



X Congreso Ibérico de Agroingeniería X Congresso Ibérico de Agroengenharia

Huesca, 3-6 septiembre 2019



Riesgos de incendio asociados a cosechadoras de cereales: análisis de zonas críticas en la maquinaria

Jesús P. Val-Aguasca^{1*}, María Videgain-Marco¹, Pablo Martín-Ramos¹, Mariano Vidal-Cortés², Antonio Boné-Garasa³, F. Javier García-Ramos¹

¹ Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural, EPS, Universidad de Zaragoza, Carretera de Cuarte, s/n, 22071 Huesca; 648857@unizar.es.

² Departamento de Ingeniería Mecánica, EPS, Universidad de Zaragoza, Carretera de Cuarte, s/n, 22071 Huesca.

³ Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación, EPS, Universidad de Zaragoza, Carretera de Cuarte, s/n, 22071 Huesca.

Resumen: En Aragón, en los años 2016 y 2017, se han producido 295 y 464 incendios respectivamente, afectando a una superficie total de 915 y 908 ha. De dichos incendios, un 12% de los ocurridos en 2016 y un 7% de los que tuvieron lugar en 2017 fueron debidos a motores y máquinas, mayormente producidos por cosechadoras. El propósito de este trabajo ha sido investigar las zonas críticas de las cosechadoras asociadas al riesgo de incendio a través de la realización de una encuesta dirigida a propietarios de cosechadoras en Aragón. Se ha recabado información tanto sobre características técnicas de las máquinas (marca, potencia, antigüedad de la máquina, hectáreas cosechadas, etc.) como, en su caso, de las características de los incendios producidos (cultivo cosechado, utilización de sistema de picado, zona de la máquina donde se originó el incendio, etc.). En las 275 respuestas obtenidas se han referido 75 casos de incendio. En base a los datos facilitados en la encuesta, se ha analizado si existe alguna relación entre las características de la máquina y la producción de un incendio, y se han comparado las zonas de la cosechadora en la que se ha originado el incendio con información facilitada por una compañía de seguros. Se ha podido concluir que sólo existe una relación estadísticamente significativa de los incendios con el número de hectáreas cosechadas (vida útil de la cosechadora), siendo especialmente alto el riesgo para máquinas con más de 6000 ha acumuladas. Por otra parte, un 32% de los incendios tuvieron su origen en la zona del motor, frente a un 31% en la barra de corte y un 18% en los rodamientos y correas. El uso del picador no favoreció el origen del incendio en ninguna zona concreta de la máquina. El estudio se ha completado con medidas de temperatura *in situ* realizadas sobre varias máquinas en el verano de 2018, registrándose temperaturas superiores a 300 °C en el colector de escape, y superiores a 400 °C en la barra de corte cuando la cuchilla trabajaba en condiciones de rozamiento.

Palabras clave: barra de corte, encuesta, maquinaria agrícola motor, temperatura de combustión

1. Introducción

Los incendios constituyen una amenaza grave tanto por la destrucción de patrimonio medioambiental como de cultivos forestales, bienes materiales y vidas humanas. Las pérdidas agrícolas por incendios no se limitan, a corto plazo, a la destrucción de las cosechas, sino que, a medio plazo, se incrementan con pérdidas de la capacidad productiva estimadas entre un 35-45% de la producción en los años posteriores [1].

X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA
3 – 6 septiembre 2019, Huesca - España

En España, las causas que originan los incendios son de distinta índole. A través de los boletines informativos mensuales publicados por el MAPA, se ha analizado la causalidad de los incendios en Aragón. Los incendios forestales se clasifican en 5 grupos en función de la causalidad: negligencia y accidente, intencionado, natural (rayo), desconocido y reproducción del incendio. En Aragón, en los años 2016 y 2017, se han producido 295 y 464 incendios forestales respectivamente, afectando a una superficie total de 915 y 908 ha. La causa más importante de estos incendios, aparte de la negligencia, ha sido la ignición de motores y máquinas agrícolas (incluidas cosechadoras), con un 12% de los incendios ocurridos en 2016 y un 7% de los que tuvieron lugar en 2017. A este respecto, es preciso destacar el incendio en el municipio de Luna (Zaragoza) de 2015, causado por una cosechadora, que afectó a un total de 13889 ha.

