



MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA Y EFICACIA DEL USO DEL AGUA EN EL COMBATE DE INCENDIOS FORESTALES

CARLOS ARANCIBIA HERMAN

JULIO 2022

INDICE

	N° Página
Resumen	4
A. Introducción	9
B. Consumo de agua por persona	9
C. Situación Hídrica en Chile	10
D. Prognosis para las próximas décadas	11
E. Propiedades físicas del agua	12
1. Calor específico	12
2. Calor latente de evaporación	12
3. Tensión superficial	13
3.1 Efectos de la tensión sobre el agua	13
4. Viscosidad	14
F. Propiedades del agua como agente supresante	15
G. Principios en el uso del agua	15
H. Limitaciones del uso del agua sin aditivos en labores de extinción de incendios forestales	16
1. Altura de lanzamiento y deriva provocada por el viento	16
2. Mecánica del lanzamiento	17
3. Temperatura	17
4. Cobertura de copas	17
5. Naturaleza del combustible ardiendo	17
I. Uso de aditivos químicos para mejorar la eficiencia del agua	18
1. Retardantes de corto y largo efecto	18
1.1 Retardantes de corto efecto	19
1.2 Retardantes de efecto prolongado	19
1.2.1. Niveles de cobertura	19
J. Costo/Beneficio	20
K. Ventajas del uso de productos químicos	21
L. Empleo de aeronaves para el combateaéreo de los incendios forestales	21
M. Participación de aeronaves en la extinción de incendios forestales	22
N. Ocurrencia de incendios forestales a nivel nacional: Período 2010-2020	22
O. Lanzamientos de agentes líquidos con aeronaves	23
P. Distribución porcentual de agentes líquidos aplicados durante las temporadas (2016-2017, 2017-2018, 2018-2019, 2019-2020).	23

	N° Página
Q. Resumen de las operaciones de combate aéreo.Temporada 2019-2020	24
R. Mejoramiento de la eficiencia y eficacia del uso del agua en el combate de incendios forestales	26
S. Propuestas de Solución	26
T. Glosario	26
U. Bibliografía	28

RESUMEN

MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA Y EFICACIA DEL USO DEL AGUA EN EL COMBATE DE INCENDIOS FORESTALES

A. CHILE Y LA CRISIS CLIMÁTICA

El último Informe del Panel de Expertos de las Naciones Unidas reveló que el daño ambiental en el planeta es irreversible. Tanto así que ya no debemos hablar de **Cambio Climático**, sino que derechamente de **Crisis Climática**.

Para Chile, una de las consecuencias más graves de esta crisis son los 13 años de la peor sequía de la historia. Actualmente, la zona centro norte y centro sur del país se encuentra con déficits de precipitaciones de entre un 60% y un 80% comparado con el promedio histórico; una acumulación de nieve que registra déficits superiores al 85%; con los principales embalses con solo un 34% de su capacidad, y con una proyección para el caudal de ríos cercana a los mínimos históricos.

Este grave cuadro ha obligado al Ministerio de Obras Públicas a firmar 21 decretos de escasez hídrica, que afectan 184 comunas (53,2%) en ocho regiones del país (diciembre 2021). La medida permite redistribuir las aguas de los cauces para priorizar el consumo humano y autorizar la extracción de agua, mientras dure la emergencia, sin contar con los respectivos derechos.

Además, se ha declarado Emergencia Agrícola por déficit hídrico en 226 comunas (65,3%) a lo largo de Chile. La declaración de Emergencia Agrícola por déficit hídrico es una herramienta del Ministerio de Agricultura para entregar ayuda y apoyo eficaz para aquellas zonas de nuestro país afectadas por la baja disponibilidad de agua.

Por otra parte, el Instituto de los Recursos Mundiales (WRI), destaca a Chile como la única nación latinoamericana que pasará a un estrés hídrico extremadamente alto para el 2040, debido a los efectos combinados del alza de las temperaturas en regiones críticas y los cambios en los patrones de precipitación.

B. USO DEL AGUA EN LA EXTINCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES EN CHILE

El agua es uno de los elementos extintores por excelencia. Como agente supresante constituye una valiosa herramienta para el combate de los incendios forestales, en las últimas temporadas, su empleo se ha acrecentado producto de las condiciones ambientales adversas que propician el inicio del fuego y su propagación.

En Chile, mayoritariamente se usa el agua sin aditivos químicos reduciendo su eficiencia y eficacia en el combate del fuego, **Durante la temporada 2019-2020, el 97% del total de las descargas, se utilizó agua sola, el empleo de aditivos químicos sumó el 3%.**

Una de las situaciones que ilustra lo señalado, fue lo ocurrido en el incendio forestal que se inició el 24 de diciembre 2019 y que afectó los cerros de Rocuant, San Roque y Ramaditas en Valparaíso, se emplearon 18 aeronaves de alas fijas y rotatorias, que totalizaron la descarga de 1.373.200 litros de líquidos, de los cuáles el 98,4% era agua sola, sólo el 1,6% del total del volumen lanzado (21.700 litros) correspondió a mezclas de retardante. La cantidad de líquidos lanzados equivale a abastecer a los habitantes de la comuna de Petorca (9.826) con 139 litros de agua en un día.

Las aeronaves de CONAF durante la temporada 2019/2020, participaron en el 66% de los incendios combatidos lanzando un volumen equivalente a 229.543.400 litros de líquidos, de los cuales, 220.998.850 litros fueron agua sola. La cifra global señalada, equivale a abastecer de agua a la población de la región de Valparaíso con 115 litros de agua durante un día. **Para tener una visión general del tema que se analiza, habría que sumar una cifra similar o tal vez un poco mayor a las empresas forestales que adicionalmente a su flota de aeronaves, disponen de camiones aljibes y móviles de brigadas para el transporte de agua.**

C. PROPIEDADES Y LIMITACIONES DEL AGUA.

La eficiencia del agua disminuye cuando se emplea sola, debido a sus propiedades físicas como su elevada tensión superficial y baja viscosidad, posibilitan que el líquido elemento drene rápidamente al suelo al contactar con el combustible forestal, de esta manera, el empleo del agua en apoyo al establecimiento de líneas de control debe considerarse como temporal, por cuanto su efecto está limitado por el período de tiempo que demora su evaporación, normalmente corto por el alto calor que existe en el lugar (alrededor de 10 minutos en promedio).

Durante el incendio, la energía desprendida por el frente de llama en muchas ocasiones, es más que suficiente para evaporar el agua incluso antes de que entre en contacto con el combustible, llevando a cero su capacidad de humectar la vegetación y afectar a la propagación del fuego.

D. USO DE ADITIVOS QUÍMICOS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL AGUA

La adición de productos químicos amplía la acción del agua sobre los combustibles, permiten aumentar su volumen, penetrabilidad y permanencia en o sobre los combustibles sin evaporarse, y desarrollando una adherencia, cohesión, intumescencia que conducen a la detención o retardación del proceso de la combustión.

