



Títol del Treball de Fi de Màster:

**RELACIONES ENTRE LA TECNOLOGIA  
LIDAR I ELS PROCESSOS  
HIDROLÒGICS DE LES MASSES  
FORESTALS I APLICACIÓ PRÀCTICA  
A L'ORDENACIÓ DE LA FOREST LA  
HUNDE I PALOMERAS (AIORA,  
VALÈNCIA).**

Intensificació:

*ORDENACIÓ, RESTAURACIÓ I GESTIÓ DE CONQUES*

Autora:

**Àngela Manrique Alba**

Director:

**Antonio Dámaso del Campo García**

Data: *MARÇ, 2012*



Títol del Treball de Fi de Màster:

***Relacions entre la tecnologia LiDAR i els processos hidrològics de les masses forestals i aplicació pràctica a l'ordenció de la forest de la Hunde i Palomeras (Aiora, València)***

Autor: **Àngela Manrique Alba**

<b>Tipus</b>	A <input type="checkbox"/> B <input checked="" type="checkbox"/>	<b>Lloc de Realització</b>	<b>VALENCIA</b>
<b>Director</b>	<b>Antonio Dámaso del Campo García</b>	<b>Data de Lectura</b>	<b>Març, 2012</b>
<b>Codirector1</b>	<b>&lt;NOMBRE Y APELLIDOS&gt;</b>		
<b>Codirector2</b>			
<b>Tutor</b>			

**Resum:**

Per a aconseguir una millor adaptació de les masses forestals al canvi climàtic, es necessari aplicar una selvicultura adaptativa. Aquesta hauria de tindre un fort component hidrològic especialment a la conca Mediterrània donada l'escassetesa hídrica que es preveu d'acord amb les previsions del IPCC. Al següent treball es pretén posar en pràctica les bases d'una selvicultura d'orientació hidrològica a una conca de 400 hectàrees situada al forest de la Hunde i Palomeras al municipi d'Aiora, València. Per a això és necessari establir relacions entre variables d'estructura forestal i variables hidrològiques d'interès com la trascolació i l'interceptació. Partint de treballs previs on es relacionen aquestes variables hidrològiques i d'estructura amb models empírics a nivell de parcel·la. En aquest treball s'utilitza la tecnologia LiDAR (Light Detection and Ranging), per a generalitzar aquestes dades d'estructura de la massa al total de la forest per així estendre els models empírics de parcel·la a tota l'àrea d'estudi. Els resultats obtinguts indiquen que la caracterització de la estructura forestal mitjançant LiDAR està dins dels marges acceptables d'error i que els models hidrològics dels treballs previs resulten millorats (relació entre trascolació i cobertura millora de  $R^2=0,76$ ;  $S= 5,86$  a  $R^2=0,86$ ;  $S= 4,71$ ). L'extrapolació a tota l'àrea d'estudi ens permet rodalitzar i diagnosticar quines zones són les que necessiten una actuació selvícola donades les seues altes taxes d'interceptació de pluja. En concret a la conca d'estudi al 30% de la superfície seria recomanable una intervenció, obtenint com a resultat d'aquesta un augment de la trascolació en detriment de la interceptació.

Para conseguir una mejor adaptación de las masas forestales al cambio climático es preciso aplicar una selvicultura adaptativa. Ésta, debería tener un fuerte componente hidrológico especialmente en la cuenca Mediterránea dada la escasez hídrica que se prevé de acuerdo con las previsiones del IPCC. En el siguiente trabajo se pretende poner en práctica las bases de una selvicultura de orientación hidrológica en una cuenca de 400 hectáreas situada en el monte de la Hunde y Palomeras en el municipio de Ayora, Valencia. Para ello es necesario establecer relaciones entre variables de estructura forestal y variables hidrológicas de interés como la trascolación y la interceptación. Partiendo de trabajos previos donde se relacionan estas variables hidrológicas y de estructura con modelos empíricos a nivel de parcela, en el presente trabajo se utiliza la tecnología LiDAR (Light Detection and Ranging), para generalizar estos datos de estructura de la masa al total del monte, para así extender los modelos empíricos de parcela a toda el área de estudio. Los resultados obtenidos indican que la caracterización de la estructura forestal mediante LiDAR está dentro de los márgenes aceptables de error y que los modelos hidrológicos de los trabajos

previos resultan mejorados (relación entre trascolación y cobertura mejora de  $R^2=0,76$ ;  $S= 5,86$  a  $R^2=0,86$ ;  $S= 4,71$  ). La extrapolación a toda el área de estudio nos permite rodalizar y diagnosticar qué zonas son las que necesitan una actuación selvícola prioritaria dadas sus altas tasas de interceptación de la lluvia. En concreto en la cuenca de estudio en el 30% de la superficie sería recomendable una intervención, obteniendo como resultado de ésta un aumento de la trascolación en detrimento de la interceptación.

To achieve a better adaptation of forests to climate change is necessary to apply an adaptive silviculture. This should have a strong hydrological component in the Mediterranean basin especially due to the expected water shortage in accordance with the previsions from the IPCC. This work tries to implement the basics of a hydrology-oriented silviculture in a watershed of 400 ha situated in the public Forest of La Hunda y Palomeras in Ayora, Valencia. This requires establishing relationships between variables of forest structure and hydrological variables of interest such as throughfall and interception. Based on previous studies where these relations are established at the plot level between hydrological and structural variables through empirical models, this work uses LiDAR technology (Light Detection and Ranging) to generalize these data structure to the total stand of the forest in order to extend the empirical models from the plot to the entire area of study. The results obtained indicate that the characterization of forest structure using LiDAR is within acceptable margins of error and the hydrological models of the previous works are improved (relationship between throughfall and forest cover:  $R^2 = 0.76$ ,  $S = 5.86$  to  $R^2 = 0,86$ ,  $S = 4.71$ ). Extrapolating to the entire area of study allows us to zoning and to diagnose what areas need a silvicultural intervention due to their high rates of rainfall interception. Specifically in the basin of study, 30% of the area is considered to need thinning, which provides as a result an increase in throughfall at the expense of interception.

**Paraules clau:**

**LiDAR**

**Trascolació / Trascolación / Throughfall**

**Interceptació / Interceptación/ Interception**

**Selvicultura hidrològica / Selvicultura hidrológica / Hydrology Oriented Silviculture**

## ÍNDIX

<b>1. INTRODUCCIÓ I ANTECEDENTS .....</b>	<b>1</b>
1.1. FONAMENTS DE LA TECNOLOGIA LIDAR .....	4
1.2. APLICACIONS EN EL SECTOR FORESTAL .....	6
1.3. ANTECEDENTS .....	10
<b>2. OBJECTIUS .....</b>	<b>14</b>
<b>3. MATERIALS I MÈTODES.....</b>	<b>15</b>
3.1. JUSTIFICACIÓ I CARACTERÍSTIQUES DE L'ÀREA D'ESTUDI.....	15
3.2. DESCRIPCIÓ GENERAL DE LA METODOLOGIA .....	23
3.3. BREU DESCRIPCIÓ DELS ANTECEDENTS D'AQUEST TREBALL .....	24
3.3.1 Estructura forestal .....	25
3.3.2 Variables hidrològiques .....	27
3.3.3 Relacions d'estructura de massa amb hidrologia.....	30
3.4. ESTRUCTURA DE LA MASSA MESURADA AMB LIDAR.....	32
3.5. ESCALAT DE DADES A CONCA HIDROLÒGICA.....	48
3.6. TRACTAMENT I ANÀLISI ESTADÍSTIC DE LES DADES .....	51
<b>4. RESULTATS.....</b>	<b>54</b>
4.1. ESCALA PARCEL·LA.....	54
4.1.1 Variables mesurades amb LiDAR.....	54
4.1.2 Relacions entre variables mesurades amb LiDAR i variables mesurades amb inventari tradicional.....	58
4.1.3 Relacions entre variables mesurades amb LiDAR i variables hidrològiques .....	62
4.2. ESCALA FOREST .....	64
4.2.1 Variables mesurades amb LiDAR.....	64
4.2.2 Relacions entre variables mesurades amb LiDAR i variables hidrològiques.....	67
<b>5. DISCUSIÓ .....</b>	<b>76</b>
<b>6. CONCLUSIONS I APLICACIONS FUTURES .....</b>	<b>83</b>
<b>7. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>85</b>
<b>ANNEXOS .....</b>	<b>91</b>



## ÍNDIX DE FIGURES

Figura 1. Esquema de funcionament de la tecnologia LIDAR. (Renslow et al;2000) .....	4
Figura 2. funcionament del LIDAR amb diferents tipus de superfícies (Dielmo.com). .....	5
Figura 3. Altura de la vegetació, amb un màxim de 5 m d'altura (Esquerra), i MDT (dreta), a la forest de la Hunde i Palomeras (Reyna <i>et al</i> , 2010).....	7
Figura 4. Distribució de punts en funció de l'altura en masses forestals amb diversos estrats de vegetació (masses mixtes amb arbrat de distintes espècies)(Drake <i>et al</i> , 2002).....	8
Figura 5. Evolució de les despeses de processat LiDAR i d'inventari tradicional, segons la superfície d'ordenació (Fabra <i>et al</i> , 2010a) .....	10
Figura 6. Mapa de localització, on s'observa en primer terme el municipi d'Aiora i la seua situació a la Comunitat Valenciana, a continuació el forest de la Hunde, i d'aquest la subconca hidrogràfica on s'observen les parcel·les d'experimentació. ....	16
Figura 7. Precipitació anual (1960-1990) segons any natural (Esquerra), i any hidrològic (dreta) (Molina, 2010). ....	18
Figura 8. Precipitació mitjana mensual (1975-2004). ....	19
Figura 9. Formacions vegetals existents a la zona d'estudi, coincidents amb la primera rodalització (Monzó, 2009). ....	22
Figura 10. Esquema dels passos desenvolupats a la metodologia del treball per assolir els objectius proposats. Font: elaboració pròpia.....	23
Figura 11. Localització de Blocs de parcel·les experimentals (Escala 1:4000).....	25
Figura 12. . Disposició dels recol·lectors de trascolació. (Molina, 2010). ....	28
Figura 13. Disposició dels anells de recol·lecció d'escorrentia cortical (Molina, 2010).....	29
Figura 14. Regressions lineals entre els valors acumulats de trascolació (%) i les quatre variables d'estructura forestal (LAI, FCC, D, G). Totes les regressions resulten estadísticament significatives ( $p > 0.001$ ), (Molina i Del Campo, 2012).....	31
Figura 15. Model digital de Superfícies (esquerra). Model digital del terreny (dreta) (Fabra <i>et al</i> , 2010b) .....	33
Figura 16. Esquema de les passes a desenvolupar des de l'origen (font de les dades) i el procés seguit d'acord amb el software utilitzat. Font: elaboració pròpia.....	34
Figura 17. Captura de l'utilització de l'aplicació Ferramentes Forestals per al càlcul de la densitat (anomenat "cuenta de árboles"). S'observa com es treballa amb gvSIG, i a l'esquerra	

dins de Dielmo Open Lidar, com s'obri el desplegable corresponent a Ferramentes Forestals. Font: elaboració pròpia. ....	35
Figura 18. Perfil transversal de la capa LAS de MDS (Model Digital de Superfícies) on s'observen els màxims relatius de les copes (Reyna <i>et al</i> , 2010).....	36
Figura 19. Esquema d'un píxel que és màxim relatiu respecte als seus adjacents (roig). En groc els píxels de la primera fila que es comparen amb el central, i en marró la segona fila de píxels quan s'amplia els píxels amb els que es compara el píxel central. Els números indiquen la numeració correlativa dels píxels (Reyna <i>et al</i> , 2010). ....	36
Figura 20. Densitat calculada per a $h > 23$ píxels (Esquerra) i $h > 24$ píxels (dreta)(Fabra <i>et al</i> , 2010b). ....	38
Figura 21. Ortofoto de la zona d'estudi amb els arbres detectats per LiDAR marcats amb un punt, s'observa com segons l'estructura de la massa, la majoria de punts coincideixen amb l'àpex d'un arbre. Font: elaboració pròpia.....	38
Figura 22. Captura de l'aplicació en el moment de calcular la fracció de cabuda coberta. Font: elaboració pròpia.....	40
Figura 23. Determinació de la FCC a partir de dades LiDAR. Comparació amb l'ortofoto (dalt), FCC amb els píxels sense eliminar (al mig), FCC amb eliminació de píxels a l'interior de les copes (baix) (Reyna <i>et al</i> , 2010) .....	41
Figura 24. Captura de l'aplicació en el moment en que es calcula l'altura dels arbres, a la part dreta superior, s'observa el càlcul de l'altura màxima, altura mínima i la mitjana. Font: elaboració pròpia.....	43
Figura 25. Mesures d'altura sobre una massa de <i>Pinus halepensis</i> . (Fabra <i>et al</i> , 2010b).....	44
Figura 26. Exemple de representació del número de punts per a cadascuna de les bandes, comparat amb l'imatge real de la forest. (Dielmo, 2010) .....	45
Figura 27. Representació de les diferents estructures de vegetació, a la columna esquerra es representa el percentatge de punts que trobem a cadascuna de les bandes, i la columna de la dreta el percentatge de punts que corresponen als rangs que es consideren matoll, la copa de l'arbre o l'estrat de la transició (adaptada de Balma 2010). ....	47
Figura 28. Esquema del procés a seguir per tal d'aplicar la selvicultura hidrològica a la zona d'estudi. Font: elaboració pròpia.....	48
Figura 29. Regressions lineals entre la densitat mesurada amb LiDAR i la densitat amb el mètode d'inventari tradicional, en aquest cas a les parcel•les s'ha realitzat un compteig directe del número d'arbres per mesurar la densitat. ....	59
Figura 30. Regressions lineals entre la fracció de cabuda coberta mesurada amb LiDAR i la mateixa variable mesurada amb la metodologia d'inventari tradicional, és a dir, amb esquadra òptica. Font: elaboració pròpia. ....	60

Figura 31. Regressió lineal entre l'altura mesurada amb LiDAR i l'altura mesurada amb Vertex IV. Es mostra l'equació de la recta, la $R^2$ i l'error. Font: elaboració pròpia.....	61
Figura 32. Regressions lineals entre trascolació (%) i Fracció de cabuda coberta. Relació establerta amb variables LiDAR (figura esquerra: elaboració pròpia), relació establerta amb variables d'inventari tradicional (figura dreta: Molina i Del Campo, 2012).....	62
Figura 33. Regressions lineals entre trascolació (%) i densitat. Relació establerta amb variables LiDAR (figura esquerra: elaboració pròpia), relació establerta amb variables d'inventari tradicional (figura dreta: Molina i Del Campo, 2012). .....	63
Figura 34. Resultat gràfic de la representació de la variable densitat a la conca d'estudi. Font: elaboració pròpia.....	65
Figura 35. Resultat gràfic de la representació de la variable fracció de cabuda coberta a la conca d'estudi. Font: elaboració pròpia.....	65
Figura 36. Resultat gràfic de la representació de la variable altura a la conca d'estudi. Font: elaboració pròpia.....	66
Figura 37. Resultat gràfic de la representació de la variable estructura de vegetació a la conca d'estudi. Font: elaboració pròpia.....	66
Figura 38. Representació gràfica de la trascolació (%), segons el model de densitat. Grandària de píxel 10X10 metres. Font: elaboració pròpia.....	68
Figura 39. Representació gràfica de la trascolació (%), segons el model de FCC. Grandària de píxel 10X10 metres. Font: elaboració pròpia. ....	69
Figura 40. Representació dels rodals sobre el mapes de trascolació amb el model de fracció de cabuda coberta. Font: elaboració pròpia. ....	71
Figura 41. Representació dels rodals sobre el mapes de trascolació amb el model de densitat. Font: elaboració pròpia. ....	73





## ÍNDIX DE TAULES

Taula 1. Fases i despeses de l'inventari per rodals (Fabra <i>et al</i> , 2010a). .....	9
Taula 2. . Resum els estudis realitzats, i comparació de la precisió obtinguda amb els mètodes tradicionals i amb la tecnologia LIDAR.(adaptat de Roth et al 2007). .....	12
Taula 3. Anys de la sèrie 1975-2004; TmM, temperatura mitjana anual de les màximes diàries (Cº); Tmm, temperatura mitjana anual de les mínimes diàries (Cº); TM, Temperatura màxima absoluta (Cº);Tm, temperatura mínima absoluta (Cº);p, precipitació mensual (mm); t, temperatura mitjana mensual (Cº). Font: Conselleria d'Infraestructures, Territori i Medi Ambient.....	18
Taula 4. Superfície ocupada per cada tipus de formació i percentatge respecte al total de la superfície de la forest (Monzó, 2009). .....	21
Taula 5. Caracterització selvícola de les parcel·les. N és la densitat de peus, D és el diàmetre a l'altura normal, G és l'àrea basimètrica, FCC és la Fracció de Cabuda Coberta i LAI és l'Índex d'Àrea Foliar. ....	27
Taula 6. Mesures obtingudes de trascolació (percentatge respecte a la Precipitació total) (Molina, 2010). .....	30
Taula 7. Dades mitjanes relatives a trascolació i escorrentia cortical presentades en, per a cadascun dels tractaments. (Molina i Del Campo, 2012).....	30
Taula 8. Característiques del vol LIDAR.....	32
Taula 9. Píxels adequats per a cadascun dels rangs de densitats (Reyna <i>et al</i> , 2010). .....	37
Taula 10. Resum de les opcions disponibles de densitats a cadascuna de les parcel·les. ....	39
Taula 11. Es presenta les opcions obtingues al realitzar la mesura de Fracció de Cabuda Coberta amb a partir de diferents Z mínimes. Font: elaboració pròpia. ....	42
Taula 12. Definició dels models utilitzats per a la classificació de la massa forestal. ....	46
Taula 13. Classes de percentatge de trascolació definides i nivells de necessitat d'intervenció sobre la massa proposats -Intervals elaborats a partir de la mitjana $\pm$ S (Llorenç i Domingo, 2007). .....	50
Taula 14. Diferents mesures obtingudes per a la variable densitat, mesurades amb tecnologia LIDAR a les parcel·les d'estudi. Per a Z=2m, i Z=4m, així com per als diferents píxels, d'acord amb la metodologia. Font: elaboració pròpia. ....	55
Taula 15. Densitats òptimes per a cadascuna de les parcel·les, obtingues seguint els criteris exposats a la taula 9. Font: elaboració pròpia.....	56
Taula 16. Resum de les mesures obtingudes de Fcc per a totes les parcel·les, tant per a fcc a partir de 2m, i fcc a partir de 3m. Font: elaboració pròpia. ....	57

Taula 17. Mesures d'altura, obtingudes mitjançant LiDAR a les parcel·les d'estudi. Font: elaboració pròpia.....	58
Taula 18. Resultats obtinguts a les parcel·les d'experimentació. Es presenta, el número de parcel·les analitzades, (S) error típic de l'estimació, ( $R^2$ ) coeficient de correlació de Pearson, (MAE) error absolut mig, (PMAE) percentatge d'error absolut mig, (RMSE) error quadràtic mitjà.....	59
Taula 19. Taula amb les característiques pròpies de cada rodal. Es mostra la classe de Trascolació segons el model de Fracció de cabuda coberta. Font: elaboració pròpia. ....	72
Taula 20. Taula amb les característiques pròpies de cada rodal. Amb la classe, de Trascolació segons el model de densitat. Font: elaboració pròpia.....	74
Taula 21. Resum de les característiques dels rodals de Classe I,II i III, per al model de FCc. Els tipus de sol tenen les següents equivalències: A4, Textura francoarenosa i francollimosa, molt pedregós. B1, Textura arenofranca, molt pedregós. B3, Textura francoarenosa. B4, textura francoargilosa, pedregós. Font: elaboració pròpia.....	75
Taula 22. Comparació de les variables d'estructura mesurades amb LIDAR i inventari tradicional a diferents parcel·les d'experimentació. Es presenta, el número de parcel·les analitzades, (S) error típic de l'estimació, ( $R^2$ ) coeficient de correlació de Pearson, (MAE) error absolut mig, (PMAE) percentatge d'error absolut mig, (RMSE) error quadràtic mitjà (adaptada Fabra <i>et al</i> , 2011).....	77
Taula 23. Es mostra Fracció de Cabuda Coberta (%) a aconseguir amb les aclarides. I els rangs de pendents i de Classes de trascolació. Font: elaboració pròpia.....	81
Taula 24. Tractaments aplicats als rodals i augment de trascolació que comporta. Font: elaboració pròpia.....	82

## 1. INTRODUCCIÓ I ANTECEDENTS

Hui en dia l'aigua es considera un element essencial per al desenvolupament de la vida, i el seu correcte ús i gestió són fonamentals per garantir l'accés a aquest recurs per a les generacions futures, sobretot davant l'escenari del canvi climàtic que es planteja per a la conca mediterrània (IPCC, 2007).

Actualment, la percepció de la relació d'aquest recurs amb el bosc, és a dir, la influència del bosc davant el recurs de l'aigua, és positiva per part de la opinió pública. S'associa normalment una major massa forestal amb més quantitat d'aigua disponible per a l'ús de les persones (Calder, 2002, 2003). Es cert, que el bosc genera una sèrie de beneficis relacionats amb el seu immillorable paper en la regulació del cicle hidrològic, la protecció contra l'erosió, la millora de la qualitat de l'aigua (Benoît i Fiquepron, 2010) i la prevenció de l'aterrament dels embassaments. Encara que pel contrari pel que fa a la quantitat d'aigua, és a dir, l'aportació de les conques, existeix una diferència entre la percepció social i les evidències científiques (Calder, 2002, 2003) (Birost i Vallejo, 2011). Que demostren una relació inversa entre l'aportació específica de la conca hidrogràfica i la densitat de la massa forestal.

Per una altra banda, si analitzem la situació de la massa forestal, d'acord amb les dades del segon i tercer Inventari Forestal Nacional, la superfície forestal a la Comunitat Valenciana està augmentant. D'acord amb les estadístiques corresponents als dos últims inventaris forestals (IFN2, IFN3), en la Comunitat Valenciana a l'any 1994 la superfície forestal arbrada ocupava 628.279 hectàrees, mentre que al tercer inventari forestal nacional (2007), aquesta xifra ha augmentat fins a 754.459 hectàrees, pel que ha augmentat un 20,1%.

Els motius que justifiquen aquest augment de superfície forestal són diversos, entre ells es troben els processos de repoblació forestal, que han sigut una de les activitats centrals dels serveis forestals, l'abandonament de cultius i ocupació del bosc de les parcel·les agrícoles, la disminució de la ramaderia, així com una baixa aplicació de treballs forestals silvícoles, aquests fets afavoreixen al regenerat i per tant a l'augment de la superfície arbrada.

En aquest context cal dir que com s'ha comentat anteriorment, altes densitats de vegetació generen beneficis, encara que hi ha d'altres aspectes negatius en les característiques de les masses forestals en expansió, com són la homogeneïtat de la massa, el que la transforma en més sensible front a qualsevol tipus de pertorbació (plagues, malalties), la continuïtat de combustible, afavorint els grans incendis forestals i la disminució de les aportacions específiques de les conques hidrològiques als aqüífers. En relació a aquest últim, un estudi en la capçalera del alt Ebre (Gallart i Llorens, 2003), es va estimar que l'expansió i densificació del bosc va ser la responsable d'un decreixement en la descàrrega mitjana del riu d'un 17 a un 46% en els últims 50 - 60 anys. El tipus de vegetació i la seua densitat poden afectar a l'escorrentia mitjançant la seua acció sobre l'evapotranspiració (incloent l'interceptació) i l'infiltració a la superfície del sol.

Donada aquesta problemàtica i les poques actuacions que es realitzen a la Comunitat Valenciana, les aclarides sols suposen un 6% dels tractaments selvícoles que es realitzen a la Comunitat Valenciana (PATFOR, 2010). Es pot afirmar que la superfície arbrada a la Comunitat Valenciana, es troba en una situació complicada, donat que la superfície està en augment, però es troba falta en molts casos d'una gestió forestal adequada. Mentre que amb una gestió forestal sostenible, a més de solucionar els citats problemes propis de la massa forestal, es pot orientar la gestió a obtindre una cobertura òptima que aconseguisca equilibrar les pèrdues d'aigua per interceptació amb la protecció de sol en la forest mediterrània.

El tractament de les masses forestals a les conques mediterrànies cal que tinga un paper important, sempre des de la gestió sostenible de la massa buscant l'equilibri òptim i més apropiat per als balanços de fluxos d'aigua (David *et al*, 2011).

L'aplicació d'aclarides d'almenys del 20% de la coberta (Steadnick, 1996) produeix un augment temporal en la producció d'aigua, hi ha avantatges i desavantatges que s'han de tindre en compte (Muys *et al*, 2011). Pel que fa als avantatges, destaca una millor adaptació de la masses a l'escassetat hídrica que es preveu amb el canvi climàtic, especialment a les zones mediterrànies on la disponibilitat d'aigua quedarà reduïda, per tant, amb la reducció de la coberta, l'aigua es reparteix entre un menor número

d'arbres, és a dir, s'ha reduït la competència per aquest bé escàs, el que permet un major desenvolupament dels arbres. Aquest fet es una idea clau per a la Selvicultura adaptativa mediterrània.

Si s'associa aquest augment d'aigua amb els processos dels ecosistemes naturals relacionats amb aquesta, com el segrest de carboni, la regulació del cicle hidrològic, la conservació i formació de sòls i el cicle de nutrients, (en gran mesura dependent de l'aigua) ens permet comprendre com influeix en les funcions dels ecosistemes. Per tant, com s'ha comentat anteriorment i donat que l'aigua és molt sovint un factor limitant en els ecosistemes de bosc mediterrani, l'escassetat d'aigua pot donar lloc a una marcada alteració de les funcions de l'ecosistema i a un impacte en la prestació de béns i serveis a la societat (Birost i Vallejo, 2011). A més el creixement dels boscos gràcies a l'aigua és un dels mecanismes reconeguts per a mitigar el Canvi Climàtic mitjançant el segrest de carboni en l'atmosfera (Birost i Vallejo, 2011).

Per una altra banda s'ha de tindre en compte els desavantatges com són la disminució de la qualitat de l'aigua, una major erosió i impacte sobre la biodiversitat (Muys *et al*, 2011).

Davant la necessitat de gestió, el primer pas en tot procés de planificació és la fase d'anàlisi i en el cas de la selvicultura, és l'inventari forestal i el seguiment a gran escala de la dinàmica de les estructures forestals, aquests treballs tenen unes despeses elevades. Per aquest motiu el primer esforç es automatitzar els processos i disminuir les despeses. Per tal d'aconseguir-ho s'ha de desenvolupar i aplicar les últimes tecnologies disponibles, amb un major grau d'anàlisi i una major precisió que els mètodes tradicionals. L'aplicació de la tecnologia LiDAR en treballs forestals suposa un gran avanç, al poder abastar grans extensions de terreny en breu espai de temps (per la possibilitat d'automatització) i obtenir variables forestals importants per a l'inventari forestal i l'ordenació de forests, amb transcendència hidrològica.

## 1.1. FONAMENTS DE LA TECNOLOGIA LIDAR

El LiDAR (Light Detection and Ranging) aerotransportat és un sistema actiu basat en un sensor làser que es pot instal·lar en avions o helicòpters. Aquesta tecnologia està substituint cada vegada més als mètodes basats en fotogrametria per obtenir models digitals del terreny (MDT) d'alta precisió, perquè aconsegueix disminuir els costos i terminis d'entrega a la vegada que s'obtenen precisions entorn a 15 cm en altura i una major densitat de mesures, preses d'una manera sistemàtica.

El funcionament del LiDAR consisteix en un sensor d'escaneig que realitza l'emissió de polsos làser i mesura el temps que tarden aquests polsos en arribar a la superfície terrestre i tornar al sensor. Actualment hi ha instruments LiDAR que mesuren fins una freqüència de 150 KHz, el que vol dir que emeten i reben 150.000 polsos per segon. La figura 1 mostra un exemple dels dispositius necessaris per a la utilització de la tecnologia LiDAR (Avió, escàner làser, GPS).

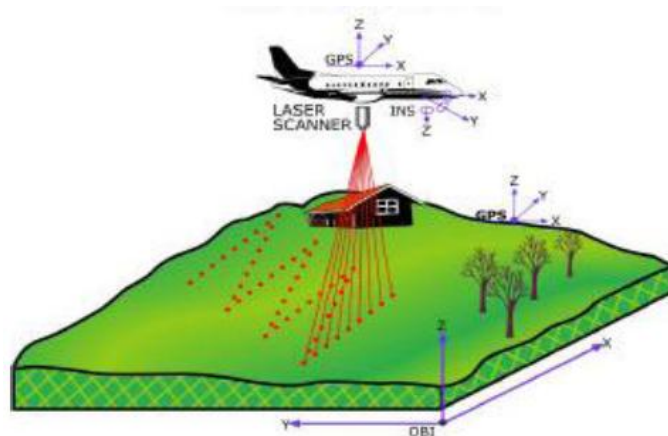


Figura 1. Esquema de funcionament de la tecnologia LIDAR (Renslow *et al*, 2000).

Tots els raigs làser ixen en una única direcció apuntant fins a baix, però hi ha un espill rotatori que els desvia a ambdós costats de l'avió amb un angle d'obertura configurable, de forma que es realitza un escaneig. A mesura que avança l'avió d'una determinada franja del terreny (l'amplada dependrà de l'altura del vol).

Per una altra banda, en l'avió hi ha instal·lat un GPS que permet posicionar en temps real l'instrument, per saber en cada moment on es troba. Per augmentar la precisió en el posicionament de l'instrument, s'utilitza un GPS diferencial en terra (també es

poden utilitzar estacions de referència, com la xarxa d'estacions permanents de GPS del Institut Geogràfic Nacional (IGN) que esta conformada actualment per 17 estacions al llarg de tot el territori nacional).

Després de realitzar el vol es combinen les dades GPS del avió amb els del GPS diferencial de terra, per obtindre precisions de 5 cm en la posició de l'instrument.

Per últim es disposa del sistema de navegació inercial del avió (IRS) que mesura amb una precisió de 0,001 graus les variacions en la orientació del avió degudes a turbulències, xicotets girs, inclinacions, etc, de forma que es poden compensar ambdós moviments.

Amb la combinació de tota aquesta informació (distància mesurada amb el làser, angle de l'espill que realitza el escaneig, posició exacta de l'instrument amb GPS i sistema de navegació inercial), s'obté la medició de l'altura del terreny amb una posició millor de 15 cm en Z.

Quan el raig làser arriba al terreny es comporta de forma diferent depenent de les característiques dels objectes que es trobe. En la figura 2 es veuen els tres casos possibles.



Figura 2. Funcionament del LIDAR amb diferents tipus de superfícies (Dielmo.com, 2011).



1. En la superfície sòlida (edificis, sol, etc), el raig es reflexa sense cap problema i torna a l'avió.
2. A l'aigua el raig làser sofreix una reflexió especular i no torna a l'avió, pel que no s'obté cap informació, en aquest cas apareix un espai sense dades que s'ha d'interpol·lar a partir de les altures properes o d'altres dades batimètriques de les que es puga disposar.
3. En el cas de la vegetació, el raig toca, en primer moment en la copa de l'arbre. En aquest moment una part del raig es reflexa i torna a l'avió, però al tractar-se d'una superfície no sòlida, hi ha una altra part del raig que travessa la vegetació fins arribar al terra i torna a l'avió. El sistema guarda en aquest cas les coordenades i altures del primer i de l'últim pols.

