

SIMULACIÓN DE INCENDIOS FORESTALES

Trabajo Especial de Licenciatura en Cs. de la Computación

Autora: Noelia Chaves

Directores: Mario Lamfri
Daniel Fridlender



Facultad de Matemática, Astronomía y Física

Universidad Nacional de Córdoba

Argentina

Resumen

Los incendios que han acompañado a la provincia de Córdoba desde hace muchos años son un problema cada vez mas difícil de abordar.

En parte, por la falta de tecnología que ayude a su prevención y lucha.

Proponemos e implementamos un sistema que brinda a los agentes encargados de la prevención y lucha la posibilidad de estudiar la posible propagación del incendio, ya sea en tiempo real o no.

Esta tecnología tiene el impacto de ayudar mediante la agilización del proceso de toma de decisiones, reduciendo así el tiempo necesario para la planificación de la prevención y lucha contra los incendios forestales, disminuyendo costos y permitiendo obtener una visión a futuro de la propagación del siniestro en ciertas condiciones.

Palabras claves: teledetección, modelos matemáticos, Rothermel, CONAE, modelo de combustible, simulación, incendio, propagación de incendio, velocidad de propagación.

I.6 Simulation and Modeling
I.6.3 Applications

Realizacion Conjunta

Este proyecto fue realizado conjuntamente con Pablo Nicoloff.

Organizacion del trabajo

En el capítulo 1 presentamos la motivación que nos impulsó a llevar a cabo nuestro desarrollo.

En el capítulo 2 mostramos los distintos modelos matemáticos para la propagación del incendio, con sus ventajas y desventajas.

Conceptos sobre teledetección y algoritmos relacionados al simulador son presentados en el capítulo 3.

En el capítulo 4 presentamos el diseño en TDN de los módulos principales (con las funciones y procedimientos mas importantes) & GDN.

Un caso de prueba real es presentado en el capítulo 5.

Finalizamos con una conclusión en el capítulo 6.

Y en el apéndice A, están todos los módulos con sus funciones, y procedimientos asociados del sistema.

En el apéndice B, podemos ver el manual del sistema.

En el apéndice C se incluye un ejemplo de corrida, y en el apéndice D se incluye el manual de instalación del sistema.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias al apoyo de varias instituciones y personas.

Reconozco la oportunidad de desarrollar y financiar este proyecto que nos brindó el Director y el Subdirector del Plan Provincial de Manejo del Fuego, el Sr. Marcelo Colombati y el Sr. Diego Concha, particularmente agradezco al Subcoordinador de Prevención Guardaparque Roberto Heredia con quién realizamos estudios de campo, para verificar el funcionamiento correcto del simulador.

En especial le doy las gracias a los directores de esta tesis, Lic. Mario Lamfri y al Dr. Daniel Fridlender, por su apoyo permanente y por haberme guiado con alegría y amistad en esta tesis.

A Pablo Nicoloff, quien fue un maestro para mí, te agradezco por haberme enseñado tantas cosas, en el transcurso de este proyecto. Te dejo mis fuerzas expresadas para que puedas alcanzar esta meta, que sé que si te lo propones la puedes alcanzar.

Al Dr. Marcelo Scavuzzo que se interesó en todo momento dándonos claridad en el tratamiento de imágenes satelitales. Agradezco también al Lic. Martín Bustos, por su ayuda en la arquitectura del simulador.

Al Dr. Marcelo Cabido y al biólogo Marcelo Zack, que nos brindaron la capa de vegetación del norte de la provincia de Córdoba, y explicaciones de la biología regional.

A mis padres, Héctor y Miriam porque creyeron en mí, y por su apoyo durante mi carrera. Porque mis principios son todo lo que ustedes me enseñaron, porque este logro en mi vida no es sólo mío, sino también de ustedes.

A mis hermanos Damián y Celeste, por su ayuda, aportando todo lo que estuviera al alcance de sus manos, muchas cosas gracias a ustedes fueron fáciles.

Esta carrera no podría haber sido tan linda, sin el apoyo de ustedes cuatro, los amo.

A los amigos, amigos en general y a todas aquellas personas que me impulsaron a seguir, dándome palabras de aliento.

A todos, Gracias.

Agradecimientos

Tabla de Contenidos

Tabla de Contenidos	v
1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.1.1. Desarrollo Propio	2
1.1.2. Otros Programas	3
1.1.3. Incendios Forestales en Argentina	4
2. Modelos Matemáticos y Sistemas de Cálculo para la Predicción del Com-	5
portamiento de los Incendios Forestales	
2.1. El Incendio Forestal: Definición y Clasificación	5
2.1.1. Incendios de Subsuelos	5
2.1.2. Incendios de Superficie	6
2.1.3. Incendios de Copas	6
2.2. La modelización matemática de los incendios forestales	7
2.3. El modelo de Rothermel: Descripción detallada	20
2.3.1. Velocidad de Reacción	27
3. Teledetección y Algoritmos involucrados	49
3.1. Introducción	49
3.1.1. Landsat 5	52
3.2. Obtención de la imagen y el dem	53
3.3. Obtención de la capa de vegetación	53
3.4. Preprocesamiento de la imagen	53
3.5. Preprocesamiento de la Capa de Vegetación	55
3.6. Preprocesamiento del Modelo Digital de Elevación (DEM)	55
3.7. Imagen	55

TABLA DE CONTENIDOS

3.7.1. Representación utilizada por SIF_PANO de una IMAGEN . . .	58
3.7.2. Carga de la imagen	60
3.7.3. Optimización del contraste	61
3.7.4. Carga del DEM	63
3.7.5. Carga de la capa de vegetación y Preprocesamiento	65
3.8. Implementación del viento	65
3.9. Implementación del Tiempo	67
3.10. Implementación de los Puntos de Ignición	67
3.11. Algoritmo de Simulación	67
3.12. Funciones de FireLib	71
3.12.1. Velocidad de Propagación sin viento y sin pendiente	71
3.12.2. Velocidad de propagación con viento y pendiente	73
3.12.3. Velocidad de propagación en el azimuth	76
3.12.4. Intensidad de la Línea de Fuego	77
3.12.5. Tabla de las intensidades de la línea de fuego	77
4. Diseño del Sistema	83
4.1. TDN	83
4.2. GDN	112
5. Un caso de prueba real	117
6. Conclusión	123
6.1. Trabajo a Futuro	124
A. Extensión del Diseño del Sistema	125
A.1. TDN	125
B. Manual del Sistema	159
C. Ejemplo de corrida del Sistema	209
D. Manual de Instalación del Sistema	249
Referencias	261

Índice de figuras

2.1. Sección del lecho de combustible, llama y volumen de control	8
2.2. Secuencia en los procesos presentes en la combustión de un sólido . . .	9
2.3. Sistema considerado por Fons	10
2.4. Representación del sistema considerado por Pagni y Peterson.	12
2.5. Sistema con los elementos y variables más importantes en la modelización.	14
2.6. Representación del sistema considerado por Cekirge para la modelización de la transferencia de calor en el frente del incendio.	15
2.7. Resumen de las ecuaciones de modelo de Cekirge.	16
2.8. Representación del sistema idealizado por Albini para su modelización.	17
2.9. Representación del sistema modelado por de Mestre.	18
2.10. Frente circular de un incendio (indicado por el arco MN. La superficie de radiación es supuesta con una forma geométrica fija, de manera que es posible asignarle un factor de vista con respecto al punto P.)	20
2.11. Esquema de la distorsión provocada en el frente de un incendio por el viento o pendiente según el modelo de Rothermel.	42
2.12. Esquema de propagación del principio de Huygens.	42
2.13. Características geométricas de la llama	46
3.1. Resolución espacial del sensor TM	54
5.1. Punto de Ignición del incendio en el 2009, en San Francisco del Chañar	118

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Introducción

1.1. Motivación

La Agencia Córdoba Ambiente cuenta con el Plan Provincial del Manejo de Fuego, éste trabaja en la prevención y lucha contra los incendios forestales, que perjudican a la provincia de Córdoba. Nuestra principal motivación fue la existencia de un simulador de incendios que pudiera ser utilizado fácilmente por cualquier persona que pertenezca a dicho plan; el jefe operativo, el jefe de bomberos, los bomberos, u otro cargo del combate contra el incendio.

La tecnología ayudaría y agilizaría el proceso de toma de decisiones de los agentes encargados del control de incendios. Siendo útil en tácticas de prevención, ataques y planificación de evacuación de personas en áreas con alto riesgo de incendios.

El sistema también permitiría un estudio a posterior al incendio con los datos recogidos del mismo; refinando así el instinto de los encargados del operativo, y quiénes realicen dicho estudio o evalúen los resultados.

Al ser un tema interesante y atractivo para investigar nos motivó a tener objetivos concretos. Como por ejemplo conocer que simuladores existen, los que se usan en la provincia, en el país y en el exterior.

Estudiar los distintos modelos matemáticos existentes que brindan un caudal de información sobre la propagación del incendio en la zona interesada.

Contando con el apoyo de la CONAE; realizamos un seminario abierto al público donde mostramos los distintos modelos disponibles con sus ventajas y desventajas culminando así con la elección del modelo de Rothermel.

Este sistema fue desarrollado como tesis de grado de la carrera Licenciatura en Ciencias de la Computación en la Facultad de Matemática Astronomía y Física (FA-MAF); que pertenece a la Universidad Nacional de Córdoba bajo la tutela del Licenciado Mario Lamfri y el doctor Daniel Fridlender.

1.1.1. Desarrollo Propio

Desarrollamos un simulador de incendios; que permite realizar simulaciones en base a variables de entrada, tales como las 7 bandas de la imagen del satélite Landsat 5 [Lan] [AH], el dem (digital elevation model) y la capa de vegetación de Marcelo Zack y Marcelo Cabido. Estas bandas, el dem y la capa de vegetación están incluidas en el sistema, recortadas por mosaicos en base a la zona disponible de la capa de vegetación.

Una vez cargadas las bandas con sus respectivos headers, se cuenta con las herramientas de visualización de RGB, y los índices NDVI (Normalized difference vegetation index) [Env], NDWI (Normalized difference water index), NDSI (Normalized difference soil index) [TY04] y máscaras de combinaciones en falso color para resaltar distintas características. La descripción de cada una de estas se encuentran en la herramienta “Descripción Máscaras”. Es posible realizar la simulación en la imagen RGB (combinación en color natural), o cualquiera de las 9 máscaras disponibles.

Una vez cargada la capa de vegetación es posible visualizar la clase de vegetación del pixel apuntado por el cursor mediante la herramienta “Referenciar Imagen”.

Otro input es el punto de ignición, o los puntos de ignición ya que es posible situar hasta 20 puntos sobre la imagen a simular. Se cuenta con la herramienta “Ver lista de Puntos”; donde se puede visualizar la lista de puntos de ignición cargados en el sistema, teniendo la opción de borrar uno o todos.

Por último la última variable necesaria para comenzar la simulación es el tiempo de duración de la simulación.

Una vez seteadas todas las variables mencionadas hasta el momento, estamos en condiciones de poder iniciar la simulación.

Pero existen variables adicionales como por ejemplo; el viento (dirección y velocidad del mismo) que puede ser un viento constante o bien un viento que puede variar durante el proceso de simulación; contando con la opción de ingresar cambios en la dirección, velocidad y unidad del mismo en un determinado momento de dicha simulación. El sistema permite hasta un total de 5 de estos cambios en todo el proceso de simulación.

Luego de la simulación se pueden ver las estadísticas con la herramienta “Estadísticas”. De las hectáreas es posible visualizar; el número de hectáreas quemadas por hora, el número de hectáreas quemadas, el número total de pixeles quemados, el promedio de hectáreas quemadas por hora. También es posible visualizar información referida a la intensidad de la llama; intensidad promedio del incendio, altura de la llama por hora de simulación, de la vegetación podemos ver; el número de hectáreas afectadas de acuerdo al tipo de vegetación, y del progreso temporal se cuenta con la información; el número de hectáreas por hora de simulación, el número total de pixeles quemados, el promedio de hectáreas quemadas por hora y el promedio de pixeles quemados por hora.

