

Estudio experimental sobre el uso del yeso en el combate de incendios forestales.

Mg. Ing. Ricardo Das Neves Guerreiro

Facultad de Ingeniería, UNPSJB

ricguerr@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0004-6785-1616>

Ing. Miura, Oscar

Facultad de Ingeniería, UNPSJB

duracyt@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0008-0989-5222>

Esp. Ing. Espelet, Alejandra

Facultad de Ingeniería, UNPSJB

ale.espelet@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0009-8690-3318>

Fecha de recepción: 18/04/2024

Fecha de publicación: 02/07/2024

RESUMEN

En la región cordillerana de la provincia del Chubut y Rio Negro, se producen anualmente incendios forestales. El del mes de marzo de 2021 afectó no solo bosques sino también edificaciones en zona urbana, poniendo en riesgo la vida de los habitantes y destruyendo varias viviendas e instalaciones. Por esta razón, resulta de fundamental importancia el desarrollo de técnicas para evitar estas eventualidades. El presente trabajo investiga la posibilidad de utilizar el Sulfato de Calcio Hidratado como elemento retardante en el combate de incendios forestales, a partir del antecedente de su uso en la ingeniería civil para retardar el daño estructural de construcciones edilicias frente a la acción del fuego. Para ello, se realizan los ensayos “Ensayo de resistencia a la llama intermitente” y “Ensayo de Inflamabilidad”. Del análisis de los resultados se concluye que el Sulfato de Calcio Hidratado dificulta la acción del fuego sobre el material vegetal.

Palabras clave: sulfato; calcio; incendio; forestales

Experimental study on the use of gypsum in forest fire combat

ABSTRACT

In the mountainous region of the provinces of Chubut and Rio Negro, forest fires occur annually. The one in March 2021 not only affected forests but also buildings in urban areas, risking the lives of

residents and destroying several homes and facilities. For this reason, it is of paramount importance to develop techniques to prevent these eventualities. This paper investigates the possibility of using Hydrated Calcium Sulfate as a retardant element in the combat of forest fires, as it is employed in civil engineering to retard structural damage of buildings against the action of fire. To do this, tests are conducted including 'Intermittent Flame Resistance Test' and 'Flammability Test.' Analysis of the results concludes that Hydrated Calcium Sulfate retards the action of fire on the plant material.

Keywords: gypsum; fire, forest

Estudo experimental sobre o uso do gesso no combate a incêndios florestais.

RESUMO

Na região montanhosa das províncias de Chubut e Rio Negro, ocorrem incêndios florestais anualmente. O ocorrido em março de 2021 afetou não apenas florestas, mas também edificações em áreas urbanas, colocando em risco a vida dos habitantes e destruindo várias residências e instalações. Por essa razão, é de fundamental importância o desenvolvimento de técnicas para evitar essas eventualidades. Este trabalho investiga a possibilidade de utilizar o Sulfato de Cálcio Hidratado como elemento retardante no combate a incêndios florestais, uma vez que é empregado na engenharia civil para retardar danos estruturais de construções frente à ação do fogo. Para isso, são realizados testes como o "Teste de Resistência a Chamas Intermitentes" e o "Teste de Inflamabilidade". Da análise dos resultados, conclui-se que o Sulfato de Cálcio Hidratado dificulta a ação do fogo sobre o material vegetal.

Palavras-chave: palavra clave1; gesso; incêndios; florestais

Introducción

En la región cordillerana de la provincia del Chubut y Rio Negro, se producen anualmente incendios forestales. El último, a la fecha de inicio del presente trabajo, tuvo lugar en el mes de marzo de 2021, afectando no solo bosque sino también edificaciones en zona urbana, poniendo en riesgo la vida de los habitantes y destruyendo varias viviendas e instalaciones.

Para contener al incendio, detener su avance y poder extinguirlo, se identifican dos métodos de combate: el directo y el indirecto, dependiendo, respectivamente, si el incendio es controlado con el trabajo de la brigada junto al fuego o bien si el personal trabaja a una cierta distancia de él, interviniendo la vegetación en la trayectoria del fuego para dejar al incendio sin combustible.

En el método indirecto el control se logra rodeando y encerrando al incendio, trabajando a cierta distancia de los lugares activos. Se basa en cortar la continuidad de la vegetación en la trayectoria del incendio.

