

PATRONES DE ÁREAS QUEMADAS A DIFERENTES ESCALAS DE OBSERVACIÓN EN EL MONTE AUSTRAL (2001-2011).

Hardtke, L.A.¹, del Valle, H.F.¹, Blanco P.D.¹, Sione W.²

¹ Centro Nacional Patagónico (CENPAT), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

² Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad Autónoma de Entre Ríos (UADER), Universidad Nacional de Luján (UNLU)

Los incendios son uno de los principales disturbios naturales en la mayoría de los ecosistemas terrestres. El objetivo de este trabajo fue generar modelos espacialmente explícitos que permitan cualificar y cuantificar la variación de la importancia relativa de las variables que controlan los patrones de áreas quemadas en el Monte Austral en un período de 11 años, a diferentes escalas espaciales. Se ajustaron modelos de árboles de regresión y técnicas de remuestreo (*Boosted Regression Trees*) para relacionar la proporción de área quemada con las variables vinculadas a los procesos de ignición y propagación de incendios (precipitación media anual, densidad de rayos, temperatura media anual, rango medio anual de temperatura, proporción de arbustos, proporción de pastos, proporción de suelo desnudo, densidad de cuerpos de agua, huella humana, duración de estación seca, duración del período de crecimiento) a tres escalas espaciales (1, 10 y 100 km²). Los resultados revelaron que: 1) las variables más influyentes para explicar los patrones espaciales de las áreas quemadas fueron la proporción de arbustos, la densidad de rayos y la precipitación media anual, 2) la contribución relativa de las variables mostró una tendencia monótonica a través de las escalas, 3) las variables relacionadas con el tipo y cobertura vegetal resultaron ser las de mayor importancia (51 %) a la escala de 1 km², 4) las variables relacionadas con el clima fueron las más importantes a 10 y 100 km² (45 y 48 % respectivamente), 5) las variables vinculadas con la probabilidad de ignición se mantuvieron relativamente constantes (~18 %) en las tres escalas de observación.

Palabras Clave: Árboles de regresión; Multi escala; Incendios; MODIS

INTRODUCCIÓN

Desde la escala de las plantas como individuos, hasta la del planeta en su conjunto, los incendios, juntos con el clima y los suelos, tienen un rol central en la estructuración de los ecosistemas terrestres (Bond y Keeley, 2005; Pausas y Keeley, 2009)□. Su ocurrencia determina una serie de cambios en la composición específica, estructura, patrones y dinámica de la vegetación, en las características del hábitat, en diversos procesos ecológicos como el ciclado de nutrientes y de agua, las interacciones intra- e inter-específicas, y el balance de carbono (Johnson, 1992; Backer et al., 2004)□. Por lo tanto, sus efectos tienen importantes implicaciones, tanto ambientales como socio-económicas.

Se sabe que deben coincidir tres factores para que ocurran incendios: 1) una fuente de ignición, 2) vegetación inflamable y 3) condiciones meteorológicas propicias (Krawchuk et al., 2009)□. Sin embargo la importancia relativa de dichos factores en la dinámica de las áreas quemadas y su variabilidad en diferentes escalas es poco conocida (Parisien et al., 2011)□.

El objetivo principal de este trabajo fue evaluar la importancia relativa de las variables que controlan los patrones de áreas quemadas, mediante modelos espacialmente explícitos, a diferentes escalas espaciales de observación en el Monte Austral. Para ello se generaron modelos que relacionan la proporción de área quemada para un período de 11 años (2001-2011), en 3 escalas espaciales diferentes (1, 10 y 100 km²), con variables relacionadas con la ignición, la vegetación y el clima.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO :

El Monte Patagónico, extremo austral de la provincia fitogeográfica del Monte en la República Argentina, es una estepa arbustiva con estrato herbáceo frecuente, cuya cobertura vegetal raramente excede el 60%. Cubre un área aproximada de 230000 km². El

clima es árido y semi-árido, con vientos predominantes del oeste, precipitación media anual entre 150 y 450 mm y temperatura media anual entre 13 y 14,9 °C (Abraham et al., 2009) □. Los incendios, junto con el pastoreo, son los principales disturbios en la región (Villagra et al., 2009) □.