En la actualidad los productos químicos de amplio uso en el planeta, cumplen altos estándares, validados a través de pruebas de laboratorio y de campo, relacionados con la salud de las personas, el cuidado ambiental, eficiencia y eficacia y el comportamiento en materiales aéreos y terrestres.

E. RETARDANTES DE CORTO Y LARGO EFECTO

Un retardante es cualquier sustancia que, por acción física o química, disminuye la combustibilidad, cuando es aplicado correctamente, su efectividad depende de la reacción al calor de las sustancias químicas básicas inhibidoras de la combustión, contenidas en la formulación del producto.

En los **retardantes de corto efecto**, el agua se mezcla con productos en dosis que fluctúan entre 0,1 a 1,0% reducen la tensión superficial del agua y humedecen rápidamente los combustibles pesados, con menor pérdida por escurrimiento, aumenta su capacidad extintora desde 5 a 8 veces. Su acción perdura hasta que se evapora el agua (promedio 30 minutos).

Los retardantes de efecto prolongado son compuestos químicos que alteran químicamente los combustibles forestales y los transforman en no inflamables. El agua sirve como vehículo para el producto, retrasa la combustión durante más de 24 horas, incluso después de que el agua sea removida por evaporación a causa de las llamas. Se aplican en dosis que varían entre 0,4 a 2,5 litros /m² según el tipo de combustible.

F. COSTO/BENEFICIO

El empleo de productos químicos para el combate de incendios forestales constituye una valiosa herramienta de apoyo a las labores de extinción, cuando es aplicado en la dosis adecuada y en forma oportuna.

G. VENTAJAS DEL USO DE PRODUCTOS QUÍMICOS

Como se ha señalado en forma precedente, los retardantes de corto y largo efecto contribuyen a un ahorro significativo del recurso agua y a reducir los costos de las labores de supresión. El empleo de agua sola, por el contrario, encarece los trabajos de extinción al requerir el lanzamiento de mayores volúmenes sobre el incendio a consecuencia del efecto temporal por su rápida evaporación, otros atributos de los agentes químicos retardantes del fuego se señalan a continuación.

- Optimización del uso del agua
- Detención de la propagación del fuego
- Disminución de la superficie afectada
- Reducción de horas de vuelo de aeronaves
- Reducción de las jornadas de trabajo de las brigadas terrestres y maquinarias
- Reducción de las emisiones contaminantes, material particulado, humo.
- Disminución del tiempo de exposición de los brigadistas a los efectos del fuego

H. MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA Y EFICACIA DEL USO DEL AGUA EN EL COMBATE DE INCENDIOS FORESTALES.

Ante la crisis climática y su efecto en la ausencia de precipitaciones que afecta a gran parte del territorio nacional, resulta necesario que los programas de protección contra incendios forestales de la Corporación Nacional Forestal como servicio forestal del estado y, sus homólogos del sector privado realicen un análisis sobre el uso eficiente del agua en labores de extinción de incendios y aunar esfuerzos para optimizar su uso, que permita ahorrar agua y potenciar su aprovechamiento.

El escaso empleo de productos químicos obedecería a las siguientes causas

1. La causa inmediata de dicha decisión, atribuida a los ejecutivos de los programas de protección se sustentaría en el alto costo del producto importado.
2. Sin embargo, las causas básicas o de fondo tendrían su origen en las siguientes situaciones
 - 2.1 La falta de estudios técnicos y económicos referente a las ventajas de las diversas herramientas utilizadas en los trabajos de extinción de incendios (aeronaves, maquinarias, compuestos químicos).
 - 2.2 El desconocimiento de las capacidades de los agentes químicos respecto a sus efectos sobre el fuego, no obstante, la existencia de pruebas y ensayos muy bien documentados que demuestran su eficacia y eficiencia en la lucha contra el fuego cuando el agente químico es aplicado en forma adecuada.

I. PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

Los programas de protección de CONAF como de las empresas forestales disponen actualmente de tecnología de última generación que les permite monitorear las 24 horas del día las zonas de ocurrencia de incendios, asimismo; disponen de plataformas computacionales que hacen posible pronosticar el desarrollo y comportamiento del incendio.

No obstante, lo señalado, existen instancias de mejoras en las actividades de supresión una de ellas, está representada por el uso del agua. En tiempos de crisis hídrica son fundamentales todas las iniciativas que optimicen el uso de este recurso. Enfrentar los problemas de sequía que tiene Chile implica redoblar los esfuerzos por integrar más y mejor tecnología que permita y mejorar la eficiencia en su uso.

Ante la coyuntura de escasez del recurso hídrico se plantean las siguientes instancias de mejora:

1. Realizar seminarios de capacitación sobre uso de retardantes químicos a nivel ejecutivo y personal de operaciones de los programas de protección.
2. Masificar el uso de aditivos químicos a través de medios terrestres y aéreos para mejorar la eficiencia del agua en la extinción del fuego.
3. Propiciar el empleo de aeronaves de alas rotatorias de mediana y gran capacidad de carga, reemplazando los helicópteros de capacidad igual o inferior a 1200 litros, por el insuficiente efecto de la descarga sobre el fuego.

4. Desarrollar investigaciones en los modelos de combustibles definidos para nuestro país, para determinar los requerimientos de concentración agua/retardantes (l/m²) necesarios para extinguir un fuego. En la actualidad se utilizan concentraciones para tipos de vegetación de otras latitudes.
5. Desarrollar un proyecto de investigación financiado a través de fondos de Investigación e Innovación, que evalúe la factibilidad técnica y económica de fabricar en Chile productos químicos con características retardantes o, producir los existentes en el mercado bajo licencia.

TODOS JUNTOS PODEMOS APORTAR AL AHORRO DE AGUA

A. INTRODUCCIÓN

Siguiendo inmediatamente en importancia al oxígeno del aire, el agua es la substancia sin la que toda la vida sobre la Tierra perecería. El recurso del agua es un bien irremplazable, vital y escaso. La visión actual es de un recurso renovable pero limitado, que presenta una importante escasez en nuestro país y cuya conservación se ha transformado en la preocupación de todas las autoridades.

Aunque el agua es el recurso más abundante del planeta, sólo el 3% se trata de agua dulce. Lo que más sorprende es que de ese porcentaje minúsculo, sólo el 1% está disponible para beber (figura N°1).



Figura N°1. Disponibilidad de agua para el consumo humano

La escasez de agua dulce en el planeta se ha venido agravando en los últimos años como consecuencia de infinidad de factores, tanto naturales como humanos, entre los cuales se pueden distinguir: La contaminación de aguas dulces, la sequía debido al fenómeno del cambio climático y al uso descontrolado del agua, tanto a gran escala como a pequeña escala.