Das Neves Guerreiro, R. J., Miura, O. R., y Espelet, M. A.
Estudio experimental sobre el uso del yeso en el combate de incendios forestales

Un cortafuego es una faja de terreno que no tiene material combustible o donde éste no está en condiciones de arder, por ejemplo, por el uso de retardantes. De esta forma también se corta la continuidad del material combustible, impidiendo así que el fuego se propague.

Los cortafuegos de agua y de retardante de llamas cubren a la vegetación con agua y productos químicos e impiden que se incendie, entendiendo como retardante, cualquier sustancia, excepto el agua, que por acción química o física reduce la inflamabilidad de los combustibles o disminuye su tasa de combustión.

Desarrollo

El presente trabajo investiga la posibilidad de utilizar el Sulfato de Calcio Hidratado, el cual se emplea para retardar el daño estructural de construcciones edilicias frente a la acción del fuego en la ingeniería civil, como elemento retardante en el combate de incendios forestales.

En primer lugar, se estudiarán las propiedades de la solución de sulfato de calcio en agua, para determinar sus posibilidades de aplicación, bombeabilidad y otras, y la manera óptima de aplicación. Posteriormente en base a ensayos de laboratorio, y pruebas a pequeña escala se evaluará el desempeño de la solución como retardante de llama.

Revisión teórica

Para la revisión bibliográfica se inició una búsqueda en bases de datos académicas, bibliotecas digitales y sitios webs especializados. Existen abundantes referencias respecto a las bondades del uso de yeso para mejorar la resistencia al fuego en materiales y obras de construcción como por ejemplo (Baux et al., 2008) y (Tsantaridis et al., 1999). También es abundante la información respecto a técnicas de ensayo de resistencia al fuego. El Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM) ha generado muchas normas referidas al fuego, como por ejemplo IRAM 119493, IRAM 11955, IRAM 11919, IRAM 3900, e IRAM 11910-2, pero en general son para materiales para la construcción. Muchas organizaciones nacionales e internacionales han emitido normas similares, entre ellas ASTM E 8, ASTM E 1354, ASTM E 1623, EN 13501, ISO 5657. También es posible encontrar material para evaluar la eficiencia de retardantes aplicados a elementos de construcción, o elementos estructurales de madera (Hull et al., 2011), (Cinausero et al., 2008).

Sin embargo, es muy escasa la normativa específica referida a elementos y técnicas utilizados en el combate de incendios forestales. Tanto es así que algunos retardantes de llama químicos comerciales de uso forestal indican en sus hojas de datos haber sido ensayados con normas generales para maderas de uso en la construcción. Como normativa específica sólo se ha encontrado la referencia (UNE 23530:2023), y nótese que su primera edición es muy reciente, del año 2019.

También, es prácticamente inexistente la bibliografía referida al uso de yeso para combatir los incendios forestales. La única referencia directamente aplicable es la patente US 4,197,913,

Das Neves Guerreiro, R. J., Miura, O. R., y Espelet, M. A.
Estudio experimental sobre el uso del yeso en el combate de incendios forestales

adjudicada al Sr. Theodore F. Korenowski, que propone la viabilidad de utilizar yeso fosforado para disminuir el riesgo de incendios forestales en zonas de alta peligrosidad. El yeso fosforado es un subproducto muy abundante que se obtiene de la elaboración de fertilizantes. Es mayormente yeso, con un 20% de contaminantes, incluyendo elementos de baja radioactividad, por lo que en general no ha encontrado aplicación en la industria.

Si bien es posible encontrar referencias bibliográficas en diversos aspectos relacionados con el combate de incendio forestales y la evaluación de riesgos de incendio de bosques y matorrales, en estos trabajos en general se usan métodos que no están normalizados. Es común encontrar en estos trabajos, por ejemplo (Blackhall et al., 2012), (Batista et al., 2012), (Blackhall y Raffaele, 2019) referencias a “pruebas de inflamabilidad”, pero no hacen referencia a una norma específica que estandarice su implementación. En general, hacen referencia a algún otro antecedente bibliográfico que describe este ensayo. Lo mismo sucede en relación con quemas experimentales de vegetación (Santacruz, 2020).

Métodos

Respecto a los aspectos experimentales, se comenzó analizando el comportamiento de distintas proporciones de la mezcla agua-yeso. Para ello, se elaboraron mezclas al 10%, 15% y 20% en peso de yeso y agua respectivamente.

Se evaluó su comportamiento en el tiempo, ya que el yeso posee propiedades cementantes y se estimaba que la mezcla podría perder su condición de fluidez.