Tabla A: Variables independientes y dependiente usadas para modelar la distribución de áreas quemadas en el Monte Austral para el período 2001-2011.

Categoría	Nombre	Descripción/Fuente
<i>Independiente</i>	Proporción de área quemada. (pctBA)	Segmentación por crecimiento de regiones de la serie temporal de NBR, calculada en base a datos MODIS (MOD13Q1) ^a , con resolución espacial de 250. (2001-2011)
<i>Vegetación</i>	Largo de la temporada de crecimiento de la vegetación en períodos de 16 días. (LGS)	Calculada en base a datos MODIS (MOD13Q1 ^a), mediante la técnica del "punto medio" según White et al. (2009) □. (2001-2011)
	Proporción de suelo desnudo. (pctBd)	Tomado de la cartografía de cobertura de suelo de Blanco et al. (2011) □
	Proporción de pastos. (pctGr)	
	Proporción de Arbustos. (pctSh)	
	Proporción de cuerpos de Agua. (pctW)	Calculado en base a la cobertura vectorial producida por Instituto Geográfico Nacional (IGN). (2010)
<i>Ignición</i>	Densidad de rayos. (LDen)	Calculado en base al set de datos climáticos del sensor LIS (Lightning Imaging Sensor – NASA ^b) (2001-2011)
	Human Footprint (HFo)	Medida de la influencia antrópica sobre la superficie terrestre normalizada por bioma (WCS,CIESIN). (2005)
<i>Clima</i>	Precipitación media anual. (PAM)	Calculado en base a la precipitación media diaria estimada por la misión TRMM ^c (Tropical Rainfall Measuring Mission – NASA). (2001-2011)
	Largo de la temporada seca. (LDS)	Calculado como 12 menos la cantidad de meses que suman que ordenadas de manera decreciente suman el 70 % de la precipitación anual en cada pixel de TRMM ^c , según Archibald et al. (2008) □. (2001-2011)
	Temperatura media Anual (TAMe)	Calculados en base a la interpolación espacial de las temperaturas medias mensuales de la red global de climatología (GHCN – NOAA)
	Rango de temperatura. (TRa)	

MODELO:

Se ajustaron árboles de regresión y remuestreo (*Boosted Regression Trees, BRT*), los cuales han demostrado ser útiles para detectar, describir patrones y cuantificar la importancia relativa de las variables independientes en trabajos recientes (Parisien et al., 2011) □. Esta técnica, se basa en la generación de particiones binarias recursivas del espacio de las variables predictoras, usando reglas para identificar regiones con respuestas homogéneas.

Los BRT fueron generados utilizando la proporción de área quemada (pctBA) como variable dependiente y un conjunto de variables independientes, categorizadas según su relación con la probabilidad de ignición, el tipo de vegetación o el clima (Tabla A). La información geográfica fue integrada en una base de datos en el software GRASS-GIS (Neteler y Mitasova, 2008) □, utilizando la proyección Universal Transverse Mercator, zona 20 Sur (EPSG:32719), respetando la resolución original de cada una de las variables.

La variable dependiente (pctBA), fue calculada como el promedio la proporción de cada pixel quemado cada año en el período 2001-2011. Al igual que la pctBA, las variables explicativas dependientes del tiempo (LGS, Lden, PAM, LDS, TAMe y TRa), fueron promediadas para el mismo período. Por lo tanto no se tuvo en cuenta la variabilidad inter anual en el patrón de áreas quemadas. Las variables fueron luego remuestreadas, mediante el método de ventana móvil, a 3 escalas espaciales (1, 10, 100 km²), utilizando la media para variables continuas y la moda para variables discretas, teniendo en cuenta el área circular al rededor de cada uno

de los puntos de la grilla.

Los modelos fueron ajustados y evaluados en el software estadístico R (R Development Core Team, 2011) □, usando el paquete gbm (Ridgeway, 2010) □. Se utilizó un subconjunto aleatorio de 4000, 2000 y 1000 puntos para las escalas de 1, 10 y 100 km² respectivamente, teniendo en consideración la disminución de información efectiva al aumentar la escala, debida a la autocorrelación espacial. Dada el grado de incertidumbre de los resultados de los BRT, causados por la selección aleatoria de muestras de entrenamiento y validación, se creó un ensamble de 20 modelos para cada escala. Los parámetros utilizados fueron los sugeridos por Parisien y Moritz (2009) □, una tasa de aprendizaje de 0.05, una complejidad de árboles de 5 y una proporción entrenamiento/validación de 0.5. Los modelos finales fueron ajustados con el número óptimo de árboles, seleccionado automáticamente utilizando validación cruzada sobre 10 iteraciones y evaluados según el porcentaje de desvío explicado por el modelo.

