

# 2017

DIRECCIÓN DE MONITOREO  
Y EVALUACIÓN DE LOS  
RECURSOS NATURALES DEL  
TERRITORIO - DGOTA

Informe



## [DISEÑO METODOLÓGICO PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO PREDICTIVO DE INCENDIOS]

Monitoreo predictivo de incendios sobre la cobertura vegetal para el desarrollo de acciones de prevención del riesgo de desastres en la población y sus medios de vida.

## Contenido

1. Descripción del Problema.....	2
2. Antecedentes .....	3
3. Objetivos.....	6
4. Marco Normativo .....	6
5. Marco Teórico .....	7
5.1 Diferencia entre Quema e Incendio Forestal .....	7
5.2 Que son los Incendios.....	8
5.3 Modelos desarrollados para la detección de incendios .....	10
6. Metodología del modelo predictivo de incendios .....	10
6.1 Identificación de las variables .....	11
6.2 Diseño Conceptual del modelo predictivo de incendios .....	14
6.3 Registro de ocurrencias.....	14
6.3.1    Focos de Calor: .....	15
6.3.2    Registro de emergencias .....	17
6.3.3    Áreas Quemadas .....	18
6.4 Sensores que aportan en el análisis de las variables .....	18
6.4.1    Sensor MODIS para la detección del NDVI y el VCI .....	18
6.4.2    Sensores utilizados para la detección de focos de calor .....	23
6.4.3    Sensores para obtención del mapa de Pendiente.....	25
6.4.4    Sensores para el análisis de la temperatura.....	26
6.4.5    Sensores para el análisis de la precipitación .....	27
6.4.6    Sensores para el análisis de vientos .....	27
6.4.7    Sensores para el análisis de Biomasa .....	28
7. Identificación del ámbito piloto .....	28
8. Sistema Predictivo de Incendios.....	29
8.1 Mapa conceptual del sistema predictivo de incendios .....	29
8.2 Actores que intervienen directa e indirectamente en los procesos de gestión de riesgos de desastres vinculados al peligro de incendios forestales. ....	30
9. Conclusiones.....	32
10. Recomendaciones .....	32
11. Referencias Bibliográficas.....	34

## 1. Descripción del Problema

El Perú es un País con una gran biodiversidad, presenta más de un 75% del total del planeta con este potencial, posee una gran extensión del recurso forestal, ubicándose en el segundo lugar, a nivel de Sudamérica en bosques naturales, y noveno lugar a nivel mundial. (FAO, 2004). De acuerdo a la clasificación de tierras, por su capacidad de uso mayor se tiene al recurso forestal y pastos ocupando la mayor extensión del territorio nacional; el recurso forestal está formado por tierras de producción forestal y tierras de protección donde las tierras de producción están cubiertas de bosques generalmente heterogéneos dedicados a la producción permanente de madera y otros productos forestales y las tierras de protección en la mayoría de casos se encuentran en terrenos montañosos, con pendientes moderadamente empinadas a altas.

La cobertura vegetal y toda la biodiversidad que alberga, viene siendo afectada por los incendios forestales, ocasionando efectos adversos en los diferentes ecosistemas presentes en el Perú, asimismo los diferentes sectores económicos del País. Se tiene una evaluación cualitativa de pérdidas directa e indirectas ocasionado por los incendios forestales (Manta, 2004) siendo las siguientes:

Impactos directos:

- Pérdida de vida de 13 personas como producto de las quemaduras ocasionadas por el fuego, seis (06) heridos para el período 1973-2000).
- Pérdida de bosques amazónicos (aproximadamente 3'000,000 ha/año) debido a la quema reiterada de los bosques primarios y secundarios para el establecimiento de cultivos agrícolas y de pastos principalmente.
- Pérdida de pastos naturales ubicados en la sierra y costa peruana por el descontrol del fuego ocasionado en áreas ganaderas.
- Pérdida de volúmenes de madera proveniente de bosques naturales y de plantaciones, cuya magnitud del impacto estará en función de la edad y la tasa de crecimiento de bosques y plantaciones.
- Pérdida de plántones empleados en la reforestación.
- Reducción de la tasa de crecimiento de los bosques supervivientes al incendio.
- Muerte y migración de la fauna silvestre.
- Muerte de animales domésticos (caballos, ganado caprino y vacuno).

Impactos indirectos:

- Destrucción de equipos, maquinaria e instalaciones dañados por los incendios.
- Pérdida de la biodiversidad por la destrucción del hábitat como consecuencia de la agricultura migratoria y la transformación de suelos forestales a agrícolas a través de la tala y quema.
- Cambio de la composición florística del bosque o comunidad vegetal.
- Disminución de la capacidad productiva del suelo forestal por la pérdida de cobertura vegetal, pérdida de las propiedades físicas y químicas del suelo cuyo efecto se ve en el mediano y largo plazo. Este problema ocasiona agudos procesos de erosión en los

suelos de la selva, sierra y costa principalmente generando inundaciones y derrumbes.

- Colmatación de los cursos de agua.
- Contaminación del aire, elevando los riesgos de infecciones respiratorias agudas en los niños y ancianos, sobre todo en caso de grandes incendios.
- Cambio del microclima de diferentes lugares del País debido al incremento del efecto invernadero por la emisión del CO<sub>2</sub> y el vapor de agua.
- Destrucción de los paisajes naturales, reduciendo el valor recreativo del bosque.
- Aparición de plagas y enfermedades en los bosques debilitados por los incendios forestales.

## 2. Antecedentes

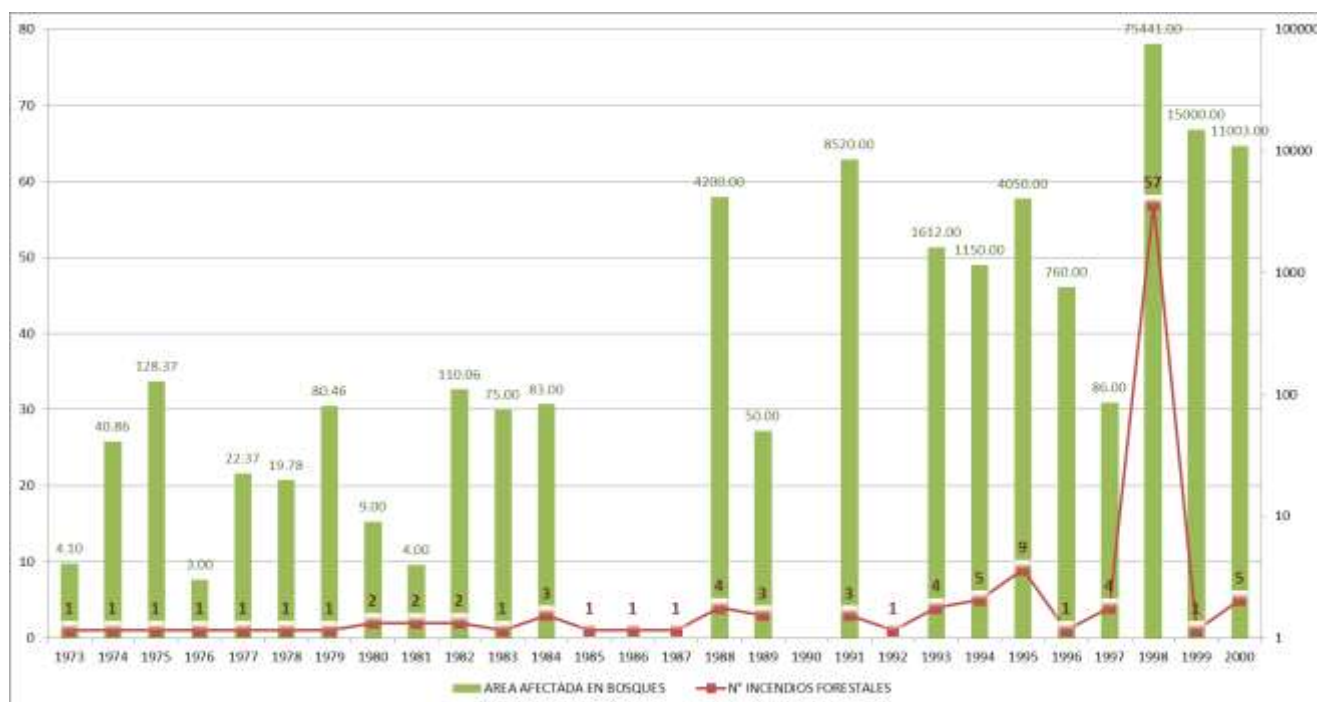
El Perú no cuenta con estadísticas históricas de incendios forestales, que detalle su registro y cuantifique las pérdidas. De acuerdo a (Manta, 2004) se tiene un registro de 119 incendios forestales para un período de 27 años; desde el año 1973 al 2000. (Ver cuadro N° 01). Del cuadro se tiene el siguiente gráfico (Gráfico N°01)

**Cuadro N° 01:** Área afectada en bosque por Incendios forestales por Año (1973 – 2000)

Año	N° Total de incendios forestales en bosques, en tierras forestales, y otras tierras	Área total afectada en bosques, tierras forestales, y otras tierras(ha)	Área de bosques afectados por los incendios forestales (ha)	Área de tierras forestales y otras tierras afectadas(ha)	Causas humanas(N°)	Causas naturales(N°)	Causas desconocidas (N°)
1973	1	4,10			x		
1974	1	40,86			x		
1975	1	128,37			x		
1976	1	3,00			x		
1977	1	22,37			x		
1978	1	19,78			x		
1979	1	80,46			x		
1980	2	9,00			x		
1981	2	4,00			x		
1982	2	110,06			x		
1983	1	75,00			x		
1984	3	83,00			x		
1985	1						
1986	1						
1987	1						
1988	4	4.200,00			x		
1989	3	50,00			x		
1991	3	8.520,00			x		
1992	1						
1993	4	1.612,00			x		
1994	5	1.150,00			x		
1995	9	4.050,00			x		
1996	1	760,00			x		
1997	4	86,00			x		
1998	57	75.441,00			x		
1999	1	15.000,00			x		
2000	5	11.003,00			x		
Total	117	122.452,00	1000				

Fuente: Manta, 2004

**Gráfico N° 01:** Áreas afectadas en bosque por número de Incendios Forestales



Fuente: Elaboración propia

Del gráfico se obtiene el siguiente análisis, el número de incendios forestales se ha incrementado en un 100% a partir de la década del 80', sin embargo el incremento del área afectada en promedio ha ido en aumento desde el año 1973. Generalmente en los años 70 una familia tenía una posesión de 10 ha, en la década de los 80', 90' estas áreas se reducen por problemas sociales, siendo en el año 2000, un promedio de 4 ha; si hacemos una comparación de las áreas que tenían posesión con las áreas afectadas, estas sobrepasan sus áreas de posesión, significando que probablemente las quemas y roces efectuados para la habilitación y rehabilitación de zonas agrícolas y pecuarias, salieron de su control llegando arrasar enormes hectáreas de bosques, estas cifras resultan alarmantes en la década del 90 ya que las áreas afectadas se incrementan exponencialmente, debido a un mayor número de incendios y las áreas afectadas en promedio sobrepasan las 1000 ha, esto evidencia que un incendio puede destruir enormes áreas, tal como ocurrió en el departamento de Piura para el año 1998 (INRENA, 1998).

La quema iniciada en un área de bosque puede verse agravada por las condiciones físicas, climáticas, por la cual se vuelve incontrolable el incendio y arrasa enormes hectáreas de bosque, pastos, entre otros.