Para estudiar este comportamiento, se prepararon 10 litros de mezcla para cada una de estas concentraciones, y se constató que si se mantiene una agitación intermitente durante al menos 30 minutos, se evita el fragüe del yeso y las mezclas no pierden su fluidez. Si bien con el tiempo se produce una cierta sedimentación, también se pudo constatar que, mediante agitación mecánica durante unos minutos, se puede volver a uniformar la mezcla, garantizando su aplicabilidad.

En segundo lugar, se estudió la aplicación de esta mezcla en condiciones de campo. A tales efectos se contactó al Departamento Central de Bomberos de Comodoro Rivadavia. De esta reunión, se determinó que entre las diferentes formas de combate de incendios forestales se encuentra la aplicación de agua (en algunos casos agregando componentes químicos como retardantes), mediante una mochila especialmente diseñada para estos fines. (ver Foto 1)

Esta mochila es un recipiente de tela impermeable usado como contenedor, que posee incorporada una bomba de accionamiento manual para producir presión que permite la aplicación del producto en la zona deseada mediante atomización.

Das Neves Guerreiro, R. J., Miura, O. R., y Espelet, M. A.
Estudio experimental sobre el uso del yeso en el combate de incendios forestales

Foto 1. Mochila aspersora



A los efectos de evaluar la aplicabilidad de las distintas mezclas, se delimitaron en un terreno, cuatro zonas de 2 metros cuadrados cada una, y se aplicó en cada zona dos manos cruzadas en forma perpendicular, de solo agua a la primera zona, solución al 10%, 15% y 20% respectivamente en las zonas 2, 3 y 4.

Se constató que para las mezclas al 10% y al 15% el esfuerzo de aplicación es similar al caso de usar solo agua. La solución al 20% requirió un esfuerzo mayor para accionar la bomba, resultando un mayor trabajo para alcanzar el mismo grado de atomización que con las otras proporciones.

En la Foto 2, se observa el aspecto de los distintos sectores en los que se realizaron las aplicaciones. En el sector más cercano a la cámara se aplicó agua sin yeso, y se fue aumentando la proporción en yeso hasta llegar al 20% en peso en el último sector.

Das Neves Guerreiro, R. J., Miura, O. R., y Espelet, M. A.
Estudio experimental sobre el uso del yeso en el combate de incendios forestales

Foto 2. Aplicación en terreno



Para generar una película de yeso, la solución al 10 % requiere utilizar una mayor cantidad de mezcla, respecto a la solución del 15%. Para proporciones mayores al 15% resulta más dificultosa su aplicación con el dispositivo de la mochila, ya que el accionamiento de la bomba es más laborioso. Además, el grado de aspersion que se logra con proporciones del 20% o mayores, no es tan bueno como el que se logra con proporciones menores, ya que la calidad de rocío es inferior.

En tercer lugar, se analizó la aptitud de la mezcla de yeso y agua para retardar la propagación de los incendios. Para tales efectos, se implementó dos ensayos distintos.

Si bien originalmente se consideró utilizar el “Ensayo del Índice de Oxígeno Límite” (ASTM D 286), este ensayo no pudo implementarse porque el único equipo disponible en el país, propiedad del CITEMA (Centro de Investigaciones y Desarrollo en Ciencias y Tecnologías de Los Materiales), no se encuentra operativo por inconvenientes técnicos que no han podido ser solucionados.

Das Neves Guerreiro, R. J., Miura, O. R., y Espelet, M. A.
Estudio experimental sobre el uso del yeso en el combate de incendios forestales

Por esta razón, se decidió utilizar dos ensayos alternativos, el “Ensayo de resistencia a la llama intermitente” (DPTO. DE INGENIERIA QUIMICA, sin fecha) y el “Ensayo de Inflamabilidad”, según lo indicado en la patente U.S. 4.197.913.

El “Ensayo de resistencia a la llama intermitente” ha sido utilizado en varias referencias sobre el tratamiento de maderas para la construcción, como (Tonello et al., 2017) y (Canosa et al., 2017)

En este ensayo se somete una cara de una probeta a la acción intermitente de la llama de un mechero Bunsen. La probeta tratada, se somete a la acción de la llama durante 20 segundos, con períodos de descanso de 10 segundos.

Se repite el ciclo de exposición fuego/reposo si la llama se autoextingue dentro de los 5 segundos de retirado el mechero y la zona carbonizada no excede los 8 cm².

