

► ENTREVISTA

Dr. Fabián Guerrero Castro, coordinador de la «Red iberoamericana para potenciar la investigación y mejorar la comprensión de la inflamabilidad de la vegetación y su aplicación al manejo del fuego en la ecorregión mediterránea de Chile»

EL PAPEL DE LA INFLAMABILIDAD DE LA VEGETACIÓN, ES CRUCIAL PARA DESARROLLAR PLANES DE RESTAURACIÓN Y PREVENCIÓN DE INCENDIOS

Fabián Guerrero es investigador del Programa de Investigadores Jóvenes de la Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM), Químico Industrial con Licenciatura en Química en la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso con un Doctorado en Ciencias con Mención en Química en la UTFSM en 2017.

Ha liderado y participado en diversos proyectos de investigación, destacando como investigador principal en estudios relacionados con factores naturales que influyen en la inflamabilidad de la vegetación chilena. Además, ha colaborado en proyectos enfocados en la reducción de residuos sólidos, la producción de hidrógeno, y el desarrollo de dispositivos para reducir la contaminación atmosférica. Su trabajo ha sido difundido en revistas científicas de alto impacto, presentado asimismo sus hallazgos en numerosas conferencias internacionales.

ENTREVISTA ◀

¿En qué consiste la “Red iberoamericana para potenciar la investigación y mejorar la comprensión de la inflamabilidad de la vegetación y su aplicación al manejo del fuego en la ecorregión mediterránea de Chile”?

Los incendios forestales en Chile son una gran amenaza, y se espera que aumenten debido a los eventos climáticos extremos. Aunque se ha avanzado en el manejo del fuego, aún se desconoce el papel de la inflamabilidad de la vegetación, lo cual es crucial para desarrollar planes sostenibles de restauración y prevención de incendios.

En este contexto, nuestro proyecto propone crear una red iberoamericana (Chile, Argentina, Cuba, España) para estudiar la inflamabilidad a distintos niveles de organización biológica (especie y comunidad). Nos enfocamos en formar capital humano en el uso de tecnología avanzada y realizar cursos y talleres que ofrezcan estrategias aplicables al manejo de incendios forestales, especialmente frente al aumento de condiciones climáticas extremas que favorecen la inflamabilidad de la vegetación en Chile central. Esta colaboración nos permitirá desarrollar enfoques prácticos de planificación y gestión para territorios vulnerables a incendios.

¿Por qué una red internacional? ¿El factor de que la vegetación pudiese acelerar el fuego es uniforme en todas partes del mundo?

Una red internacional es crucial porque, aunque la inflamabilidad de la vegetación puede parecer un problema similar en diferentes regiones, las condiciones específicas y los tipos de vegetación varían ampliamente entre países. Una red iberoamericana permite compartir conocimientos y experiencias sobre cómo distintas especies y comunidades vegetales responden al fuego en contextos diversos. Además, la colaboración internacional facilita el acceso a tecnología avanzada y metodologías de investigación que pueden no estar disponibles localmente. Al unir fuerzas con expertos de diferentes países, podemos desarrollar enfoques más robustos y adaptables para manejar los incendios forestales y responder a las condiciones climáticas extremas, optimizando así las estrategias de prevención y manejo en cada región.

¿Qué resultados se han obtenido a la fecha en la Red?

A través de la Red de colaboración, cuya participación “activa” la tienen seis investigadores internacionales y nueve investigadores nacionales, hemos realizado una serie de acciones de entrega de conocimientos, entre ellos:

- El equipo de ECIFA-UTFSM realizó una pasantía en las instalaciones del Grupo ICIFOR-INIA (España), lo que permitió la aplicación de metodologías térmicas y el uso de equipamiento especializado (epirradiator, calorímetro de masa, túnel de viento y quema de