Según el reporte de emergencias de eventos recurrentes registradas en el SINPAD<sup>1</sup> desde el año 2003 a la fecha, la presencia de los incendios forestales varía por departamento; esto pueda deberse por las condiciones físicas y climáticas de un determinado territorio. Se ha generado gráficos donde se evidencia la presencia de incendios a nivel mensual por departamentos. Asimismo, su comparación con reportes de emergencias de vientos fuertes y sequías (ver anexo N° 01). De estos gráficos se desprende el siguiente análisis:

<sup>1</sup> INDECI

Los vientos fuertes vienen a ser un elemento importante para la propagación de los incendios, en ese sentido, es importante su consideración, e identificación. De acuerdo al reporte de emergencias, su presencia es constante durante todo el año en los departamentos de Tumbes, Piura, Lambayeque, La Libertad, Arequipa, Moquegua, Cajamarca, Amazonas, Ayacucho, Pasco, Apurímac, Junín, Huancavelica, Huánuco, Cusco, Puno, San Martín, Ucayali y Loreto, y de manera estacional, verano, invierno e inicios de primavera se tiene su presencia en los departamentos de Lima, Ica y Ancash y otoño e invierno – primavera al departamento de Madre de Dios.

La sequía es otro elemento que condiciona la propagación de los incendios, a nivel mensual se tiene su reporte de emergencias, donde su presencia varía por departamento. (Ver cuadro N° 02)

**Cuadro N°02:** Registro de emergencias de sequías recurrentes por departamento

Departamento	Tumbes Piura Lambayeque Ancash Lima Ica Arequipa Tacna Amazonas Ayacucho Huánuco Junín Huancavelica Apurímac Cusco Puno San Martín	Piura Lambayeque Lima Ica Arequipa Amazonas Ayacucho Huánuco Huancavelica Apurímac Cusco Puno	Tumbes Piura Lambayeque La Libertad Ica Ayacucho Huánuco Huancavelica Apurímac Cusco San Martín Madre de Dios	Ica Arequipa Ayacucho Huánuco Apurímac Cusco	Piura Tacna Ayacucho Apurímac	Amazonas Huancavelica Apurímac
Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio

Departamento	Tumbes Ica Huancavelica Apurímac	Piura Ica Amazonas Huánuco Junín Huancavelica San Martín Ucayali Madre de Dios	Tumbes Ancash Ica Tacna Ayacucho Huánuco Huancavelica Apurímac Madre de Dios	Piura Ancash Lima Ica Cajamarca Huánuco Huancavelica Apurímac Cusco Madre de Dios	Lima Arequipa Moquegua Cajamarca Amazonas Ayacucho Huánuco Pasco Junín Huancavelica Apurímac Cusco Puno Madre de Dios	Piura Lambayeque Ancash Ica Moquegua Tacna Amazonas Huánuco Huancavelica Apurímac Cusco
Mes	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre

Es importante mencionar que este registro hace referencia al tiempo seco de larga duración, con ausencia prolongada de lluvias.

El reporte de emergencias de los incendios recurrentes, muestra que en la estación de verano los departamentos que presentan este evento son. Lima, Arequipa, Moquegua, Amazonas, San Martín, Loreto, Ucayali, Puno y Madre de Dios, en la estación de otoño se ha registrado en los departamentos de Tumbes, Piura, Ancash, Moquegua, Tacna, Huánuco,



Pasco, Junín, Ayacucho, Ucayali, Apurímac, Cusco, Puno y Madre de Dios. En la estación de invierno, los departamentos de Tumbes, Piura, Lambayeque, La Libertad, Ancash, Lima, Arequipa, Moquegua, Tacna, Cajamarca, Amazonas, San Martín, Huánuco, Pasco, Junín, Huancavelica, Ayacucho, Loreto, Ucayali, Apurímac, Cusco, Puno y Madre de Dios, y en la estación de primavera en los departamentos de: Tumbes, Piura, Lambayeque, La Libertad, Ancash, Lima, Arequipa, Moquegua, Tacna, Cajamarca, Amazonas, San Martín, Huánuco, Pasco, Junín, Huancavelica, Ayacucho, Ucayali, Apurímac, Cusco, Puno y Madre de Dios,

De acuerdo a este análisis, se puede inferir que, entre los meses de Julio a Diciembre, existe una alta probabilidad a que se presente este evento y estaría asociado a las sequías y como factor que pueda ayudar a su propagación serían los vientos fuertes, ya que su presencia es constante durante todo el año en gran parte de los departamentos del País.

### 3. Objetivos

Generar una metodología para el análisis predictivo de los incendios forestales sobre la cobertura vegetal, a través del análisis de variables que condicionan las características físicas y meteorológicas del territorio nacional.

### 4. Marco Normativo

- Mediante Decreto Supremo N° 054-2011-PCM, se aprueba el “Plan Bicentenario: el Perú hacia el 2021”, en el eje estratégico 6: Recursos Naturales y ambiente, se resalta la importancia de la riqueza y diversidad de los recursos naturales del país, entre ellos el bosque como proveedor de servicios y un ecosistema frágil.
- Mediante Decreto Supremo N° 012-2009-MIAM, se aprueba la Política Nacional del Ambiente”; donde la temática de incendios se inscribe en el Eje de Política 1: Conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y de la diversidad biológica, derivándose de ello cuatro lineamientos de política:

**Bosque:** Inciso b) Prevenir la reducción y degradación de bosques y sus recursos, por prácticas ilegales como tala, quema, comercio y cambio de uso de la tierra.

**Mitigación y Adaptación al Cambio Climático:** Inciso b) Establecer sistemas de monitoreo, alerta temprana y respuesta oportuna frente a los desastres naturales asociados al cambio climático, privilegiando a las poblaciones más vulnerables.

**Desarrollo Sostenible de la Amazonia:** Inciso e) Proteger los bosques primarios amazónicos y reducir gradualmente la tala, roza y quema para fines agropecuarios, desarrollando alternativas productivas de uso del bosque en pie, como el ecoturismo, manejo de bosques y otras actividades. Establecer sistemas de monitoreo, alerta temprana y respuesta oportuna frente a los desastres naturales asociados al cambio climático, privilegiando a las poblaciones más vulnerables.

**Ordenamiento Territorial:** Inciso b) Incorporar en los procesos de Ordenamiento Territorial el análisis del riesgo natural y antrópico, así como las medidas de adaptación al cambio climático

- Mediante Resolución Ministerial, N° 026-2010-MINAM, se aprueba los lineamientos de Política para el Ordenamiento Territorial, siendo en el lineamiento 1.4: Fortalecer las Áreas Naturales Protegidas (ANP), y el Lineamiento 3.1: Identificar y evaluar las zonas de alto riesgo a procesos de origen natural y/o antrópico, para agenciar e implementar medidas de gestión, correctivas y prospectivas, así como, estrategias de prevención de desastres.
- Mediante Decreto Supremo N° 014-2011-MINAM, se aprueba el Plan Nacional de Acción Ambiental PLANAA PERÚ: 2011-2021, donde la temática de incendios está comprendida en la meta 4: Bosques y Cambio Climático, acción estratégica 4.8: Gestionar el riesgo de desastres e incorporarlo en el sistema de planificación y presupuesto a nivel Nacional, Regional y local y meta 7: Gobernanza Ambiental, Acción Estratégica 7.19: Desarrollar investigación orientadas a la gestión del riesgo ante peligros naturales y antrópicos.
- Mediante la resolución Ministerial N° 153 -2017-MINAM, se aprueba la nueva conformación del Grupo de Trabajo de la Gestión del Riesgo de Desastres del Ministerio del ambiente, quienes aprobaron el Programa Anual de Actividades del Grupo de Trabajo de Gestión del Riesgo de Desastres del Ministerio del Ambiente, siendo para la Dirección General de Ordenamiento Territorial Ambiental, “el diseño de una metodología para la prevención de incendios en zonas con cobertura vegetal”.
- Mediante Decreto Supremo N° 002-2017-MINAM, se aprueba al Reglamento de Organización y Funciones (ROF) del Ministerio del Ambiente. En su artículo 59 se lista las funciones de la Dirección General de Ordenamiento Territorial Ambiental, siendo el inicio h) conducir el diseño e implementación del monitoreo y evaluación de los ecosistemas y la biodiversidad en el ámbito de su competencia, en coordinación con las entidades correspondientes.
- De acuerdo al Programa presupuestal 068: Gestión del Riesgo y Reducción de la Vulnerabilidad, en la actividad: Desarrollo de estudios para establecer el riesgo a nivel territorial, la tarea 2, acción 2.1 comprende el Diseño metodológico para el desarrollo del modelo predictivo.

## **5. Marco Teórico**

### **5.1 Diferencia entre Quema e Incendio Forestal**

Existen diversos conceptos para definir quemas e incendios forestales. En el Perú tenemos algunos estudios que se han realizado entre los cuales podemos citar:

Manta y León (2004) definen que incendio forestal se refiere a aquellos fuegos que ocurren sobre la vegetación que crece en tierras de producción forestal (F) y tierras de protección (X). Así mismo, se denomina pequeños incendios a aquellos menores de 1.5 ha.



El Centro para la Sostenibilidad Ambiental de la Universidad Peruana Cayetano Heredia, en su Boletín sobre quemas agropecuarias e incendios forestales (CSA-UPCH 2010) dice que en la Sierra y la Selva del Perú, la presencia de fuego se debe principalmente a la práctica masiva de realizar quemas. La época usual para esta práctica es entre julio y diciembre, la que coincide con la época seca o verano regional y donde se encienden tanto pastos, purmas, como bosques recién tumbados. El objetivo de esta práctica es muy variado: desbrozar el suelo, fertilizarlo con la ceniza de las plantas, ahuyentar alimañas, e incluso, para atraer la lluvia. En apariencia, el fuego resulta ser más práctico y económico que desbrozar a mano o con maquinaria, o comprar fertilizante; sin embargo, a largo plazo o cuando la quema se torna fuera de control puede ocasionar costos en la calidad de vida de las personas y el ecosistema.

En diciembre de 2015, se dio el Seminario Regional sobre incendios forestales para Países Miembros de la OTCA (OTCA 2015) donde participaron representantes del Cuerpo General de Bomberos, de entidades encargadas de control de riesgos y funcionarios del gobierno regional y de los Ministerios encargados del tema de incendios forestales en cada país. Los países asistentes fueron Bolivia, Brasil, Perú, Ecuador, Colombia y Venezuela. Uno de los temas discutidos fueron las definiciones de quema e incendio forestal. Pese a las ligeras variaciones en cada país se identificó dos principales diferencias entre ambos conceptos: la primera es que una quema está asociada a una vegetación agropecuaria y un incendio está asociado a una vegetación silvestre (bosques y otras coberturas forestales); la segunda es que una quema es un fuego bajo control y un incendio es un fuego descontrolado.

## 5.2 Que son los Incendios

Definir los incendios nos lleva a explicar que es el fuego y cuáles son sus características; en principio el fuego<sup>2</sup> es una reacción química producida por la ignición y combustión de materiales.

Para que ocurra la ignición y combustión son necesarios tres elementos, siendo el combustible para quemar, el aire para obtener el oxígeno y una fuente de calor para llevar a los combustibles a la temperatura de ignición.

Los incendios suelen iniciarse en un punto o foco y el fuego se propaga y se expande debido a la convección, radiación y conducción del calor que las llamas provocan.