Cuando el número de ciclos de comportamiento auto extinguiible alcanza el valor 30 (etapa A), la acción de la llama debe extenderse a 50 segundos con períodos de descanso de 10 segundos (etapa B) y si continúa siendo auto extinguiible luego de otros 35 ciclos en las condiciones citadas, la llama se mantendrá en forma constante durante 30 minutos como máximo (etapa C). Se determina el número de ciclos con comportamiento auto extinguiible calificando cada uno de ellos con uno y dos puntos para las etapas A y B respectivamente y cinco puntos por cada minuto correspondiente a la etapa C. Luego se calcula la cantidad total por panel y los resultados promedios de los tres ensayos.

El número de ciclos necesarios para lograr la combustión de la probeta es un indicador de la efectividad de la mezcla de yeso para retardar la acción del fuego.

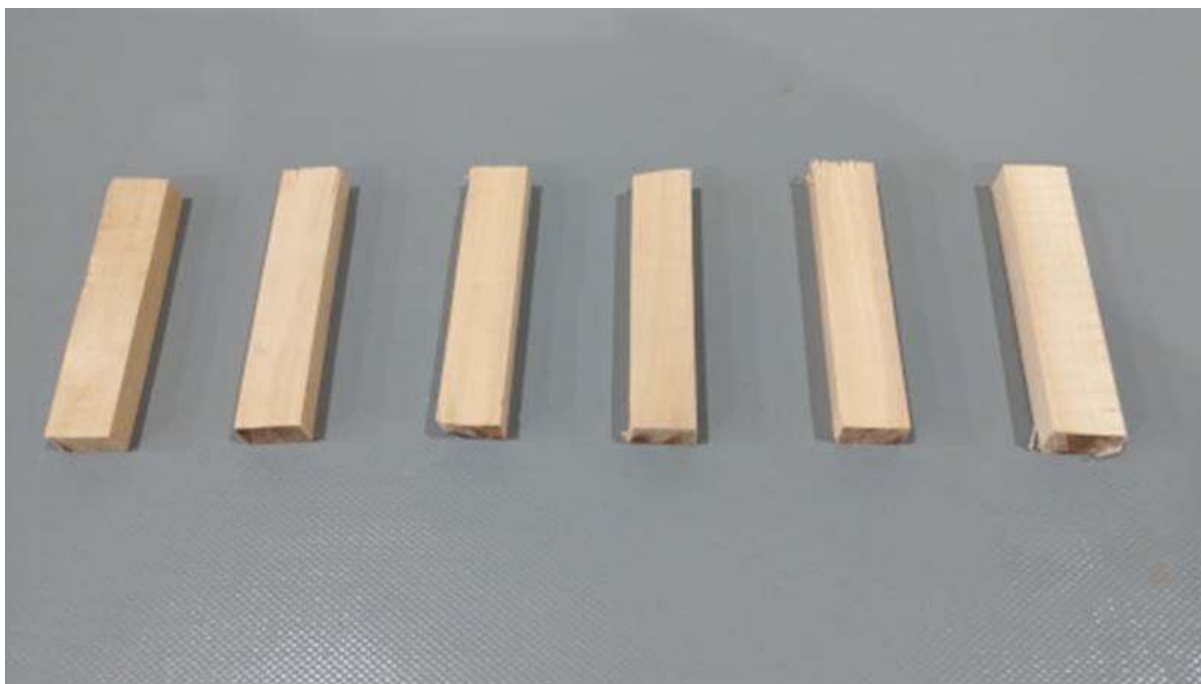


Foto 3. Ensayo de resistencia a la llama intermitente – Probetas

En el “Ensayo de Inflamabilidad”, se somete a la acción de la llama a una capa de hojarasca colocada sobre una bandeja metálica (US 4,197,913). La hojarasca entra en combustión, hasta que eventualmente el fuego se extingue. La pérdida de masa por combustión es un indicador de la efectividad de la mezcla de yeso para retardar la acción del fuego.



