilodyn} + 0,0329548 \cdot \text{Humedad}$$

El modelo así ajustado muestra una constante de 0.666405, una constante para la penetración de +0.000662613 y una constante para la humedad de +0.0329548.

El análisis de la varianza revela que existe una relación estadísticamente significativa entre la densidad en verde y la humedad de la madera, no ocurriendo lo mismo en la relación entre la densidad en verde y la penetración,

El estadístico R^2 indica que el modelo así ajustado explica el 18.48% de la variabilidad de la densidad en verde.

En la siguiente tabla (Tabla 64) muestra las correlaciones momento producto de Pearson entre cada par de variables. El rango de estos coeficientes de correlación va de -1 a +1, y mide la fuerza de la relación lineal entre ambas variables. El segundo

número en cada bloque de la tabla es el p-valor que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas, P-valores por debajo de 0.05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95.0%.

	Den. Verde (g/cm ³)	Pilodyn (mm)	Humedad
Den. Verde (g/cm ³)		-0.1371	0.4222
Pilodyn (mm)	-0.1371		-0.4916
Humedad	0.4222	-0.4916	
	0.0067	0.0013	0.0013

Tabla 64. Correlaciones momento producto de Pearson entre la densidad verde, la penetración y la humedad.

Los siguientes pares de datos muestran p-valores significativos para la relación entre la densidad en verde y la humedad.

La Figura 73 muestra el mismo dato, pero representado gráficamente, donde se puede corroborar la correlación existente entre estas variables

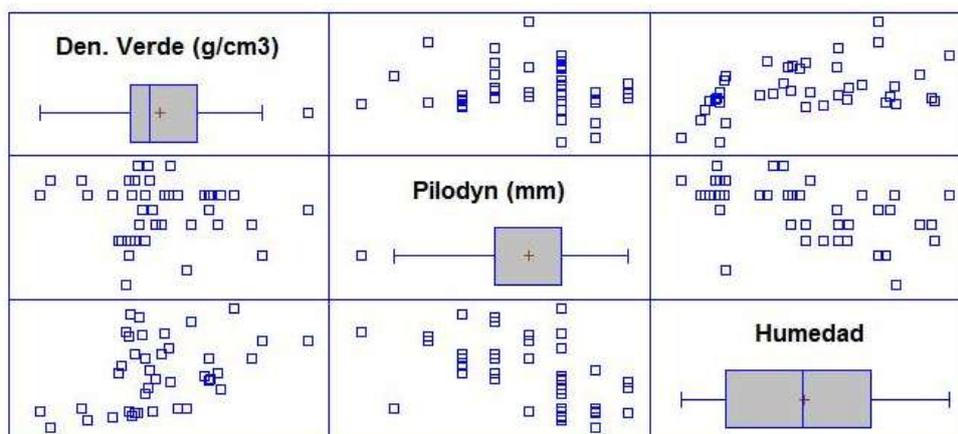


Figura 73. Gráfico de correlación entre la densidad en verde, la penetración con el equipo "Pilodyn" y la humedad.

5.3.2.2 Estimación de la densidad en verde de la madera para el clon "I-MC", en función de la penetración con el equipo "Pilodyn".

En el siguiente apartado se va a tratar de buscar la función de predicción de la densidad en verde a partir de los datos de penetración con el equipo "Pilodyn" y la humedad de la madera para el clon I-MC.

Estos son los resultados obtenidos mediante la utilización de la regresión múltiple entre la densidad en verde (g/cm^3), la penetración "Pilodyn" (mm) y la humedad como variables independientes.

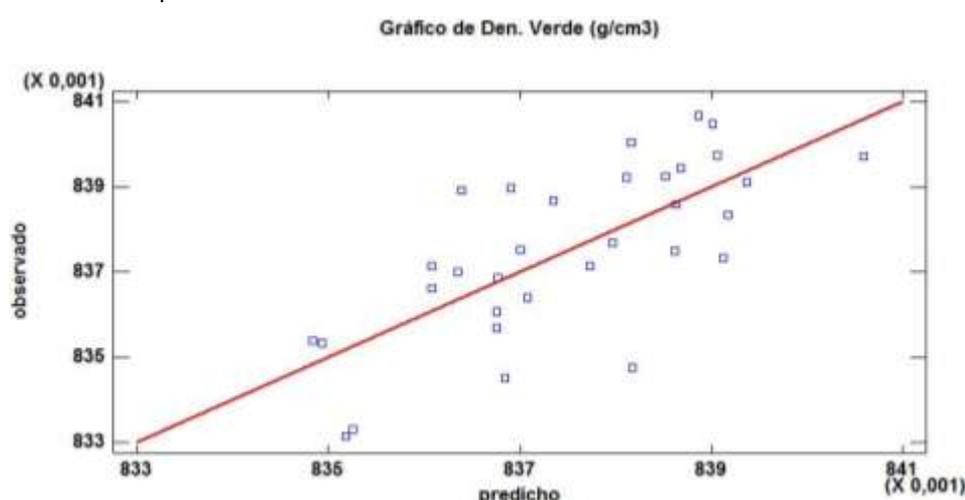


Figura 74. Gráfico del modelo ajustado para la densidad en verde para el clon I-MC, en función de dos variables independientes.

$$\text{Den. Verde} = 0,871875 - 0,000600232 \cdot \text{Pilodyn} - 0,01663 \cdot \text{Humedad}$$

El modelo así ajustado muestra una constante de 0.871875, una constante para la penetración de -0.000600232 y una constante para la humedad de -0.01663.

El análisis de la varianza revela que existe una relación estadísticamente significativa entre la densidad en verde, la penetración con el equipo "Pilodyn" y la humedad de la madera, ya que se obtiene para ambas un p-valor menor de 0.05.

El estadístico R^2 indica que el modelo así ajustado explica el 51.85% de la variabilidad de la densidad en verde.

En la siguiente tabla (Tabla 65) muestra las correlaciones momento producto de Pearson entre cada par de variables. El rango de estos coeficientes de correlación va de -1 a +1, y mide la fuerza de la relación lineal entre ambas variables. El segundo número en cada bloque de la tabla es el p-valor que prueba la significancia estadística

de las correlaciones estimadas, P-valores por debajo de 0.05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95.0%.

	Den. Verde (g/cm ³)	Pilodyn (mm)	Humedad
Den. Verde (g/cm ³)		-0.6705	-0.2247
Pilodyn (mm)	-0.6705		-0.0558
Humedad	-0.2247	-0.0558	
	0.2164	0.7615	

Tabla 65. Correlaciones momento producto de Pearson entre la densidad verde, la penetración y la humedad.

Los siguientes pares de datos muestran p-valores por debajo de 0.05 para la relación entre la densidad en verde y la penetración con el equipo “Pilodyn”.

La Figura 75 muestra el mismo dato, pero representado gráficamente, donde se puede corroborar la correlación existente entre estas variables

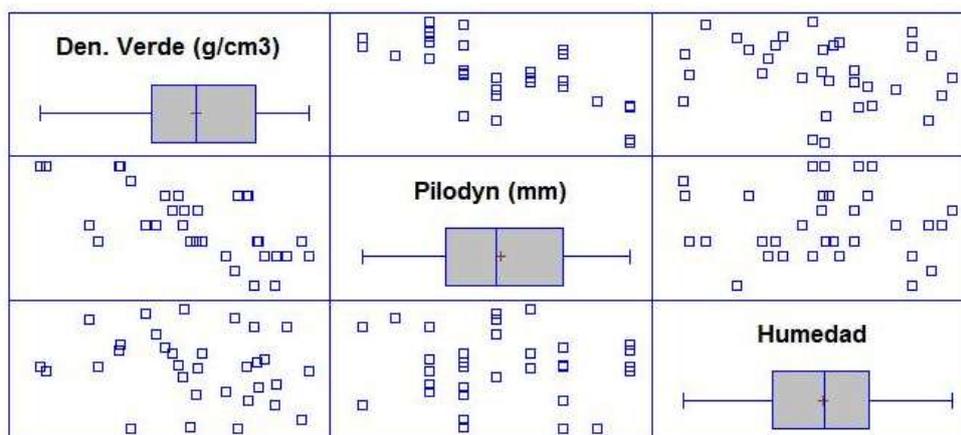


Figura 75. Gráfico de correlación entre la densidad en verde, la penetración con el equipo “Pilodyn” y la humedad.

5.3.2.3 Estimación de la densidad en verde de la madera para el clon "BEAUPRE", en función de la penetración con el equipo "Pilodyn".

En este apartado se va a tratar de buscar la función de predicción de la densidad en verde a partir de los datos de penetración con el equipo "Pilodyn" y la humedad de la madera para el clon Beaupre.

Estos son los resultados obtenidos mediante la utilización de la regresión múltiple entre la densidad en verde (g/cm^3), la penetración "Pilodyn" (mm) y la humedad como variables independientes.

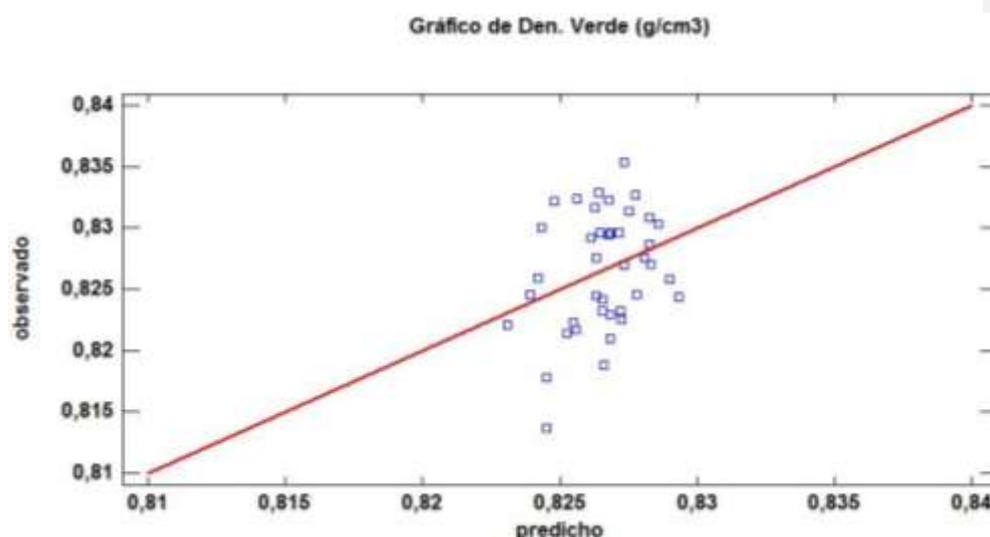


Figura 76. Gráfico del modelo ajustado para la densidad en verde para el clon Beaupre, en función de dos variables independientes.

$$\text{Den. Verde} = 0,819578 - 0,000613185 \cdot \text{Pilodyn} + 0,0153625 \cdot \text{Humedad}$$

El modelo así ajustado muestra una constante de 0.819578, una constante para la penetración de -0.000613185 y una constante para la humedad de +0.0153625.