Las posibles causas de generación de incendios en las máquinas agrícolas y concretamente en las cosechadoras son muy variadas. Quick [2] enumera una serie de zonas potenciales para la generación del incendio: motor y conductos de salidas de gases de combustión, transmisiones, cojinetes, frenos, cortocircuitos eléctricos, impacto de los cabezales de siega con piedras u otros elementos e introducción de objetos extraños en la máquina. De todas ellas, la causa más común es la acumulación de material combustible en las zonas con altas temperaturas situadas cerca del motor. Las temperaturas en la superficie de estos elementos pueden alcanzar los 500 °C [2], mientras que las temperaturas de ignición de los residuos de cultivo varían en función del espesor de la muestra, situándose por encima de 200 °C para la paja de trigo [3]. En cuanto a la propagación del incendio, las condiciones de campo pueden favorecer o dificultar el proceso, existiendo 4 factores que condicionan dicha propagación: humedad relativa, temperatura ambiente, velocidad del viento y tipo y condición de cultivo [2,4].

Pese a la importancia de las consecuencias de los incendios agrícolas y forestales, apenas existen estudios centrados en las causas de los incendios en cosechadoras de cereales. Hasta ahora, los estudios más importantes han sido los realizados en Estados Unidos por el grupo de Shutske [5,6], en los que se investigaron más de 4000 incendios en cosechadoras y tractores, pudiendo acceder en 265 casos a la máquina incendiada para realizar sobre ella un estudio detallado. En base a los datos obtenidos, los autores concluyeron que el 74% de los incendios se originaron en la zona del motor por diferentes causas (calentamiento de superficies, salida de gases de combustión y componentes eléctricos). También se concluyó que el material que inició el incendio generalmente fueron los residuos del cultivo recolectado, seguidos por restos de combustible y aceite.

En Australia, otro estudio realizado por el grupo Kondinin [7] a 1170 agricultores informó de que aproximadamente el 25% de los encuestados habían experimentado un incendio en sus cosechadoras. Según los datos facilitados por los agricultores, la principal causa de incendio fue la acumulación de polvo y restos de cosecha en las superficies calientes de la máquina (33% de los casos) seguida por el calentamiento de los cojinetes (22%). También se concluyó que un mantenimiento y limpieza regular de la máquina era clave para la reducción del riesgo de incendio. En otro estudio llevado a cabo también en Australia, Quick [2] analizó 77 casos de incendios en cosechadoras, estimando que el 45% de los incendios se originaron en la zona del motor, seguidos por cojinetes y transmisiones con un 22%. Asimismo, concluye que la acumulación de cargas electrostáticas es una causa importante para el origen del incendio, remarcando la importancia del mantenimiento y la vigilancia del equipo para evitar los incendios.

Ante la ausencia de datos en España, con el presente trabajo se pretende obtener información sobre los riesgos de incendio en cosechadoras en Aragón, a fin de caracterizar el perfil de aquellas máquinas que más riesgo de incendio presentan. Para ello se ha llevado a cabo una encuesta a propietarios de cosechadoras y se han monitorizado en continuo varias máquinas durante toda la campaña de cosecha de verano del año 2018 con objeto de obtener la información de la temperatura en diferentes partes de la máquina.

2. Material y métodos

2.1. Encuesta

Se ha realizado una encuesta entre propietarios de cosechadoras en Aragón dirigida a la identificación de puntos críticos de la maquinaria, además de poder caracterizar el perfil de las máquinas con mayor riesgo de incendio. La encuesta ha sido estructurada en dos bloques: el primero referido a las características técnicas de la máquina (marca, potencia, antigüedad de la máquina, hectáreas cosechadas, etc.) y el segundo a las características del incendio en la cosechadora (cultivo cosechado, zona de la máquina donde se originó en incendio, etc.). En el siguiente enlace se puede visualizar la encuesta completa: <http://bit.ly/encuestacosechadoras>.

Posteriormente se ha realizado un análisis estadístico de los datos con el software SPSS v.18 (IBM, Chicago, IL, EE.UU.).