Un dels avantatges de la tecnologia LiDAR consisteix en la possibilitat de mesurar per a cada pols el primer i l'últim dels rebots que tornen a l'avió. Aquest fet permet (amb la configuració de vol adequada), mesurar l'altura del terreny en zones completament cobertes per la vegetació, el que no és possible amb tècniques de medicció com la fotogrametria.

## **1.2. APLICACIONS EN EL SECTOR FORESTAL**

Els antecedents en la utilització de LiDAR, els trobem en aquells països on el sector forestal és un recurs econòmic molt potent com Suècia, Finlàndia i Noruega (Olsson, 2003).

**SUECIA** comença a mitjan dels 80 (FLASH, un escàner làser militar). S'obté la conclusió de que mitjançant regressions amb parcel·les de camp es poden determinar paràmetres dasomètrics. Té limitacions amb el posicionament adequat del GPS. La companyia SAAB construeix TopEye utilitzat en sis campanyes forestals 1997 i 2003.

**FINLÀNDIA** comença en 1990 (Juha Hyppäy FM Kartta OY). Es fa èmfasi en la generació de MDT en terrenys forestals i en desenvolupar mètodes d'inventari peu a peu.

**NORUEGA** comença en 1995. La universitat de Oslo realitza un projecte pilot amb l'empresa Fotonor, s'estimen amb èxit l'altura mitjana i el volum de 36 rodals.

Aquesta ferramenta de treball s'està generalitzat en la gestió forestal en general i en la planificació selvícola.

Com a producte immediat d'aquesta tecnologia, s'obtenen **models digitals del terreny (MDT)** per a tot el territori amb una precisió mitjana d'uns 15 centímetres. També s'obté el **model digital de superfícies (MDS)**, format a partir de les primeres intercepcions en la vegetació (en les zones forestals).

Amb la diferència dels dos models digitals (MDS- MDT) es genera el **model digital de coberta vegetal (MDC)**. Aquesta capa cartogràfica té moltes possibilitats d'anàlisi en l'àmbit forestal.

D'aquesta forma l'informació LiDAR es converteix en una base de dades georeferenciada imprescindible per a l'optimització de l'ús del territori i possibilita l'inventari exhaustiu dels arbres i l'estructura vegetal en el seu conjunt per al territori forestal.

L'avantatge de poder mesurar tant l'altura de la part alta de la vegetació com l'altura del terreny, permet obtindre directament l'altura de la vegetació inclús en zones de vegetació densa on mitjançant l'ús de sensors òptics no es possible obtindre una visió directa del terreny (figura 3).

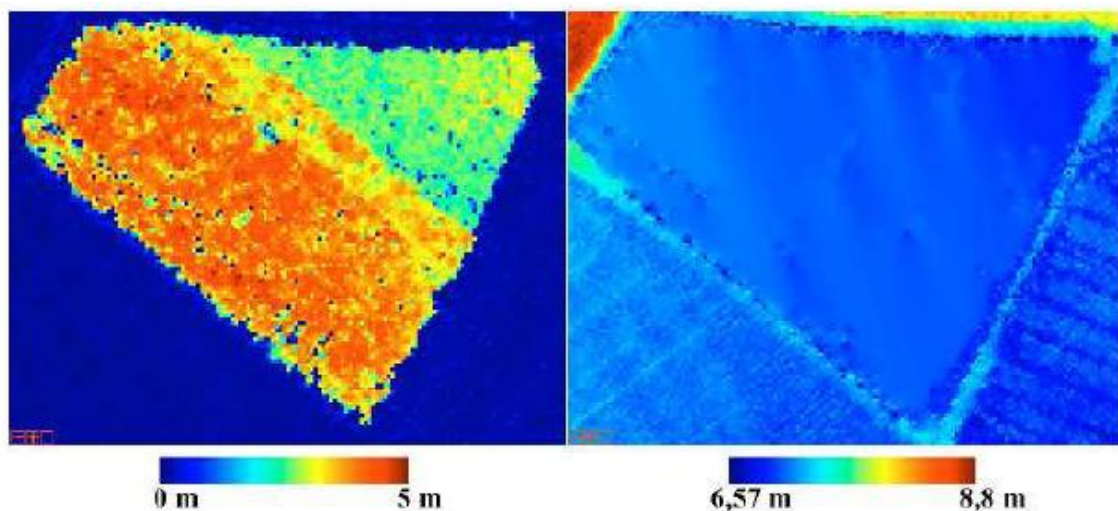


Figura 3. Altura de la vegetació, amb un màxim de 5 m d'altura (esquerra), i MDT (dreta), a la forest de la Hunde i Palomeras (Reyna *et al*, 2010).

La tecnologia LiDAR també permet l'obtenció de cartografia de detall, no sols de localització sinó també de l'estrat inferior (sotabosc), el que el converteix en una innovadora ferramenta de gran utilitat per a la caracterització de la vegetació, des del punt de vista de la biomassa forestal i dels models de combustible, amb gran nivell de detall (figura 4).

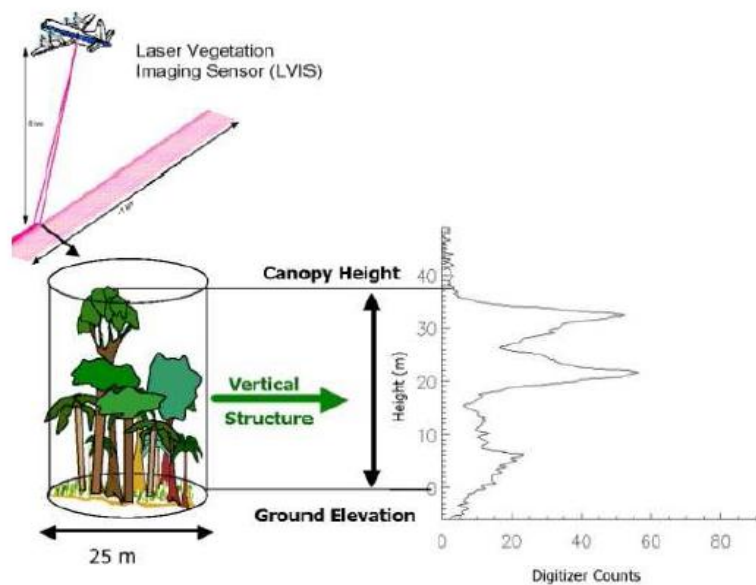


Figura 4. Distribució de punts en funció de l'altura en masses forestals amb diversos estrats de vegetació (masses mixtes amb arbrat de distintes espècies)(Drake *et al*, 2002).

S'ha demostrat que densitats d'escaneig al voltant d'un punt/m<sup>2</sup> són suficients per estimar els principals paràmetres forestals (volum, àrea basimètrica, número de peus, diàmetre mig, altura mitjana i altura dominant), a nivell de vegetació (tipus d'estructura de vegetació), mentre que en l'estimació peu a peu seran necessaris al menys 5-10 punts/m<sup>2</sup> (Causante *et al*, 2010).

Un avantatge important de la seua aplicació al sector forestal és la reducció de despeses a nivell econòmic que proporciona la tecnologia LiDAR front a la realització d'inventaris de forma tradicional. Del treball realitzat per Fabra *et al*, 2010a s'extrau una comparació de preus desglossats per a un inventari forestal, realitzat per aplicar el mètode d'ordenació per rodals (Elaborat a partir de les tarifes del Col·legi oficial d'enginyers de forests 2004, i les tarifes de Tragsa 2007, ambdues actualitzades per a 2011).

Per al càlcul de les despeses s'estableixen unes despeses fixes i altres variables en funció de la variable inventariada, es té en compte que el cost unitari de la creació dels Models Digitals d'elevació (MDT), i Model digital de Superfícies (MDS), així com que el processat previ de dades LiDAR disminueix proporcionalment al augmentar la superfície a tractar. D'aquesta forma s'estableix per Fabra *et al* de forma orientativa els següents trams de preus de mercat en euros.

Taula 1. Fases i despeses de l'inventari per rodals (Fabra *et al*, 2010a).

	TRADICIONAL				LIDAR			
	200 ha	1000 ha	5000 ha	10000 ha	200 ha	1000 ha	5000 ha	10000 ha
Creació MDT					500	900	3750	7000
Reconeixement de la forest	300	600	1800	2400	300	600	1800	2400
Pre-rodalització en oficina	500	2500	12500	25000	500	600	900	1000
Comprovació rodals camp	600	3000	12500	20000	600	3000	12500	20000
Inventaris de camp	1250	6250	27500	50000	1200	1600	8000	11000
Processat per a inventari LiDAR					400	1000	3750	5000
Anàlisi i tractament de dades	1500	1600	1800	2000	1500	1600	1800	2000
Redacció de l'informe de resultats	500	550	650	700	500	550	650	700
Generació de cartografia	800	850	950	1000	800	850	950	1000
<b>PREUS TOTALS</b>	<b>5450</b>	<b>15350</b>	<b>57700</b>	<b>101100</b>	<b>6300</b>	<b>10700</b>	<b>34100</b>	<b>50100</b>
<b>PREUS PER HECTÀREA</b>	<b>27,25€</b>	<b>15,35€</b>	<b>11,54€</b>	<b>10,11 €</b>	<b>31,50 €</b>	<b>10,7 €</b>	<b>6,82 €</b>	<b>5,01 €</b>
<b>Percentatge de disminució de preu de l'inventari</b>					<b>-15,60%</b>	<b>30,29%</b>	<b>40,90%</b>	<b>50,45%</b>

Per tant, utilitzant la metodologia LiDAR el cost d'inventari pot reduir-se significativament. En la figura 5, es pot observar com evoluciona el preu total de l'inventari amb LiDAR comparat amb l'inventari tradicional al augmentar la superfície de la forest. El punt de tall entre les despeses derivades de cadascuna de les opcions es produeix aproximadament al voltant de les 350 hectàrees.

### Evolució de despeses d'inventari segons la superfície

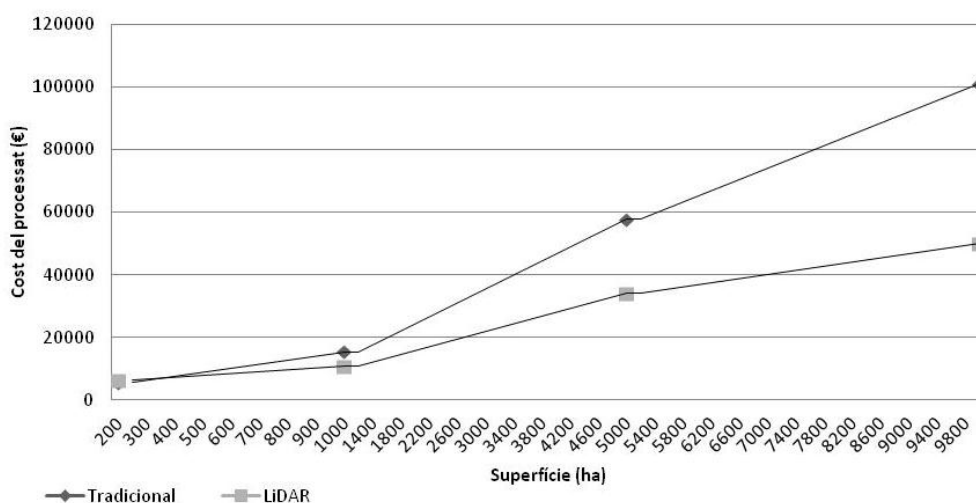


Figura 5. Evolució de les despeses de processat LiDAR i d'inventari tradicional, segons la superfície d'ordenació (Fabra *et al*, 2010a)

### 1.3. ANTECEDENTS

Una vegada coneguda la situació de les nostres masses, la seua relació amb l'hidrologia, el funcionament de la tecnologia LiDAR i les seues aplicacions al sector forestal, es presenten els treballs realitzats fins al moment, que relacionen aquests conceptes.

L'ús de LiDAR per a aplicacions d'inventari forestal i selvicultura es relativament recent al nostre país (Navarro *et al*, 2010), així i tot l'ús d'aquesta tecnologia és cada vegada més freqüent (Hill *et al*, 2008), per obtenir informació de gran interès forestal, per exemple MDE (Model digital d'elevacions), estructura de sistemes forestals, i paràmetres relacionats amb la selvicultura i ordenació forestal (Navarro *et al*, 2010). També resulten interessants els treballs realitzats relacionats amb l'hidrologia forestal. En aquest sentit s'han realitzat un reduït nombre d'estudis on es relaciona hidrologia i LiDAR, encara que la seua potencialitat per millorar l'estimació de variables hidrològiques, i en concret l'interceptació a masses forestals es elevat (Roth *et al*, 2007). Com s'observa a la taula 2, en general les variables obtingudes mitjançant aquesta tecnologia són 10 vegades més precises que aquelles obtingudes mitjançant models (Roth *et al*, 2007).

D'acord amb la literatura consultada s'ha utilitzat LiDAR per proporcionar estimacions de balanços hídrics determinant l'evapotranspiració de la conca (Mitchell *et al*, 2011), encara que sòls Farid *et al*, 2008 utilitza LiDAR per obtindre fluxos de transpiració, a un estudi realitzat als Estats Units amb *Populus deltoides*. A aquest estudi es deriva l'índex d'àrea foliar (LAI) de la tecnologia LiDAR. Igualment es considera eficient l'utilització de LiDAR per a la mesura de LAI en carrasques en formacions de devesa, obtenint valors similars als adquirits amb mètodes indirectes de camp (Navarro *et al*, 2010).

Taula 2. Resum els estudis realitzats, i comparació de la precisió obtinguda amb els mètodes tradicionals i amb la tecnologia LIDAR (adaptat de Roth *et al*, 2007).

Coeficient de partició de Pluja	Propietats de la coberta forestal	Estimació del model		Mesura LIDAR	
		Font	Precisió	Font	Precisió
<b>Trascolació</b>	FCC	Rutter 1971; Gash 1979; Liu 1997	5%	Means et al. 1999	1%
	Densitat de peus	Teklehaimanot & Jarvis 1991	Arbres ind.	Hall et al. 2005	Arbres ind.
	Índex d'àrea foliar	Fleischbein et al. 2005; Pyker et al 2005	0.1 m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>	Houldcroft et al 2005	0.1 m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>
	Altura	Dietz et al. 2006	0.1 m	Drake et al 2002; Hall et al 2005	0.01 m
	Límit inferior copa	Dietz et al. 2006	0.1 m	Hall et al 2005	0.01 m
	Area basimètrica	Dietz et al. 2006	0.01 m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	Drake et al. 2002; Hall et al 2005	0.01 m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>
<b>Emmagatzematge</b>	Biomassa de coberta	Calder i Wright 1986; Hutchings et al.1988	0.1 kg m <sup>-2</sup>	Hall et al 2005	0.01 kg m <sup>-2</sup>
	Índex d'àrea coberta	Liu 1998	0.01	Parker et al. 2004	0.01 m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>
	Índex d'àrea Foliar	Liu 1998	1 m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>	Houldcroft et al. 2005	0.1 m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>
	Diàmetre	Liu 1998	1 cm	Henning & Radtke 2006	0.1 cm
	Diàmetre de branca	Liu 1998	1 cm	Lucas et al. 2006	1 cm
<b>Escorrentia cortical</b>	Angle d'inclinació de branca	Levia and Herwitz 2002	20 graus	Lucas et al. 2006	20 graus

Per una altra banda (Mitchell *et al*, 2011), realitza un estudi més acurat on utilitza LiDAR per definir l'estructura del bosc (Altura, Fcc, LAI). Aquestes variables, relacionen amb paràmetres hidrològics per modelar d'aquesta forma l'evapotranspiració en diferents tipus de massa. Aquest estudi es realitza a Austràlia amb diferents espècies d'Eucaliptus. En primer lloc mesura a nivell de parcel·la els paràmetres tant de la massa com les variables hidrològiques necessàries per definir l'evapotranspiració (interceptació, transpiració, evaporació del sòl ), per posteriorment escalar l'ús que fa el bosc de l'aigua a nivell de conca (Mitchell *et al*, 2011). D'acord amb els autors aquest

és el primer estudi que es realitza, unint la modelació de fluxos d'evapotranspiració amb dades espacials d'estructura forestal procedents de LiDAR.

El treball realitzat per Michell *et al* té una gran semblança amb aquest treball ja que en aquest també caracteritzem l'estructura de la massa amb LiDAR, per després establir les relacions existents entre l'estructura i la trascolació a nivell de parcel·la. Una vegada establerta aquesta relació, també s'escalen els resultats a escala de conca hidrològica utilitzant les dades d'estructura forestal procedents de LiDAR.



## 2. OBJECTIUS

Una vegada presentada la problemàtica de les masses forestals a la Comunitat Valenciana i els conflictes derivats del desequilibri entre la demanda del recurs aigua, tant per la societat, com per els ecosistemes, i la seua escassetat. Es proposa, aplicar la tecnologia LiDAR als estudis hidrològics realitzats a la forest de la Hunded per Molina (2010), centrant-nos en els següents objectius generals:

- Establiment de relacions entre variables d'estructura forestal mesurades amb LiDAR i les variables hidrològiques (trascolació, interceptació, escorrentia cortical).
- Valoració de l'aplicació de tractaments selvícoles per a l'ordenació hidrològica de la forest.

Són necessaris per poder assolir els objectius generals, els següents objectius procedimentals:

1. Ajust de les relacions de LiDAR i d'inventari forestal tradicional a nivell de parcel·la (àrea foliar, Fcc, densitat, altura).
2. Classificació de les estructures de vegetació existents en la forest i la seua caracterització hidrològica.
3. Comparació de la rodalització de la forest segons les característiques d'estructura de la massa i rodalització de la forest d'acord amb les seues característiques hidrològiques.

### **3. MATERIALS I MÈTODES**

#### **3.1. JUSTIFICACIÓ I CARACTERÍSTIQUES DE L'ÀREA D'ESTUDI**

##### **LOCALITZACIÓ**

El forest de la Hunde i Palomeras , es situa al Nord Oest del municipi d'Aiora, aquest es situa al sud-oest de la província de València, a la comarca de Vall d'Aiora-Cofrents (figura 6). A 130 km de la ciutat de València, amb una altura de 634 metres sobre el nivell del mar, avarca una extensió de 440 km<sup>2</sup>, sent el segon més extens de la província de valència, i compta amb una població de 5.492 habitants. Aiora limita al nord amb el terme de Teresa de Cofrents, al sud amb Almansa (província d'Albacete), a l'oest amb Alpera i Carcelén i a l'est amb Quesa, Enguera i Bicorp.

El terme compta amb un paisatge accidentat, el flanquegen abruptes serres, a l'est, la d'Aiora-Enguera i a l'oest les de Palomera-La Hunde, i Montemayor. En aquestes serres es situen muntanyes d'altura considerable com són: Puntal de Meca (1058 m), Puntal de Mediodía (1146 m), Puntal de Tortosilla (1199 m), Montemayor (1105 m), Penyó de los Machos (1091 m) i Palomeras, el punt més alt amb 1258 metres, sent el punt més elevat de la comarca.

La forest de la Hunde i Palomeras està inclòs en la quarta demarcació forestal de Valencia, que pertany a la demarcació forestal de Requena. S'identifica amb el número 154, al catàleg de forests d'utilitat pública. D'acord amb aquest catàleg, la forest compta amb una superfície de 4681,7 ha, i un perímetre de 31'34 Km.

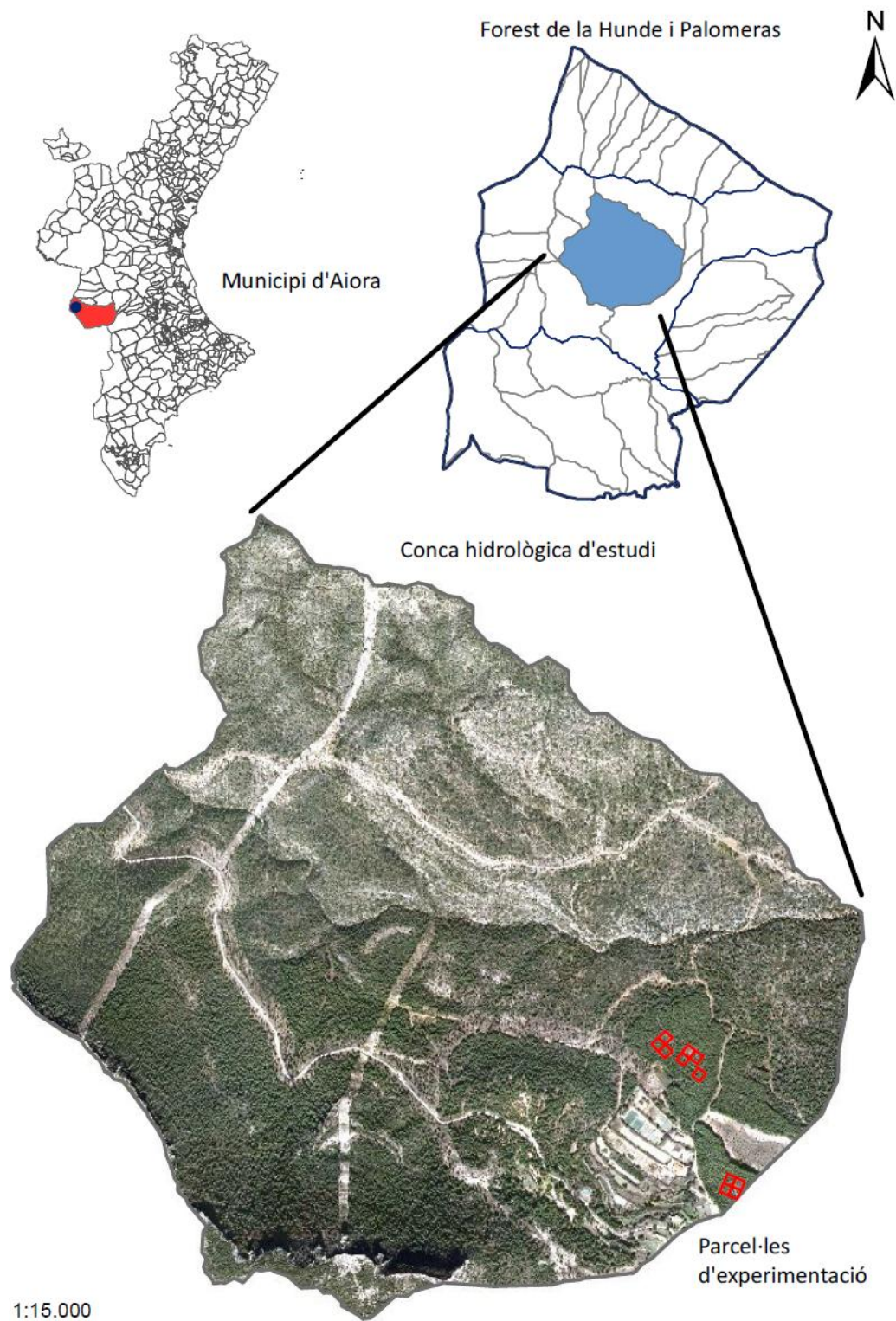


Figura 6. Mapa de localització, on s'observa en primer terme el municipi d'Aiora i la seua situació a la Comunitat Valenciana, a continuació el forest de la Hunde, i d'aquest la subconca hidrogràfica on s'observen les parcel·les d'experimentació.

## **LLOC D'ESTUDI**

Dins de la forest de la Hunde s'ha seleccionat una superfície de 400 hectàrees, en la qual es realitza un tractament de les dades mesurades amb la tecnologia LiDAR, aquesta zona coincideix amb una subconca hidrològica de la Rambla de la Espadilla dins el forest, s'ha seleccionat aquesta, en concret, per que conté la zona propera al viver, on es situen les parcel·les utilitzades per a l'estudi "*Aproximación al ciclo hidrológico de una masa de Pinus halepensis con diferentes grados de cobertura vegetal*" (Molina, 2010).

A més aquesta zona resulta interessant per les seues característiques, està dividida per la rambla de la Espadilla, el que coincideix amb la diferenciació de dues zones clarament definides dins la subconca, d'una banda una zona de pineda orientada al nord i de l'altra a la zona de solana, caracteritzada per rodals de carrasca acompanyat de zones amb menys densitat arbrada amb matoll.

La zona on s'ubiquen les parcel·les de Molina, 2010 es correspon amb una repoblació de *Pinus halepensis* Mill realitzades entre els anys 1940 i 1950. Ubicada a més a més sobre antics bancals agrícoles, amb pendents inferior al 5%, el que permet despreciar els processos d'escorrentia a les parcel·les.

## **CLIMA**

L'àrea d'estudi es caracteritza per tindre un clima mediterrani però amb caràcters de continentalitat (taula 3); té tres mesos secs i una precipitació elevada respecte les zones circumdants, el que fa que siga una forest humida, encara que esta exposada en algunes zones a orientacions Sud i Est (Cervelló 2008). Pertany a l'ombroclima de tipus sec (350-600 mm) (figura 7).

Taula 3. Anys de la sèrie 1975-2004; TmM, temperatura mitjana anual de les màximes diàries (C°); Tmm, temperatura mitjana anual de les mínimes diàries (C°); TM, Temperatura màxima absoluta (C°); Tm, temperatura mínima absoluta (C°); p, precipitació mensual (mm); t, temperatura mitjana mensual (C°).  
Font: Conselleria d'Infraestructures, Territori i Medi Ambient

Valors mensuals													
	gen	Feb	mar	abr	maig	jun	jul	ago	set	oct	nov	des	Total
<b>p</b>	38,6	38,9	35,4	49,9	55,6	32,1	11,8	22	38,5	53	48,2	41,8	465,80
<b>t</b>	5,5	6,6	8,8	10,5	14,4	19,6	23,1	22,7	19,1	13,9	9,1	6,2	13,29
<b>Tmm</b>	1,5	1,8	3,5	4,9	8,7	12,8	15,7	15,9	13,1	8,9	4,9	2,4	7,84
<b>TmM</b>	9,4	11,3	14,2	16,2	20,2	26,4	30,5	29,6	25,1	18,8	13,3	10,1	18,76
<b>Tm</b>	-4,7	-4,1	-2,5	-0,6	2,9	7,8	10,7	11	7,8	2,9	-1,2	-3,8	2,18
<b>TM</b>	15,6	17,9	22	23,6	27,6	33,2	36,8	35,3	31,5	25,7	19,8	16,3	25,44

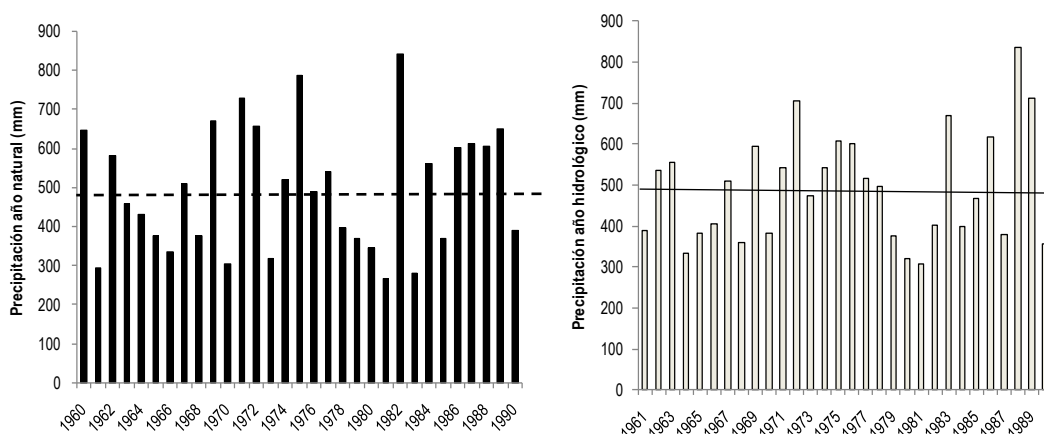


Figura 7. Precipitació anual (1960-1990) segons any natural (Esquerra), i any hidrològic (dreta) (Molina, 2010).

El repartiment mensual mitjà de les precipitacions per al període històric es presenta en la figura 8, on es pot apreciar com els màxims es corresponen amb els mesos de tardor, seguits d'aquells que corresponen a la primavera, i els mínims es concentren als mesos d'estiu. Aquest repartiment estacional de la precipitació es correspon amb un clima mediterrani amb caràcters de continentalitat i tres mesos de sequera (FAO, 2005).

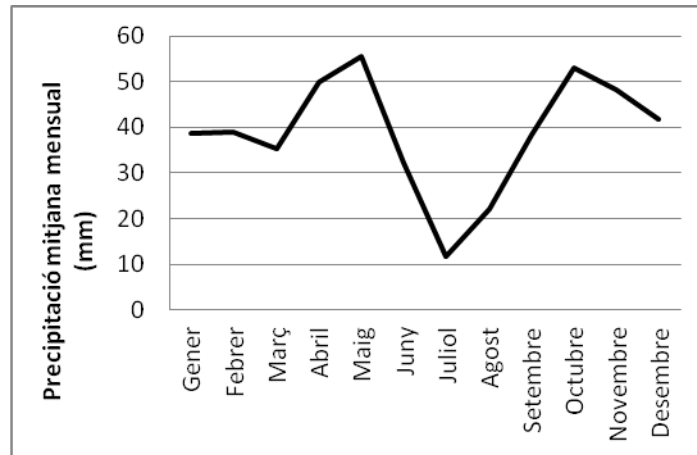


Figura 8. Precipitació mitjana mensual (1975-2004). Font: Conselleria d'Infraestructures, Territori i Medi Ambient

## GEOLOGIA I EDAFOLOGIA

En la província de València es distingeixen 2 sistemes muntanyencs, el Sistema Ibèric Sudoriental que ocupa la major part de la superfície i el Sistema Prebètic Extern que es localitza al sud de la mateixa. Dins del sistema Ibèric Sudoriental es distingeixen 3 sectors (septentrional, meridional i una zona de transició), trobant-se la zona d'estudi en el sector meridional.

El sector meridional es caracteritza per la presència d'afloraments mesozoics, terciaris i quaternaris. El període mesozoic està representat sobretot pel Cretàcic superior, generalment dolomític, encara que també es presenten altres materials com arenisques calcàries groguenques, calcàries i margues. El Terciari existent està constituït per un Neogè recent, principalment detrític.

L'estructura geològica de la zona està definida per una sèrie de fosses tectòniques (llargues depressions limitades en ambdós costats per falles entre les quals el terreny s'ha enfonsat per efecte de forces internes) que delimiten dos moles, La Mola de Carcelén, sobre la qual es troba la forest, i la Mola de la Caballa, situada més al nord.

Pel que fa a la edafologia, a partir del mapa de sòls per a la Comunitat Valenciana per a la fulla Aiora (768), es poden diferenciar associacions de diferents unitats de sòls segons la classificació de la FAO-UNESCO 1988. La Hunde i la Palomeras presenta un fluvisòl calcàric que es correspon generalment amb sòls profunds amb textures

variables, fins i tot dins del perfil. Els continguts en matèria orgànica són relativament baixos, aproximadament del 2% i disminueixen irregularment amb la profunditat. El pH oscil·la entre 7,5 i 8,1 depenent del contingut en carbonats, que és molt variable i normalment es troba entre el 15% i el 60%.

Segons mostres realitzats en sòl proper a la zona d'estudi (Del Campo *et al*, 2008), es defineix aquest (per a la classificació de la USDA) com franc argilo sorrenc, d'una textura equilibrada amb continguts d'un 54,84% d'arena, un 22,05% de llim i un 23,12% d'argila.