El análisis de la varianza revela que no existe una relación estadísticamente significativa entre la densidad en verde, la penetración con el equipo "Pilodyn" y la humedad de la madera, ya que se obtiene para ambas un p-valor superior a 0.05.

El estadístico R^2 indica que el modelo así ajustado explica el 9.18% de la variabilidad de la densidad en verde.

En la siguiente tabla (Tabla 66) muestra las correlaciones momento producto de Pearson entre cada par de variables. El rango de estos coeficientes de correlación va de -1 a +1, y mide la fuerza de la relación lineal entre ambas variables. El segundo

número en cada bloque de la tabla es el p-valor que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas, P-valores por debajo de 0.05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95.0%.

	Den. Verde (g/cm ³)	Pilodyn (mm)	Humedad
Den. Verde (g/cm ³)		-0.2261	0.2078
Pilodyn (mm)	-0.2261		-0.0274
Humedad	0.2078	-0.0274	
	0.1606	0.1606	0.8669
	0.1983	0.1983	0.8669

Tabla 66. Correlaciones momento producto de Pearson entre la densidad verde, la penetración y la humedad.

Los siguientes pares de datos muestran p-valores por encima de 0.05, los cuales indican que las correlaciones no son estadísticamente significativas entre las variables estudiadas para este clon.

La Figura 77 muestra el mismo dato, pero representado gráficamente, donde se puede corroborar la correlación existente entre estas variables

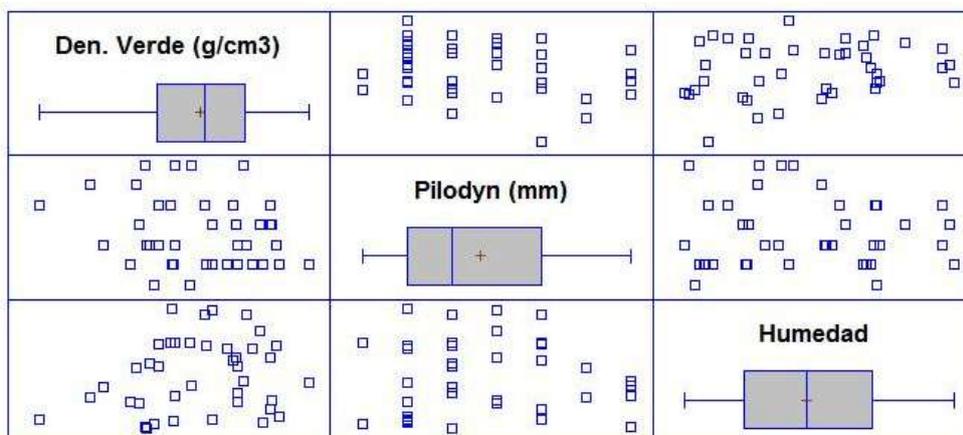


Figura 77. Gráfico de correlación entre la densidad en verde, la penetración con el equipo "Pilodyn" y la humedad.

5.3.3 Estimación del volumen de chapa obtenida en función de la velocidad de ultrasonidos en pie y el diámetro normal.

En este apartado se busca una función de predicción del volumen de chapa (m^3) obtenido tras el desenrollo de la troza a partir de la velocidad de ultrasonidos (m/s) sobre la madera en pie y el diámetro normal de esta (cm).

A continuación se presentan los datos obtenidos en la estimación de la regresión múltiple entre la variable dependiente (Volumen de chapa) y las variables independientes (Velocidad de ultrasonidos en pie y el diámetro normal).

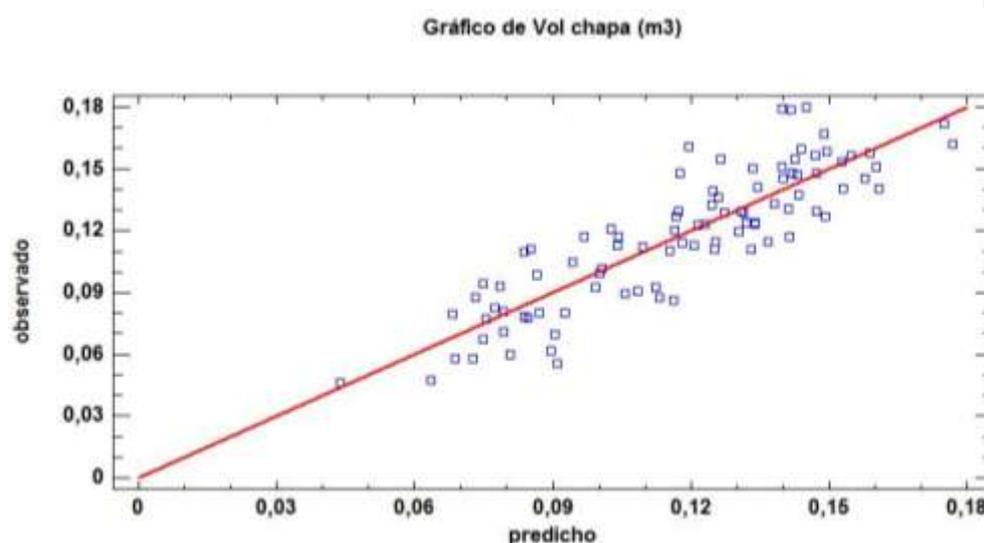


Figura 78. Gráfico del modelo ajustado para el volumen de chapa en función de dos variables independientes.

$$\text{Vol chapa} = -0.238438 + 0.0000231194 \cdot \text{Velocidad en pie} + 0.00872159 \cdot D_0$$

El modelo así ajustado muestra una constante de -0.238438, una constante para la velocidad de ultrasonidos en pie de -0.0000231194 y una constante para el diámetro normal de 0.00872159.

El análisis de la varianza revela que existe una relación estadísticamente significativa entre el volumen de chapa obtenido, la velocidad de ultrasonidos en pie tomada con el equipo “Fakopp” y el diámetro normal de la madera, ya que se obtiene para ambas un p-valor menor de 0.05.

El estadístico R^2 indica que el modelo así ajustado explica el 75.82% de la variabilidad del volumen de chapa obtenido tras el desenrollo de la troza.

En la siguiente tabla (Tabla 67) muestra las correlaciones momento producto de Pearson entre cada par de variables. El rango de estos coeficientes de correlación va de -1 a +1, y mide la fuerza de la relación lineal entre ambas variables. El segundo número en cada bloque de la tabla es el p-valor que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas, P-valores por debajo de 0.05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95.0%.

	Vol chapa (m ³)	Velocidad pie (m/s)	D ₀ (cm)
Vol chapa (m ³)		0.0718	0.8604
Velocidad pie (m/s)	0.0718		-0.0713
D ₀ (cm)	0.8604	-0.0713	
	0.0000	0.4969	0.0000

Tabla 67. Correlaciones momento producto de Pearson entre el volumen de chapa, la velocidad de ultrasonidos en pie y el diámetro normal.

Como se puede observar en la tabla anterior (Tabla 61), existe una relación estadísticamente significativa entre el volumen de chapa obtenido y el diámetro normal de las trozas. Para el resto de pares de datos el p-valor es superior a 0.05, por lo tanto no existe relación estadísticamente significativa entre ellos.

La Figura 79 muestra el mismo dato, pero representado gráficamente, donde se puede corroborar la correlación existente entre estas variables

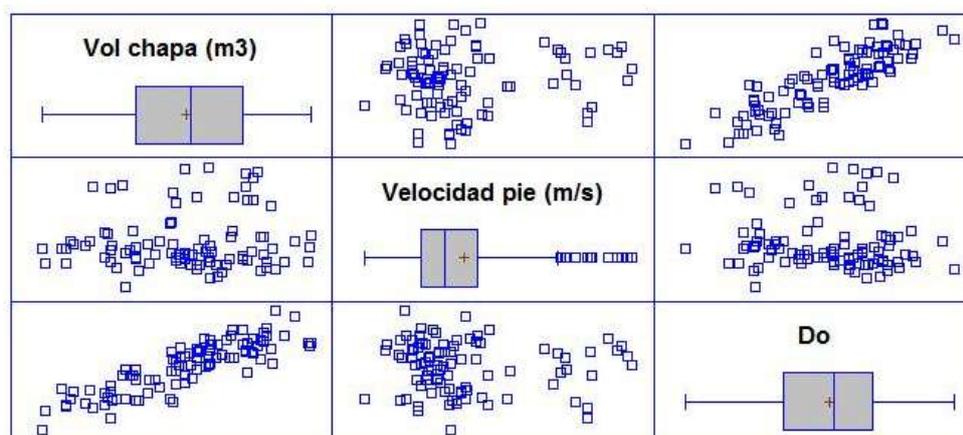


Figura 79. Gráfico de correlación entre el volumen de chapa obtenido, la velocidad de ultrasonidos en pie y el diámetro normal de la madera.

5.3.4 Estimación del volumen de chapa obtenida en función de la velocidad directa de ultrasonidos sobre la troza y el diámetro normal.

En el siguiente apartado se busca una función de predicción del volumen de chapa (m^3) obtenido tras el desarrollo de la troza a partir de la velocidad directa de ultrasonidos (m/s) sobre la troza y el diámetro normal de esta (cm).

A continuación se presentan los datos obtenidos en la estimación de la regresión múltiple entre la variable dependiente (Volumen de chapa) y las variables independientes (Velocidad directa de ultrasonidos y el diámetro normal).

