



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

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

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-124

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

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Caracterización del daño de viento y nieve en masas forestales noruegas

DÍAZ-YÁÑEZ, O.¹, MOLA-YUDEGO, B.^{1,2} y GONZÁLEZ-OLABARRIA, J.R.³

¹ School of Forest Sciences, University of Eastern Finland, PO Box 111, 80101 Joensuu (Finland).

² Norwegian Institute of Bioenergy Research, P.O. Box, 115, 1431 Ås (Norway).

³ Centro Tecnológico Forestal de Cataluña (CTFC-CEMFOR)

Resumen

Los daños de viento y nieve tienen gran importancia en la dinámica y sucesión forestal, siendo también fuente de importantes pérdidas económicas. Los objetivos de este estudio son: caracterizar los daños de viento y nieve en Noruega y crear modelos predictivos que relacionen variables de masa y estructura forestal, con el daño de viento y nieve. Para ello se usaron cuatro mediciones del Inventario Nacional Forestal noruego, realizadas durante el periodo 1995-2014. Las metodologías usadas son: *kernel*s para análisis espaciales, modelos lineales para discernir tendencias temporales, modelos de aprendizaje automático para evaluar la importancia de las variables forestales y modelos binarios para predecir la ocurrencia de daños. Los resultados indican las variables que mejor relacionan la vulnerabilidad de las masas forestales y la ocurrencia de daños: la localización de la masa, densidad, el área basal, el diámetro de los árboles y otras variables de estructura y composición. Durante la modelización se hizo hincapié en las diferentes respuestas asociadas a las tipologías de bosque (coníferas, frondosas y mixtas).

Palabras clave

Perturbaciones naturales, modelización forestal, inventario forestal nacional

1. Introducción

Las perturbaciones forestales ocasionadas por viento y nieve tienen gran importancia en la sucesión y ecología forestal debido a los grandes cambios que ocasionan en la masa. Estos cambios pueden ser en estructura y composición, por ejemplo cuando el daño de viento y nieve resulta en la creación de espacios dentro de la masa (QUINE & GARDINER 2007). Otro tipo de cambio que puede ocurrir, como resultado de una perturbación por viento o nieve, es la modificación e incluso desaparición de los productos y servicios que el bosque proporciona (THOM & SEIDL 2015). Daños de viento o nieve también pueden llevar a la modificación en las actuaciones de manejo pre-establecidas en la masa dañada (GADOW 2000) con el consecuente impacto económico.

Aunque no hay predicciones que aseguren un incremento en la frecuencia e intensidad de viento y nieve, sí parece probable esperar que aumenten los daños en masas forestales debidos a estos agentes (SCHELHAAS ET AL. 2003). El viento y la nieve son unos de los agentes más comunes ocasionando perturbaciones forestales en los bosques noruegos (DÍAZ-YÁÑEZ ET AL. 2016) y esta situación puede tender a aumentar, ya que los árboles son cada vez más maduros y las masas forestales tienden a incrementar el volumen almacenado. La evaluación de las intensidades de los agentes (viento y nieve) es especialmente complicada en zonas boscosas ya que las estaciones

meteorológicas no suelen encontrarse próximas. Debido a la falta de información climática, la mejor forma que tenemos de evaluar la vulnerabilidad de una masa es mediante la identificación de los valores y características forestales que la hacen más propensa a sufrir daño.

El estudio de las perturbaciones producidas por viento y nieve se realiza a menudo tras eventos catastróficos (VALINGER & FRIDMAN 2011). Sin embargo, este tipo de análisis tiene una limitación importante, que es la falta de datos sobre la situación de la masa forestal previa al daño. En este sentido, los datos obtenidos de Inventarios Forestales Nacionales (IFN) presentan la gran ventaja de proporcionar información del estado de la masa antes y después del daño, y aunque los IFN no han sido específicamente diseñados para analizar daños forestales, se ha demostrado que éstos son una buena fuente de información para entender la distribución e impacto de diferentes tipos de daños (WULFF ET AL. 2013).