## **HIDROGRAFÍA I HIDROLOGIA**

La zona d'estudi s'emmarca dins de la Conca Hidrogràfica del Xúquer. Els valors de pluja que es registren en aquesta conca generen una aportació mitjana anual de l'ordre de 3.200 hm<sup>3</sup>, corresponent al fenomen de la evapotranspiració pèrdues que estan al voltant del 85% del total de precipitació registrada. El riu de major importància de la comarca quant a cabal és el Reconque, que naix al sud de la localitat d'Aiora. És un afluent del Xúquer i es nodreix d'un gran nombre de llit i barrancs aigües amunt. La major part d'aquests són discontinus o efímers i no porten aigua en l'etapa estival.

## **VEGETACIÓ**

Per a l'estudi de la vegetació potencial de la zona, s'han consultat les sèries de regressió de Ceballos (1938), així com el mapa de sèries de vegetació de Salvador Rivas Martínez (1987). Segons el primer autor, la forest de La Hunde i Palomeras es troba immers en la sèrie de regressió número 10 de l'alzina, sobre terreny calcari. Segons Rivas Martínez, la zona es correspon amb l'etapa madura o clímax d'un bosc dens d'alzines (sèries mesomediterrànies de Carrasca, *Quercus rotundifolia*), que en ocasions pot albergar altres espècies i que posseeix sotabosc arbustiu en general no molt dens.

Per a l'estudi de la vegetació actual s'ha consultat l'estudi realitzat per Monzó, 2009. D'acord amb aquest estudi la distribució de la vegetació al conjunt de la forest de la Hunde i Palomeras és la següent (taula 4):

Taula 4. Superfície ocupada per cada tipus de formació i percentatge respecte al total de la superfície de la forest (Monzó, 2009).

<b>Formacions</b>	<b>Superfície (ha)</b>	<b>%</b>
<b>Bosc de <i>Pinus halepensis</i> Mill</b>	2366,6	<b>50,6</b>
<b>Bosc de <i>Pinus pinaster</i> Aiton</b>	22,7	<b>0,5</b>
<b>Bosc mixt de <i>P.halepensis</i> Mill. i <i>P. pinaster</i> Aiton</b>	368,5	<b>7,9</b>
<b>Bosc mixt de <i>P.halepensis</i> Mill. i <i>P. pinea</i> L.</b>	118,4	<b>2,5</b>
<b>Bosc de <i>Quercus rotundifolia</i> Lam.</b>	41,1	<b>0,9</b>
<b>Bosc mixt de <i>Quercus rotundifolia</i> Lam. i <i>P.halepensis</i> Mill</b>	263,7	<b>5,6</b>
<b>Bosc mixt de <i>Q.ilex</i> Lam, <i>Q.faginea</i> Lam., <i>P.halepensis</i> Mill i <i>P.pinaster</i> Aiton</b>	41,2	<b>0,9</b>
<b>Matoll</b>	565,8	<b>12,1</b>
<b>Cultius / No forestal</b>	68,3	<b>1,5</b>
<b>Replantacions de <i>Pinus halepensis</i> Mill</b>	<b>823,7</b>	<b>17,6</b>

Com s'observa a la figura 9, actualment el 17 % de la superfície de la forest es troba ocupada per replantacions de Pi blanc, mentre que, al voltant d'un 50 % presenta un bosc natural o naturalitzat de la mateixa espècie (antigues replantacions amb els marcs de plantació diluïts, regeneració natural de la massa o invasió de matoll sota coberta, especialment cupressàcies: *Juniperus oxycedrus* L. i *Juniperus phoenicea* L.). Per la seua banda, el *Pinus pinea* L. sobre sòls sorrencs i el *Pinus pinaster* Aiton sobre sòls descalcificats, formen menuts bosquets, normalment en comunió amb el Pi blanc. Aquests pinedes, d'origen antròpic, però naturalitzats, actuen com bioindicadors de la naturalesa del sòl.

Els boscos purs de *Quercus rotundifolia* Lam cobreixen prop de 1% de la superfície de la forest mentre que aquells on apareix formant masses mixtes amb altres espècies



com el Pi blanc, el Pi resiner o el Roure valencià arriben a en conjunt el 7 % de la superfície de la forest.

L'àrea d'estudi presenta una vegetació de tipus arbòria (>4 m) en un 86,5 % del seu territori, existint vegetació de tipus matoll o pastura en un 12,1 % i camps de cultiu en la resta de la superfície. Les espècies de matoll més abundants en tot la forest són *Juniperus phoenicea* L. i *Juniperus oxycedrus* L.

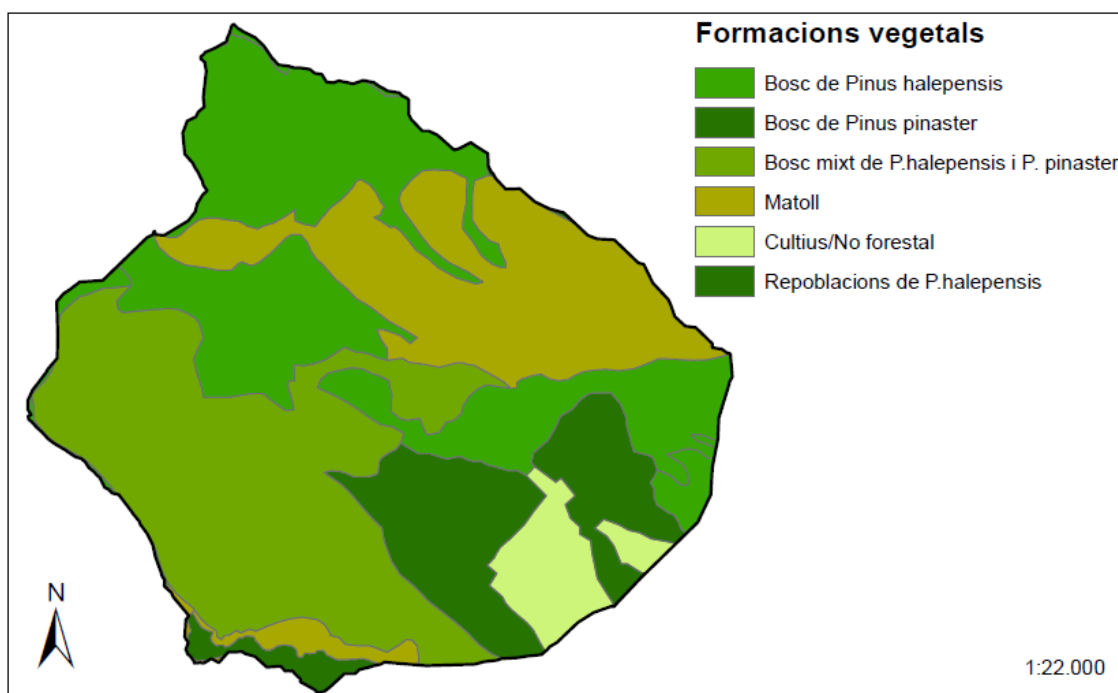


Figura 9. Formacions vegetals existents a la zona d'estudi, coincidents amb la primera rodalització (Monzó, 2009).

Per un altra banda, cal afegir que la vegetació que es troba en la zona d'experimentació de les parcel·les, es correspon amb la primera unitat de vegetació descrita per (Monzó, 2009) tractant-se d'una repoblació monoespecífica de *Pinus halepensis* Mill. amb una superfície pròxima a les 823,7 ha. A més de Romaní i Timó, el sotabosc també presenta regenerats d'Alzina (*Quercus ilex* subsp. *rotundifolia*), nombrosos individus de Coscoll (*Quercus coccifera*) i Ginebre (*Juniperus oxycedrus*).

### 3.2. DESCRIPCIÓ GENERAL DE LA METODOLOGIA

Per tal d'explicar amb claredat la metodologia aplicada a aquest treball, cal ressaltar que en primer lloc es busca una caracterització a nivell parcel·la, i a continuació s'escalen les relacions obtingudes a escala parcel·la per poder arribar a escala de conca hidroliògica. A la figura 10 es pot veure de forma esquemàtica els passos a seguir de forma més detallada.

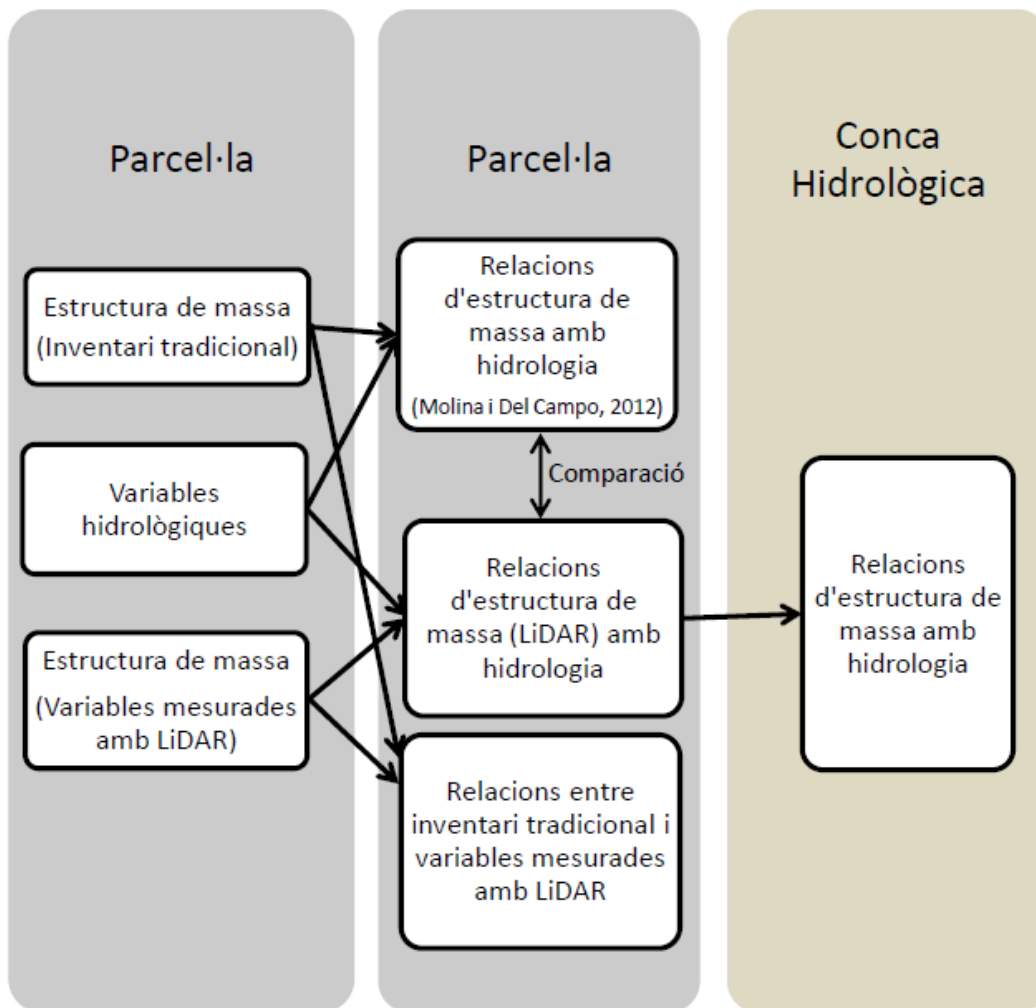


Figura 10. Esquema dels passos desenvolupats a la metodologia del treball per assolir els objectius proposats. Font: elaboració pròpia.

Dins l'escala de parcel·la, el primer que es realitza és una recopilació de les dades disponibles, que en aquest cas s'extreuen de l'estudi "Aproximación al ciclo hidrológico de una masa de Pinus halepensis con diferentes grados de cobertura vegetal" (Molina 2010). S'obtenen dades que caracteritzen la massa forestal i dades de variables

hidrològiques (trascolació i escorrentia cortical). A continuació s'estudien les relacions existents entre la massa forestal i les variables hidrològiques, aquestes han estat establertes per Molina i Del Campo (2012). Continuant amb l'escala de parcel·la, també es relacionen les variables d'estructura de la massa forestal mesurades mitjançant inventari tradicional (Altura, Fcc, Densitat) i les mateixes variables mesurades amb la tecnologia LiDAR, per comprovar la exactitud del LiDAR. Seguidament, s'estableixen noves relacions entre les variables hidrològiques i les dades obtingudes mitjançant la tecnologia LiDAR, el que permetrà estendre l'estudi a tota la conca hidrològica (400 hectàrees) estudiada amb LiDAR.

Per últim s'utilitzen les relacions obtingudes a escala parcel·la entre les variables hidrològiques i les variables obtingudes amb LiDAR per escalar aquestes de nivell de parcel·la a nivell de conca hidrològica. Per a aquest últim pas s'obté per a cada píxel de la conca hidrològica de dimensions 10X10 m, un valor de trascolació en funció de la densitat i un altre en funció de la Fracció de coberta. A continuació s'estableixen rodals en base a aquests valors, es divideix la subconca en rodals buscant un caràcter més pràctic i enfocat a la gestió.

És a dir, el treball desenvolupa diferents fases en primer lloc a nivell parcel·la, on s'estableixen les relacions, i en segon lloc aquestes s'apliquen a una escala de conca hidrològica.

### **3.3. BREU DESCRIPCIÓ DELS ANTECEDENTS D'AQUEST TREBALL**

En aquest apartat s'especifica la metodologia aplicada per a la mesura de les diferents variables a les parcel·les d'experimentació. Es treballa amb un total de 11 parcel·les quadrades a la forest, amb una superfície de 900 m<sup>2</sup>. Agrupades en tres blocs de repeticions, cadascun amb 4 parcel·les experimentals amb fraccions de coberta diferents (taula 5, figura 11).

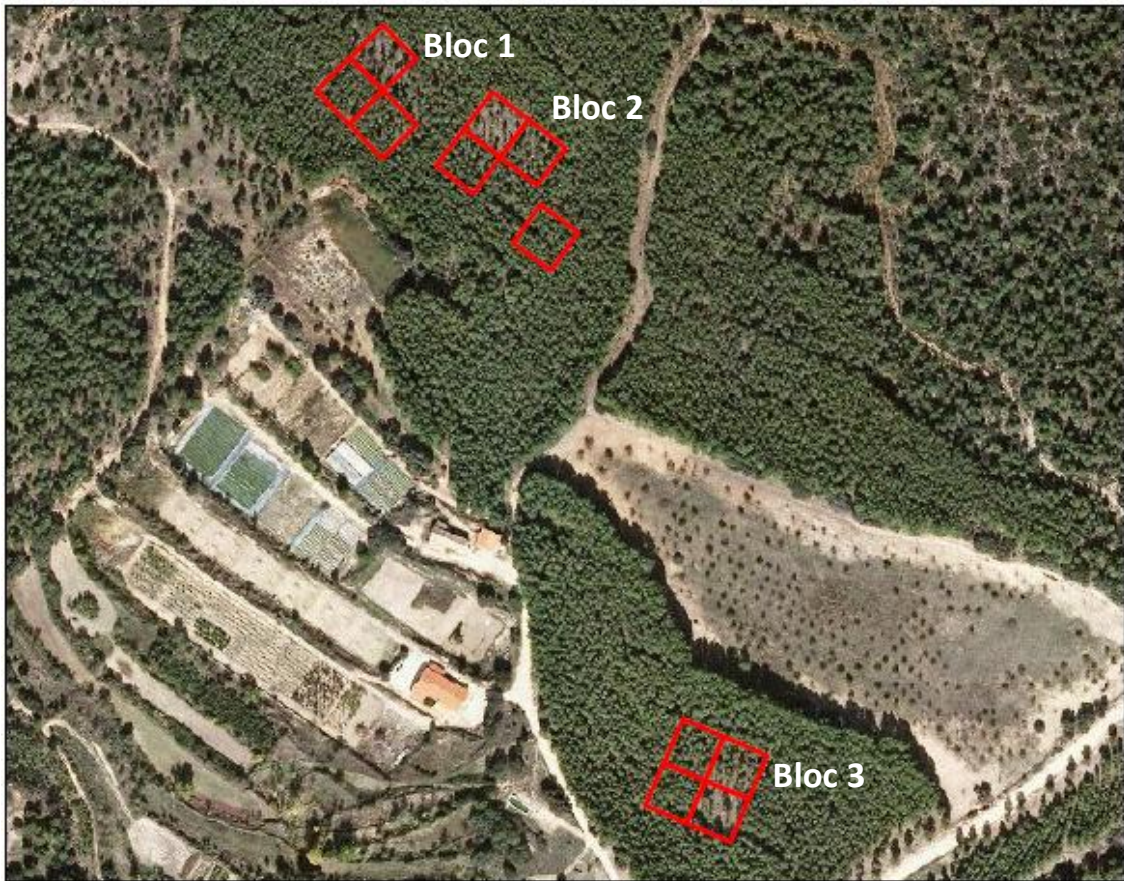


Figura 11. Localització de Blocs de parcel·les experimentals (Escala 1:4000)(Ortofoto any 2009).

En primer lloc es localitzen les parcel·les analitzades, i una vegada identificada la seua localització exacta, s'obtenen les variables selvícoles mitjançant inventari tradicional, a continuació s'estudien les variables hidrològiques, i per últim s'obtenen les variables selvícoles mesurades amb LiDAR.

### **3.3.1 Estructura forestal**

A Febrer de 2009, es realitza un inventari per obtenir les variables que caracteritzen la massa a cadascuna de les parcel·les (taula 5), en aquest moment s'obté la Fracció de Cabuda Coberta, la densitat de peus i el diàmetre. La variable altura es mesura a Novembre de 2011.

A continuació s'especifica la metodologia utilitzada per a mesurar cadascuna de les variables.

La **Fracció de cabuda coberta** (Fcc), es mesura amb esquadra òptica. Aquest aparell permet visualitzar la vertical exacta des de qualsevol punt del terreny (2 nivells allotjats en el seu interior), actuant com una mira. Si en la visual realitzada la mira intercepta qualsevol part aèria de la vegetació, la mesura prendrà el valor 1, i en cas contrari, és a dir si no intercepta amb vegetació, prendrà el de 0. En cada parcel·la es realitza un mostreig per punts, amb un total de 50 punts repartits en 5 transectes lineals separats 6,5 m entre si. Per evitar l'efecte de vora, es van prendre marges a banda i banda de 2 m cadascun. Variable mesurada a febrer de 2009.

El **diàmetre** s'obté mitjançant forcípula a 1,30 m d'altura i en dues direccions perpendiculars. Es van mesurar els diàmetres de tots els arbres de la parcel·la, a febrer de 2009.

La **densitat** de peus es mesura, mitjançant compteig directe de tots els peus de cadascuna de les parcel·les. Variable mesurada a febrer de 2009.

L'**altura**, es mesura per als 10 individus més representatius dins de cada parcel·la, per a realitzar aquesta mesura s'utilitza VERTEX IV, que és principalment un instrument per a mesurar altures d'arbres, també pot ser utilitzat per a mesurar distàncies, distància horitzontal, angles i inclinació. Aquest aparell utilitza senyals ultrasòniques per a obtenir la distància exacta. Les altures són calculades trigonòmicament amb la distància i els angles. Variable mesurada a novembre de 2011.

Pel que fa a l'**índex d'àrea foliar** (LAI), es va utilitzar un Licor LAI-2000 (Li-Cor, 1991). Aquest aparell es basa en l'atenuació que pateix la radiació solar al seu pas per la coberta vegetal. Les mesures es van realitzar baix radiació solar directa (Molina i Del Campo, 2011).

Taula 5. Caracterització selvícola de les parcel·les. N és la densitat de peus, D és el diàmetre a l'altura normal, G és l'àrea basimètrica, FCC és la Fracció de Cabuda Coberta i LAI és l'Índex d'Àrea Foliar.

Tractament	Bloc	N (peus·ha <sup>-1</sup> )	D (cm)	G (m <sup>2</sup> ·ha <sup>-1</sup> )	FCC (%)	Altura (m)	LAI (m <sup>2</sup> ·m <sup>-2</sup> )
<b>10</b>	1	178,0	26,8	9,4	22,0	12,96	<b>0,5</b>
	2	211,0	20,9	7,5	14,0	11,03	<b>0,4</b>
	3	144,0	22,4	8,0	12,0	12,67	<b>0,6</b>
		<b>177,6 ± 33,5</b>	<b>23,4 ± 3,1</b>	<b>8,3 ± 0,9</b>	<b>16,0 ± 5,3</b>	<b>12,22 ± 1,04</b>	<b>0,5 ± 0,1</b>
<b>30</b>	2	478,0	21,7	18,2	50,0	10,24	<b>1,7</b>
	3	478,0	24,7	23,5	42,0	12,37	<b>1,2</b>
		<b>478±0</b>	<b>23,2 ± 2,1</b>	<b>20,89 ± 3,8</b>	<b>46 ± 5,6</b>	<b>11,30 ± 1,50</b>	<b>1,4 ± 0,3</b>
<b>60</b>	1	744,0	21,2	27,2	68,0	12,19	<b>1,7</b>
	2	722,0	17,2	27,2	56,0	12,12	<b>2,0</b>
	3	600,0	22,4	24,4	68,0	12,4	<b>2,0</b>
		<b>688,8 ± 77,6</b>	<b>20,2 ± 2,7</b>	<b>26,3 ± 1,6</b>	<b>64 ± 6,9</b>	<b>12,23 ± 0,14</b>	<b>1,9±0,1</b>
<b>100</b>	1	1489,0	17,8	40,1	84,0	11,23	<b>2,6</b>
	2	1178,0	17,2	30,1	84,0	11,31	<b>2,8</b>
	3	1200,0	18,8	36,5	82,0	12,12	<b>2,6</b>
		<b>1289 ± 173,5</b>	<b>17,9 ± 0,7</b>	<b>35,6 ± 5,0</b>	<b>83,3 ± 1,1</b>	<b>11,50 ± 0,49</b>	<b>2,6± 0,1</b>

La unitat 30 del bloc 1 va haver de ser descartada de l'estudi perquè ratxes de fort vent van provocar la caiguda d'un gran nombre de peus.

### 3.3.2 Variables hidrològiques

Les mesures que es descriuen a aquest apartat s'han realitzat durant el període d'abril de 2008 fins febrer de 2010, i han sigut extrems de l'estudi "Aproximación al ciclo hidrológico de una masa de *Pinus halepensis* con diferentes grados de cobertura vegetal" (Molina 2010). On es descriu amb detall tota la metodologia emprada.

La interceptació de la pluja per part de la coberta vegetal pot calcular-se per mètodes directes o indirectes (Crockford i Richardson, 2000). En aquest, es realitza un mesurament indirecte, estimant-se prèviament la trascolació i l'escorrentia cortical per a després obtenir la interceptació (restant la suma de trascolació i escorrentia cortical, és a dir, la "precipitació efectiva" a la precipitació).

A la taula 6 i taula 7 es presenten les mitjanes i desviacions típiques, de les dades recopilades d'acord amb aquesta metodologia.

## Trascolació

En la major part d'estudis consultats sobre la pluja per superfícies forestals, el component trascolació és sense cap dubte al qual s'han dedicat més esforços, assumint en la major part dels casos valors per l'escorrentia cortical menyspreables (Llorens i Domingo, 2007). La interceptació, per tant, es calcula tenint en compte només l'aigua trascolada que arriba al sòl. És important tenir en compte que per a un bon anàlisi del fenomen de la trascolació tant la variabilitat espacial com la temporal s'han de tindre en compte en el disseny experimental (Lloyd i Marques, 1988). En aquest cas, la variabilitat espacial es va tindre en compte amb diversos mesuraments per tractament, repartits en els tres blocs. Es disposen a més quatre col·lectors en cadascuna de les parcel·les.

Els col·lectors es construeixen amb canals de PVC. Les seues dimensions són de 4 m de llarg per 0,125 m d'ample, resultant un àrea de captació d'aproximadament 0,5 m<sup>2</sup>. La fixació al terreny es va realitzar amb varetes d'acer de 50 cm d'altura (figura 12).



Figura 12. Disposició dels recol·lectors de trascolació (Molina, 2010).

S'aconsegueix una zona de captació aleatòria dins la parcel·la, de forma que cada canal es veu afectada per una cobertura distinta. Pel que fa als dispositius de mesura de l'aigua recol·lectada per les canals, s'utilitza un manual acumulatiu, que consisteix en garrafes de 25 l de capacitat, de manera que es procedeix a l'aforament d'aquestes en intervals de 1 a 2 setmanes, depenent de les pluges esdevingudes.

## Escorrentia cortical

L'escorrentia fustal es va amidar en quatre arbres per tractament, seleccionats d'acord amb la distribució diamètrica dins del tractament. La metodologia per a la mesura consisteix a utilitzar una mànega plàstica de 2,5 cm de diàmetre per a formar l'anell que recobreix el contorn de l'arbre (figura 13). Prèviament a la instal·lació de la mànega, es va eliminar l'escorça de l'arbre per a poder recolzar el plàstic sobre una superfície llisa. La mànega és adherida a l'arbre i segellada a aquest gràcies a un adhesiu plàstic. La mànega es col·loca de forma inclinada fent que l'aigua precipite cap a una garrafa de 6,5 litres de capacitat.



Figura 13. Disposició dels anells de recollida d'escorrentia cortical (Molina, 2010).

La recollida de dades es realitza durant els mateixos períodes que el que s'afora a les garrafes de trascolació, és a dir, igualment amb intervals de 1 a 2 setmanes.

Per a l'estimació de l'escorrentia cortical per tractament (mm), es van tenir en compte els mesuraments realitzats a escala arbre, de manera que es pretenia trobar un escalar (per exemple, l'àrea basimètrica) per a l'extrapolació de les mesures puntuals a tot el tractament, és a dir, a tota la superfície de cadascuna de les parcel·les (Hanchi i Rapp, 1997). Donat que els resultats de les correlacions no van ser satisfactoris (dades no mostrades), s'ha assumit que la mostra representa la mitjana.



Taula 6. Mesures obtingudes de trascolació (percentatge respecte a la Precipitació total) (Molina, 2010).

Tractament	Bloc	Trascolació (%P)
<b>10</b>	1	83,76
	2	85,03
	3	82,87
		83,8 ± 5,1
<b>30</b>	2	71,35
	3	64,10
		67,7 ± 6,0
<b>60</b>	1	59,82
	2	71,75
	3	54,45
		61,3 ± 9,7
<b>100</b>	1	56,14
	2	60,37
	3	52,29
		55,9 ± 7,0

Taula 7. Dades mitjanes relatives a trascolació i escorrentia cortical presentades en, per a cadascun dels tractaments (Molina i Del Campo, 2012).

Tractament	Trascolació	Escorrentia cortical
<b>10</b>	83,8 ± 5,1	0,10 ± 0,01
<b>30</b>	67,7 ± 6,0	0,21 ± 0,1
<b>60</b>	61,3 ± 9,7	0,3 ± 0,1
<b>100</b>	55,9 ± 7,0	1,5 ± 0,3

### 3.3.3 Relacions d'estructura de massa amb hidrologia

Les relacions que es presenten a continuació (Molina i Del Campo, 2012) s'estableixen a partir de relacionar de les dades presentades en els apartats anteriors. Per una banda les característiques de la massa i per una altra banda les mesures de trascolació a les parcel·les d'experimentació. A la figura 14 s'estableixen regressions lineals entre les dades de trascolació per al total del període d'estudi amb les quatre variables que caracteritzen l'estructura de la massa (LAI, Fracció de cabuda coberta, densitat i àrea basimètrica).

En els models no s'ha tingut en compte finalment els resultat de escorrentia cortical, ja que representen una part molt reduïda respecte del total.

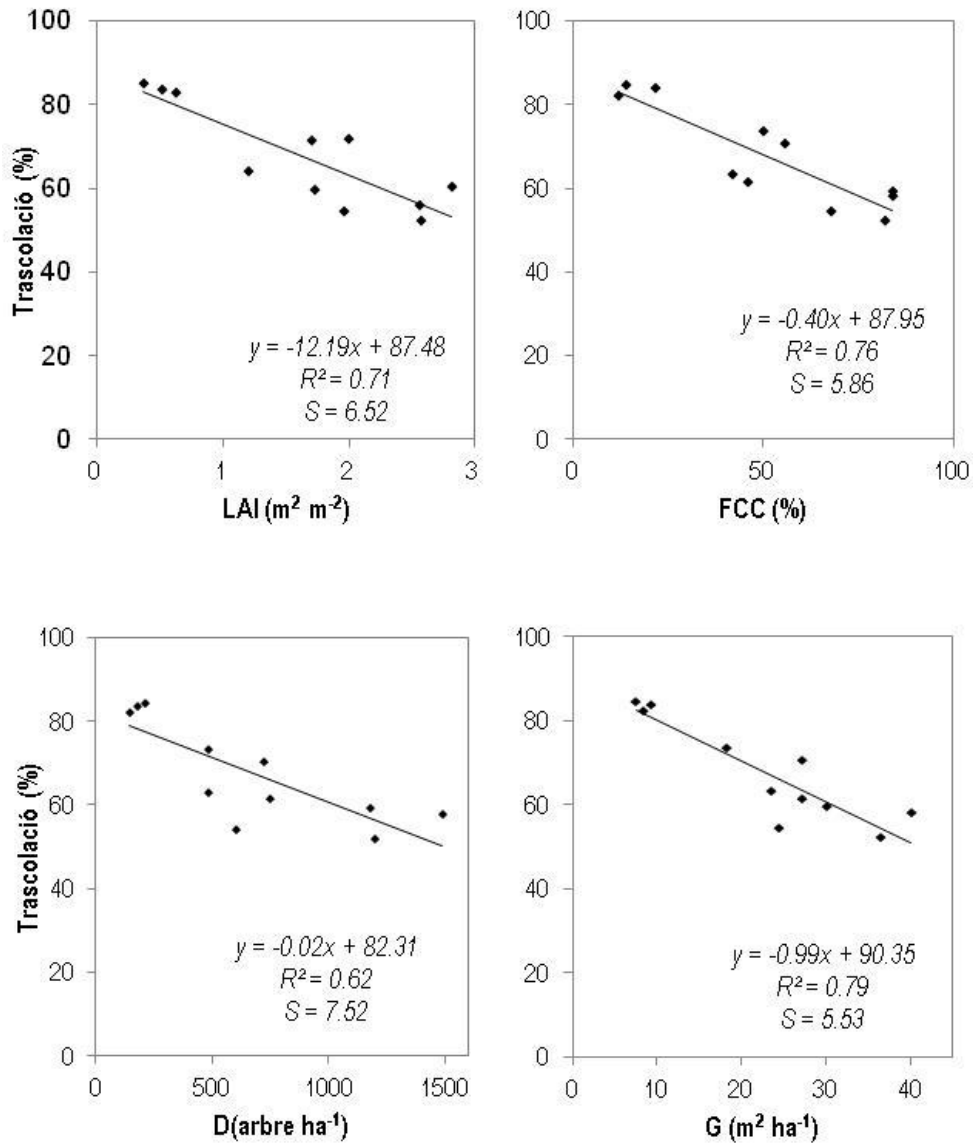


Figura 14. Regressions lineals entre els valors acumulats de trascolació (%) i les quatre variables d'estructura forestal (LAI, FCC, D, G). Totes les regressions resulten estadísticament significatives ( $p > 0.001$ ) (Molina i Del Campo, 2012).

### 3.4. ESTRUCTURA DE LA MASSA MESURADA AMB LIDAR

El primer pas es obtindre les dades del vol LiDAR. la presa de dades LiDAR es realitza pel Plà Nacional de Ortofotogrametria Aèria (PNOA), que depèn del Ministeri de Foment, realitzant a final de l'any 2009 per a la Comunitat Valenciana.