▶ ENTREVISTA

- mesa), complementado con trabajo de campo.
- Asimismo, la red iberoamericana llevó a cabo un curso titulado "Manejo del fuego: desarrollo de herramientas de investigación multi-escala para la prevención, adaptación y resiliencia del paisaje ante el riesgo de incendios forestales de gran magnitud". Este curso se realizó de manera presencial en la UTFSM y contó con la participación de integrantes nacionales e internacionales, así como de estudiantes de pregrado y postgrado, y apoyos académicos de la Universidad.
 - De igual modo organizó un seminario internacional titulado "Incendios forestales en el contexto del cambio global: Conocimientos actuales sobre la inflamabilidad y su aporte a la resiliencia del paisaje". Este seminario potenció la vinculación entre la academia y actores clave en la toma de decisiones, como CONAF, bomberos, brigadistas, entre otros.
 - La red generó una publicación científica titulada "Unraveling the Chemistry of Plant Flammability: Exploring the Role of Phytochemistry Beyond Terpenes" a través de reuniones de trabajo en modalidad híbrida, analizando los datos químicos y térmicos obtenidos del Fondecyt de Iniciación N11190803 del investigador Dr. Fabián Guerrero (ECIFA-UTFSM)

En Chile existe poca información sobre la inflamabilidad de la vegetación, de hecho, según tenemos entendido Uds. vienen estudiando el tema desde el 2018 levantando la pregunta del por qué se propaga tan rápido el fuego en los distintos siniestros ligados a la vegetación. ¿Han tenido algunos resultados?

Hemos estado investigando durante años por qué el fuego se propaga tan rápidamente en los incendios forestales, y uno de los factores clave que hemos identificado es la composición química de las plantas. Muchas plantas sintetizan y almacenan en sus tejidos terpenos volátiles, que luego emiten a la atmósfera. Estos compuestos desempeñan un papel protector frente a factores como el exceso de luz, la sequía y la herbivoría. Sin embargo, los terpenos, especialmente los más volátiles como los mono y sesquiterpenos, tienen una particularidad crítica: poseen un alto contenido calórico y un bajo punto de inflamación. Esto significa que las hojas frescas, así como la hojarasca en el suelo, al ser expuestas a temperaturas elevadas antes de la fase de llama, pueden sufrir alteraciones estructurales que facilitan la evaporación e inflamabilidad de los compuestos volátiles acumulados en su interior, aumentando así el riesgo de incendio forestal. Uno de nuestros estudios, publicado en "Drivers of



Trabajo de almacenamiento de hojas.



Túnel de viento en capacitación España.

**ENTREVISTA** ◀

Una vez con los resultados en la mano, qué se hará con ellos, dado el creciente aumento de los incendios forestales en todo el mundo.

Uno de nuestros objetivos es desarrollar sensores electrónicos avanzados que puedan detectar altas concentraciones de monoterpenos, como eucalíptol y pineno, emitidos por vegetación exótica (como eucaliptos y pinos) y nativa (como litre y peumo). Estos sensores contribuirían a generar advertencias más precisas sobre el riesgo de incendio, especialmente en zonas de interfaz urbano-forestal, donde la prevención y la respuesta rápida son cruciales.

Flammability of Eucalyptus globulus Labill Leaves: Terpenes, Essential Oils, and Moisture Content" (<https://doi.org/10.3390/f13060908>), demostró que la especie de eucalipto tiene un comportamiento altamente inflamable debido a las altas concentraciones de aceites esenciales, monoterpenos y sesquiterpenos en sus hojas. Estos compuestos pueden crear una atmósfera inflamable debido a su bajo punto de inflamación, lo que, junto con la fuerte influencia negativa observada entre los aceites esenciales, terpenos volátiles y la concentración de limoneno, contribuye significativamente al riesgo de formación y propagación de incendios en el dosel de estas formaciones arbóreas.

Así como especies altamente inflamables, habría otras especies que podrían actuar como barreras frente a los incendios...

Hasta el momento, hemos identificado vegetación que demuestra una mayor resistencia al fuego y que podría ser utilizada como barrera frente a los incendios. Sin embargo, aún necesitamos completar más ensayos en diferentes ambientes, y esperamos obtener resultados definitivos pronto.

Además, existen otras opciones de barrera, como la aplicación de la técnica de paisajismo resistente al fuego. En términos simples, esto implica la creación de un espacio defendible alrededor de las viviendas, considerando los tipos y cantidades de combustible, su inflamabilidad y distribución espacial. Esto ayuda a reducir el riesgo de pérdida de casas y proporciona un área segura para que los residentes y bomberos puedan defender la propiedad frente a incendios forestales. Un excelente recurso para aprender más sobre esta técnica es el libro "Paisajismo y jardines resistentes al fuego", de Pilar Devoto, que recomiendo ampliamente.