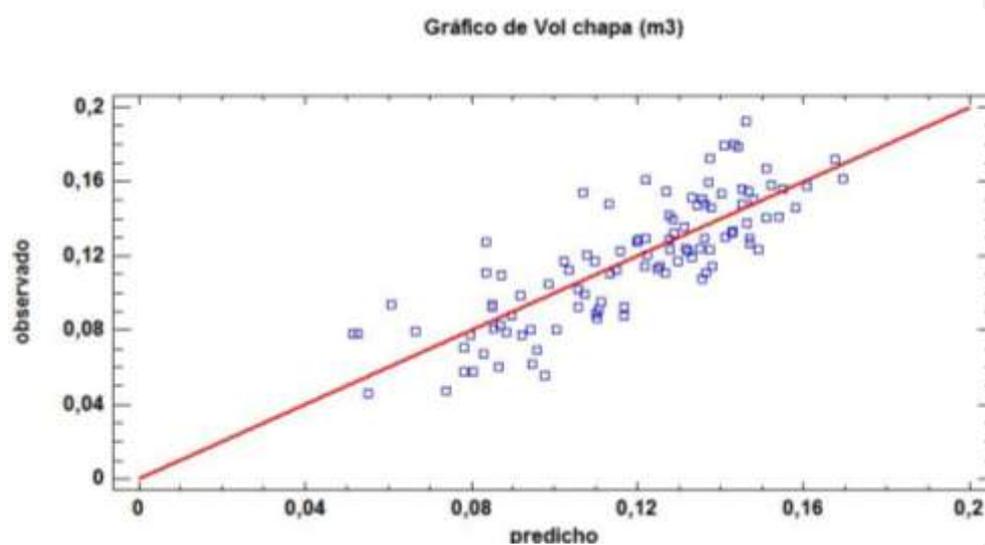


Figura 80. Gráfico del modelo ajustado para el volumen de chapa en función de dos variables independientes.

$$\text{Vol chapa} = -0.123607 - 0.00000592683 \cdot \text{Velocidad directa} + 0.00785306 \cdot D_0$$

El modelo así ajustado muestra una constante de -0.123607, una constante para la velocidad directa de ultrasonidos de -0.00000592683 y una constante para el diámetro normal de +0.00785306.

El análisis de la varianza revela que existe una relación estadísticamente significativa entre el volumen de chapa obtenido, la velocidad directa de ultrasonidos tomada con el equipo "Fakopp" sobre la troza y el diámetro normal de la madera, ya que se obtiene un p-valor de 0.0000.

El estadístico R^2 indica que el modelo así ajustado explica el 66.08% de la variabilidad del volumen de chapa obtenido tras el desarrollo de la troza.

En la siguiente tabla (Tabla 68) muestra las correlaciones momento producto de Pearson entre cada par de variables. El rango de estos coeficientes de correlación va de -1 a +1, y mide la fuerza de la relación lineal entre ambas variables. El segundo número en cada bloque de la tabla es el p-valor que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas, P-valores por debajo de 0.05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95.0%.

	Vol chapa (m ³)	Velocidad directa (m/s)	D ₀ (cm)
Vol chapa (m ³)		0.3061 0.0015	0.8121 0.0000
Velocidad directa (m/s)	0.3061 0.0015		0.4168 0.0000
D ₀ (cm)	0.8121 0.0000	0.4168 0.0000	

Tabla 68. Correlaciones momento producto de Pearson entre el volumen de chapa, la velocidad directa de ultrasonidos y el diámetro normal.

Como se puede observar en la tabla anterior (Tabla 62), existe una relación estadísticamente significativa entre el volumen de chapa obtenido y las dos variables independientes de la relación.

La Figura 81 muestra el mismo dato, pero representado gráficamente, donde se puede corroborar la correlación existente entre estas variables

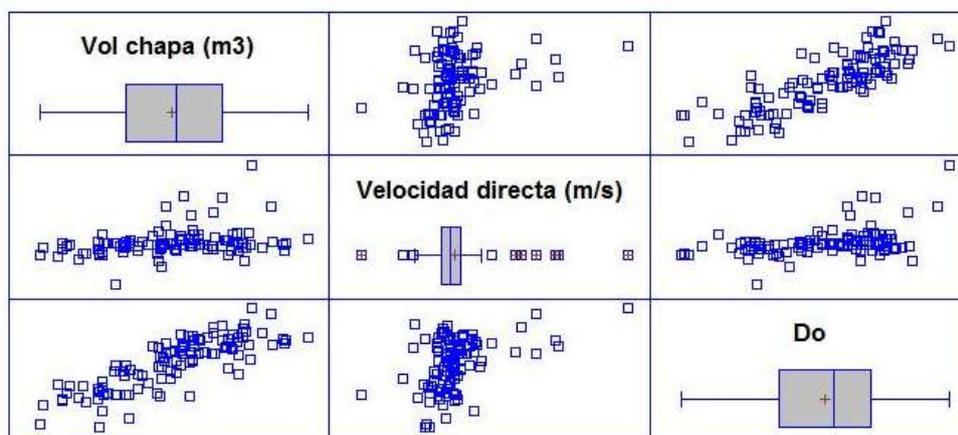


Figura 81. Gráfico de correlación entre el volumen de chapa obtenido, la velocidad directa de ultrasonidos y el diámetro normal de la madera.

5.3.5 Estimación del volumen de chapa obtenida en función de la velocidad indirecta de ultrasonidos sobre la troza y el diámetro normal.

En este apartado se busca una función de predicción del volumen de chapa (m^3) obtenido tras el desenrollo de la troza a partir de la velocidad indirecta de ultrasonidos (m/s) sobre la troza y el diámetro normal de esta (cm).

A continuación se presentan los datos obtenidos en la estimación de la regresión múltiple entre la variable dependiente (Volumen de chapa) y las variables independientes (Velocidad indirecta de ultrasonidos y el diámetro normal).

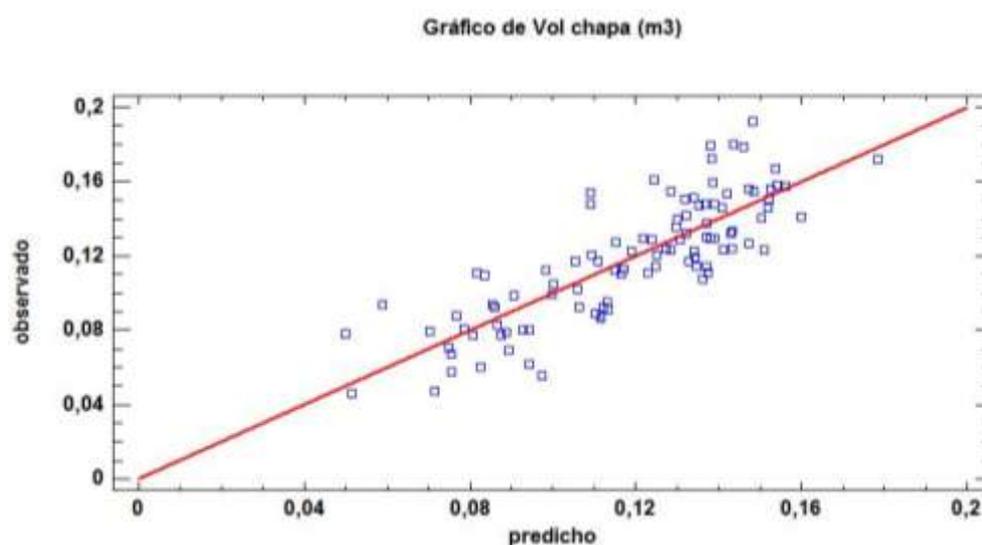


Figura 82. Gráfico del modelo ajustado para el volumen de chapa en función de dos variables independientes.

$$\text{Vol chapa} = -0.249236 + 0.0000247849 \cdot \text{Velocidad indirecta} + 0.00785913 \cdot D_0$$

El modelo así ajustado muestra una constante de -0.249236, una constante para la velocidad indirecta de ultrasonidos de +0.0000247849 y una constante para el diámetro normal de +0.00785913.

El análisis de la varianza revela que existe una relación estadísticamente significativa entre el volumen de chapa obtenido, la velocidad indirecta de ultrasonidos tomada con el equipo "Fakopp" sobre la troza y el diámetro normal de la madera, ya que se obtiene un p-valor menor de 0.05.

El estadístico R^2 indica que el modelo así ajustado explica el 67.95% de la variabilidad del volumen de chapa obtenido tras el desenrollo de la troza.

En la siguiente tabla (Tabla 69) muestra las correlaciones momento producto de Pearson entre cada par de variables. El rango de estos coeficientes de correlación va de -1 a +1, y mide la fuerza de la relación lineal entre ambas variables. El segundo número en cada bloque de la tabla es el p-valor que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas, P-valores por debajo de 0.05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95.0%.

	Vol chapa (m ³)	Velocidad indirecta (m/s)	D ₀ (cm)
Vol chapa (m ³)		0.2730 0.0057	0.8175 0.0000
Velocidad indirecta (m/s)	0.2730 0.0057		0.2075 0.0373
D ₀ (cm)	0.8175 0.0000	0.2075 0.0373	

Tabla 69. Correlaciones momento producto de Pearson entre el volumen de chapa, la velocidad indirecta de ultrasonidos y el diámetro normal.

Tal y como se refleja en la tabla anterior (Tabla 63), existe una relación estadísticamente significativa entre el volumen de chapa obtenido y las dos variables independientes de la relación.

La Figura 83 muestra el mismo dato, pero representado gráficamente, donde se puede corroborar la correlación existente entre estas variables

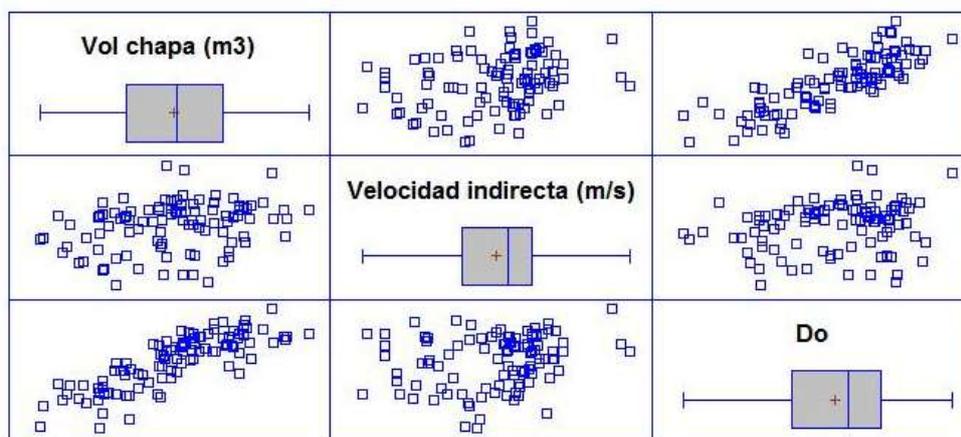


Figura 83. Gráfico de correlación entre el volumen de chapa obtenido, la velocidad indirecta de ultrasonidos y el diámetro normal de la madera.