El análisis ha constado de tres partes: en primer lugar, se analizó la relación entre las variables potencia, antigüedad y hectáreas anuales cosechadas, creando además una nueva variable “hectáreas acumuladas”, que representa el número de hectáreas cosechadas hasta el momento del incendio (es decir, has anuales × antigüedad) y hace referencia al desgaste o uso de la máquina en el momento del incendio. En una segunda etapa, se estudió la relación de las variables anteriormente comentadas con el riesgo de incendio, utilizando tablas de contingencia. Para ello se crearon variables categóricas para las hectáreas acumuladas (0-2000 ha, 2001-4000 ha, 4001-6000 ha y >6000 ha) y para la antigüedad de la máquina (0-10 años, 11-20 años y >20 años). En la tercera parte, se investigaron las zonas de origen de los incendios.

2.2. Monitorización de cosechadoras en campo

A lo largo de la campaña de cosecha 2018, se monitorizaron tres máquinas, instalando sondas de temperatura (termopares tipo K) en diferentes zonas de cada máquina, además de una sonda de temperatura/humedad ambiental (HOBO Pro v2) en el exterior (en las antenas exteriores de las cabinas). Dos de las máquinas seleccionadas (máquina 1 y máquina 2) fueron máquinas de 435 CV; nuevas o con poco tiempo de uso (estrenadas en las campañas 2018 y 2017, respectivamente); pertenecientes a empresas de servicio; que cosechan grandes superficies (>500 ha/año); y con anchuras de corte de 7,70 m. La máquina 1 cuenta con un escape de gases equipado con sistema de adición de urea y sistema de refrigeración “Dynamic Cooling”, mientras que la máquina 2 presenta un escape de gases equipado con filtro de partículas y sistema de refrigeración con ventilación lateral. La máquina 3, de un particular, presentaba las siguientes características: potencia de 160 CV, 3200 horas de trabajo acumuladas, 200 ha/año cosechadas, y anchura de corte de 5,10 m.

Los termopares se distribuyeron del siguiente modo: caja de cambios, filtro de urea, colector de escape y salida de la transmisión del motor en la máquina 1; caja de cambios, filtro de partículas, bloque motor y salida de la transmisión del motor en la máquina 2; y bloque motor, tubo de escape y salida de la transmisión del motor en la máquina 3. Todas las sondas se programaron de forma sincronizada para que recogieran datos cada 10 minutos durante las 24 h del día. Se han obtenido datos en continuo desde el 15/06/2018 hasta el 16/07/2018. La Figura 1 muestra el *datalogger* y las sondas utilizadas.

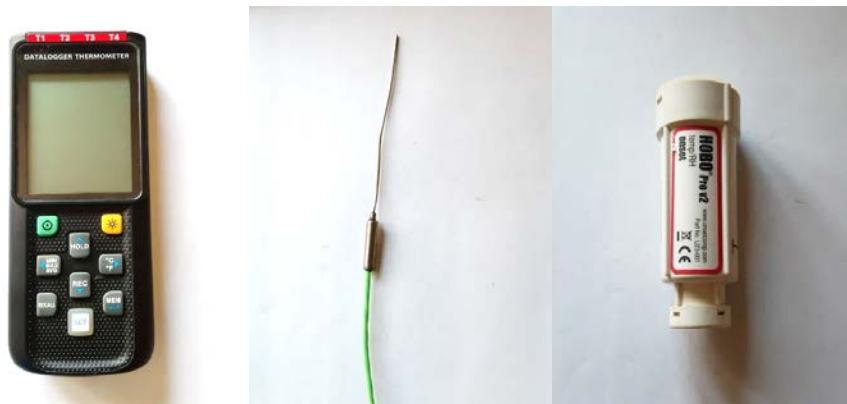


Figura 1. De izquierda a derecha: datalogger con cuatro canales de entrada, sonda de temperatura (termopar con cable apantallado) y sonda de temperatura/humedad ambiental.