Foto 4. Material para ensayo de Inflamabilidad

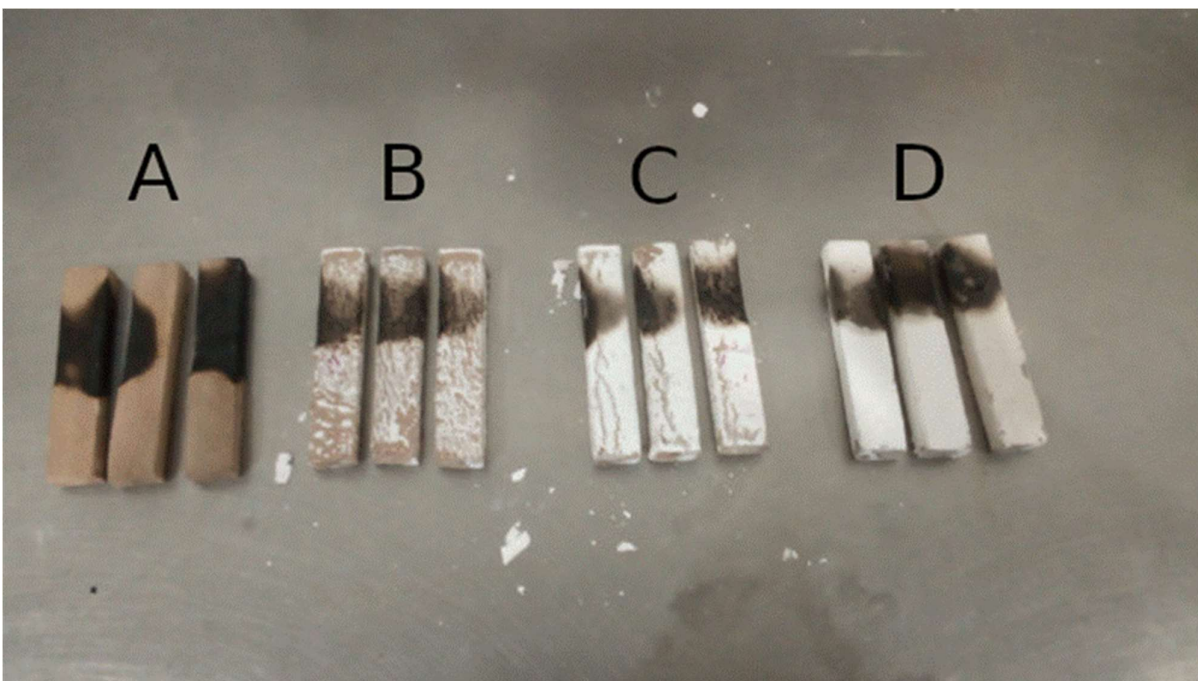
Resultados

Ensayo de resistencia a la llama intermitente. En el siguiente cuadro se exponen los resultados:

Probeta N.º	Etapas A Ciclos 20-10	Etapas B Ciclos 50-10	Etapas C Minutos	Tipo Mezcla
13	1	---	---	Sin tratar
14	1	---	---	Sin tratar
15	1	---	---	Sin tratar
16	1	---	---	10% yeso
17	1	---	---	10% yeso
18	1	---	---	10% yeso
19	1	---	---	15% yeso
20	1	---	---	15% yeso
21	1	---	---	15% yeso
22	3	---	---	20% yeso
23	3	---	---	20% yeso

Las probetas tratadas con proporciones de mezcla de 10% y 15% de yeso desde el punto de vista cuantitativo tienen un comportamiento similar a las no tratadas. Sin embargo, desde el punto de vista cualitativo el comportamiento es diferente ya que, si bien ninguna se auto extinguió en un lapso menor a 5 segundos, (para forzar la necesidad de un segundo ciclo), la superficie de probeta con daños por combustión es significativamente menor en el caso de las probetas tratadas respecto a las no tratadas. En la Foto 5 se observa esta circunstancia. En esta imagen, se presentan las probetas utilizadas en este ensayo. El grupo de 3 probetas ubicadas a la izquierda de la imagen (grupo A), corresponde a las probetas sin tratar. En este caso, se observan improntas profundas y muy evidentes, dado el cambio de color producido por la combustión de la madera luego de la exposición a la llama. El grupo de tres probetas ubicado en segunda posición contando desde la izquierda (grupo B), corresponde a las probetas tratadas con mezcla al 10%. Como se aprecia, la combustión sólo ha afectado una porción pequeña y muy superficial de la madera. Resultados similares se obtienen para las probetas tratadas con mezcla al 15% (grupo C, en tercera posición contando desde la izquierda). Si bien los sectores dañados en las probetas tratadas con mezcla al 20% (grupo D, primera posición desde la derecha) son significativamente mayores que los de las probetas tratadas con mezclas al 10% y al 15%, es necesario considerar que estas probetas han sido sometidas a tres ciclos de llama, lo que explica los mayores daños provocados.