El fuego se produce en dos etapas, debiendo primero darse el precalentamiento de los materiales, produciéndose este por la transmisión de calor hasta llegar a arder, seguido viene la combustión, en este punto ya no tienen una necesidad de otra fuente de calor.

Las causas en un 90% se deben al accionar humano, pero es importante mencionar que este accionar está relacionado a las condiciones físicas del territorio. No podemos predecir la intervención humana temporal y espacialmente, pero si podemos predecir con un grado de confiabilidad las condiciones físicas que van a favorecer la ocurrencia de incendios.

---

<sup>2</sup> Treball

En la cobertura forestal los incendios pueden darse de tres formas, cada una tiene sus características de propagación y de comportamiento de fuego distintas, debido a que existen condiciones físicas – meteorológicas de un área diferente a la de otra.

Incendios de subsuelo: En este tipo de incendio el fuego se propaga por debajo de la superficie a través de las raíces y materia orgánica presente.



Incendios de superficie: son aquellos incendios que se propagan sobre la superficie del terreno, es decir el combustible que se encuentra por encima del suelo, siendo las hojarascas, árboles caídos, ramas caídas, entre otros tipos de combustibles presentes, esto dependerá del sector donde ocurra el incendio, ya que el material del suelo difiere de un bosque primario a una zona de pradera.



Incendios de copas: son el tipo de incendio que se propagan a través de las copas de los árboles, su propagación se da por conducción.



### 5.3 Modelos desarrollados para la detección de incendios

Existe software y sistemas comerciales disponibles en el mercado destinado a la detección de incendios. Algunos de estos sistemas son:

**El sistema BOSQUE**, es vendido e implementado por la empresa española de fabricación de buques NAVANTIA, y desarrollado por la empresa Sistemas FABA con apoyo de ingenieros de la universidad de Sevilla. Ofrece el desarrollo de sistemas a medida para detección de fuegos e incluyendo comunicaciones y algoritmos de detección.

La Universidad de Split en el sur de Croacia ofrece el **sistema ForestFire**. Este sistema usa video en tiempo real, datos meteorológicos y una base de datos topográfica para detectar y monitorizar fuego en tiempo real. (Darko Stipaničev 2010). Viene siendo utilizada en la región de Split-Dalmatia en Croacia.

El profesor Enis Cetin ofrece en su página Web (Cetin 2005) el **software que ha desarrollado para detección de fuegos**. El software ofrece varias opciones independientes de detección en función del escenario: detección de humo, fuego, incendio forestal, entre otros. En el software se muestra la detección mediante bloques sobre la imagen y números del 1 al 3 indicando la certeza de que se trate o no de una detección correcta.

Uno de los sistemas comercializados más potente es **ForestWatch** de la empresa sudafricana “workingonfire”. El sistema permite detectar fuegos forestales, y usa sistemas de auto-aprendizaje independientemente de donde se encuentre la detección. El sistema está implementado en puntos de Sudáfrica, Canadá, Grecia, Estados Unidos y Eslovenia.

El sistema **Fire Alert** desarrollado por la empresa Ambient Control systems de California, ofrece un sistema de detección de fuegos mediante cámaras desarrolladas por la misma compañía e insertadas en altos postes con recorridos de 360 grados y auto-alimentación mediante luz solar, así como un software de detección automática.

### 6. Metodología del modelo predictivo de incendios

El desarrollo de un modelo predictivo de incendios sobre la cobertura vegetal, implica desarrollar una metodología que considere la interacción entre los factores físicos y climáticos (Dryry y Veblen, 2008), con una perspectiva geoespacial (Ávila-Flores y Pompa-García, 2010), considerando las variables meteorológicas y de combustible que ayudan a explicar el comportamiento de los incendios (Leathwick y Briggs, 2001), sumado los factores de carácter socioeconómico (uso del suelo), que podrían desarrollarse a escalas más detalladas. En ese sentido, se han identificado y analizado variables que vienen a ser el insumo de nuestro modelo predictivo, plasmado a través de un modelo conceptual que muestra todo el proceso, de entrada, procesamiento y salida de la información.

## 6.1 Identificación de las variables

El diseño del modelo predictivo debe responder a cualquier realidad del territorio nacional, motivo por el cual debe priorizarse variables que tengan información para todo el Perú, siendo así que, se ha considerado trabajar con información meteorológicas (la precipitación, temperatura, el viento, humedad relativa), con variables físicas (pendiente, combustible, la cobertura vegetal y la biomasa).

Las variables que intervendrán en el modelamiento del sistema predictivo de incendios forestales son las siguientes:

- a) **La Temperatura**, es una variable básica del clima, esta puede variar temporalmente en un mismo lugar, esto implica escalas de tiempo, siendo en períodos estacionales, diarios, horas, entre otras, así mismo puede variar espacialmente.

Existe un factor principal que produce cambios de la temperatura del aire en nuestro planeta, siendo la variación en el ángulo de incidencia de los rayos solares, y esta está en función de la latitud. Evidencia de ello se aprecia en las zonas tropicales con una temperatura cálida y va disminuyendo a medida que se acerca a los polos, pero no es el único factor que influye en la distribución de temperatura de un lugar determinado, se tiene también al calentamiento diferencial de tierras y aguas, la altura sobre el nivel del mar, las corrientes oceánicas, la posición geográfica y la cobertura nubosa y albedo.

La superficie recibe la radiación, y esta puede ser detectada por los sensores en el canal del infrarrojo térmico, si un territorio "X" presenta una zona de bosque, y luego experimenta una deforestación probablemente la temperatura en la misma ubicación será mayor que en su estado inicial. La unidad de medida esta expresada en (°C).

- b) **La Cobertura Vegetal**, es una capa de vegetación natural que cubre una determinada superficie terrestre, en ella está comprendida una amplia gama de biomasa con características fisionómicas, fisiográficos, climáticas y geográficas diferentes.
- c) **El viento**, es la corriente de aire que se desplaza en sentido horizontal como vertical, sus causas se deben a la diferencia de temperatura existente, debido al desigual calentamiento en las diversas zonas de la tierra y de la atmósfera, las masas de aire caliente tienden a ascender mientras que el espacio que queda vacío es ocupado por un aire frío, más denso.

Su dirección depende de la distribución y evolución de los centros isobáricos, desplazándose de los centros de alta presión (anticiclones) hacia los de baja presión (depresiones). Su fuerza será mayor cuanto mayor sea su gradiente de presiones. Generalmente el viento se ve alterado por el relieve y la fuerza de coriolis. El viento está definido por dos parámetros; la dirección en el plano horizontal y la velocidad.

De acuerdo al sistema internacional la unidad de medida del viento es m/s, sin embargo se sigue usando los nudos (kt) y km/h.

- d) La precipitación**, es toda agua en forma líquida (lluvia, llovizna) o sólida (nieve, granizo) que se precipita y cae en la superficie de la tierra, generalmente son provocadas por un cambio de la temperatura o de la presión; esto quiere decir que se requiere la condensación del vapor de agua atmosférico para la formación de la precipitación, siendo la saturación una condición esencial para desbloquear la condensación.

Existen tres tipos de precipitación, siendo la precipitación convectiva, orográfica y frontal. La precipitación convectiva “Resultan de una subida rápida de las masas del aire en la atmósfera. Se asocian a los cúmulos y cumulonimbus, desarrollo vertical significativo, y son generados así por el proceso de Bergeron. La precipitación que resulta de este proceso es generalmente tempestuosa, de corta duración (menos de una hora), de intensidad fuerte y de poca extensión espacial”<sup>3</sup>. La precipitación Orográfica “se relaciona con la presencia de una barrera topográfica. La característica de la precipitación orográfica depende de la altitud, de la pendiente y de su orientación, pero también de la distancia que separa el origen de la masa del aire caliente del lugar del levantamiento. En general, presentan una intensidad y una frecuencia regular” y la precipitación frontal “Se asocian a las superficies de contacto entre la temperatura de la masa de aire, el gradiente térmico vertical, la humedad y de los diversos índices del recorrido, que uno nombra Frentes. Los frentes fríos crean precipitaciones cortas e intensas. Los frentes calientes generan precipitaciones de larga, duración pero no muy intensos”.

Los datos de precipitación provienen de las estaciones meteorológicas del SENAMHI, tanto de las estaciones convencionales como automáticas. Asimismo se tiene la base de datos PISCO (Peruvian Interpolation of the SENAMHIs Climatological and Hydrological Stations) validados hasta diciembre 2013.

- e) Pendiente**, La Pendiente es el grado de inclinación de los terrenos y se define como el ángulo formado por dos lados, siendo la forma normal de expresar la medición de un ángulo utilizando el sistema sexagesimal (grados, minutos y segundos). Por lo general los terrenos agrícolas no superan los 45° por razones agronómicas, de conservación y manejo de suelos, pero se da el caso que para la región natural sierra este límite se ve superado con relativa frecuencia, hasta niveles de los 50° o más grados.

Es necesario precisar que la pendiente, es un parámetro que influye en la formación de los suelos y condiciona el proceso erosivo, puesto que mientras más pronunciada sea la pendiente, la velocidad del agua de escorrentía será mayor, no permitiendo la infiltración del agua a través del perfil; además en un sistema de riego de superficie, se debe considerar como una de las variables más importantes para lograr su máxima eficiencia sin afectar al terreno. (Beláustegui, S. 1999)

La pendiente del lugar de desarrollo del incendio también afecta a la velocidad y dirección de propagación. El fuego se propaga más rápidamente a favor de la pendiente, es decir a mayor pendiente.

---

<sup>3</sup> SENAMHI

La pendiente presenta un carácter determinante de acuerdo al grado de inclinación en relación con el grado de propagación del incendio, fuegos desarrollados en pendientes pronunciadas son los más propensos a originar un incendio. Mientras fuegos iniciados en pendientes planas no se propagan rápidamente.

Los rangos de pendiente se determinan de 0 a 100% de un nivel plano en coloraciones generalmente verde a extremadamente empinado en coloraciones rojas.

**Cuadro N° 03:** Rangos de pendiente de terreno

Símbolo	Rango de pendiente (%)	Descripción
A	0 - 4	Plano a Ligeramente inclinado
B	4 - 8	Moderadamente inclinado
C	8 - 15	Fuertemente inclinado
D	15 - 25	Moderadamente empinado
E	25 – 50	Empinado
F	50 – 75	Muy Empinado
G	Más de 75	Extremadamente Empinado

- f) **Humedad relativa,** El concepto de humedad se refiere a la cantidad de vapor de agua presente en el aire. Para una temperatura específica, la cantidad de humedad que puede contener una porción de aire tiene un límite definido que es conocido bajo el nombre de *punto de saturación*. Para una determinada temperatura, la proporción de vapor de agua relacionada con la máxima cantidad que pueda contener una porción de aire, es lo que llamamos *humedad relativa*, y se expresa en tanto por ciento (Stralher et al., 1989). Para el aire saturado, la humedad relativa es del 100%; cuando solo está presente la mitad de la cantidad posible de vapor de agua que esta masa de aire puede contener, la humedad relativa será del 50%.

Un cambio en la humedad relativa de la atmósfera se puede atribuir a dos posibles causas. Si está expuesta a una superficie acuática, la humedad puede incrementarse por evaporación. Este proceso es lento, pues requiere que el vapor de agua se difunda hacia las capas altas de la atmósfera. La segunda forma es a través de un cambio de temperatura. Cuando no existe adición de vapor de agua, un descenso de las temperaturas puede incrementar la humedad relativa. Este cambio es automático pues la capacidad del aire para contener el agua en estado gaseoso disminuye con el enfriamiento, lo que resulta un incremento en el porcentaje de este elemento respecto a la capacidad total de una porción de aire determinada (Stralher et al., 1989).