Aquestes dades estan disponibles de manera gratuïta al Institut Cartogràfic Valencià, prèvia autorització, sempre que l'objectiu és un projecte de recerca.

Per tal de realitzar la demanda de cartografia, s'han de sol·licitar per escrit al Institut Cartogràfic Valencià les capes LiDAR del PNOA (en format LAS, format estàndard de dades LiDAR) referents a les fulles a escala 1:10.000 que s'utilitzaran al projecte.

Les característiques del vol utilitzat són les següents:

Taula 8. Característiques del vol LIDAR.

<b>Data del vol</b>	<b>2009</b>
<b>Freqüència mínima d'escaneig</b>	70 Hz
<b>Freqüència d'escaneig</b>	70 Hz
<b>Densitat final del pols</b>	0.5-1 pols/m <sup>2</sup>
<b>Mínim retorn per pols</b>	4

Per al tractament de les dades mesurades amb LIDAR, s'ha utilitzat el software **Dielmo Open LiDAR** sobre software gvSIG (programari lliure de sistemes d'informació geogràfica de la Generalitat Valenciana) per a la visualització i anàlisi general de les dades, i software intern propi de l'empresa Balma Forestal SLP per a l'anàlisi de variables forestals, anomenat **Ferramentes Lidar balma forestal** funcionant sobre base SEXTANTE de gvSIG.

El procés a seguir pel tractament de dades parteix de les dades en format LAS, un núvol de punts irregulars corresponents als punts LiDAR originals. A partir d'aquestes dades amb el software **Dielmo Open LiDAR** (García, 2009) es construeix el **Model**

**digital del Terreny (MDT)**, aquest s'obté interpolant els punts que es corresponen a l'últim pols (figura 15). En el MDT s'aprecia que s'han eliminat els punts corresponents a edificis, vegetació, i altres objectes que no perteneixen al terreny.

A continuació es realitza el **Model digital de Superfícies (MDS)**, que s'obté interpolant els punts del primer pols, és a dir, a partir de les primeres intercepcions en la vegetació. A diferència de l'anterior ací es poden distingir les altures d'edificis, vegetació, ponts, etc (figura 15).

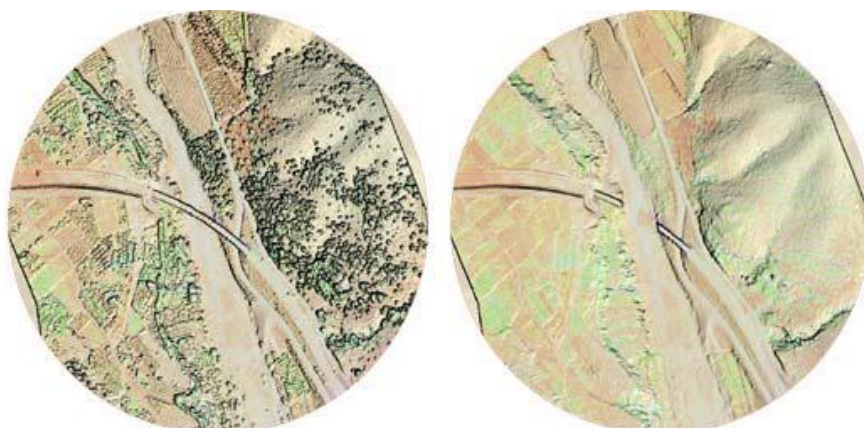


Figura 15. Model digital de Superfícies (esquerra). Model digital del terreny (dreta) (Fabra *et al*, 2010b)

En aquest punt, el següent pas és obtenir el **Model digital de cobertura vegetal (MDC)**, que representa un model de l'altura de la vegetació. Aquest s'obté amb la diferència dels dos models digitals anteriors (**MDS-MDT**).

Per continuar amb el procés una vegada obtinguts el **MDT**, **MDS** i **MDC**, es processa l'informació aplicant software especialitzat, anomenat **Ferramentes LiDAR Balma Forestal** sobre GVSig. Que s'explica a continuació, amb més detall per a cadascuna de les variables. (densitat, altura, Fcc i estructura de vegetació).

Per a la determinació de les variables s'ha utilitzat la metodologia descrita al projecte "*Planificación de actuaciones silvícolas a partir de datos LiDAR*" (Reyna *et al*, 2010). Aquest projecte va dirigit al testat d'aplicacions d'anàlisi forestals a partir de dades LiDAR. Un dels objectius principals d'aquest projecte és establir la metodologia que permet ajustar i testar els resultats generats pel software d'anàlisi de dades LiDAR

(**Dielmo Open Lidar i Ferramentes LiDAR Balma Forestal**) amb dades de camp obtingudes mitjançant inventaris forestals tradicionals a parcel·les en San Juan de Penyagolosa i Aiora.

Seguint aquesta metodologia en el projecte s'han comparat les dades d'inventari de les parcel·les d'estudi inventariades amb els criteris utilitzats tradicionalment, amb les mateixes variables mesurades amb LiDAR. En aquest cas les variables dasomètriques estudiades han sigut les següents: **densitat de peus, fracció de cabuda coberta i altura.**

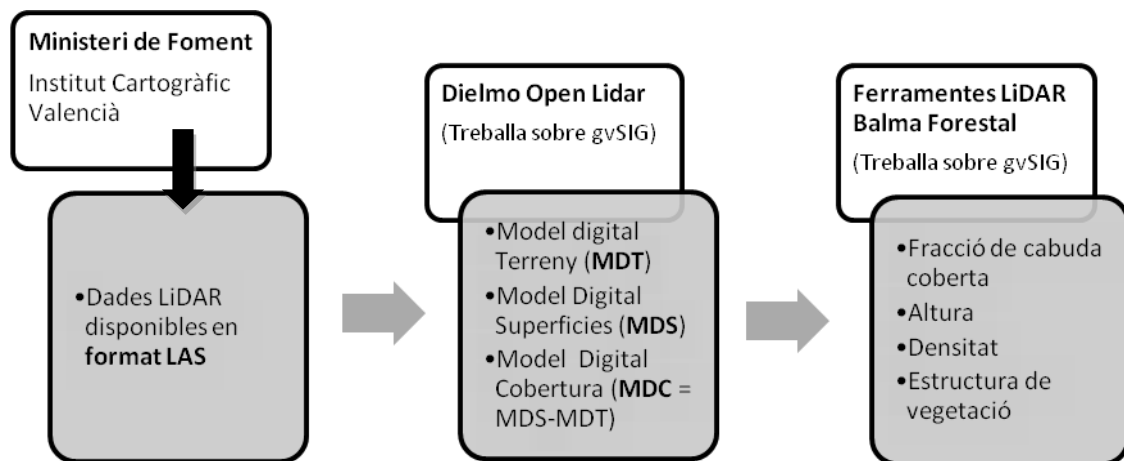


Figura 16. Esquema de les passes a desenvolupar des de l'origen (font de les dades) i el procés seguit d'acord amb el software utilitzat. Font: elaboració pròpia.

## ESTIMACIÓ VARIABLE DENSITAT

Per a determinar el número de peus a partir de les dades LAS (format estàndard de dades LiDAR) existeixen diferents algorismes (Persson, 2001). S'ha utilitzat l'aplicació **Ferramentes LiDAR Balma Forestal** amb Dielmo Open Lidar sobre software gvSIG (figura 17), que es basa en una sèrie d'algorismes que determinen el màxim relatiu per a un determinat número de píxels al voltant de cadascun dels píxels analitzats.

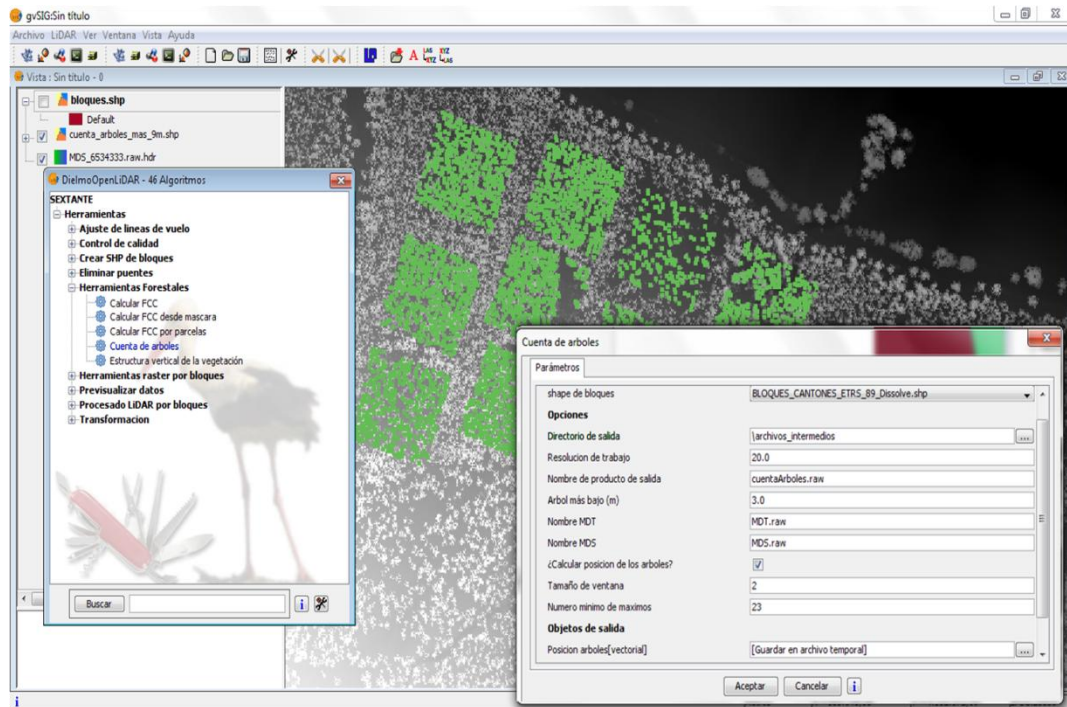


Figura 17. Captura de l'utilització de l'aplicació Ferramentes Forestals per al càlcul de la densitat (anomenat “cuenta de árboles”). S'observa com es treballa amb gvSIG, i a l'esquerra dins de Dielmo Open Lidar, com s'obri el desplegable corresponent a Ferramentes Forestals. Font: elaboració pròpia.

A mode d'exemple si s'analitza la informació vertical que proporciona LiDAR s'observa (figura 18) que la forma del dosser de copes en el estrat dominant es comporta com una corba continua de màxims i mínims, on el màxim es correspon amb la part més alta de la copa interceptada.

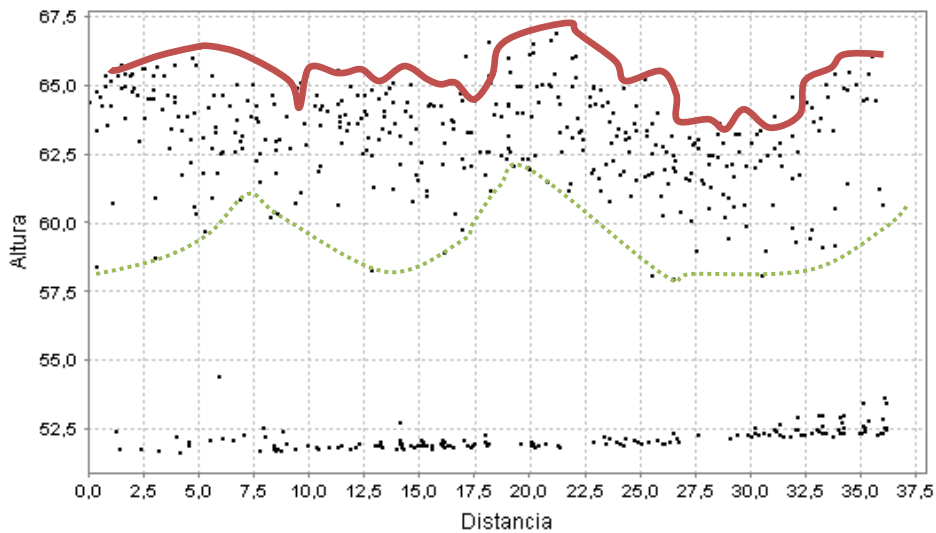


Figura 18. Perfil transversal de la capa LAS de MDS (Model Digital de Superfícies) on s'observen els màxims relatius de les copes (Reyna *et al*, 2010).

Per determinar aquest màxim es compara l'altura del retorn de LiDAR de cadascun dels píxels amb els adjacents; si l'altura d'un píxel es major que l'altura dels píxels dels seu voltant, el software el considera com a arbre i guarda les seues coordenades i altura (figura 19). El número de píxels és una variable del programa que pot ser modificada, segons es considere només la primera fila que envolta un píxel o també la segona.



Figura 19. Esquema d'un píxel que és màxim relatiu respecte als seus adjacents (roig). En groc els píxels de la primera fila que es comparen amb el central, i en marró la segona fila de píxels quan s'amplia els píxels amb els que es compara el píxel central. Els números indiquen la numeració correlativa dels píxels (Reyna *et al*, 2010).

El número de píxels adequat que s'ha d'utilitzar per a la comparació relativa, es determina realitzant diverses proves:  $h > 8$  píxels,  $h > 7$  píxels,  $h > 24$  píxels i  $h > 23$  píxels adjacents. Com cadascun dels píxels és de 1 m x 1 m, açò suposa un màxim relatiu cada

9 m<sup>2</sup> (8 píxels), i cada 25 m<sup>2</sup> (24 píxels), dos màxims relatius cada 25 m<sup>2</sup> (23 píxels) i dos màxims relatius cada 9 m<sup>2</sup> (7 píxels). Segons la estructura forestal (principalment relacionada amb la densitat final) acoblarà més un o altre sistema (taula 9).

Taula 9. Píxels adequats per a cadascun dels rangs de densitats (Reyna *et al*, 2010).

h>	Nº de peus màxim detectat	Densitat alta (1000 a 2000 peus/ha)	Densitat mitja-alta (750-1000 peus/ha)	Densitat mitjana (350 a 750 peus/ha)	Densitat baixa (0 a 350 peus/ha)
<b>7 píxels</b>	2 peus/9m <sup>2</sup>	<b>Òptim</b>	Detecta un número major de peus (copes deformades i bifurcats)	Detecta major número de peus	Detecta un número molt major de peus
<b>8 píxels</b>	1 peú/9m <sup>2</sup>	Detecta menys arbres dels reals	<b>Òptim</b>	Detecta un número major de peus (copes deformades i bifurcats)	Detecta major número de peus
<b>23 píxels</b>	2 peus/25m <sup>2</sup>	Detecta molts menys peus que els reals	Detecta menys arbres dels reals	<b>Òptim</b>	Detecta major número de peus (copes deformades i bifurcats)
<b>24 píxels</b>	1 peú/25 m <sup>2</sup>	Detecta molts menys peus que els reals	Detecta molts menys peus que els reals	Detecta menys peus que els reals.	<b>Òptim</b>

Tal i com es pot observar amb pixelats molt menuts es detecten densitats altes, però si aquests pixelats s'apliquen a densitats baixes es podria sobreestimar la densitat, pel fet que es poden identificar copes grans, deformades o bifurcades com si es tractara de dos peus. Contràriament a l'anterior amb pixelats grans es impossible determinar densitats baixes. L'ús de 2 mínims relatius és interessant ja que permet la detecció de peus codominants (taula 9).

Com a exemple d'aplicació de la taula 9 tenim una zona on es troben arbres aïllats amb un gran desenvolupament de capçada, que fa que l'aplicació LiDAR estime 4 peus on



realment hi ha sols 2 peus, en aquest cas amb densitats baixes es recomana l'ús de 24 píxels (amb un màxim relatiu cada 24 m<sup>2</sup>) (figura 20). A continuació exemple de la seua aplicació a la zona d'experimentació (figura 21).

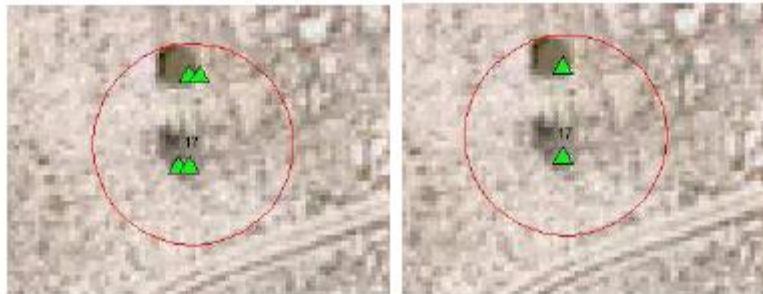


Figura 20. Densitat calculada per a  $h>23$  píxels (esquerra) i  $h>24$  píxels (dreta)(Fabra *et al*, 2010b).



Figura 21. Ortofoto de la zona d'estudi amb els arbres detectats per LiDAR marcats amb un punt, s'observa com segons l'estructura de la massa, la majoria de punts coincideixen amb l'àpex d'un arbre. Font: elaboració pròpia

El següent pas es diferenciar els punts corresponents a arbrat dels corresponents a matoll. Per a això, a més d'especificar el pixelat, l'aplicació permet seleccionar una altura mínima,  $Z$ , per baix de la qual no es tindrà en compte els punts. L'altura mínima s'aplica quan sols es volen identificar els peus d'una determinada altura, o per si hi ha una zona dins de la massa de matoll que no es vol tindre en compte.

En aquest cas, donat que l'altura de l'arbrat a la forest de la Hude és més bé modesta, s'han establert diferents altures mínimes per comprovar quina de les dos altures és més ajustada a les característiques de la massa, aquesta comprovació de diferents alternatives forma part de l'objectiu procedimental número 1. Així, s'han utilitzat Z=4 m i Z= 2 m i s'ha mesurat la densitat per als dos casos. Obtenint per tant un nombre elevat de combinacions, ja que s'ha mesurat la densitat per 7, 8, 23 i 24 píxels, i a més per a un màxim de 4 i 2 metres d'altura. Per tant s'obtenen 8 alternatives que ens permeten triar l'opció més adequada en cada cas (taula 10). Els resultats s'obtenen per a cel·les de 10x10 metres.

Taula 10. Resum de les opcions disponibles de densitats a cadascuna de les parcel·les.

<b>Z=2m</b>	<b>h&gt;7p</b>
	<b>h&gt;8p</b>
	<b>h&gt;23p</b>
	<b>h&gt;24p</b>
<b>Z=4m</b>	<b>h&gt;7p</b>
	<b>h&gt;8p</b>
	<b>h&gt;23p</b>
	<b>h&gt;24p</b>

Una consideració a destacar és que les dades LiDAR a més de donar informació sobre el número de peus proporcionen informació sobre l'ubicació de cadascun dels peus amb una precisió relativament alta (menys de 1 m<sup>2</sup>). Encara que s'ha de tindre en compte que no sempre l'àpex es localitza en la mateixa posició de la base del canó, especialment en peus inclinats. En peus molt inclinats a més de que la localització no siga precisa també pot existir un problema al contar els arbres donat que el làser pot incidir en dos parts del mateix arbre.

Una altra consideració important a tindre en compte en el número de peus mitjançant l'anàlisi LiDAR és que els peus dominats o submergits són difícilment identificables, pel que sols s'obté el número de peus que componen l'estrat dominant. Segons l'estructura fitosociològica de la massa, el número de peus dominats o submergits pot ser mes o menys important, però encara que aquests peus poden resultar important en determinats casos, en la majoria dels casos no aporten canvis substancials en

variables dendromètriques, com l'àrea basimètrica, l'altura dominant o les existències en volum.

## ESTIMACIÓ FRACCIÓ DE CABUDA COBERTA

Per al càlcul de la fracció de cabuda coberta (Fcc) s'ha utilitzat l'aplicació **Ferramentes LiDAR Balma Forestal** amb Dielmo Open LiDAR sobre software gvSIG (figura 22), este software calcula la Fcc a partir del MDC (Model Digital de Cobertura), assignant un valor binomial, 1 per a aquells píxels que tinguen un valor de cota superior a la estipulada (Z), i 0 per a aquells amb un valor menor. Igual que a la variable anterior per acomplir amb l'objectiu procedimental número 1 s'utilitzen les alternatives Z=2 m i Z=3 m.

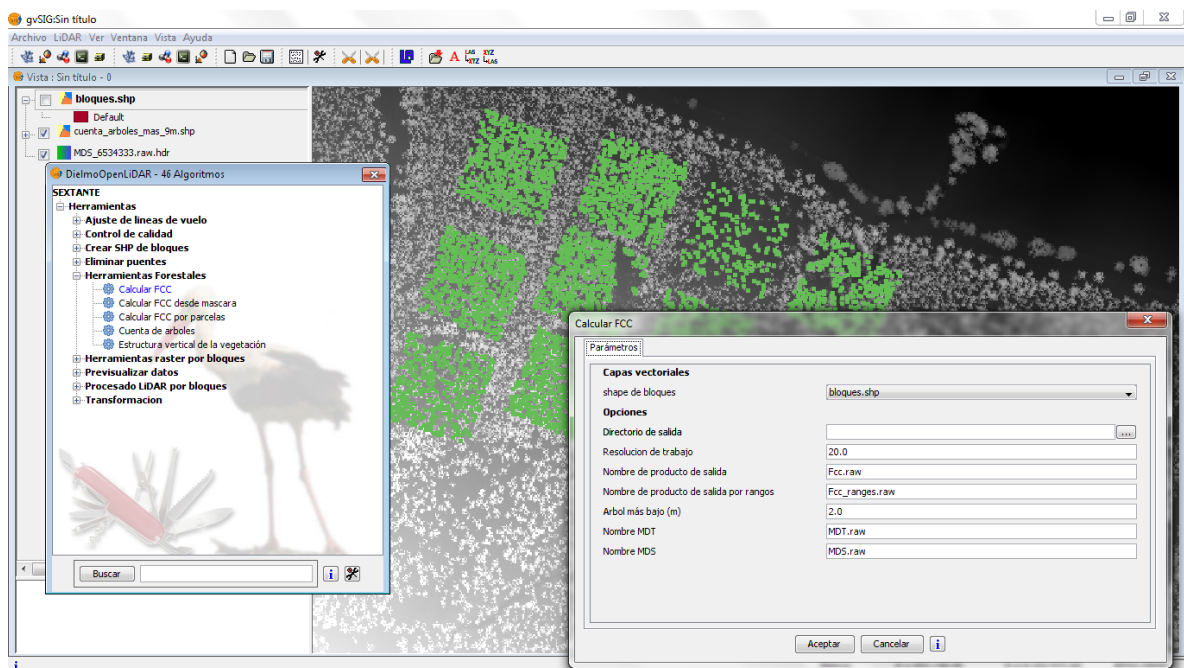


Figura 22. Captura de l'aplicació en el moment de calcular la fracció de cabuda coberta. Font: elaboració pròpia.

D'aquesta forma s'observa una capa binomial com apareix a la figura 23 on s'observa en blanc (1) la vegetació, i en negre (0) on la vegetació és menor a Z. Per a establir la FCC de l'arbrat seria suficient amb assignar un valor de Z de forma que quede inclòs la part més ampla de la capçada de l'arbrat (altura a la base de la copa viva/morta).

L'aplicació té en compte la definició selvicola de Fcc: Grau de recobriment del sol per la projecció vertical de les copes de l'arbrat (S.E.C.F, 2005), per tal d'aconseguir-ho s'eliminen els píxels negres que queden dins les copes dels arbres expandint i contraent els píxels i formant estructures homogènies en les copes (figura 23).

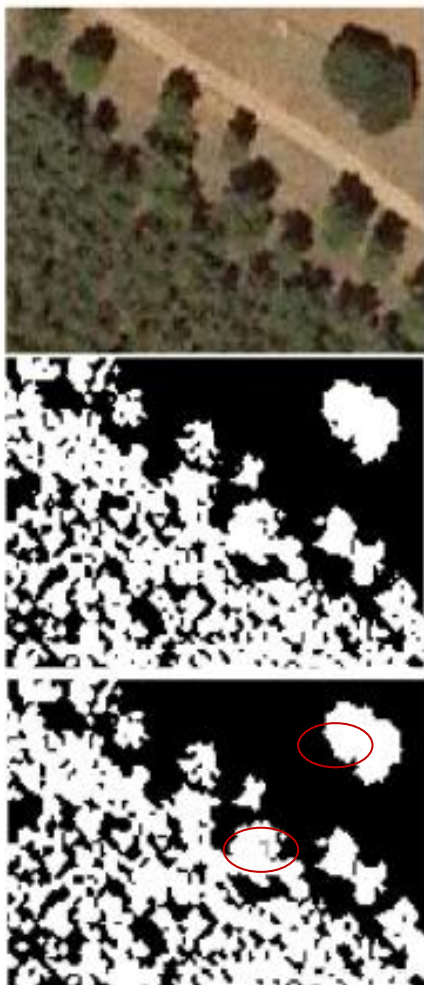


Figura 23. Determinació de la Fcc a partir de dades LiDAR. Comparació amb l'ortofoto (dalt), Fcc amb els píxels sense eliminar (al mig), Fcc amb eliminació de píxels a l'interior de les copes (baix) (Reyna *et al*, 2010)

L'eliminació dels píxels que queden a l'interior de les copes dels arbres es realitza per que es interessant per a la caracterització de la massa a nivell de variables forestals, encara que hidrològicament no queda totalment justificat ja que podria resultar interessant.

Cal assenyalar que els mètodes per a la estimació en camp de la Fcc (densímetre, fotografia hemisfèrica, LICOR...), sempre prenen dades d'allò que hi ha per dalt de l'observador. Per aquest motiu normalment s'estableix Z en 2 metres d'altura, considerant que l'observador fa la mesura a aquesta altura aproximadament. Encara que s'ha realitzat també la medició amb Z =3 metres per comprovar quina tenia millor ajust a les dades de camp (taula 11). D'aquesta forma igual que el cas de la densitat s'obté un rang de dades més elevat que permet fer un millor ajust.

Taula 11. Es presenta les opcions obtingues al realitzar la mesura de Fracció de cabuda coberta amb a partir de diferents Z mínimes. Font: elaboració pròpia.

Z=2m	FCC
Z=3m	FCC

S'han utilitza píxels de 1x1 metres de dimensió per al càlcul, resolució mínima de dades disponibles. Encara que com a les altres variables s'utilitzen cel·les de 10 x 10 metres.

Una vegada obtingudes les diferents capes segons la Z mínima siga 2 o 3 metres, es calcula la Fcc per a cada parcel·la. Per tal de fer-ho es realitzat un tall de la capa de les parcel·les sobre la capa de Fcc, aleshores es conta el número de 1 i 0 que apareixen. El valor de Fcc s'obté del producte dels píxels que han interceptat coberta vegetal (1) amb el total de píxels dins de la parcel·la (fórmula 1).

Fórmula 1

$$FCC(\%) = \frac{\text{núm de píxels amb valor 1}}{\text{núm de píxels total}} \times 100$$

## ESTIMACIÓ VARIABLE ALTURA

Per tal de calcular l'altura a partir de les dades de LiDAR, s'ha utilitzat l'aplicació **Ferramentes LiDAR Balma Forestal** amb Dielmo Open LiDAR sobre software gvSIG (figura 24), la metodologia per al càlcul de l'altura individual dels arbres s'obté de forma anàloga al número de peus, basant-se en la metodologia exposada en el apartat

de densitat per poder diferenciar les copes unes de les altres dins el conjunt del dossier de la coberta forestal, al correspondre l'altura del peu amb la del màxim relatiu.

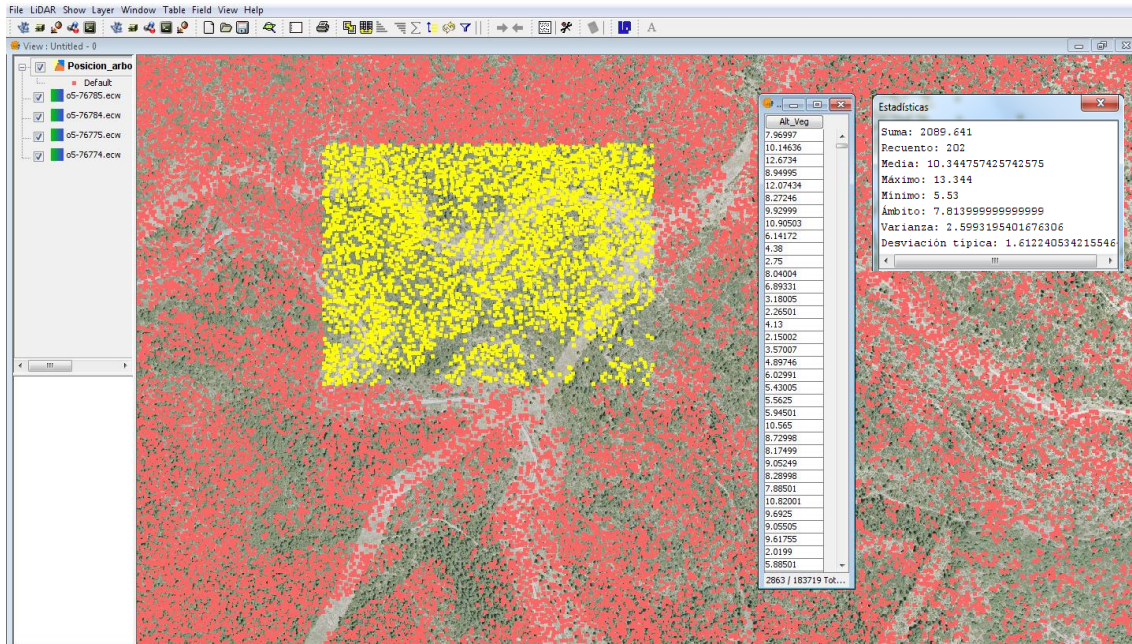


Figura 24. Captura de l'aplicació en el moment en que es calcula l'altura dels arbres, a la part dreta superior, s'observa el càlcul de l'altura màxima, altura mínima i la mitjana. Font: elaboració pròpia.

Amb aquest procés s'obtenen automàticament resultats d'altura mitjana, mínima i màxima per a cel·les de 10 X 10 metres. Aquestes cel·les sols es consideren com a part de la parcel·la, si la cel·la esta més de la meitat dins de la parcel·la; aleshores es considera part d'aquesta parcel·la i s'utilitza per a realitzar els càlculs d'altura.

Dins la metodologia d'aquest treball s'ha considerat l'utilització d'aquesta grandària de cel·les (100 m<sup>2</sup>), ja que des d'una perspectiva selvícola, es considera una mesura suficient d'acord amb la variabilitat que es pot donar a l'estructura del bosc mediterrani. Encara que LiDAR permet obtindre l'altura individual de cadascun dels arbres, i es podria optar per una grandària mínima de un metre quadrat de píxel. S'ha decidit l'aplicació d' aquesta metodologia per tal d'aconseguir una ferramenta amb la màxima automatització del procés de presa de dades; d'aquesta forma s'aconsegueix una aplicació més senzilla al conjunt del territori.

A més l'altura es pot estimar tant per a arbres individuals com per a grups d'arbres. En ocasions no és necessari obtindre l'altura dels arbres individuals, existeixen variables relatives a la massa com l'altura dominant que pot determinar-se sense conèixer l'altura de cadascun dels arbres individualment.