Foto 5. Ensayo de resistencia a la llama intermitente

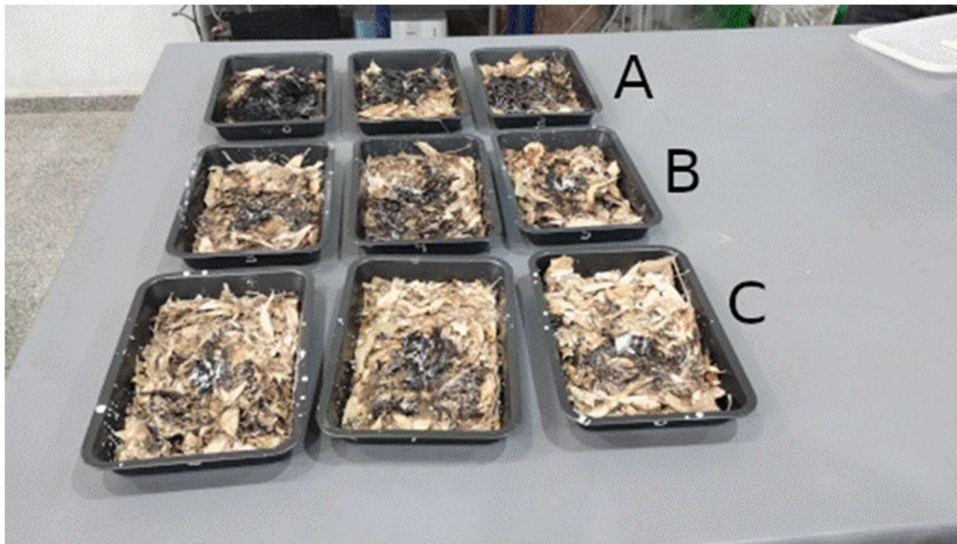


Las probetas tratadas con mezcla al 20%, presentan un comportamiento cuantitativa y cualitativamente distinto, ya que es necesario aplicar 3 ciclos de llama para concluir el ensayo. En la foto superior, las probetas tratadas con mezcla al 20% (grupo D) muestran improntas más notables que las tratadas con porcentajes menores, pero esto es porque, como se indicó anteriormente, han soportado 60 segundos de contacto con la llama (3 ciclos), mientras que las restantes probetas han soportado un solo ciclo de contacto (20 segundos).

Ensayo de Inflamabilidad. En el siguiente cuadro se exponen los resultados:

N.º Bandeja	Perdida Peso [gr]	Perdida promedio peso [gr]	Perdida promedio Peso [%]	Tipo Mezcla
0	15,40			0% yeso
1	12,45	13,23	52,91 %	0% yeso
2	11,83			0% yeso
3	4,59			15% yeso
4	5,25	5,07	20,29 %	15% yeso
5	5,38			15% yeso
6	2,46			20% yeso
7	3,83	3,16	12,64 %	20% yeso
8	3,19			20% yeso
9	5,71			22% yeso
10	3,97	4,46	17,83 %	22% yeso
11	3,69			22% yeso

Foto 6. Ensayo de inflamabilidad



En la foto 6 se presentan las bandejas utilizadas para este ensayo. La serie de bandejas A se corresponde a material sin tratar. La serie de bandejas B se corresponde a material tratado con mezcla al 15%. La serie de bandejas C se corresponde con material tratado con mezcla al 20%. Si bien no se incluyen en la imagen, las bandejas tratadas con mezcla al 22% presentan un aspecto muy similar al de las bandejas B. En el caso de las bandejas B y C, el material afectado por la combustión son las hojas más superficiales, mientras que en el caso de la serie de bandejas A, la combustión afecta también sectores de hojas ubicadas en capas más profundas, inclusive las que se encuentran en contacto con la bandeja.

Se observa una gran diferencia de comportamiento entre las bandejas con material tratado y aquellas sin tratar, ya que en el primer caso la pérdida promedio de material, a consecuencia de la combustión es del 50 %, mientras que, en las bandejas tratadas, es de 20 % o menos. En ambos casos, la combustión se ha autoextinguido.