Estudios previos han analizado las características forestales que hacen una masa más vulnerable a sufrir daño por el efecto de viento o nieve (FRIDMAN & VALINGER 1998; MARTÍN-ALCÓN ET AL. 2010; DOBBERTIN 2002). Muchos de estos estudios resaltan la importancia de la localización de las masas, ya que determina en gran medida la exposición de estas al viento y la nieve (GARDINER & QUINE 2000; HANEWINKEL ET AL. 2008; SCHMIDT ET AL. 2010). Variables de estructura también se han considerado relevantes, entre ellas el área basal y densidad de la masa, indicando que masas con altas densidades pueden reducir el riesgo de daño (ya que los árboles son capaces de darse soporte mutuo y dificultan la penetración del viento), pero que éstas masas pueden sufrir un aumento radical de riesgo después de realizarse tratamientos como claras (PUKKALA ET AL. 2016; JALKANEN & MATTILA 2000; VALINGER & FRIDMAN 1999). La forma del árbol individual también es de gran importancia: árboles más esbeltos son más vulnerables a sufrir roturas (PELTOLA ET AL. 1999). La diferenciación entre tipologías de bosque (coníferas, frondosas y mixto) también es un indicador de la vulnerabilidad de la masa, ya que normalmente una mayor presencia de coníferas está relacionado con un incremento del daño (MITCHELL 2013).

2. Objetivos

Los objetivos de este estudio son: caracterizar los daños de viento y nieve en Noruega y crear modelos predictivos que relacionen variables de masa y estructura forestal con el daño.

3. Metodología

Los datos usados en este estudio se obtuvieron de cuatro mediciones del Inventario Forestal Nacional noruego, que fueron realizadas durante el periodo 1995-2014. El inventario noruego recoge datos en una red permanente de parcelas que se miden cada 5 años y están colocadas en una malla de 3 km por 3km. Las variables de masa se miden en una parcela de 250 m² alrededor del centro de la parcela y la presencia de daño es evaluada a nivel de rodal (1000 m²). En total se incluyeron un total de 24 191 parcelas permanentes en el análisis, todas ellas localizadas en áreas forestales productivas de Noruega, (exceptuando *Finmark*, la región más septentrional, excluida por tener una densidad de parcelas inferior al resto del país y no tener mediciones disponibles para todo el periodo de estudio). Las parcelas se dividieron de acuerdo a su localización en seis regiones, correspondiendo con las regiones forestales de Noruega (Figura 1). Las parcelas también se dividieron de acuerdo a su

especie dominante, picea (*Picea abies*) (picea>70%) 27% de las parcelas, pino (*Pinus sylvestris*) (pino>70%) 22% de las parcelas, abedul (*Betula sp.*) (abedul>70%) 17% de las parcelas y mixtas (parcelas dominadas por la combinación de cualquiera de las especies anteriores y con más de un 10% de frondosas) representando el 34% de las parcelas. Las variables fueron elegidas basadas en una revisión bibliográfica (Tabla 1).

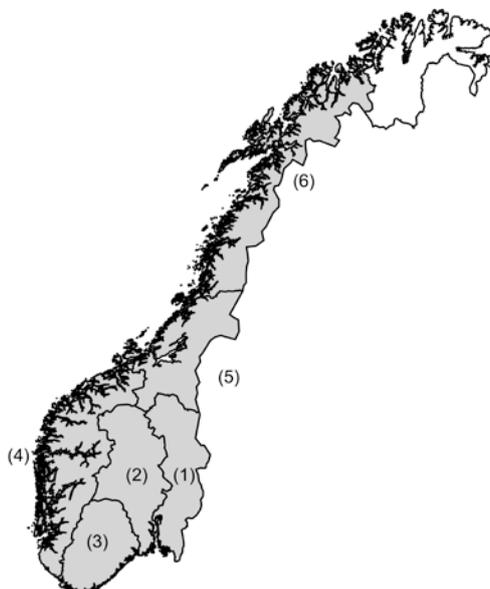


Figura 1. Regiones forestales de Noruega (Región 1: Østfold, Akershus, Oslo, Herdmark, Región 2: Oppland, Burkerud, Vestfold, Región 3: Telemark, A-Agder, V-Agder, Región 4: Hordaland, Rogaland, More & Romsdal, Sogn & Fjordane, Región 5: Nord-Trøndelag y Sør-Trøndelag, Región 6: Norland y Troms)