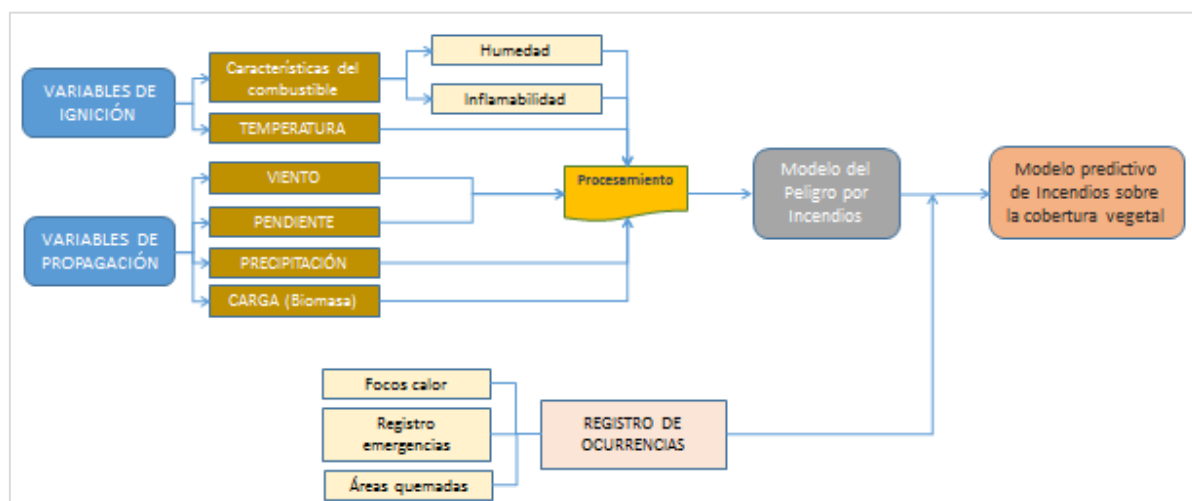
- g) Carga,** La carga está referido a la cantidad y tipo de combustible inflamable que rodea un incendio y es medido cuantitativa y cualitativamente a fin de determinar el comportamiento de sus propagación; es decir este factor hará que el fuego no se propague y se extinga rápidamente o, por el contrario, hará que el fuego crezca y el incendio se propague rápidamente. Este factor, será caracterizado con el uso de las siguientes variables:

**Biomasa:** Expresa la cantidad de combustible disponible por unidad de área, obtenida a partir del mapa de Carbono aéreo. Se entiende que cuanto más carga, el fuego se propagará más rápido y con mayor intensidad.

**Cobertura vegetal:** Expresa el tipo y tamaño de combustible y su relación de cómo influye en la forma de propagación, obtenida a partir del mapa de cobertura vegetal. Se entiende que si se tiene un combustible pequeño, éste es más fácil de precalentar y de quemar que un material grande el cual tarda más tiempo en ambos procesos. Esto se debe a la relación entre la superficie total del material y su volumen. Cuanta mayor superficie con respecto al volumen, el material es más fácil de precalentar y quemar. Al contrario, cuanto mayor es el volumen con respecto a su superficie, más tardará en quemarse.

## 6.2 Diseño Conceptual del modelo predictivo de incendios

El diseño conceptual del modelo comprende el input, procesamiento y salida de la información, para ello se ha identificado en principio las variables que intervendrán en el análisis, el procesamiento que habla de la generación de índices, los resultados y su grado de confiabilidad que debe tener la información, apoyándose con la información de un paquete llamado registro de ocurrencias, siendo como resultado final el modelo predictivo de incendios sobre la cobertura vegetal.



## 6.3 Registro de ocurrencias

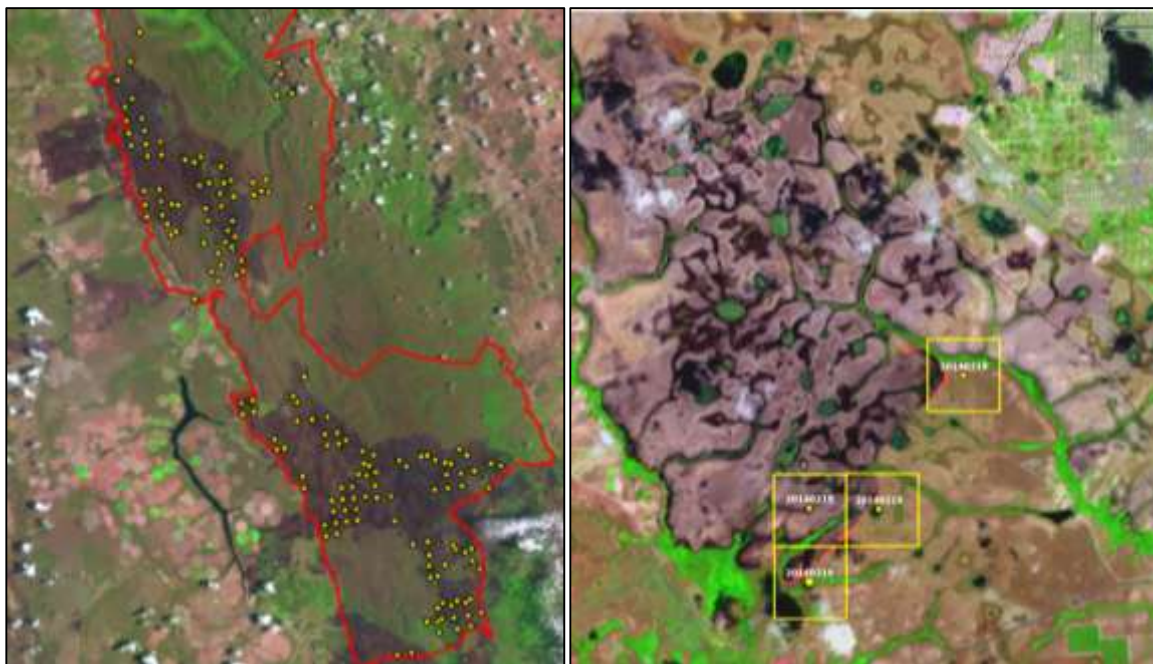
El registro de ocurrencias comprende la información histórica registrada, a través del sistema SINPAD, y/o otros registros provenientes de otras fuentes. Asimismo la información

de los focos de calor en su registro histórico y el análisis temporal de las áreas afectadas, donde se tiene su registro de emergencia a través de las imágenes de satélite.

### 6.3.1 Focos de Calor:

Los focos de calor o puntos calientes son anomalías térmicas localizadas a partir de imágenes satelitales que en general se corresponden a incendios (SIB/APN s.f.). Según la Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO s.f.), un foco de calor o punto de calor es cualquier punto de la superficie terrestre que emita suficiente temperatura para que el pixel de una imagen de satélite lo reporte con una temperatura elevada en comparación con los pixeles vecinos, cumpliendo con los umbrales establecidos en el algoritmo de origen. Para su detección se utiliza un algoritmo contextual que compara la temperatura de brillo conjunta de un pixel candidato y sus vecinos, con valores umbrales típicos de incendios en las bandas de  $4\ \mu\text{m}$  -  $11\ \mu\text{m}$  (Giglio et al. 2003). El foco de calor se reporta como un punto, ubicado al centro de pixel activado. El evento que ocasionó que se active el pixel puede ser un incendio, una quema agrícola, fuegos industriales, volcanes activos u otros. El área quemada visualizada a través de una imagen se conoce también como cicatriz de quema. En la Figura 1 se observa dos imágenes satelitales donde se evidencian cicatrices de quema.

Figura 1: Ejemplo de la cicatriz de quema (color púrpura oscuro). Se observan los focos de calor (puntos amarillos) sobrepuestos a la imagen satelital.

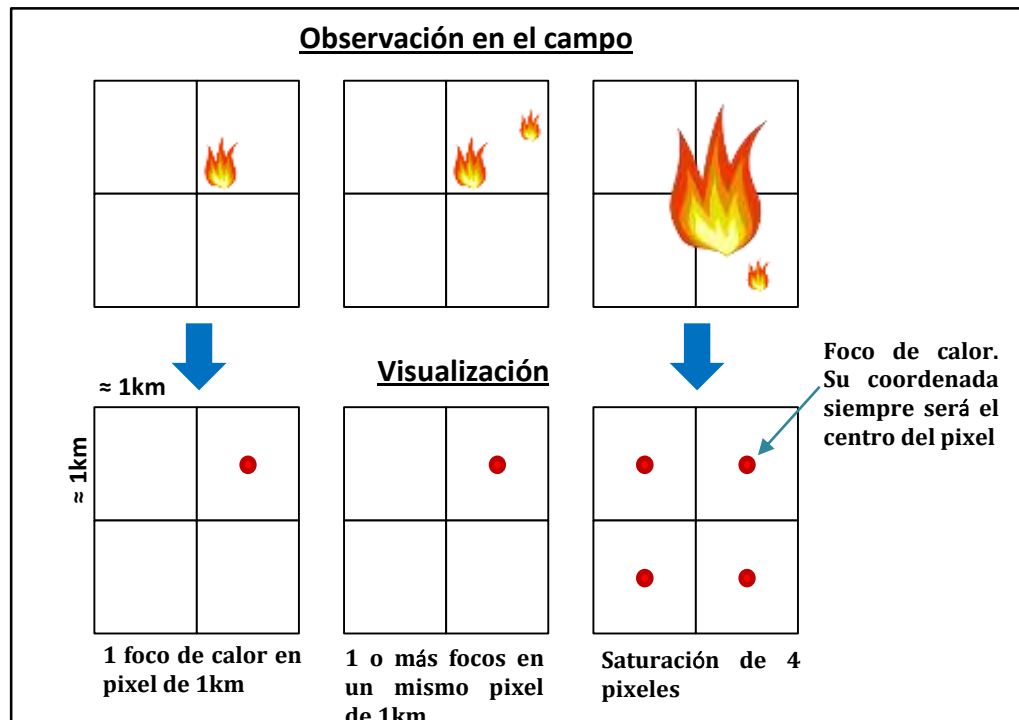


Fuente: (CPTEC(a) 2014)

En la Figura N° 2, se observa una representación teórica de los focos de calor y los eventos que los originan. Como se observa, el foco de calor es siempre el centro del pixel activo, independientemente del lugar dentro del pixel donde se produce el evento. El foco puede estar representando por uno o varios eventos ocurriendo en el mismo pixel; un evento a

gran escala puede activar varios pixeles al mismo tiempo y ser representados, en consecuencia, por varios focos de calor.

Figura 2: Representación teórica de un foco de calor y la cicatriz de quema asociada a él.



Fuente: (EOSDIS s.f.)