B. CONSUMO DE AGUA POR PERSONA

La Organización Mundial de la Salud (OMS) señala que una persona debe disponer para el consumo diario en promedio una cantidad de 100 litros de agua. En el ámbito nacional, el DS N° 594 (Artículo 14), señala que en todo lugar de trabajo se deberá mantener una dotación mínima de 100 litros de agua potable por persona y por día, destinada al consumo humano y necesidades básicas de higiene y aseo personal, de uso individual o colectivo.

De acuerdo a cifras de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (Siss) los chilenos gastamos en promedio 170 litros de agua al día. El cálculo incluye la higiene personal, aseo del hogar, cocina y agua para beber o regar plantas.

C. SITUACIÓN HÍDRICA EN CHILE

El último Informe del Panel de Expertos de las Naciones Unidas reveló que el daño ambiental en el planeta es irreversible. Tanto así que ya no debemos hablar de **Cambio Climático**, sino que derechamente de **Crisis Climática**.

Para Chile, una de las consecuencias más graves de esta crisis son los 13 años de la peor sequía de la historia. Actualmente, la zona centro norte y centro sur del país se encuentra con déficits de precipitaciones de entre un 60% y un 80% comparado con el promedio histórico; una acumulación de nieve que registra déficits superiores al 85%; con los principales embalses con solo un 34% de su capacidad, y con una proyección para el caudal de ríos cercana a los mínimos históricos.

Este grave cuadro ha obligado al Ministerio de Obras Públicas a firmar 21 decretos de escasez hídrica, que afectan 184 (53,2% del total) comunas en ocho regiones del país (diciembre 2021). La medida permite redistribuir las aguas de los cauces para priorizar el consumo humano y autorizar la extracción de agua, mientras dure la emergencia, sin contar con los respectivos derechos.

Además, se ha declarado Emergencia Agrícola por déficit hídrico en 226 (65,3% del total) comunas a lo largo de Chile. La declaración de Emergencia Agrícola por déficit hídrico es una herramienta del Ministerio de Agricultura para entregar ayuda y apoyo eficaz para aquellas zonas de nuestro país afectadas por la baja disponibilidad de agua.

Recientemente un fallo de la Corte Suprema (25 marzo 2021), ordenó al Gobierno asegurar el abastecimiento de al menos 100 litros de agua al día a cada habitante de la comuna de Petorca (9.826 habitantes) Región de Valparaíso, una de las zonas más afectadas por la sequía en el país.

En este marco y como una necesidad de abordar las problemáticas y desafíos en el ámbito de la sequía, el año 2019 se convocó a una Mesa del Agua para trabajar en la definición de una estrategia hídrica basada en tres pilares. El 2021 se plasmó en un Plan de Emergencia Contra la Sequía que busca aumentar la disponibilidad de agua y mejorar la eficiencia en su uso, con el objetivo de asegurar el abastecimiento para el consumo humano y la producción de alimentos. Fuente MOP.

D. PROGNOSIS PARA LAS PRÓXIMAS DÉCADAS.

Chile ha enfrentado una sequía que ya cumplió 13 años y que prosigue su evolución, se ha extendido principalmente entre las regiones de Coquimbo y La Araucanía, cubriendo toda la zona central del país y parte de las zonas del norte chico y del sur. El fenómeno tiene explicaciones tanto naturales, por fenómenos meteorológicos que causan menores precipitaciones, como humanas, por efecto del cambio climático.

La última actualización del documento denominado Balance Hídrico Nacional de la Dirección General de Aguas del MOP que evalúa la disponibilidad hídrica en el país hasta el año 2060, señala que para el período 2030-2060 la disponibilidad del líquido elemento en las zonas Norte y Centro de Chile podría disminuir más del 50% (figura N°2).

Para la zona Sur del país, las estimaciones son aún más sombrías a consecuencia del cambio climático, para algunos modelos se proyectan disminuciones de hasta un 40% en la disponibilidad de agua, sin embargo, las valoraciones son más auspiciosas para la zona austral donde la proyección más desfavorable es una disminución inferior al 8%.

De acuerdo con una publicación de la Dirección Meteorológica de Chile, se ha estimado que los factores naturales han influido en la ocurrencia de la mega sequía en un 75%, mientras que los factores antrópicos o humanos han influido en el restante 25%.

Proyección escasez hídrica
Período 2030-2060,
reducción principales cuencas
del país

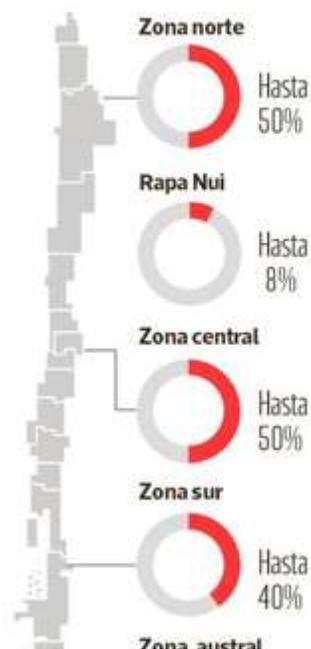


Figura N°2. Proyección escasez hídrica, período 2030-2060

E. PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA.

Algunas de las propiedades físicas del agua en forma líquida, en condiciones normales de temperatura y presión (figura N°3) son:

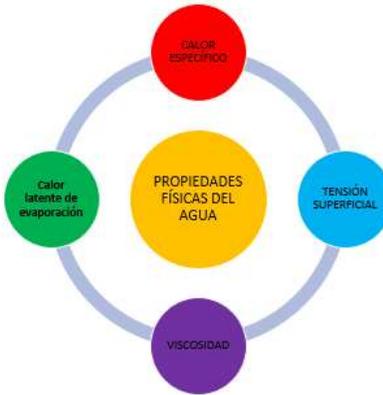


Figura N°3. Propiedades físicas del agua.

- 1. Calor Específico.** El agua absorbe grandes cantidades de calor. Se define como el calor necesario para aumentar la temperatura en 1°C de un 1 litro de agua entre 0° y 100°C , se consume 1 Kcaloría por cada grado de temperatura aumentado. Figura N° 4.

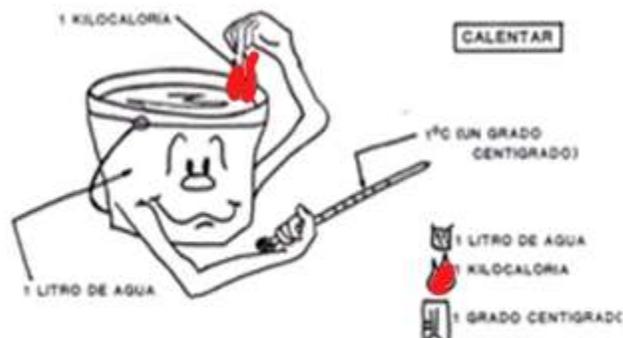


Figura N°4. Calor Específico del agua.