También luego de realizada la simulación contamos con la herramienta “Visualización”; con la cual podemos ver el dibujo del progreso, el dibujo del progreso temporal y el dibujo de la intensidad de la llama. El dibujo del progreso muestra el progreso del incendio en un tono rojizo transparente, donde se puede ver la imagen de fondo; y éste es el predeterminado durante la simulación.

El progreso temporal dibuja el progreso del incendio en escala de colores, según el tiempo en que se fue quemando la zona; en anillos que representan cada uno dos horas de simulación, la escala se muestra al usar esta herramienta. Y la última herramienta dibuja la altura de la llama; representada por una escala de colores, cuya referencia se desplegará en una nueva ventana con la escala correspondiente.

Antes de la simulación; el simulador cuenta con herramientas que hacen referencia a lo que son algunos de los procedimientos utilizados a la hora de combatir un incendio forestal, ellos son Corta Fuego, Contra Fuego y Avión Hidrante. El primero “Corta Fuego” puede ser utilizado para tratar de detener el frente del incendio, como por ejemplo; la limpieza de vegetación en una franja para evitar que el incendio se propague mas allá. El segundo “Contra Fuego” puede ser utilizado a la hora de detener el avance del incendio, pero con una técnica diferente a la anterior, como por ejemplo; realizar un pequeño incendio tratando de llevarlo en dirección al frente del incendio, entonces de esta forma, al encontrarse éstos dos frentes, el incendio se detiene ya que no encuentra combustible que no se haya quemado. Y el tercero “Avión Hidrante”; sería el accionar de un avión hidrante en la zona del incendio, retardando o apagando por completo el frente del incendio o la zona donde se lo ha utilizado.

1.1.2. Otros Programas

Un modelo de combustible técnicamente incluye todos los inputs de combustibles para el modelo de propagación de fuego de superficie; muchos inputs de combustible no han sido sometidos para ser controlados por el usuario cuando se crea un modelo de combustible tradicional.

Los modelos de combustibles que usa Farsite [Fir]; un simulador de incendios, fueron definidos por Scott y Burgan [SB05]. Ellos tomaron ciertos inputs como constantes para los modelos de EE.UU; como por ejemplo el SAV de 10-hr y 100-hr, que este parámetro depende del modelo de combustible, de los cuáles otros autores como por ej: Rothermel no. Éste parámetro será explicado en mas detalle mas adelante.

Cómo nuestra vegetación es distinta, investigadores de la ciencia del fuego deberían definir nuestros modelos, con sus respectivos parámetros, o si sumáramos ciertos modelos a los ya existentes se deberían definir éstos parámetros, que con nuestra vegetación actualmente no se sabe si serían constantes, o tendrían los valores definidos por Scott y Burgan.

Luego de investigar el desarrollo nacional, provincial llegamos a la conclusión, de cómo la ciencia del fuego es una ciencia nueva y poco desarrollada en nuestro país, nuestro simulador debería quedar abierto a futuras entradas o a la opción de cambiar dichos parámetros; por lo tanto decidimos no usar Farsite.

Otro programa que evaluamos e investigamos para el posible uso total o parcial fue FlamMap; un programa de mapeo y análisis del comportamiento del fuego, que computa potenciales características del comportamiento del fuego (velocidad de propagación, longitud de la llama, intensidad de la línea de fuego, etc) sobre un entero paisaje Farsite, para un clima y condiciones de humedad de combustible constantes, en mapas raster, que pueden ser vistos en FlamMap o exportado para uso en un GIS, imagen o procesador de texto.

Dado que no hay ningún componente temporal en FlamMap, porque éste sólo usa información espacial sobre la topografía y combustibles, para calcular las características del comportamiento del fuego en un instante, decidimos no usarlo.

Es decir FlamMap no simula variaciones temporales en el comportamiento del fuego causadas por el clima y fluctuaciones diurnas; por lo tanto no mostraría variaciones espaciales causadas por “backing” o “flancking” en el comportamiento del fuego.

Y el último programa que encontramos en nuestra investigación, con la intención de usarlo fue Behave Plus [Beha], un programa completo; en el sentido que introduciendo las variables requeridas [Behb] en hojas de cálculo, se pueden calcular las variables de salida y variables intermedias del modelo de propagación matemático de Rothermel.

Optamos por no usarlo, dado que el orden de complejidad del simulador sería muy elevado, al tener que conectarse con el Behave, ingresar las variables, dar la orden de ejecución y leer los resultados de las hojas de cálculo de dicho programa. Sin olvidar que está escrito en Fortran, no es una contra, pero es un lenguaje muy viejo y de muy bajo nivel.

1.1.3. Incendios Forestales en Argentina

En éste país, la historia de la lucha contra los incendios forestales data desde hace tiempo, pero ha comenzado a estar organizada bajo la coordinación de un Plan Nacional de Manejo del Fuego desde el año 2000, luego de un incendio que cobró importancia por poner en peligro la ciudad de San Carlos de Bariloche. Anteriormente existieron acciones de lucha contra incendios forestales en todo el país, organizadas por todos aquellos que padecían estos siniestros y por distintos organismos muchas veces ajenos a ellos.

Luego de una búsqueda sobre la existencia de un simulador de fuego en la Argentina no se encontraron resultados, ni siquiera la usabilidad de algún simulador existente, pero llegamos a la conclusión de que es porque es una ciencia poco estudiada y desarrollada en nuestro país, como mencionamos con anterioridad.

Modelos Matemáticos y Sistemas de Cálculo para la Predicción del Comportamiento de los Incendios Forestales

2.1. El Incendio Forestal: Definición y Clasificación

De acuerdo con la ISO (International Standards Organization) un incendio se define como:

- Un proceso de combustión, caracterizado por la emisión de calor acompañada de humo, llama o ambos.
- Combustión que se propaga de manera incontrolable en el tiempo y el espacio.

En los papers se encuentra comúnmente definido como una reacción química fuera de control que se caracteriza por la generación de energía. Cuando dicha reacción afecta a la superficie vegetal en un espacio abierto se la denomina incendio forestal. Existen varias clasificaciones de este tipo de incendios, de acuerdo a la morfología, el grado de intensidad o el patrón de comportamiento. La clasificación genérica en el mundo forestal en función de los estratos de combustibles alcanzados y la forma de avance es la siguiente: incendios de subsuelo (*ground fire*), incendios de superficie (*surface fire*), e incendios de copas (*crown fire*) [LG] [VNF⁺].

2.1.1. Incendios de Subsuelos

Este tipo de incendio se produce cuando quema la materia orgánica que se encuentra entre la superficie y la capa mineral del suelo; dicha materia orgánica está compuesta por virutas, hojas muertas, raíces, residuos vegetales en descomposición, humus, etc. Este tipo de incendios pueden ser que sean detectados sólo por la emisión de humo, ya que normalmente queman sin llama. Avanzan lentamente debido a la insuficiencia de oxígeno y pueden mantenerse incluso con contenidos elevados de humedad durante días o semanas, ocasionando daños considerables en el ciclo ecológico. Estos incendios son poco frecuentes.

2.1.2. Incendios de Superficie

Se consideran dentro de este tipo de incendios aquellos en los cuales se quema el material combustible situado inmediatamente sobre la superficie del suelo, sin alcanzar las copas de los árboles. Esta capa comprende hojas, ramas muertas, troncos caídos, restos de talas, vegetación herbácea viva y matorrales. Este tipo de incendios son los más comunes y, en consecuencia los más estudiados.

2.1.3. Incendios de Copas

Se caracterizan por incorporar en mayor o menor grado la combustión de las copas de los árboles.

Son los que presentan mayor dificultad para la extinción y peores efectos sobre la masa forestal, y se subdividen en tres categorías: incendios de copas pasivos, incendios de copas activos e incendios de copas independientes.

Incendios de Copas Pasivos

Las copas de los árboles (hojas, ramas y troncos) se encienden de manera intermitente debido al calor procedente del frente de un incendio que se desarrolla en el sotobosque. Este fenómeno también se denomina incendio de copas discontinuo o incendio de antorcha. Es frecuente en zonas de pinos y matorrales densos.

Incendios de Copas Activos

Se denomina también incendio de copas continuo o dependiente (*running crown fire o continuous crown fire*). La combustión tiene lugar al mismo tiempo en el material combustible superficial que en las copas de los árboles. El calor de las llamas proviene de incendios de superficie que proporcionan energía suficiente para sostener y propagar el incendio por las copas; de éste modo, todo el frente avanza a la vez con la llamas que abarcan todos los estratos.

Incendios de Copas Independientes

En este caso, el frente del incendio avanza rápidamente por las copas, con independencia de la posible presencia de un incendio de superficie. Son muy peligrosos aunque poco frecuentes.

Los incendios de copas pueden favorecer la generación de incendios secundarios mas allá del frente del incendio (*spotting*). Estos incendios secundarios se inician por el efecto de partículas sólidas vegetales en combustión, que viajan en la columna de convección¹ o transportadas por el viento a una cierta distancia del incendio (pudiendo llegar a ser del orden, en algunos casos, de decenas de kilómetros). Son situaciones imprevisibles, de gran peligro y que dificultan enormemente los trabajos de prevención y extinción.

Los incendios de subsuelo, de superficie y de copas pueden suceder de manera conjunta o en una combinación entre ellos, variando frecuentemente el régimen del incendio de acuerdo con los múltiples factores que afectan al fenómeno.

¹Una forma de transferencia de calor, que predomina cuando se transfiere energía entre los gases calientes desprendidos por un incendio y la superficie sólida del combustible, que se encuentra a diferente temperatura.

2.2. La modelización matemática de los incendios forestales

Los modelos matemáticos de incendios forestales son, genéricamente, un conjunto más o menos amplio de ecuaciones, planteadas a partir de balances teóricos o de observaciones experimentales, o por ambos medios, cuya solución proporciona la evolución temporal y/o espacial de una o diversas variables, como por ejemplo, la velocidad de propagación, la intensidad lineal del frente o el consumo de combustible, a fin de determinar el comportamiento físico de un sistema determinado. De acuerdo con esta definición, se propone una clasificación genérica que engloba y permite ubicar cualquier tipología de modelo matemático que se refiera a incendios forestales:

Según la naturaleza de las ecuaciones:

- *Modelos Teóricos:* Generados a partir de las leyes que gobiernan la mecánica de fluidos y la transferencia de calor.
- *Modelos Empíricos:* Generados a partir de ecuaciones extraídas de la experimentación o del estudio de incendios históricos.
- *Modelos Semiempíricos:* Generados a partir de las leyes físicas y completados con datos experimentales.

Según las variables de estudio:

- *Modelos de geometría de las llamas:* Se formulan ecuaciones para determinar la altura, anchura, longitud, ángulo de inclinación y tiempo de residencia.
- *Modelos de propagación de incendios:* Proporcionan mecanismos para la obtención de las principales variables que determinan el avance del frente del incendio. La mayoría de los modelos tratan las más importantes, como la velocidad de propagación, el calor desprendido en el frente y el consumo de combustible.
- *Modelos de predicción meteorológica de inicio y comportamiento de los incendios forestales:* A partir de datos meteorológicos y paisajísticos, evalúan la posibilidad de ocurrencia de incendio y su peligrosidad en un territorio determinado. La mayoría presentan los resultados en forma de índices cualitativos, siendo los más significativos los de riesgo de ignición, de propagación y de intensidad de incendio.

Según el sistema físico modelizado:

Como mencionamos antes como la clasificación genérica en el mundo forestal en función de los estratos de combustibles alcanzados y la forma de avance : incendios de subsuelo, incendios de superficie, e incendios de copas. (Ver sección: 2.1).

En general, los modelos predicen la velocidad de propagación del incendio considerando la transferencia de calor hacia el combustible vegetal.

Normalmente, se propone el estudio en algún punto del frente de un incendio. Al frente se lo considera como una línea de fuego que se propaga en un plano, con una forma geométrica (frecuentemente rectangular) de altura finita, anchura infinita y sin

considerar la profundidad. La temperatura de la llama se considera constante, consecuentemente con un flujo de calor de radiación² constante, además, se asume que la llama sobre el lecho de combustible adquiere una temperatura y un flujo de calor constante a lo largo de la interfase del combustible en combustión y el combustible sin quemar.