Tabla 1. Variables consideradas en el análisis y sus referencias

Variables	Descripción	Viento	Nieve
Estación			
Región	Región forestal determinada por las instrucciones forestales (SKOGLANDSKAP 2007)	(FRIDMAN & VALINGER 1998),(GARDINER & QUINE 2000),(VALINGER & FRIDMAN 1999)	(GARDINER & QUINE 2000),(VALINGER & FRIDMAN 1999),(NYKÄNEN ET AL. 1997)
Tipo de suelo	Mineral o orgánico (turba)	(GARDINER & QUINE 2000),(JALKANEN & MATTILA 2000), (SCHMIDT ET AL. 2010)	(JALKANEN & MATTILA 2000)
Altitud	Altitud de la parcela considerada sobre el nivel del mar (m)	(DOBBERTIN 2002), (FRIDMAN & VALINGER 1998), (JALKANEN & MATTILA 2000), (VALINGER & FRIDMAN 1999)	(JALKANEN & MATTILA 2000), (VALINGER & FRIDMAN 1999)
Pendiente	Pendiente de la parcela(%)	(DOBBERTIN 2002), (VALINGER & FRIDMAN 1999)	(BEBI ET AL. 2009), (NYKÄNEN ET AL. 1997)
Orientación	Orientación de la parcela dividida	(DOBBERTIN 2002)	(HANEWINKEL ET AL. 2008)

	en N, S, E y O		
Calidad de estación	Calidad de estación en m por especie dominante.	(VALINGER & FRIDMAN 1999), (HANEWINKEL ET AL. 2008)	(HANEWINKEL ET AL. 2008)
Estructura			
Altura	Altura media de la masa antes del daño (m)	(DOBBERTIN 2002), (FRIDMAN & VALINGER 1998), (GARDINER & QUINE 2000), (SCHMIDT ET AL. 2010), (VALINGER & FRIDMAN 1999), (HALE ET AL. 2010), (VALINGER ET AL. 1993)	(GARDINER & QUINE 2000), (MARTÍN-ALCÓN ET AL. 2010), (VALINGER & FRIDMAN 1997), (FRIDMAN & VALINGER 1998), (VALINGER ET AL. 1993)
Área basal	Área basal de la parcela antes del daño (m ² /ha)	(JALKANEN & MATTILA 2000), (VALINGER & FRIDMAN 1999)	(JALKANEN & MATTILA 2000), (VALINGER & FRIDMAN 1999)
Diámetro	Diámetro medio de la parcela antes del daño (cm)	(VALINGER & FRIDMAN 1999), (VALINGER & FRIDMAN 1997), (FRIDMAN & VALINGER 1998)	(VALINGER & FRIDMAN 1997), (FRIDMAN & VALINGER 1998), (JALKANEN & MATTILA 2000)
Edad	Edad media de la parcela antes del daño	(JALKANEN & MATTILA 2000), (VALINGER & FRIDMAN 1999), (VALINGER & FRIDMAN 1997) (HANEWINKEL ET AL. 2008)	(JALKANEN & MATTILA 2000), (VALINGER & FRIDMAN 1997), (HANEWINKEL ET AL. 2008)
Fracción de cabida cubierta	Fracción de cabida cubierta de la parcela antes del daño (%)	(DOBBERTIN 2002)	(BEBI ET AL. 2009)
Densidad	Densidad total de la parcela antes del daño (tres ha ⁻¹)	(GARDINER & QUINE 2000), (VALINGER & FRIDMAN 1999), (VALINGER ET AL. 1993)	(GARDINER 2005), (JALKANEN & MATTILA 2000), (VALINGER & FRIDMAN 1997), (VALINGER ET AL. 1993)
Clase de desarrollo	Clase de desarrollo dividida en 5 categorías de acuerdo a las instrucciones forestales (Skoglandskap 2007)	(JALKANEN & MATTILA 2000)	(JALKANEN & MATTILA 2000)
Estructura	Variable categórica definiendo si la masa se encuentra en un piso, dos, en múltiples pisos.	(DOBBERTIN 2002), (PUKKALA ET AL. 2016)	
Coefficiente de Gini	Coefficiente de Gini calculado por área basal.	(DOBBERTIN 2002), (PUKKALA ET AL. 2016)	