Adicionalmente, se realizó una prueba con una barra de corte de cosechadora en mal estado y con muy poco mantenimiento, con el corte funcionando y la máquina estacionada. Para ello se colocaron tres termopares diferentes zonas de la barra de corte (en una cuchilla con rozamiento, en una cuchilla normal y en una chapa del corte) para la monitorización de la evolución de la temperatura. Las medidas fueron complementadas con las obtenidas con una cámara termográfica Fluke Ti200. En la Figura 2 se muestra una de las sondas colocadas en la barra de corte.

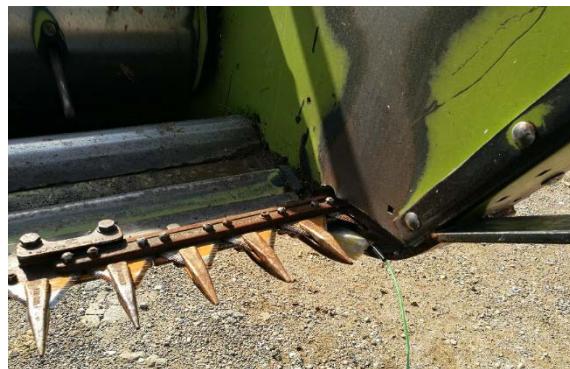


Figura 2. Sonda de temperatura instalada en barra de corte

3. Resultados y discusión

3.1. Relaciones entre variables

En la Figura 3 se muestra la relación entre las variables hectáreas anuales, potencia, antigüedad y hectáreas acumuladas, partiendo de la hipótesis de que las máquinas que más hectáreas cosechan al año estarán más expuestas y podrían tener más probabilidades de producir un incendio. Se observa que las máquinas que más hectáreas trabajan al año presentan unos mayores niveles de potencia, una menor antigüedad y un mayor número de hectáreas totales acumuladas (mayor desgaste).

X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA
 3 – 6 septiembre 2019, Huesca - España

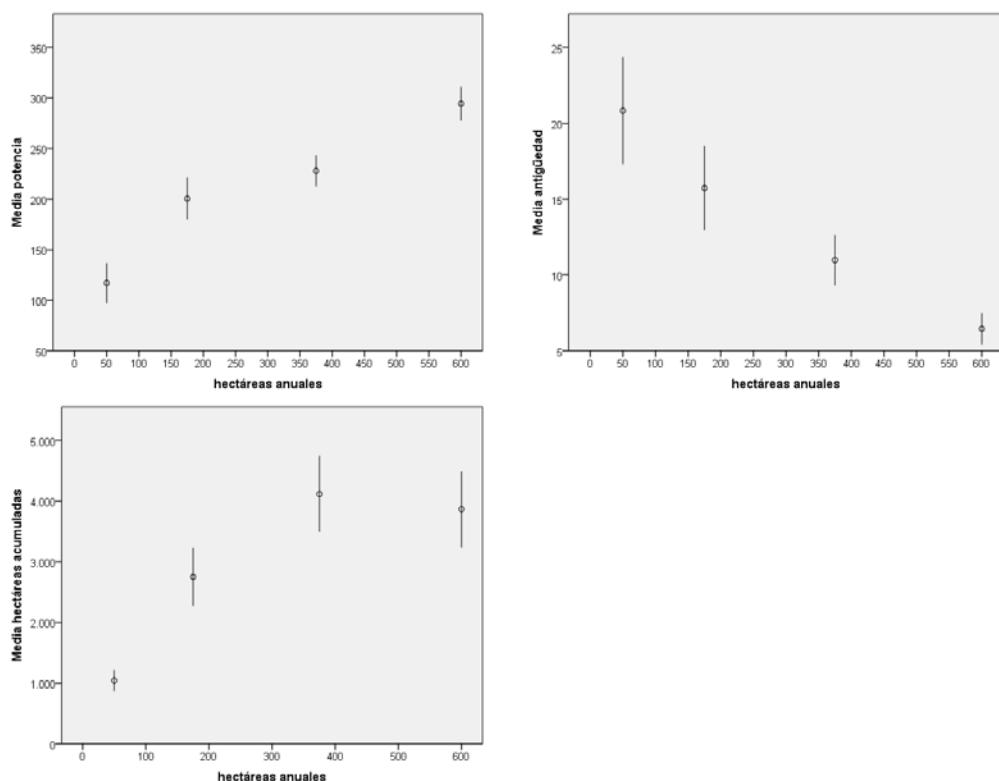


Figura 3. Relación entre las variables hectáreas anuales, potencia, antigüedad y hectáreas acumuladas. Se muestran los valores medios y las desviaciones estándar.