El análisis matemático y físico se centra generalmente en un volumen de control que contiene partículas de combustible y aire.

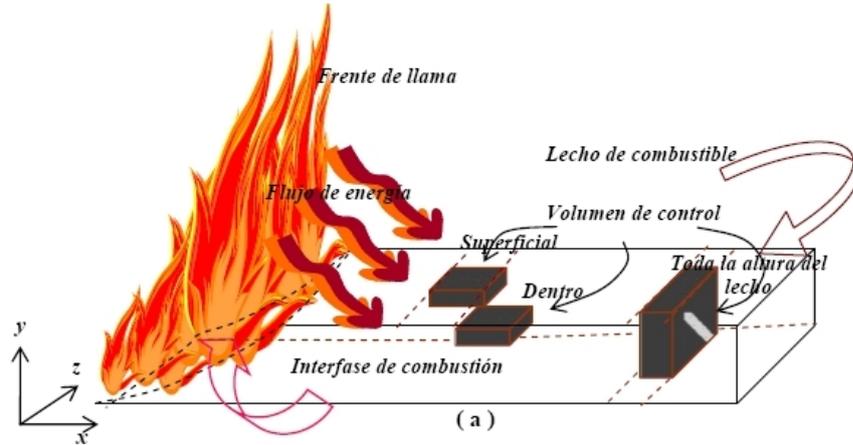


Figura 2.1: Sección del lecho de combustible, llama y volumen de control

Algunos modelos colocan este elemento del volumen en la superficie del lecho de combustible, otros en algún lugar dentro del mismo, y otros lo pueden asumir con una altura que se extienda desde la superficie hasta el fondo del combustible. Iniciada la combustión, se transporta energía calorífica desde las regiones calientes (zonas de la llama y combustible en ignición) hacia las zonas más frías (combustible por delante del frente y aire ambiental). El calor absorbido es requerido primeramente para aumentar la temperatura del combustible, ocasionando una deshidratación seguida de la pirólisis que, a su vez, causa una destilación parcial; los volátiles se inflaman, mientras que el producto que logra condensar junto con los productos de una combustión incompleta constituyen el humo. Mientras la mezcla volátiles/oxígeno en conjunción con las condiciones térmicas lo permiten, la combustión continuará obteniendo un residuo final (en forma de cenizas inorgánicas).

El flujo de calor se encuentra presente de manera constante en cualquiera de los procesos, de aquí la importancia en la consideración de los mecanismos presentes y/o que gobiernan el flujo de calor (algunos modelos sólo consideran la radiación 1 y otros incluyen la convección 2).

En adicción a lo antes mencionado, se presentan complejos procesos con diversas suposiciones (deshidratación, pirólisis, inflamación, combustión, cambios de fase, el calor como un fenómeno superficial o volumétrico, la transparencia del medio, etc) cuya consideración u omisión proporcionarán modelos matemáticos más o menos complejos de resolver.

²Al hablar de balance de energía de la tierra, todos sus cuerpos situados en su superficie reciben radiación solar de onda corta y aumentan su temperatura, emitiendo a su vez radiaciones de onda larga y flujos de calor latente y sensible.

2.2 LA MODELIZACIÓN MATEMÁTICA DE LOS INCENDIOS FORESTALES

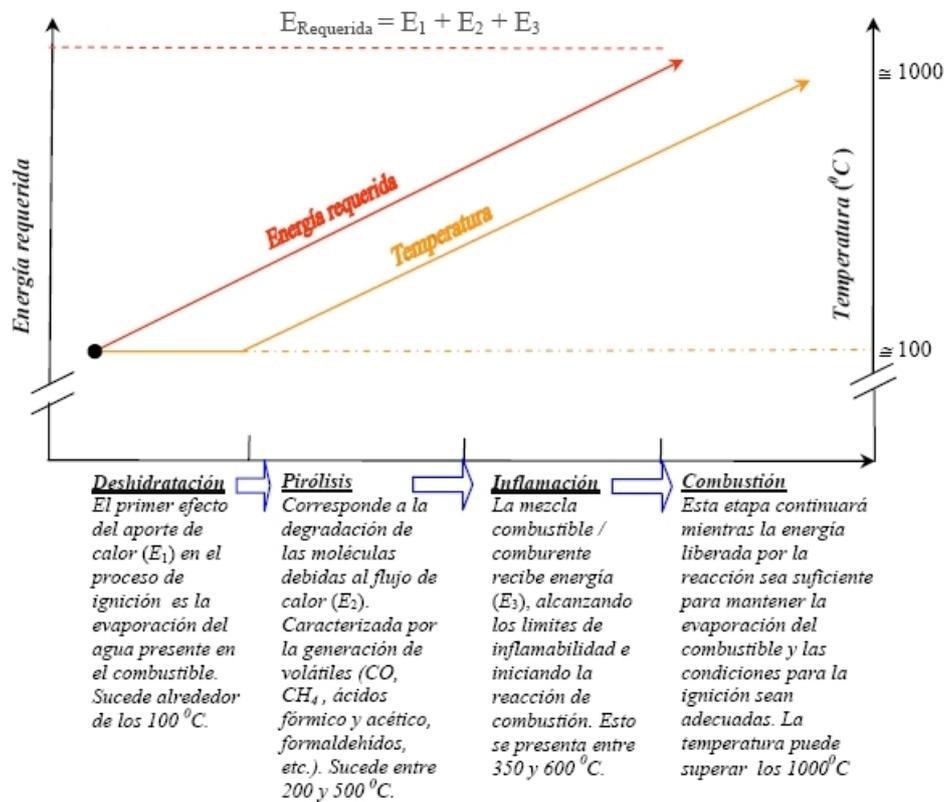


Figura 2.2: Secuencia en los procesos presentes en la combustión de un sólido

A continuación se revisarán los modelos matemáticos por diversos autores para los incendios forestales, comentando sus principales características.

Modelo de Fons (1946)

Fons (1946) consideró al lecho de combustible como un sistema compuesto por pequeñas barras verticales, espaciadas regularmente por una distancia S . Cuando la barra $(n-1)$ se incendia, su temperatura es la temperatura de ignición y la temperatura de la barra adyacente (n) se encuentra en un valor intermedio entre la temperatura ambiente y la temperatura de ignición. Como se muestra en la figura, se considera que la barra (n) está en contacto con las llamas de la barra $(n-1)$, de manera que la transferencia de calor por conducción³, convección y radiación $[\text{VNF}^+]$ son las responsables de que la barra (n) llegue a la temperatura de ignición.

³puede considerarse como un mecanismo de transporte de calor hacia el interior de los componentes del combustible

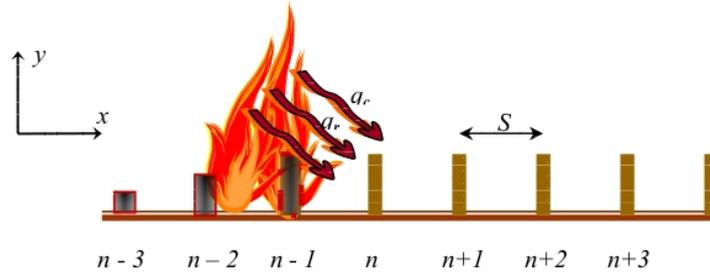


Figura 2.3: Sistema considerado por Fons

La velocidad de propagación, R, es obtenida mediante:

$$R = \frac{S}{t_i} \quad (2.1)$$

El flujo total de energía hacia la barra (n) por unidad de volumen y unidad de tiempo es:

$$q = q_c + q_r = A(f_c + f_r)(T_f - T) \quad (2.2)$$

donde A representa la superficie de intercambio de la partícula, T_f la temperatura de la llama, T es la temperatura de la barra (n), f_c y f_r representan los coeficientes de intercambio por conducción-convección y radiación respectivamente. El tiempo de ignición t_i , es obtenido por la resolución de la ecuación diferencial entre el instante inicial ($t=0$) y el instante de inflamación ($t=t_i$):

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = q \quad (2.3)$$

La ecuación final es:

$$R = \frac{(f_c + f_r)AS}{\rho C_p \ln \left[\frac{T_f - T_0}{T_f - T_i} \right]} \quad (2.4)$$

donde T_0 es la temperatura inicial del combustible. Para la estimación de los parámetros f_c y f_r se emplea el valor medio entre T_∞ y T_i . Fons reconoció que era sólo una estimación y que sería más correcto emplear la diferencia entre las temperaturas respectivas a la cuarta potencia. Dada la importancia que dichos valores de temperatura tienen en los resultados del modelo; Catchpole y de Mestre (1986) lo consideraron una deficiencia, pese a que los resultados experimentales reportados por Fons (1946) fueron congruentes con los estimados teóricamente. En este modelo no se tuvieron en cuenta los efectos del viento y de la pendiente, éste fue el motivo principal por el cual decidimos no usar dicho modelo.

Modelo de Rothermel (1972)

El modelo de Rothermel (1972) ha sido empleado en muchos países y en algunos sistemas (como por ej : BEHAVE).

Es un modelo semifísico, que aplica los principios de la conservación de energía a un volumen de control en el frente del incendio, se predice la velocidad de propagación en un lecho de combustible mediante la siguiente expresión:

$$R = \frac{I_R \xi (1 + \phi_w + \phi_s)}{\rho_b \zeta Q_{ig}}$$

donde:

R	velocidad de propagación del frente
I_R	intensidad de reacción (energía liberada en el frente del incendio por unidad de área y de tiempo)
ξ	proporción de la intensidad de reacción, que calienta a las partículas adyacentes de combustible hasta la ignición
ϕ_w	coeficiente que evalúa el efecto del viento en la propagación del frente
ϕ_s	coeficiente que evalúa el efecto de la pendiente en la propagación del frente
ρ	densidad aparente del combustible
ζ	número de calentamiento efectivo (representa la proporción de partículas de combustible, que se calientan hasta la temperatura de ignición en el momento que éstas se inflaman)
Q_i	calor de preignición (energía necesaria para que una unidad másica de combustible llegue a la ignición)

La ecuación que determina la velocidad de propagación, es una relación entre el calor recibido por el combustible con respecto al calor necesario para llevar este combustible a la temperatura de ignición. Rothermel la determina mediante el empleo de ecuaciones obtenidas a partir de datos experimentales (usando técnicas de correlación estadística y en varios casos ajustes mediante la incorporación de parámetros empíricos)

Operatividad y limitaciones del modelo

El éxito que tuvo en Estados Unidos fue debido a la facilidad con que se integraban en él los modelos americanos de combustible (ver sección 5.2 de [VNF⁺]). Mediante pequeñas modificaciones en las ecuaciones descritas, se determina la velocidad de propagación en vegetación heterogénea y con diferentes cargas de material vivo o muerto (correspondiente a 10, 100, 1000 h de tiempo de retardo). La introducción de parámetros que ponderan unas u otras características de los distintos tipos de combustible, permite calcular valores medios para las propiedades de las partículas y los parámetros que determinan su disposición. A pesar que se consigue caracterizar uniformemente una distribución no homogénea de materiales de distintos tamaños, el modelo considera negligente la carga de elementos gruesos (de diámetros superiores a 7.6cm en combustibles muertos y a 0.6cm en combustibles vivos) en la propagación del fuego. De esta manera queda restringido únicamente a los incendios de superficie. La implementación del desarrollo de Rothermel en la vegetación mediterránea presenta mayores dificultades, debido a la falta de una caracterización propia del territorio. La extrapolación forzosa de los modelos estadounidenses de combustible incrementa el margen de

error en los resultados, implícito ya por causa de algunos planteamientos imprecisos en el desarrollo semiempírico. En este sentido, la consideración del efecto del viento está resuelta de forma poco rigurosa. Cuando el modelo se prueba en terreno llano y con combustible homogéneo, aparecen, paradójicamente, situaciones en las que el frente del incendio se propaga más rápidamente que la velocidad del viento. Rothermel corrige este error incorporando un límite superior para el coeficiente corrector del efecto del viento ϕ_w . Se trata, sin duda, de decisiones pragmáticas, pero insatisfactorias desde el punto de vista científico (Weber 1991) tanto el procedimiento empleado como por los resultados obtenidos, sobrestimados a pesar de las correcciones.