	Valores altos indican masas más heterogéneas en estructura.		
Manejo			
Tratamiento anterior	Tratamiento silvícola aplicado antes del daño	(JALKANEN & MATTILA 2000), (VALINGER & PETTERSSON 1996), (HALE ET AL. 2010)	(JALKANEN & MATTILA 2000), (MARTÍN-ALCÓN ET AL. 2010)
Distancia al borde del rodal	Distancia en metros al borde desde el centro de la parcela al borde del rodal	(SCHMIDT ET AL. 2010)	(JALKANEN & MATTILA 2000)

La tendencia de daño producido por viento y nieve se evaluó usando la frecuencia de ocurrencia del daño en cada una de las regiones forestales y sobre el total del país. La tendencia se analizó estadísticamente con modelos identificando aquellos que presentaran niveles significativos ($p < 0.05$). La caracterización espacial de los daños se realizó mediante *kernels* adaptativos (ABRAMSON 1982) en la que se consideraron como eventos las parcelas que presentaran daños de viento y nieve.

Posteriormente, se desarrollaron modelos de aprendizaje automático para las masas de picea basados en árboles de clasificación (BREIMAN ET AL. 1984). En este proceso, los datos se dividen recursivamente usando como criterio el índice de Gini, para crear una estructura de árbol en la que en cada división o nodo se obtiene la probabilidad de que esa masa sea dañada. El número de parcelas no dañadas se muestreó de manera aleatoria hasta conseguir que las parcelas dañadas representaran un 70% de las no dañadas, a fin de evitar sobreestimar las características de las parcelas no dañadas. El error del árbol de clasificación fue calculado mediante validación cruzada y el poder predictivo del modelo se evaluó mediante el área bajo la curva (AUC) y la curva ROC. Todos los árboles de clasificación se hicieron usando el paquete de *R rpar* (THERNEAU ET AL. 2015).

4. Resultados

Las parcelas totales dañadas por viento y nieve fueron 720. De entre las parcelas dañadas, un 37% de los daños ocurrieron en masas dominadas por abedul, 31% por picea, 25% por bosques mixtos y 6% por pino. La serie temporal de ocurrencia de daños por viento y nieve (Figura 2) presenta tendencias negativas a nivel de país, indicando que en ambos casos la frecuencia de daño se ha reducido con el tiempo (mostrando una tendencia lineal, $p < 0.001$) aunque durante los años 2012-2014 hubo un pequeño incremento. A nivel regional el daño ocasionado por nieve presentó una tendencia similar en todas las regiones (tendencia lineal, $p < 0.001$) pero en la región 6 hubo unos picos marcados en los años 1997 y 2003. Las frecuencias de los daños ocasionado por viento sólo presentaron la misma tendencia que a nivel de país en algunas de las regiones (la tendencia lineal fue de $p < 0.001$ sólo en las regiones 4, 5 y 6). La distribución espacial de los daños de viento y nieve (Figura 3) presenta mayor intensidad de ocurrencia de daños por nieve en zonas de montaña y los de viento más frecuente en regiones en el oeste el país y en zonas de montaña orientadas al Atlántico.