5.3.6 Estimación del volumen de chapa de calidad “Almas Verdes” obtenido en función de 7 variables independientes.

A continuación se va a llevar a cabo la búsqueda de una función de predicción del volumen de chapa de calidad “Almas Verdes” (m^3), obtenido tras el desenrollo de la troza a partir de las variables independientes utilizadas en los apartados anteriores.

Se presentan ahora los datos obtenidos en la estimación de la regresión múltiple entre la variable dependiente (Volumen de chapa “Almas Verdes”) y las variables independientes (Calidad visual, D_0 , densidad verde, penetración con Pilodyn, velocidad de ultrasonidos en pie, velocidad directa de ultrasonidos, velocidad indirecta de ultrasonidos).

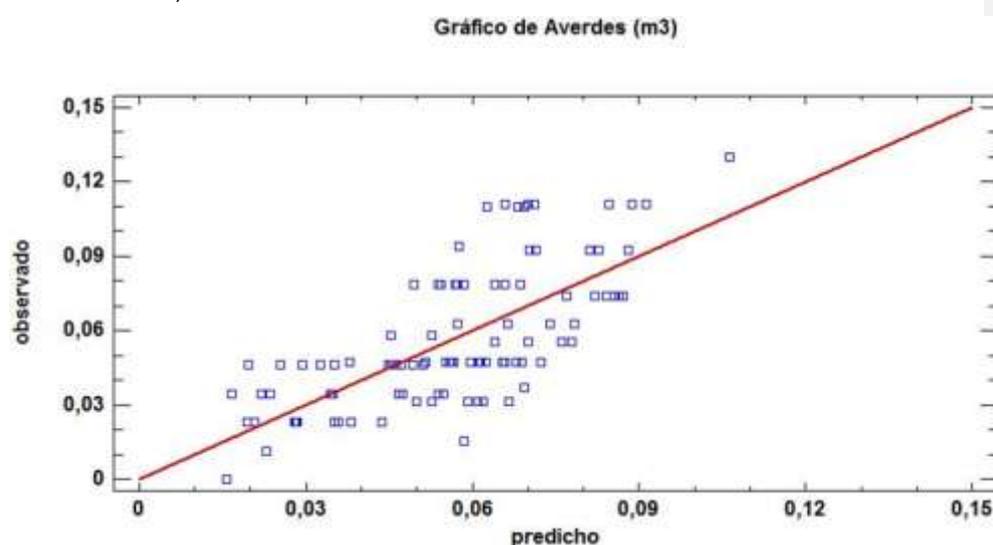


Figura 84. Gráfico del modelo ajustado para el volumen de chapa “Almas verdes” en función de cuatro variables independientes.

$$\text{Averdes (m3)} = -0,180296 + 0,00190457 \cdot D_0 + 0,0000299933 \cdot \text{Velocidad pie} - 0,00310449 \cdot \text{Pilodyn} + 0,212396 \cdot \text{Den. Verde}$$

El modelo se ha ajustado mediante regresión lineal múltiple, utilizando el procedimiento de ajuste se “selección paso a paso hacia delante”. Por lo que tenemos:

Variable dependiente:

- Volumen chapa (Almas verdes)

Variables independientes:

-Calidad visual

- D_0

-Pilodyn

-Densidad verde

-Velocidad en pie

-Velocidad directa

-Velocidad indirecta

Las variables velocidad directa e indirecta, así como la calidad en pie han sido excluidas del modelo, ya que representan términos que no son estadísticamente significativos para la descripción del volumen de chapa de calidad “Almas verdes”.

El modelo así ajustado muestra una constante de -0,180296, una constante de + 0,00190457 para el diámetro normal, una constante de + 0,0000299933 para la velocidad en pie, una constante de - 0,00310449 para la variable “Pilodyn”, y una constante de + 0,212396 para la densidad en verde.

El estadístico R^2 indica que el modelo así ajustado explica el 49.94% de la variabilidad del volumen de chapa obtenido tras el desenrollo de la troza.

En la siguiente tabla (Tabla 70) muestra las correlaciones momento producto de Pearson entre cada par de variables. El rango de estos coeficientes de correlación va de -1 a +1, y mide la fuerza de la relación lineal entre ambas variables. El segundo número en cada bloque de la tabla es el p-valor que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas, P-valores por debajo de 0.05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95.0%.

	A verdes (m ³)	D ₀ (cm)	Velocidad pie (m/s)	Pilodyn (mm)	Densidad verde (g/cm ³)
A verdes (m ³)	0.2294 0.0224	0.4172 0.0000	-0.5089 0.0000	0.5897 0.0000	
D ₀ (cm)	0.2294 0.0224	0.0441 0.6649	0.0474 0.6411	-0.0443 0.6635	
Velocidad pie (m/s)	0.4172 0.0000	0.0441 0.6649	-0.1852 0.0665	0.3537 0.0003	
Pilodyn (mm)	-0.5089 0.0000	0.0474 0.6411	-0.1852 0.0665	-0.5995 0.0000	
Densidad verde (g/cm ³)	0.5897 0.0000	-0.0443 0.6635	0.3537 0.0003	-0.5995 0.0000	

Tabla 70. Correlaciones momento producto de Pearson entre el volumen de chapa, la densidad en verde, el diámetro normal, la penetración y la velocidad de ultrasonidos en pie.

Tal y como se refleja en la tabla anterior (Tabla 64), existe una relación estadísticamente significativa entre el volumen de chapa obtenido y las cuatro variables independientes de la relación.

La Figura 85 muestra el mismo dato, pero representado gráficamente, donde se puede corroborar la correlación existente entre estas variables

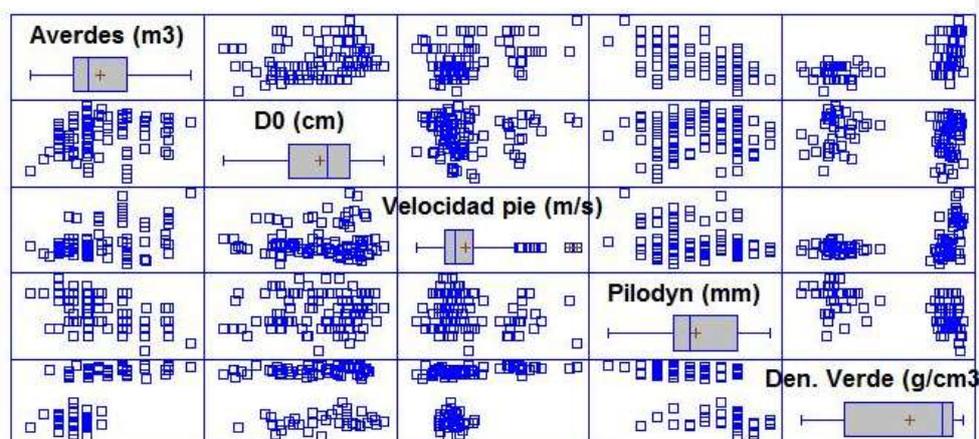


Figura 85. Gráfico de correlación entre el volumen de chapa obtenido, la densidad en verde, el diámetro normal de la madera, la penetración y la velocidad de ultrasonidos en pie.

5.3.7 Estimación del volumen de chapa de calidad “Almas Blancas” obtenido en función de 7 variables independientes.

En este apartado se busca una función de predicción del volumen de chapa de calidad “Almas Blancas” (m^3), obtenido tras el desenrollo de la troza a partir de las variables independientes utilizadas en los apartados anteriores.

Se presentan ahora los datos obtenidos en la estimación de la regresión múltiple entre la variable dependiente (Volumen de chapa “Almas Blancas”) y las variables independientes (Calidad visual, D_0 , densidad verde, penetración con Pilodyn, velocidad de ultrasonidos en pie, velocidad directa de ultrasonidos, velocidad indirecta de ultrasonidos).

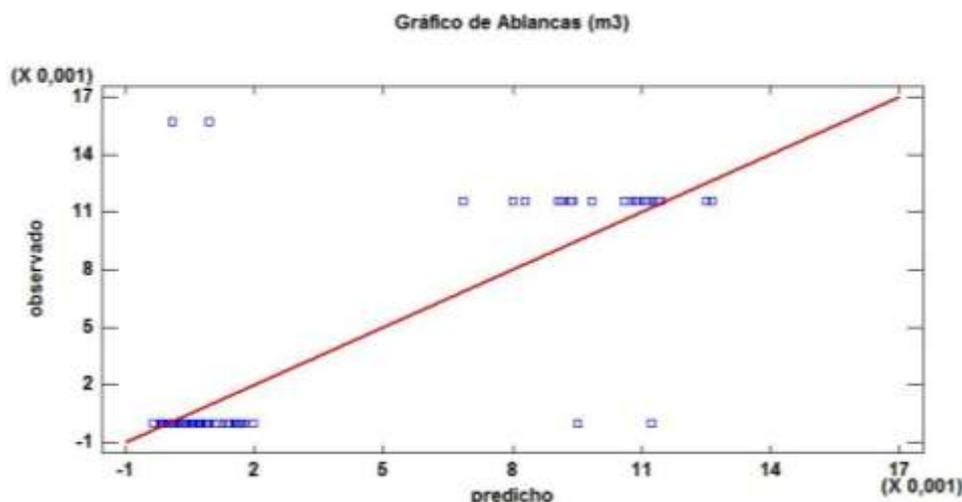


Figura 86. Gráfico del modelo ajustado para el volumen de chapa “Almas blancas” en función de una variable independiente.

$$\text{Ablancas (m}^3\text{)} = 0,0852115 - 0,101665 \cdot \text{Den. Verde}$$

El modelo se ha ajustado mediante regresión lineal múltiple, utilizando el procedimiento de ajuste se “selección paso a paso hacia delante”. Por lo que tenemos:

Variable dependiente:

- Volumen chapa (Almas blancas)

Variables independientes:

-Calidad visual

-D₀

-Pilodyn

-Densidad verde

-Velocidad en pie

-Velocidad directa

-Velocidad indirecta

Las variables velocidad en pie, directa e indirecta así como la penetración con el equipo “Pilodyn”, la calidad visual y el diámetro normal han sido excluidas del modelo, ya que todas ellas representan términos que no son estadísticamente significativos para la descripción del volumen de chapa de calidad “Almas blancas”.

