



BICENTENARIO  
DEL PERÚ  
2021 - 2024



# Propuesta de mejoras del Índice meteorológico de incendios forestales en Perú

Pasantía en el Missoula Fire Science Lab

Alan Llacza Rodríguez  
Subdirección de Modelamiento Numérico de la Atmósfera

# Contenido

- Incendio
- Índice Meteorológico de incendios.
- Pasantía en el Missoula Fire Science Lab.
- Proximos pasos.



**EN VIVO**

**Canal N**  
**Apurímac: Aumentan a 5 la cifra de fallecidos por incendios forestales**  
 hace 1 día

**LaRepublica.pe**  
**Incendio forestal en Apurímac EN VIVO: confirman 5 fallecidos tras siniestro en...**  
 hace 1 hora

**Perú 21**  
**Apurímac: Se eleva a cinco los muertos en voraz incendio forestal**  
 hace 21 horas

**Noticias sobre incendio y Cusco**

**ANDINA**  
**Incendio forestal en comunidad de Collpani del distrito de Machu Picchu...**  
 hace 19 horas

**LaRepublica.pe**  
**Incendio forestal en Cusco afecta a 20 hectáreas del distrito de Machupicchu**  
 hace 21 horas

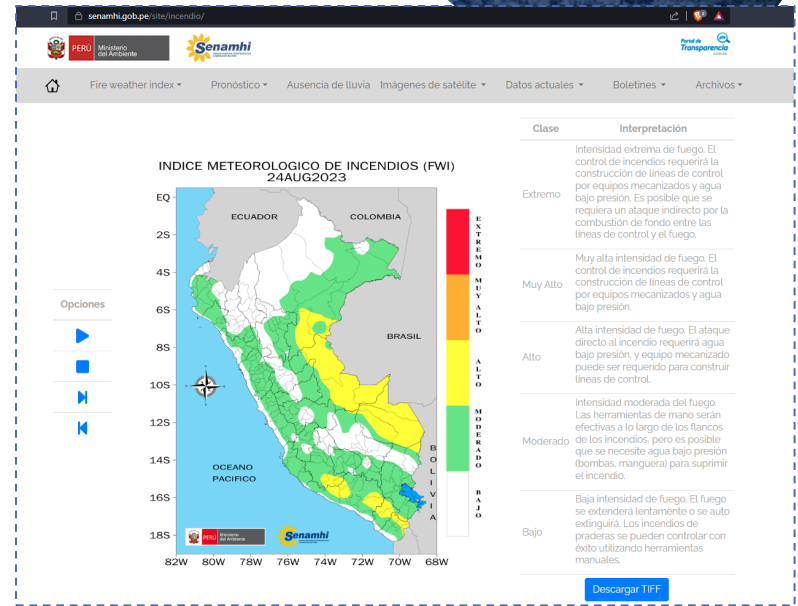
**Otras noticias**

**Peru21**  
**Ayacucho: Nuevos incendios forestales debido a la quema irresponsable ...**  
 hace 16 horas

**El Peruano**  
**Prevención de incendios forestales**  
 hace 8 horas

# Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología

Organismo público ejecutor adscrito al Ministerio del Ambiente, tiene como misión generar y proveer información y conocimiento meteorológico, hidrológico y climático para la sociedad peruana de manera oportuna y confiable, contribuyendo de esta manera a la reducción de los impactos negativos.



# Incendio

**Fuego:** Reacción producto de la unión del aire, el combustible y una fuente de calor, que se manifiesta en forma de llamas y humo (SERNANP, 2016).

**Incendio:** Fuego grande que destruye lo que no debería quemarse.

<https://dle.rae.es/incendio>

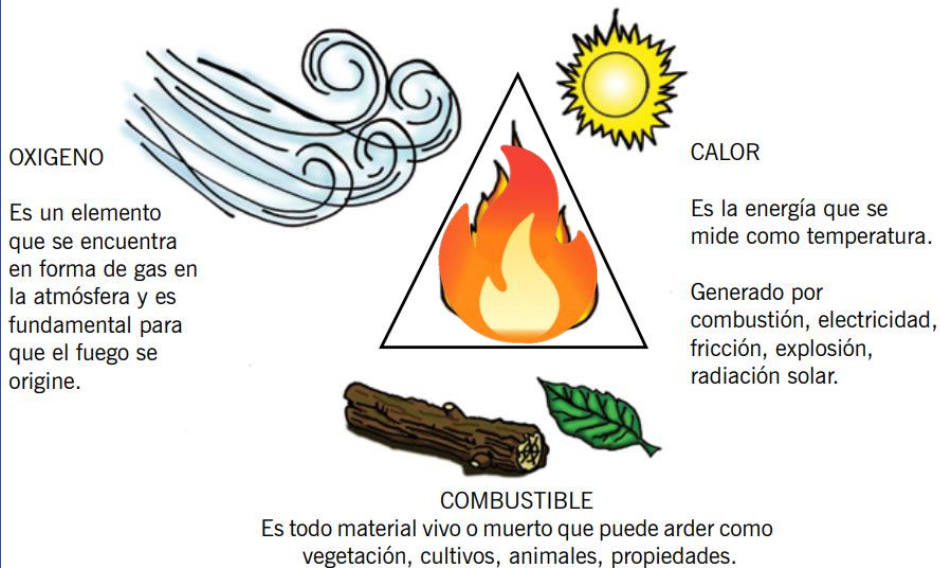
**Quema:** Incendio asociado a una vegetación agropecuaria y fuego bajo control (MINAM, 2017).

SERNANP (2016). Manual para control de incendios forestales.  
[https://peru.fzs.org/wp-content/uploads/2021/10/anexo\\_1\\_manual\\_incendios.pdf](https://peru.fzs.org/wp-content/uploads/2021/10/anexo_1_manual_incendios.pdf)

MINAM (2017). Diseño metodológico para el desarrollo de un modelo predictivo de incendios.  
[https://repositoriodigital.minam.gob.pe/bitstream/handle/123456789/923/informe\\_preliminar\\_prdctivo\\_de\\_incendios\\_reportes.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriodigital.minam.gob.pe/bitstream/handle/123456789/923/informe_preliminar_prdctivo_de_incendios_reportes.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

## Elementos del fuego (Triada del fuego)

Fuente: SERNANP (2016)



# Incendio forestal

Fuego que se da en bosques naturales o plantados, producido por la acción del ser humano o causado por la naturaleza y que avanza sin ningún control, ocasionando daños ecológicos, climáticos, económicos y sociales. (SERNANP, 2016).

Fuego no deseado de cualquier origen, que no es estructural, que se propaga sin control en los recursos forestales, causando daños ecológicos, económicos y sociales (SERFOR, 2018).

SERNANP (2016). Manual para control de incendios forestales.

[https://peru.fzs.org/wp-content/uploads/2021/10/anexo\\_1\\_manual\\_incendios.pdf](https://peru.fzs.org/wp-content/uploads/2021/10/anexo_1_manual_incendios.pdf)

SERFOR (2018). Plan de prevención y reducción de riesgos de incendios forestales.