Per al càlcul de l'altura s'ha de tindre en compte que s'ha demostrat que la correcta estimació de l'altura depèn de l'espècie, presentant les espècies de port piramidal un major error que altres espècies menys piramidals, amb errors d'entre 0,5 i 1 metres per a *Pinus ponderosa* i *Abeto douglas* respectivament (Andersen, 2006). Estadísticament es demostra que LiDAR subestima la mesura de altures, ja que tots els raig no intercepten exactament l'àpex de l'arbre com es pot veure a la figura 25 (Fabra *et al*, 2010b). En aquest cas d'acord amb Fabra *et al*, 2010b, s'ha incrementat l'altura obtinguda per als arbres mesurats, en 0,7 metres, directament sobre l'altura obtinguda.



Figura 25. Mesures d'altura sobre una massa de *Pinus halepensis* (Fabra *et al*, 2010b).

Com a consideració, indicar que Les altures de la vegetació estimada a partir del MDC (Model Digital de Cobertura) poden acumular les errades de la generació del MDS (Model digital de Superfícies) i MDT (Model Digital del Terreny). Especialment el MDT en zones amb orografia complexa pot aportar errades significatives.

## ESTIMACIÓ DE LA ESTRUCTURA DE VEGETACIÓ

La disponibilitat de l'estructura tridimensional del bosc a partir del LiDAR, ofereix núvol de punts amb rebots a diferents altures que facilita la classificació d'estructures de vegetació. D'aquesta forma es realitza la diferenciació d'estructures de vegetació amb o sense continuïtat de la massa entre l'estrat de matoll i l'estrat de copes. Amb l'aplicació **Ferramentes LiDAR Balma Forestal** amb **Dielmo Open LiDAR** sobre software gvSIG s'obté l'estructura de la vegetació seguint la següent metodologia.

Segons aquesta aplicació, l'estructura vertical de la vegetació, es compon per 62 bandes. En cadascuna de les bandes apareix l'informació sobre el número de punts presents en cadascuna, aquesta informació es recollida en increments de 0,5 metres d'altura (figura 26).

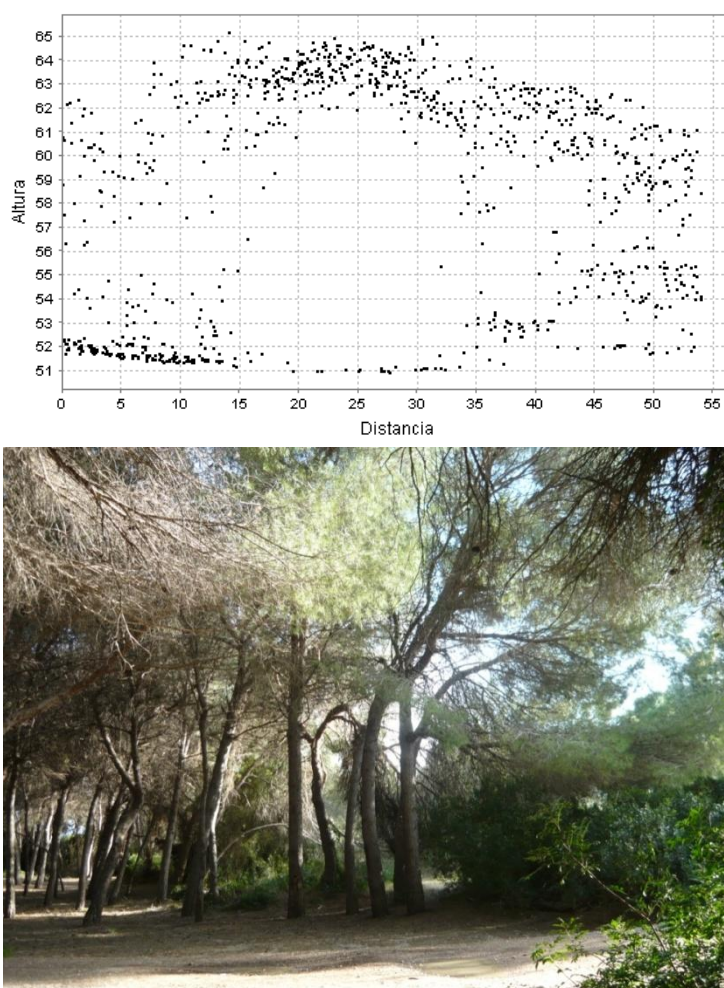


Figura 26. Exemple de representació del número de punts per a cadascuna de les bandes, comparat amb l'imatge real de la forest (Dielmo, 2010).



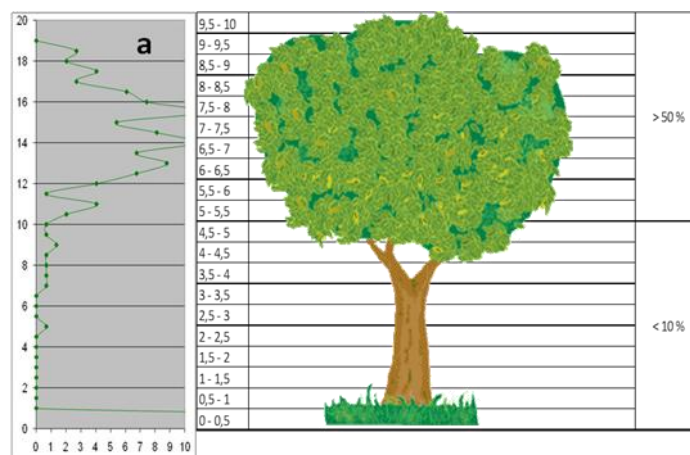
Per tant, es poden establir les diferents estructures de vegetació segons el percentatge de punts existents en cada banda (figura 27). El programari és capaç de determinar i d'automatitzar la classificació de les diferents estructures, a partir de la densitat de punts proporcionada.

Per a la classificació realitzada s'ha simplificat les estructures de la massa en 4 models, partint del models de combustible (taula 12).

Taula 12. Definició dels models utilitzats per a la classificació de la massa forestal.

Model	Definició
<b>a</b>	Estructura arbrada sense presència de matoll.
<b>b</b>	Estructura de matoll sense presència d'arbrat.
<b>c</b>	Estructura de matoll i arbrat, sense continuïtat de combustible.
<b>d</b>	Estructura de matoll i arbrat, amb continuïtat de combustible. (es considera continuïtat de combustible a partir de 2m altura)

Amb aquesta estructura vertical, es determina l'estructura de la vegetació automàticament, amb una precisió en altura de 15 cm. S'han utilitzat cel·les de 10 x 10 metres.



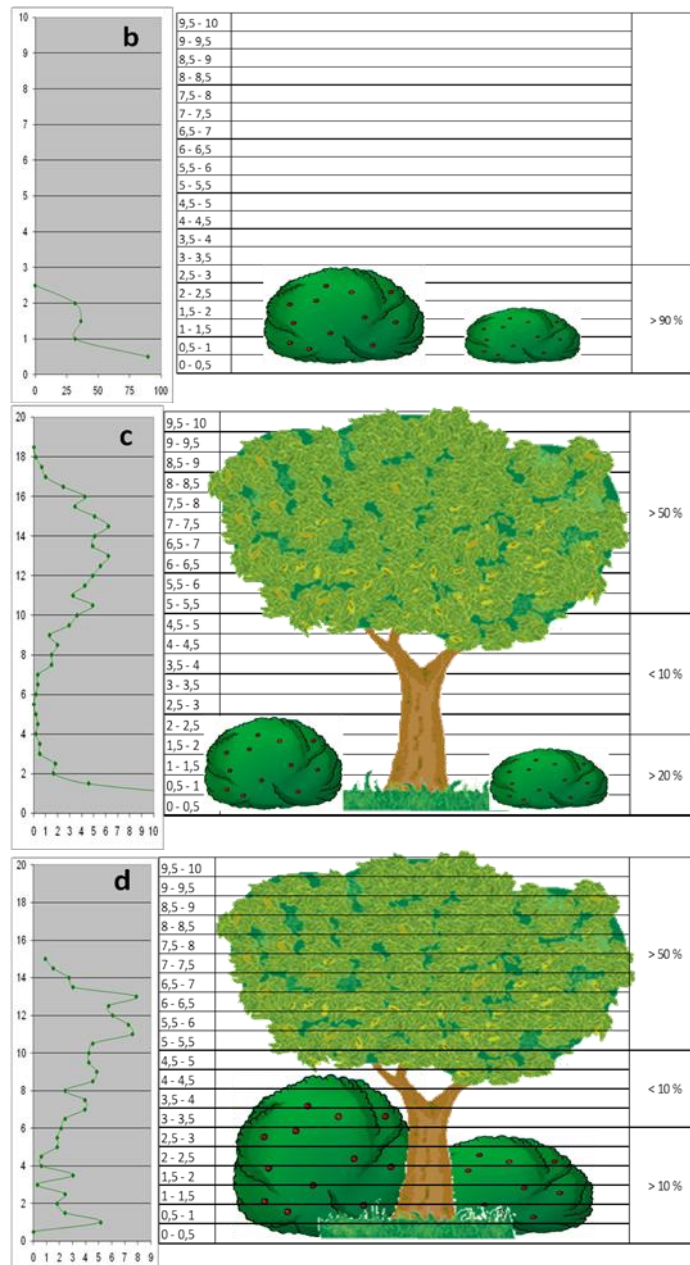


Figura 27. Representació de les diferents estructures de vegetació, a la columna esquerra es representa el percentatge de punts que trobem a cadascuna de les bandes, i la columna de la dreta el percentatge de punts que corresponen als rangs que es consideren matoll, la copa de l'arbre o l'estrat de la transició (adaptada de Balma 2010).

### 3.5. ESCALAT DE DADES A CONCA HIDROLÒGICA

Una vegada analitzades les dades disponibles a les parcel·les experimentals s'ha de buscar un mètode per poder escalar aquestes dades a nivell de la conca hidrològica on es realitza l'estudi, per a això, la metodologia aplicada en la escala de forest (figura 28) consisteix en un primer moment en recopilar tota la informació disponible referent a la conca hidrològica a estudiar. La informació disponible esta formada per la informació obtinguda mitjançant la tecnologia LiDAR (Densitat, Fcc, altura i estructura de vegetació), i la informació referent a altres característiques de l'àrea d'estudi (vegetació, pendent, tipus de sol, etc).

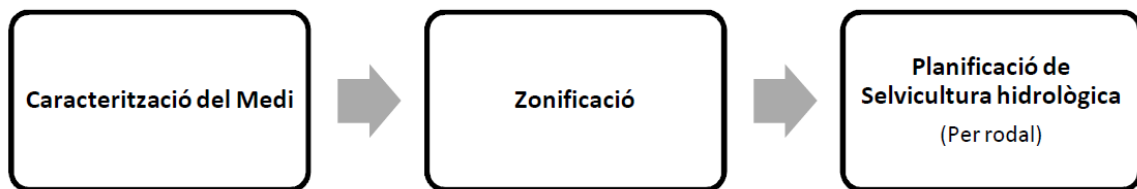


Figura 28. Esquema del procés a seguir per tal d'aplicar la selvicultura hidrològica a la zona d'estudi. Font: elaboració pròpia.

Per acomplir amb l'objectiu procedimental número 3, una vegada tenim la informació de caracterització del medi, s'han comparat dos metodologies per rodalitzar, per una banda s'utilitzen les relacions obtingudes entre variables d'estructura de la massa i variables hidrològiques per rodalitzar segons la trascolació, i per una altra banda es planteja una metodologia d'ordenació tradicional basada en les variables d'estructura de la massa. La metodologia d'ordenació segons les característiques de la massa es troba a l'Annex 1.

A continuació en primer lloc s'explica la definició de rodal, i en segon lloc es presenta la metodologia de rodalització basada en les variables hidrològiques.

## **RODALITZACIÓ FORESTAL**

La rodalització consisteix en dividir la conca (400 hectàrees) en unitats més menudes; aquestes unitats s'anomenen rodals, són unitats de terreny forestal homogeni en base a una sèrie de criteris o característiques determinades, que serveixen a uns objectius de gestió o de planificació forestal concrets. Entre aquestes característiques estan lògicament les selvícoles, però també l'objectiu de l'intervenció proposada, de les característiques de l'hàbitat, etc (Molina *et al*, 2006).

D'acord amb el manual d'ordenació per rodals, on s'aposta per una gestió multifuncional dels espais forestals. Aquest mètode facilita una major tecnificació de les decisions selvícoles, major varietat d'espècies i estructures en el bosc, millor adaptació als diferents usos i objectius, major capacitat d'adaptació a les noves directrius de gestió, major facilitat de diversificació d'espècies per introducció o per colonització natural i una llarga llista de possibilitats. L'ordenació per rodals es un dels sistemes de planificació dels espais forestals més avançats actualment disponibles per a respondre de forma eficaç al repte de la gestió multifuncional i la conservació dels ecosistemes forestals (Molina *et al*, 2006).

## **RODALITZAR AMB VARIABLES HIDROLÒGIQUES**

Per treballar amb la trascolació com a variable per rodalitzar el primer pas ha estat, definir uns rangs per a la classificar la variable, els valors de trascolació s'han dividit en 4 classes (I,II,III,IV) partint dels valors mitjans per a trascolació en masses d'arbrat, que són d'un 79% amb un coeficient de variació d'aproximadament un 10%, segons el treball de revisió realitzat per Llorenç i Domingo, 2007.

Com a base per a la definició dels rang s'ha utilitzat la mitjana de trascolació per a arbrat. A partir d'aquesta dada s'ha definit la Classe III, que es correspon amb la mitjana  $\pm$  un 10% (Coeficient de variació), a continuació s'ha definit una classe que es correspon amb els valor per dalt de la mitjana (Classe IV), i per els valors que queden per baix de la mitjana, s'ha optat per fer 2 classes diferenciades. Una classe (Classe II)

es correspon amb un 10 % menys que la classe III, i a l'altra (Classe I) amb el conjunt de valors per baix d'aquesta, que es consideren els cassos més extrems (taula 13).

S'ha optat per realitzar dos classes en aquest últim rang de valors donat que es aquesta zona la que presenta un major interès, ja que sobre aquest tipus de masses es més aconsellable una intervenció de selvicultura hidrològica.

Taula 13. Classes de percentatge de trascolació definides i nivells de necessitat d'intervenció sobre la massa proposats -Intervals elaborats a partir de la mitjana  $\pm$  S (Llorenç i Domingo, 2007).

Classe	Rangs Trascolació(%)	Intervenció
I	0-59%	Molt necessària
II	60-69%	Aconsellable
III	70-88%	Si conflueixen altres objectius
IV	>89%	Sense intervenció

Una vegada definits els rangs, el següent pas és calcular la trascolació (%) per al conjunt de la conca a partir de les relacions obtingudes a les parcel·les.

Aquest càlcul s'ha realitzat amb el software d'Arcgis, **Arcmap 9.3** amb la ferramenta *raster calculator*, aquesta ens permet aplicar l'equació del model de trascolació en funció de l'estructura a cadascuna de les cel·les (10X10 m) de la conca. Aquesta operació s'ha realitzat per als dos models obtinguts, el model basat en la densitat i el model basat en la Fracció de cabuda coberta.

Encara que es calcula la trascolació amb les dos varibales (Fcc i densitat), la rodalització es basa en el model de trascolació segons la variable Fracció de cabuda coberta ja que aquest model es amb el que s'obté un millor ajust (figura 32).

Una vegada conegudes aquestes variables per a tota la conca hidrològica amb una resolució de 100 m<sup>2</sup>, aquestes dades s'ha d'agrupar en rodals (unitats homogènies)

suficientment grans per a la seua gestió. D'acord amb el Manual d'ordenació per rodals (Molina *et al*, 2006), pot ser necessari en determinades circumstàncies diferenciar rodals d'una superfície menuda, però sempre superiors a una hectàrea, per tant es defineix com a superfície mínima una hectàrea.

Per acabar amb aquest punt de la metodologia, una vegada definits els rodals i coneguts els valors de trascolació per a cadascun, es recopilen totes les dades que defineixen el rodal (pendent, estructura de vegetació, tipus de sol), per tal d'ajudar a la caracterització del rodal.

Les intervencions que es proposen realitzar sobre els rodals estaran limitades per les característiques del rodal, el primer factor limitant és la pendent, es considera que no s'aplicaran tractaments selvícoles a rodals amb pendents superiors al 50 %.

Amb tota la informació disponible per a cada rodal es procedeix a presa de decisions sobre les intervencions a realitzar.

### **3.6. TRACTAMENT I ANÀLISI ESTADÍSTIC DE LES DADES**

Les anàlisis estadístiques així com l'estimació d'estadístics descriptius es van realitzar amb el paquet informàtic SPSS 16 per a l'anàlisi de regressions i Anova, i Statgraphic 5.1 per a la comparació de pendents i punts de tall dels models.

Per tal de realitzar els anàlisi, en tots els casos es treballa amb un nivell de significació de  $p \leq 0,05$ .

#### **Anàlisi de regressions**

Pel que fa a la regressió lineal, aquesta ens permet avaluar si la relació entre dues variables (depenent i independent) segueix una funció rectilínia i com s'ajusten les dades observades a aquesta relació (coeficient R de l'ajustament). També s'utilitza aquesta tècnica per desenvolupar una equació lineal amb fins predictius.

Per a aplicar-la, els requisits que han de complir-se són:

- Linealitat

- Independència dels residus (diferències entre els valors observats i els pronosticats).
- Normalitat dels residus
- Igualtat de variàncies dels residus

La linealitat es comprova emprant el coeficient de correlació de Pearson. Per al cas de la independència, aquesta es va avaluar fent ús del test de Durbin-Watson. Valors de l'estadístic entre 1,5 i 2,5, indiquen independència dels residus del model. Es va assumir tant la normalitat com la igualtat de variàncies per als residus en totes les anàlisis de regressió lineal realitzades.

Totes les anàlisis es van portar a terme amb un nivell de significació  $p < 0,05$ .

### **ANOVA univariant**

L'anàlisi de variància d'un factor (ANOVA) serveix per a comparar diversos grups en una variable quantitativa. A la variable categòrica que defineix els grups que es desitja comparar se li anomena independent o factor. A la variable quantitativa en la qual es desitja comparar els grups se li anomena dependent.

La hipòtesi que es posa a prova en el ANOVA d'un factor és que les mitjanes poblacionals són iguals. Si les mesures poblacionals són iguals, això significa que els grups no difereixen en la variable dependent, i en conseqüència el factor és independent de la variable dependent.

La variable dependent és la variable quantitativa de la qual es desitja comparar els grups, i la variable factor és la variable categòrica que defineix els grups que es desitja comparar.

S'ha realitzat amb el SPSS 16, una anàlisi d'ANOVA, amb l'opció d'ANOVA univariant on el factor es el mètode de mesura (convencional o el LiDAR), per comprovar si hi ha diferències significatives segons el mètode utilitzat per a mesurar la variable.

Dins de L'ANOVA s'ha realitzat la prova d'homogeneïtat de variàncies mitjançant el contrast de *Levene* (1960), per a contrastar la hipòtesi de que els grups definits per la variable factor procedeixen de poblacions amb la mateixa variància.

### **Comparació de pendents**

S'ha utilitzat el software Statgraphic 5.1, per tal de realitzar una comparació de les pendents i punts d'intersecció de les rectes de diferents models analitzats, la comparació es realitza entre els models de Molina i del Campo, 2012 i els obtinguts a aquest treball. Per revisar si existeixen diferències significatives s'ha utilitzat dins el menú avançat, l'opció de regressió avançada, i finalment l'apartat de comparació de línies de regressió.



## **4. RESULTATS**

En primer lloc es presenten les mesures obtingudes per a les variables d'inventari mesurades amb LiDAR, a continuació la relació entre aquestes mesures i la variable hidrològica estudiada, la trascolació, i per acabar es traslladen aquestes relacions del nivell de parcel·la a nivell de forest.

### **4.1. ESCALA PARCEL·LA**

#### **4.1.1 Variables mesurades amb LiDAR**

Es presenten, les mesures obtingudes per a cadascuna de les variables d'inventari forestal, mesurades amb la tecnologia LiDAR, per a totes les parcel·les d'experimentació analitzades.

#### **Estimació Densitat**

A la taula 14 es presenten les mesures obtingudes per a aquesta variable, obtenint 8 possibles mesures per a cadascuna de les parcel·les, d'acord amb l'objectiu procedimental número 1.

Taula 14. Diferents mesures obtingudes per a la variable densitat, mesurades amb tecnologia LiDAR a les parcel·les d'estudi. Per a Z=2 m, i Z=4 m, així com per als diferents píxels, d'acord amb la metodologia. Font: elaboració pròpia.

Tractament	Bloc	Densitat Z=2m (peus·ha <sup>-1</sup> )				Densitat Z=4m (peus·ha <sup>-1</sup> )			
		h>7p	h>8p	h>23p	h>24p	h>7p	h>8p	h>23p	h>24p
10	1	800	344	411	200	778	333	411	200
	2	856	378	433	200	744	367	433	200
	3	989	411	389	167	956	378	367	167
		881,7±97,1	377,7±33,5	411±22	189±19,1	826±113,9	359,3±23,4	403,7±33,6	189±19,1
30	2	1489	656	644	322	1544	644	644	333
	3	1722	733	667	322	1744	733	678	322
		1605,5±164,7	694,5±54,4	655,5±16,3	322±0	1644±141,4	688,5±62,9	661±24,04	327,5±7,8
60	1	1667	867	744	311	1656	856	744	322
	2	1177	489	500	267	1177	456	522	278
	3	1744	711	722	300	1677	700	711	300
		1529,3±307,2	689±189,9	655,3±134,9	292,7±22,9	1503,3±282,8	670,7±201,6	659±119,8	300±22
100	1	1078	611	589	289	1189	611	589	289
	2	1733	856	733	311	1633	811	733	311
	3	1600	711	511	256	1444	711	711	256
		1470,3±346,2	726±123,2	611±112,6	285,3±27,7	1422±222,8	711±100	677,7±77,6	285,3±27,7

Seguint els criteris establerts a la metodologia s'han escollit d'entre els resultats de la taula 14, els següents valors com a l'estimació més adient de la variable densitat (taula 15).

Taula 15. Densitats òptimes per a cadascuna de les parcel·les, obtingues seguint els criteris exposats a la taula 9. Font: elaboració pròpia.

Tractament	Bloc	Densitat (z=2m) (peus·ha <sup>-1</sup> )	Densitat (z=4m) (peus·ha <sup>-1</sup> )
10	1	200	200
	2	200	200
	3	166,7	166,7
		<b>189 ± 19,05</b>	<b>189 ± 19,05</b>
30	2	644,4	644,4
	3	666,7	677,8
		<b>655,5 ± 16,26</b>	<b>661 ± 24,04</b>
60	1	744,4	744,4
	2	500	522,2
	3	722,2	711,1
		<b>655,3 ± 134,97</b>	<b>659 ± 119,78</b>
100	1	1177,8	1188,9
	2	1733,3	1633,3
	3	1600	1444,4
		<b>1470,3 ± 346,21</b>	<b>1422 ± 222,81</b>

### Estimació Fracció de Cabuda Coberta

L'estimació de la variable de Fracció de cabuda coberta, s'ha realitzat per a dos altures mínimes (Z) diferents (taula 16), una vegada comparades les dues opcions amb la Fcc mesurada en camp es tria quina de les dues opcions resulta més ajustada a la realitzada amb inventari tradicional.

Taula 16. Resum de les mesures obtingudes de Fcc per a totes les parcel·les, tant per a Fcc a partir de 2 m, i Fcc a partir de 3 m. Font: elaboració pròpia.

Tractament	Bloc	Fcc (>2m)	Fcc (>3m)
10	1	22,60	21,91
	2	24,45	23,54
	3	30,21	28,98
		<b>25,75±3,69</b>	<b>24,81±3,70</b>
30	2	66,55	65,54
	3	73,01	71,69
		<b>69,78±4,57</b>	<b>68,61±4,34</b>
60	1	84,38	83,52
	2	72,66	71,02
	3	89,09	86,79
		<b>82,04±8,46</b>	<b>80,44±8,32</b>
100	1	69,32	66,88
	2	91,22	90,22
	3	94,18	90,22
		<b>84,09±13,57</b>	<b>82,44±14,47</b>

### Estimació Altura

Els resultats obtinguts per a aquesta representen l'altura mínima, màxima i mitjana mesurada per a tots els arbres presents dins de cadascuna de la parcel·les (taula 17). Les mesures de la variable altura originals han estat corregides, d'acord amb Fabra et al, 2010b em afegint 0,70 cm a l'altura mitjana, ja que com s'ha explicat a la metodologia (figura 25), els raig de LiDAR no sempre coincideixen amb l'àpex de l'arbre.

Taula 17. Mesures d'altura, obtingudes mitjançant LiDAR a les parcel·les d'estudi. Font: elaboració pròpia.

Tractament	Bloc	Altura mitjana	Altura mínima	Altura màxima	Altura mitjana corregida
<b>10</b>	1	11,18	10	12,38	11,88
	2	10,12	9,11	10,94	10,82
	3	10,64	8,42	12,34	11,34
		<b>10,64±0,53</b>	<b>9,17±0,79</b>	<b>11,89±0,82</b>	<b>11,35±0,53</b>
<b>30</b>	2	9,46	7,68	10,84	10,16
	3	9,85	8,09	11,08	10,55
		<b>9,65±0,27</b>	<b>7,88±0,28</b>	<b>10,96±0,17</b>	<b>10,35±0,27</b>
<b>60</b>	1	9,54	7,22	10,60	10,24
	2	10,11	8,42	11,44	10,81
	3	9,71	7,94	10,96	10,83
		<b>9,78±0,29</b>	<b>7,86±0,6</b>	<b>11±0,42</b>	<b>10,62±0,33</b>
<b>100</b>	1	9,76	7,42	11,50	10,46
	2	8,99	7,04	10,04	9,69
	3	9,96	7,86	10,92	10,54
		<b>9,57±0,51</b>	<b>7,44±0,41</b>	<b>11,82±0,73</b>	<b>10,23±0,47</b>

#### 4.1.2 Relacions entre variables mesurades amb LiDAR i variables mesurades amb inventari tradicional

En aquest apartat es presenten els resultats obtinguts a partir de la comparació a nivell parcel·la de les variables mesurades amb les dos metodologies, per una banda les mesures realitzades mitjançant inventari tradicional i per una altra banda les mesures obtingudes a partir de la tecnologia LiDAR. Les variables a partir de les quals s'establiran relacions són: densitat, Fracció de cabuda coberta i altura.

Es mostren a continuació (taula 18) a mode de resum els resultats obtinguts a les parcel·les analitzades.

Taula 18. Resultats obtinguts a les parcel·les d'experimentació. Es presenta, el número de parcel·les analitzades, (S) error típic de l'estimació, (R<sup>2</sup>) coeficient de correlació de Pearson, (MAE) error absolut mig, (PMAE) percentatge d'error absolut mig, (RMSE) error quadràtic mitjà. Font. Elaboració pròpia

Variable	S	R <sup>2</sup>	MAE	PMAE	RMSE
<b>Fcc (%)</b>	12.11	81%	8,46	17,3%	10,95
<b>Altura mitjana (m)</b>	<b>0.47</b>	<b>42.5%</b>	<b>0,36</b>	<b>3,34%</b>	<b>0,42</b>
<b>Densitat (peus/ha)</b>	<b>219</b>	<b>82.5</b>	<b>154,9</b>	<b>22,8%</b>	<b>198</b>

### Variable Densitat

A partir de les dades disponibles després de realitzar les mesures, s'han establert les següents relacions, una per a la densitat amb una Z=4 m i un altra per a Z=2 m (figura 29.)

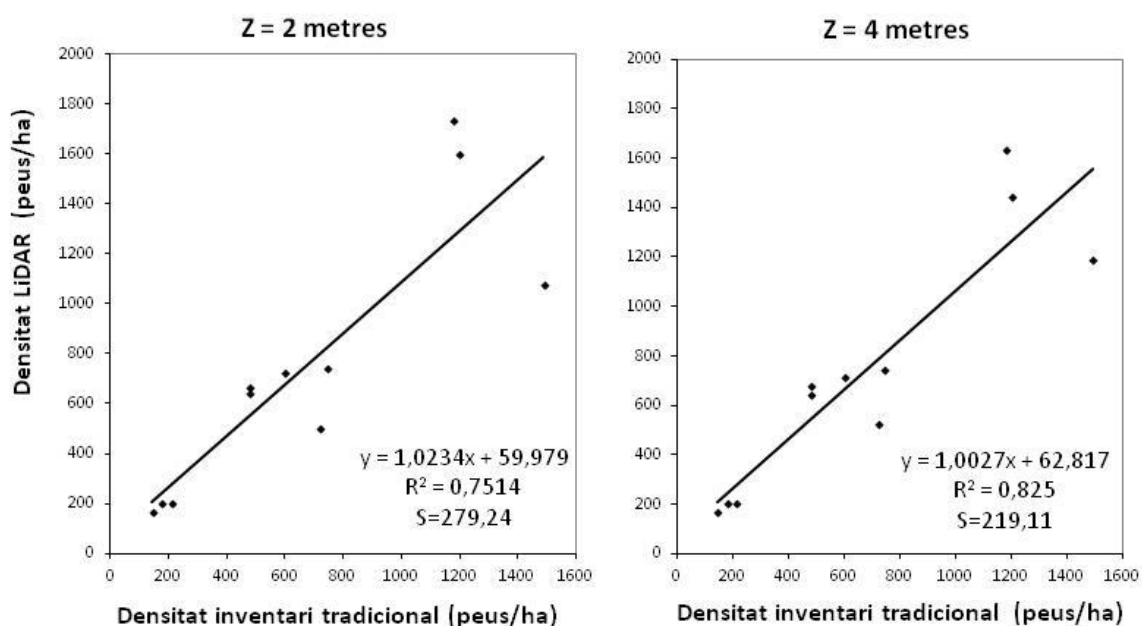


Figura 29. Regressions lineals entre la densitat mesurada amb LiDAR i la densitat amb el mètode d'inventari tradicional, en aquest cas a les parcel·les s'ha realitzat un compteig directe del número d'arbres per mesurar la densitat. Font: elaboració pròpia.

De l'anàlisi d'aquesta regressió s'extrau que a les equacions obtingudes l'ajust és realment bo ja que la pendent de la recta es pràcticament la unitat. Cal dir que de les dos opcions presentades la que **millor ajust** presenta amb la mesura realitzada a camp,

és la que es correspon amb la **Z mínima de 4 metres**. En aquesta, la pendent és més propera a 1 que l'anterior i  $R^2=0,82$ , és igualment més propera a l'unitat, a més l'error estàndard de l'estimació que presenta l'ajust de  $Z= 4$  metres és menor. Per tant a partir d'aquest moment les següents relacions es realitzen amb la densitat obtinguda amb  $Z=4$  metres.

Per una altra banda després de realitzar un anàlisi d'ANOVA d'una variant s'arriba a la conclusió de que la comparació de les mitjanes no és significativa ( $p=0,69$ ) de manera que podem dir que no existeix diferència entre ells, és a dir, els resultats no depenen del mètode de mesura utilitzat, ja siga LiDAR o compteig directe del número d'arbres.

### Variable Fracció de Cabuda Coberta

Per a la variable Fracció de Cabuda Coberta s'han realitzat càlculs per a dues altures mínimes diferents, ( $Z= 3$  metres,  $Z= 2$  metres). A la figura 30, es presenten en primer lloc els resultats per a una altura mínima de 3 i en segon lloc els corresponents a altura mínima 2.