- 2. Calor latente de evaporación.** Para evaporar 1 litro de agua, se consumen 540 Kcal, cuando el agua se evapora expande su volumen aumentando aproximadamente unas 1.700 veces, es decir 1 litro de agua genera un volumen de 1.700 litros de vapor de agua. En resumen, el total de calorías absorbidas en el proceso de calentamiento del agua y su posterior cambio de estado a vapor absorbe 620 Kcal. Figura N° 5.



Figura N° 5. Calor latente de evaporación.

- 3. Tensión superficial.** En física se denomina tensión superficial al fenómeno por el cual la superficie de un líquido tiende a comportarse como si fuera una delgada película elástica. La tensión superficial se debe a que las fuerzas que afectan a cada molécula son diferentes en el interior del líquido y en la superficie de éste. Figura N° 6. La tensión superficial del agua equivale a 73,5 dinas/cm

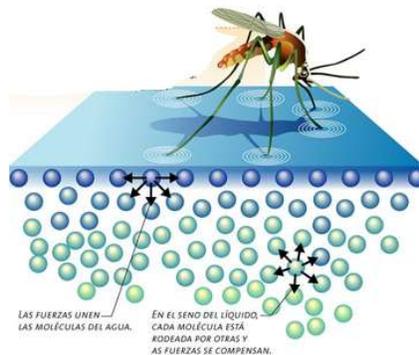


Figura N° 6. Tensión superficial.

3.1 Efectos de la Tensión Superficial sobre el Agua

La tensión superficial produce sobre el líquido dos efectos que limitan su capacidad extintora, estos se explican a continuación:

- La capacidad que tiene el agua de adherirse a las paredes del sólido que lo contiene o por donde circula produce una importante limitación del agua para penetrar a fondos en profundidad, el agua es como que se “pega” al sólido, a los bordes o grietas y no penetra todo lo que quisiéramos o simplemente forma canales en el interior de las pilas de combustibles.
- El agua se “encorva” para presentarnos la menor superficie, limitando la superficie libre por donde el agua puede transferir calor.

4. Viscosidad. La viscosidad es una propiedad física característica de los fluidos en movimiento, que muestra una tendencia de oposición hacia su flujo ante la aplicación de una fuerza. Cuanta más resistencia oponen los líquidos a fluir, más viscosidad poseen. La temperatura reduce la viscosidad del agua, por ejemplo, a 0°C su viscosidad es 1,79, a 20°C es 1,0, a 25°C 0,8 centipoise (cps).

Como resultado de la baja viscosidad del agua, al ser aplicada sobre la vegetación, especialmente en las hojas y las acículas estas al estar recubiertas por una serie de sustancias impermeables y también de polvo, el agua tiene poca adherencia y se escurre fácilmente al suelo. Figura N°7.

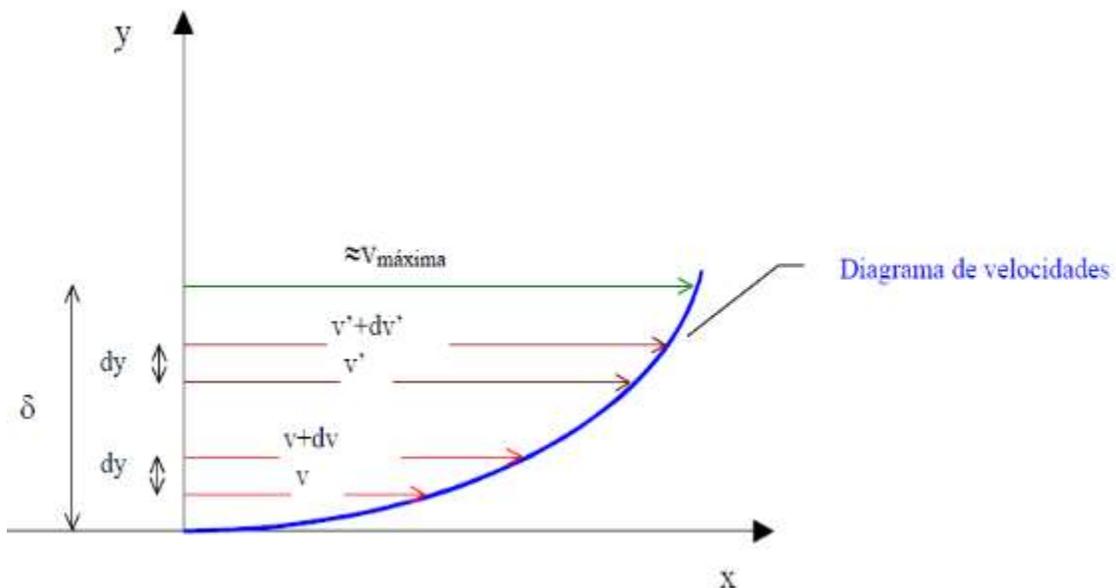


Figura N° 7. La figura representa un fluido en movimiento. La lámina de fluido en contacto con el entorno sólido (eje X) queda pegada a él y su velocidad relativa es nula. A cierta distancia d , otra lámina se mueve prácticamente con la velocidad máxima. Las infinitas velocidades de las láminas intermedias varían entre ambos valores extremos, existiendo deslizamiento de unas capas sobre otras.

F. PROPIEDADES DEL AGUA COMO AGENTE SUPRESANTE

El agua es considerada como un agente supresante universal, actúa simultáneamente sobre los tres componentes del triángulo del fuego. Desafortunadamente no siempre está disponible en los lugares donde ocurren los incendios, generando la necesidad de obtenerla, almacenarla y transportarla por medios terrestres y aéreos.

G. PRINCIPIOS EN EL USO DEL AGUA

El agua puede ser aplicada en diversas formas en el combate, afectando a cualquiera de los tres componentes del triángulo del fuego. Temperatura, Oxígeno y Combustible (figura N°8).

Acción sobre la Temperatura. Es un excelente medio de absorción del calor y provocar, por lo tanto, un enfriamiento del ambiente. Se ha calculado teóricamente que la aplicación de un volumen de agua sobre la superficie de un combustible ardiente, puede extinguir o bajar la temperatura bajo el punto de ignición a 300 volúmenes de ese mismo combustible.

Acción sobre el Oxígeno. El agua finamente dividida para su aplicación como neblina, gracias a pitones neblineros contribuye a modificar las proporciones de gases y otros componentes de la atmósfera. El aire al bajar su proporción de oxígeno desde 21% a un 15% o 12% pierde su capacidad de comburente, y por lo tanto la combustión se paraliza.