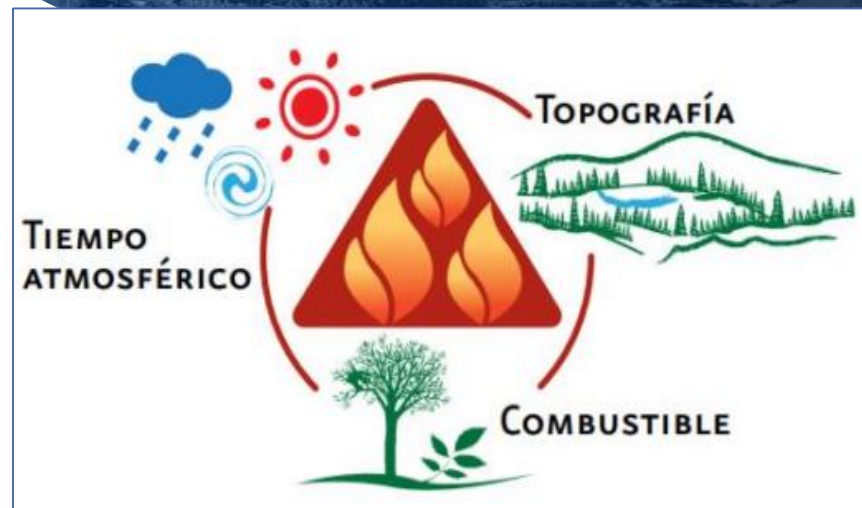
<https://www.serfor.gob.pe/porta/wp-content/uploads/2018/12/Plan-de-prevenci%C3%B3n-y-reducci%C3%B3n-de-riesgos-de-incendios-forestales.pdf>



# Factores que influyen en un Incendio forestal

Los Incendios Forestales están relacionados con las condiciones atmosféricas diarias:

-  : Temperaturas elevadas (2m)
-  : Baja humedad relativa (2m)
-  : Días consecutivos sin precipitación
-  : Dirección y magnitud de viento (10m)



Fuente: <http://siga.jalisco.gob.mx/incendiosforestales/basicas.html>

# Índice meteorológico de incendios

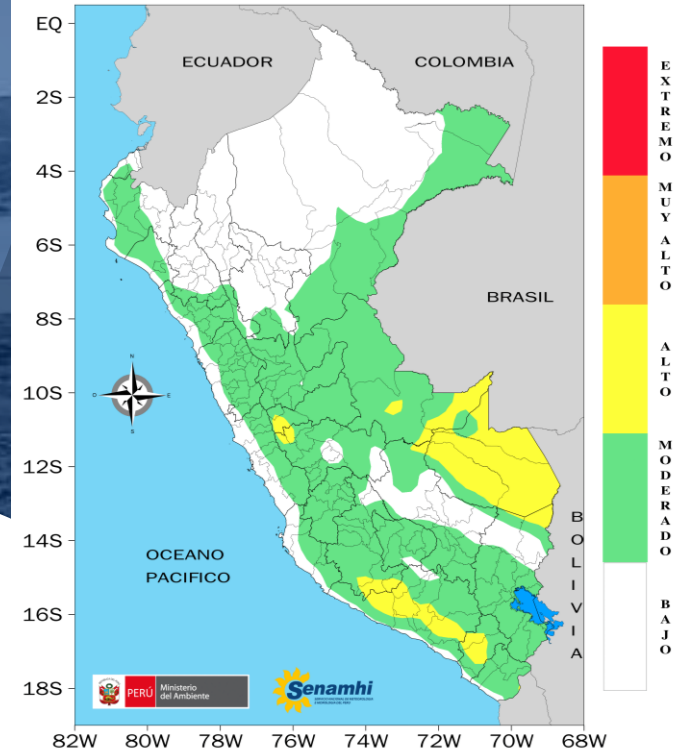
El Fire Weather Index (FWI por sus siglas en inglés) está basado en las condiciones de tiempo meteorológico que se refieren a la variación diaria del contenido de agua en los combustibles con diferente tiempo de respuesta a los cambios en las condiciones del tiempo meteorológico (Mestre and Manta, 2014) y la acción del viento en el comportamiento del fuego (SENAMHI, 2018).

**Mestre and Manta (2014)**

A fire weather index as a basis for an early warning system in Spain

<https://www.publish.csiro.au/wf/wf13003>

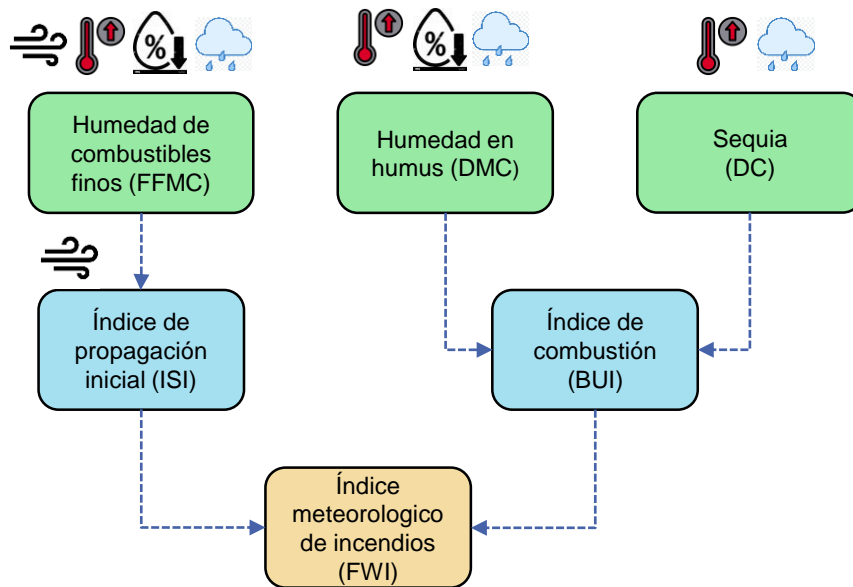
INDICE METEOROLOGICO DE INCENDIOS (FWI)  
23AUG2023



Implementado desde el 2017 en el SENAMHI.

# Componentes del FWI

Esta basado en **tres códigos** sobre la variación diaria del contenido de agua en los combustibles con diferente tiempo de respuesta a los cambios en las condiciones del tiempo meteorológico y la acción del viento en el comportamiento del fuego.

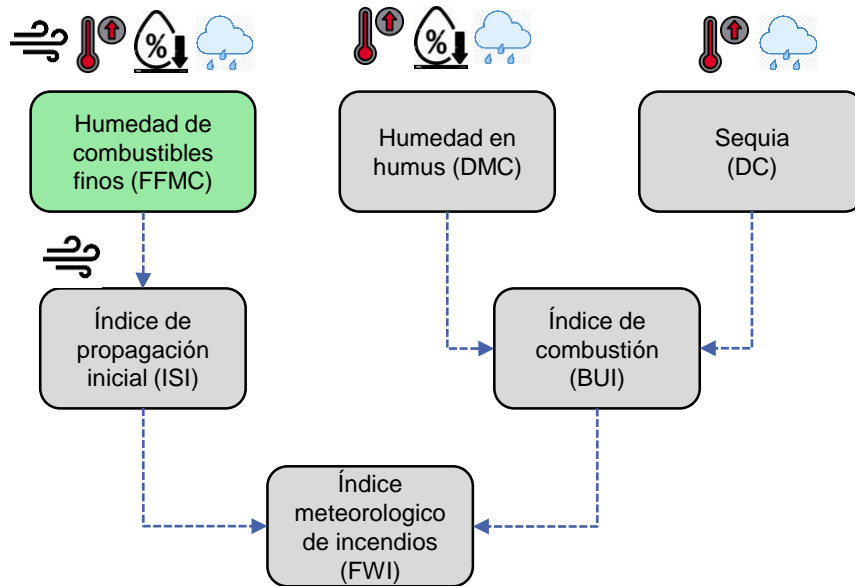
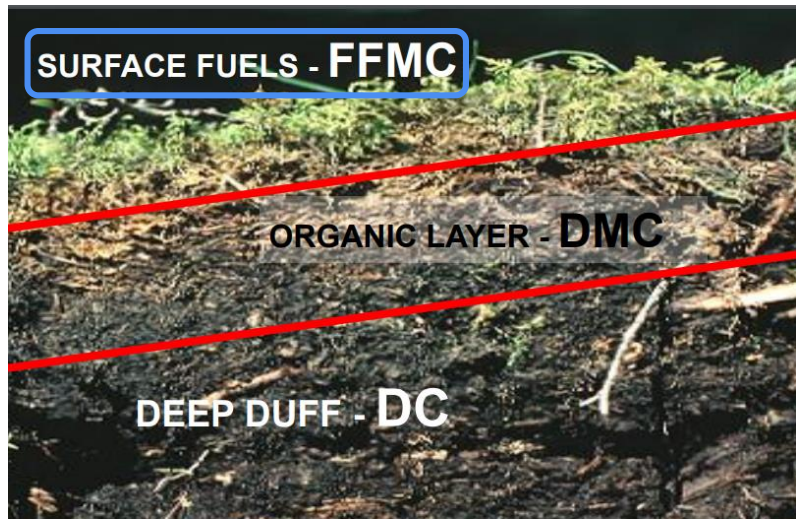