Se evaluó la importancia relativa de las variables independientes sobre la proporción de áreas quemadas de manera individual y agrupadas por categoría (según Tabla A). La misma, se calculó tomando el promedio de la cantidad de veces que cada variable fue seleccionada como nodo en cada uno de los árboles.

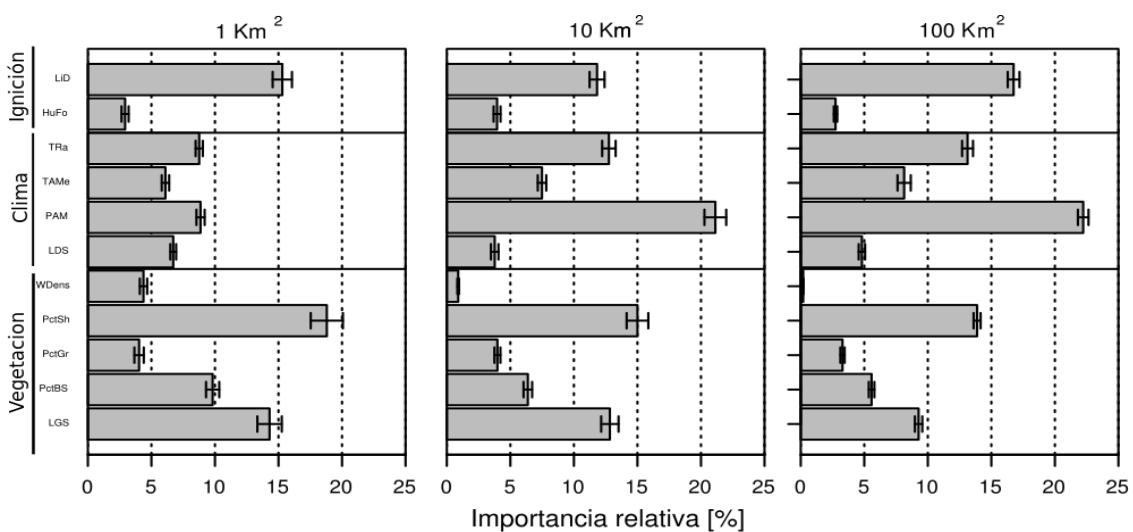
RESULTADOS

La variación explicada por los ensambles de modelos fue de 73.2, 75.1 y 78.6 %, para las escalas de 1, 10 y 100 km² respectivamente, lo que sugiere que describen adecuadamente la relación entre las variables independientes y la proporción de área quemada.

La contribución relativa de las variables independientes varió sustancialmente entre las escalas. Las variables más influyentes fueron la proporción de arbustos, la densidad de rayos y la precipitación media anual. Las variables Tra, TAME y PAM mostraron una tendencia de importancia creciente al aumentar la escala mientras que Wdens, PctShr, PctGR, PctBs, LGS y LDS, mostraron una tendencia decreciente. Las demás, LiD, HuFo, no mostraron tendencias claras. (Figura 1).

Agrupadas por categoría, las variables relacionadas con el tipo y cobertura de vegetación, fueron las más influyentes a la escala de 1 km², mostrando una tendencia decreciente al aumentar la escala. Las variables relacionadas con el clima fueron las más influyentes a las escalas de 10 y 100 km² mostrando una tendencia creciente con el aumento de la escala. Las variables relacionadas con la probabilidad de ignición, fueron las de menor importancia relativa en las tres escalas y no mostraron tendencias claras (Tabla B).