El modelo así ajustado muestra una constante de +0.0852115 y una constante para la densidad en verde de -0.101665.

El estadístico R² indica que el modelo así ajustado explica el 66.70% de la variabilidad del volumen de chapa obtenido tras el desenrollo de la troza.

En la siguiente tabla (Tabla 71) muestra las correlaciones momento producto de Pearson entre cada par de variables. El rango de estos coeficientes de correlación va de -1 a +1, y mide la fuerza de la relación lineal entre ambas variables. El segundo número en cada bloque de la tabla es el p-valor que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas, P-valores por debajo de 0.05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95.0%.

	A blanca (m ³)	Densidad verde (g/cm ³)
A blancas (m ³)		-0.8167 0.0000
Densidad verde (g/cm ³)	-0.8167 0.0000	

Tabla 71. Correlaciones momento producto de Pearson entre el volumen de chapa y la densidad en verde.

Tal y como se refleja en la tabla anterior (Tabla 65), existe una relación estadísticamente significativa entre el volumen de chapa obtenido y la densidad en verde.

La Figura 87 muestra el mismo dato, pero representado gráficamente, donde se puede corroborar la correlación existente entre estas variables.

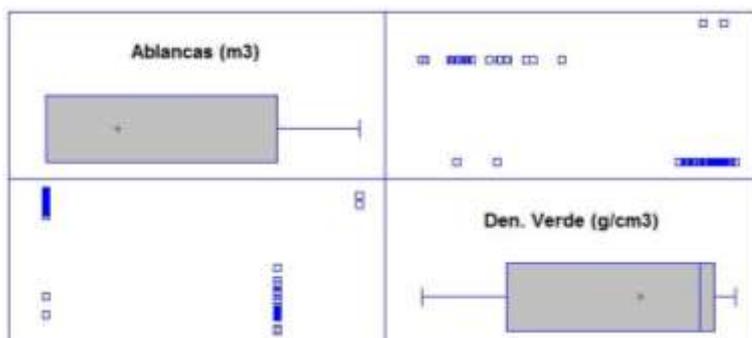


Figura 87. Gráfico de correlación entre el volumen de chapa obtenido y la densidad en verde.

5.3.8 Estimación del volumen de chapa de calidad “C Blanca” obtenido en función de 7 variables independientes.

A continuación se busca una función de predicción del volumen de chapa de calidad “C Blanca” (m^3), obtenido tras el desarrollo de la troza a partir de las variables independientes utilizadas en los apartados anteriores.

Se presentan ahora los datos obtenidos en la estimación de la regresión múltiple entre la variable dependiente (Volumen de chapa “C Blanca”) y las variables independientes (Calidad visual, D_0 , densidad verde, penetración con Pilodyn, velocidad de ultrasonidos en pie, velocidad directa de ultrasonidos, velocidad indirecta de ultrasonidos).

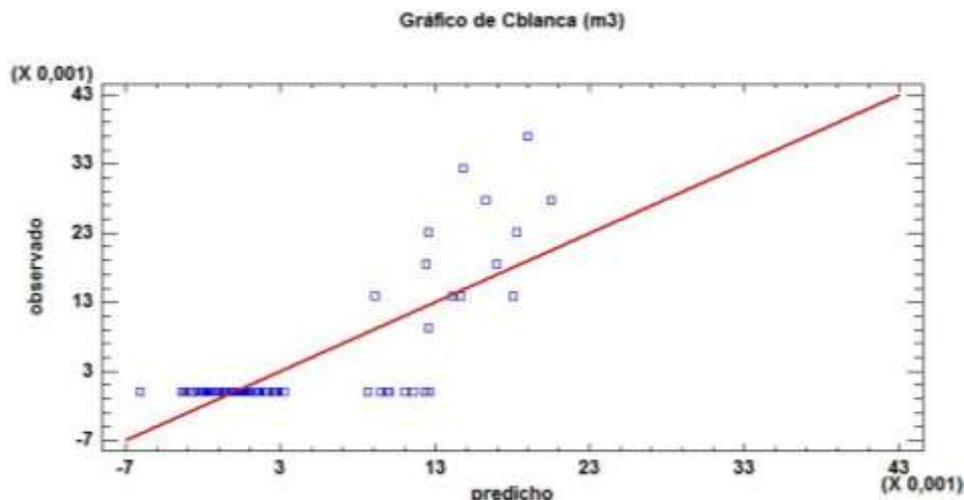


Figura 88. Gráfico del modelo ajustado para el volumen de chapa "C blanca" en función de cuatro variables independientes.

$$\text{Cblanca (m3)} = 0,137249 - 0,0016895 \cdot \text{Cal. Visual} + 0,000334486 \cdot D_0 - 0,000614903 \cdot \text{Pilodyn} - 0,159083 \cdot \text{Den. Verde}$$

El modelo se ha ajustado mediante regresión lineal múltiple, utilizando el procedimiento de ajuste se "selección paso a paso hacia delante". Por lo que tenemos:

Variable dependiente:

- Volumen chapa (C blanca)

Variables independientes:

- Calidad visual
- D₀
- Pilodyn
- Densidad verde
- Velocidad en pie
- Velocidad directa
- Velocidad indirecta

Las variables velocidad en pie, directa e indirecta han sido excluidas del modelo, ya que todas ellas representan términos que no son estadísticamente significativos para la descripción del volumen de chapa de calidad "C blanca".

El modelo así ajustado muestra una constante de 0,137249, una constante para la calidad visual de - 0,0016895, una constante para el diámetro normal de +0,000334486, una constante para la penetración de -0,000614903 y una constante para la densidad en verde de -0,159083.

El estadístico R^2 indica que el modelo así ajustado explica el 61.56% de la variabilidad del volumen de chapa obtenido tras el desenrollo de la troza.

En la siguiente tabla (Tabla 72) muestra las correlaciones momento producto de Pearson entre cada par de variables. El rango de estos coeficientes de correlación va de -1 a +1, y mide la fuerza de la relación lineal entre ambas variables. El segundo número en cada bloque de la tabla es el p-valor que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas, P-valores por debajo de 0.05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95.0%.

	C blanca (m ³)	Calidad Visual	D ₀ (cm)	Pilodyn (mm)	Densidad verde (g/cm ³)
C blanca (m ³)		-0.1400	0.1068	0.3230	-0.7321
		0.1808	0.3084	0.0016	0.0000
Calidad Visual	-0.1400		-0.2695	-0.0209	-0.0769
	0.1808		0.0090	0.8427	0.4636
D ₀ (cm)	0.1068	-0.2695		0.0065	0.1001
	0.3084	0.0090		0.9506	0.3397
Pilodyn (mm)	0.3230	-0.0209	0.0065		-0.5819
	0.0016	0.8427	0.9506		0.0000
Densidad verde (g/cm ³)	-0.7321	-0.0769	0.1001	-0.5819	
	0.0000	0.4636	0.3397	0.0000	

Tabla 72. Correlaciones momento producto de Pearson entre el volumen de chapa, la calidad visual, el diámetro normal, la penetración y la densidad en verde.

Tal y como se refleja en la tabla anterior (Tabla 66), existe una relación estadísticamente significativa entre el volumen de chapa obtenido con la penetración "Pilodyn" y la densidad en verde.

La Figura 89 muestra el mismo dato, pero representado gráficamente, donde se puede corroborar la correlación existente entre estas variables.

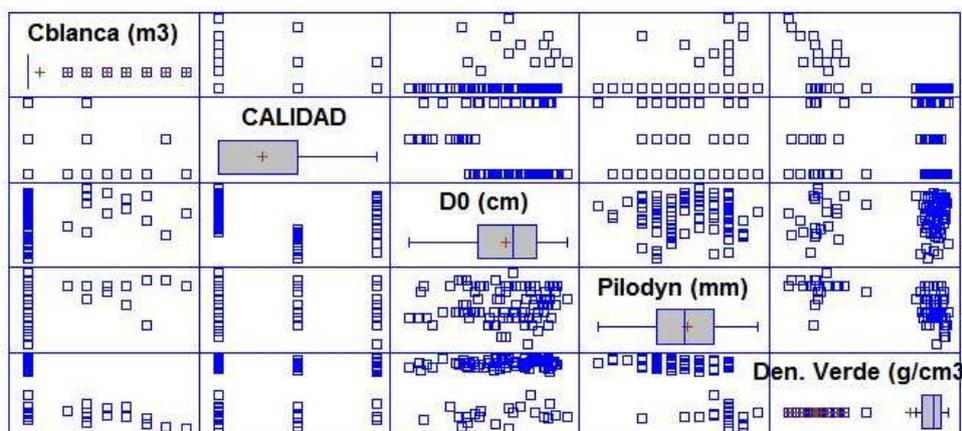


Figura 89. Gráfico de correlación entre volumen de chapa, la calidad visual, el diámetro normal, la penetración y la densidad en verde.

5.3.9 Estimación del volumen de chapa de calidad "BB" obtenido en función de 7 variables independientes.

A continuación se busca una función de predicción del volumen de chapa de calidad "BB" (m^3), obtenido tras el desarrollo de la troza a partir de las variables independientes utilizadas en los apartados anteriores.

Se presentan ahora los datos obtenidos en la estimación de la regresión múltiple entre la variable dependiente (Volumen de chapa "BB") y las variables independientes (Calidad visual, D_0 , densidad verde, penetración con Pilodyn, velocidad de ultrasonidos en pie, velocidad directa de ultrasonidos, velocidad indirecta de ultrasonidos).