# Componentes del FWI

## Fine Fuel Moisture Code (FFMC):

Medida del contenido de humedad del combustible en el estrato superior del suelo (hojas, hierba y pequeñas ramitas) y es un indicador de la facilidad de ignición e inflamación del combustible fino en un bosque con una capa de peso seco de  $0.25 \text{ kg m}^{-2}$ .

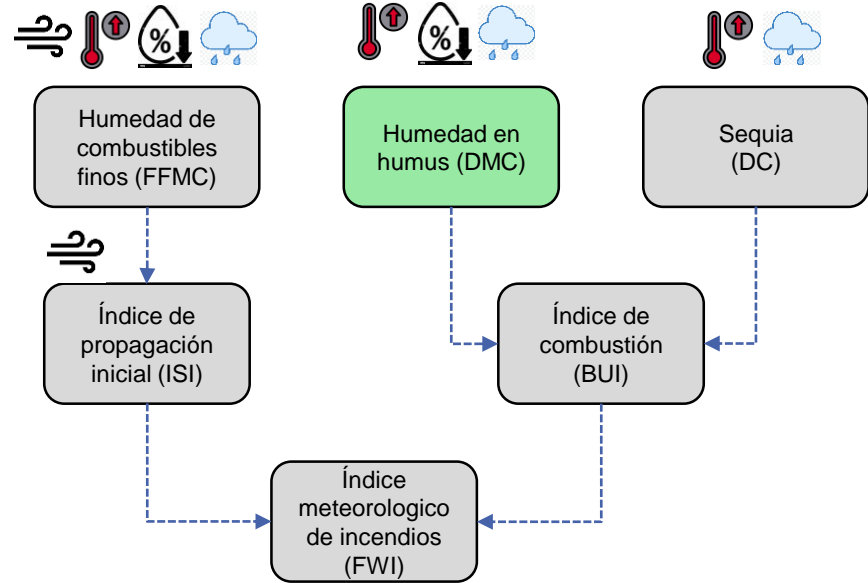
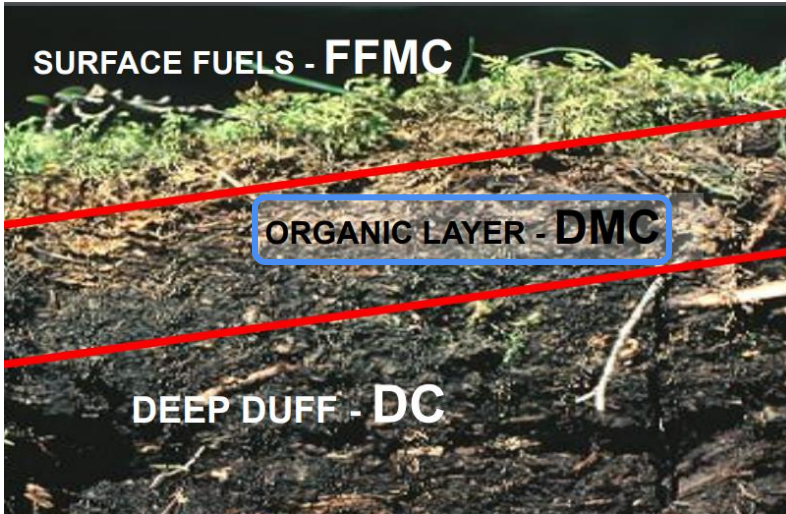


# Componentes del FWI

## Duff Moisture Code (DMC):

Medida de la humedad promedio y del consumo de combustible de una capa orgánica compactada de 7 cm de profundidad, que pesa aproximadamente  $5 \text{ kg m}^{-2}$ .

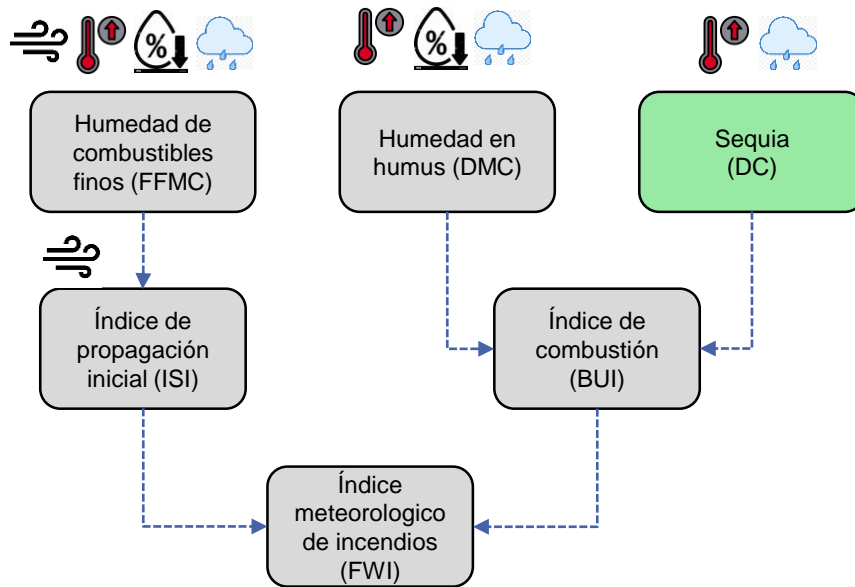
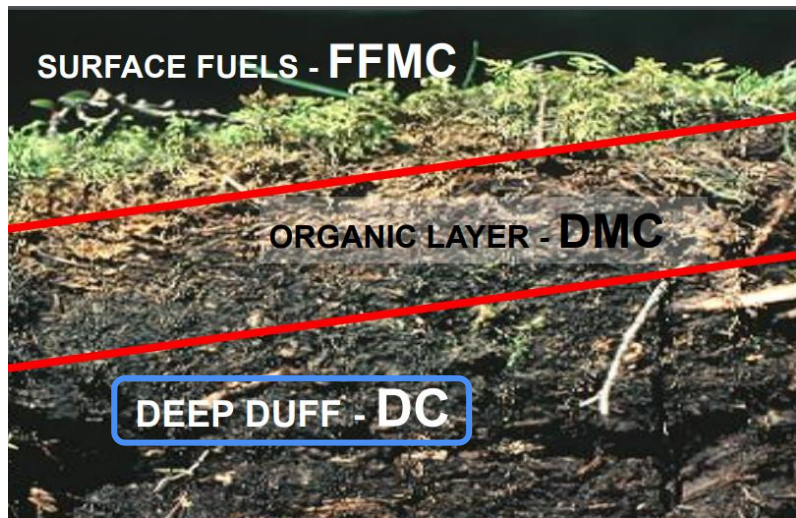
Duff: Capa de material orgánico en descomposición en la superficie en bosques (humus).