A pesar de las limitaciones mencionadas y de las inherentes a la modelización semiempírica, Rothermel desarrolló un modelo completo (en el que no son necesarios datos posteriores al incendio) con soluciones analíticas. La conjunción de ambas características, junto con un rango de resultados bastantes precisos, son elementos esenciales para una operatividad sencilla y eficaz, razón que explica la buena aceptación que el modelo ha tenido en Estados Unidos, y el porque nosotros elegimos dicho modelo. Luego de realizar un seminario abierto al público en CONAE, donde presentamos un resumen de los distintos modelos matemáticos con sus respectivas ventajas y desventajas discutidas en esta tesis.

Modelo de Pagni y Peterson (1973)

Este modelo analiza cuantitativamente la propagación del incendio en estado estable a través de una capa fina del lecho de combustible poroso, el sistema considerado para el estudio se representa en la figura.

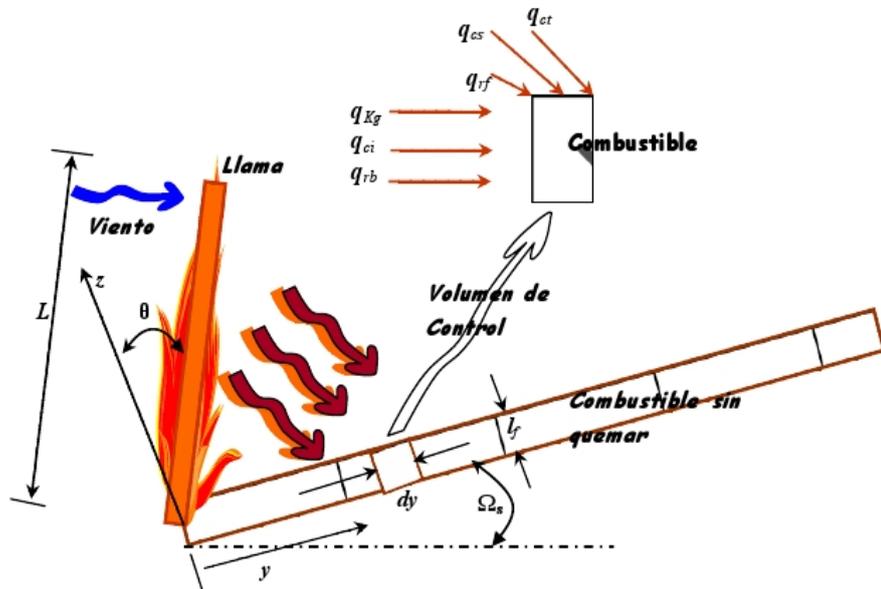


Figura 2.4: Representación del sistema considerado por Pagni y Peterson.

Este modelo considera que para que la propagación del incendio permanezca se

requiere de un flujo constante de energía, que primeramente se empleará para aumentar la temperatura del combustible (q_s), posteriormente para evaporar el contenido de agua de las partículas (q_v), y finalmente para la pirólisis del combustible. Aplicando la ley de conservación de la energía, lo anterior se puede representar mediante la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} q_s(\text{energía sensible}) + q_v(\text{energía de evaporación}) + q_p(\text{pirólisis}) = \\ q_{rf}(\text{radiación de la llama}) + q_{rb}(\text{radiación de las brasas}) + \\ q_{cs}(\text{convección en la superficie}) + q_{ci}(\text{convección en el interior}) + \\ q_{ct}(\text{difusión turbulenta}) + q_{kg}(\text{conducción en la fase gas}) \end{aligned} \quad (2.5)$$

La validación del modelo de Pagni y Peterson se efectuó mediante la comparación de sus resultados con datos experimentales. Se observó que las predicciones eran acordes y se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Para un flujo lento de viento, el mecanismo de transferencia de calor dominante es la radiación producida por la llama, con una contribución significativa al flujo de energía térmica proveniente de las brasas del combustible y en menor proporción por conducción en la fase gas.
- Para elevadas velocidades del viento, el mecanismo más significativo lo constituye la convección con importantes contribuciones de la radiación de la llama.
- El calentamiento por difusión turbulenta es insignificante.
- La energía en el proceso de la pirólisis es insignificante.

En el modelo de Pagni y Peterson no se tomaron en cuenta las posibles pérdidas de energía térmica debidas a la radiación, convección y conducción

Modelo de Cekirge (1978)

Es un modelo de propagación en una dimensión que considera la velocidad del frente en un régimen inestable. El sistema se representa en la figura:

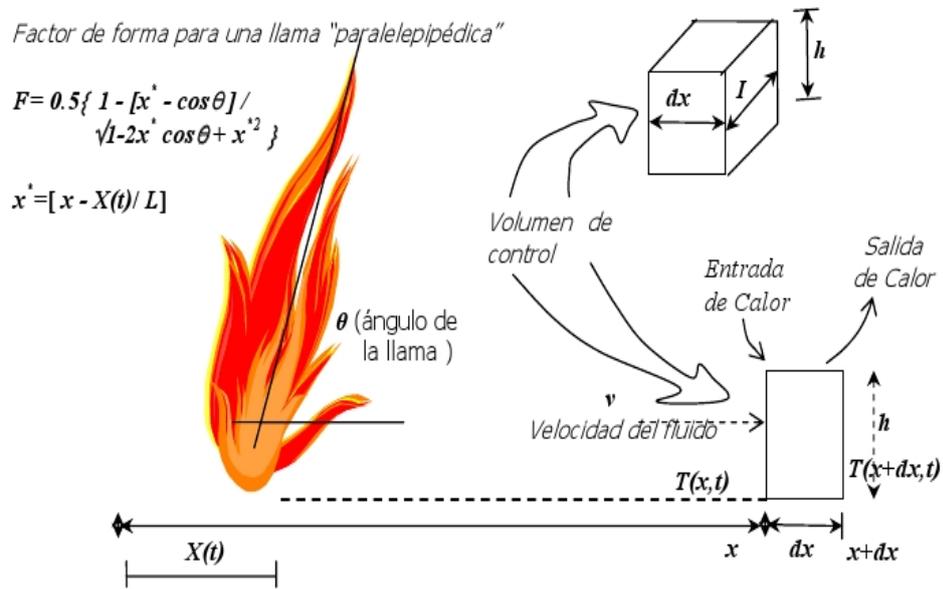


Figura 2.5: Sistema con los elementos y variables más importantes en la modelización.

En él se asume que:

- El lecho de combustible es de longitud infinita en la dirección x .
- La amplitud del frente de la llama normal a la dirección x es infinita.
- El lecho de combustible es de una altura constante.
- El frente de llama es una línea recta que se propaga desde el origen.
- La transferencia de calor por conducción se considera insignificante, debido a la estructura y dimensión del problema.
- El lecho de combustible se incendia al absorber cierta cantidad de energía térmica.

Aplicando un balance general de energía:

$$\text{Incremento de calor} = \text{entrada de calor} - \text{salida de calor} \quad (2.6)$$

Para el cálculo de los términos de la ecuación anterior, se considera como flujo de entrada de calor al volumen de control:

- la energía de convección debida al flujo de la fase gaseosa
- la energía irradiada por la llama al interior del medio poroso
- la energía de radiación generada por las brasas.

Para el segundo término de la misma ecuación, se considera como salida de calor del volumen de control, a:

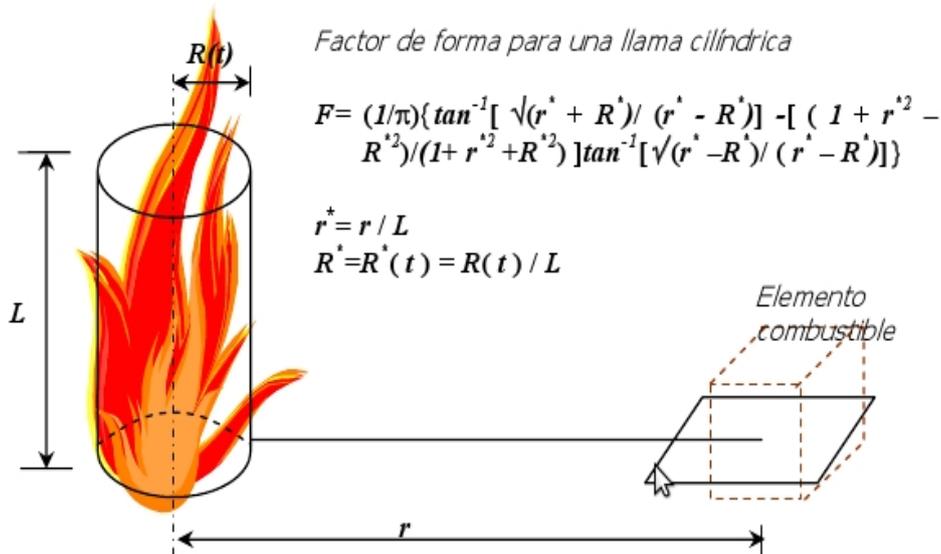


Figura 2.6: Representación del sistema considerado por Cekirge para la modelización de la transferencia de calor en el frente del incendio.

- la energía de convección debida al flujo de la fase gas
- energía de radiación generada por las brasas existentes en el volumen considerado
- la energía irradiada por la superficie del volumen de control.

La aproximación de los diversos flujos que constituyen la ecuación (2.6) se realizó mediante las ecuaciones que se resumen en la tabla.

El modelo resultante de la sustitución de tales expresiones en la conservación de la energía se resuelve mediante el método de diferencias finitas.

Los resultados se compararon con los obtenidos por el modelo de Telisin (1974), y con los datos experimentales de Wolliscroft (1968,1969).

El modelo de Cekirge fue innovador, con resultados aceptables cuando se consideran simultáneamente los efectos de la radiación y la convección, incluso mejores que los obtenidos mediante el modelo de Telisin (el cual supuso un modelo dominado por la radiación y, en consecuencia, sólo consideró la radiación generada por la llamas y las brasas del combustible). Sin embargo, tal como observaron Catchpole (1986) y Weber (1991), el modelo propuesto por Cekirge ha requerido de diversos ajustes, por ello incluyó un parámetro que modifica la velocidad del viento. Asimismo, Catchpole (1986) consideró que la parte que corresponde a la convección era errónea y sugirió para tal mecanismo las propuestas por Hottel (1965) y Albini (1985).

Modelo de Albini (1985,1986)

Es el primero que consideró dos dimensiones en la interfaz de ignición. El desarrollo del modelo parte de la consideración de un sistema ideal, representado

Concepto	Ecuación	Observaciones
Incremento de energía calorífica en el volumen de control	$\rho C_p \frac{\partial T(x,t)}{\partial t} dx h dt$ (4. 47)	h representa la altura del lecho
Entrada de calor por convección en el volumen de control	$u \rho C_p T(x,t) h dt$ (4. 48)	El lecho de combustible se considera poroso
Energía irradiada por las llamas hacia el volumen de control	$\sigma \epsilon_f F \{T_f^4 - [T(x,t)]^4\} dx dt$ (4. 49)	El factor de vista, F , se obtiene para dos geometrías distintas
Flujo de calor de radiación generado por las brasas	$\sigma \epsilon_k T^4 e^{-a[x-X(t)]} h dt$ (4. 50)	
Salida o pérdida de energía térmica en el volumen de control debida a la convección	$u \rho C_p T(x+dx,t) h dt$ (4. 51)	La ρ y la C_p son propiedades de la fase sólida
Pérdida de calor debida a la energía de radiación de las brasas	$\sigma \epsilon_k T^4 e^{-a[x-(X(t)+\delta x)]} h dt$ (4. 52)	
Pérdida de energía del área superficial del volumen de control	$\eta [T(x,t) - T_h] dx dt$ (4. 53)	η es el coeficiente de intercambio de calor debido a la radiación y a la convección

Figura 2.7: Resumen de las ecuaciones de modelo de Cekirge.

por la figura 2.8.