Acción sobre los Combustibles. El efecto del agua puede desarrollarse en dos formas distintas: Por sofocamiento y enfriamiento, por un lado, que se produce al mojar el combustible que próximamente debe arder, lo que impedirá el abastecimiento del oxígeno y subirá el requerimiento del calor necesario para el precalentamiento. La otra acción es el efecto mecánico, que se produce cuando el agua se aplica en forma de un chorro compacto y con fuerza, lo que conduce a dispersar al combustible y cortar su continuidad, impidiendo la propagación de las llamas.

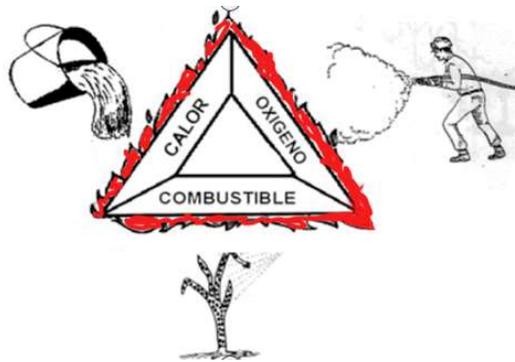


Figura N°8. Acción del agua sobre los componentes del triángulo del fuego

H. LIMITACIONES DEL USO DEL AGUA SIN ADITIVOS EN LABORES DE EXTINCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES

El agua cuando se aplica sola sin aditivos químicos sobre el fuego, su efecto se ve limitado por sus propiedades físicas y aspectos ambientales que se resumen en la figura N° 9.

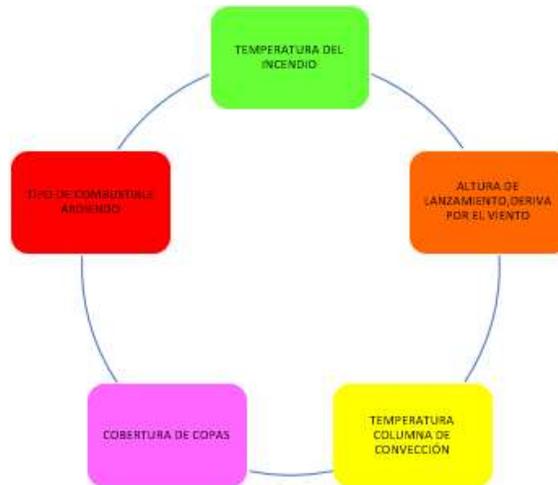


Figura N°9. Limitaciones del uso del agua sin aditivos en labores de extinción de incendios forestales.

- 1. Altura de lanzamiento y deriva provocada por el viento.** Cuando el agua es lanzada desde aeronaves, a mayor altura un porcentaje del líquido se evapora antes de llegar al suelo. El efecto erosivo del aire sobre una partícula de agua, que se desplaza rápidamente es muy importante, ya que la disgrega en pequeñas gotitas que, a su vez, se evaporan más de prisa e incluso, por la disminución de su peso, son fácilmente arrastradas por las corrientes convectivas del aire; por consiguiente tendrán dificultades en llegar al material ardiente, como se observa en la Figura 10.



Figura 10. Distribución de fluido a lo largo de la trayectoria de vuelo.

2. Mecánica del lanzamiento. Cuando un avión cisterna lanza una carga de líquidos, el fluido es distribuido a lo largo de la trayectoria de vuelo. Las características del lanzamiento (largo, ancho y nivel de cobertura) están en función de la altura y velocidad de la aeronave, tasa de flujo y el volumen del líquido saliendo del estanque, las propiedades reológicas del líquido y las condiciones meteorológicas.

El diseño del estanque y el sistema de compuertas afecta directamente la tasa de descarga del fluido. Elementos de diseño relevantes incluye el tamaño y forma de las compuertas, la velocidad de apertura de las compuertas y geometría de los respiraderos de los estanques, y otros elementos al interior de los estanques. Figura 11.

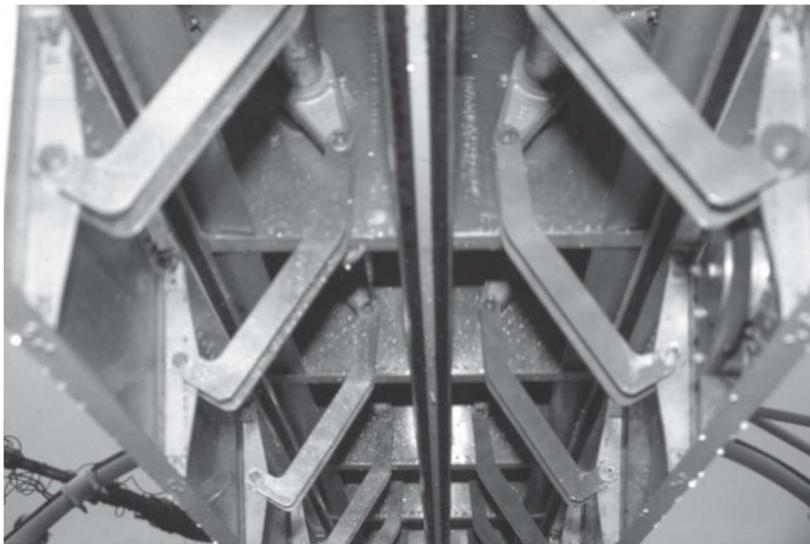


Figura 11. Vista de un tanque y un sistema de compuerta de un avión cisterna

- 3. Temperatura** generada por la columna de convección del incendio, a mayor altura, contribuirá a evaporar el agua lanzada por aeronaves. El viento y el calor la evaporan rápidamente, con lo cual dispone de poco tiempo para que sea incorporada sobre las superficies en que ha sido depositada y no le da tiempo para aumentar sensiblemente la humedad de dichas superficies.
- 4. Cobertura de copas** del rodal, representa un obstáculo para el líquido lanzado por aeronaves, el follaje retiene un volumen del líquido y reduce la cantidad de agua que llega a la superficie.
- 5. Naturaleza del combustible ardiendo.** (liviano, pesado) determina la cantidad de líquido necesario para reducir la temperatura de la vegetación.

I. USO DE ADITIVOS QUÍMICOS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL AGUA

La adición de productos químicos amplía la acción del agua sobre los combustibles, permiten aumentar su volumen, penetrabilidad y permanencia en o sobre los combustibles sin evaporarse, y desarrollando una adherencia, cohesión, intumescencia que conducen a la detención o retardación del proceso de la combustión.

Algunos productos químicos comenzaron a usarse mezclados con el agua en el combate de incendios forestales alrededor de 1950 en forma experimental, solamente a partir del año 1960-1962 se logró en Estados Unidos preparar algunos productos que junto con resolver los problemas técnicos y económicos que se planteaban, agregaban al agua una serie de características beneficiosas.