# Componentes del FWI

## Drought Code (DC):

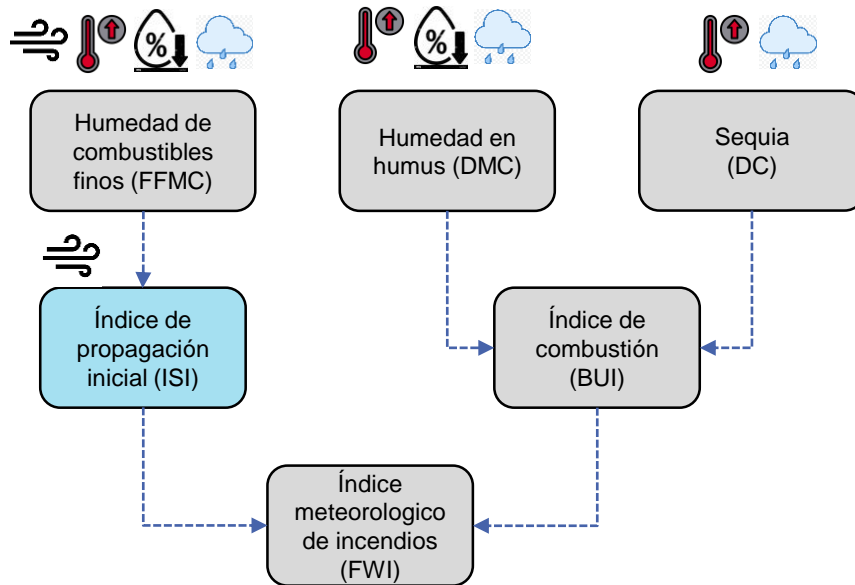
Medida del contenido de humedad promedio de la capa más profunda del suelo e indica los efectos de una sequía estacional en las capas profundas, compactas y orgánicas que pesan alrededor de  $25 \text{ kg m}^{-2}$ .



# Componentes del FWI

## Initial Spread Index (ISI):

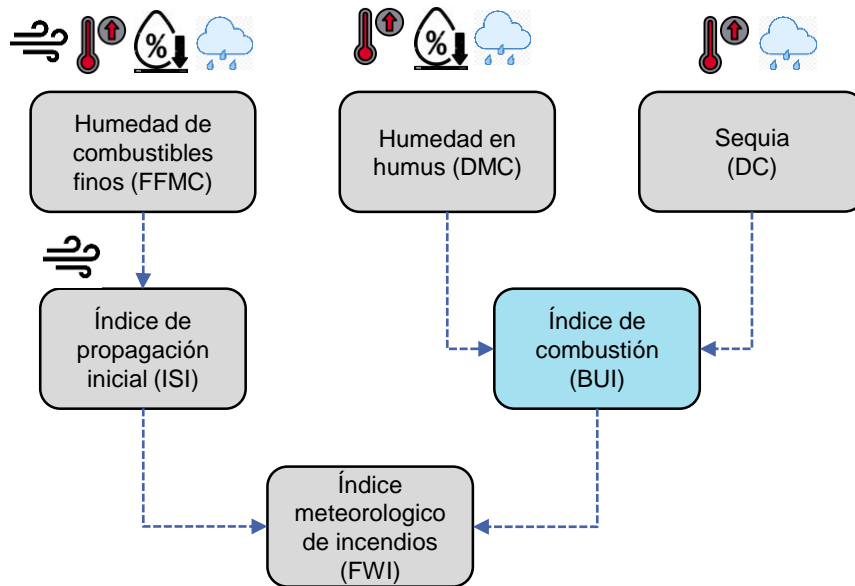
Medida de la velocidad prevista de propagación del fuego. Combina los efectos del viento y Humedad de combustibles finos (FFMC) en la dispersión sin tener en cuenta el tipo de combustible.



# Componentes del FWI

## Buildup Index (BUI):

Medida de la cantidad total de combustible disponible para la combustión y combina la Humedad en humus (DMC) y el código de sequía (DC).



# Componentes del FWI

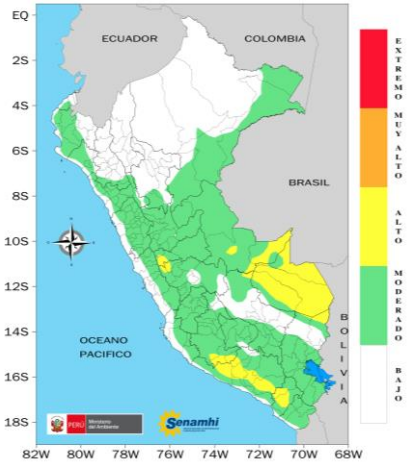
Fire Weather Index (FWI):

Medida de la intensidad del fuego, y combina:

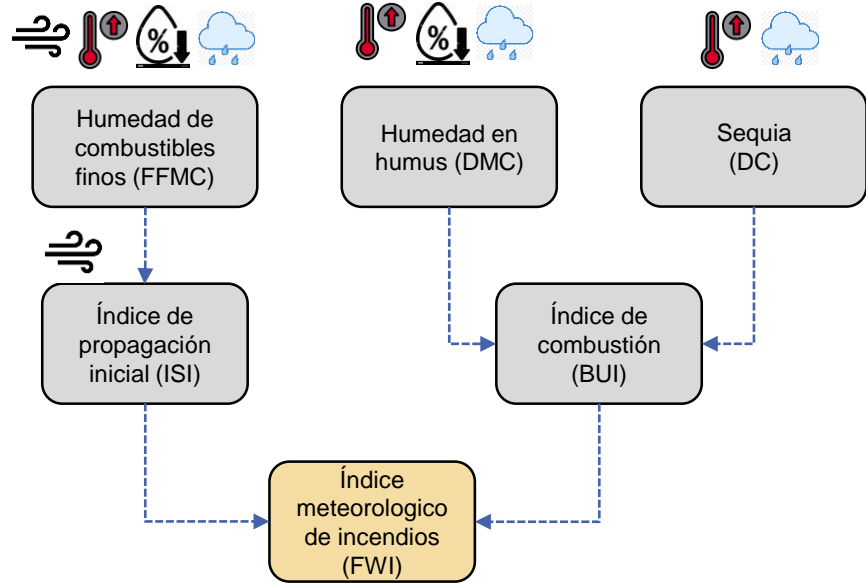
El combustible disponible, dado por Índice de combustión (BUI).

La medida de la velocidad prevista de propagación del incendio, dado por Índice de propagación inicial (ISI).