Como puede observarse en dicha figura, el combustible está distribuido de manera uniforme, continua, con un espesor δ , con una densidad aparente β , constante, en un plano, cuya superficie horizontal se mantiene a una temperatura ambiente sin reflejar o esparcir la radiación.

Con las ecuaciones de la primera parte del trabajo de Albin los resultados obtenidos mostraron desviaciones con respecto a la realidad; la explicación se encuentra en la idealización de un sistema que no toma en cuenta el efecto del aire y vapor de agua presente en el lecho poroso (se asumió que la mezcla gaseosa era transparente a la radiación) y en parte también, a la omisión de los mecanismos de enfriamiento debidos a la convección. Consecuentemente, Albin (1986) extendió su trabajo e incluyó el efecto del enfriamiento de la partícula de combustible por convección.

La restricción más importante del modelo se encuentra en que sólo se consideró (para la constitución del lecho) un tipo de partícula de combustible, lo que restringe su aplicación. Es posible diseñar un modelo más general, sin embargo los costos computacionales pueden convertirlo en poco práctico. Es deseable encontrar un tipo de partícula

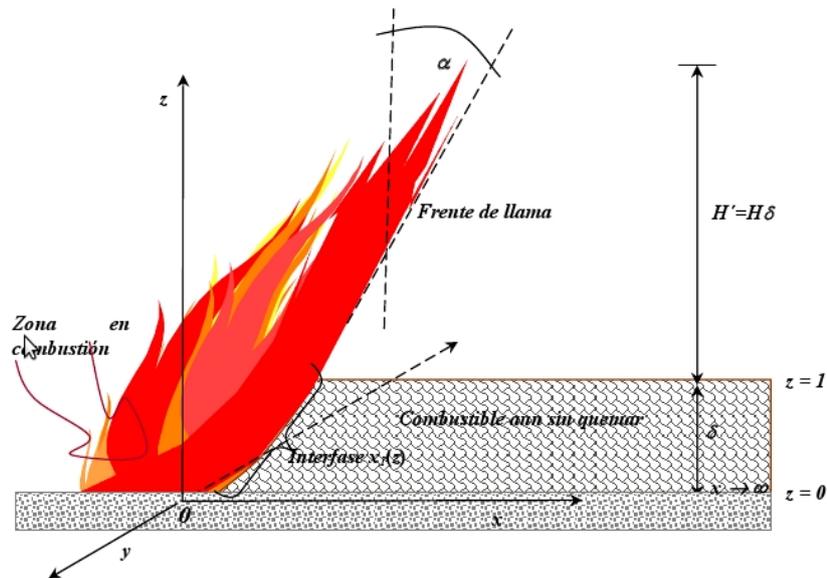


Figura 2.8: Representación del sistema idealizado por Albin para su modelización.

cuyas propiedades resulten apropiadas de manera que la predicción de la velocidad de propagación y la intensidad del incendio fuesen representativas.

Modelo de de Mestre, Catchpole, Anderson y Rothermel (1989)

Este es un modelo físico que describe la propagación uniforme de un frente de llama (de forma plana) a través de un lecho de combustible dispuesto horizontalmente, empacado aleatoriamente en ausencia de viento.

El modelo se basa en un balance de energía efectuado para un volumen de control superficial (de manera que puede suponerse a la radiación como el principal mecanismo de transferencia de calor). El lecho de combustible es considerado como un cuerpo semitransparente (lo que quiere decir que la energía puede reflejarse, absorberse y/o transmitirse) por tanto, se asume que la energía proveniente de las llamas y de la interfase de combustión es absorbida hasta alcanzar la temperatura de ignición (T_i).

En el balance es necesario incorporar términos que representen las pérdidas de energía debidas a la radiación y a la convección. La expresión final es la siguiente:

El modelo fue validado con experimentos a escala de laboratorio; los resultados mostraron que la inclusión del enfriamiento por convección y radiación en el modelo proporciona una buena aproximación.

Éste modelo es apropiado para el avance de un incendio de frente plano, sobre una superficie sin pendiente y en ausencia del viento; por otro lado, cabe la observación de que dichas condiciones en un incendio real no se cumplen.

Modelo de Weber (1989)

En el sistema se aplica un balance de energía que da como resultado una ecuación parcial de primer orden:

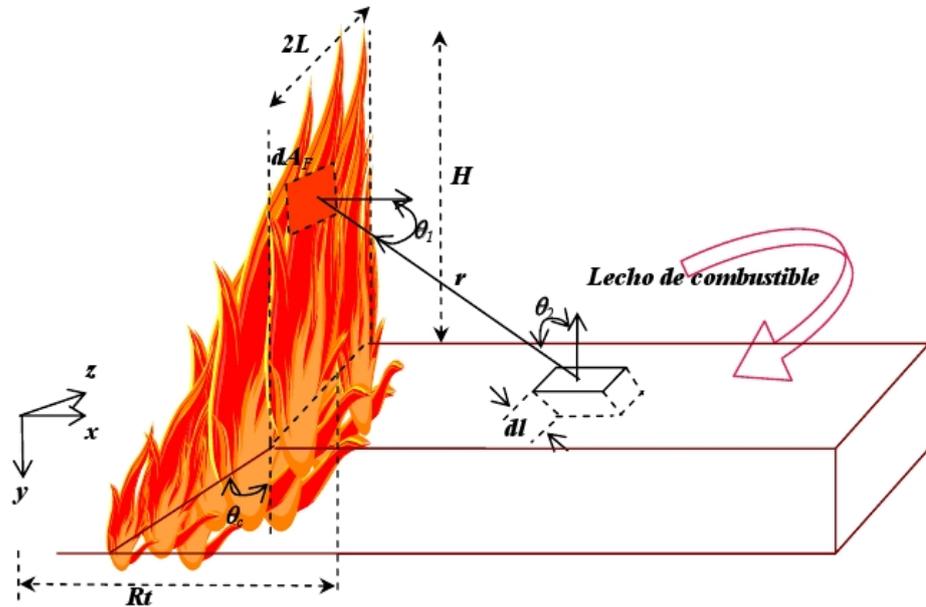


Figura 2.9: Representación del sistema modelado por de Mestre.

$$\alpha \varepsilon_F \sigma (T_F^4 - T_a^4) W(X) + \alpha \varepsilon_c \sigma (T_c^4 - T_a^4) U(X) - \alpha \sigma (T_s^4 - T_a^4) - 4h\alpha (T_s^4 - T_a^4) = -R \frac{dQ}{dX}$$

donde el término de la izquierda de la ecuación representa la velocidad de cambio de la temperatura (por encima de la temperatura ambiente) para un volumen de control por delante del frente del incendio en una posición x , y en un tiempo t .

El primer término de la derecha representa la entrada de energía de radiación al volumen de control en la posición x , con un frente de llama ubicado en $X(t)$, que se desplaza a una velocidad $R(t)$, siendo t el instante después de la ignición. Mientras que A es una constante que incluye un coeficiente de absorción del combustible (α) y la intensidad de radiación (proveniente de las llamas y de la zona de combustión), $V(x, X(t))$ representa el factor de vista, para él. Weber propuso dos disposiciones diferentes, una para la radiación proveniente de las brasas de la interfase (zona de combustión, supuesta en posición vertical) y una segunda disposición para la fracción de radiación proveniente de las llamas del frente del incendio.

Para el segundo término de la derecha de la ecuación, Weber consideró la ley de enfriamiento de Newton e incluyó el enfriamiento convectivo.

Para la obtención de una solución que involucre la velocidad de propagación $R(t)$ es necesario establecer las condiciones de contorno:

$$\rho C_p \frac{dT}{dt} = AV(x, X(t)) - B(T - T_a)$$

Para la temperatura de ignición de $X(t)$

$$T(x = X(t)) = T_{ig}$$

Para la temperatura ambiente

$$T(x \rightarrow \infty) = T_a$$

Posición inicial

$$X(t = 0) = 0$$

Además, Weber consideró al frente de llama como una onda de combustión que se desplaza a una velocidad estacionaria R , por lo que se debe cumplir:

$$\frac{dT}{dt} + R \frac{dT}{dx} = 0$$

Sustituyendo esta última ecuación en el balance de energía, se obtiene la siguiente ecuación:

$$-\rho C_p R \frac{dT}{dx} + B(T - T_a) = AV(x, X(t))$$

Para obtener una solución del problema, se efectúa la integración con las condiciones ya mencionadas y aplicando una transformada de Laplace se obtiene:

Siempre que sea posible resolver la transformada de Laplace se podrá obtener una ecuación analítica. Esto dependerá en gran medida de la ecuación considerada para el factor de vista. En resumen, el modelo proporciona expresiones para dos posibles situaciones (un frente plano y una propagación del frente en forma circular) describiendo la velocidad con que aumenta la temperatura por delante de la llama hasta llegar a la temperatura de ignición debido a la energía absorbida proveniente de la región de combustión y considerando las pérdidas de energía mediante la incorporación de un modelo de enfriamiento lineal en ausencia del viento.

La comparación del modelo con datos de laboratorio fueron razonablemente buenos. La suposición limitante de este modelo es considerar condiciones ideales, lo cual no permite la generalización para situaciones de incendios reales como podría ser la inclusión de viento y pendiente.

$$R\rho Cp T_{ig} = A \int_0^{\infty} V(\theta) e^{-(B\theta / R\rho Cp)} d\theta \approx A \mathcal{L}\{V(\theta)\}$$

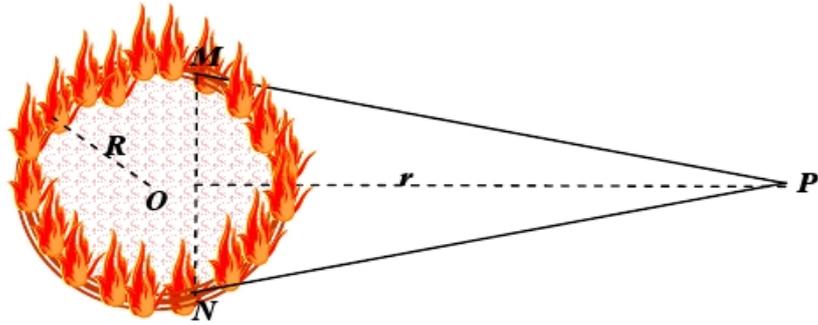


Figura 2.10: Frente circular de un incendio (indicado por el arco MN. La superficie de radiación es supuesta con una forma geométrica fija, de manera que es posible asignarle un factor de vista con respecto al punto P.)

2.3. El modelo de Rothermel: Descripción detallada

Rothermel completó en 1972 un planteamiento teórico desarrollado por Frandsen para explicar, mediante el principio de conservación de la energía, la propagación de un incendio forestal. Propuso una metodología que, por medio de un conjunto de relaciones empíricas entre datos relativos al combustible y factores medioambientales anteriores al incendio, proporciona soluciones analíticas para las variables que determinan el comportamiento de un frente de incendio, siendo la más relevante la velocidad de propagación.

Se basa, de forma parecida a la modelización teórica, en la hipótesis de propagación unidimensional y estacionaria de un frente rectilíneo⁴ e infinito, a través de un lecho de partículas de combustible de características homogéneas. A partir de este planteamiento, Rothermel encontró una solución analítica a la velocidad de avance del frente, interpretada como relación entre el flujo de calor recibido por unidad de superficie de combustible, denominado flujo de propagación por dicho autor, y la densidad de energía necesaria para incrementar su temperatura hasta la ignición.

$$R = \frac{I_p}{E_{ig}} \quad (2.7)$$

donde:

R Velocidad de propagación del frente del incendio de superficie(m/s)
 I_p Flujo de propagación ($kJm^{-2}min^{-1}$)

⁴El modelo ha sido diseñado para simular un fuego que ha sido estabilizado dentro de condiciones de velocidad casi constantes

2.3 EL MODELO DE ROTHERMEL: DESCRIPCIÓN DETALLADA

E_{ig} Densidad de energía para la ignición de una unidad de volumen de combustible (kJ/m^3)

Desglosando el numerador y el denominador de la ecuación en términos derivados de relaciones empíricas, se obtiene un valor cuantitativo para la velocidad de propagación.