Según entiendo Ud. también participa en otras investigaciones. ¿En qué consiste el proyecto denominado "Ceras cuticulares como impulsoras del fuego en el bosque esclerófilo" que busca identificar plantas impulsoras del fuego?

Hemos investigado extensamente el rol de los terpenos en la inflamabilidad de la vegetación. Sin embargo, la influencia del contenido de terpenos en la inflamabilidad de las hojas frescas y la hojarasca es particularmente relevante solo para aquellas especies que los almacenan. Por lo tanto, es fundamental explorar nuevos factores que incluyan una mayor diversidad de especies vasculares presentes en ecosistemas propensos a incendios, como los bosques esclerófilos. En este contexto, estamos profundizando en el estudio de las ceras cuticulares de las plantas.

Las ceras cuticulares, compuestas principalmente por compuestos alifáticos (alcanos, alcoholes, aldehidos, cetonas, etc.) en su capa externa, cumplen múltiples funciones protectoras frente al estrés biótico y abiótico en las plantas. Estas funciones incluyen la defensa contra la radiación UV excesiva, altas temperaturas, patógenos bacterianos y fúngicos, insectos, alta salinidad y bajas temperaturas. No obstante, una de las funciones más críticas de la cutícula es prevenir la pérdida de agua por evapotranspiración a través de la interfaz planta-atmósfera, actuando como un mecanismo de respuesta ante condiciones de sequía.

Dado que las ceras epicuticulares contienen compuestos químicos orgánicos con un punto de inflamación moderado, lo que las convierte en posibles promotores de fuego, y considerando su papel en la limitación de la pérdida de agua en las plantas, es esencial estudiar cómo los cambios en la composición de

► ENTREVISTA



la cera cuticular impactan la inflamabilidad del material vegetal. Por ello, es necesario investigar más a fondo la relación entre la inflamabilidad de las hojas frescas y la hojarasca de especies nativas y endémicas, y sus características químicas, con un enfoque particular en la concentración de compuestos inflamables presentes en la cera cuticular.

Es importante tener en cuenta que el aumento de las condiciones de sequía podría intensificar la inflamabilidad de la vegetación debido a una mayor concentración de químicos promotores de fuego en las hojas y la hojarasca, lo que podría llevar a un ecosistema más propenso a incendios. Sin embargo, también existe la posibilidad de encontrar vegetación con mayor resistencia al fuego debido a sus características químicas, poco estudiadas hasta ahora, incluidas las ceras cuticulares.

¿Cuáles son los pasos del proyecto?

Principales pasos del proyecto Fondecyt Regular #1231580: Campañas de muestreo: Realizaremos recolección de material vegetal fresco y hojarasca de diferentes especies nativas y endémicas del bosque esclerófilo en diversas unidades de CONAF, incluyendo la Reserva Nacional Lago Peñuelas (Región de Val-

paraíso), el Parque Nacional Río Clarillo (Región Metropolitana), la Reserva Nacional Río de los Cipreses (Región de O'Higgins), el Parque Nacional Radal Siete Tazas (Región del Maule) y el Parque Nacional Non-guén (Región del Biobío).

Evaluación de la inflamabilidad: Utilizaremos la técnica del epirradiator para evaluar "in situ" la inflamabilidad del material recolectado. Complementaremos estos estudios con ensayos de poder calorífico que se realizarán en laboratorio.

Análisis químico de las ceras cuticulares: Aplicaremos métodos químicos analíticos e instrumentales optimizados para evaluar la composición química de las ceras cuticulares de las especies seleccionadas.

Estudio del efecto de las ceras cuticulares sobre la inflamabilidad: Realizaremos un análisis estadístico exhaustivo para determinar cómo las ceras cuticulares influyen en la inflamabilidad del material vegetal.

¿Cuán avanzados están?