La dispersión que existe en los resultados se atribuye a la heterogeneidad del material combustible. Para este ensayo, se ha utilizado hojarasca natural obtenida de un sector arbolado del predio universitario. Este material está compuesto por distintos tipos de hojas, ramas y material vegetal en

general, y distintas porciones del mismo presentan distintos comportamientos. Dada la efectividad del yeso para retardar la acción del fuego, el porcentaje de masa que se pierde es relativamente pequeño, del orden del 20%, y pequeñas variaciones en este parámetro a consecuencia de las distintas características de cada muestra dificultan la interpretación de los resultados de este ensayo. Sin embargo, es posible apreciar claramente que el tratamiento con la mezcla de yeso y agua disminuye significativamente el material que se pierde por combustión antes de la autoextinción.

De lo expuesto anteriormente, se pueden identificar los siguientes resultados, en primer lugar, se determinó la aplicabilidad de la mezcla de agua y Sulfato de Calcio Hidratado mediante dispositivos de uso habitual en el combate de incendios forestales y en segundo lugar, los ensayos realizados muestran que la aplicación de mezclas de agua y Sulfato de Calcio Hidratado disminuyen la inflamabilidad de material de origen vegetal, al menos en condiciones de laboratorio. En relación al primero de los resultados, y a partir del préstamo de una mochila aspersora por parte del cuerpo de bomberos local, se realizaron varias prácticas en las que se aplicó las mezclas elaboradas a distintos sectores del predio universitario, prácticas en las que se pudo verificar que la aplicabilidad de la mezcla es similar a la aplicabilidad de agua, que es la forma usual de usar estas mochilas. En relación al segundo de los resultados, cuando se aplicó la llama tanto a probetas de maderas como a hojarasca, en todos los casos se verificó que la combustión afectó a proporciones significativamente menores de material.

Conclusiones

El presente trabajo ha demostrado en forma preliminar la viabilidad de utilizar el sulfato de calcio como retardante para el combate de incendios forestales. En primer lugar, se ha demostrado que las mezclas de sulfato de agua y calcio mantienen su viabilidad de aplicación durante días, y que para su utilización a largo plazo solo se requiere un breve proceso de agitación. En segundo lugar, se demostró que la mezcla puede ser aplicada mediante el uso de herramientas comunes y habituales en el combate de incendios forestales, como lo son las “mochilas para incendios forestales” (ver Foto 1), que mediante una bomba de presión manual aplican el producto en forma de niebla. En tercer lugar, se demostró, mediante métodos de laboratorio y ensayos a pequeña escala, que aplicar mezcla de agua y sulfato de calcio, en proporciones aproximadas al 15%, retarda la propagación del fuego en material vegetal.

Para demostrar en forma concluyente la viabilidad de utilizar el sulfato de calcio como retardante para el combate de incendios forestales, será necesario realizar ensayos de campo, probablemente mediante quemas controladas, y/o ensayos a pequeña escala en incendios naturales.

Referencias

- ASTM E 84: Standard Test Method for Surface Burning Characteristics of Building Materials. Annual Book of Standards, Vol. 04.07, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM E 1354: Standard Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products Using an Oxygen Consumption Calorimeter. Annual Book of Standards, Vol. 04.07, ASTM International, West Conshohocken, PA
- ASTM E 1623: Test Method for Determination of Fire and Thermal Parameters of Materials, Products, and Systems Using an Intermediate Scale Calorimeter (ICAL). ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM D 2863: Standard Test Method for Measuring the Minimum Oxygen Concentration to Support Candle-Like Combustion of Plastics (Oxygen Index). ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Batista, A., Biondi, D., França Tetto A., de Assunção, R., Tres A., Costa R., Travenisk, C., y Kovalsyki, B., (2012) Evaluación de la Inflamabilidad de Árboles y Arbustos Utilizados en la Implementación de Barreras Verdes en el Sur del Brasil, Memorias del Cuarto Simposio Internacional Sobre Políticas, Planificación y Economía de los Incendios Forestales: Cambio Climático e Incendios Forestales. GENERAL TECHNICAL REPORT PSW-GTR-245, pg 278-286. Noviembre 2012.
- Baux C., Mélinge Y., Lanos C., Jauberthie R., (2008) Enhanced Gypsum Panels for Fire Protection, Journal of Materials in Civil Engineering, Volume 20, Issue 1, Jan 1, 2008, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2008\)20:1\(71\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2008)20:1(71))
- Blackhall, Melisa; Raffaele, Estela; Veblen, Thomas; (2012) Is foliar flammability of woody species related to time since fire and herbivory in northwest Patagonia, Argentina?; Wiley Blackwell Publishing, Inc; Journal of Vegetation Science; 23; 5; 10-2012; 931-941
- Blackhall, M., Raffaele, E., (2019) Flammability of Patagonian invaders and natives: When exotic plant species affect live fine fuel ignitability in wildland-urban interfaces, Landscape and Urban Planning, 189. Pg 1–10. Año 2019. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.04.002>
- Canosa G., Alfieri, P., y Giudice, C., (2017) Comportamiento Frente al Fuego de Madera Tratada con “Whey Proteins”, V Congreso Iberoamericano y XIII Jornada de Técnicas de Reparación y
- Revista Electrónica de Divulgación de Metodologías Emergente en el Desarrollo de las STEM; 6(1) 28-42.