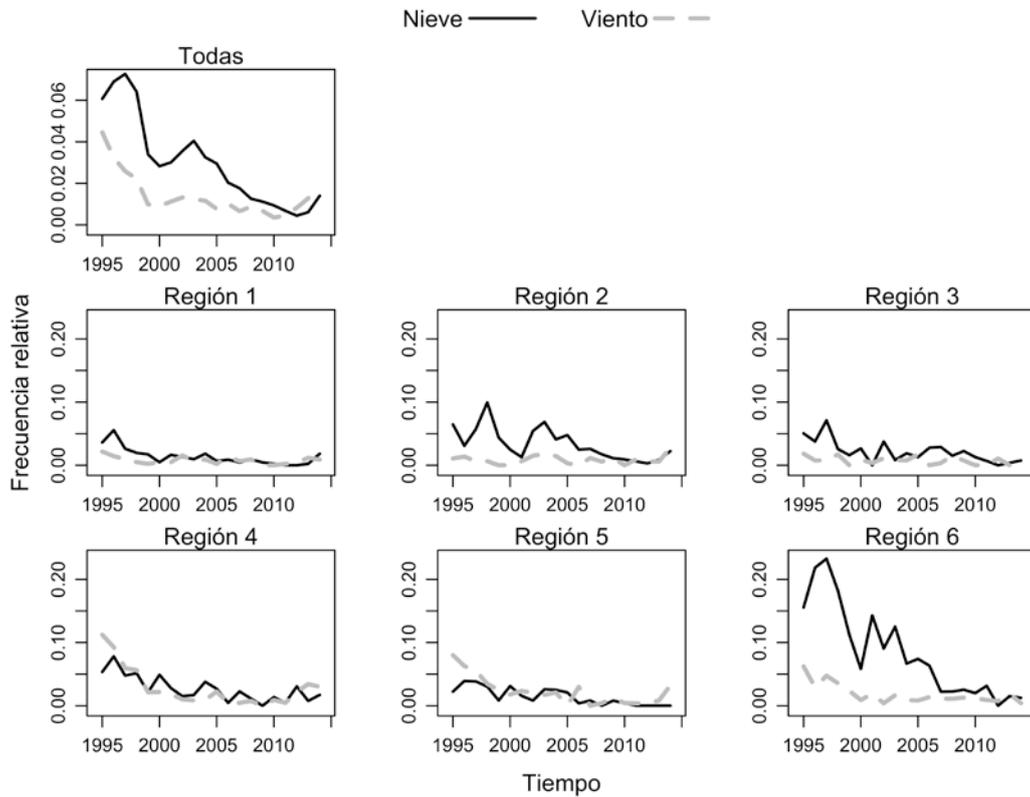


Figura 2. Variación temporal de frecuencia de daños en todo el país (Todas) y por región (Región 1-6)

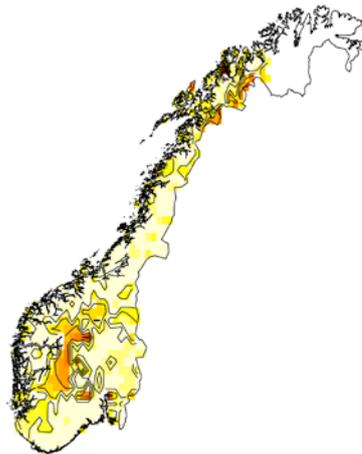


Figura 3. Análisis espacial con kernels adaptativos de las parcelas dañadas por viento y nieve

El árbol de clasificación para daño de viento en picea (Figura 4) indica que aquellas masas con árboles de diámetro medio mayor a 21cm, con estructuras menos heterogéneas (distribuidas en un solo piso o dos y en pendientes pronunciadas ($\geq 34\%$) o con alturas superiores a 18m, tienen altas probabilidades de sufrir daño por viento ($p > 85$); o si la altura media de los árboles es menor (< 18 m)

la probabilidad de daño se incrementa en masas con bajas densidades. Por otro lado, aquellas masas con árboles finos (diámetros <21cm) pero que se encuentran en clases de desarrollo avanzadas (V) y bajas densidades (<893 árboles ha⁻¹), son las masas que presentan mayores probabilidades de ser dañadas por viento.