3.2. Relación entre variables e incendio

A partir de las tablas de contingencia de cada variable con respecto al incendio, se obtuvo que la antigüedad ($\chi^2=0,673$), la potencia ($\chi^2=0,723$) y las hectáreas anuales ($\chi^2=0,766$) no mostraron una relación estadísticamente significativa con los incendios. Ahora bien, para la variable hectáreas acumuladas se obtuvo un $\chi^2=0,055$, muy próximo al nivel de significación (0,05). En la tabla de contingencia se observan porcentajes de incendio muy similares para las máquinas que han trabajado hasta 6000 ha, pero, una vez superado este umbral, el porcentaje de incendio sería elevado (60%).

Al ser las hectáreas totales acumuladas la única variable que guarda relación con el riesgo de incendio se procedió a un análisis más detallado de posibles relaciones de esta variable con el resto de las variables. No se detectó una relación significativa con el uso de picador ($\chi^2=0,282$), pero sí con la variable potencia ($\chi^2=0,012$), aparte de con las variables antigüedad ($\chi^2=0,000$) y hectáreas anuales ($\chi^2=0,000$) de las que depende. En la Figura 4 se muestran las relaciones entre las tres variables. El perfil de las máquinas con más de 6000 ha acumuladas y que presentarían una mayor probabilidad de incendio correspondería a máquinas con una potencia media de 254 CV, una antigüedad media de 17 años y que trabajan una media de 492 ha/año.

X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA
3 – 6 septiembre 2019, Huesca - España

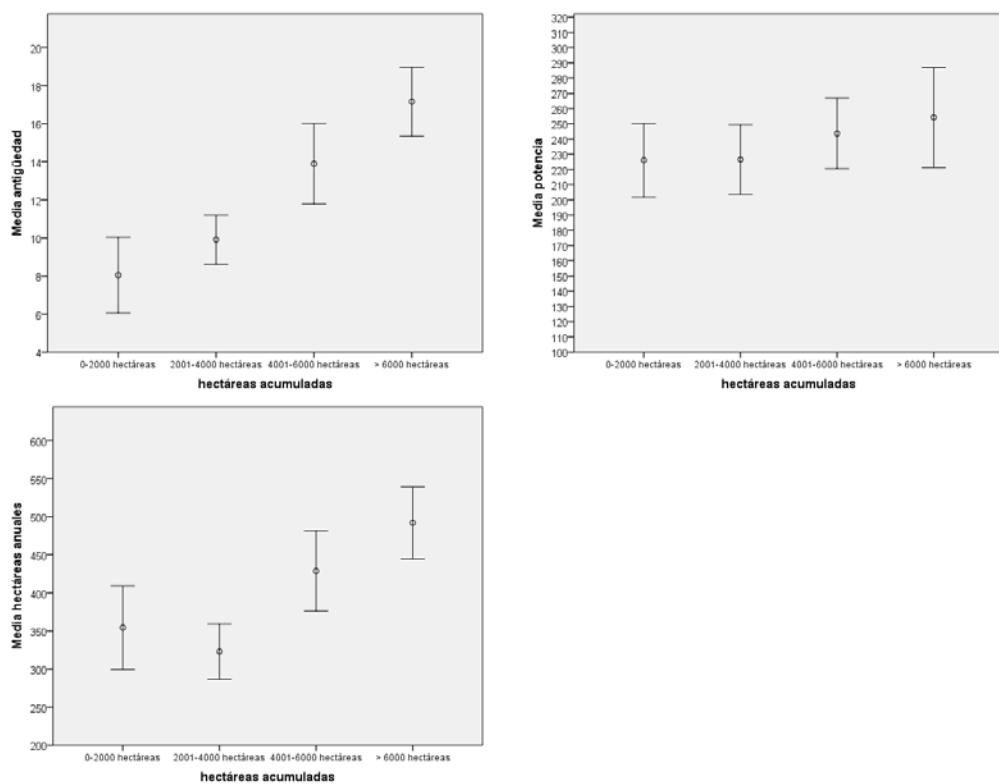


Figura 4. Relación entre las variables hectáreas acumuladas y hectáreas anuales, potencia y antigüedad. Se muestran valores medios y desviaciones estándar.