## Principio Físico en la detección de Fuego

Los focos de calor se determinan en base a la información que nos brindan los sensores de los satélites, principalmente la banda termal. Esta banda detecta energía electromagnética en las longitudes de onda de  $3.7\mu\text{m}$  a los  $4.1\mu\text{m}$ . Esta energía es relacionada con la temperatura del cuerpo que la emite, de acuerdo a la ley de Wien.<Z

La ley de desplazamiento de Wien establece que la longitud de onda para la cual es máxima la emisión del cuerpo negro es inversamente proporcional a su temperatura absoluta. (Pinilla Ruiz s.f.). Cuando aumenta la temperatura de un cuerpo negro, aumenta la energía radiada por él en general y el pico de la curva de radiación se mueve a longitudes de onda más corta (Olmo y Nave 2012). Por ejemplo, las estrellas azules que alcanzan los 7000 K, tienen su máxima longitud de onda en el espectro azul (427-476 nm); mientras que nuestro sol que bordea los 5000 K tiene su máxima longitud de onda en el espectro amarillo (570-5814 nm). La ecuación que la representa la Ley de Wien es:

$$\lambda_{max} = \frac{c}{T}$$

ó

$$\lambda_{max} \cdot T = 2.898 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$$

Dónde:

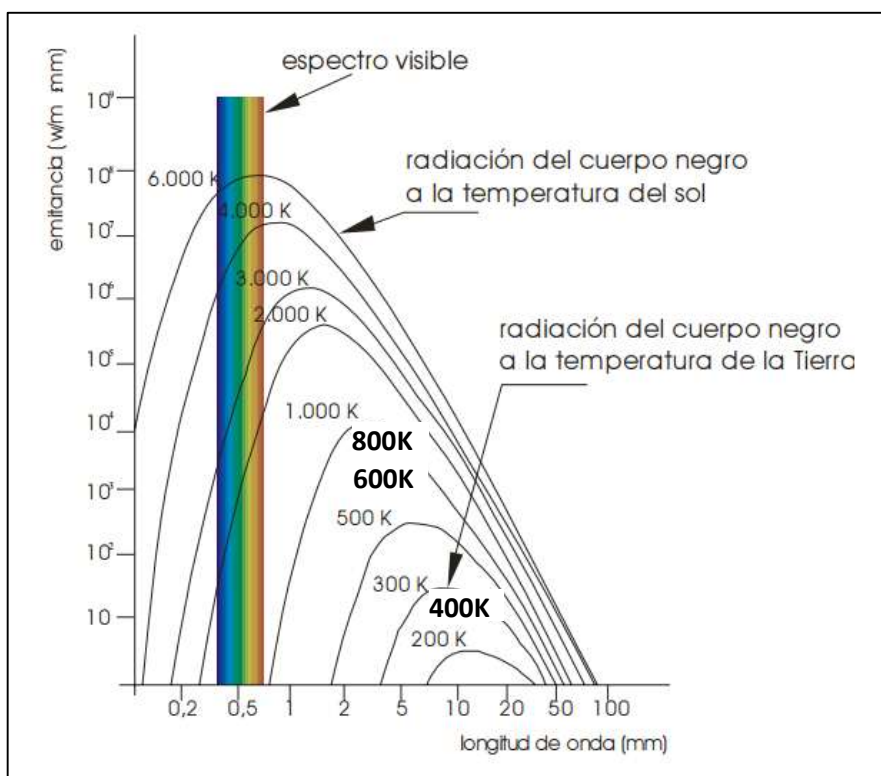
C: constante de Wien

( $2.898 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$ ) en Kelvin por metro.

T: Temperatura en Kelvin

La Figura 3 ejemplifica lo dicho. Se observa que las curvas cuyo pico tienen la mayor temperatura pertenecen a menores longitudes de onda.

Figura 3: Ejemplificación gráfica de la Ley de Wien.



Fuente: (Pinilla Ruiz s.f.)

La ley de Wien es útil para la determinación de la temperatura de cualquier objeto radiante cuya temperatura es muy superior a la de su entorno (Olmo y Nave 2012). Esto lo podemos aplicar a incendios forestales o las quemas agrícolas; así, si se conoce su temperatura, se conocerá también su longitud de onda máxima y viceversa.

### Focos de calor del Sistema INPE de Brasil

Los focos de calor son un producto de imágenes MODIS, NPP y NPP-375, con pixel de resolución 1000m, 750m y 375m respectivamente. Debe entenderse que el fuego no se produjo en la exacta coordenada del punto sino en algún punto a 500m alrededor (salvo excepciones por deformación de pixel).

### 6.3.2 Registro de emergencias

Comprende la información de los reportes de emergencia de eventos recurrentes, registrados en el Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación –

SINPAD. La información proveniente de este medio señala el reporte de emergencia histórica, identificado al incendio como uno de ellos, y su registro a nivel mensual y por departamento.

### **6.3.3 Áreas Quemadas**

Comprende la identificación de las áreas, puntos donde se han producido los incendios, esta identificación se puede realizar a través de un análisis multi- temporal, con la utilización de imágenes de satélite.

## **6.4 Sensores que aportan en el análisis de las variables**

### **6.4.1 Sensor MODIS para la detección del NDVI y el VCI**

Desde finales de la década de los 1980, se llevaron a cabo proyectos creados para el monitoreo de coberturas globales, como el international Geosphere Biosphere Programme (IGBP), que permitió el mapeo de la cobertura terrestre usando los datos del sensor Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR). Este sensor, a bordo de los satélites de la serie NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), fue originalmente creado para el monitoreo climatológico con una resolución de 1.1km.

Sin embargo los datos AVHRR no son los más idóneos para estudios de las coberturas terrestres, porque tienen una baja resolución espacial, el ángulo de barrido es muy amplio (55.4 grados a ambos lados) lo cual implica notables problemas geométricos y radiométricos en las imágenes resultantes, además de los problemas de contaminación atmosférica de los píxeles extremos (Mas, 2011).

No obstante, los datos AVHRR tuvieron resultados suficientemente alentadores para motivar la creación de sensores diseñados específicamente para el monitoreo de las coberturas terrestres, la alta resolución temporal permite abarcar en una sola toma extensas regiones. Dentro de estos proyectos de percepción remota, el más ambicioso es el Earth Observing System (EOS) de la NASA, cuyo principal objetivo es la observación continua de los cambios globales, lo cual incluye el estudio integrado de la atmósfera, de los océanos y de la superficie terrestre (Mas, 2011).

Dentro del proyecto EOS sobresale el sensor llamado Espectroradiométrico para imágenes de Resolución Moderada (MODIS) a bordo de dos plataformas, que por sus características espaciales y espectrales es uno de los más importantes para el monitoreo de los procesos de cambio en la tierra. MODIS fue diseñado por un equipo interdisciplinario de científicos con una vasta experiencia en sensores remotos. Este equipo trabajó por cerca de 10 años para finalmente definir los requisitos para la toma, calibración y procesamiento de los datos.

#### **Especificaciones técnicas del sensor MODIS**

El sensor MODIS se encuentra a bordo de los satélites Terra o EOS-AM (lanzado en diciembre de 1999) y Aqua o EOS-PM (lanzado en mayor de 2002). La órbita de ambas

plataformas es helio-sincrónica con una inclinación de y una altitud media de 708 y 705 km respectivamente. Terra está programada para pasar de norte a sur cruzando el ecuador a las 10:30 am en su órbita descendente, mientras que Aqua pasa de sur a norte sobre el ecuador a la 1:30 pm.

El instrumento MODIS cuenta con una alta sensibilidad radiométrica (12 bits) en 36 bandas espectrales, en un rango de longitud de onda que va de 405 – 13485 nm (Tabla 1). Las primeras 19 bandas están posicionadas en la región del espectro electromagnético situado entre 0.405µm y 2.155 µm. Las bandas de la 1 a la 7 son útiles para las aplicaciones terrestres (Figura 1); las bandas 8 a la 16 para las observaciones oceánicas y las bandas 17 a la 19 para las mediciones atmosféricas. Las bandas 20 a la 36, cubren la porción del infrarrojo térmico del espectro de (3.660µm - 14.385µm).

Tabla 1. Bandas del sensor MODIS

Uso principal	Banda	Ancho de banda (nm)
Límites de Tierra/Nubes/Aerosoles	1	620-670
	2	841-876
Propiedades de Tierra/Nubes/Aerosoles	3	459-479
	4	545-565
	5	1230-1250
	6	1628-1652
	7	2105-2155
Color del océano/fitoplancton/bioquímica	8	405-420
	9	438-448
	10	483-493
	11	526-536
	12	546-556
	13	662-672
	14	673-683
	15	743-753
Atmosférica Vapor de agua	16	862-877
	17	890-920
	18	931-941
Temperatura de la Superficie/nubes	19	915-965
	20	3.660-3840
Temperatura Atmosférica	21	3.929-3.89
	22	3.929-3.989
	23	4.020-4.080
	24	4.433-4.498
Nubes Cirrus Vapor de agua	25	4.482-4.549
	26	1.360-1.390
Propiedades de las nubes	27	6.535-6.895
	28	7.175-7.475
	29	8.400-8.700
Ozono	30	9.580-9.880
Temperatura de la superficie/nubes	31	10.780-11.280
	32	11.770-12.270
Altitud de las nubes	33	13.185-13.485
	34	13.485-13.785



	35	13.785-14.085
	36	14.085-14.385

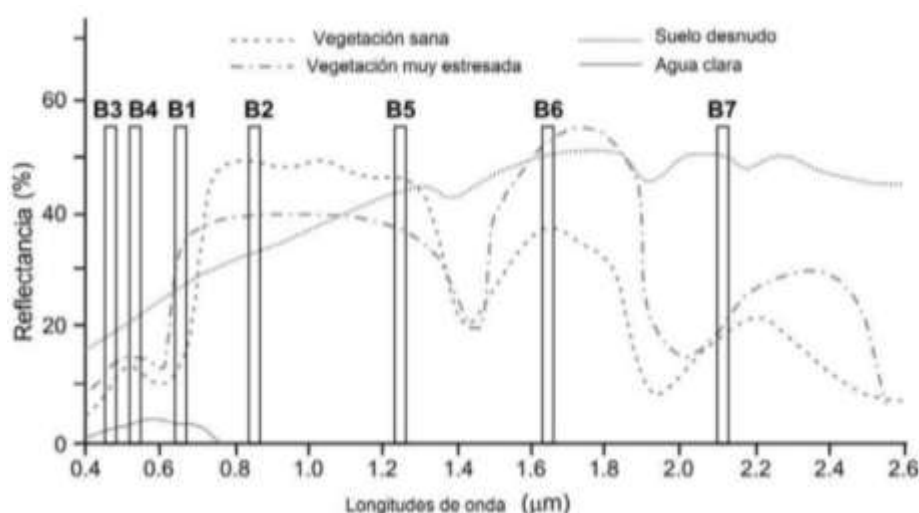


Figura 1. Longitud de onda de las primeras 7 bandas del sensor MODIS (Mora, 2010)

#### Deformaciones relacionadas con el barrido (ángulo de vista)

Debido al procedimiento de barrido mediante el cual el sensor MODIS captura los datos de la superficie terrestre, se produce una deformación de la imagen resultante (Figura 2). Mientras que los píxeles que se encuentran en la vertical del sensor (al nadir en un ángulo cenital) presenta deformaciones mínimas, el campo instantáneo de vista del sensor aumenta en los extremos de la imagen llegando a tener una deformación de 5 veces el tamaño del píxel en el eje Y y dos en el eje X. Estas deformaciones se conocen con el efecto Bowtie, que consiste en la presencia de líneas repetidas cerca de los bordes de las imágenes MODIS. No obstante, existen programas para corregir este defecto, pero los píxeles localizados en los bordes de la imagen deben ser empleados con cautela.



Figura 6. Deformaciones relacionadas con el angulo de barrido (Mora, 2010).

El resumen de las características técnicas del sensor MODIS se muestra en la Tabla N° 2.