Ya estamos en el segundo año de nuestro proyecto, donde hemos logrado avances significativos en los diferentes objetivos químicos y térmicos. Hemos adquirido un sistema avanzado de extracción por microondas (ETHOS X), que nos permite extraer 12 muestras simultáneamente en solo 40 minutos, utilizando la mínima cantidad de disolvente. Esto ha acelerado considerablemente las actividades químicas relacionadas con la composición de las ceras. En cuanto al aspecto térmico, ya hemos realizado aproximadamente 3000 ensayos de inflamabilidad y 60 ensayos de poder calorífico en diversas especies de vegetación.

¿Con qué otras entidades trabajan?

Primero, destacar el apoyo institucional de nuestra Universidad a través del Laboratorio de Productos Naturales del Departamento de Química, dirigido por el Dr. Lautaro Taborga; Laboratorio de Termodinámica y Laboratorio de Energías Renovables del Departamento de Ingeniería Mecánica, encabezados por el profesor Jaime Espinoza y el Dr. Mario Toledo, respectivamente. Apoyo de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso mediante el Laboratorio de Ecología Química del Instituto de Química, bajo la dirección del Dr. Jan Bergmann.

ENTREVISTA ◀

Apoyo internacional, mediante el Grupo de Incendios Forestales del Instituto de Ciencias Forestales (ICIFOR-INIA, CSIC), España, con la colaboración del Dr. Javier Madrigal y la Dra. Mercedes Guijarro y del Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente (INIBIOMA), Argentina. Con el apoyo de la Dra. Melisa Blackhall y la Dra. Carolina Quintero.

A su juicio, ¿qué medidas se podrían adoptar para evitar que sigan aconteciendo los incendios forestales?

Las medidas que se deben adoptar para prevenir y mitigar los incendios forestales incluyen varias estrategias ya en implementación en nuestro país:

- Creación y mantenimiento de cortafuegos: Estos elementos son cruciales para reducir la propagación del fuego alrededor de áreas forestales y urbanas. Un ejemplo exitoso de esta estrategia es el caso de Botania en Canal Chacao, que resistió el megaincendio de febrero de 2024.
- Control de la vegetación: Es fundamental reducir la carga combustible mediante la eliminación de hojarasca, independientemente de su naturaleza. Este material puede facilitar la rápida propagación del fuego.
- Reforestación con especies nativas: Plantar especies nativas que tengan propiedades térmicas bien conocidas, incluidas sus características de inflamabilidad, puede ayudar a mitigar el riesgo de incendios. Por ejemplo, nuestros estudios en la región de Valparaíso indican que especies como el quillay y el litre presentan una inflamabilidad menor en comparación con especies exóticas como el eucalipto y el pino.
- Monitoreo y detección avanzada: Ampliar el sistema de monitoreo basado en satélites y sensores es esencial para detectar incendios en sus primeras etapas y permitir una respuesta temprana. Un ejemplo de esta tecnología es el uso de sensores Bseed WATCH y videocámaras panorámicas de espectro visible e infrarrojo, junto con un sistema de comunicación por satélite para alerta y detección, como el implementado en la Reserva Nacional Lago Peñuelas.

Estas medidas, combinadas con un enfoque proactivo y coordinado, son fundamentales para enfrentar la amenaza de los incendios forestales y proteger tanto los ecosistemas como las comunidades.



¿Qué rol le asigna a la educación de la población en la prevención de los incendios forestales?

La educación de la población es fundamental para la prevención de incendios forestales. Es crucial para: **Concienciación sobre riesgos y prevención:** Educar a la población sobre los peligros de los incendios y las mejores prácticas para prevenirlos.

Capacitación en respuesta y manejo: Formar a los ciudadanos en técnicas de respuesta rápida y manejo de incendios para que estén preparados en caso de emergencia.

Formación de redes comunitarias: Fomentar la colaboración entre residentes y autoridades locales para crear una red de apoyo que mejore la gestión del riesgo y la respuesta ante incendios.

Recientemente organizamos el seminario "Incendios forestales y la inflamabilidad en un mundo cambiante" en la sede de Viña del Mar de la UTFSM, con la participación de alrededor de 100 personas. La alta asistencia demuestra el interés de la comunidad en informarse sobre esta temática. Educar a la población no solo aumenta el conocimiento sobre riesgos y métodos de prevención, sino que también fomenta una cultura proactiva y colaborativa, esencial para la reducción efectiva de incendios forestales.