Tabla B: Importancia relativa de las variables independientes, categorizadas según su relación con la probabilidad de ignición,



Fig

ura 1: Importancia relativa de la contribución de las variables predictoras en el modelo de regresión a 1 10 y 100 km² (Media±DS). Ver Tabla A para la definición de las variables

la vegetación o el clima. Ver Tabla A para la definición de las variables

	1 km ²	10 km ²	100 km ²
Clima	30.41 %	45.17 %	48.28 %
Ignición	18.26 %	15.76 %	19.49 %
Vegetacion	51.32 %	39.06 %	32.22 %

CONCLUSIONES

El enfoque metodológico, nos permitió identificar y cuantificar las contribuciones relativas de las variables más importantes en el control de los patrones de áreas quemadas tanto de manera individual, como también agrupadas en función de su relación con la probabilidad de ignición, el tipo y cobertura de vegetación y clima a diferentes escalas espaciales. Los resultados ponen de manifiesto las complejas relaciones entre las variables que controlan la distribución espacial de las áreas quemadas y muestran que estas relaciones son variables y dependientes de la escala de observación. Los resultados son importantes tanto para los planes de manejo del fuego, como para el modelado biofísico de su dinámica.

BIBLIOGRAFÍA

- Abraham, E., del Valle, H.F., Roig, F., Torres, L., Ares, J., Coronato, F., Godagnone, R., 2009. Overview of the geography of the Monte Desert biome (Argentina). *Journal of Arid Environments* 73, 144-153.
- Archibald, S., Roy, D.P., van WILGEN, B.W., Scholes, R.J., 2008. What limits fire? An examination of drivers of burnt area in Southern Africa. *Global Change Biology* 15, 613-630.
- Backer, D.M., Jensen, S.E., McPherson, G.R., 2004. Impacts of Fire-Suppression Activities on Natural Communities. *Conservation Biology* 18, 937-946.
- Blanco, P.D., López Saldaña, G., Colditz, R., Hardtke, L.A., Mari, N., Fischer, M.A., Caride, C., Aceñolaza, P., del Valle, H.F., Opazo, S., Sione, W., Lillo-Saavedra, M., Zamboni, P., López, I.C., Anaya, J., Morelli, F., 2011. Propuesta metodológica para la cartografía periódica de la cobertura del suelo en Latinoamérica y el Caribe: Estado de situación y Avances., in: XIV Congreso De La Asociación Española De Teledetección (AET), Mieres Del Camino, Asturias, España. pp. 141-144.
- Bond, W.J., Keeley, J.E., 2005. Fire as a global "herbivore": the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in ecology & evolution* 20, 387-94.
- Johnson, E.A., 1992. Fire and Vegetation dynamics, *Ecology*. Cambridge University Press.
- Krawchuk, M.A., Moritz, M.A., Parisien, M.-A., Van Dorn, J., Hayhoe, K., 2009. Global pyrogeography: the current and future distribution of wildfire. *PloS one* 4, e5102.
- Neteler, M., Mitasova, H., 2008. Open Source Gis, A GRASS GISS Approach, Springer. ed
- Parisien, M.A., Moritz, M.A., 2009. Environmental controls on the distribution of wildfire at multiple spatial scales. *Ecological. Ecological Monographs* 79, 127-154.
- Parisien, M.A., Parks, S. a, Krawchuk, M.A., Flannigan, M.D., Bowman, L.M., Moritz, M. a, 2011. Scale-dependent controls on the area burned in the boreal forest of Canada, 1980-2005. *Ecological applications*: a publication of the Ecological Society of America 21, 789-805.
- Pausas, J.G., Keeley, J.E., 2009. A Burning Story: The Role of Fire in the History of Life. *BioScience* 59, 593-601.
- R Development Core Team, 2010. R: A Language and Environment for Statistical Computing.
- Ridgeway, G., 2010. gbm: Generalized Boosted Regression Models.
- Villagra, P., Defossé, G.E., del Valle, H.F., Tabeni, S., Rostagno, C.M., Cesca, E., Abraham, E., 2009. Land use and disturbance effects on the dynamics of natural ecosystems of the Monte Desert: Implications for their management. *Journal of Arid Environments* 73, 202-211.
- White, M.A., de Beurs, K.M., Didan, K., Inouye, D., Richardson, A., Jensen, O.P., O'Keefe., Lauerth, W. K. , 2009. Intercomparison, interpretation, and assessment of spring phenology in North America estimated from remote sensing for 1982-2006. *Global Change Biology* 15, 2335-2359.