Tabla 6. Especificaciones técnicas del sensor MODIS

<b>Orbita</b>	Altitud: 708 km (Terra) y 705 km (Aqua), pasando en el ecuador a 10: 30 am, nodo descendente (Terra) y a la 1:30 pm, nodo ascendente (Aqua), heliosíncrona, casi polar, circular.
<b>Tasa de escaneo</b>	20.3 rpm, ortogonal a la órbita
<b>Dimensiones de la franja escaneada</b>	2.330 km (ortogonal) por 10 km (a lo largo de la órbita, al nadir)
<b>Telescopio</b>	17.78 cm de diámetro con planos de desvió.
<b>Tamaño</b>	1.0 x 1.6 x 1.0 m
<b>Peso</b>	228.7 kg
<b>Poder</b>	162. 5 W (promedio orbital)
<b>Tasa de transferencia de datos</b>	10.6 Mbps (pico); 6.1 Mpbs (promedio orbital)
<b>Resolución radiométrica</b>	12 bits
<b>Resolución espacial</b>	250m (bandas 1-2) 500m (bandas 3-7) 1000m (bandas 8-36)
<b>Diseño de vida útil</b>	6 años

#### Niveles de procesamiento

Los productos MODIS son divididos en cinco niveles (0-4) en función del grado de procesamiento realizado.

- **Nivel 0.** Son los datos brutos sin ningún tratamiento, solo los artefactos de comunicación han sido eliminados, como por ejemplo los paquetes de sincronización

y los encabezados de comunicación entre el satélite y la estación de recepción (Mas, 2011).

- **Nivel L1.** Son los datos de geolocalización (identificados como MOD03) que contienen coordenadas geodésicas, información sobre la elevación del terreno, máscara de tierra/ agua, ángulo de elevación, cenit, azimut del satélite y del sol (Mas, 2011).
- **Nivel 1A.** Son los productos utilizados para la geolocalización, la calibración y el procesamiento. Contienen los niveles de radiancia (MOD01) de las 36 bandas, junto con datos auxiliares del sensor y del satélite como coeficientes de calibración radiométrica y corrección geométrica, parámetros de georreferenciación (efemérides de la plataforma) (Mas, 2011).
- **Nivel 1B.** son los productos que contienen las radiancias calibradas y con geolocalización (MOD02) para las 36 bandas generadas por el nivel 1A. Es por lo tanto una imagen radiométricamente corregida y calibrada a unidades físicas (Mas, 2011).
- **Nivel L2G.** Son los productos que contienen variables geofísicas proyectadas en una malla conforme. Los datos adquiridos durante un periodo fijo de tiempo (12 o 24 horas) son agrupados en una cuadrícula de 1,200 x1,200 km, llamado *tile en una proyección sinusoidal de igual área* (Mas, 2011).
- **Nivel L2.** Son los productos que contienen variables geofísicas. Estos productos se generan a partir del producto nivel L1B aplicando correcciones atmosféricas y algoritmos bio-ópticos (Mas, 2011).
- **Nivel 3.** Son productos de valor agregado derivados de variables geofísicas mapeadas. En algunos casos, se realiza un remuestreo a una menor resolución espacial que las bandas originales y se elaboran compuestos de intervalos de tiempo establecido (1, 8, 16 y 30 días). Algunos productos de nivel 3 son reflectancia (MOD09), índices de vegetación (MOD13), temperatura y emisividad de la superficie terrestre (MOD11) y puntos de calor e incendios (MOD14) (Mas, 2011).
- **Nivel 4.** Son los productos generados por la incorporación de los datos MODIS en modelos para así estimar variables geofísicas. Estos productos se generan usando productos nivel L2 y datos auxiliares. Algunos ejemplos de estos productos que se presentan en el capítulo siguiente son el índice de área foliar / fracción de radiación activa fotosintética (MOD15), las coberturas del suelo (MOD12) y la producción primaria (MOD17) (Mas, 2011).

### Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

El NDVI es diseñado para monitorear la biomasa activa fotosintética (Tucker, 1979) y hace uso de la reflectancia fuerte del infrarrojo cercano (NIR, TM (0.76–0.90 $\mu$ m), ETM+ (0.77–0.90 $\mu$ m)) y sus distintas diferencias en el espectro rojo (RED, TM/ETM+ (0.63–0.69 $\mu$ m)) (Schultz et al., 2016). Altos valores de NDVI está relacionado a plantas saludables, mientras que bajos valores de NDVI (Eq. 1) conducen a una ausencia o baja cantidad de cobertura vegetal. Este índice fue exitosamente usado en mucho estudios relacionados al monitoreo de la cobertura vegetal y otros (Verbesselt et al., 2010, 2012; DeVries et al., 2015).

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1)$$

### **Vegetation Contidion Index (VCI)**

El VCI fue derivado del NDVI y fue creado para separar la componente climática relacionada con el NDVI de factores ecológicos. Refleja la variabilidad espacial y temporal de la vegetación y corresponde a un ajuste del NDVI entre su máximo y mínimo multianual (Kogan, 1990).

El VCI es un pixel normalizado del NDVI que es útil para hacer una evaluación relativa de cambios en la señal del NDVI dejando fuera la contribución local de fuentes geográficas a la variabilidad espacial del NDVI. El VCI es calculado como:

$$VCI_i = 100 \frac{NDVI_i - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \quad (2)$$

Donde  $NDVI_i$  representa el valor actual,  $NDVI_{max}$  y  $NDVI_{min}$  expresan el máximo y el mínimo observado en años anteriores.

#### **6.4.2 Sensores utilizados para la detección de focos de calor**

Se utilizan todos los satélites que tienen sensores ópticos que operan en la banda termal media de 4µm. Los sensores actuales utilizados para focos de calor en Perú son: AVHRR de los satélites polares NOAA, MODIS de los satélites polares de TERRA y AQUA, GOES Imager de los satélites geoestacionarios GOES y el sensor VIIRS del nuevo satélite Suomi-NPP.

Nombre del portal	Link
Monitoramento de Queimadas e Incendios (monitoreo de quemadas e incendios)	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (Brasil) <a href="http://www.inpe.br/queimadas/">http://www.inpe.br/queimadas/</a>

En la Figura 4 se muestra la Plataforma de Monitoreo de Quemadas e Incendios, donde encontraremos el espacio para descarga de focos de calor de Quemadas – INPE. <http://www.inpe.br/queimadas/>

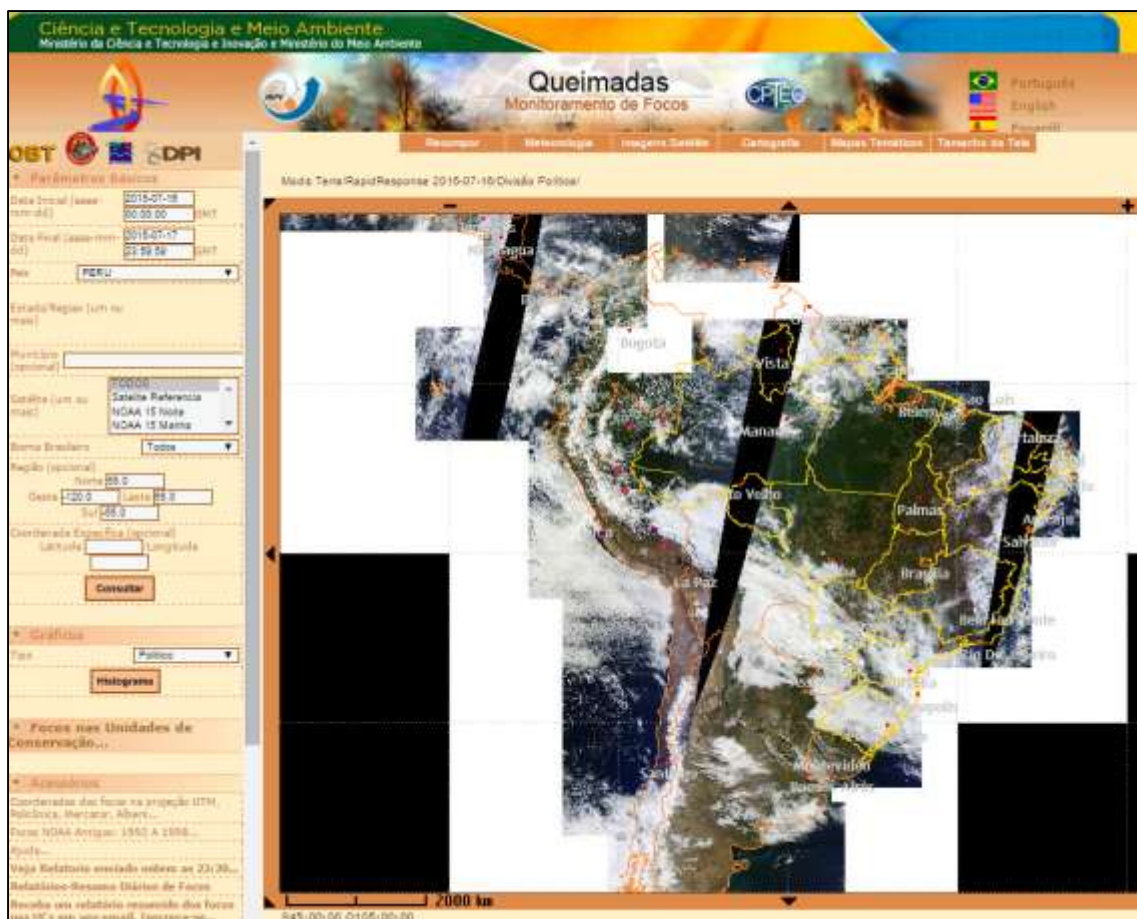


Figura 5: Plataforma de Monitorio de Queimas e Incendios

### Tamaño mínimo del área de quema detectada

Si estamos trabajando con imágenes MODIS o NOAA, el pixel activo tendrá 1 km<sup>2</sup> de área. Si se trabaja con GOES, esto aumenta a 9 km<sup>2</sup>. Esto significa que en alguna parte de ese pixel ocurrió el evento detectado por el pixel, pero de ninguna manera significa que el evento abarca toda el área del pixel.

Estudios de validación de campo del INPE (Morelli 2014) en Brasil, indican que el área de fuego mínima que hace que un pixel se active varía según el satélite de detección. Para los de órbita polar (NOAA a 800km de distancia de la tierra y TERRA y AQUA a 730 km), un frente de fuego con cerca de 30 m de extensión por 1 m de ancho, puede ser detectado. Mientras que en los satélites estacionarios el área mínima puede llegar a ser el doble o triple. En la Figura 5 se muestran fotografías de las pruebas de validación realizadas por el INPE en conjunto con IBAMA.





*Figura 5: Pruebas de validación realizadas por INPE/IBAMA el 27 y 28 de setiembre de 2012.*

*Fuente: (CPTEC(a) 2014)*

NASA (EOSDIS s.f.), indica que el tamaño mínimo de fuego detectable está en función muchas variables (ángulo de escaneo, bioma, posición del sol, temperatura de la superficie de la tierra, cobertura de nubes, humo, dirección del viento, etc). Normalmente, MODIS detecta fuegos de 1000m<sup>2</sup> (0.1ha, un poco más grande que un pixel de Landsat), aunque en buenas condiciones de observación, se puede detectar fuegos de hasta 100m<sup>2</sup>.