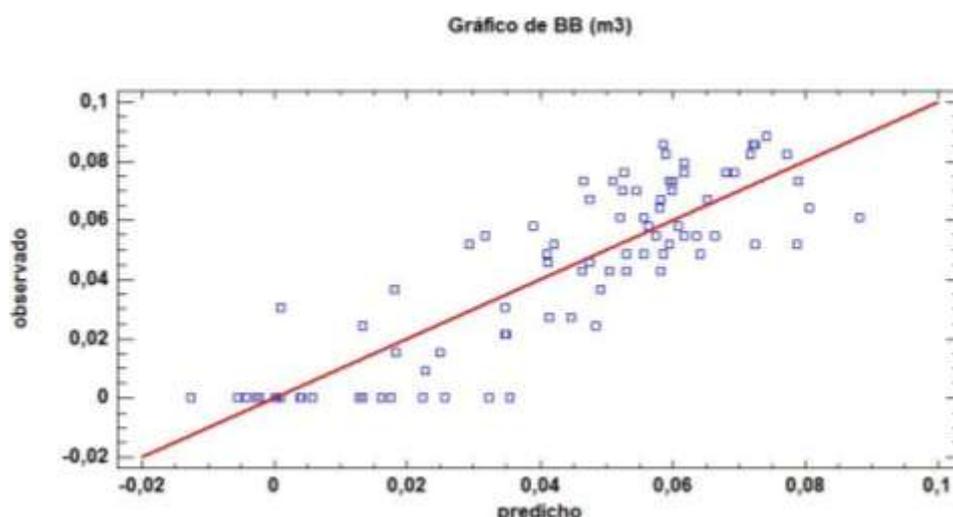


Figura 90. Gráfico del modelo ajustado para el volumen de chapa "BB" en función de cinco variables independientes.

$$BB (m3) = -0,923007 + 0,00565739 \cdot CALIDAD + 0,00251337 \cdot D_0 + 0,000136719 \cdot \\ Velocidad\ indirecta + 0,00362665 \cdot Pilodyn + 0,291371 \cdot Den.\ Verde$$

El modelo se ha ajustado mediante regresión lineal múltiple, utilizando el procedimiento de ajuste se "selección paso a paso hacia delante". Por lo que tenemos:

Variable dependiente:
- Volumen chapa (BB)

Variables independientes:
-Calidad visual
- D_0
-Pilodyn
-Densidad verde
-Velocidad en pie
-Velocidad directa
-Velocidad indirecta

Las variables velocidad en pie y directa han sido eliminada del modelo debido a que representa datos que no son estadísticamente significativos para la descripción del volumen de chapa de calidad "BB".

El modelo así ajustado muestra una constante de -0,923007, una constante de +0,00565739 para la calidad visual, una constante de +0,00251337 para el diámetro normal, una constante de +0,000136719 para la velocidad indirecta, una constante de +0,00362665 para la penetración y una constante para la densidad en verde de +0,291371.

El estadístico R^2 indica que el modelo así ajustado explica el 73.95% de la variabilidad del volumen de chapa obtenido tras el desenrollo de la troza.

En la siguiente tabla (Tabla 73) muestra las correlaciones momento producto de Pearson entre cada par de variables. El rango de estos coeficientes de correlación va de -1 a +1, y mide la fuerza de la relación lineal entre ambas variables. El segundo número en cada bloque de la tabla es el p-valor que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas, P-valores por debajo de 0.05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95.0%.

	BB (m ³)	Cal. Visual	D ₀ (cm)	Vel. Indirecta (m/s)	Pilodyn (mm)	Densidad verde (g/cm ³)
BB (m ³)	-0.1081	0.3862	0.7619	-0.1881	0.6602	
	0.3246	0.0003	0.0000	0.0847	0.0000	
Cal. Visual	-0.1081	-0.3571	-0.1976	-0.0344	-0.0932	
	0.3246	0.0008	0.0699	0.7545	0.3965	
D ₀ (cm)	0.3862	-0.3571	0.2308	0.0059	0.0502	
	0.0003	0.0008	0.0336	0.9572	0.6482	
Vel. Indirecta (m/s)	0.7619	-0.1976	0.2308	-0.4128	0.7175	
	0.0000	0.0699	0.0336	0.0001	0.0000	
Pilodyn (mm)	-0.1881	-0.0344	0.0059	-0.4128	-0.5808	
	0.0847	0.7545	0.9572	0.0001	0.0000	
Densidad verde (g/cm ³)	0.6602	-0.0932	0.0502	0.7175	-0.5808	
	0.0000	0.3965	0.6482	0.0000	0.0000	

Tabla 73. Correlaciones momento producto de Pearson entre el volumen de chapa y 5 variables independientes.

Tal y como se refleja en la tabla anterior (Tabla 67), existe una relación estadísticamente significativa entre el volumen de chapa obtenido, el diámetro normal, la velocidad indirecta y la densidad en verde

La Figura 91 muestra el mismo dato, pero representado gráficamente, donde se puede corroborar la correlación existente entre estas variables.

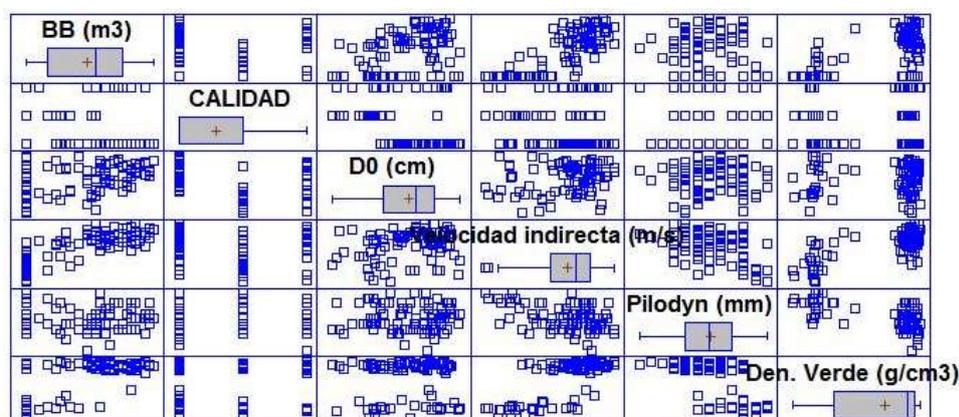


Figura 91. Gráfico de correlación entre el volumen de chapa obtenido y 5 variables independientes.

PADRO *et al.* (2005), ya lograron obtener una función de predicción del porcentaje de chapas de calidad “BB”, con la función: % Caras BB= 6.752 + 0.322 · A – 0.284 · B - 1.964 · Conicidad. ($R^2 = 0.538$, niv. Sig. Del 95%)

donde:

A: es el volumen de madera de calidad visual Po-A

B: es el volumen de madera de calidad visual Po-B

Conicidad: es el valor de la conicidad.

Esta fórmula no es comparable a la del presente estudio debido a que en él se estudiaron diferentes variables sobre la madera.

5.3.10 Estimación del volumen de chapa de calidad “B” obtenido en función de 7 variables independientes.

En este apartado se va a llevar a cabo la búsqueda de una función de predicción del volumen de chapa de calidad “B” (m^3), obtenido tras el desenrollo de la troza a partir de las variables independientes utilizadas en los apartados anteriores.

Se presentan ahora los datos obtenidos en la estimación de la regresión múltiple entre la variable dependiente (Volumen de chapa “B”) y las variables independientes (Calidad visual, D_0 , densidad verde, penetración con Pilodyn, velocidad de ultrasonidos en pie, velocidad directa de ultrasonidos, velocidad indirecta de ultrasonidos).

Como ya sabemos el clon I-214 era el único clon del cual se obtuvieron chapas de calidad B, por lo tanto se han desechado los datos del resto de los clones con la única finalidad de disminuir los errores lo máximo posible.

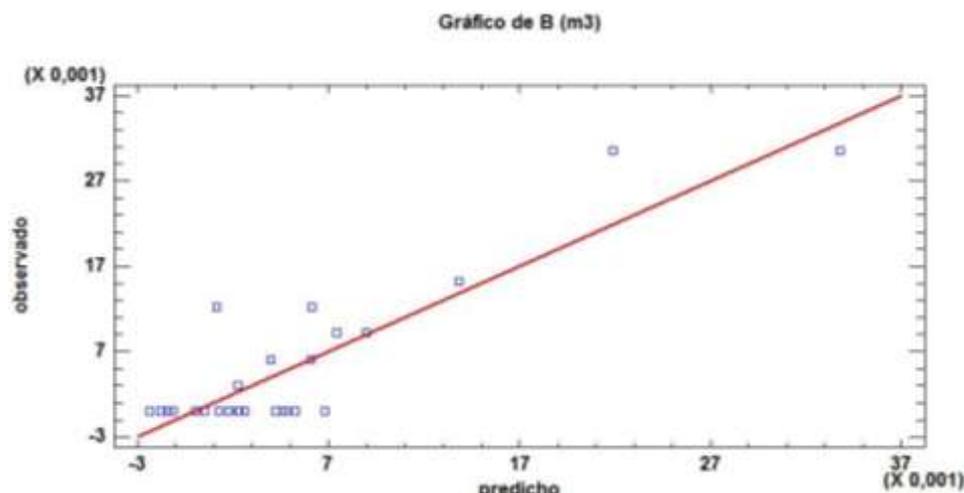


Figura 92. Gráfico del modelo ajustado para el volumen de chapa "B" en función de cuatro variables independientes.

$$B \text{ (m3)} = -0,0883194 + 0,000621309 \cdot D_0 + 0,0000296529 \cdot \text{Velocidad directa} + 0,0000154172 \cdot \text{Velocidad indirecta} - 0,15325 \cdot \text{Den. Verde}$$

El modelo se ha ajustado mediante regresión lineal múltiple, utilizando el procedimiento de ajuste se "selección paso a paso hacia adelante". Por lo que tenemos:

Variable dependiente:

- Volumen chapa (Almas verdes)

Variables independientes:

- Calidad visual
- D_0
- Pilodyn
- Densidad verde
- Velocidad en pie
- Velocidad directa
- Velocidad indirecta

Las variables calidad visual, velocidad de ultrasonidos en pie, así como la penetración con el equipo "Pilodyn" han sido excluidas del modelo, ya que todas ellas representan términos que no son estadísticamente significativos para la descripción del volumen de chapa de calidad "B".

El modelo así ajustado muestra una constante de -0,0883194, una constante para el diámetro normal de +0,000621309, una constante para la velocidad directa de +0,0000296529, una constante para la velocidad indirecta de +0,0000154172 y una constante para la densidad en verde de -0,15325.

El estadístico R^2 indica que el modelo así ajustado explica el 78.39% de la variabilidad del volumen de chapa obtenido tras el desarrollo de la troza.

En la siguiente tabla (Tabla 74) muestra las correlaciones momento producto de Pearson entre cada par de variables. El rango de estos coeficientes de correlación va de -1 a +1, y mide la fuerza de la relación lineal entre ambas variables. El segundo número en cada bloque de la tabla es el p-valor que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas, P-valores por debajo de 0.05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95.0%.