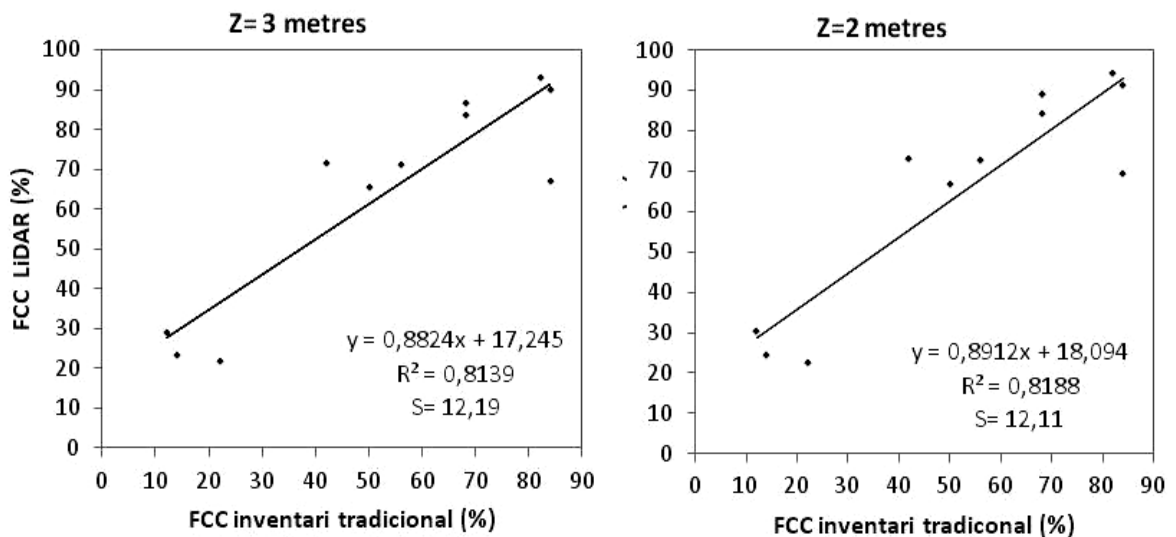


Figura 30. Regressions lineals entre la fracció de cabuda coberta mesurada amb LiDAR i la mateixa variable mesurada amb la metodologia d'inventari tradicional, és a dir, amb esquadra òptica. Font: elaboració pròpia.

A l'igual que en el cas anterior les relacions obtingudes per al cas de Z mínim 3 i de Z mínima 2, són en els dos casos molt bones i la pendent la recta esta molt propera a l'unitat, per una altra banda si ens fixem en el  $R^2$  el que presenta millor ajust és el cas de Z=2 metres amb un  $R^2 = 0,8188$ . Per acabar, l'error estàndard de l'estimació obtingut en aquest cas és menor. Per aquesta raó a partir d'aquest moment es treballa amb la Fracció de Cobertura mesurada amb l'altura mínima de 2 metres.

De l'anàlisi d'ANOVA d'una variant s'extrau que la diferència no és significativa ( $p=0,30$ ) de manera que podem dir que no existeix diferència entre ells, és a dir, els resultats no depenen del mètode de mesura utilitzat.

### Variable altura

Per a relacionar les dues mesures realitzades respecte l'altura s'han utilitzat les mesures mitjanes obtingudes amb les dues metodologies de mesura (figura 31).

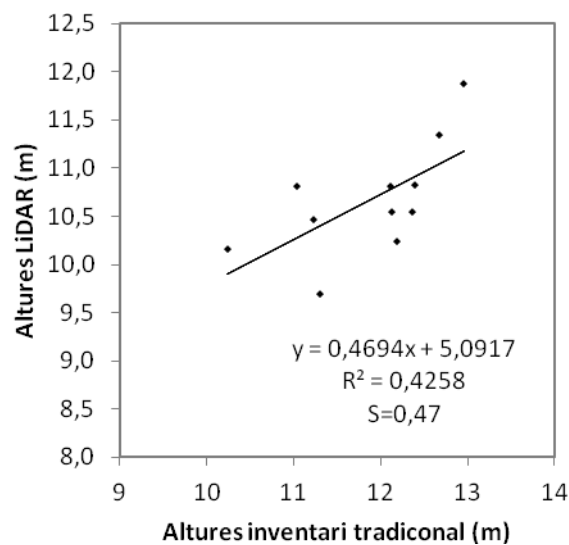


Figura 31. Regressió lineal entre l'altura mesurada amb LiDAR i l'altura mesurada amb Vertex IV. Es mostra l'equació de la recta, la  $R^2$  i l'error. Font: elaboració pròpia.

A diferència dels casos anteriors en aquesta variable l'ajust que s'obté no és extremadament bo, ja que la pendent de la recta té un valor de 0,46, prou diferent al



valor ideal 1. Per una altra banda el  $R^2$  és igual a 0,42, que continua sent un valor baix, i per últim l'error estàndard de l'estimació és de 0,47.

De l'anàlisi d'ANOVA univariant s'extrau que la diferència en aquest cas és significativa ( $p=0,000$ ) de manera que podem dir que existeix diferència entre ells, és a dir, els resultats dependran per a la variable altura del mètode de mesura utilitzat.

#### 4.1.3 Relacions entre variables mesurades amb LiDAR i variables hidrològiques

En aquest apartat es presenten les relacions obtingudes entre les variables hidrològiques i les estimacions de diferents variables mesurades amb LiDAR. En primer lloc s'analitza l'ajust dels models establerts entre les variables. I en segon lloc es comparen els models obtinguts amb les relacions establertes anteriorment a l'estudi "The effects of experimental thinning on throughfall and stemflow: a contribution towards hydrology-oriented silviculture in Aleppo pine plantations " realitzat per Molina i Del Campo, 2012.

#### Relació entre trascolació i Fracció de cabuda coberta

S'estableix la relació entre la fracció de cabuda coberta estimada amb LiDAR i la trascolació per al període complet d'abril de 2008 a febrer de 2010.

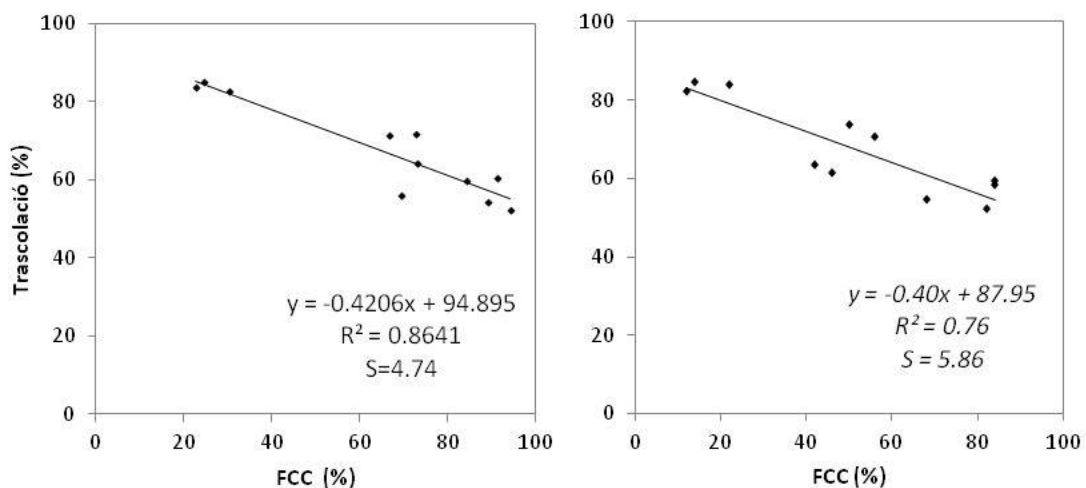


Figura 32. Regressions lineals entre trascolació (%) i Fracció de cabuda coberta. Relació establerta amb variables LiDAR (figura esquerra: elaboració pròpia), relació establerta amb variables d'inventari tradicional (figura dreta: Molina i Del Campo, 2012).

De les relacions obtingudes a la figura 32 (esquerra), es pot dir que el valor de  $R^2=0,86$ , demostra un elevat grau de correlació, major que en el model establert amb la Fracció de cabuda coberta mesurada amb inventari tradicional. A més a més l'error  $S= 4,74$  també es menor en el cas del model realitzat amb la metodologia LiDAR per mesurar Fcc.

Per una altra banda realitzem el test ANOVA al conjunt dels dos models per tal d'establir si hi ha diferències estadísticament significatives entre ells, trobem que la recta dels dos models son pràcticament coincidents, i la comparació de la seua pendent va resultar no ser significativa ( $p=0,92$ ), encara que si que hi ha diferències significatives ( $p= 0,02$ ) pel que fa al punt de tall de la recta segons el mètode de mesura utilitzat.

### Relació entre trascolació i la densitat

Al igual que en el cas anterior, s'estableix la relació entre la densitat estimada amb LiDAR i la trascolació per al període complet d'abril de 2008 a febrer de 2010.

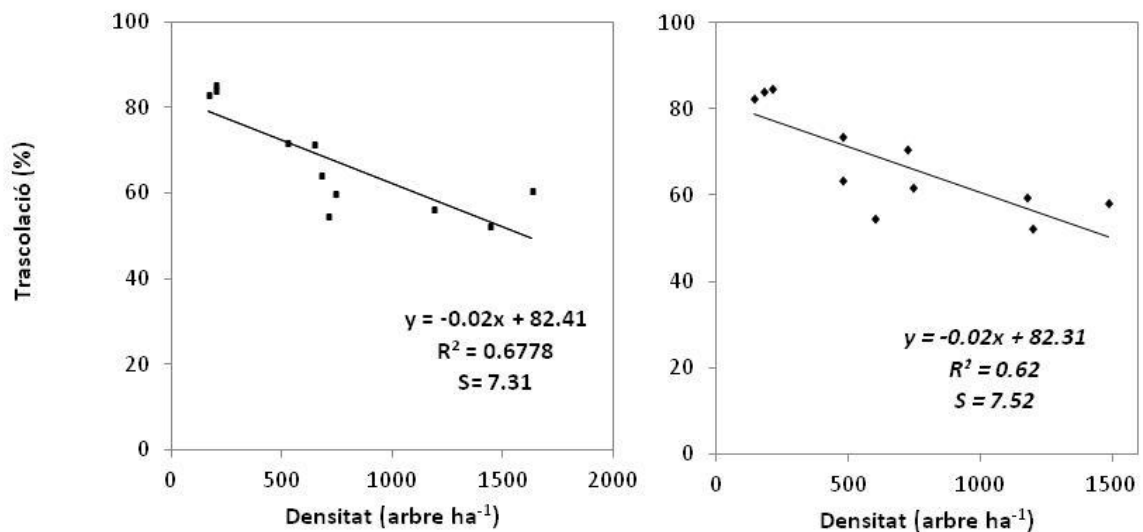


Figura 33. Regressions lineals entre trascolació (%) i densitat. Relació establerta amb variables LiDAR (figura esquerra: elaboració pròpia), relació establerta amb variables d'inventari tradicional (figura dreta: Molina i Del Campo, 2012).

De les relacions obtingudes a la figura 33 (esquerra), es pot dir que el valor de  $R^2=0,68$ , demostra un elevat grau de correlació, major que en el model establert amb la densitat mesurada amb inventari tradicional. A més a més l'error  $S= 7,31$  també es menor en el cas del model realitzat amb la metodologia LiDAR per mesurar densitat.

Per una altra banda, igual que al cas anterior, es realitza el test ANOVA al conjunt dels dos models per tal d'establir si hi ha diferències estadísticament significatives entre ells, trobem que a la comparació de la pendent va resultar no ser significativa ( $p=0,80$ ), així tampoc hi ha diferències estadísticament significatives ( $p= 0,67$ ) pel que fa al punt de tall de la recta.

Per al cas de la variable densitat, es pot afirmar que no hi ha cap diferència significativa entre els dos models, aleshores donat que el nou model millora l'anterior per presentar un millor ajust, aquest es podria utilitzar per a dades mesurades en qualsevol dels dos mètodes, tant per a inventari tradicional com per a mesures amb la tecnologia LiDAR.

## **4.2. ESCALA FOREST**

Seguint el mateix esquema que als resultats per a escala parcel·la es presenten per a la conca hidrològica, les mesures obtingudes per a cadascuna de les variables d'inventari forestal mesurades amb la tecnologia LiDAR i els resultats de la variable trascolació. Aquesta variable ha estat calculada amb els models obtinguts a les parcel·les d'experimentació.

Es presenten també els resultats de la rodalització realitzada a partir de variables hidrològiques, i els rodals on es recomanable l'aplicació de selvicultura hidrològica.

### **4.2.1 Variables mesurades amb LiDAR**

Els resultats per a les variables densitat, fracció de cabuda coberta, altura i estructura de vegetació es presenten de forma gràfica per a tota la conca amb una precisió de  $100 \text{ m}^2$ , a les figures 34, 35, 36 i 37.

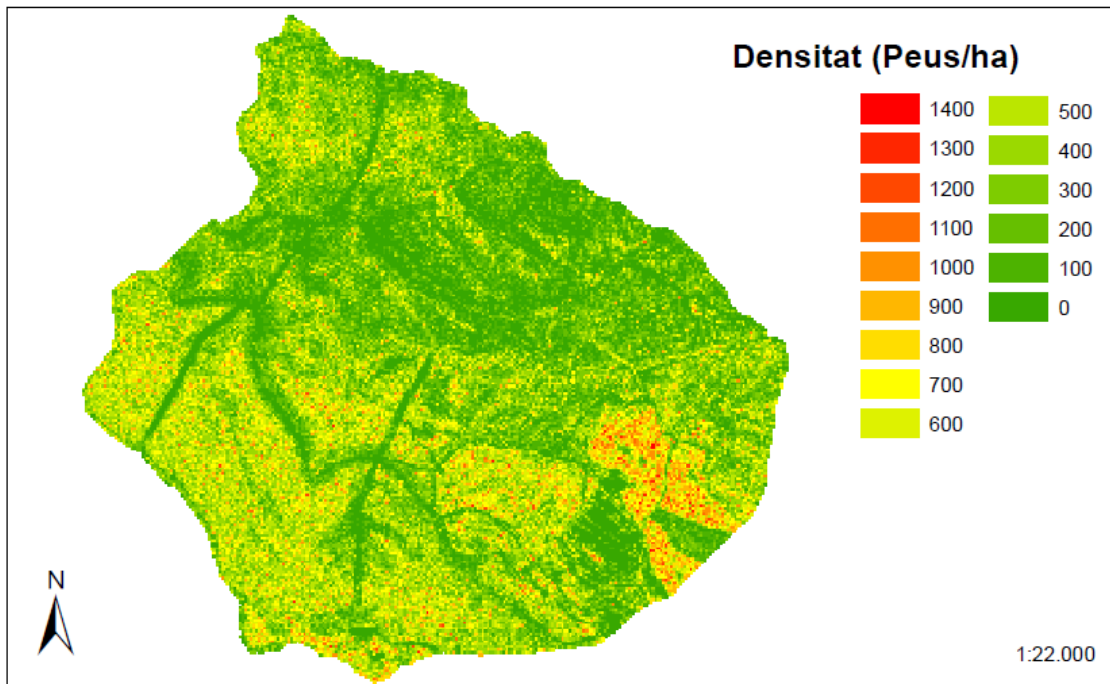


Figura 34. Resultat gràfic de la representació de la variable densitat a la conca d'estudi. Font: elaboració pròpia.

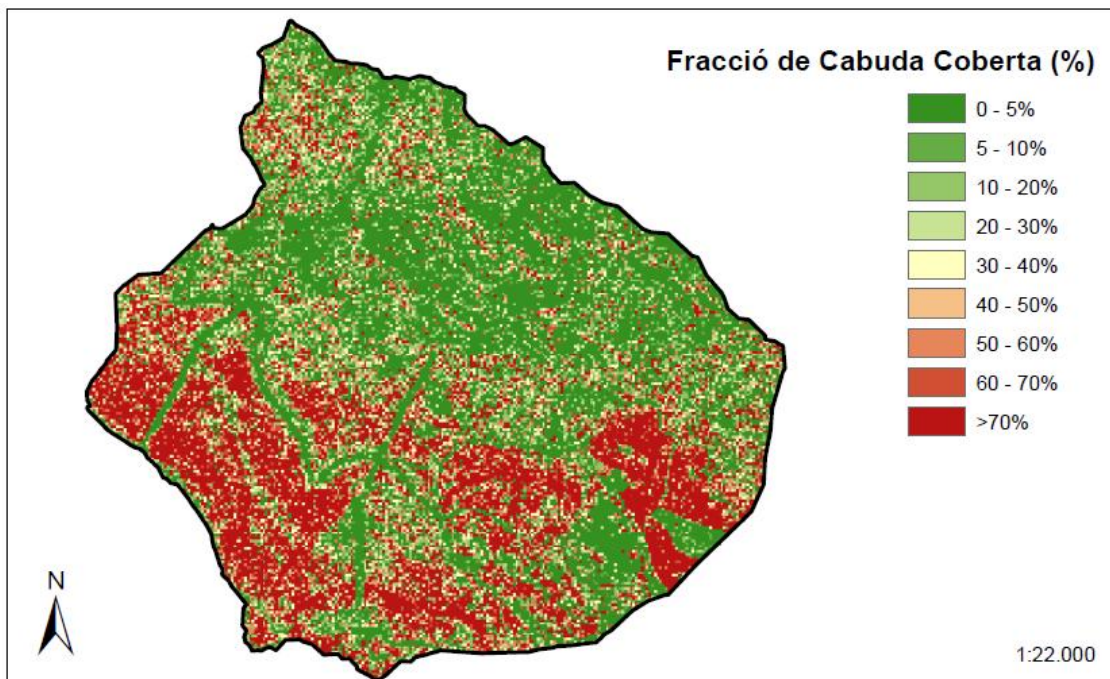


Figura 35. Resultat gràfic de la representació de la variable fracció de cabuda coberta a la conca d'estudi. Font: elaboració pròpia.

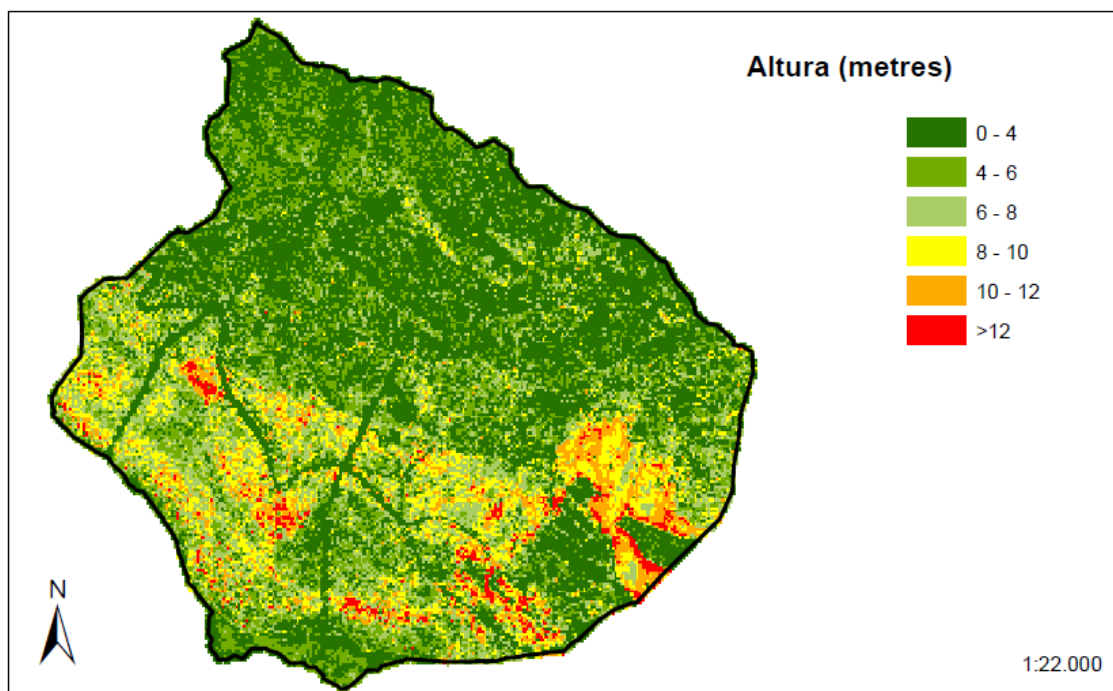


Figura 36. Resultat gràfic de la representació de la variable altura a la conca d'estudi. Font: elaboració pròpia.

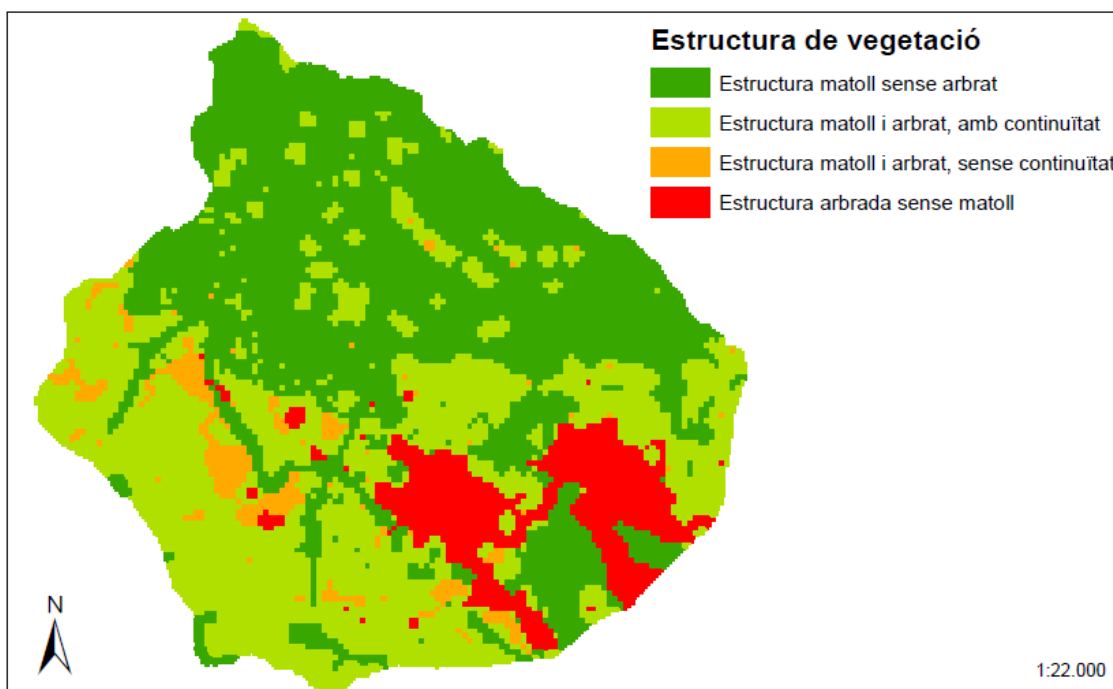


Figura 37. Resultat gràfic de la representació de la variable estructura de vegetació a la conca d'estudi. Font: elaboració pròpia.

#### **4.2.2 Relacions entre variables mesurades amb LiDAR i variables hidrològiques**

En aquest apartat es mostren els resultats de l'aplicació dels models obtinguts a nivell de parcel·la per a tota la conca hidrogràfica. S'han aplicat dos models, en primer lloc el model que determina la trascolació a partir de la densitat (figura 38) i seguidament el que determina la trascolació a partir de la fracció de cabuda coberta (figura 39).

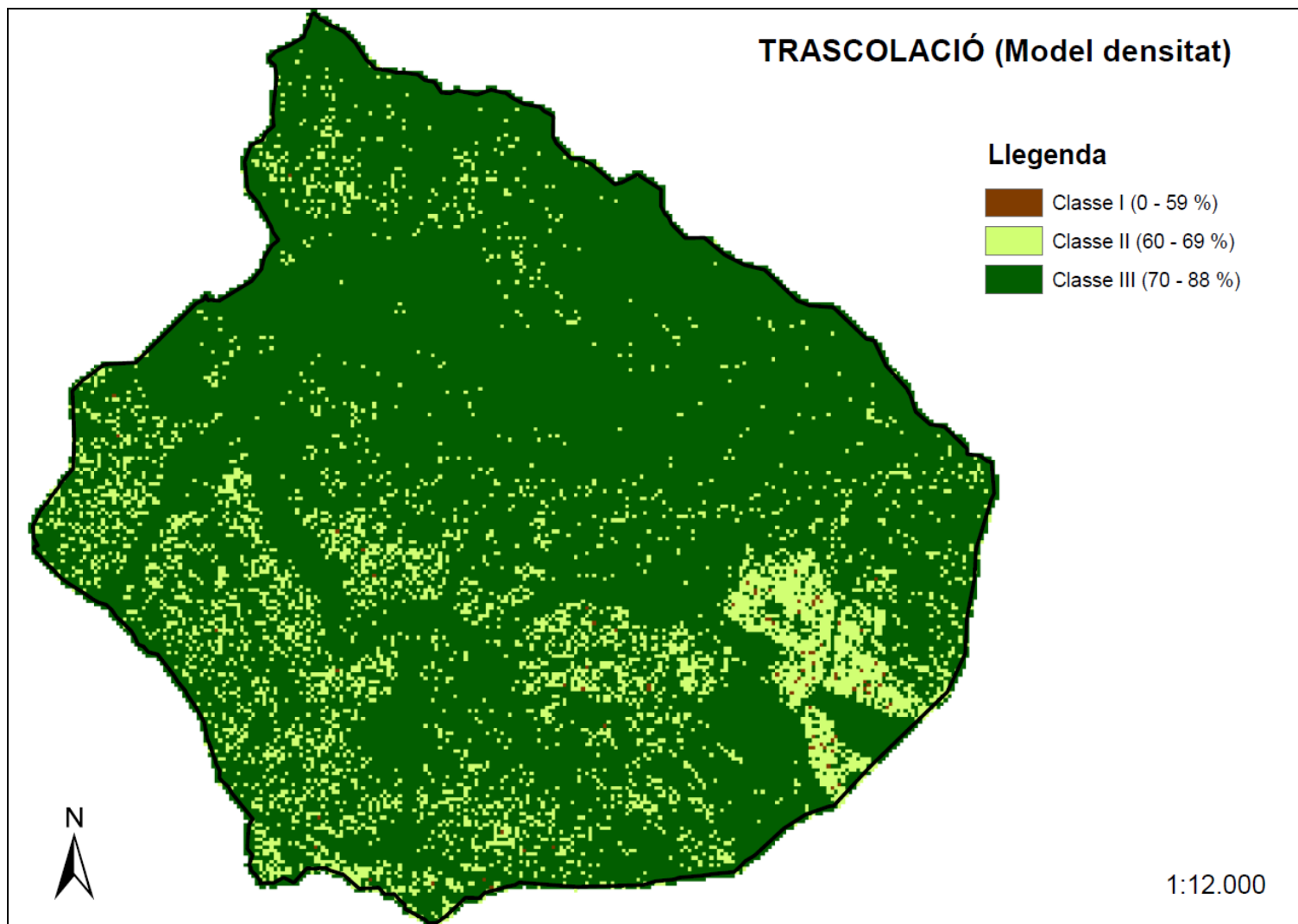


Figura 38. Representació gràfica de la trascolació (%), segons el model de densitat. Grandària de píxel 10X10 metres. Font: elaboració pròpia.

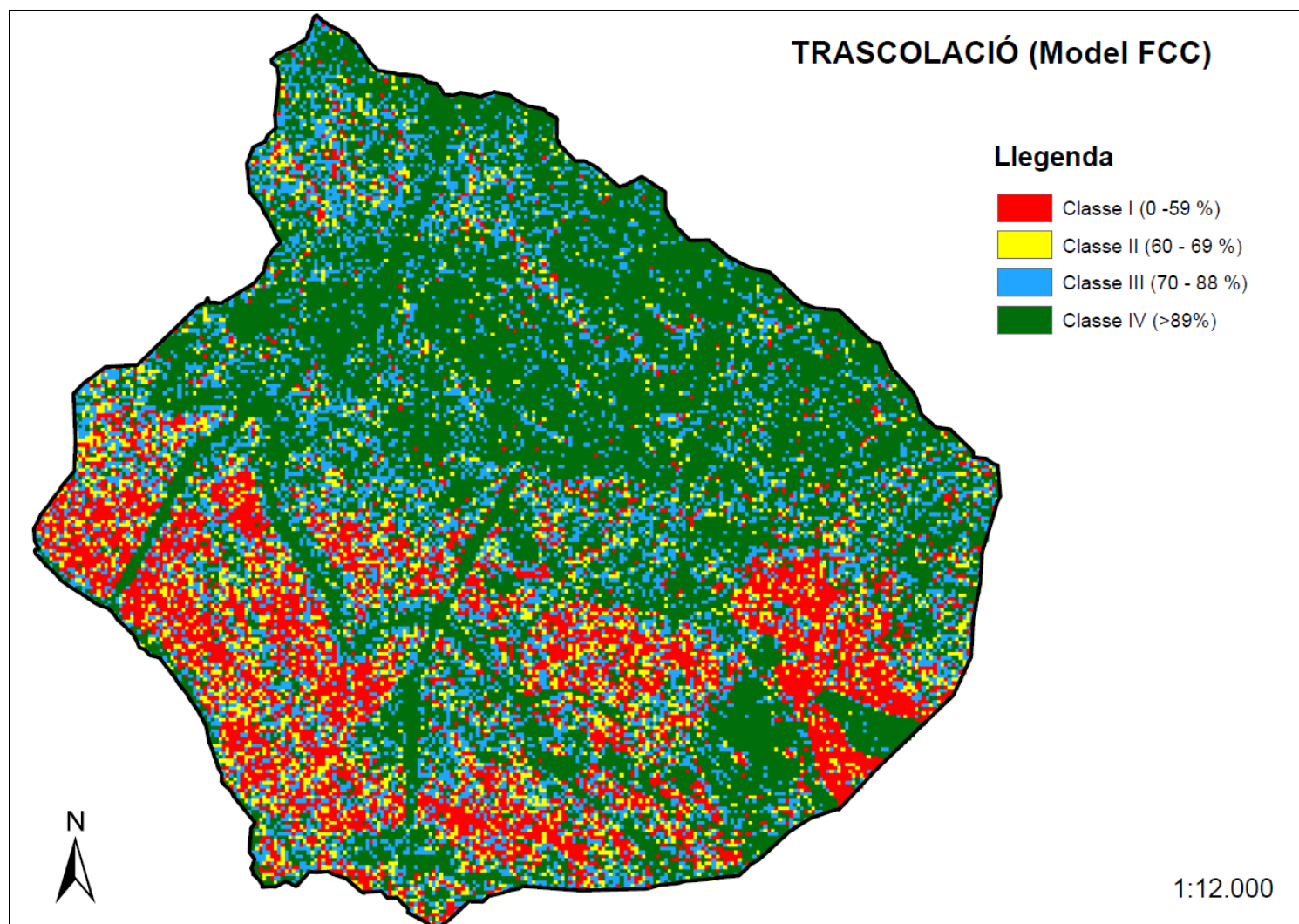


Figura 39. Representació gràfica de la trascolació (%), segons el model de Fcc. Grandària de píxel 10X10 metres. Font: elaboració pròpia.





Encara que es calcula la trascolació amb les dos variables (Fcc i densitat) per a tota la conca, la rodalització es basa en el model de trascolació - Fracció de cabuda coberta ja que aquest model es amb el que s'obté un millor ajust (figura 32). S'han definit un total de 20 rodals (figura 40).

Es mostra tant per al model de trascolació basat en la Fcc, com per al model basat en la densitat, per a cadascun dels rodals una classe assignada segons els percentatges de cada classe que apareixen dins dels rodals, aquesta classe determina la necessitat d'una intervenció sobre la massa (taula13).