En la actualidad los productos químicos de amplio uso en el planeta, cumplen altos estándares, validados a través de pruebas de laboratorio y de campo, relacionados con la salud de las personas, el cuidado ambiental, eficiencia y eficacia y el comportamiento en materiales aéreos y terrestres.

La figura N°12, muestra los agentes supresores del fuego, efectos sobre el fuego propiedades y desventajas.

Agente	Efecto del agente sobre el fuego	Propiedades	Desventajas
Agua	10 minutos	Actúa sobre las tres aristas del triángulo del fuego	Su efecto cesa al evaporarse.
Espuma	30 minutos	Mejora la penetración del agua en la madera	El efecto cesa al evaporarse el agua.
Retardante larga duración	5 a 24 horas	Son tres veces más eficientes que el agua. Afecta el proceso químico de la combustión. Aunque se evapore el agua, el producto aplicado mantiene su eficacia.	Las sales amónicas son corrosivas para cierto tipo de metales.

Figura N°12. Agentes químicos supresores del fuego.

1. Retardantes de corto y largo efecto

Un retardante es cualquier sustancia que, por acción física o química, disminuye la combustibilidad, cuando es aplicado correctamente, su efectividad depende de la reacción al calor de las sustancias químicas básicas inhibidoras de la combustión, contenidas en la formulación del producto.

1.1 En los retardantes de corto efecto, el agua se mezcla con productos que reducen la tensión superficial del agua, y humedecen rápidamente los combustibles pesados, con menor pérdida por escurrimiento, aumenta su capacidad extintora desde 5 a 8 veces.

Su acción perdura hasta que se evapora el agua (promedio 30 minutos). El producto más utilizado es la espuma clase A Phos-Chek.

Aplicación de Solución de Espuma Clase A. en Incendios Forestales

USO	DOSIS
Ataque inicial	0,5% (0,5 litro de concentrado por 100 litros de agua).
Control y liquidación	0,1% (1 litro de concentrado por 1000 litros de agua).
Protección a la exposición estructuras circundantes	1% (1 litro de concentrado por 100 litros de agua).

Figura N°13. Uso y dosis para la aplicación de Espuma clase A. Fuente. Phos-Chek Chile
Se observa que la cantidad de producto diluido es pequeña.

1.2 Los retardantes de efecto prolongado son compuestos químicos que alteran químicamente los combustibles forestales y los transforman en no inflamables. El agua sirve como vehículo para el producto, retrasa la combustión durante más de 24 horas, incluso después de que el agua sea removida por evaporación a causa de las llamas. Estos productos favorecen la formación de compuestos volátiles, principalmente vapor de agua y amoníaco, que se desprende del material vegetal antes de alcanzar el punto de ignición, así, se va formando carbón, que arde lentamente y casi sin llamas, dificultando la propagación del fuego. Los retardantes de largo plazo se utilizan preferentemente para la prevención de incendios, métodos de combate paralelo e indirecto, según la táctica de combate. En ocasiones, cuando el agua no llega al fuego se emplea en combate directo.

1.2.1 Niveles de cobertura

Es la cantidad recomendada de retardante aplicado desde el aire adaptado a los modelos de combustibles NFDRS (National Fire Danger Rating System) y/o modelos de comportamiento ante incendios. El nivel de cobertura 2 representa 2 galones de retardante por cada cien pies cuadrados (equivalente a 0,82 lt/m²), figura N°14

Los niveles varían de 1 a 6 para la mayoría de los modelos de combustibles. Un nivel de cobertura superior a 6 es para combustibles pesados. Los niveles se pueden ajustar según el comportamiento del fuego.

Tabla traducida en unidades métricas

Nivel de cobertura	1	2	3	4	5	6
Litros de retardante	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,5
Metros 2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Figura N°14. Dosis de retardante según tipo de combustible. Fuente. Phos-Chek Chile

El producto puede aplicarse desde una aeronave de ala fija, helicóptero o desde vehículos terrestres. Entre los productos comerciales más usados está el Phos-Chek. El retardante se prepara al 15%, sólo varía la forma de aplicación a través de los niveles de cobertura.

J. COSTO/BENEFICIO

Al agregar un compuesto químico al agua implica sumar una fracción al costo total de la operación de combate. Sin embargo, los beneficios que se describen a continuación, recompensan ampliamente el gasto. Figuras N° 14 y 15.

	COSTO CONSTRUCCIÓN DE LÍNEAS CORTAFUEGO \$/M2		
	Primeros 20 minutos	Menos 45 minutos	Después de 45 minutos
Brigada(9 Operativos)	778	1.556	2.222
Maquinaria	5.000	5.000	5.000
Retardante con avión Air Tractor (AT).Capacidad 3000 litros.	959	959	959
Retardante con avión DC-10 (Ten Tanker).Capacidad 45000 litros.	885	885	885

Figura N°14. Costo de construcción de una línea de control según los recursos empleados. Fuente. CONAF. Datos estadísticos y costos 2018-2019

La tabla exhibe el costo de construcción de la línea de fuego empleando personal de brigadas, maquinaria y aeronaves de alas fijas. El empleo de brigadas a medida que transcurre el tiempo de construcción de la línea de fuego aumenta el costo, debido a la fatiga del personal reduciendo su rendimiento, incluye las pausas para el descanso del brigadista, lo señalado implica un aumento del tiempo de trabajo.

En el caso del uso de maquinaria (bulldozer, tractor forestal) el costo de operación se mantiene constante.

En el caso del empleo de aeronaves, se observa una reducción de costos a favor de los aviones de mayor de capacidad de carga.

Costo de Lanzamientos con Agentes Supresantes Líquidos

Costo US\$ por 1000 litros

Tipo de aeronave	Temporada 2018-2019		
	Agua	Espuma	Phos-Chek
Avión	55,15	8,34	695,06
Helicóptero	184,41	20,61	1.156,44

Fuente. CONAF. Depto Control Operaciones Aéreas y Terrestres/Sec. Soporte Aéreo 2019

Figura N° 15. Costo de lanzamiento según agente químico utilizado y tipo de aeronave.

En la temporada que se analiza, Conaf dispuso de aeronaves de alas fijas con capacidad de carga que oscilaron entre 1900 a 36.000 litros. Respecto al uso de helicópteros, se emplearon aerodinos con capacidad de carga que fluctuaron desde 900 a 5000 litros.

K. VENTAJAS DEL USO DE PRODUCTOS QUÍMICOS

Como se ha señalado en forma precedente, los retardantes de corto y largo efecto contribuyen a un ahorro significativo del recurso agua y a reducir los costos de las labores de supresión. El empleo de agua sola, por el contrario, encarece los trabajos de extinción al requerir el lanzamiento de mayores volúmenes sobre el incendio a consecuencia del efecto temporal por su rápida evaporación, otros atributos de los agentes químicos retardantes del fuego se señalan a continuación.