	B (m ³)	D ₀	Vel. Directa (m/s)	Vel. Indirecta (m/s)	Densidad verde (g/cm ³)
B (m ³)		0.4962	0.8067	0.4565	-0.0925
		0.0085	0.0000	0.0167	0.6464
D ₀	0.4962		0.3503	0.2233	0.2413
	0.0085		0.0732	0.2628	0.2253
Vel. Directa (m/s)	0.8067	0.3506		0.3478	-0.0076
	0.0000	0.0732		0.0755	0.9701
Vel. Indirecta (m/s)	0.4565	0.2233	0.3478		0.3798
	0.0167	0.2628	0.0755		0.0507
Densidad verde (g/cm ³)	-0.0925	0.2413	-0.0076	0.3798	
	0.6464	0.2253	0.9701	0.0507	

Tabla 74. Correlaciones momento producto de Pearson entre el volumen de chapa, el diámetro normal, las velocidades directa e indirecta y la densidad en verde.

Tal y como se refleja en la tabla anterior (Tabla 68), existe una relación estadísticamente significativa entre el volumen de chapa obtenido, las velocidades directa e indirecta así como con el diámetro normal.

La Figura 93 muestra el mismo dato, pero representado gráficamente, donde se puede corroborar la correlación existente entre estas variables

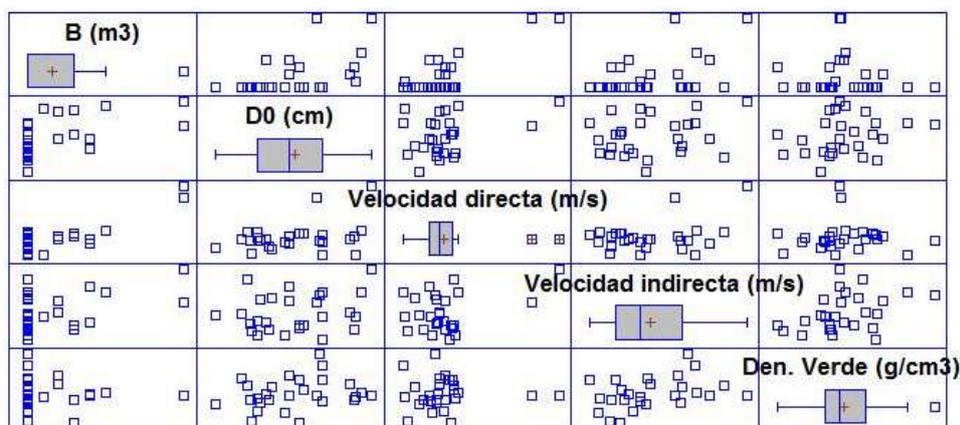


Figura 93. Gráfico de correlación entre el volumen de chapa obtenido, el diámetro normal, las velocidades directa e indirecta y la densidad en verde.

5.3.11 Tabla resumen de las funciones de predicción

Función de predicción	R ²
Estimación de la densidad básica de la madera en función de la penetración con el equipo "Pilodyn".	
Den. Básica = 0,687497 - 0,00407034 · Pilodyn - 0,184706 · Humedad	85,91
Estimación de la densidad básica de la madera en función de la penetración con el equipo "Pilodyn" para el clon "I-214".	
Den. Básica = 0,43799 + 0,000657482 · Pilodyn - 0,10674 · Humedad	97,59
Estimación de la densidad básica de la madera en función de la penetración con el equipo "Pilodyn" para el clon "I-MC".	
Den. Básica = 0,577189 - 0,000223223 · Pilodyn - 0,160094 · Humedad	97,18
Estimación de la densidad básica de la madera en función de la penetración con el equipo "Pilodyn" para el clon "BEAUPRE".	
Den. Básica = 0,551586 - 0,000153499 · Pilodyn - 0,14516 · Humedad	96,49
Estimación de la densidad en verde de la madera en función de la penetración con el equipo "Pilodyn".	
Den. Verde = 1,19577 - 0,00456447 · Pilodyn - 0,204014 · Humedad	76,48
Estimación de la densidad en verde de la madera en función de la penetración con el equipo "Pilodyn" para el clon "I-214".	
Den. Verde = 0,666405 + 0,000662613 · Pilodyn + 0,0329548 · Humedad	18,48
Estimación de la densidad en verde de la madera en función de la penetración con el equipo "Pilodyn" para el clon "I-MC".	
Den. Verde = 0,871875 - 0,000600232 · Pilodyn - 0,01663 · Humedad	51,85
Estimación de la densidad en verde de la madera en función de la penetración con el equipo "Pilodyn" para el clon "BEAUPRE".	
Den. Verde = 0,819578 - 0,000613185 · Pilodyn + 0,0153625 · Humedad	9,18
Estimación del volumen de chapa obtenida en función de la velocidad de ultrasonidos en pie y el diámetro normal.	
Vol chapa = -0,238438 + 0,0000231194 · Velocidad en pie + 0,00872159 · D ₀	75,82
Estimación del volumen de chapa obtenida en función de la velocidad directa de ultrasonidos sobre la troza y el diámetro normal.	
Vol chapa = -0,123607 - 0,00000592683 · Velocidad directa + 0,00785306 · D ₀	66,08
Estimación del volumen de chapa obtenida en función de la velocidad indirecta de ultrasonidos sobre la troza y el diámetro normal.	
Vol chapa = -0,249236 + 0,0000247849 · Velocidad indirecta + 0,00785913 · D ₀	67,95
Estimación del volumen de chapa de calidad Almas Verdes obtenida en función de las variables independientes estudiadas.	
Averdes (m3) = -0,180296 + 0,00190457 · D ₀ + 0,0000299933 · Velocidad pie - 0,00310449 · Pilodyn + 0,212396 · Den. Verde	49,94
Estimación del volumen de chapa de calidad Almas Blancas obtenida en función de las variables independientes estudiadas.	
Ablancas (m3) = 0,0852115 - 0,101665 · Den. Verd	66,70
Estimación del volumen de chapa de calidad C blanca obtenida en función de las variables independientes estudiadas.	
Cblanca (m3) = 0,137249 - 0,0016895 · Cal. Visual + 0,000334486 · D ₀ - 0,000614903 · Pilodyn - 0,159083 · Den. Verde	61,56
Estimación del volumen de chapa de calidad BB obtenida en función de las variables independientes estudiadas.	
BB (m3) = -0,923007 + 0,00565739 · CALIDAD + 0,00251337 · D ₀ + 0,000136719 · Velocidad indirecta + 0,00362665 · Pilodyn + 0,291371 · Den. Verde	73,95
Estimación del volumen de chapa de calidad B obtenida en función de las variables independientes estudiadas.	
B (m3) = -0,0883194 + 0,000621309 · D ₀ + 0,0000296529 · Velocidad directa + 0,0000154172 · Velocidad indirecta - 0,15325 · Den. Verde	78,39

Tabla 75. Tabla resumen de las funciones de predicción y del estadístico R².

5.4 Relación de la calidad visual con la calidad de chapa obtenida

En este apartado se estudia la relación que existe entre la calidad visual tomada en la chopera y la calidad de chapa obtenida tras el desenrollo de las trozas.

Se ha llevado a cabo la realización de un gráfico (Figura 94), con la finalidad de tener una rápida visión de las diferencias de porcentaje de chapa de cada calidad que se obtienen tras el desenrollo para cada calidad visual.

Como ya se comentó anteriormente las calidades visuales se dividen en tres grupos. El primer grupo Po-A, hace referencia a la máxima calidad de la madera en rollo de frondosas, la calidad Po-B, se asigna a madera en rollo de calidad media, y por último la calidad Po-C, hace referencia a la peor calidad de la madera.

En cuanto a las calidades de chapa, encontramos la calidad B, que hace referencia a la máxima calidad, la calidad BB, la cual se refiere a una calidad de chapa alta, y el resto de calidades (C blanca, Almas blancas y Almas verdes) se asignan a chapas de calidades bajas.

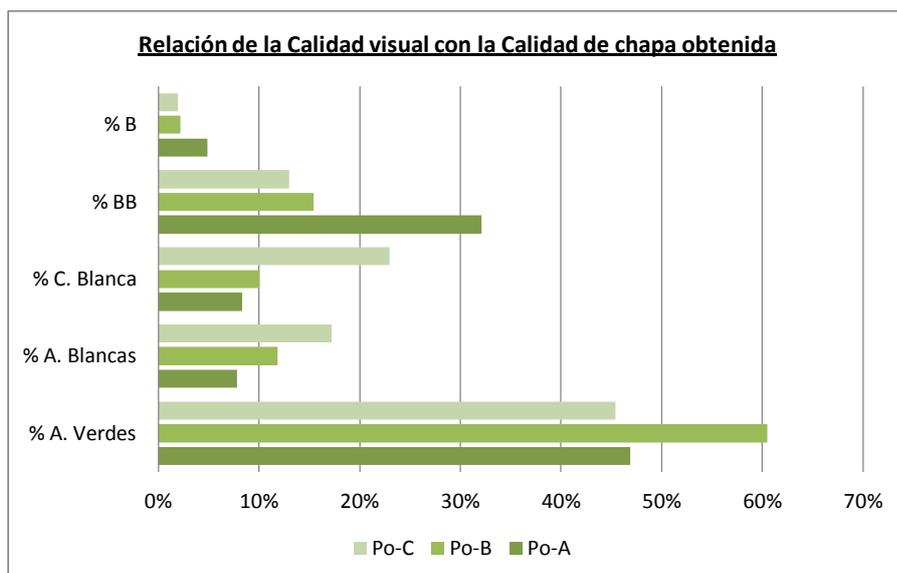


Figura 94. Relación de la calidad visual con la calidad de chapa obtenida tras el desenrollo.

Como observamos en la figura anterior para las calidades de chapa B y BB, la calidad visual que más porcentaje de chapa genera es la calidad Po-A (maderas en rollo de calidad alta), seguida por la calidad Po-B y la calidad Po-C. Para el resto de calidades de chapa el gráfico se invierte dando los porcentajes más altos para las calidades de chapa C blancas y las Almas blancas la calidad Po-C, seguida de Po-B y de Po-A.

Para la calidad de chapa Alma verde, la calidad visual que mayor porcentaje genera es la calidad Po-B, seguida de Po-A y de Po-C.