Das Neves Guerreiro, R. J., Miura, O. R., y Espelet, M. A.
Estudio experimental sobre el uso del yeso en el combate de incendios forestales

Conservación del Patrimonio (COBREICOPA) (La Plata, 2017),
<https://digital.cic.gba.gob.ar/handle/11746/6632>

Cinausero, Nicolas et al., (2008) Fire Retardancy of Polymers: New Strategies and Mechanisms, ISBN: 978-0-85404-149-7, 03 Dec 2008,

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA, Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional La Plata, PRACTICA DE LABORATORIO N° 4: RESISTENCIA A LA LLAMA INTERMITENTE DE UN MECHERO BUNSEN

EN 13501: Fire Classification of Construction Products and Building Elements – Part 1 – Classification Using Test Data from Reaction-to-Fire Tests. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

Hull R.T., Witkowski A., Hollingbery L., (2011) Fire retardant action of mineral fillers ,Polymer Degradation and Stability, Volume 96, Issue 8, Pages 1462-1469, August 2011.

<https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2011.05.006>

IRAM 11949. Comportamiento al fuego de los elementos de construcción. Resistencia al fuego. Criterios de clasificación. Perú 552/6 C1068AAB. Buenos Aires

IRAM 11955. Resistencia al fuego de los elementos de construcción. Procedimientos alternativos y adicionales. Perú 552/6 C1068AAB. Buenos Aires

IRAM 11919. Comportamiento al fuego de los elementos de construcción. Ensayo de propagación de llama para techos expuestos a fuego exterior. Perú 552/6 C1068AAB. Buenos Aires

IRAM 3900-1. Fuego e incendio. Definiciones fundamentales. Perú 552/6. C1068AAB. Buenos Aires

IRAM 11910-2. Materiales de construcción. Reacción al fuego. Ensayo de combustibilidad. Perú 552/6 C1068AAB. Buenos Aires

ISO 5657: Fire Tests—Reaction to Fire—Ignitability of Building Products. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland

Das Neves Guerreiro, R. J., Miura, O. R., y Espelet, M. A.

Estudio experimental sobre el uso del yeso en el combate de incendios forestales

Santacruz García, A. (2020) Impacto del fuego en la defensa de las plantas: Rasgos funcionales y síntesis de metabolitos secundarios en especies leñosas del Chaco semiárido de Argentina, TESIS DOCTORAL DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales Universidad Nacional de la Plata La Plata, Argentina 2020.

Tonello, M.L, Keil, G., Maly L., Canosa G. & Giudice, C., (2017) EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AL FUEGO DE LA MADERA DE PINO PONDEROSA (PINUS PONDEROSA DOUGL. EX LAWS) IMPREGNADA CON 8 SOLUCIONES POTENCIALMENTE IGNÍFUGAS. Informe Final de 259 pp. Proyecto BIRF LN 7520 AR – Manejo Sustentable de Recursos Naturales Componente 2 – Plantaciones Forestales Sustentables. Ministerio de Agricultura de la Nación. (2017)

Tsantaridis Lazaros D., Ostman Birgit A-L, and König, Jorgen, (1999) Fire Protection of Wood by Different Gypsum Plasterboards, FIRE AND MATERIALS, Volume 23, pg. 45-48, 1999- Swedish Institute for Wood Technology Research, Box 5609, SE-114 86 Stockholm, Sweden. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1018\(199901/02\)23:1<45::AID-FAM662>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1018(199901/02)23:1<45::AID-FAM662>3.0.CO;2-6)

UNE 23530:2023: Retardantes de largo plazo para incendios forestales: procedimientos para la calificación y control de calidad de los materiales. Asociación Española de Normalización, UNE, C/ Génova, 6. 28004 Madrid

US4,197,913. Patente. Theodore F. Korenowski