Flujo de Propagación (I_p)

Contempla el calor recibido por unidad de superficie de combustible y por unidad de tiempo, transferida desde la zona de combustión y desde la llama, indistintamente, por conducción, radiación y convección.

$$I_p = I_{xig} + \int_{-\infty}^0 \frac{dI_z}{dz} dx \quad (2.8)$$

El flujo de propagación está compuesto por dos términos, el flujo horizontal y el gradiente del flujo vertical integrado desde menos infinito a el frente del incendio.[C.R72] El flujo vertical es mas significativo durante el impulso del viento y pendiente ascendente porque la llama se inclina sobre el potencial combustible, de este modo se incrementa la radiación, pero más significativamente causando el contacto directo con la llama y transferencia de calor convectiva a el potencial combustible.

Asumiremos que el flujo vertical es insignificante para incendios sin vientos y definiremos $I_p = (I_p)_0$

En este modelo, $(I_p)_0$ es el básico componente de flujo de calor para el cual todos los adicionales efectos del viento y la pendiente están relacionados.

Definimos $I_p = (I_p)_0$ y $R = R_0$ para el caso de sin-viento, luego

$$(I_p)_0 = R_0 \rho b \varepsilon Q_{ig} \quad (2.9)$$

De la ecuación anterior se deduce:

$$R_0 = \frac{(I_p)_0}{\rho b \varepsilon Q_{ig}}$$

Rothermel considera $(I_p)_0$ como una fracción de la potencia global emitida por la llama y la zona de combustión. Se obtiene mediante el flujo total de calor emitido por unidad de área del frente, denominado intensidad de reacción por dicho autor, multiplicado por un coeficiente no dimensional, ξ , el valor del cual puede variar entre 0 y 1.

$$(I_p)_0 = \xi I_R \quad (2.10)$$

donde:

ξ Factor de propagación (-)
 I_R Intensidad de Reacción ($kJm^{-2}min^{-1}$)

Intensidad de Reacción (I_R)

La proporción de energía liberada en el frente del incendio es producida por la quema, los gases se liberan de la materia orgánica en los combustibles. Por consiguiente, la proporción de cambio de la materia orgánica de un sólido a un gas es una buena aproximación de la proporción del calor liberado del fuego. La proporción de calor liberado por unidad de área del frente del incendio es llamado la intensidad de reacción y es definido como:

$$I_R = -\frac{dW}{dt} h \tag{2.11}$$

donde:

$-\frac{dW}{dt}$ proporción de la masa perdida por unidad de área en el frente del incendio ($\frac{kg}{m^2 min}$).

h contenido de calor del combustible (-)

La ecuación puede ser reordenada como:

$$I_R = -\left(\frac{dW}{dx}\right) \left(\frac{dx}{dt}\right) h \tag{2.12}$$

donde:

$\frac{dx}{dt} = R$ la casi-constante velocidad de propagación.

por consiguiente:

$$I_R dx = -dW R h \tag{2.13}$$

Para resolver la ecuación [2.13] integramos x sobre la profundidad del lecho de combustible (zona de reacción), D y w sobre los límites de la carga de combustible en la zona de reacción.

$$I_R \int_0^D dx = -R h \int_{w_n}^{w_r} dW \tag{2.14}$$

$$I_R D = -R h (w_n - w_r) \tag{2.15}$$

donde:

D profundidad de la zona de reacción (delante a atrás) (m).

w_n carga de combustible inicial neta ($\frac{kg}{m^2}$).

w_r carga de residuos inmediatamente después de pasar la zona de reacción. ($\frac{kg}{m^2}$).

La carga de combustible inicial neta fue corregida por la presencia de no-combustibles, agua y minerales.

El tiempo que toma para el frente del incendio viajar una distancia equivalente a la profundidad de la zona de reacción (lecho de combustible) es llamado el tiempo de reacción t_R .

$$t_R = \frac{D}{R} \quad (2.16)$$

Es decir, el tiempo transcurrido desde el inicio de la pérdida de peso hasta que la pérdida se estabiliza como una razón constante (razón del peso perdido). La mayor conversión de combustible a gases ocurre dentro de este tiempo.

Sustituyendo el tiempo de reacción en la ecuación [2.15] nos da

$$I_R = \frac{h (w_n - w_r)}{t_R} \quad (2.17)$$

Efecto del viento y la pendiente

El flujo de propagación total es representado por la expresión:

$$I_p = (I_p)_0 (1 + \phi_w + \phi_s) \quad (2.18)$$

donde:

ϕ_w Coeficiente corrector de efecto de viento (-)
 ϕ_s Coeficiente corrector de efecto de la pendiente (-)

Insertando las aproximadas relaciones, la ecuación [2.7] se vuelve:

$$R = \frac{(I_p)_0 (1 + \phi_w + \phi_s)}{\rho b \varepsilon Q_{ig}} \quad (2.19)$$

Ahora definimos una intensidad de reacción máxima donde no hay residuos de cargas dejadas después que la zona de reacción es pasada y donde el tiempo de reacción permanece sin cambiar. Ésta máxima intensidad de reacción es representada por:

$$I_{Rmax} = \frac{h w_n}{t_R} \quad (2.20)$$

La eficiencia de la zona de reacción es definida como:

$$\eta_\delta = \frac{I_R}{I_{Rmax}} = \frac{(w_n - w_r)}{w_n} \quad (2.21)$$

reemplazando $(w_n - w_r)$ en la ecuación 2.17, nosotros tenemos I_R en términos de características de combustibles medibles y parámetros de incendios.

$$I_R = \frac{w_n h \eta_\delta}{t_R} \quad (2.22)$$

donde:

La carga neta del combustible necesaria para la ecuación [2.21] puede ser obtenida de la ecuación:

$$w_n = \frac{w_0}{1 + S_T} \quad (2.23)$$

donde:

w_0	Carga de combustible seco ($\frac{kg}{m^2}$)
S_T	Contenido mineral del combustible (-)

Densidad de energía Flujo de Propagación (E_{ig})

El denominador de la expresión inicial [2.7] evalúa el calor por unidad de volumen necesario para llevar la carga de combustible presente en ella hasta su temperatura de ignición. Se compone de tres factores: la densidad del lecho de combustible, el calor de ignición y un índice de efectividad en la ignición, ε , que representa la fracción de la masa de la partícula que se volatiliza por pirólisis.

$$E_{ig} = \rho_b \varepsilon Q_{ig} \quad (2.24)$$

donde:

ρ_b	Densidad del lecho de combustible (kg/m^3)
ε	Índice de efectividad en la ignición (-)
Q_{ig}	Calor de ignición (kJ/kg)

Calor de Ignición (Q_{ig})

El calor de ignición y la densidad de volumen aparente efectiva son dos términos que tienen que ser evaluados antes que el flujo de propagación pueda ser computado. El calor de ignición fue evaluado analíticamente para células de combustible, considerando el cambio de calor específico de ambiente a la temperatura de ignición y calor latente de evaporización de la humedad.

$$Q_{ig} = C_{pd} \Delta T_{ig} + (M_f C_{pw} \Delta T_B + V) \quad (2.25)$$

donde:

C_{pd}	Calor específico de la madera seca
ΔT_{ig}	Rango de la temperatura de ignición
M_f	Humedad de combustible
C_{pw}	Calor específico del agua
ΔT_B	Rango de temperatura de ebullición
V	Calor latente de evaporización

Los detalles de los cálculos son dados por Frandsen⁵. La temperatura de ignición es asumida que ranguea desde 20°C a 320°C, y la temperatura de ebullición está a los 100°C, luego la ecuación [2.12] se vuelve

$$Q_{ig} = 581 + 2594 M_f \quad (2.26)$$

La humedad es la primer variable independiente en la evaluación de Q_{ig} , sin embargo es reconocido que otros parámetros deberían eventualmente estar incluidos en esta ecuación.

⁵The effective heating of fuel particles ahead of a spreading fire

Densidad de volumen efectiva

La cantidad de combustible involucrado en el proceso de ignición es la densidad de volumen efectiva, ρ_{be} .

Para sumar interpretación y análisis, un número de calor efectivo es definido como la razón (proporción) de la densidad de volumen efectiva (también llamada densidad aparente) a la densidad de volumen existente.

$$\varepsilon = \frac{\rho_{be}}{\rho_b} \quad (2.27)$$

El número de calor efectivo es un número sin dimensiones, que estará cerca de la unidad para combustibles finos y decrementará hacia cero como el tamaño del combustible incrementa. Por lo tanto,

$$\rho_{be} = f(\text{densidad de volumen, tamaño de combustible}) \quad (2.28)$$

Para evaluar la densidad de volumen efectiva (ρ_{be}) necesitamos determinar la eficiencia del calor como una función del tamaño de la partícula. Esto fue evaluado realizando un experimento,

$$\varepsilon = \exp\left(-\frac{4,528}{\sigma}\right) \quad (2.29)$$

donde:

σ proporción superficie-área a volumen de la partícula

Paréntesis (Densidad)

En algunas ocasiones denominada masa específica, es una magnitud referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen y puede determinarse en términos absolutos o relativos. En términos sencillos, un objeto pequeño y pesado, como una piedra o un trozo de plomo, es más denso que un objeto grande y liviano, como un corcho o un poco de espuma.

Paréntesis (Densidad Absoluta)

La densidad absoluta o densidad normal (también llamada densidad real o existente) expresa la masa por unidad de volumen.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2.30)$$

donde:

m masa
 v volumen

Paréntesis (Densidad Relativa)

La densidad relativa expresa la relación entre una sustancia y densidad de referencia, resultando una magnitud adimensional y por lo tanto sin unidades.

$$\rho_r = \frac{\rho}{\rho_0} \tag{2.31}$$

donde:

- ρ_r es la densidad relativa
- ρ es la densidad absoluta
- ρ_0 es la densidad de referencia

Paréntesis (Densidad Aparente)

Es una magnitud aplicada en materiales porosos como el suelo, los cuáles forman cuerpos heterogéneos con intersticios de aire y otra sustancia normalmente más ligera, de forma que la densidad total del cuerpo es menor que la densidad del material poroso. En el caso de un material mezclado con aire se tiene:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ap}}{v_{ap}} = \frac{m_r + m_{aire}}{v_r + v_{aire}} \tag{2.32}$$

La densidad aparente de un material no es una propiedad intrínseca⁶ del material y depende de su compactación.

En resumen (Suelo)

La densidad de volumen del suelo depende ampliamente de los minerales que componen el suelo y el grado de compactación. La densidad de volumen del mineral del suelo está entre 1 y 1.6 $\frac{gr}{cm^3}$. Suelos altos en orgánicos y algo de arcilla pueden tener una densidad de volumen menor a 1 $\frac{gr}{cm^3}$.
Efectiva porosidad: refiere a la fracción del volumen total en el cual el fluido que fluye está efectivamente tomando lugar.

Paréntesis (Calor Específico)

El calor específico o capacidad calorífica específica de una sustancia es una magnitud física que indica la capacidad de un material para almacenar energía interna en forma de calor. De manera formal es la energía necesaria para incrementar en una unidad de temperatura una cantidad de sustancia; usando el SI es la cantidad de julios de energía necesaria para elevar 1k la temperatura de 1kg de masa. Se la representa por lo general con la letra c.
Se necesita más energía calorífica para incrementar la temperatura de una sustancia con un alto valor específico que otra con un pequeño valor.
El calor específico es pues una propiedad intensiva, por lo que es representativa de cada sustancia.

⁶es propio o característico de una cosa por sí misma y no por causas exteriores

2.3.1. Velocidad de Reacción

La velocidad de reacción es una variable dinámica que indica la completitud y la velocidad de la consumición del combustible. Por consiguiente, este representa el carácter dinámico del fuego y la clave del éxito del desarrollo del modelo. La velocidad de reacción es definida como la proporción de la eficiencia de la zona de reacción a el tiempo de reacción:

$$\Gamma = \frac{\eta \delta}{t_R} \quad (2.33)$$

donde:

Γ Velocidad de Reacción (min^{-1})

Cuatro parámetros de combustibles son considerados que tienen un mayor efecto sobre la velocidad de reacción: contenido de humedad, contenido mineral, el tamaño de la partícula y la densidad de volumen del lecho de combustible.