6. CONCLUSIONES

6. Conclusiones

A continuación se exponen los resultados obtenidos en los ensayos realizados sobre los tres clones del género *Populus*. Se ha trabajado con los clones *Populus x euramericana* "I-214", *Populus x euramericana* "I-MC" y *Populus x interamericana* "Beaupre". Se eligieron 40 pies por clon y se utilizaron los primeros 2.6 metros de cada pie para realizar el estudio. Cabe destacar que la heterogeneidad del material y el reducido tamaño de la población con la que se ha trabajado, hacen que los resultados obtenidos en la ejecución de este estudio deban ser tomados con precaución y cautela.

En cuanto a la densidad en verde se concluye que el clon I-214 es el que presenta menor densidad, seguido del I-MC y del Beaupre, los cuales toman valores bastante más elevados que el I-214. Se obtienen para esta variable resultados similares a los de otros estudios y publicaciones relacionadas que trabajan con diferentes clones del género.

Para el estudio de la penetración en la madera con el equipo "Pilodyn" se ha demostrado que esta actúa de forma inversamente proporcional a la densidad. Obteniéndose valores más altos en las maderas de menor densidad (I-214), y valores menores en maderas más duras y densas como las de los clones I-MC y Beaupre. Estos dos últimos clones presentaron resultados de penetración similares.

Las mediciones de ultrasonidos tomadas tanto en campo como en el parque de madera concluyeron que estas, no dependen de la densidad de la madera, si no de la tensión y singularidades de esta y del corazón de la misma. De esta forma para las medidas de ultrasonidos tomadas con el árbol en pie se obtienen dos grupos homogéneos de datos. Por una parte el clon I-MC presenta velocidades de ultrasonidos entorno a los 2800 m/s, y por otro lado los clones I-214 y Beaupre presentan datos inferiores del orden de 2450 m/s. Estos datos bajos de velocidades de ultrasonidos en pie para el clon I-214 pueden ser debido a las tensiones de la madera a causa de la sinuosidad de este clon, y para el clon Beaupre por la gran altura que este desarrolla. Por último los datos de ultrasonidos tomados sobre las trozas se estabilizan y aunque no son homogéneos para los tres clones, las diferencias son mínimas, siendo más altos los valores de ultrasonidos cuando se hace la medición directa que cuando se hace la indirecta.

La calidad visual de la madera ha sido estudiada con la finalidad de relacionarla con la calidad de chapa obtenida tras el desenrollo. Para la máxima calidad visual Po-A, el

clon que mayor porcentaje de pies de esta calidad ha obtenido es el I-MC, seguido de cerca por el I-214. Para la calidad media Po-B, el clon que más porcentaje de pies ha obtenido es el Beaupre seguido del I-214. Para la peor calidad visual de la madera Po-C, el clon que mayor porcentaje ha obtenido es el clon I-MC, seguido del Beaupre y con un bajo porcentaje el I-214.

En cuanto a la relación de la calidad visual con la calidad de chapa, se concluye que para la calidad visual Po-A (máxima calidad) se obtienen los porcentajes más altos de chapas de calidad B y BB, y los porcentajes más bajos para el resto de las calidades inferiores. Para la calidad Po-B (calidad media) se obtienen porcentajes medios para todas las calidades de chapa a excepción de la calidad “Almas verdes” de la cual se obtiene el máximo porcentaje. Por último para la calidad Po-C (calidad baja), se obtienen los resultados más bajos para todas las calidades de chapa a excepción de las calidades “C blanca” y “Almas blancas” que obtiene los porcentajes más altos.

En cuanto a las chapas de calidad (B y BB) obtenidas tras el desenrollo de la madera, se llega a la conclusión de que los tres clones están capacitados para la obtención de este tipo de chapas. Para la calidad BB, los clones I-MC y Beaupre generan mayor número de dichas chapas, siendo el Beaupre el que más genera con una media de 17.5 chapas por troza desenrollada. Para la calidad B (máxima calidad) el clon I-124 presenta unos resultados aceptables, debido a las características de su madera, con una media de 4.78 chapas de esta calidad por troza desenrollada.

Los datos obtenidos a cerca del rendimiento en torno, reflejan resultados coincidentes con otros estudios relacionados, siendo el clon I-214 el de menor rendimiento en torno con un 45.04%, seguido del Beaupre con un 54.66% y del I-MC con un 57.64%. El bajo rendimiento del clon I-214 es debido a las pérdidas de madera en el cilindrado del rollo y a la capacidad que tiene este clon de rajarse, la cual lo hace inservible para el desenrollo.

Se ha definido una función de predicción de la densidad básica de la madera a través de la penetración con el equipo “Pilodyn” y la humedad de esta, obteniéndose un R^2 de 85.91%. También se han obtenido sendas funciones para la determinación de la densidad básica a partir de dichas variables independientes para cada clon por separado, obteniéndose valores del estadístico R^2 elevados, lo cual nos indica que puede ser unas buenas predictoras de la densidad básica a partir de la penetración y de la humedad de la madera.

Para la densidad en verde se obtuvo una función de predicción de dicha variable a partir de la penetración con el equipo "Pilodyn" y la humedad de la madera con un R^2 de 76.48% que nos indica que puede tratarse de un buen predictor de dicha variable.

Uno de los objetivos de este proyecto consistía en la determinación del volumen de chapa obtenida tras el desenrollo a partir de la velocidad de ultrasonidos en pie. A raíz de esto se determinó una relación entre el volumen de chapa, la velocidad de ultrasonidos en pie y el diámetro normal de la madera. Dicha función arroja un R^2 de 75.82% que nos indica que puede ser una fórmula válida para la determinación del volumen de chapa obtenida.

En la producción de chapa de chopo mediante desenrollo tanto para la elaboración de envase como la de tablero contrachapado es importante la obtención de chapas de calidad. Para este fin se determinaron dos funciones de predicción del volumen de chapa de calidades BB y B. Para la calidad BB se obtuvo una función de predicción a partir de cinco variables independientes (calidad visual, D_0 , penetración con el equipo "Pilodyn", velocidad de ultrasonidos indirecta sobre la troza y densidad en verde) con un R^2 de 73.95%. Para la determinación del volumen de chapa de calidad B se determinó una función de predicción a partir de cuatro variables independientes (D_0 , velocidad directa de ultrasonidos, velocidad indirecta de ultrasonidos y densidad en verde), obteniéndose un R^2 de 78.39%. De lo indicado anteriormente se determina que ambas funciones son válidas para la determinación del volumen de chapa de dichas calidades.

Como valoración final del estudio realizado, se determina que el clon BEAUPRE, es una alternativa muy válida al I-214, tanto para los propietarios como para los industriales, como consecuencia de su excelente crecimiento en la plantación y su buen rendimiento en el desenrollo, así como por la calidad de la chapa obtenida de él.

Por otra parte el clon I-MC debe de tenerse en cuenta por su crecimiento y volumen de chapa obtenido tras el desenrollo, así como por su alto rendimiento. La calidad de chapa obtenida de dicho clon es buena, siempre y cuando los cuidados culturales que se han llevado a cabo sobre la plantación sean adecuados, debido a que presenta una poda complicada y a la emisión de chupones que a la larga disminuyen la calidad de la chapa obtenida.

Para finalizar, el clon I-214 es el más utilizado en la populicultura española por su excelente crecimiento, su adaptabilidad a una amplia gama de estaciones y por la calidad de chapa que de él se obtiene. En contra tiene aspectos como la poda complicada, la ramificación del fuste y el bajo rendimiento que este ofrece en el desenrollo.

7. BIBLIOGRAFÍA

7. Bibliografía

VIGNOTE PEÑA S. & MARTINEZ ROJAS I. (2006). Tecnología de la madera.

RUEDA FERNANDEZ J.; CUEVAS SIERRA Y.; GARCÍA-JIMÉNEZ C. Cultivo de chopos en Castilla y León.

BAONZA MERINO M. V.; GUTIERREZ OLIVA A. (2002). Rendimiento y calidades de chapa en clones de chopo a diferentes alturas del fuste.

DIRECCIÓN GENERAL DE DESARROLLO RURAL Y POLÍTICA FORESTAL, ÁREA DE INVENTARIO Y ESTADÍSTICA FORESTAL (2014). Cuarto Inventario Forestal Nacional (La Rioja).

CASADO SANZ M.; ACUÑA RELLO L.; BASTERRA OTERO L. A.; HEREDERO MUÑOZ S.; SAN MARTIN R. (2011). Estimación de la calidad de la madera en rollo de *Populus x euramericana* mediante ultrasonidos.

CASADO SANZ M.; COLUNGA VILLAR A.; ACUÑA RELLO L.; BASTERRA OTERO A.; RAMÓN CUETO G.; LÓPEZ RODRIGUEZ G. & RELEA GANGAS E. (2009). Clasificación de madera estructural de *Populus x euramericana* mediante ultrasonidos.

ÁLVAREZ C.; ROMERO P.; PADRO A. (2005). Estudio de la calidad de la madera de chopo para el desenrollo en una plantación experimental.

DE LA CRUZ CALLEJA A. C. (2005). Dinámica de nutrientes en parcelas experimentales de *Populus x euramericana* (DODE) Guinier "I-214).

GUTIERREZ OLIVA A.; BAONZA MERINO M. V. (2005). Determinación de la altura de muestreo en clones de chopo, para el estudio de las características medias del árbol.

FERNÁNDEZ A.; HERRÁNZ G. (2006). El Chopo (*Populus* sp.), Manual de gestión forestal sostenible.

SÁENZ GONZÁLEZ C. (2011). Caracterización físico-mecánica y estructural de madera de *Populus x euramericana* I-214. Respuesta a ensayos no destructivos.

RUÍZ DE LA TORRE J. (1979). Árboles y arbustos de la España peninsular.

LÓPEZ GONZÁLEZ G. A. (2004). Guía de árboles y arbustos de la Península Ibérica y Baleares.

UNE-EN 1309-2. "Madera aserrada y madera en rollo, método de medida de las dimensiones".

UNE-EM 1310. “*Madera aserrada y madera en rollo, método de medida de las singularidades*”.

UNE-EM 1311. “*Madera aserrada y madera en rollo, método de medida de las alteraciones biológicas*”.

Páginas web consultadas:

Información del Cuarto Inventario Forestal Nacional (La Rioja).

http://www.magrama.gob.es/es/ministerio/servicios/publicaciones/H108657_tcm7-329119.pdf

Información medioambiental (La Rioja).

<https://www.larioja.org/npRioja/default/defaultpage.jsp?idtab=451751>

Información empresarial.

<http://www.garnicaplywood.com/>