En primer lloc es presenten els resultats per al model de fracció de cabuda coberta (figura 40) i (taula 19).

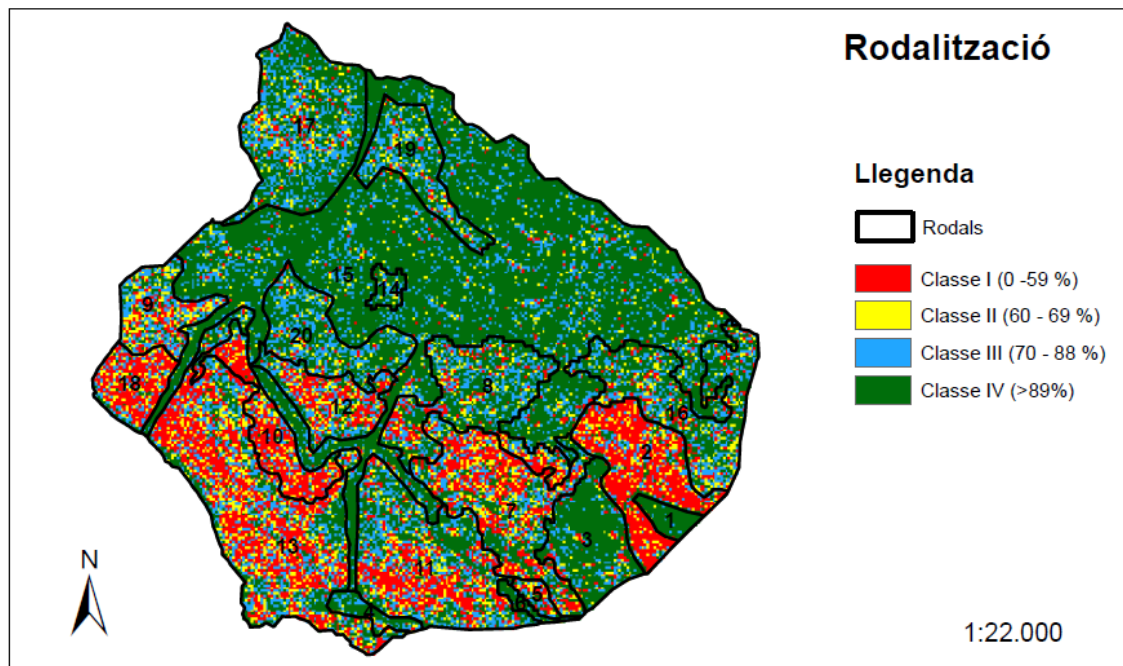


Figura 40. Representació dels rodals sobre el mapes de trascolació amb el model de Fracció de cabuda coberta. Font: elaboració pròpia.

Taula 19. Característiques pròpies de cada rodal. Es mostra la classe de Trascalació segons el model de Fracció de cabuda coberta. Font: elaboració pròpia.

Nº Rodal	Superfície (ha)	Classe de trascalació (%)				Mitjana	Classe assignada
		I	II	III	IV		
1	2,31	0,00	0,43	8,19	91,38	93,11	IV
2	17,34	62,38	13,54	13,88	10,20	62,18	I
3	13,02	5,68	5,61	12,98	75,73	88,32	IV
4	2,55	3,94	8,27	21,26	66,54	87,31	IV
5	1,57	30,07	17,65	35,95	16,34	70,99	III
6	1,17	4,10	2,46	18,85	74,59	89,13	IV
7	22,79	36,20	15,17	22,87	25,75	71,09	I
8	20,21	16,44	12,36	28,50	42,70	78,94	IV
9	9,22	22,26	20,09	35,94	21,72	73,13	III
10	9,71	51,69	19,38	22,56	6,36	63,39	I
11	27,52	26,01	14,60	28,01	31,38	74,47	IV
12	9,89	30,94	17,49	32,25	19,31	70,88	III
13	44,89	37,29	17,12	25,52	20,07	69,54	I
14	1,75	2,26	6,78	30,51	60,45	86,22	IV
15	137,15	2,07	3,59	15,74	78,60	89,89	IV
16	20,90	12,03	12,08	30,15	45,73	80,77	IV
17	26,41	6,01	9,05	32,51	52,43	83,73	IV
18	7,38	55,41	18,38	19,05	7,16	62,67	I
19	10,76	5,67	10,78	30,76	52,79	83,47	IV
20	13,38	5,71	9,68	33,48	51,13	83,44	IV

Els rodals que es troben a les Classe I i II són els que presenten major necessitat d'intervenció (taula 13), en aquest cas segons el model de fracció de cabuda coberta per al càlcul de trascalació els rodals on seria recomanable l'aplicació de selvicultura

hidrològica són **els rodals 2, 7, 10, 13, i 18**. En concret al formar part de la **Classe I** una intervenció es consideraria molt necessària. El grup format per aquests rodals ocupa una superfície de 102 hectàrees, el que representa un 25% de la superfície total de la conca.

A més s'ha de tindre en compte que els rodals que formen part de la classe III, seran sotmesos a una intervenció selvícola sempre que conflueixen altres objectius, és a dir, si a més de l'objectiu hidrològic hi ha algun altre objectiu que també fa recomanable l'actuació sobre la massa. Els rodals de **Classe III** són el **5, 9 i 12** que representen en total una superfície de 21 hectàrees.

A continuació es mostren els resultats per al model de densitat (Figura 41) i (Taula 20).

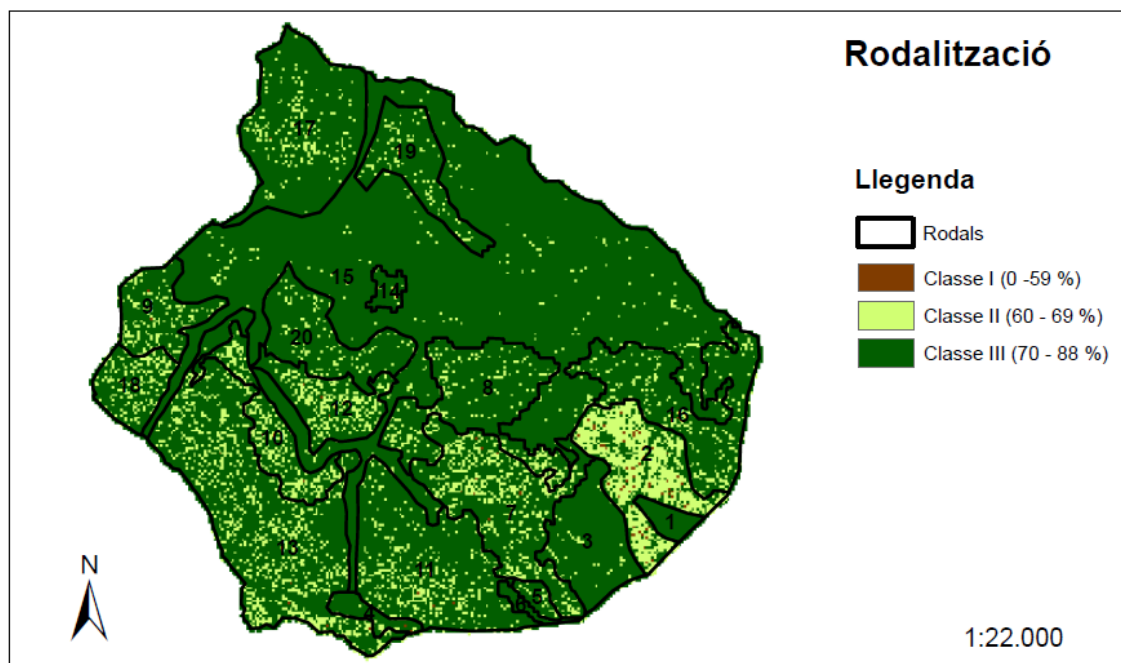


Figura 41. Representació dels rodals sobre el mapes de trascolació amb el model de densitat. Font: elaboració pròpia.

Taula 20. Taula amb les característiques pròpies de cada rodal. Amb la classe, de Trascaolació segons el model de densitat. Font: elaboració pròpia.

Nº Rodal	Superfície (ha)	Classe de trascolació (%)				Mitjana	Classe assignada
		I	II	III	IV		
1	2,31	0,00	0,00	100,00	0	79,82	III
2	17,34	3,11	60,94	35,94	0	68,39	II
3	13,02	0,00	3,61	96,39	0	79,22	III
4	2,55	0,79	7,51	91,70	0	76,89	III
5	1,57	0,00	14,47	85,53	0	73,47	III
6	1,17	0,00	0,00	100,00	0	79,39	III
7	22,79	0,39	23,87	75,73	0	73,11	III
8	20,21	0,00	12,71	87,29	0	75,04	III
9	9,22	0,22	17,81	81,98	0	73,34	III
10	9,71	0,10	30,56	69,33	0	71,60	III
11	27,52	0,11	13,80	86,09	0	74,34	III
12	9,89	0,30	25,99	73,71	0	72,50	III
13	44,89	0,11	20,05	79,84	0	72,99	III
14	1,75	0,00	5,08	94,92	0	76,50	III
15	137,15	0,00	1,92	98,08	0	79,06	III
16	20,90	0,05	12,03	87,92	0	75,25	III
17	26,41	0,04	7,83	92,13	0	75,66	III
18	7,38	0,00	24,46	75,54	0	71,84	III
19	10,76	0,00	9,29	90,71	0	75,14	III
20	13,38	0,00	9,01	90,99	0	75,36	III

Al cas dels resultats de trascolació després de l'aplicació del model de densitat els resultats obtinguts indiquen que sòls el **rodal 2** que pertany a la **Classe II**. Segons

aquest model una intervenció de silvicultura hidrològica seria Aconsellable sobre aquest rodal, que representa el 4,2% de la superfície de la conca.

Una vegada coneguts els resultats per als dos models, cal dir que donat que el model que presenta un millor ajust es el que es basa en la Fracció de cabuda coberta (figura 32), els tractaments als rodals es plantegen basant-se en la trascolació obtinguda segons aquest model. A la taula 21 es recopilen els resultats obtinguts d'acord amb el model de trascolació – Fracció de cabuda coberta, per als rodals que pertanyen a la Classe I, II, III, és a dir les classe susceptibles d'una intervenció selvícola. S'exposa a més les característiques de la massa i el tipus de sol de cada rodal.

Taula 21. Resum de les característiques dels rodals de Classe I,II i III, per al model de Fcc. Els tipus de sol tenen les següents equivalències: A4, Textura francoarenosa i francollimosa, molt pedregós. B1, Textura arenofranca, molt pedregós. B3, Textura francoarenosa. B4, textura francoargilosa, pedregós. Font: elaboració pròpia.

Nº Rodal	Superfície (ha)	Pendent (%)	Classe de trascolació	Fcc (%)	Estructura de vegetació	Tipus de sol
2	17,34	5 - 15%	I	77,8%	Estructura arbrada sense matoll	A4
5	1,57	30 - 50%	III	56,8%	Estructura de matoll i arbrat sense continuïtat	A4
7	22,79	15 - 30%	I	56,6%	Estructura arbrada sense matoll	A4
9	9,22	15 - 30%	III	51,7%	Estructura de matoll i arbrat amb continuïtat	B3
10	9,71	15 - 30%	I	74,9%	Estructura de matoll i arbrat sense continuïtat	B3
12	9,89	15 - 30%	III	57,1%	Estructura de matoll i arbrat amb continuïtat	B3
13	44,89	> 50%	I	60,3%	Estructura de matoll i arbrat amb continuïtat	B3
18	7,38	30 - 50%	I	76,6%	Estructura de matoll i arbrat amb continuïtat	B3

Si s'aplica la limitació de la pendent màxima sols es realitzaran tractament sobre els rodals 2, 5, 7, 9, 10, 12 i 18.

## 5. DISCUSIÓ

L'aplicació de tractaments per a l'aplicació de selvicultura hidrològica de la forest és l'objectiu principal d'aquest treball. Amb l'aplicació d'una selvicultura mediterrània adaptativa, es pretén aconseguir una millor adaptació de les masses forestals a l'escassetat hídrica que comporta el canvi climàtic i més especialment a la conca mediterrània. De manera que amb l'aplicació d'aclarides, es redueix la coberta forestal i es redueix la competència, aconseguint d'aquesta forma un major desenvolupament dels arbres a través de canvis en la distribució de l'aigua dins dels diferents compartiments del cicle hidrològic.

El primer pas per poder aplicar aquesta selvicultura hidrològica a les masses forestals és el coneixement acurat de l'estructura de la massa, per poder determinar les pèrdues i intercepcions, i per tant la necessitat dels tractaments selvícoles a aplicar en cada tipus de massa.

Per tal de conèixer l'estructura de la massa s'ha demostrat que la tecnologia LiDAR ofereix grans avantatges front a l'inventari tradicional, i que s'obté un bon ajust de les mesures realitzades mitjançant la tecnologia LiDAR (objectiu procedimental número 1). A més, per una banda cal recordar que econòmicament és molt més rentable per a grans extensions de terreny l'utilització de la tecnologia LiDAR (figura 5), i per una altra banda pel que fa a la precisió de les mesures en alguns casos el LiDAR, és més exacte que l'inventari tradicional ja que s'eliminen els errors que provenen de la destresa de la persona que realitza les mesures.

Es presenten a continuació taula 22 els ajusts obtinguts de comparar les variables d'estructura de la massa mesurades amb LiDAR i amb inventari tradicional, tant les analitzades a aquest estudi com les obtingudes per Fabra *et al*, 2011 a altres parcel·les experimentals, situades a una zona diferent de la forest de la Hunde (Aiora) i a la forest de Mas de l'Ascle (Alcalà de Xivert).

Taula 22. Comparació de les variables d'estructura mesurades amb LiDAR i inventari tradicional a diferents parcel·les d'experimentació. Es presenta, el número de parcel·les analitzades, (S) error típic de l'estimació, ( $R^2$ ) coeficient de correlació de Pearson, (MAE) error absolut mig, (PMAE) percentatge d'error absolut mig, (RMSE) error quadràtic mitjà (adaptada de Fabra *et al*, 2011).

		Parcel·les	S	$R^2$	MAE	PMAE	RMSE
<b>Fcc (%)</b>	<b>Mas de l'Ascle</b>	12	7.6	60.8%	6.4	12.7%	8.6
	<b>Hunde</b>	15	7.5	80.2%	9.2	15.8%	10.4
	<b>Hunde (2012)</b>	11	12.11	81%	8,46	17,3%	10,95
	<b>Total parcel·les</b>	38	9,07	74 %	8,02	15,3%	9,98
<b>Altura mitjana (m)</b>	<b>Mas de l'Ascle</b>	12	0.64	61.8%	0.44	5.4%	0.51
	<b>Hunde</b>	15	0.37	68.0%	0.87	7.4%	0.96
	<b>Hunde (2012)</b>	11	0.47	42.5%	0,36	3,34%	0,42
	<b>Total parcel·les</b>	38	0,49	57,4%	0,56	5,38%	0,63
<b>Densitat (peus/ha)</b>	<b>Mas de l'Ascle</b>	12	129	27.1%	101	18.8%	120
	<b>Hunde</b>	15	81	85.8%	81	17.5%	95
	<b>Hunde (2012)</b>	11	219	82.5%	154,9	22,8%	198
	<b>Total parcel·les</b>	38	143	65,1%	112,3	19,7%	137,7

En general es pot afirmar que per a totes les variables els resultats són satisfactoris, ja que no existeixen diferències importants entre els dues mètodes de mesura, a continuació s'analitza amb més detall els resultats per a cadascuna de les variables.

### Densitat

En el cas de la variable densitat les diferències entre les dues mesures no han resultat estadísticament significatives ( $p=0,69$ ), per tant no hi ha diferència entre la mesura amb la tecnologia LiDAR i el compteig directe dels arbres.

En principi el percentatge d'error mig de l'estimació és del 22,8% per a les parcel·les d'aquest estudi, encara que la mitjana obtinguda del total de parcel·les d'experimentació es de 19,7%. Aquest error no es pot atribuir al biaix de la mesura



realitzada amb el mètode d'inventari tradicional ja que aquest consisteix en el compteig del total d'arbres de la parcel·la. Per tant les diferències de l'ajust es deuen a l'estimació realitzada amb LiDAR. Una de les raons per explicar aquesta diferència en l'ajust pot ser el fet que amb la tecnologia LiDAR sols es detecta l'estrat dominant de la massa, no es té en compte els arbres corresponents al sotabosc. Encara que aquest error pot significar una desviació de fins a 137 arbres, en àrees extenses els mètodes tradicionals són més costosos i realment resulta difícil realitzar una estimació del número real d'arbres existent.

### **Fracció de cabuda coberta**

En aquest cas les diferències entre les mesures realitzades en la tecnologia LiDAR i l'esquadra òptica no resulten significatives ( $p=0,30$ ), per tant podríem utilitzar qualsevol dels mètodes sense trobar diferències importants de mesura.

Pel que fa a l'error de l'estimació en aquest cas és de 17,3% aproximadament, i per al total de parcel·les s'obté un error mig de 15,3%. El que representa un error d'aproximadament un 10% en el resultat de la Fracció de cabuda coberta.

En aquest cas cal plantejar el fet que pot ser l'estimació realitzada amb LiDAR resulte més propera a la realitat que la mesura realitzada amb l'esquadra òptica. Amb l'esquadra òptica s'ha realitzat una observació de 50 punts per parcel·la ( $0,05$  punts/m<sup>2</sup>) i la mesura realitzada amb LiDAR té una precisió de  $0,5$  punts/m<sup>2</sup>, és a dir, és 10 vegades més precisa que la metodologia tradicional.

### **Altura**

Per a la variable altura les mesures realitzades amb els diferents mètodes si que presenten diferències significatives, encara que els errors obtinguts no són excessivament alts. L'error mig de l'estimació és del 3,34% per a les parcel·les d'aquest estudi, encara que la mitjana obtinguda del total de parcel·les d'experimentació es de 5,38%. El que representa a nivell d'altura dels arbres una diferència d'entre 0,4 i 0,6 metres.

Les errades obtingudes en l'ajust d'aquesta variable són deguts per una banda a les errades pròpies del hipsòmetre Vertex IV i per una altra banda a les errades pròpies de l'estimació que realitza el LiDAR.

Els errors que es cometen amb inventari tradicional (Vertex IV) els determina la precisió del propi aparell i la tecnologia que utilitza, ja que l'emissió d'ultrasons es veu afectada per l'humitat ambiental, el vent, etc. Per una altra banda s'han de sumar als errors de l'aparell, els que realitza la persona que fa la mesura. Els errors d'aquest aparell són molt baixos, i es situen entre el 2-5% (Reyna *et al*, 2010).

Pel que fa a l'error que presenta l'estimació de LiDAR d'acord amb Suárez *et al*, 2005, una comparació entre les prediccions de LiDAR i les mesures realitzades en camp subestima les mesures de l'altura individual dels arbres en un 7-8%. El que no difereix excessivament dels resultats d'aquest estudi.

Després de tot l'exposat, es pot afirmar que encara que hi ha diferències significatives entre els dos mètodes de mesura, els errors que es produeixen amb les dos mesures de l'altura són relativament baixos. A més cal ressaltar que si l'estimació es realitza amb el LiDAR es pot mesurar un nombre molt més elevat d'arbres, i d'una forma més econòmica (figura 5). Encara que aquesta variable no té molta relació amb les variables hidrològiques de la massa.

Per continuar amb els objectius del treball, una vegada solucionada la necessitat de disposar d'una ferramenta per conèixer l'estructura de la massa de grans extensions de terreny i amb una precisió acceptable, podem utilitzar-la per tal d'establir relacions entre l'estructura de la massa i la hidrologia a una escala de conca hidrològica per augmentar la trascolació en detriment de la Interceptació.

D'entre les relacions obtingudes entre les variables d'estructura de la massa i la trascolació, es considera que el més adient és l'aplicació del model que relaciona la Fracció de cabuda coberta i la trascolació (figura 32). S'ha considerat aquest model com el més ajustat per presentar un coeficient de correlació més elevat ( $R^2 = 0,86$ ) que el model que relaciona la densitat amb la trascolació ( $R^2 = 0,67$ ). A més pel que fa als errors, el model de Fracció de cabuda coberta ( $S = 4,71$ ) presenta un menor error que el model de densitat ( $S = 7,31$ ).

Amb el bon ajust del model s'obté una ferramenta molt interessant, amb una elevada precisió. En aquest estudi s'obtenen dades per a una precisió de 10x10 m<sup>2</sup>, mentre que per al treball presentat per Mitchell, 2011, s'obtenen resultats amb una escala de 20x20 m<sup>2</sup>. Ens els dos casos es considera que l'utilització de LiDAR per a la quantificació de les variables hidrològiques ajuda a preservar la variabilitat espacial present al llarg de la conca. Per tant, el model ens permet realitzar la rodalització de la conca hidrogràfica amb l'objectiu d'aplicar tractaments de selvicultura hidrològica.

És partint de les relacions hidrològiques establertes amb les variables d'estructura, que es planteja el fet de rodalitzar basant-se en aquesta característica hidrològica per comparar el resultat amb la rodalització realitzada de forma tradicional. Les dues rodalitzacions obtingudes no difereixen excessivament, ja que per calcular la variable hidrològica ens basem variables d'estructura de la massa, en aquest cas concretament en la fracció de cabuda coberta. Aquesta variable també s'utilitza normalment per a la rodalització tradicional basada en variables d'estructura. Per tant, amb la rodalització basada en la trascolació el que fem és donar valor a la precisió de la que disposem per a calcular aquesta variable, és a dir, es calcula per a cada píxel de 100 m<sup>2</sup> quin el valor de trascolació. A partir d'aquest valor es reclassifica i rodalitzo, si ho férem amb l'altre mètode, calcularíem la trascolació una vegada definit el rodal, amb el que obtindríem un valor mitjà per a tot el rodal. Perdent el detall que el LiDAR ens proporciona.

Una vegada definits els rodals, amb el model de trascolació per a Fracció de cabuda coberta obtenim que d'acord amb els criteris aplicats (taula 13), un 30% de la superfície de la conca (122,8 ha) es susceptible d'una intervenció selvícola amb un objectiu marcadament hidrològic, com és augmentar la trascolació.

Per tant una vegada conegudes les característiques dels rodals assenyalats, es proposa quin nivell intervenció seria el més adequat per a cadascun i quines conseqüències a nivell de trascolació s'obtindrien. Es a dir, que significaria aquesta reducció de la coberta en termes d'augment de disponibilitat d'aigua per a la massa.

Per tal de proposar les actuacions es planteja a la taula 23 quina Fracció de cabuda coberta seria la més adient per a cada tipus de massa, és a dir quin és l'objectiu a assolir després de l'aplicació de les aclarides. Per tal de determinar-ho el primer criteri

a tindre en compte és la pendent ja que amb pendents elevades s'ha de tindre molta cura amb les possibles pèrdues de sol. A continuació com a segon criteri ens fixem en quina Classe de Trascolació tenim (taula 13), ja que segons la classe en la que ens trobem les actuacions seran més o menys prioritàries.

Taula 23. Es mostra Fracció de cabuda coberta (%) a aconseguir amb les aclarides. I els rangs de pendents i de Classes de trascolació. Font: elaboració pròpia.

Classe	Rangs de pendents				
	0 – 5%	5 – 15%	15 – 30%	30 – 50%	>50%
I	20%	20%	40%	60%	-
II	20%	20%	40%	60%	-
III	20%	20%	40%	60%	-
IV	-	-	-	-	-

A la proposta general exposada a la taula cal afegir algunes consideracions, en primer lloc amb pendents major a el 50% no es realitza cap actuació per l'elevada pendent i a les masses que perteneixen a la classe IV tampoc per que es considera que amb aquest percentatge de trascolació una intervenció no és necessària (taula 13).

Per una altra banda, als casos en els quals el canvi de Fracció de cabuda coberta siga molt acusat s'hauria de realitzar el tractament en dues fases deixant entre cadascuna de les fases un període de temps aproximat de 5 anys. Per que l'impacte del tractament sobre la massa no tinga conseqüències negatives, com per exemple la caiguda dels arbres pel vent.

Si apliquem aquesta proposta d'objectius generals de Fcc als rodals de la conca estudiada, que són susceptibles d'una intervenció, s'obté la següent proposta d'actuació concreta (taula 24).

Taula 24. Tractaments aplicats als rodals i augment de trascolació que comporta. Font: elaboració pròpia.

Nº Rodal	Superfície (ha)	Pendent (%)	Classe de trascolació	Fcc (%)	Aclarida (Reducció Fcc)	Fcc final (%)	Augment de Trascolació (%)	Classe final
2	17,34	5 - 15%	I	77,8%	55%	22,8%	<b>23%</b>	III
5	1,57	30 - 50%	III	56,8%	0%	56,8%	<b>0%</b>	III
7	22,79	15 - 30%	I	56,6%	15%	41,6%	<b>6,1%</b>	III
9	9,22	15 - 30%	III	51,7%	0%	51,7%	<b>0%</b>	III
10	9,71	15 - 30%	I	74,9%	35%	39,9%	<b>14,5%</b>	III
12	9,89	15 - 30%	III	57,1%	15%	42,1	<b>6%</b>	III
13	44,89	> 50%	I	60,3%	0%	60,3%	<b>0%</b>	I
18	7,38	30 - 50%	I	76,6%	15%	61,6%	<b>6%</b>	III

Com s'observa a la taula 24, les actuacions tenen com a resultat un augment de la trascolació que en alguns dels rodals té una importància considerable, s'observa aquest canvi sobretot en aquells on per tindre una coberta forestal elevada s'ha hagut de fer una intervenció més forta per aconseguir l'objectiu fixat (taula 23).

## 6. CONCLUSIONS I APLICACIONS FUTURES

Finalment, tot treball ha de proporcionar una sèrie de conclusions, que analitzen els objectius plantejats al treball, en primer lloc s'exposen les conclusions relacionades amb els objectius procedimentals per finalment concloure amb els més generals que abracen el conjunt del treball.

- En general es pot afirmar que per a totes les variables d'estructura de la massa els resultats de la comparació de les mesures realitzades amb LiDAR i les mesures d'inventari tradicional són satisfactoris, ja que no existeixen diferències importants entre els dues mètodes de mesura.
- Per a la variable **densitat**, s'ha obtingut un bon ajust. Per a la mesura de grans extensions de terreny el LiDAR presenta un gran avantatge front a el compteig d'arbres, ja que encara que tinga un cert grau d'error es poden abastar extensions de terreny impossibles amb el mètode tradicional.
- Per a la variable **Fracció de cabuda coberta** la mesura amb LiDAR realitza mesures amb una desviació de 10% sobre la cobertura. Es considera que és més precisa que la metodologia tradicional per diferents motius: és sistemàtica i s'obté amb una precisió de 0,5 punts/m<sup>2</sup>.
- Per a la variable **altura** s'obtenen bons resultats, amb desviacions d'aproximadament 0,4 - 0,6 m en l'altura dels arbres. Tenint en compte que el LiDAR proporciona la informació relativa a l'altura de tots els arbres, mentre que el mètode tradicional mesura una mostra amb la que es realitzen aproximacions al conjunt de la massa, la millora que presenta el LiDAR es remarcable.
- Per a la variables **estructura de la vegetació** la informació que ens presenta la tecnologia és molt valuosa permetent caracteritzar la massa de forma molt precisa. Aquesta variable resulta molt interessant per poder calcular la capacitat de d'emmagatzematge d'aigua per part de la coberta.

- El càlcul de la trascolació tant per al model basat en la fracció de cabuda coberta com per al model basat en la densitat, permeten la caracterització hidrològica de la massa d'acord amb les diferents estructures de vegetació.
- Les dues formes de realitzar la rodalització comparades no difereixen excessivament, ja que per calcular la variable hidrològica ens basem variables d'estructura de la massa, en aquest cas concretament en la fracció de cabuda coberta.
- Amb el bon ajust del model de trascolació basat en la Fracció de cabuda coberta, s'obté una ferramenta molt interessant que junt amb el coneixement de l'estructura de la massa (amb un detall de 100 m<sup>2</sup>), ens permet realitzar la rodalització de la conca hidrogràfica amb l'objectiu d'aplicar tractaments de selvicultura hidrològica.
- Conegudes les característiques dels rodals assenyalats, es proposa la fracció de cabuda coberta més adient per a cada tipus de massa, és a dir quin és l'objectiu a assolir amb l'aplicació de les aclarides.
- L'aplicació dels tractaments a la conca té com a resultat un augment de la trascolació que en els rodals de Classe I representa importància considerable. Arribant a augmentar fins a el 23% la trascolació on els tractaments són més forts.
- S'ha de tindre en compte la temporalitat de les intervencions realitzades, ja que la massa evoluciona després de l'aplicació des tractaments.

Per concloure, els models establerts a aquest treball poden ser utilitzat com a base per a l'aplicació d'una selvicultura adaptativa hidrològica, pràctica molt necessària a les masses forestals actualment, per tal de millorar la seua adaptació al canvi climàtic.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Andersen, H-E., Reutebuch,S., McGaughey, RJ. 2006. Forest measurement and monitoring using high-resolution airborne LiDAR (SAF), North Puget Sound Chapter Meeting. June 14, Mount Vernon, WA.
- Benoît, M; Fiquepron, J. 2010.Impacts de la forêt sur le ressource en eau. Journée de transfert de connaissance de l'IDF et colloque Sylvamed. Mise en valeur d'un service environnemental et potentiel de contractualisation. "Des forêts pour l'eau potable".Marseille, 17 -18 Novembre.
- Birot, Y; Vallejo, R. 2011. Green water to sustain forest ecosystems processes and their functions. Water for forests and people in Mediterranean region. What science can tell us. European forest institute. 67-71.
- Brian E. Roth, K Clint Slatton, and Matthew J. Cohen. 2007. On the potential for high-resolution lidar to improve rainfall interception estimates in forest ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5: 421–428. doi:10.1890/060119.1
- Calder, I. R., 2002. Forests and Hydrological Services: Reconciling public and science perceptions. *Land Use and Water Resources Research*. 2, 1-12.
- Calder, I. R., 2003. Forests and Water - Closing the gap between public and science perceptions. Estocolmo. Stockholm Water Symposium.
- Causante Corral, D., García Güemes, C. 2010. Estimación de recursos forestales con tecnología LiDAR aerotransportada. Aplicación práctica en varios montes de la Provincia de Burgos.
- Ceballos, L., 1938. Regresión y óptimo de la vegetación en los montes españoles. Avila. Significación de los pinares.
- Cervelló Royo, J., 2008. Estudio climatológico del monte V-1007 de La Hunde y la Palomera en el término municipal de Ayora (Valencia). Valencia. Proyecto de Fin de Carrera de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos.