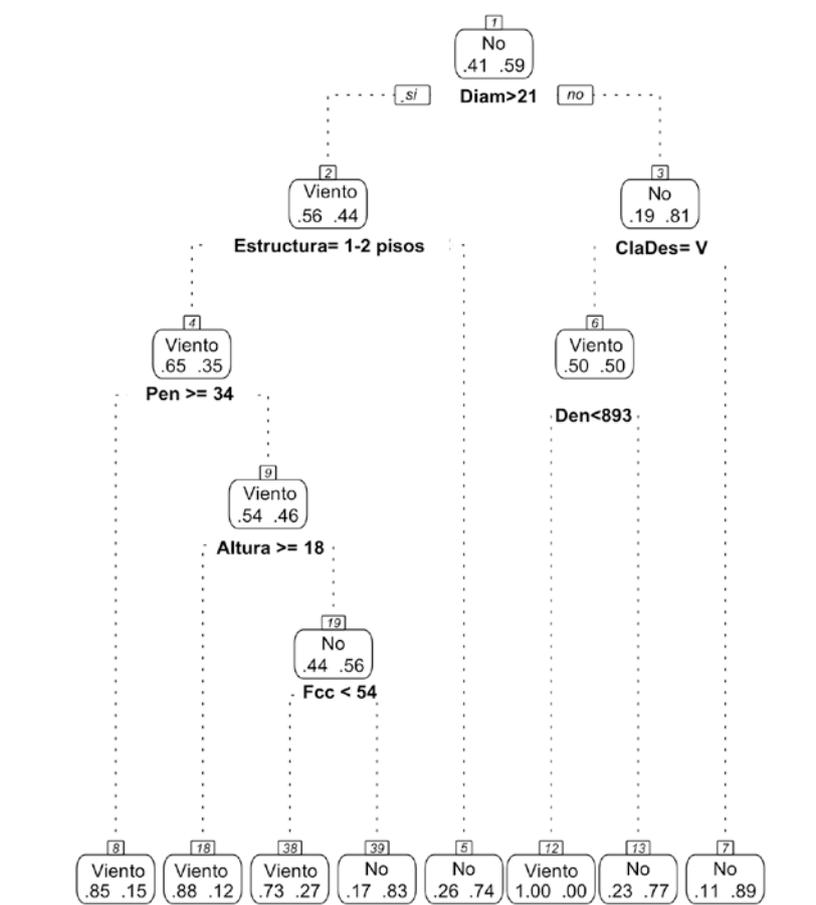


Figura 4. Árbol de clasificación para picea por daño de viento. Diam: Diámetro (cm), ClasDes: Clase de desarrollo (I-V), Pen: pendiente (%), Estructura: estructura de la parcela (1, 2, múltiple), Den: Densidad (árboles ha⁻¹), Altura: altura del árbol (m), Fcc: Fracción de cabida cubierta (%)

5. Discusión

El análisis de perturbaciones forestales durante periodos largos ayuda a un mejor entendimiento de qué características de la masa la hacen más propensa a sufrir daños. Un mejor entendimiento de qué hace una masa vulnerable es necesario para poder considerar estos aspectos a la hora de tomar decisiones y planificar el manejo. Datos proporcionados por Inventarios Forestales Nacionales han sido usados con anterioridad y éxito para predecir la probabilidad de una masa forestal a ser dañada por viento o nieve (JALKANEN & MATTILA 2000; FRIDMAN & VALINGER 1998).

En este estudio hemos caracterizado, con datos del inventario nacional noruego, las masas dañadas por viento y nieve y analizado las variables hacen una masa más propensa a sufrir daños.

La frecuencia de ocurrencia de los daños se ha ido reduciendo con el tiempo en Noruega, pero esta situación no tiene por qué ser permanente, ya que se espera un incremento de este tipo de daños (SCHELHAAS ET AL. 2003). La distribución temporal de frecuencia de daños, durante 1995-2014, también muestra picos marcados espaciados en el tiempo, pero no parece presentar un patrón de ciclos como en otras zonas de Europa (NYKÄNEN ET AL. 1997). La distribución espacial de las zonas dañadas por viento y nieve se corresponde con lo esperado, ya que zonas más expuestas a este tipo de daños, como zonas montañosas, presentan mayores concentraciones de ocurrencia.

Las masas de picea fueron analizadas con modelos de árboles de clasificación. Los árboles de clasificación es un método apropiado para este tipo de datos ya que proporciona información numérica y gráfica de las relaciones entre variables y es especialmente apropiado en este tipo de casos, cuando los datos se corresponden con complejos procesos ecológicos como las perturbaciones forestales (DE'ATH & FABRICIUS 2000; SELKIMÄKI ET AL. 2011). Todas las variables presentes en el modelo han sido también resaltadas con anterioridad en modelos prediciendo el daño de viento o nieve. La esbeltez del árbol, directamente relacionada con la altura y el diámetro de éste, es una de las variables más usada en modelos prediciendo el daño por viento, indicando como en nuestro modelo, que árboles más esbeltos tienden a ser más vulnerables (PELTOLA ET AL. 1999). La densidad también juega un papel importante a la hora de definir la vulnerabilidad de una masa, especialmente cuando ésta es adulta y ha crecido en densidades altas haciendo que sus árboles sean más esbeltos (GARDINER & QUINE 2000; JALKANEN & MATTILA 2000; VALINGER & FRIDMAN 1999). La estructura de la masa también es un factor importante a la hora de determinar como de vulnerable es una masa al daño de viento. Masas maduras con estructuras más homogéneas tienden a ser más vulnerables (PUKKALA ET AL. 2016; MASON 2002).