- Optimización del uso del agua
- Detención de la propagación del fuego
- Disminución de la superficie afectada
- Reducción de horas de vuelo de aeronaves
- Reducción de las jornadas de trabajo de las brigadas terrestres y maquinarias
- Reducción de las emisiones contaminantes, material particulado, humo.
- Disminución del tiempo de exposición de los brigadistas a los efectos del fuego

L. EMPLEO DE AERONAVES PARA EL COMBATE AÉREO DE LOS INCENDIOS FORESTALES

A través de la Ley de Transparencia se solicitó a CONAF información referente al uso de aeronaves durante las últimas 4 temporadas, de esta manera, la información que se exhibe

corresponde a los antecedentes aportados por la entidad estatal, sin embargo, **para tener una visión global del escenario que se analiza, los resultados deberían extrapolarse a las operaciones aéreas de las empresas forestales.**

M. PARTICIPACIÓN DE AERONAVES EN LA EXTINCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES

Se observa que en el transcurso de las temporadas el porcentaje de participación de las aeronaves en combate aéreo ha crecido desde el 23,36% en la temporada 2016-2017, al 66% durante el período 2019-2020 (figura N° 16).

El incremento mostrado en la última temporada obedece al aumento en el número de aeronaves y a la implementación de la estrategia del golpe único que considera el ataque masivo con recursos aéreos y terrestres durante el ataque inicial al incendio.

Categoría	Temporada/número de incendios			
	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020
Avión	715	840	1657	2793
Helicóptero	517	831	1275	587
Total	1.232	1.671	2.932	3.380
Ocurrencia nivel nacional	5.274	6.081	7.184	5.156*
% Incendios combatidos	23,36	27,48	40,81	66,00

Figura N°16.- Se observa el incremento de la participación de los elementos aéreos en labores de supresión de incendios.

*Ocurrencia de incendios de CONAF no considera IIFF de empresas.

N. OCURRENCIA DE INCENDIOS FORESTALES NIVEL NACIONAL PERÍODO 2010-2020

El cuadro siguiente muestra el número de incendios forestales registrados a nivel nacional durante las últimas 10 temporadas. En nuestro país, el mayor número de incendios forestales, se concentran entre las regiones de **Valparaíso** y **La Araucanía**.(Figura N° 17).

REGIÓN	III	IV	V	RM	VI	VII	XVI	VIII	IX	XIV	X	XI	XII	TOTAL
N° INCENDIOS	123	800	8.626	4.088	2.525	7.281	1.029	25.115	10.855	1.090	1.964	275	162	63.933
%	0,19	1,25	13,50	6,39	3,94	11,39	1,61	39,30	16,98	1,70	3,07	0,43	0,25	100

Fuente. CONAF

Figura N° 17. Distribución de la ocurrencia de incendios forestales en el último decenio.

Se aprecia que las regiones del Maule, Ñuble, del Bio Bio, y La Araucanía concentran el 69,28% sumado a la región de Valparaíso que concentra el 13,50% totalizan a nivel nacional, el 83% del valor total de la ocurrencia.

Por más de una década las regiones mencionadas están siendo afectadas por la sequía, por ende, el recurso agua es escaso.

O. LANZAMIENTO DE AGENTES LÍQUIDOS CON AERONAVES

Durante las cuatro últimas temporadas se efectuaron 288.865 lanzamientos de agua y mezclas retardantes sobre el fuego, se aprecia que durante la temporada 2019-2020 la cantidad de líquidos lanzados sobre el fuego, fue 1,6 veces superior a los volúmenes lanzados la temporada precedente. (figura N°18), lo señalado se explica por el aumento de la flota aérea.

Temporada	Lanzamientos de líquidos supresantes			Total
	Sólo agua	Espuma	Phoscheck	
2016-2017	32.301	64	111	32.476
2017-2018	41.315	481	767	42.563
2018-2019	76.886	3.135	896	80.917
2019-2020	128.876	2704	1329	132.909
Sub total	279.378	6.384	3.103	288.865

Figura N° 18. Número de Lanzamiento de agua y agentes químicos con aeronaves

Como se ha señalado en forma precedente, el incremento del uso de agentes líquidos obedece al cambio de la estrategia de combate que considera el uso de aeronaves durante el ataque inicial del incendio, al aumento del número de aeronaves de combate, rápida propagación del incendio y a la baja efectividad del agua cuando se emplea sola.

P. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE AGENTES LÍQUIDOS APLICADOS DURANTE TEMPORADAS (2016-2017, 2017-2018, 2018-2019, 2019-2020)

El 96,7% del total de lanzamientos realizados por las aeronaves empleadas por CONAF contenían solo agua, que según las condiciones ambientales y características del incendio, su efecto está limitado a 10 minutos antes que el líquido se evapore. (figura N° 19)

Agente	%
Solo agua	96,72
Espuma	2,21
Phoschek	1,07
Total	100

Figura N° 19. Porcentaje de participación de los diversos agentes químicos en combate aéreo.

Se observa el bajo porcentaje de empleo de agentes químicos que mezclados con el agua mejoran la permanencia de esta sobre el combustible. En términos cualitativos, la eficiencia del combate aéreo es afectada, aumentando los costos de supresión.

Q. RESUMEN DE LAS OPERACIONES DE COMBATE AÉREO TEMPORADA 2019-2020

En la figura N° 20 se señalan los antecedentes registrados durante la temporada 2019/2020

Categoría	N° de lanzamientos con líquidos supresantes						Sub Total
	Solo agua (lts)		Espuma (lts)		Phos-Chek (lts)		
Avión	14.649	43.947.000	730	2.190.000	854	2.562.000	16.233
Helicóptero	114.227	177.051.850	1.974	3.059.700	475	736.250	116.676
Total	128.876	220.998.850	2.704	5.249.700	1.329	3.298.250	132.909
%	97		2		1		100

Figura N° 20. Fuente. Depto. Operaciones Terrestres y Aéreas CONAF 2021

Total litros de solo agua 220.998.850 lts.

Total litros de mezcla con productos químicos 8.547.950 lts.

Capacidad estimada de lanzamiento con avión 3000 lts.

Capacidad estimada de lanzamiento con helicóptero 1550 lts.

De las cifras señaladas en la figura N° 20, se puede concluir que:

- Durante la temporada señalada, las aeronaves contratadas por CONAF efectuaron un total de 132.909 lanzamientos de líquidos supresantes.

- En el citado período, las aeronaves de alas fijas y rotatorias contratadas por CONAF lanzaron sobre los incendios la suma de 229.543.400 litros de líquidos.
- En el 97% de las descargas, se utilizó **solo agua** vale decir, 220.998.850 lts, figura N°20
- Del total de lanzamientos, el empleo de aditivos químicos sumó el 3%, equivalente a 8.547.950 lts.