INDICE METEOROLOGICO DE INCENDIOS (FWI)  
23AUG2023



Nivel de peligro	Valor de FWI
Bajo	0 - 6
Moderado	6 - 12
Alto	12 - 18
Muy Alto	18 - 24
Extremo	> 24

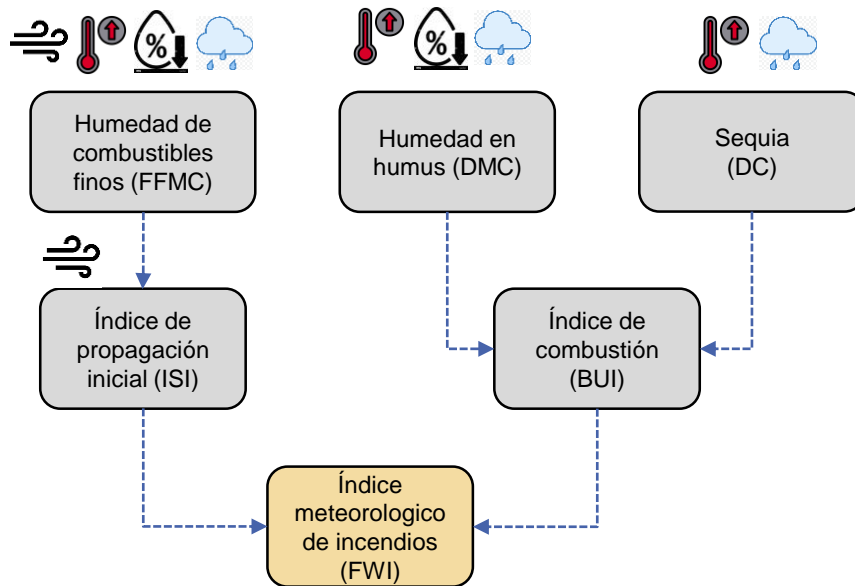


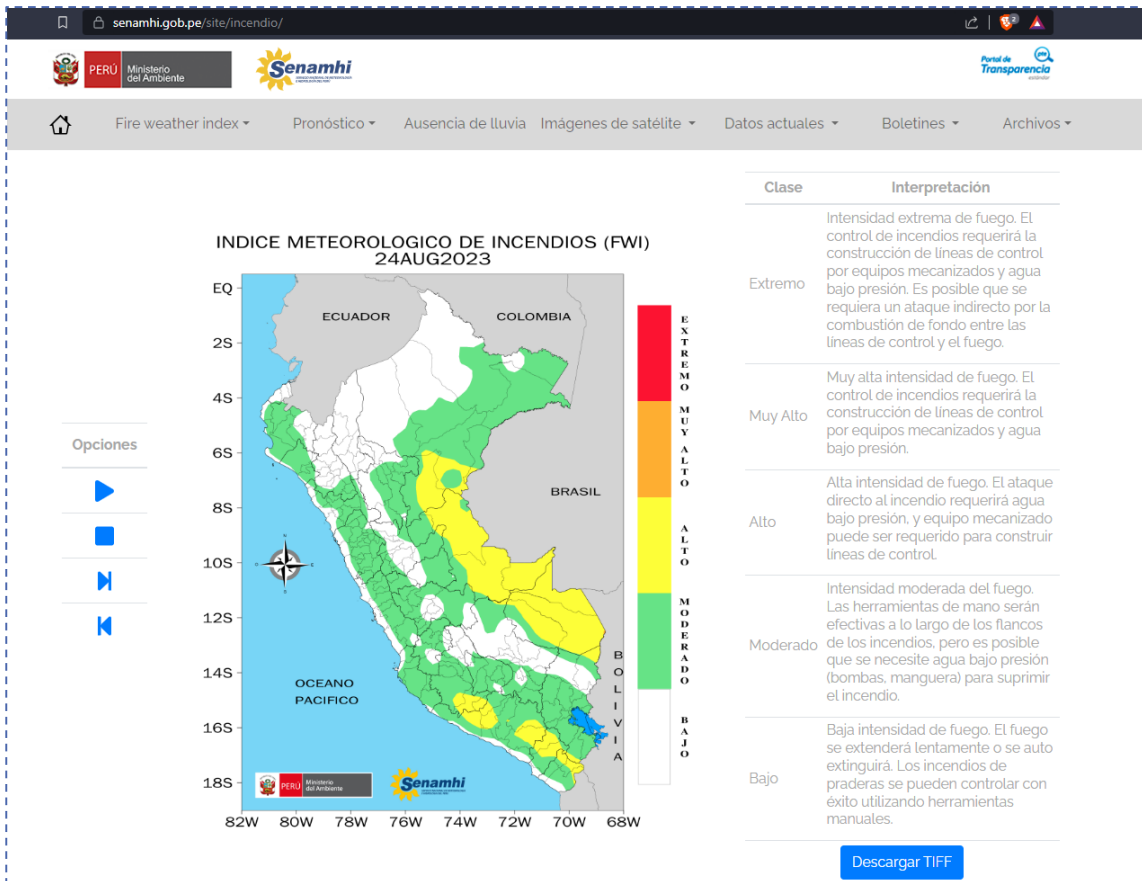
Datos de entrada del modelo Global Forecast System (GFS) a 0.25° (~27 km) de resolución espacial:

- Temperatura máxima diaria a 2 m [°C]  
(Se considera de la 1 pm hora local).
- Humedad relativa mínima diaria a 2 m [%].  
(Se considera de la 1 pm hora local).
- Magnitud del viento máximo a 10 m [km/hr].  
(Se considera de la 1 pm hora local).
- Precipitación acumulado diario del día anterior [mm]

**Consideraciones para inicialización del código:**

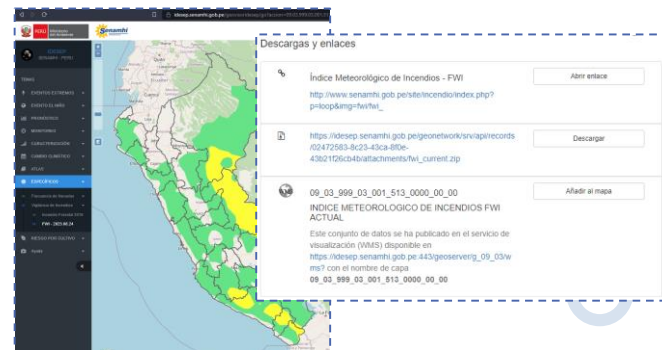
- FFMC=85
- DMC=6
- DC=12





El FWI es un producto operativo, que forma parte de una página web del SENAMHI, dedicada a la vigilancia y pronóstico de las condiciones favorables ante la presencia de un incendio.

<https://www.senamhi.gob.pe/site/incendio/>



<https://idesep.senamhi.gob.pe/geovisitoridesep/go?accion=09.03.999.03.001.513.0000.00.00>

<https://idesep.senamhi.gob.pe/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/02472583-8c23-43ca-8f0e-43b21f26cb4b>



# Pasantía en el Fire Science Lab

Pasantía organizada por el Programa Fuego Regional para Sudamérica, iniciativa de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y el Servicio Forestal de los Estados Unidos.

Construyendo las capacidades técnicas y humanas, fortaleciendo alianzas y colaboración entre países para prevenir, manejar y responder a los incendios forestales, en el vasto territorio amazónico de Sudamérica.



Fuente: Programa Fuego Regional para Sudamérica



# Detalles de la pasantía

Lugar	Missoula Fire Science Lab
Periodo	29 abril al 21 de mayo 2023
Objetivo	Revisión actual del código actual de procesamiento de la generación del producto FWI, y evaluación de propuestas de mejoras en dicho código de programación, así como la visita a un centro de coordinación de incendios y conocer la experiencia del uso de información de pronóstico para la toma de decisiones.
Equipo de trabajo	<b>Matt Jolly:</b> Ecólogo de Incendios del Servicio Forestal <b>Isidoro Solis:</b> Especialista en incendios forestales, y parte del Programa Regional de Incendios para Sudamérica <b>Blanca Ponce:</b> Programa Fuego Regional para Sudamerica (US Forest Service - International Programs). <b>Diego Rodríguez:</b> Especialista en meteorología del SENAMHI. <b>Alan Llacza:</b> Especialista en modelamiento numérico del SENAMHI.