El efecto del viento y la nieve sobre los árboles suele ser la rotura de ramas y caída de árboles; muchas veces es difícil identificar cuál de los dos agentes fue el que causó el daño ya que en muchos casos el daño es debido al efecto de ambos agentes (VALINGER & FRIDMAN 1999). En vez de diferenciar el daño por el agente que lo ha causado, otra opción es analizar el daño diferenciando el tipo de daño producido sobre el árbol: rotura o caída del árbol. Finalmente, se están desarrollando modelos predictivos siguiendo este método de análisis, confirmando en gran medida las tendencias observadas en este estudio (DÍAZ-YÁÑEZ 2017 MANUSCRITO).

6. Conclusiones

Los resultados indican que las variables que mejor relacionan la vulnerabilidad de las masas forestales y la ocurrencia de daños por viento y nieve se corresponden con: la localización de la masa, densidad, el área basal, el diámetro de los árboles y variables de estructura y composición. Durante la modelización se hizo hincapié en las diferentes respuestas asociadas a las tipologías de bosque (coníferas, frondosas y mixto).

7. Agradecimientos

Queremos agradecer a la Doctoral School of Forest Sciences de la Universidad de Finlandia Oriental y al proyecto SIS-Redclim, NIBIO (Norwegian Institute of Bioeconomy Research) por su contribución económica al estudio.

8. Bibliografía

- ABRAMSON, I.S., 1982. On bandwidth variation in kernel estimates-a square root law. *The Annals of Statistics*.
- BEBI, P., KULAKOWSKI, D. & RIXEN, C., 2009. Snow avalanche disturbances in forest ecosystems— State of research and implications for management. *Forest Ecology and Management*, 257(9), pp.1883–1892.
- BREIMAN, L., 1984. *Classification and Regression Trees*, Chapman and Hall/CRC.
- DE'ATH, G. & FABRICIUS, K.E., 2000. Classification and regression trees: a powerful yet simple technique for ecological data analysis. *Ecology*.
- DÍAZ-YÁÑEZ, O. MOLA-YUDEGO, B., ERIKSEN, R., GONZÁLEZ-OLABARRIA, J.R. 2016. Assessment of the Main Natural Disturbances on Norwegian Forest Based on 20 Years of National Inventory C. Carcaillet, ed. *PLoS ONE*, 11(8), pp.e0161361–16.
- DOBBERTIN, M., 2002. Influence of stand structure and site factors on wind damage comparing the storms Vivian and Lothar. *For. Snow Landsc. Res.*, 77(1/2), pp.187–205.
- FRIDMAN, J. & VALINGER, E., 1998. Modelling probability of snow and wind damage using tree, stand, and site characteristics from *Pinus sylvestris* sample plots. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 13(1-4), pp.348–356.
- GADOW, VON, K., 2000. Evaluating risk in forest planning models. *Silva Fennica*, 34(2), pp.181–191.
- GARDINER, B., 2005. The stability of different silvicultural systems: a wind-tunnel investigation. *Forestry*, 78(5), pp.471–484.
- GARDINER, B.A. & QUINE, C.P., 2000. Management of forests to reduce the risk of abiotic damage: a review with particular reference to the effects of strong winds. *Forest Ecology and Management*, 135, pp.261–277.
- HALE, S.E., GARDINER, B., WELLPOTT, A., NICOLL, B.C., ACHIM, A., 2010. Wind loading of trees: influence of tree size and competition. *European Journal of Forest Research*, 131(1), pp.203–217.
- HANEWINKEL, M., BREIDENBACH, J., NEEFF, T., KUBLIN, E. 2008. Seventy-seven years of natural disturbances in a mountain forest area — the influence of storm, snow, and insect damage analysed with a long-term time series. *Canadian Journal of Forest Research*, 38(8), pp.2249–2261.
- JALKANEN, A. & MATTILA, U., 2000. Logistic regression models for wind and snow damage in northern