Figura N° 20. La Región de Valparaíso registra 1.995.538 habitantes (censo 2017). El volumen de agua sola lanzado por las aeronaves de Conaf durante la temporada 2019-2020 equivale a abastecer de agua a cada uno de sus habitantes con 115 litros durante un día.

Otra situación que ilustra lo señalado, fue lo ocurrido en el incendio forestal que se inició el 24 de diciembre 2019 y que afectó los cerros de Rocuant, San Roque y Ramaditas en Valparaíso, se emplearon 18 aeronaves de alas fijas y rotatorias, que totalizaron la descarga de 1.373.200 litros de líquidos. De los cuáles el 98,4% era solo agua, sin aditivos químicos, sólo el 1,6% del total del volumen lanzado (21.700 litros) correspondió a mezclas de retardante. La cantidad de líquidos lanzados equivale a abastecer a los habitantes de la comuna de Petorca (9.826) con 139 litros de agua en un día.



Figura N°21. Comunidad de Petorca perteneciente a la Región de Valparaíso, una de las zonas más afectadas por la sequía en el país, abastecida con camiones aljibe. La Organización Mundial de la Salud (OMS) señala que una persona debe disponer para el consumo diario en promedio una cantidad de 100 litros de agua. Recientemente un fallo de la Corte Suprema (25 marzo 2021), ordenó al Gobierno asegurar el abastecimiento de al menos 100 litros de agua al día a cada habitante de la comuna.

R. MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA Y EFICACIA DEL USO DEL AGUA EN EL COMBATE DE INCENDIOS FORESTALES.

Ante la crisis climática y su efecto en la ausencia de precipitaciones que afecta a gran parte del territorio nacional, resulta necesario que los programas de protección contra incendios forestales de la Corporación Nacional Forestal como servicio forestal del estado y, sus homólogos del sector privado realicen un análisis sobre el uso eficiente del agua en las labores de extinción de incendios y aunar esfuerzos para optimizar su uso, que posibilite ahorrar agua y potenciar su aprovechamiento.

El escaso empleo de productos químicos obedecería a las siguientes causas

1. La causa inmediata de dicha decisión formulada por los ejecutivos de los programas de protección obedecería al alto costo del producto importado.
2. Sin embargo, las causas básicas o de fondo tendrían su origen en las siguientes situaciones.
 - 2.1 La falta de estudios técnicos y económicos referente a las ventajas de las diversas herramientas utilizadas en los trabajos de extinción de incendios (aeronaves, maquinarias, compuestos químicos).
 - 2.2 El desconocimiento de las capacidades de los agentes químicos respecto a sus efectos sobre el fuego, no obstante, la existencia de pruebas y ensayos muy bien

documentados que demuestran su eficacia y eficiencia en la lucha contra el fuego cuando el agente químico es aplicado en forma adecuada.

S. PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

Los programas de protección de CONAF como de las empresas forestales disponen actualmente de tecnología de última generación que les permite monitorear las 24 horas del día las zonas de ocurrencia de incendios, asimismo; disponen de plataformas computacionales que hacen posible pronosticar el desarrollo y comportamiento del incendio.

No obstante, lo señalado, existen instancias de mejoras en las actividades de supresión una de ellas, está representada por el uso del agua. En tiempos de crisis hídrica son fundamentales todas las iniciativas que optimicen el uso de este recurso. Enfrentar los problemas de sequía que tiene Chile implica redoblar los esfuerzos por integrar más y mejor tecnología que permita y mejorar la eficiencia en su uso.

Ante la coyuntura de escasez del recurso hídrico se plantean las siguientes instancias de mejora:

1. Realizar seminarios de capacitación sobre uso de retardantes químicos a nivel ejecutivo y personal de operaciones de los programas de protección.
2. Masificar el uso de aditivos químicos a través de medios terrestres y aéreos para mejorar la eficiencia del agua en la extinción del fuego.
3. Propiciar el empleo de aeronaves de alas rotatorias de mediana y gran capacidad de carga, reemplazando los helicópteros de capacidad igual o inferior a 1200 litros, por el insuficiente efecto de la descarga sobre el fuego.
4. Desarrollar investigaciones en los modelos de combustibles definidos para nuestro país, para así determinar los requerimientos de concentración agua/retardantes (l/m²) necesarios para extinguir un fuego. En la actualidad se utilizan concentraciones para tipos de vegetación de otras latitudes.
5. Desarrollar un proyecto de investigación financiado a través de fondos de Investigación e Innovación, que permita evaluar la factibilidad técnica y económica de fabricar en Chile productos químicos con características retardante o, producir los existentes en el mercado bajo licencia.

T. GLOSARIO

Cambio climático. Según la ONU, El cambio climático se refiere a los cambios a largo plazo de las temperaturas y los patrones climáticos. Estos cambios pueden ser naturales, por ejemplo, a través de las variaciones del ciclo solar. Pero desde el siglo XIX, las actividades humanas han sido el principal motor del cambio climático, debido principalmente a la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas.

Crisis climática. La crisis climática es un término utilizado para describir el calentamiento global y el cambio climático y sus consecuencias. El término se ha utilizado para describir la amenaza del calentamiento global para el planeta e instar a una mitigación del cambio climático más agresiva.

Escasez hídrica. Es el desbalance de largo plazo entre la oferta y la demanda de agua (es decir, dependiente de la actividad humana y el clima)

Estrés hídrico. Cuando la demanda de agua es más alta que la cantidad disponible durante un periodo determinado o cuando su uso se ve restringido por su baja calidad. El estrés hídrico provoca un deterioro de los recursos de agua dulce en términos de cantidad (acuíferos sobreexplotados, ríos secos, etc.).

Sequía. Es la falta temporal de agua comparada con condiciones normales (por lo tanto, se debe a condiciones climáticas).

Reología. Estudio de los principios físicos que regulan el movimiento de los fluidos.

U. BIBLIOGRAFÍA

1. Arancibia.C. Empleo de aeronaves en el combate de incendios forestales, requerimientos actuales y futuros.
2. Apud E.,Meyer F.,Maureira. F. Ergonomía en el combate de incendios forestales Universidad de Concepción.2002.
3. Corporación Nacional Forestal. Ley de Transparencia. Solicitud de Información AR003T0002891. 23.08.2019.
4. Corporación Nacional Forestal. Ley de Transparencia. Solicitud de Información AR003T0003117. 17.10.2019.
5. Decreto Supremo N° 594 Sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en Los Lugares de Trabajo
6. National Fire Association (NFPA). Manual de Protección Contra Incendios.1991
7. National Wildfire Coordinating Group. FOAM VS FIRE. Aerial Applications
8. National Fire Association (NFPA) Chemicals for Forest Fire Figthing
9. Phos-Chek.Fire Retardant.Foam.Gel.