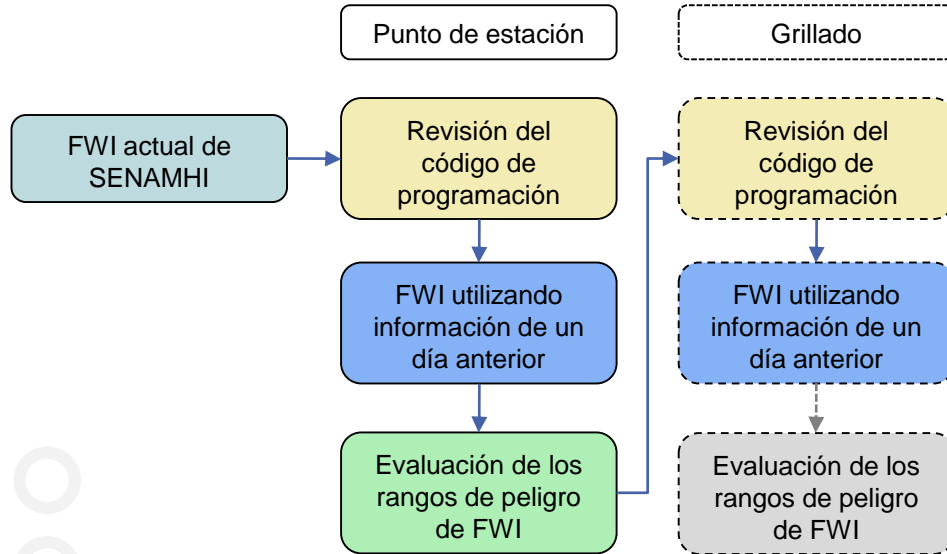


PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

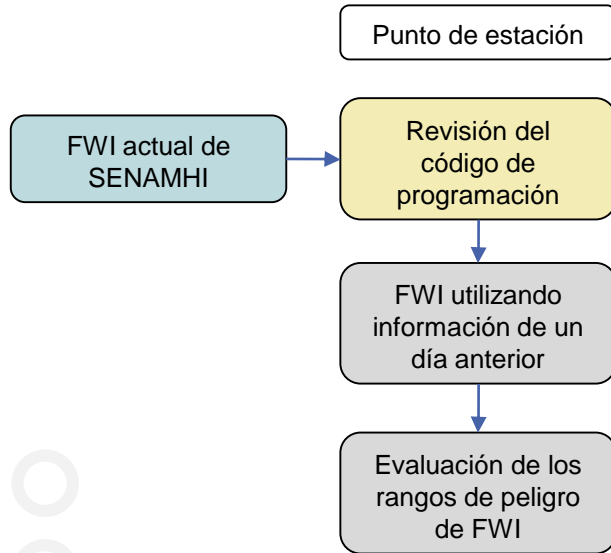


# Esquema de trabajo



Durante la pasantía se evaluaron los cambios en el código a nivel de punto de estación, con información de ERA5.

# Esquema de trabajo: Revisión del código



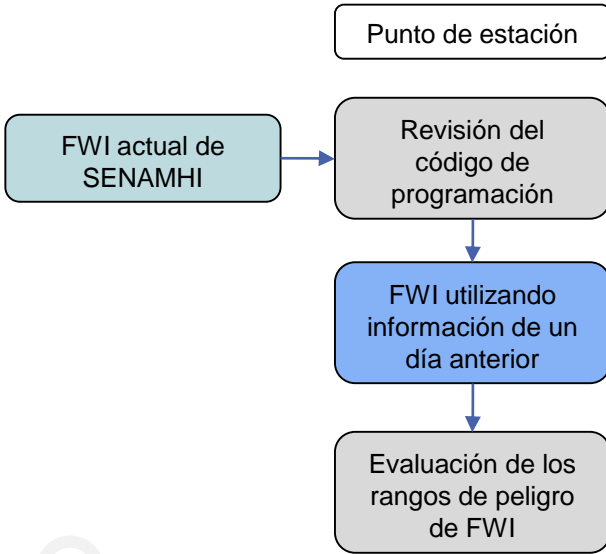
Se realizaron los siguientes cambios, en base a Wang et al. (2015), y la experiencia del Fire Science Lab:

1. Cambio de lenguaje de programación del código de GrADS a Python.
2. Uso de la precipitación del día anterior al del día.
3. Adición de condicionales en el código de la Humedad de combustibles finos (FFMC), Humedad en humus (DMC) y Sequia (DC).

Wang et al (2015). Updated source code for calculating fire danger indices in the Canadian Forest Fire Weather Index System.  
<https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=36461>



# Esquema de trabajo: Información de un día anterior



Se modificó el código para que FFMC, DMC y DC utilicen como inicialización datos de estas mismas variables del día anterior.

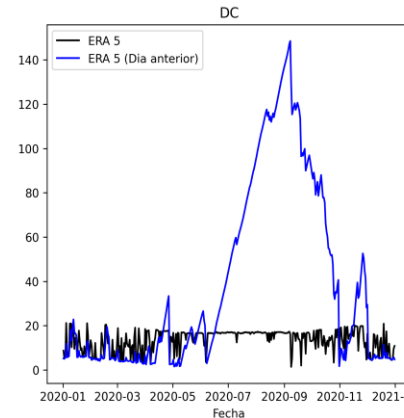
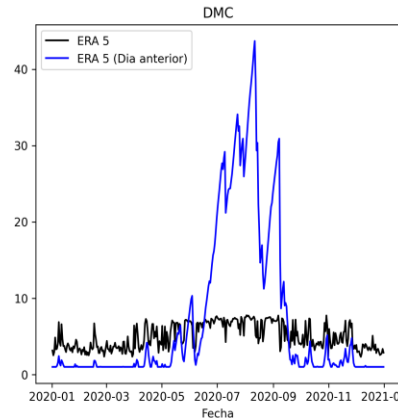
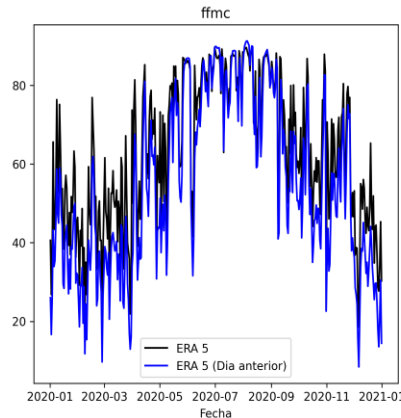
FFMC=85  
DMC=6  
DC=12

=>  
=>  
=>

FFMC = FFMC día anterior  
DMC = DMC día anterior  
DC = DC día anterior

La mayoría de incendios se han generado entre los meses de **julio a noviembre**, este dato se asocia a la temporada seca, donde el fuego es utilizado en el manejo de prácticas agropecuarias y cambios de uso del suelo.