El contenido de humedad y el contenido mineral son introducidos a través de dos coeficientes de amortiguación que operan sobre la velocidad de reacción. La presencia de humedad o minerales reduce la velocidad de reacción por debajo de su valor potencial.

Definimos:

Γ' velocidad de reacción potencial (min^{-1})
 η_M coeficiente de amortiguación de humedad, cuyos valores van desde 0 a 1 (-).
 η_s coeficiente de amortiguación de mineral, cuyos valores van desde 0 a 1 (-).

Luego:

$$\Gamma = \Gamma' \eta_M \eta_s \quad (2.34)$$

Sustituyendo la ecuación [2.26] y [2.27] dentro de la ecuación [2.22] produce la expresión final para la intensidad de reacción:

$$I_R = \Gamma' \eta_s \eta_M w_n h \quad (2.35)$$

Coefficiente de amortiguación de humedad

Estudios de Anderson (1969) revelaron la fórmula del coeficiente de amortiguación de humedad, en función de la proporción de M_f , la humedad de combustible y M_x la humedad de extinción, la cual es el contenido de humedad del combustible sobre el cual el fuego no se expandirá.

$$\eta_M = 1 - 2,59 \frac{M_f}{M_x} + 5,11 \left(\frac{M_f}{M_x}\right)^2 - 3,52 \left(\frac{M_f}{M_x}\right)^3 \quad (2.36)$$

donde:

η_M sin dimensiones (-).

El coeficiente de amortiguación de humedad cuenta para el decremento en la intensidad causada por la combustión de combustibles que inicialmente contenían humedad. El efecto exacto de la humedad no ha sido adecuadamente explicado en términos de reacciones cinéticas.

Coeficiente de amortiguación mineral

El coeficiente de amortiguación mineral fue evaluado del análisis termogravimétrico de datos de combustibles naturales por Philpot (1968). Philpot encontró que el silicio no afecta la tasa de descomposición. Por lo tanto, el contenido de cenizas libres de silicio fue tomado como un parámetro independiente. La ecuación para el coeficiente de amortiguación mineral:

$$\eta_s = 0,174 s_e^{-0,19} \quad (2.37)$$

donde:

s_e contenido mineral efectivo (libre de silicio).
 η_s sin dimensiones (-).

Parámetros físicos de combustibles

A continuación explicaremos dos variables que fueron consideradas en la evaluación de la intensidad de reacción: la compactación del lecho de combustible y el tamaño de la partícula. Ambos son conocidos que tienen significantes efectos sobre el combustible, pero hoy en día investigadores no han realizado la separación y cuantificación de los efectos de estas variables sobre el carácter dinámico del fuego.

Una hipótesis es que bajos valores de intensidad de reacción y velocidad de propagación ocurren en los dos extremos de la compactación (compacto y no-compacto).

En los lechos densos (lechos compactos) esto puede ser atribuido a la baja proporción de aire en el combustible y a la pobre penetración del calor mas allá de la superficie superior de la matriz de combustible.

En los lechos sueltos (lechos no-compactos, el otro extremo) esto puede ser atribuido a la pérdida de transferencia de calor entre las partículas y a la falta de combustible.

Entre estos dos extremos, se define una razón óptima de empaquetamiento (β_{op}) donde se produce el mejor balance de aire, combustible y transferencia de calor para ambos: máxima intensidad de reacción (I_{Rmax}) y velocidad de reacción (Γ). No es esperado que la razón óptima de empaquetamiento sea la misma para diferentes tamaños de partículas de combustibles. La compactación del lecho de combustible es cuantificada por la razón de empaquetamiento, la cual es definida como la fracción del volumen de la matriz de combustible que está ocupado por el combustible:

$$\beta = \frac{\rho_b}{\rho_p} \quad (2.38)$$

donde:

β proporción de empaquetamiento (-).
 ρ_b densidad de volumen de la matriz (arreglo) de combustible ($\frac{kg}{m^3}$).
 ρ_p densidad de la partícula de combustible ($\frac{kg}{m^3}$).

2.3 EL MODELO DE ROTHERMEL: DESCRIPCIÓN DETALLADA

La razón entre la superficie-área y el volumen es usada para cuantificar el tamaño de la partícula de combustible, denotada con σ .

Paréntesis (Razón entre la superficie-área y el volumen)

La razón entre la superficie-área y el volumen (SAVR) denotada por sa/vol, es la cantidad de superficie-área por unidad de volumen de un objeto o colecciones de objetos.

La razón entre la superficie-área y el volumen es medida en m^{-1} .

Un cubo con lados de longitud a tendrá una superficie-área: $6 a^2$ (*superficie* = $l+l+l+l+l+l$, y *area* = $l l$) y un volumen de a^3 . Por lo tanto la razón entre la superficie-área y el volumen para el cubo es: $\frac{6}{a}$.

Máxima velocidad de reacción óptima y Empaquetamiento óptimo

Las ecuaciones para el máximo valor de Γ' y la proporción de empaquetamiento óptima β_{op} , para cada tamaño de partícula de combustible fueron encontrados como función de σ .

$$\Gamma'_{max} = (0,0591 + 2,926 \sigma^{-1,5})^{-1} \quad (2.39)$$

$$\beta_{op} = 0,20395 \sigma^{-0,8189} \quad (2.40)$$

Éstas son combinadas con una variable arbitraria A :

$$\Gamma' = \Gamma'_{max} \left(\frac{\beta}{\beta_{op}}\right)^A \exp\left[A \left(\frac{1-\beta}{\beta_{op}}\right)\right] \quad (2.41)$$

donde:

$$A = \frac{8,9033}{\sigma^{0,7913}} \quad (2.42)$$

Fracción de flujo de energía de propagación

Se definió ξ como la fracción entre el flujo de propagación y la intensidad de reacción (ver ecuación [2.10]):

$$\xi = \frac{(I_p)_0}{I_R} \quad (2.43)$$

Se encontró una ecuación de correlación para ξ en función de β y Γ :

$$\xi = (192 + 7,9095 \sigma)^{-1} \exp[(0,792 + 3,7597 \sigma^{0,5}) (\beta + 1)] \quad (2.44)$$

La fracción entre el flujo de propagación y la intensidad de reacción no tiene unidades.

Velocidad de Propagación

Combinando la fuente de calor y el disipador de calor obtenemos la ecuación final para la velocidad de propagación sin viento y sin pendiente (ver la ecuación [2.9]):

$$R_0 = \frac{I_R \xi}{\rho_b \varepsilon Q_{ig}} \quad (2.45)$$

Evaluación de coeficientes de viento y pendiente

Se introduce el viento y la pendiente en el modelo, con los coeficientes Φ_w y Φ_s . Reordenemos la ecuación [2.18] con $\Phi_s = 0$:

$$\Phi_w = \frac{I_p}{(I_p)_0} - 1 \quad (2.46)$$

Si los parámetros de combustibles en la ecuación [2.9] son asumidos constantes, el flujo de propagación es proporcional a la velocidad de propagación, reemplazando en la ecuación [2.40] obtenemos:

$$\Phi_w = \frac{R_w}{R_0} - 1 \quad (2.47)$$

donde:

R_w velocidad de propagación con viento.

Similarmente:

$$\Phi_s = \frac{R_s}{R_0} - 1 \quad (2.48)$$

donde:

R_s velocidad de propagación con pendiente.

Luego de experimentos realizados en laboratorios, se descubrió la siguiente ecuación:

$$\Phi_s = 5,275 \beta^{-0,3} (\tan(\phi))^2 \quad (2.49)$$

donde:

$\tan(\phi)$ es la pendiente del lecho de combustible.

Ecuación de la velocidad de propagación final, con viento y pendiente

La ecuación final para velocidad de propagación es:

$$R = \frac{I_R \xi (1 + \phi_w + \phi_s)}{\rho_b \varepsilon Q_{ig}} \quad (2.50)$$

El modelo de la vegetación

La combustión, en los incendios forestales depende fundamentalmente de las propiedades intrínsecas y extrínsecas de los combustibles. Una vez iniciada la combustión, su propagación dependerá en buena parte de la estructura que tenga la vegetación.

Los modelos de simulación de propagación del fuego en superficie, definen la vegetación de superficie utilizando lo que conocemos como “modelos de combustibles”. En general se considera independiente la combustión de árboles de la combustión de superficie, por eso los modelos de combustibles solo se refieren a los combustibles que hay en la superficie.

Los modelos de combustibles forestal permiten dividir el territorio en zonas que presentan características similares en cuanto a tipo y estructura de la vegetación. Cada modelo está caracterizado por una serie de parámetros cualitativos y/o cuantitativos que lo identifican y le confieren unas determinadas condiciones para la propagación de los incendios.

Los modelos permiten crear mapas del territorio, de modo que cada zona (en función del tipo y estructura de vegetación) se le asigna el modelo que le corresponde a fin de que sirva de guía para predecir la evolución de cualquier incendio que se produzca, de acuerdo con el tipo de propagación asignado. La definición de un modelo de combustible forestal implica la realización de un cuidadoso estudio experimental y/o estudio de los incendios reales que asocie el comportamiento del fuego a las distintas estructuras de vegetación. No existe, por tanto, una clasificación única de modelos de combustibles forestales, válida para todo el mundo. Cada país tiene las suyas, bien por haberlas elaborado o porque las ha adaptado (o copiado) de otro país.

Las naciones que más han trabajado en la definición de modelos de combustible forestal son Estados Unidos, Canadá y Australia. Los demás países, en general han copiado o adaptado uno de los tres sistemas mencionados.

Cómo funcionan los modelos de combustibles y como se clasifican

Un bosque cualquiera esta asociado a un “catálogo” de vegetación, cada catálogo esta compuesto por diversos “modelos” de vegetación y es aplicable en una zona donde la vegetación es similar.

En nuestro caso, nuestro catálogo de vegetación para definir nuestros bosques debería incluir, (por ejemplo), los siguientes modelos: palmar, espartillar, romerillo, etc. Dentro de cada uno de estos modelos de vegetación está cada una de las “partículas” de vegetación. En nuestro caso, en el modelo palmar, nuestras partículas serían: ramas grandes, troncos, ramas chicas, etc.

Una partícula puede estar en varios modelos diferentes de un mismo catálogo.

El modelo estadounidense

En la actualidad existen en Estados Unidos, para la predicción del comportamiento de los incendios forestales, 13 modelos de combustibles forestales (modelos que reciben el nombre de modelos de comportamiento de incendio).

Los modelos de combustible forestal estadounidenses utilizados para el estudio del comportamiento de los incendios se clasifican en cuatro grandes grupos:

- Modelos de Pastizal

2.3 EL MODELO DE ROTHERMEL: DESCRIPCIÓN DETALLADA

- Modelos de Matorral
- Modelos de hojarasca bajo arbolado
- Modelos de resto de poda y operaciones de silvicultura⁷.

Dentro de estos cuatros grupos, cada modelo de combustible se describe de acuerdo con los siguientes parámetros:

$-(w_0)_m (\frac{t}{ha})$: Carga de combustible muerto.

$-(w_0)_v (\frac{t}{ha})$: Carga de combustible vivo.

$-H_x (\%)$: Humedad de extinción del combustible muerto.

$-\sigma (\frac{1}{m})$: Relación superficie-volumen.

$-\Delta H_c (\frac{kJ}{kg})$: Calor de combustión.

$-D (m)$: Profundidad del lecho de combustible.

Las diferencias en el comportamiento de un incendio, dentro de estos cuatros grupos, están asociadas a: la carga de combustible, la distribución en tamaño de las partículas y la humedad de combustible.

De estos cuatro grupos, los dos primeros se refieren a combustibles orientados verticalmente (disposición vertical). En cambio los dos últimos hacen referencia a combustibles orientados horizontalmente.