3.3. Determinación de las zonas de origen de incendios

En base a la tabla de contingencia en que se analizó la relación entre la zona de origen del incendio y el uso del picador, se obtuvo un valor de $\chi^2=0,159$, por lo que el uso del picador no favoreció al origen del incendio en ninguna zona concreta de la máquina.

En la Tabla 1 se muestran las zonas de origen de incendio según los datos de la encuesta realizada en este estudio, y los facilitados por una compañía de seguros (actualizados a 2017). En ambos casos se observa que la zona donde más incendios se originan es en la zona del motor (~32%). No obstante, según los datos de la aseguradora, la segunda causa más importante de incendio serían las eléctricas (26%), frente al 10% estimado a partir de la encuesta. Según los datos recopilados en la encuesta, la segunda zona donde más incendios se han originado sería la barra de corte (31%), que sólo representa un 11% de los incendios según la aseguradora. Rodamientos, correas y otras zonas de la máquina (frenos, alternador, picador, etc.) presentaron porcentajes similares en la encuesta y en la base de datos de la aseguradora. Si se comparan estos datos con la bibliografía [2,5-7], los resultados son coincidentes en cuanto a que la zona del motor es la mayor causa de incendio, y en que los rodamientos y correas también representan un porcentaje importante de los incendios.

Tabla 1. Comparativa de zonas de origen de incendio en cosechadoras.

Zona	Encuesta	Compañía aseguradora	Quick [2]	Shutske, et al. [5],[6]	Shutske, et al. [5],[6]
Barra de corte	30,77%	11,11%	6,49%	-	3%
Causas eléctricas	8,79%	25,93%	12,99%	34%	14%
Zona del motor	31,87%	33,33%	45,45%	40%	33%
Otras zonas	10,99%	7,41%	12,97%	8%	28%
Rodamientos y correas	17,58%	22,22%	22,10%	18%	22%

X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA
 3 – 6 septiembre 2019, Huesca - España

3.4. Monitorización *in situ* de cosechadoras

En la Tabla 2 se muestran datos de las temperaturas registradas en las tres máquinas monitorizadas en campo. Es destacable que, para la máquina 1, se alcanzan temperaturas medias próximas a 200 °C en el colector de escape, que puntualmente alcanzaron los 305 °C. En la máquina 2 y la máquina 3 se alcanzaron temperaturas máximas de 154 °C y 159 °C en el filtro de partículas y en el tubo de escape, respectivamente. Esto corrobora que la zona del motor (colector de escape) sería una zona clave, en la que se pueden alcanzar temperaturas superiores a la temperatura de ignición del residuo del cultivo [3].

Tabla 2. Temperaturas registradas durante la campaña 2018 (15/06/2018-16/07/2018) en las tres cosechadoras monitorizadas en campo.

Máquina	Zonas	N	T _{máx} (°C)	T _{media} (°C)	Desviación típica
Máquina 1	Caja de cambios	2448	105,7	52,2	11,3
	Colector de escape	2448	305,4	190,2	42,3
	Filtro de urea	2448	142,1	97,3	19,2
	Salida transmisión del motor	2448	89,1	69,1	11,4
Máquina 2	Caja de cambios	1418	97,1	52,5	9,9
	Bloque motor	1418	69,2	56,2	5,2
	Filtro de partículas	1418	154,2	109,7	16,2
Máquina 3	Salida transmisión del motor	1418	95,1	81,1	8,6
	Salida transmisión del motor	1121	87,7	69,4	11,7
	Bloque motor	1121	87,9	77,6	9,7
	Tubo de escape	608	159,9	118,2	27,3

En la Figura 5 se observa la evolución de la temperatura del colector de escape de la máquina 1 frente a la temperatura de ignición de la paja. Esta temperatura dependerá del espesor de la muestra, así como de su granulometría, correspondiendo un valor de 250 °C a un espesor de 50 mm [3]. Se puede apreciar que dicho umbral se supera de forma puntual (concretamente, un 3,51% del tiempo de trabajo), generando un elevado riesgo de ignición del residuo y, por consiguiente, de incendio.