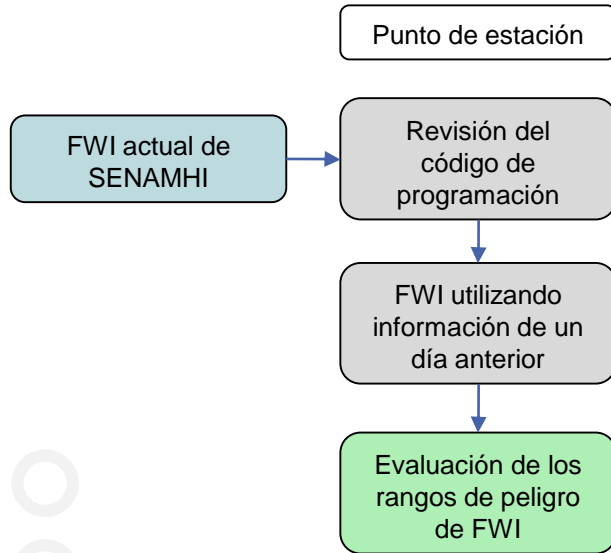
CENEPRED. (2018). Caracterización del peligro por incendios forestales. [https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca/5614\\_escenarios-de-riesgo-por-incendios-forestales-caracterizacion-del-peligro-por-incendios-forestales.pdf](https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca/5614_escenarios-de-riesgo-por-incendios-forestales-caracterizacion-del-peligro-por-incendios-forestales.pdf)



Distrito de Ccatcca (Cusco)



# Esquema de trabajo: Rangos de peligro



Esta parte es realizada luego de la generación de los datos del FWI. Y consiste en la forma en que se seleccionan los rangos de peligro del FWI:

1. Percentiles: Consiste en calcular el percentile correspondiente de cada valor de FWI (Jolly et al, 2019)

$$FWI_{perc} = Percentile(FWI)$$

2. Valores relativos: Consiste en normalizar los valores del FWI mediante sus valores maximos y minimos.

$$FWI_{norm} = \frac{FWI - FWI_{min}}{FWI_{max} - FWI_{min}}$$



Regiones donde ocurrieron incendios



# Evaluación del código de FWI

Eventos de incendio considerados para la evaluación:

- Distrito de Iberia (Madre de Dios):  
2019-08-16.

<https://portal.indec.gov.pe/emergencias/reporte-complementario-n-1828-20-08-2019-coen-indec-1930-horas-reporte-n-01-incendio-forestal-en-el-districto-de-iberia-madre-de-dios/>

- Distrito de Ccatca (Cusco):  
2020-08-05.

<https://andina.pe/agencia/noticia-tragedia-cusco-incendio-forestal-ocongate-deja-ochos-muertos-y-35-heridos-809023.aspx>

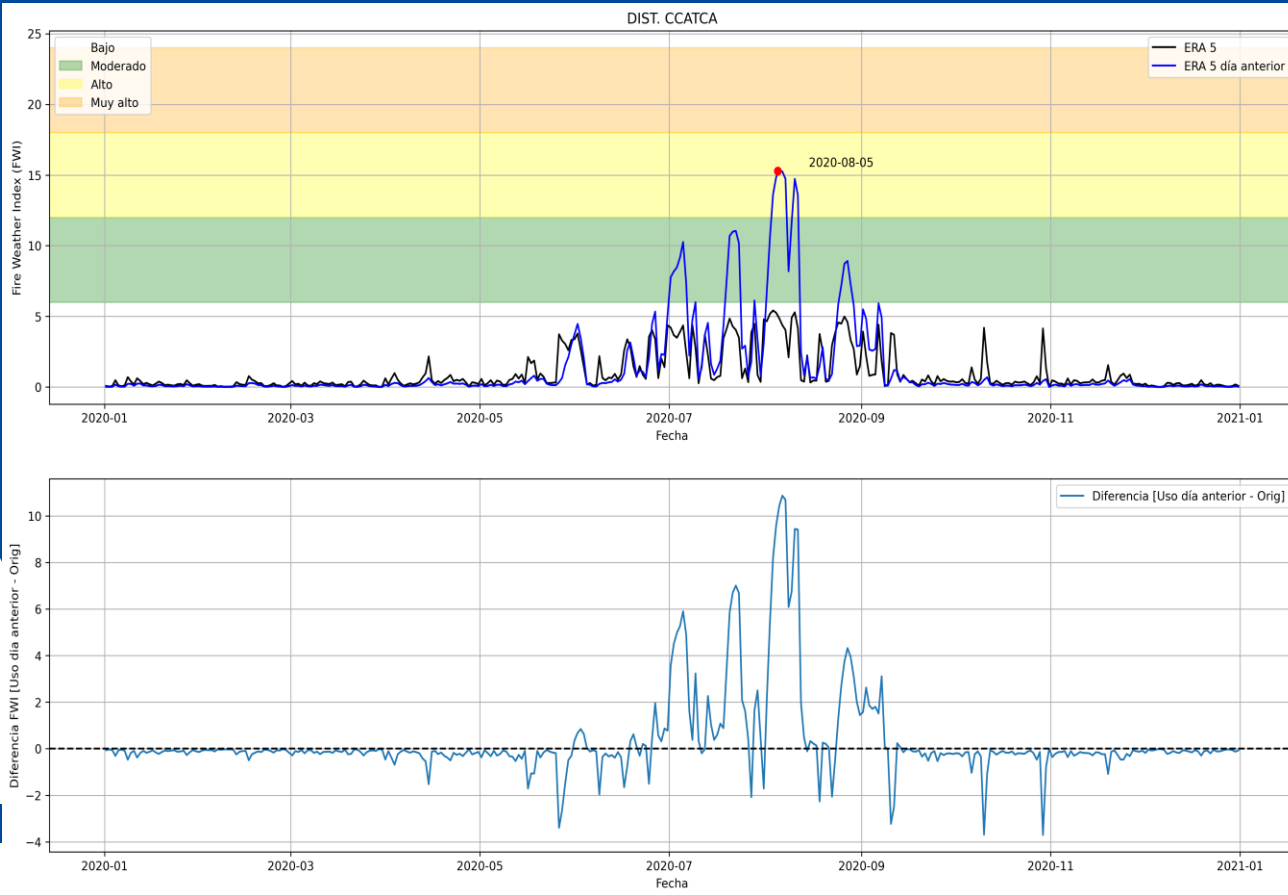
- Distrito de Capaya (Apurímac):  
2021-09-03.

<https://portal.indec.gov.pe/wp-content/uploads/2021/09/REPORTE-COMPLEMENTARIO-N%C2%BA-4713-3SEP2021-INCENDIO-FORESTAL-EN-EL-DISTRITO-DE-CAPAYA-APUR%C3%8DMAC-1.pdf>

- Distrito de Chuschi (Ayacucho):  
2022-12-04.

<https://portal.indec.gov.pe/wp-content/uploads/2022/12/REPORTE-COMPLEMENTARIO-N%C2%BA-10510-5DIC2022-INCENDIO-FORESTAL-EN-EL-DISTRITO-DE-CHUSCHI-AYACUCHO-7.pdf>