- Finland based on the National Forest Inventory data. *Forest Ecology and Management*, 135(1), pp.315–330.
- MARTÍN-ALCÓN, S., GONZÁLEZ-OLABARRIA, J.R. & COLL, L., 2010. Wind and snow damage in the Pyrenees pine forests: effect of stand attributes and location. *Silva Fennica*, 44(3), pp.399–410.
- MASON, W.L., 2002. Are irregular stands more windfirm? *Forestry*, 75(4), pp.347–355.
- MITCHELL, S.J., 2013. Wind as a natural disturbance agent in forests: a synthesis. *Forestry*, 86(2), pp.147–157.
- NYKÄNEN, M.L., PELTOLA, H., QUINE, C., KELLOMAKI, S., 1997. Factors affecting snow damage of trees with particular reference to European conditions. *Silva Fennica*, 31(2), pp.192–213.
- PELTOLA, H., KELLOMÄKI, S., VÄISÄNEN, H., IKONEN, V. P., 1999. A mechanistic model for assessing the risk of wind and snow damage to single trees and stands of Scots pine, Norway spruce, and birch. *Canadian Journal of ...*
- PUKKALA, T., LAIHO, O. & LÄHDE, E., 2016. Continuous cover management reduces wind damage. *Forest Ecology and Management*, 372(C), pp.120–127.
- QUINE, C.P. & GARDINER, B.A., 2007. Understanding how interaction of wind and trees results in windthrow, stem breakage, and canopy gap formation. In E. A. Johnson & K. Miyanishi, eds. *Plant Disturbance Ecology. The Process and the Response*. Elsevier, pp. 103–155.
- SCHELHAAS, M.J., NABUURS, G.J. & SCHUCK, A., 2003. Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. *Global Change Biology*, 9(11), pp.1620–1633.
- SCHMIDT, M., HANEWINKEL, M., KÄNDLER, G., KUBLIN, E., KOHNIE, U., 2010. An inventory-based approach for modeling single-tree storm damage – experiences with the winter storm of 1999 in southwestern Germany. *Canadian Journal of Forest Research*, 40(8), pp.1636–1652.
- SELKIMÄKI, M., GONZÁLEZ-OLABARRIA, J.R. & PUKKALA, T., 2011. Site and stand characteristics related to surface erosion occurrence in forests of Catalonia (Spain). *European Journal of Forest Research*, 131(3), pp.727–738.
- SKOGLANDSKAP, 2007. Håndbok fra Skog og landskap 06/2007LANDSSKOGTAKSERINGENS FELTINSTRUKS 2007. pp.1–117.
- THERNEAU, T., ATKINSON, B. & RIPLEY, B., 2015. Recursive Partitioning and Regression Trees. Available at: <http://CRAN.R-project.org/package=rpart>.
- THOM, D. & SEIDL, R., 2015. Natural disturbance impacts on ecosystem services and biodiversity in temperate and boreal forests. *Biological Reviews*.
- VALINGER, E. & FRIDMAN, J., 2011. Factors affecting the probability of windthrow at stand level as a result of Gudrun winter storm in southern Sweden. *Forest Ecology and Management*, 262(3), pp.398–403. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112711002192>.
- VALINGER, E. & FRIDMAN, J., 1997. Modelling probability of snow and wind damage in Scots pine stands using tree characteristics. *Forest Ecology and Management*, 97(3), pp.215–222.

- VALINGER, E. & FRIDMAN, J., 1999. Models to assess the risk of snow and wind damage in pine, spruce, and birch forests in Sweden. *Environmental Management*, 24(2), pp.209–217.
- VALINGER, E. & PETTERSSON, N., 1996. Wind and snow damage in a thinning and fertilization experiment in *Picea abies* in southern Sweden. *Forestry*, 69(1), pp.25–33.
- VALINGER, E., LUNDQVIST, L. & Bondesson, L., 1993. Assessing the risk of snow and wind damage from tree physical characteristics. *Forestry*, 66(3), pp.249–260.
- WULFF, S., ROBERGE, C., HEDSTRÖM RINGVALL, A., HOLM, S., STÅHL, G., 2013. On the possibility to monitor and assess forest damage within large scale monitoring programmes – a simulation study. *Silva Fennica*, 47(3).