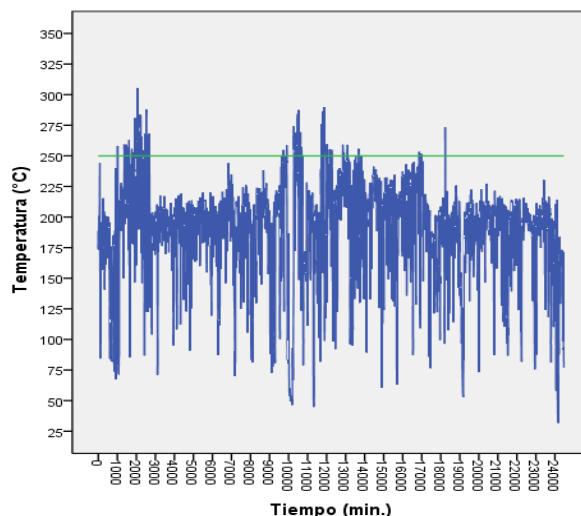


Figura 5. Evolución de la temperatura del colector de escape de la máquina 1 (azul) vs. temperatura de ignición (verde) [3].

X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA
 3 – 6 septiembre 2019, Huesca - España

Los ensayos realizados para barra de corte, segunda causa de incendio más importante según datos de la encuesta realizada, han permitido comparar (Figura 5) la evolución de temperatura para una cuchilla funcionando en condiciones normales y una cuchilla en rozamiento. Se observa que a los 10-15 min de iniciar el movimiento del corte, la cuchilla en rozamiento alcanza los 428 °C, frente a los 52 °C de temperatura máxima que se alcanzan en la cuchilla funcionando en condiciones normales. En la Figura 5, se muestra también una imagen de la cámara térmica, en la que aprecia claramente la diferencia de temperaturas entre la cuchilla con rozamiento y las demás cuchillas trabajando en condiciones normales. Un mal mantenimiento, en este caso de la barra de corte, hace que se alcancen temperaturas anormales, además de la posibilidad de generar chispas, que en presencia de residuo agrícola puede originar fácilmente un incendio.

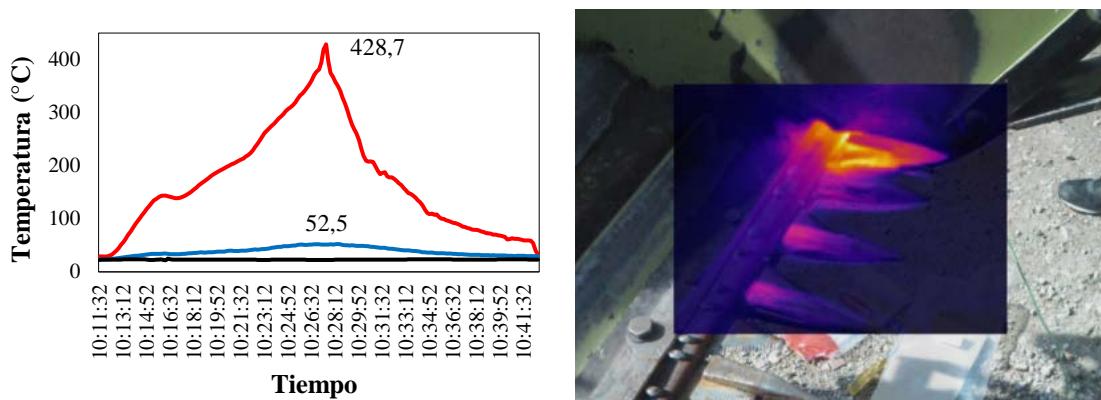


Figura 6. Izquierda: Evolución de la temperatura en barra de corte para una cuchilla en buen estado (azul) y para una cuchilla en rozamiento (rojo). La temperatura ambiente se muestra en color negro. Derecha: imagen termográfica de cuchilla en rozamiento.