- Crockford, R. H., Richardson, D. P., 2000. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effects of forest type, ground cover and climate. *Hydrological processes*. 14, 2903-2920.
- David, J.S, Bellot, J; Birot Y; David, T,S. 2011. Water fluxes in forests. *Water for forests and people in Mediterranean region. What science can tell us*. European forest institute. 37-42.
- Del Campo, A.D, Aguilera, A., Lidón, A., Segura, G., 2008. Influencia del tipo y dosis de hidrogel en las propiedades hidrofísicas de tres suelos forestales de distinta textura. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*. 25, 137-143.
- DIELMO. *Tecnología LiDAR*. 2011 < <http://www.dielmo.com>> (Setembre 2011).
- Drake, J. Dubayah, R. Clark, D. Knox, R. Blair, B. Hofton, M. Chazdon, R. Weishampel, J. Prince, S. 2002. Estimation of Tropical Forest Structural Characteristics using Large-footprint Lidar. *Remote sensing of environment* 79, 305-319.
- Fabra-Crespo,M., Garfella, M., 2010a. Aplicaciones de la tecnología LiDAR al sector forestal y comparación de costes frente a metodologías tradicionales (No publicat).
- Fabra Crespo M., Mola Yudego, B., García Gonzalez J., Poveda-López A. 2010b. Xerrac-A software for the application of LiDAR to forest fire risk and fuel maps analysis. David Miranda, Juan Suárez and Rafael Crecente. *ForeStat2010*. 252-255.
- Fabra-Crespo, M., Poveda-López, A., Mola-Yudego, B., Reyna-Domenech, S. 2011. Assessment of stand estimates of *Pinus halepensis* Mill plantations based on low density LiDAR data (No publicat).
- FAO, 2005. Organizació de las Naciones Unides per a l'Agricultura i la Alimentació. *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2005*. Roma.

- Farid, A., Goodrich, D.C., Bryant, R., Sorooshian, S. 2008. Using airborne lidar to predict Leaf Area Index in cottonwood trees and refine riparian water-use estimates. *Journal of Arid environments*. 72 :1-15.
- Gallart, F., Llorens, P., 2003. Observations on land cover changes and water resources in the headwaters of the Ebro catchment, Iberian Peninsula. *Physics and Chemistry of the Earth*. 29, 769-773.
- García, J. C. 2009 DielmoOpenLiDAR: control de calidad de datos LiDAR y generación de productos finales. III Jornadas de SIG libre. Servicio de Sistemas de Información Geográfica y Teledetección. Universitat de Girona.
- Hanchi, A., Rapp, M., 1997. Stemflow determination in forest stands. *Forest Ecology and Management*. 97, 231-235.
- Hill, R., Rosette, J., Suárez, J. 2008 (eds). *Proceeding of SilvaLaser-2008*. Edimburg, UK.
- IPCC, 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change. *The Physical Science Basis*. United Nations Environment Programme.
- Leblanc, S. G., Chen, J. M., 2001. A practical scheme for correcting multiple scattering effects on optical LAI measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*. 110, 125– 139.
- Li-Cor, 1991. *LAI-2000 Plant Canopy Analyzer Operating Manual*. Lincoln, Nebraska, EE.UU. LI-COR Inc.
- Llorens, P., Domingo, F., 2007. Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe. *Journal of Hydrology*. 335, 37– 54.
- Llorens, P., Poch, R., Latron, J., Gallart, F., 1997. Rainfall interception by a *Pinus sylvestris* forest patch overgrown in a Mediterranean mountainous abandoned area. I. Monitoring design and results down to the event scale. *Journal of Hydrology*. 199, 331-345.

- Lloyd, C.R., Marques, A., 1988. Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian rainforest. *Agricultural and forest meteorology*. 42, 63-73.
- López-Serrano F.R., Landete, T., Martínez, J., Cerro, A., 2001. LAI estimation of natural pine forest using a non-standard sampling technique. *Agric. For. Meteorol.* 101, 95–111.
- Mitchell, P J. 2011. Capturing within catchment variation in evapotranspiration from montane forests using LiDAR canopy profiles with measured and modelled fluxes of water. *Ecohydrology* 255.
- Molina A. y del Campo, A. 2012. The effects of experimental thinning on throughfall and stemflow: a contribution towards hydrology-oriented silviculture in Aleppo pine plantations. *Forest Ecology And Management*. 269: 206 – 213.
- Molina, A., del Campo, A., 2011. Estimación del Índice de área foliar en pinares de repoblación con LAI-2000 bajo radiación solar directa: relación con variables de inventario e hidrológicas. *Forest systems*. 20(1),108-121.
- Molina. A; 2010. Aproximación al ciclo hidrológico de una masa de *Pinus halepensis* con diferentes grados de cobertura vegetal. Tesina final de Máster. Universitat Politècnica de Valencia.
- Molina, A., 2008. Relación entre la intensidad de los claros en masas coetáneas de *Pinus halepensis* y la intercepción de la precipitación: Estudios preliminares. Trabajo Profesional Fin de Carrera. Universidad de Córdoba. España.
- Molina, J.M; Piqué, M; Vericat, P. 2006. Manual de ordenación por rodales. Gestión multifuncional de los espacios forestales. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya.

- Monzó, J., 2009. Caracterización de la vegetación y la flora del monte V-1007 de La Hunda y Palomera en el término municipal de Ayora (Valencia). Proyecto final de carrera. Valencia. Universidad Politécnica de Valencia.
- Muys, B; Ceci, P; Hofer, T; Veith, C. 2011. Towards integrated ecological, socio-economic and hydrological management. En Birot, Y., Gracis, C., Palahí, M. (Eds). Water for forests and people in the Mediterranean Region What science can tell us. European Forest Institute. 105-113.
- Navarro, R.M., Sánchez, M., Gómez, J., García-Ferrer, A., Hernández, R., Lanjeri, S., 2010. Aplicación de imágenes LiDAR para la estimación de índice de superficie foliar (LAI) en encinas (*Quercus ilex*. Subsp. *ballota* (Desf.) Samp). Forest Systems 19: 61 – 69.
- Olsson, 2003 Summary of the Scandlaser 2003 Workshops and recent developments in Sweden.
- PATFOR.es. Plan de Acción Territorial Forestal de la Comunidad Valenciana. <http://www.cma.gva.es/arbodin/indice.aspx?nodo=180&idioma=c> (Setembre 2011)
- Persson, Å., Holmgren, J. & Söderman, U. 2002. Detecting and measuring individual trees using an airborne laser scanner. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 68, pp. 925-932.
- Renslow M., Greenfield, P. & Guay, T., 2000. Evaluation of Multi-Return LIDAR for Forestry Application. US Department of Agriculture Forest Service – Engineering.
- Reyna, S., Fabra, M., & Poveda, A., 2010. Programa de mejora de la capacidad de adaptación al cambio climático de los bosques de la Comunidad Valenciana. Generalitat Valenciana. Universidad Politécnica de Valencia (No publicat).
- Rivas Martínez, S., 1987. Mapa de series de vegetación de España 1:400.000 y memoria. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

- Savé, R., Heralde, Biel, C., 2005. Aproximación al ciclo del agua en ecosistemas forestales. *Invest Agrar: Sist Recur For.* 14(3), 497-512.
- S.E.C.F (Sociedad Española de Ciencias Forestales). 2005. Mundi Prensa Libros. Madrid.
- Suárez, J.C., Ontiveros, C., Smith, S., Snape, S., 2005. Use of airborne LiDAR and aerial photography in the estimation of individual tree heights in forestry. *Computers & Geosciences* 31 pp. 253–262.
- Steadnick, J. 1996. Monitoring the effects of timber harvest on annual water yield. *Journal of hydrology.* 176, 79-95.
- Welles, J. M., Cohen, S., 1996. Canopy structure measurement by gap fraction analysis using commercial instrumentation. *Journal of Experimental Botany.* 47 (202), 1335-1342.

# ANNEXOS

---

## ANNEX 1 RODALITZACIÓ FORESTAL

### 1. DESCRIPCIÓ DE LA METODOLOGIA

Aquesta divisió en unitats homogènies, es realitza de forma progressiva, es a dir, en primer lloc es fa una divisió més grossera, una aproximació al que seran els rodals. En aquest cas s'ha estimat com a variables a destacar la vegetació i les característiques edafològiques.

En aquest cas es comprova d'acord amb el projecte final de carrera "*Caracterització edafològica del forest de La Hunde i Palomeras*" (Ruiz, 2009), que les variacions en la zona d'estudi referents a la natura del sol no són significatives, per trobar molt poques diferències, és a dir, pràcticament tota la zona d'estudi presenta les mateixes característiques pel que fa a aquesta variable. D'acord amb Ruiz, el mapa de sòls obtingut al treball, permet contemplar una sèrie d'unitats de comportament similar quant a propietats com la textura, contingut de matèria orgànica, presència de carbonats o salinitat.

Per a una primera aproximació s'ha tingut en compte la classificació de la vegetació existent a la conca d'estudi d'acord amb el projecte final de carrera "*Caracterización de la vegetación y la flora del monte V-1007 de la Hunde y Palomeras en el termino municipal de Ayora (Valencia)*" (Monzó, 2009). A partir de l'idea de les característiques de la vegetació que dona aquest mapa es fa la primera rodalització.

Una vegada feta aquesta aproximació, i amb les variables explicades per al nivell d'estudi de les parcel·les, també disponibles per a tota la conca, com són, estructura de vegetació, densitat i altures, sempre amb la resolució de 10 x 10 m<sup>2</sup>. S'han realitzat dues temptatives de rodalització de forma simultània, per una banda s'ha optat per una **rodalització exhaustiva** on es tenen en compte les tres variables reclassificades en diferents rangs o nivells. I per una altra banda s'ha realitzat una **rodalització simplificada** on es tenen en compte l'estructura de la vegetació i la densitat reclassificades.

Pel que fa a la metodologia per a la **rodalització exhaustiva** les variables mesurades amb LiDAR s'han reclassificat, seguint el següent esquema:

Taula 1. Classificació de l'estructura de vegetació.

<b>Definició</b>	
<b>1</b>	Estructura arbrada sense presència de matoll.
<b>2</b>	Estructura de matoll sense presència d'arbrat.
<b>3</b>	Estructura de matoll i arbrat, sense continuïtat de combustible.
<b>4</b>	Estructura de matoll i arbrat, amb continuïtat de combustible. (es considera continuïtat de combustible a partir de 2m altura)

Taula 2. Classificació de la variable altura.

<b>Definició altures</b>	
<b>0</b>	0 metres
<b>1</b>	De 2 a 3,5 metres
<b>2</b>	De 3,5 a 5,5 metres
<b>3</b>	De 5,5 a 7,5 metres
<b>4</b>	De 7,5 a 19 metres

Taula 3. Classificació de la variable densitat.

<b>Definició densitats</b>	
<b>0</b>	0 peus/ha
<b>1</b>	De 100 a 300 peus/ha
<b>2</b>	De 400 a 600 peus/ha
<b>3</b>	De 700 a 900 peus/ha
<b>4</b>	De 1000 a 1400 peus/ha



Per tal d'avaluar la significació de les combinacions obtingudes es realitza un anàlisi de les freqüències de totes les combinacions possibles.

Per una altra banda pel que fa a la **rodalització simplificada**. S'obta per utilitzar una recllassificació més senzilla de les variables d'estructura de vegetació i densitat. S'ha arribat a aquesta conclusió per que es pot considerar que l'altura de l'arbrat va inclosa en la característica de l'estructura de vegetació. Per tant la classificació queda de la següent forma:

Taula 4. Classificació simplificada de les variables.

Estructura de vegetació		Densitat	
1	Estructura arbrada sense presència de matoll.	1	0-600 peus/ha
		2	600-1200 peus/ha
2	Estructura de matoll sense presència d'arbrat.	1	0-600 peus/ha
		2	600-1200 peus/ha
3	Estructura de matoll i arbrat, sense continuïtat de combustible.	1	0-600 peus/ha
		2	600-1200 peus/ha
4	Estructura de matoll i arbrat, amb continuïtat de combustible. (es considera continuïtat de combustible a partir de 2m altura)	1	0-600 peus/ha
		2	600-1200 peus/ha

En aquest cas simplement es combinen les diferents estructures de vegetació amb una densitat considerada, baixa o elevada, es considera baixa densitat, l'interval entre 0-600 peus/hectàrea i elevada densitat entre 600-1200 peus/hectàrea.

El següent pas consisteix a definir un criteri per decidir que es considera rodal, al treball s'ha aplicat com a criteri la superfície mínima, de forma que els rodals resultants tinguen una superfície que es pugui estudiar, però a més a més que siga una unitat suficientment gran per a gestionar-la.

Pot ser necessari a determinades circumstàncies diferenciar rodals d'una superfície menuda, però sempre superiors a una hectàrea. Sòls en casos excepcionals pot

diferenciar-se algun rodal extremadament menut (menors a una hectàrea) (Molina, *et al* 2006). Al cas de l'estudi s'ha considerat una mínima superfície d'una hectàrea.

## 2. RESULTATS

### Rodalització exhaustiva

Després d'aquesta reclassificació les variables es combinen entre elles de forma que aconseguim un total de 65 combinacions diferents, de les quals algunes estan representades en un número molt baix de píxels o altres no són raonables, com per exemple estructura de matoll amb una altura de 7,5 a 19 metres i densitat 0 peus/hectàrea, i d'altres on la informació es dobla, és a dir, si es tracta d'una estructura d'arbrat es suposa que tindrà una determinada altura superior a 3,5 metres, etc.

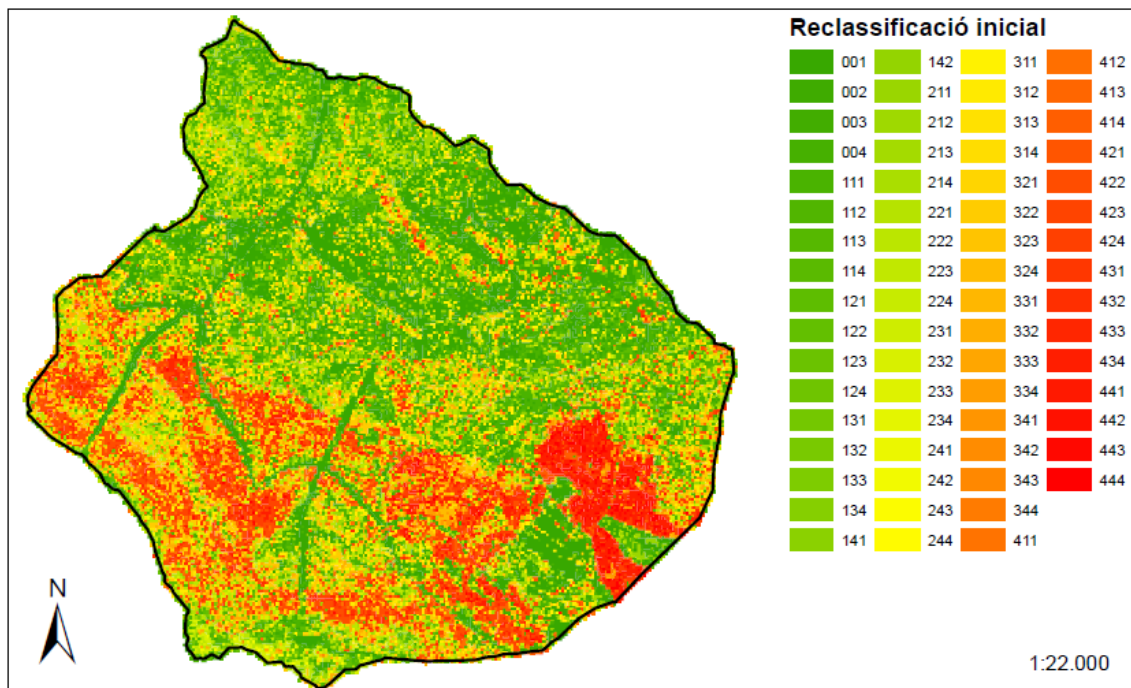


Figura 1: Resultat de la reclassificació inicial, a la llegenda s'observen totes les possibilitats resultants de la concatenació de les variables. El primer número de la concatenació fa referència a l'altura, el segon densitat i el tercer a l'estructura de vegetació.

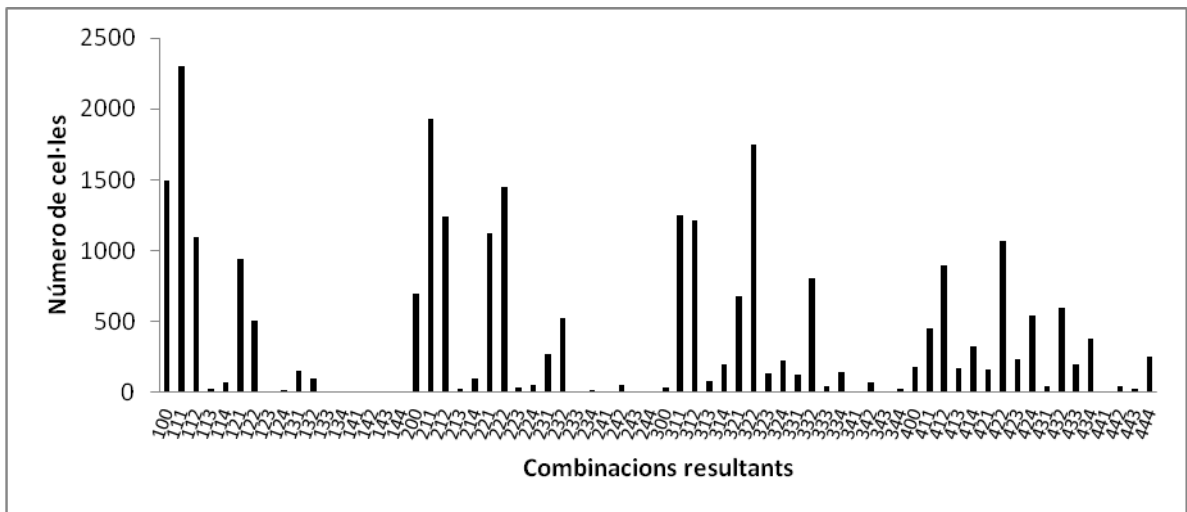


Figura 2: Freqüència de cadascuna de les combinacions obtingudes.

Una vegada analitzada la freqüència obtinguda per cadascuna de les combinacions, sols un 56 % de les alternatives apareix en un total de 100 cel·les, es que es equivalent a una hectàrea. Per tant, donat que amb aquesta combinació s'obté una gran varietat de cel·les diferents, els rodals que queden definits no són homogenis, o són d'una grandària massa menuda per a la seua gestió.

### Rodalització simplificada

Amb aquesta classificació simplificada els rodals queden diferenciats, formant rodals clarament definits. S'obtenen aplicant aquests criteris un total de 85 rodals de superfícies molt diverses, des de 376 m<sup>2</sup> fins a 172 hectàrees.

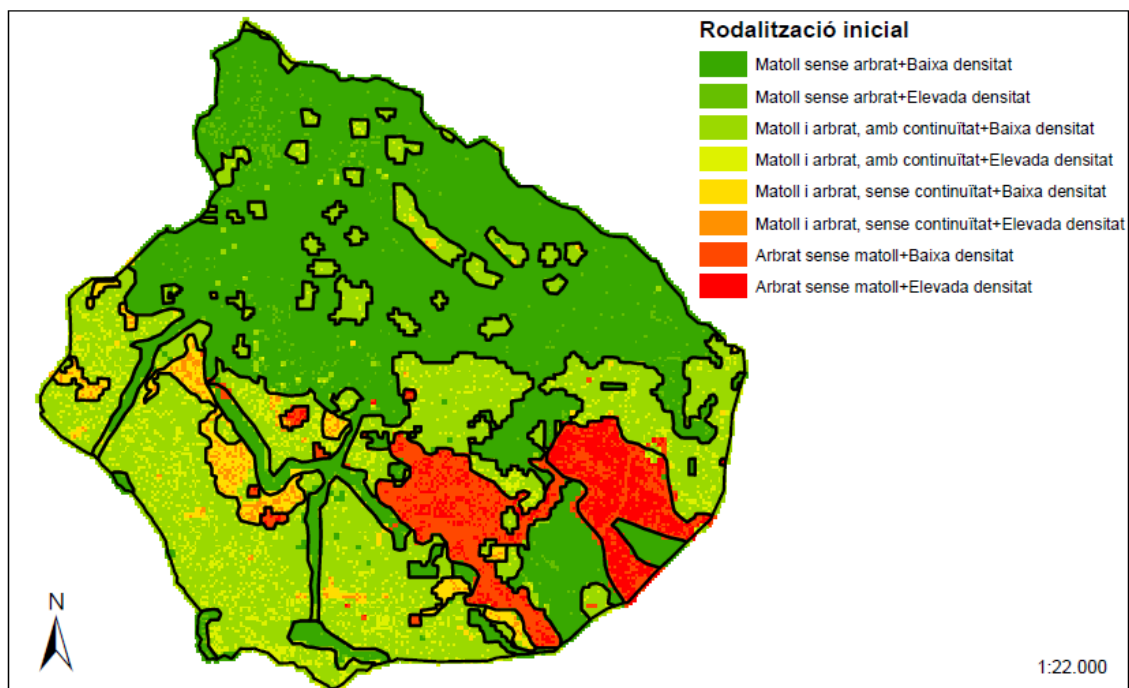


Figura 3: Mapa resultant de les dos variables reclassificades unides, en negre marcats els rodals resultants d'aquesta unió.

Com s'observa a la figura 3, existeixen un l'elevat número de rodals menors a una hectàrea, que s'han d'eliminar per aconseguir el criteri de la superfície mínima.

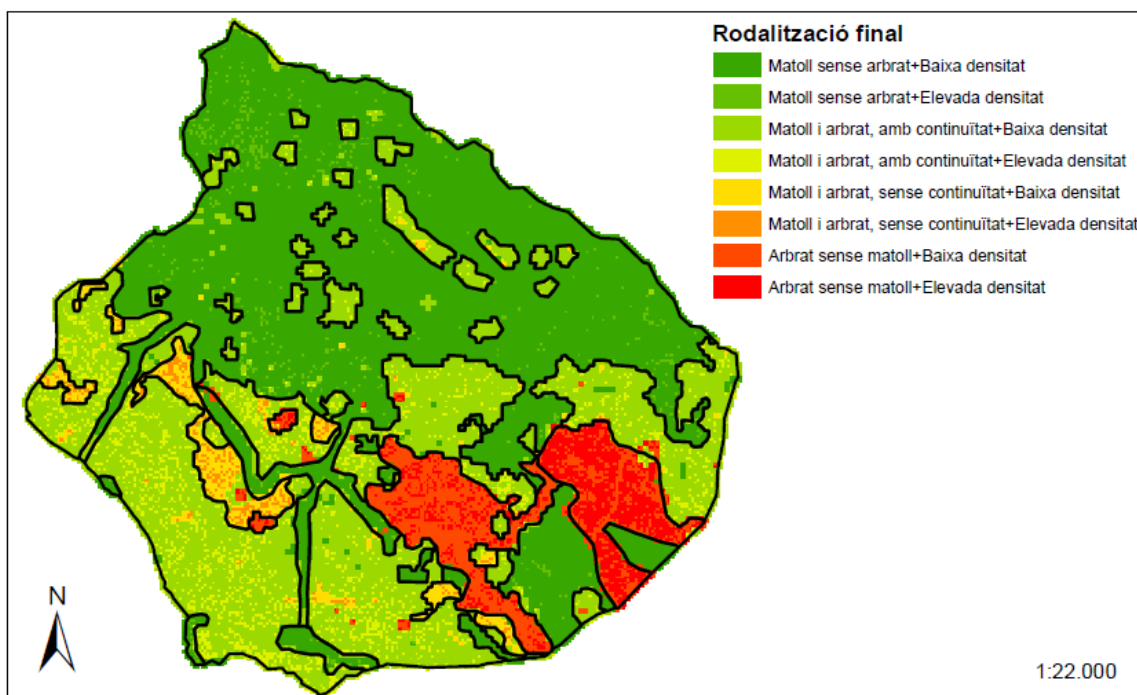


Figura 24: Mapa final dels rodals una vegada s'han eliminat els rodals d'una superfície menor a 1 hectàrea.

## ANNEX 2 Resultats estadístics

### Anàlisi de regressions

Model de trascolació basat en la fracció de cabuda coberta

Resumen del modelo										
Model	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> corregida	Error típ. de la estimació	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. del cambio en F	
1	0,9295	0,8640	0,8489	4,7477	0,86408862	57,2196	1	9	3,4523E-05	2,3028187

Coeficientes						
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
			Error típ.	Beta		
1	(Constante)	94,8954581	3,9004171		24,3295667	1,60269E-09
	fcclidar	-0,42064094	0,05560823	-0,92956367	-7,56436522	3,45234E-05

Model de Trascolació basat en la densitat

Resumen del modelo										
Model	R	R <sup>2</sup>	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. del cambio en F	
1	0,82325	0,6777	0,6419	7,31060	0,6777	18,9286	1	9	0,00184	1,5537

Coeficientes								
Model		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	T	Sig.	Intervalo de confianza para B al 95%	
			Error típ.	Beta			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	82,417	4,0857		20,1719	8,4189E-09	73,1746375	91,6597
	d4lidar	-0,0202	0,0046	-0,82325	-4,350	0,001848	-0,03076778	-0,00971

## ANOVA univariant

Amb el programa SPSS 16 es realitza una anàlisi d'Anova, amb l'opció d'Anova univariant on el factor es el mètode de mesura, per comprovar si hi ha diferències significatives segons el mètode utilitzat per a mesurar la variable.

Homogeneïtat de variàncies per a la comparació de mitjanes entre els dos mètodes de mesura (Test de Levene) per a la variable altura.

Variable dependiente: h (m)

F	gl1	gl2	Significación
.287	1	194	.593

Comparació de mitjanes entre els diferents mètodes de mesura per a la variable altura.

Variable dependiente: h (m)

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	139.954 <sup>a</sup>	1	139.954	93.681	.000
Intercept	23415.870	1	23415.870	15673.976	.000
METODE	139.954	1	139.954	93.681	.000
Error	289.823	194	1.494		
Total	24756.462	196			
Total corregida	429.777	195			

a. R cuadrado = .326 (R cuadrado corregida = .322)

Homogeneïtat de variàncies per a la comparació de mitjanes entre els dos mètodes de mesura (Test de Levene) per a la variable densitat.

Variable dependiente: densitat

F	gl1	gl2	Significación
.021	1	20	.887

Comparació de mitjanes entre els diferents mètodes de mesura per a la variable densitat.

Variable dependent: densitat

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	22991,156 <sup>a</sup>	1	22991,156	,102	,752
Intersección	1,100E7	1	1,100E7	48,941	,000
metode	22991,156	1	22991,156	,102	<b>,752</b>
Error	4494551,938	20	224727,597		
Total	1,552E7	22			
Total corregida	4517543,095	21			

a. R cuadrado = ,005 (R cuadrado corregida = -,045)

Homogeneïtat de variàncies per a la comparació de mitjanes entre els dos mètodes de mesura (Test de Levene) per a la variable fracció de cabuda coberta.

Variable dependiente: fcc

F	gl1	gl2	Significación
,033	1	20	,857

Comparació de mitjanes entre els diferents mètodes de mesura per a la variable fracció de cabuda coberta.

Variable dependiente: fcc

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	837,245 <sup>a</sup>	1	837,245	1,131	,300
Intersección	76784,865	1	76784,865	103,731	,000
metode	837,245	1	837,245	1,131	<b>,300</b>
Error	14804,628	20	740,231		
Total	92426,739	22			
Total corregida	15641,874	21			

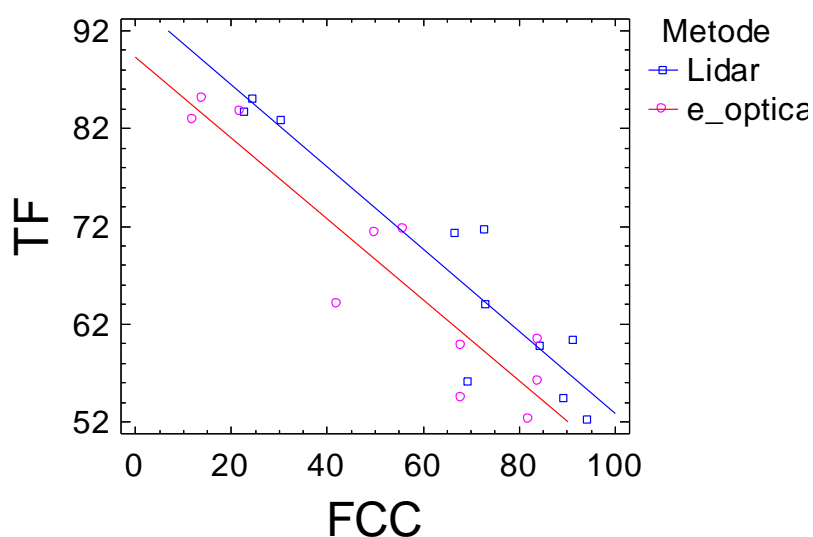
a. R cuadrado = ,054 (R cuadrado corregida = ,006)

## Comparació de pendents

S'ha utilitzat el software Statgraphic 5.1, per tal de realitzar una comparació de les pendents i punts d'intersecció de les rectes de diferents models analitzats, la comparació es realitza entre els models de Molina i del Campo,2012, i els obtinguts a aquest treball.

Comparació dels Models basats en la variable fracció de cabuda coberta:

### Gráfico del Modelo Ajustado



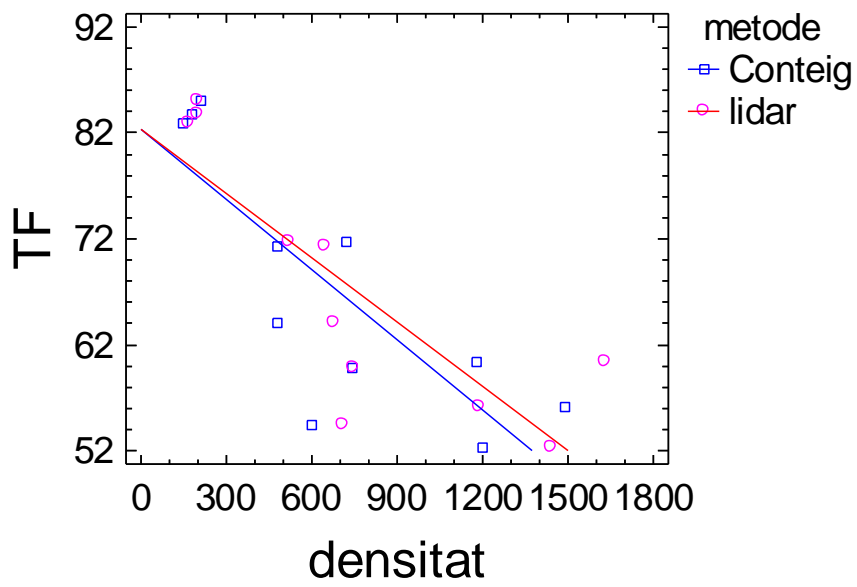
Fuente	Suma de Cuadrats	Gl	Raiz Cuadra	F-Ratio	P-Valor
FCC	2434,28	1	2434,28	106,06	0,0000
Punto de corte	137,666	1	137,666	6,00	0,0248
Pendiente	0,210322	1	0,210322	0,01	0,9248
Modelo	2572,15	3			

No hi ha diferències significatives entre les pendents, donat que el P-valor per al punt de tall es inferior a 0.05, hi ha diferències estadísticament significatives entre els punts de tall per als diferents valors al 95% de nivell de confiança.



Comparació dels Models basats en la variable densitat:

## Gráfico del Modelo Ajustado



Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Raiz Cuadrada	F-Ratio	P-Valor
Densitat		1981,28	1	1981,28	36,01 0,0000
Punto de corte	10,1349	1	10,1349	0,18	0,6729
Pendiente	3,5646	1	3,5646	0,06	0,8020
Modelo		1994,98	3		

No hi ha diferències estadísticament significatives entre les pendents. Donat que el valor p-valor per al punt de tall es major o igual a 0.10, no hi ha diferències estadísticament significatives entre els punts de tall al 90% de nivell de confiança.