#### **6.4.3 Sensores para obtención del mapa de Pendiente**

Los Modelos de Elevación Digital están a disposición gracias al Ministerio de Economía, Comercio e Industria (METI) de Japón y la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio de Estados Unidos (NASA) que conjuntamente pusieron a disposición el Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital Elevation Model Versión 2 (GDEM V2) el 11 de octubre del año 2011 (ASTER, 2017). Información que puede descargarse del Geoservidor del Ministerio del Ambiente..

La versión GDEM V2 añade 260 000 estéreopares adicionales, mejorando la cobertura y reduciendo los artefactos. El algoritmo de la producción refinada proporciona una mejor resolución espacial, una mayor precisión horizontal y vertical con azulejos de 30m.



#### 6.4.4 Sensores para el análisis de la temperatura

La temperatura de superficie de suelo lo podemos obtener de los productos MOD11 del sensor MODIS. Estos brindan estimaciones de la temperatura y de la emisividad diurna y nocturna de las coberturas terrestres. La temperatura se mide en grados Kelvin al contacto entre la cobertura y la atmósfera. La emisividad, es un numero adimensional igual al cociente entre la radiación emitida por un objeto y un cuerpo negro a la misma temperatura (Mas, 2011).

El algoritmo utilizado permite estimar la emisividad y la temperatura a partir de un par de imágenes diurnas y nocturnas tomadas en condiciones de cielo despejado utilizando 7 bandas desde el infrarrojo medio y térmico (bandas 20, 22, 23, 29 y 31-33) en cualquier tipo de cobertura de suelo (Wan & Li, 1997).

Los productos MOD11 son producidos con una resolución espacial de 1000m con base diaria y cada 8 días (MOD11A1 y MOD11A2).

Las características técnicas se muestran en el cuadro N° 04

**Cuadro N° 04** Productos de temperatura y emisividad (Adaptado de Mas (2011)).

Clave	MOD11_L2	MOD11A1	MOD11B1	MOD11A2	MOD11C1	MOD11C2	MOD11C3
Plataforma	Terra, Aqua	Terra, Aqua	Terra, Aqua,	Terra, Aqua	Terra, Aqua	Terra, Aqua	Terra, Aqua
Resolución temporal	Escena	Diario	Diario	8 días	Diario	8 días	mensual
Resolución espacial	1000m	1000m	6000m	1000m	0.05°	0.05°	0.05°
Extensión espacial	Escena	Tile	Tile	Tile	CMG	CMG	CMG
Nivel	L2	L3	L3	L3	L2	L3	L3
Versión	5	5	5	5	5	5	5
Fase de validación	2	2	2	2	2	2	2
Tamaño del archivo (MB)	6	4	0.4	5	50	70	80
Numero de capas	9	12	18	12	16	17	17
Capas más importantes	LST (temperatura)						

#### 6.4.5 Sensores para el análisis de la precipitación

La misión TRMM (Por sus siglas en inglés: “Tropical Rainfall Measurement Misión”) fue creada en noviembre de 1997 para cubrir los trópicos. Existen diferentes algoritmos que usan las imágenes provenientes de TRMM y uno de ellos es el TRMM 3B43 versión 7 que combina los resultados de varios sensores. El algoritmo 3B43 se ejecuta una vez al mes produciendo la mejor estimación de intensidad de precipitación con el menor error mínimo cuadrático (Benigno, 2016). Las estimaciones de precipitación de sensores infrarrojos de alta calidad con resolución de 3 horas son acumuladas mensualmente y luego se combinan con los datos de estaciones pluviométricas para un ajuste por sesgo a gran escala. Esta combinación con los datos pluviométricos se realiza con el método de *Inverse Error Variance Weighting* (Huffman et al., 2007). Sin embargo, después de 17 años de recopilación pluviométrica, los instrumentos de TRMM se apagaron el 8 de abril del 2015. Con el mismo objetivo que TRMM llega GPM (Global Precipitation Measurement) que es una misión internacional constituida por una red de satélites que proporciona la nueva generación de productos de medición de lluvia y nieve. GPM fue lanzado por la NASA y la JAXA (Japanese Aerospace Exploration) el 27 de febrero del 2014.

GPM está equipado con un sensor de lluvia activo llamado Dual-frequency Precipitation Radar (DPR) y un sensor de lluvia pasivo con canales de alta frecuencia llamado GPM Microwave Imager (GMI) que mejoran las estimaciones de lluvia ligera y nieve, eventos que otros satélites son incapaces de medir (Sharifi et al., 2016).

#### 6.4.6 Sensores para el análisis de vientos

La información de viento puede obtenerse a través del satélite ASCAT, disponible mediante el enlace <http://cersat.ifremer.fr/data/products/catalogue>, este sistema se actualiza diariamente y tiene cobertura global, cubriendo la zona oceánica y costera a una resolución espacial de aproximadamente 25 x 25 km (tanto en longitud y latitud).

El escaterómetro ASCAT del Instituto de Investigación Francés para la Exploración del Mar (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer/IFREMER, según sus siglas en francés), mide la rugosidad del mar y a partir de ella calcula la velocidad y la dirección del viento a una altura promedio de 10 metros sobre la superficie del mar.

El satélite Aeolus cuyo lanzamiento está previsto para finales del 2017, proporcionará información de vientos, este satélite de 1,7 toneladas de peso, diseñado y construido por Airbus Defence and Space, incorpora el instrumento LIDAR (detección y localización mediante ondas luminosas, por sus siglas en inglés) denominado Aladin, que utiliza el efecto Doppler para determinar la velocidad del viento a diferentes alturas.

Aladin emite un potente impulso de luz ultravioleta hacia la Tierra a través de la atmósfera y recoge la luz retrodispersada utilizando un telescopio de 1,5 metros de diámetro. A continuación, unos receptores altamente sensibles analizan esta luz a bordo para calcular el efecto Doppler de la señal procedente de capas a distintas altitudes de la atmósfera.

#### 6.4.7 Sensores para el análisis de Biomasa

La biomasa está directamente relacionada con la producción primaria neta. La producción primaria bruta de un ecosistema es la energía total fijada por fotosíntesis por la vegetación. La producción primaria neta (o fotosíntesis neta) es la energía fijada por fotosíntesis menos la energía empleada en la respiración, es decir, la producción primaria bruta menos la respiración.

Cuando la producción primaria neta es positiva, la biomasa de las plantas del ecosistema va aumentando. Es lo que sucede, por ejemplo, en un bosque joven en el que los árboles crecen. Cuando el bosque envejece, sigue haciendo fotosíntesis pero toda la energía que recoge se emplea en la respiración, la producción neta es nula y la masa vegetal ya no aumenta.

El sensor MODIS pone a disposición el producto MOD17 como una estimación de la producción primaria bruta y neta con MOD17A2, MOD17A3 y MOD17A3H. Estos productos están cada 8 días a una resolución espacial de 1km, 1km y 500m respectivamente. La tabla 3 muestra las características técnicas de MOD17A2.

**Tabla 2.** Características de MOD17A2 (Adaptado de Mas (2011)).

Clave	MOD17A2
Plataforma	Terra, Aqua
Resolución temporal	8 días
Resolución espacial	1000m
Extensión espacial	Tile
Nivel	L4
Versión	5
Fase de validación	Tamaño del archivo
Tamaño de archivo	0.2
Numero de capas	3
Capas más importantes	GPP_1km

### 7. Identificación del ámbito piloto

Analizar las variables que intervendrán en el modelo implican una actividad ardua, motivo por el cual se trabajará en un ámbito piloto para poder ver la efectividad del modelo planteado. Al respecto, se plantea dos áreas de trabajo, con la opción de elegir una de ellas, en base a la información disponible, siendo el departamento de Cusco y el segundo el departamento de Lambayeque.

Ambos departamentos, presentan reportes históricos de emergencias en cuanto a incendios sobre la cobertura vegetal, motivo por el cual su elección.

## Mapa de Ubicación del Ámbito Piloto



Fuente: Elaboración propia

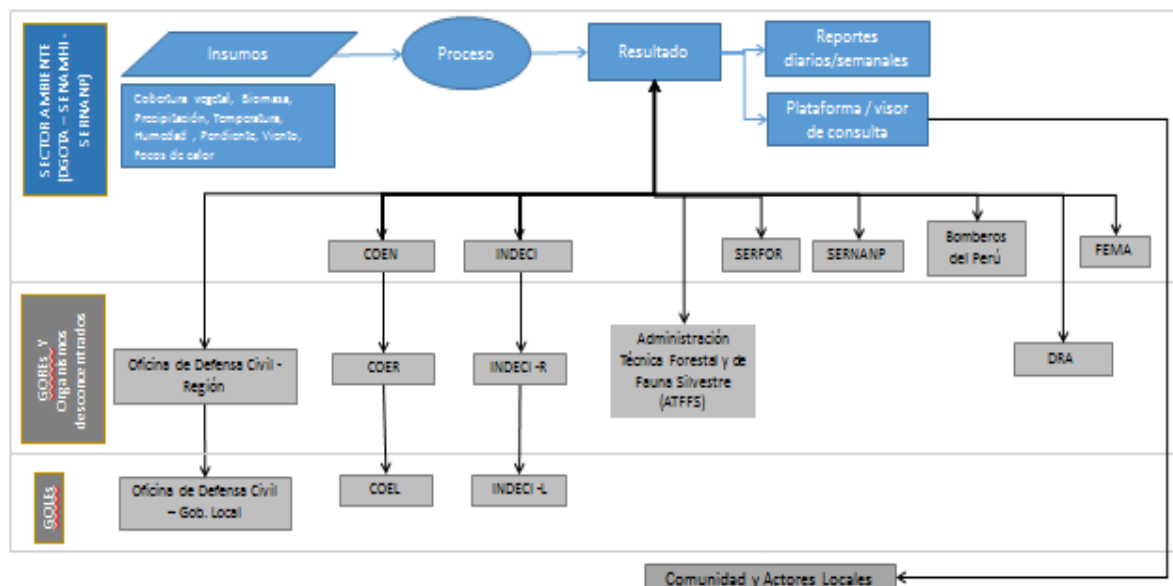
## 8. Sistema Predictivo de Incendios

El sistema predictivo de incendios implica la consideración de todos los actores que intervienen ya sea por su rol/función y/o implicancia en el tema de incendios sobre la cobertura vegetal. Este sistema se abordará por un lado desde la generación de información y por otros aquellos que consuman el servicio. Para ello se debe tener una plataforma donde se vuelque la información generada en tiempo oportuno y este a su vez sea consumido por los actores que requieren el servicio.

### 8.1 Mapa conceptual del sistema predictivo de incendios

Los actores que intervienen directa e indirectamente en el sistema predictivo de incendios están representados a través de un esquema, donde, un grupo de ellos son generadores de información, representados por símbolos de color azul y otro grupo aquellos que vienen a consumir el servicio, representado por símbolos de color plomo. Las líneas de flujo, indican

el sentido del flujo del proceso; siendo así que, gran parte de ellos consumen el servicio y a la vez proveerán información estadística.



Fuente: Elaboración propia

## 8.2 Actores que intervienen directa e indirectamente en los procesos de gestión de riesgos de desastres vinculados al peligro de incendios forestales.

La generación de información se dará por parte del sector ambiente, siendo la Dirección General de Ordenamiento Territorial Ambiental – DGOTA, quien provea la información de las variables físicas, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI quien provea la información de las variables meteorológicas y el Servicio Nacional de Áreas Naturales protegidas por el Estado – SERNANP, quien provea la información de los registros históricos de ocurrencia de incendios sobre áreas naturales protegidas. .