# Evaluación: Información de un día anterior

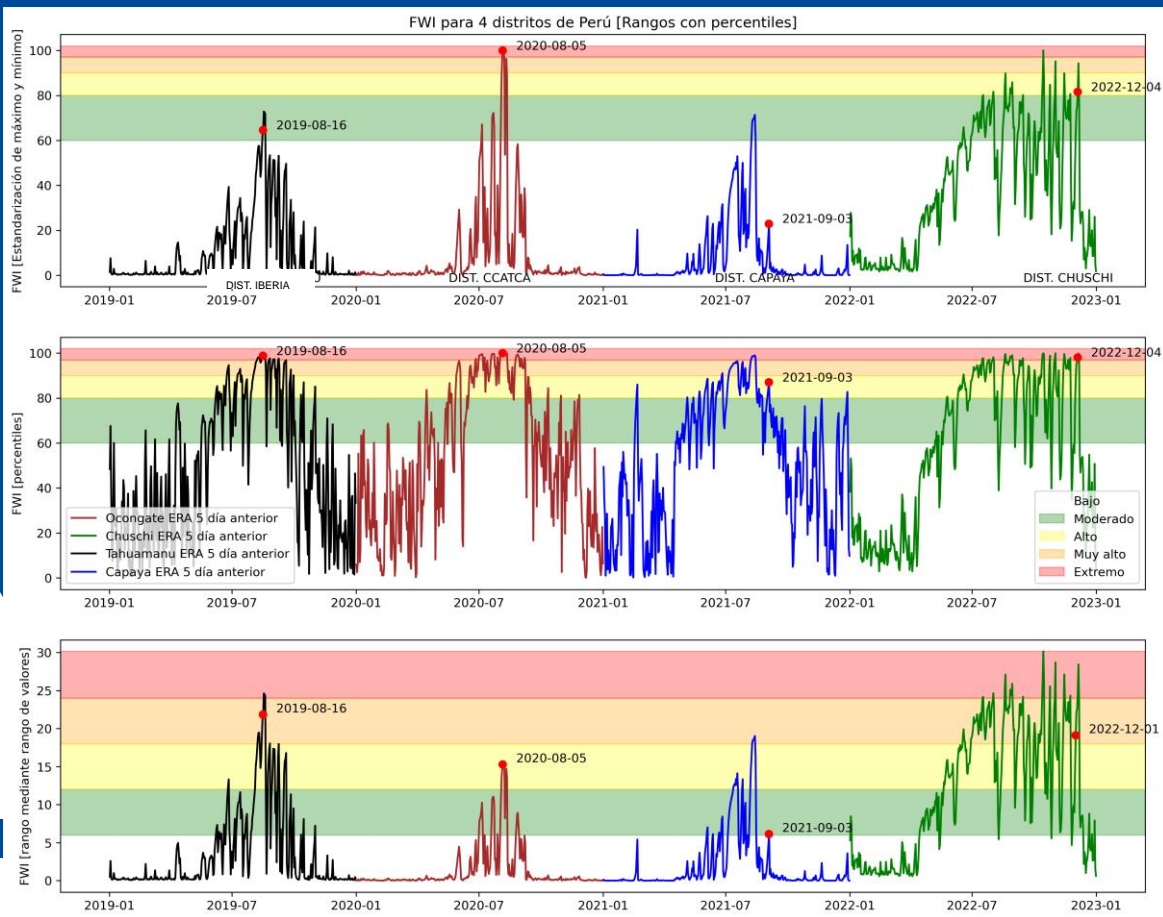


Como ejemplo el FWI para el distrito de Ccatcca (Cusco), considerando el actual rango de peligro. identifica mejor el evento de incendio del 5 de agosto del 2020.

Siendo que con el actual rango el incendio quedaba en un nivel de peligro **Bajo**, mientras que con el uso de información de un día anterior para FFMC, DMC y FC, las condiciones para el incendio están en el nivel **Alto**.



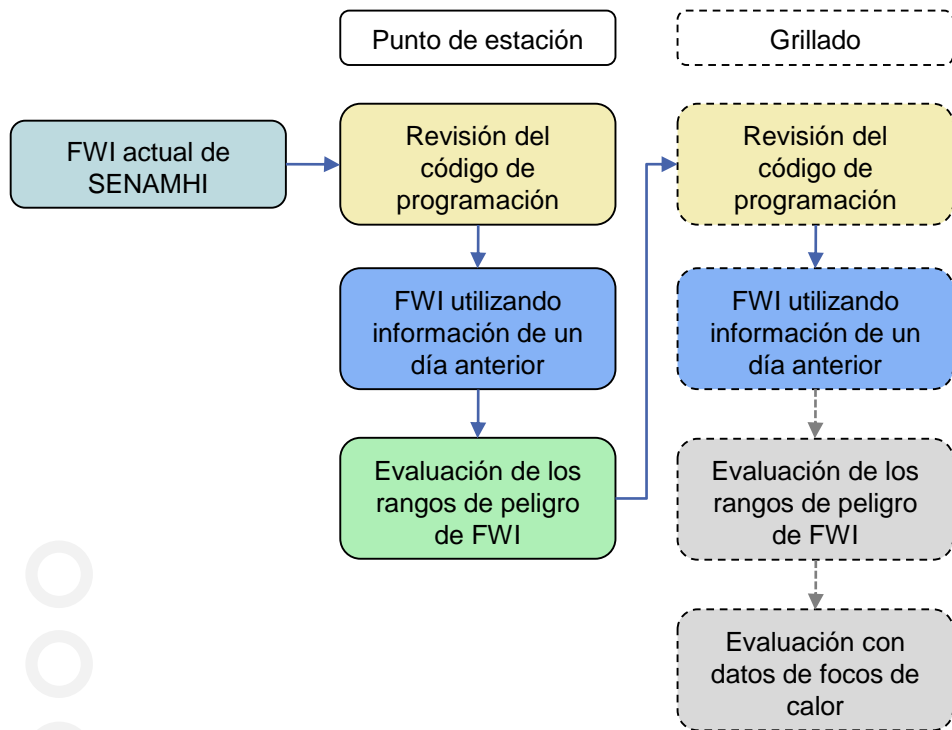
# Evaluación: Rangos de peligro



La evaluación para los 4 eventos de incendio entre 2019 y 2022, indica que el uso de umbrales para los rangos de FWI utilizando percentiles o valores relativos mejoran la identificación de eventos en las categorías de altos, muy altos y extremos. De estos, los umbrales con percentiles son los que mejor ayudan a identificar o calificar los valores de FWI para eventos de incendio en categorías de Alto, Muy alto y Extremo.

Nivel de peligro	Valor de FWI	Percentiles	Valores relativos
<b>Bajo</b>	<b>0 - 6</b>	<b>0 - 60</b>	<b>0 - 60</b>
<b>Moderado</b>	<b>6 - 12</b>	<b>60 - 80</b>	<b>60 - 80</b>
<b>Alto</b>	<b>12 - 18</b>	<b>80 - 90</b>	<b>80 - 90</b>
<b>Muy Alto</b>	<b>18 - 24</b>	<b>90 - 97</b>	<b>90 - 97</b>
<b>Extremo</b>	<b>&gt; 24</b>	<b>&gt; 97</b>	<b>&gt; 97</b>

# Esquema de trabajo: Datos grillados



Se continua con el desarrollo del código del FWI a nivel grillado, considerando las mejoras con el uso de información del FFMCI, DMC y DC del día anterior, así como el uso de umbrales en el rango de peligro utilizando percentiles.

Cabe indicar que este producto ingresara a un periodo de evaluación antes de ser operativo. Además, se considera el uso de datos de focos de calor para mejorar los umbrales en el rango de peligro.

Este trabajo se desarrolla en coordinación con el grupo Fuego y el Missoula Fire Science Lab.



# Proximos pasos

## Corto plazo:

- Aplicación de la información del día anterior en el código de FWI.
- Aplicación de los rangos de peligro considerando Percentiles.
- Revisión y cambio de colores de rangos del FWI (colores considerando usuarios daltonicos).
- Explorar el uso de índices intermedios como ISI y BUI.

## Mediano y largo plazo:

- Cálculo del FWI en base a datos de modelos regionales.
- Evaluar rangos de peligro utilizando información de focos de calor.
- Aplicación de otros índices complementarios al FWI: Severe Fire Danger Index (SFDI), Forest Fire Danger Index (FFDI)..
- Uso de la Plataforma WildfireSAFE-SA para consolidar y distribuir información.

## ● Conclusiones

# Gracias

 [allacza@senamhi.gob.pe](mailto:allacza@senamhi.gob.pe)



Se ha realizado la actualización del código del FWI, en lenguaje de programación Python, incluyendo el uso de la información del día anterior en punto de estación.



Se ha evaluado el código actualizado de FWI en 4 eventos de incendio, y se evaluó el rango de peligro, concluyendo que utilizando percentiles mejora la identificación de nivel de peligro.



Lo aprendido en la pasantía se está aplicando para la implementación del código a nivel grillado con las mejoras realizadas.