Finalmente, en relación con los rodamientos, correas y otras zonas de la máquina, en la Figura 6 se muestra un rodamiento de cosechadora, pudiéndose apreciar fácilmente que le faltan algunas bolas. Estas bolas, a una elevada temperatura, pueden alcanzar la superficie del cultivo, siendo otro posible origen de incendios. Al igual que en la barra de corte, un adecuado mantenimiento sería fundamental para evitarlo.



Figura 7. Rodamiento desgastado de una cosechadora.

X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA
3 – 6 septiembre 2019, Huesca - España

4. Conclusiones

Con respecto a las características técnicas de la máquina, sólo las hectáreas acumuladas (hectáreas totales cosechadas en la vida útil) presentan relación estadísticamente significativa con los incendios, siendo a partir de las 6000 ha acumuladas cuando el riesgo de incendio aumenta considerablemente. El perfil de máquinas con mayor riesgo, en base a los datos de la encuesta, correspondería a máquinas con más de 6000 ha acumuladas, potencia media de 254 CV, antigüedad de 17 años y 492 ha trabajadas al año. En cuanto a las zonas de mayor riesgo dentro de la cosechadora, un 32% de los incendios tuvieron su origen en la zona del motor, frente a un 31% en la barra de corte y un 18% en los rodamientos y correas. El uso del picador no tendría una influencia significativa. En pruebas realizadas *in situ* sobre las tres zonas clave mencionadas, se han detectado temperaturas de hasta 300 °C en la zona del motor, más concretamente en el colector de escape. En la barra de corte, una cuchilla trabajando en condiciones de rozamiento alcanzó temperaturas superiores a los 400 °C. Dichas temperaturas, junto con la acumulación de residuo agrícola, serían las responsables del origen de los incendios. Se pone, pues, de manifiesto que el mantenimiento de la maquinaria (barra de corte, rodamientos, etc.) sería uno de los factores clave para reducir el riesgo de incendios originados por máquinas cosechadoras de cereal.

Agradecimientos

Los autores agradecen su colaboración en este trabajo a ASAJA Huesca, AGPME-ITAGA, AGRACON, ANSEMAT, Sociedad Cooperativa del Campo Santa Leticia, servicios agrícolas JACA-LARRAZ, servicios agrícolas CANAL DE BERDÚN y al taller COGASAL.

Referencias

1. Bragachini, M.A.; Mendez, A.A.; Peiretti, J.; Santa Juliana, D.M.; Velez, J.P.; Sanchez, F.R.; Villarroel, D.D.; Scaramuzza, F.M.; Pognante, J.; Gallarino, A. *Incendios de cosechadoras y rastrojos en Argentina y su impacto económico, ambiental y social*; INTA: Argentina, 2013; p 15.
2. Quick, G.R. *An investigation into combine harvester fires*; Grains Research and Development Corporation: Australia, 2010; p 20.
3. Fernandez-Anez, N.; Garcia-Torrent, J. Influence of particle size and density on the hot surface ignition of solid fuel layers. *Fire Technol.* **2018**, 55, 175-191.
4. Cardil Forradellas, A.; Salis, M.; Spano, D.; Delogu, G.; Molina Terrén, D. Large wildland fires and extreme temperatures in Sardinia (Italy). *Iforest-Biogeosciences Forestry* **2014**, 7, 162-169.
5. Shutske, J.; Field, W.E. In *An Integrated Loss Control Strategy for Grain Combine Fires*, 1988 International Winter Meeting of the American Society of Agricultural Engineers, Chicago, IL, USA, 1988; American Society of Agricultural Engineers: Chicago, IL, USA, p 17.
6. Shutske, J.M.; Field, W.E.; Gaultney, L.D.; Parsons, S.D. Agricultural machinery fire losses: a preventative approach. *Appl. Eng. Agric.* **1990**, 6, 575-581.
7. White, B.; Giumelli, J. *RRR - Owner survey: Harvester fires*; Kondinin Group: Australia, 2006.