**DGOTA:** Dirección General de Ordenamiento Territorial Ambiental – MINAM, entidad que tiene dentro de su Plan operativo Institucional – 2017, el desarrollo metodológico del sistema predictivo de incendios, asimismo en el capítulo de antecedentes se puede apreciar toda la normativa que señala la implicancia de la dirección en la temática de incendios.

**SENAMHI:** Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – MIMAM, entidad que tiene programado dentro su plan operativo Institucional – 2017, el desarrollo de las condiciones favorables para la ocurrencia de incendios forestales.

**SERNANP:** Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado – MINAM, entidad que viene registrando la ocurrencia de incendios sobre las áreas naturales protegidas.

Los consumidores del servicio vienen a ser todos aquellos actores que necesitan la información para poder actuar en sus múltiples tareas y/o funciones de prevención, fiscalización, mitigación, supervisión, procesos reactivos, entre otros. Asimismo, muchos de

ellos, proveerán de información al sistema, sobre todo lo relacionado a los registros de ocurrencias, impactos e implicancias de los incendios sobre la cobertura vegetal.

**SERNANP:** A través de sus guardaparques bomberos forestales actúan en la prevención y control de incendios, para este accionar necesitan tener información confiable para poder planificar y elaborar medidas preventivas.

**DRA:** Las Direcciones Regionales Agrarias, vienen sensibilizando a los agricultores y comuneros sobre la importancia de la protección de los bosques y medio ambiente, brindando charlas y capacitaciones sobre el control y prevención de incendios forestales, además de dar a conocer las normas y sanciones que existen para aquellos que atentan contra el medio ambiente y la biodiversidad.

**FEMA:** Fiscalía Especializada en Materia Ambiental (FEMA), con competencia supranacional, fueron creadas para investigar los delitos en materia ambiental. Tiene como ejes principales de prevención y precautoriedad, así como el trabajo coordinado y estratégico con las demás instituciones públicas competentes. Las fiscalías especializadas tendrán competencia para prevenir e investigar los delitos previstos en el Título XIII del Código Penal, asimismo tendrán como finalidad principal la defensa del medio ambiente y los recursos naturales, considerando que constituyen un derecho fundamental el tener un ambiente sano y saludable. Las fiscalías especializadas en materia ambiental funcionarán en la sede central de los diversos distritos judiciales. Está a cargo de un Fiscal Provincial especializado en la materia.

**SERFOR:** Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. De acuerdo a la Ley Forestal y de fauna silvestre, en su Artículo 24 se establece que esta institución aprueba el Plan Nacional Forestal y de Fauna Silvestre en el que se toma en cuenta – entre otros aspectos – la prevención y control de incendios forestales.

**ATFFS:** Administraciones técnicas forestales y de fauna silvestre, órganos desconcentrados del SERFOR, viene coordinando con los diferentes actores locales, para actuar frente al peligro de incendios,

**Cuerpo de Bomberos del Perú:** es la autoridad competente en materia de prevención, control y extinción de incendios. Brinda sus servicios de manera voluntaria a toda la comunidad debido a su vocación de servicio, sensibilidad social, entrega y disciplina. El ámbito de acción del CGBVP abarca todo el territorio nacional.

**COE:** Es la organización funcional que adopta el comité de Defensa Civil para Administrar la Emergencia y realizar la inmediata toma de decisiones centralizando la información de los daños producidos por las emergencias. Tiene como funciones: atender las necesidades básicas de los damnificados, evaluar los daños y determina las necesidades de la población damnificada, racionaliza y distribuye los recursos logísticos, mantiene comunicación permanente con las direcciones regionales de defensa civil y con el INDECI, evacua a la población a zonas seguras ante peligros inminentes, solicita apoyo técnico y logístico complementario si el caso lo requiere. De manera descentralizada se tiene al COER, COEL.



*INDECI:* Instituto Nacional de Defensa Civil, es un organismo público ejecutor que conforma el SINAGERD, es el responsable técnico de coordinar, facilitar y supervisar la formulación e implementación de la política Nacional y el Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, en los procesos de preparación, respuesta y rehabilitación.

*Gobiernos Regionales:* De acuerdo a la Ley orgánica de Gobierno regionales, dentro de la Gerencia de recursos naturales y gestión del medio ambiente debe atender las funciones específicas sectoriales en materia de áreas protegidas, medio ambiente y defensa civil.

*Gobiernos Locales:* De acuerdo a la Ley Orgánica de Municipalidades, debe ...

## **9. Conclusiones**

El modelo predictivo de incendios, prevé la utilización de variables meteorológicas, siendo estas dinámicas (temperatura, humedad relativa, precipitación y viento), y las variables físicas – biológicas (cobertura vegetal, biomasa y pendiente), que vienen a ser las variables “estáticas”. La obtención de esta información, se encuentran en dos instituciones que pertenecen al mismo sector, siendo la Dirección General de Ordenamiento Territorial Ambiental y el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - SENAMHI, ambas instituciones del sector ambiente trabajarán en un sistema robusto que proporcione información acorde a la realidad territorial nacional, siendo así que su implicancia tiene una intervención nacional.

Se ve por conveniente considerar al Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado - SERNANP, como un actor clave e importante dentro de los actores que aportan en el modelo predictivo de incendios, a través del registro histórico de incendios que vienen registrando sobre las áreas naturales protegidas.

Los resultados del procesamiento serán visualizados a través de una plataforma web, donde la información será de libre acceso para los diferentes actores involucrados directos e indirectamente en la temática de incendios. Previo a ello se trabajará en una articulación interinstitucional con todos los actores involucrados, considerando los tres niveles de gobierno y sociedad civil en el marco de sus funciones.

## **10. Recomendaciones**

Se recomienda considerar la plataforma web, como un servicio de vigilancia y alerta temprana de las condiciones favorables para la ocurrencia de incendios sobre la cobertura vegetal que afecta los ecosistemas y usos de la tierra.

Una vez se tenga el piloto, desarrollado por las instituciones generadoras de información se debe convocar a reuniones de trabajo con los actores involucrados directa e indirectamente con la temática de incendios, para articular el proceso con todos los implicados.

El sistema que se pretende desarrollar debe tener continuidad en el tiempo, motivo por el cual se le debe asignar recursos logísticos y humanos.

Se debe seguir trabajando en una mejora continua de la metodología, para llegar a un alto grado de confiabilidad de la información.

Capacitar al recurso humano en la temática de incendios, en el marco de la Organización de la Cooperación – OTCA.

## 11. Referencias Bibliográficas

- Benigno E. (2016). "Evaluación de imágenes satelitales de precipitaciones GPM (Global Precipitation Measurement) a escala mensual para el Azuay. Quito, Ecuador.
- CONABIO, C. N. (s.f.). *Sistema de Alerta de Incendios*. (Mexico) Recuperado el 27 de marzo de 2015, de Preguntas Frecuentes: <http://incendios1.conabio.gob.mx/>
- CPTEC(a), C. d. (2014). Curso Sobre el Uso de Datos de Monitoreo Satelital de Quemas y introducción a las Herramientas de Geoprocesamiento. [diapositivas]. Sao Paulo, Brasil: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- CSA-UPCH, C. p. (noviembre de 2010). *Observatorio de Fuego*. Recuperado el 14 de mayo de 2015, de Quemas agropecuarias e Incendios Forestales - ¿Qué se pierde y qué se gana?: <http://www.csa-upch.org/pdf/Boletin-Quemas.pdf>
- DeVries, B., Verbesselt, J., Kooistra, L., & Herold, M. (2015). Robust monitoring of smallscale forest disturbances in a tropical montane forest using Landsat time series. *Remote Sensing of Environment*, 161, 107-121.
- EOSDIS, E. O. (s.f.). *EARTHDATA*. (National Aeronautics and Space Administration (NASA) - Estados Unidos) Recuperado el 10 de 04 de 2015, de Frequently Asked Questions: <https://earthdata.nasa.gov/faq#ed-firms-umd>
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E., Gao, X., Ferreira, L. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance. *ELSEVIER - Remote Sensing of Environment*, 195-213.
- Huffman, G. J., Adler, R. F., Arkin, P., Chang, A., Ferraro, R., Gruber, A., Janowiak, J., McNab, A., Rudolf, B. and Schneider, U. (2007). The Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Combined Precipitation Dataset,. *Bull. Am. Meteorol Soc.*, 78(1), 5-20
- John A. Richards, X. J. (2006). *Remote Sensing Digital* (4th Edition ed.). Germany: Springer.
- Kogan, F. (1990). Remote sensing of weather impacts on vegetation in nonhomogeneous areas. *International Journal of Remote Sensing*, 11, 1405-1419.
- Mas, J.-F. (2011). *Aplicaciones del sensor MODIS para el monitoreo del territorio* (Primera edición ed.). Mexico D.F: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Mora, T. J. (2010). *EVALUACIÓN DE IMÁGENES DE BAJA RESOLUCIÓN ESPACIAL BAJO DIFERENTES METODOLOGÍAS PARA EL MONITOREO Y CARTOGRAFÍA DE LA COBERTURA DEL SUELO EN MÉXICO*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Morelli, F. (diciembre de 2014). Curso Sobre el Uso de Datos de Monitoreo Satelital de Quemas. [entrevista]. Belem do Pará, Brasil.

- Olmo, M., & Nave, C. R. (2012). *HyperPhysics*. (Georgia State University - Estados Unidos) Recuperado el 10 de abril de 2015, de Ley de Desplazamiento de Wien: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/wien.html>
- OTCA, O. d. (2015). Seminario Regional sobre incendios forestales para países miembros de la Otca. Cuzco-Perú: Diciembre 09-12.
- Pinilla Ruiz, C. (s.f.). *Leyes de la radiación - lección 2*. (Universidad de Jaen, España) Recuperado el 11 de noviembre de 2015, de Teledetección - Ingeniería Técnica en topografía: <http://www.ujaen.es/huesped/pidoceps/tel/archivos/2b.pdf>
- Radiometer, A. A. (s.f.). Recuperado el 15 de 06 de 2017, de <https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>
- Schultz, M., Clavers, J.G.P.W., Carter, S., Verbeselt, J., Avitabile, V. (2016). Performance of vegetation indices from Landsat time series in deforestation monitoring. *International Journal of Applied Earth observation and Geoinformation*, 52, 318-327.
- Sharifi, E., Steinacker, R., & Saghafian, B. (2016). Assessment of GPM-IMERG and Other Precipitation Products against Gauge Data under Different Topographic and Climatic Conditions in Iran: Preliminary Results. s. *Remote Sensing*, 8(2), 135.
- SIB/APN, S. d. (s.f.). *Sistema de Información de Biodiversidad*. Recuperado el 20 de 12 de 2015, de <http://www.sib.gov.ar/noticia/nueva-herramienta-para-la-deteccion-de-focos-de-calor>
- Tucker, C.J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 150, 127-150.
- Vermote, E., El Saleous, N., & Justice, C. (2002). Atmospheric correction of the MODIS data in the visible to middle infrared: First results. *Remote Sensing of Environment*, 83, 97-111.
- Verbesselt, J., Zeileis, A., & Herold, M. (2012). Near real-time disturbance detection using satellite image time series. *Remote Sensing of Environment*, 114(1), 106-115.
- Wan, Z. and Z.-L. Li. (1997). A physics-based algorithm for retrieving land-surface emissivity. *IEEE Transactions on Geoscience and*, 35(4), 980-996.