En la siguiente tabla se muestran los modelos de combustibles con sus respectivas cargas y profundidades del lecho de combustible:

⁷ciencia destinada a la formación y cultivos de bosques

2.3 EL MODELO DE ROTHERMEL: DESCRIPCIÓN DETALLADA

Table 1.--Values for input parameters of 11 preliminary fuel models for the National Fire-Danger Rating System¹

Fuel types	Total loading Tons/acre	Dead fuel						Living fuel		Fuel depth Ft.
		Fine		Medium		Large		σ	w_0	
		σ	w_0	σ	w_0	σ	w_0			
	Ft. ⁻¹	Lb./ft. ²	Ft. ⁻¹	Lb./ft. ²	Ft. ⁻¹	Lb./ft. ²	Ft. ⁻¹	Lb./ft. ²		
Grass (short)	0.75	3,500	0.034	--	--	--	--	--	--	1.0
Grass (tall)	3.0	1,500	.138	--	--	--	--	--	--	2.5
Brush (not chaparral)	6.0	2,000	.046	109	0.023	--	--	1,500	0.092	2.0
Chaparral	25.0	2,000	.230	109	.184	30	.092	1,500	.230	6.0
Timber (grass and understory)	4.0	3,000	.092	109	.046	50	.023	1,500	.023	1.5
Timber (litter)	15.0	2,000	.069	109	.046	30	.115	--	--	0.2
Timber (litter and understory)	30.0	2,000	.138	109	.092	30	.230	1,500	.092	1.0
Hardwood (litter)	15.0	2,500	.134	109	.019	30	.007	--	--	0.2
Logging slash (light)	40.0	1,500	.069	109	.207	30	.253	--	--	1.0
Logging slash (medium)	120.0	1,500	.184	109	.644	30	.759	--	--	2.3
Logging slash (heavy)	200.0	1,500	.322	109	1.058	30	1.288	--	--	3.0

¹ For all models $S_t = 0.0555$, $S_e = 0.010$, $h = 8,000$ B.t.u./lb., $\rho_b = 32.0$ lb./ft.³, $(M_x)_{dead} = 0.30$, $(M_x)_{living}$ determined by equation 88.

El National Fire Danger Rating estableció para todos los modelos valores constantes para el silicio total (s_t), el contenido mineral libre de silicio (s_e , libre de silicio), el calor de combustión y la densidad. Nosotros decidimos utilizar los mismos valores para estas características, dejando la posibilidad de que en un futuro se puedan cambiar. En la siguiente tabla se muestran los modelos de combustibles con sus respectivas humedades de extinción:

2.3 EL MODELO DE ROTHERMEL: DESCRIPCIÓN DETALLADA

Table 1. — Description of fuel models used in fire behavior as documented by Albini (1976)

Fuel model	Typical fuel complex	Fuel loading				Fuel bed depth	Moisture of extinction	
		1 hour	10 hours	100 hours	Live		dead fuels	dead fuels
		-----Tons/acre-----				Feet	Percent	
Grass and grass-dominated								
1	Short grass (1 foot)	0.74	0.00	0.00	0.00	1.0	12	
2	Timber (grass and understory)	2.00	1.00	.50	.50	1.0	15	
3	Tall grass (2.5 feet)	3.01	.00	.00	.00	2.5	25	
Chaparral and shrub fields								
4	Chaparral (6 feet)	5.01	4.01	2.00	5.01	6.0	20	
5	Brush (2 feet)	1.00	.50	.00	2.00	2.0	20	
6	Dormant brush, hardwood slash	1.50	2.50	2.00	.00	2.5	25	
7	Southern rough	1.13	1.87	1.50	.37	2.5	40	
Timber litter								
8	Closed timber litter	1.50	1.00	2.50	0.00	0.2	30	
9	Hardwood litter	2.92	.41	.15	.00	.2	25	
10	Timber (litter and understory)	3.01	2.00	5.01	2.00	1.0	25	
Slash								
11	Light logging slash	1.50	4.51	5.51	0.00	1.0	15	
12	Medium logging slash	4.01	14.03	16.53	.00	2.3	20	
13	Heavy logging slash	7.01	23.04	28.05	.00	3.0	25	

Ver también [VNF⁺], el capítulo 5 donde se listan los modelos de combustibles, con sus respectivas características y partículas.

EL doctor Marcelo Cabido y el biólogo Marcelo Zack realizaron un exhaustivo estudio de la vegetación del norte de Córdoba, concluyendo con un mapa de vegetación de la zona, que amablemente nos brindaron como información para nuestro sistema.

Para nuestra provincia sólo contábamos con este tipo de estudio, pero desde un punto de vista biólogo y no desde el punto de vista de la ciencia del fuego, o sea donde cada modelo estuviera descrito por sus partículas y características (carga de combustible, relación superficie-volumen y humedad de extinción). Entonces decidimos realizar un mapeo entre los modelos definidos por Zack y Cabido a los 13 modelos usados en Estados Unidos. Esto podría mejorarse en un futuro, si se realizara en nuestra provincia/país la definición de nuestros modelos, con sus respectivas partículas y características.

El modelo de propagación del fuego

Las ecuaciones enumeradas hasta el momento han sido modificadas para que acepten combustibles que están compuestos de mezclas heterogéneas de tipos de combustibles y tamaños de partículas. Dentro de los modelos de combustibles, hay varios tamaños de combustibles, se asumió un arreglo de combustibles de diámetros para poder diferenciarlos. Como por ejemplo el follaje y ramitas están en la clase de diámetro inferior a los 6cm.

También se asumió que los combustibles pueden ser agrupados en categorías acordes a propiedades similares. Por ejemplo habría una categoría para los combustibles vivos y una para los muertos. Agrupar por especie no es suficiente porque por ejemplo el follaje y las ramas pueden tener diferencias en las propiedades de las partículas. Un desglose será requerido por clase de tamaño dentro de estas categorías si las partículas de combustibles varían ampliamente en tamaño.

Las clases de tamaño pueden ser arbitrariamente establecidas pero deberían incluir una

clase para los combustibles finos.

La experiencia mostró que desglosar por clase de tamaño es necesario. Se mostró que grandes combustibles tuvieron un efecto negligente en la velocidad del fuego; así ellos pueden ser eliminados de la consideración.

Para sumar entendimiento de la distribución de combustible, introduciremos el concepto de una unidad de celda de combustible. Una unidad de celda de combustible es un pequeño volumen de combustible dentro de un estrato de profundidad media que tiene suficiente combustible, que estadísticamente representa el entero complejo total de combustión.

Principalmente, este concepto suma importancia a los parámetros de entrada. No es necesario especificar el tamaño de unidad de celda de combustible dentro de un área de estudio, basta con brindar un valor medio para la unidad de celda de combustible el cual representa el complejo combustible que está siendo modelado.

El proceso que controla la combustión (velocidad de evaporización de humedad de combustible) transfiriendo el calor dentro del combustible, y la transformación del combustible a gases, ocurre en la superficie de la partícula de combustible. Los combustibles que tienen mayor proporción de superficie-área a volumen responderán más rápidamente, lo que implica que estarán involucrados en la conducción del fuego. No es ninguna novedad para los bomberos o científicos del fuego que los combustibles finos pueden ser esperados que reaccionen (combustionen) más rápidamente.

Darle importancia al área superficie elimina el problema de tomar decisiones arbitrariamente sobre que tamaños de combustibles incluir y cuáles no.

Formulación del modelo de propagación de fuego

El modelo es ahora formulado de las básicas ecuaciones de la propagación del fuego y el concepto de ponderación.

Definamos:

\bar{A}_T media total del área-superficie de combustible de una unidad de celda de combustible.

\bar{A}_i media total del área-superficie de combustible de la categoría i-ésima de una celda de combustible.

\bar{A}_{ij} media total del área-superficie de combustible de la categoría i-ésima de la clase j-ésima de una celda de combustible.

La media total del área-superficie de combustible de la categoría i-ésima de la clase j-ésima de una celda de combustible es determinada por la media de la carga, proporción superficie área a volumen y la densidad de la partícula.

$$\bar{A}_{ij} = \frac{(\bar{\sigma})_{ij} (\bar{w}_0)_{ij}}{(\bar{\rho}_p)_{ij}} \quad (2.51)$$

donde:

$(\bar{\rho}_p)_{ij}$ densidad de la partícula en seco (gr/m^3).

2.3 EL MODELO DE ROTHERMEL: DESCRIPCIÓN DETALLADA

$$\bar{A}_i = \sum_{0 < j < n+1} \bar{A}_{ij} \quad (2.52)$$

$$\bar{A}_T = \sum_{0 < i < m+1} \bar{A}_i \quad (2.53)$$

donde:

- m número total de categorías.
 n número de clases de tamaño dentro de la categoría i -ésima.

Dos parámetros de ponderación son ahora calculados que son usados a través del resto del modelo:

$$f_{ij} = \frac{\bar{A}_{ij}}{\bar{A}_i} \quad (2.54)$$

$$f_i = \frac{\bar{A}_i}{\bar{A}_T} \quad (2.55)$$

Usando los parámetros de ponderación, las básicas ecuaciones de la propagación del fuego son modificadas como siguen:

La intensidad de reacción se vuelve:

$$I_R = \Gamma' \sum_{0 < i < m+1} f_i (\bar{w}_n)_i \bar{h}_i (\bar{\eta}_s)_i (\bar{\eta}_M)_i \quad (2.56)$$

donde los parámetros característicos de ponderación por superficie-área son:

$$(\bar{w}_n)_i = \sum_{0 < j < n+1} f_{ij} (\bar{w}_n)_{ij} \quad (2.57)$$

$$(\bar{w}_n)_{ij} = \frac{(\bar{w}_0)_{ij}}{1 + (\bar{S}_T)_{ij}} \quad (2.58)$$

$$(\bar{h})_i = \sum_{0 < j < n+1} f_{ij} (\bar{h})_{ij} \quad (2.59)$$

$$(\bar{s}_e)_i = \sum_{0 < j < n+1} f_{ij} (\bar{s}_e)_{ij} \quad (2.60)$$

$$(\bar{\eta}_M)_i = 1 - 2,59 (\bar{r}_M)_i + 5,11 ((\bar{r}_M)_i)^2 - 3,52 ((\bar{r}_M)_i)^3 \quad (2.61)$$

donde:

$$(\bar{r}_M)_i = \frac{(\bar{M}_f)_i}{(M_{ext})_i} \quad (2.62)$$

$$(\bar{M}_f)_i = \sum_{0 < j < n+1} f_{ij} (\bar{M}_f)_{ij} \quad (2.63)$$

Para completar el cálculo de la intensidad de reacción, la velocidad de reacción potencial Γ' debe ser calculado.

2.3 EL MODELO DE ROTHERMEL: DESCRIPCIÓN DETALLADA

Γ' es dependiente sobre la proporción de empaquetamiento y tamaño de la partícula. La proporción de empaquetamiento regula el calor y el flujo de aire dentro del combustible. Esta regulación de flujo es dependiente sobre cuando o no el espaciado es ocupado o vacante. Esto implica que la proporción debería ser ingresada como un valor medio de todos los tamaños de las partículas. Sin embargo, la proporción superficie-área a volumen es un parámetro que caracteriza el tamaño de la partícula del combustible complejo.

Aplicando estos conceptos:

$$\Gamma' = \Gamma'_{max} \left(\frac{\bar{\beta}}{\bar{\beta}_{op}} \right)^A \exp \left[A \left(1 - \frac{\bar{\beta}}{\bar{\beta}_{op}} \right) \right] \quad (2.64)$$

$$\Gamma'_{max} = (0,0591 + 2,926 \bar{\sigma}^{-1,5})^{-1} \quad (2.65)$$

$$\bar{\beta}_{op} = 0,20395 \bar{\sigma}^{-0,8189} \quad (2.66)$$

$$A = \frac{8,9033}{\bar{\sigma}^{0,7913}} \quad (2.67)$$

donde:

$$\bar{\sigma} = \sum_{0 < i < m+1} f_i \bar{\sigma}_i \quad (2.68)$$

$$\bar{\sigma}_i = \sum_{0 < j < n+1} f_{ij} (\bar{\sigma})_{ij} \quad (2.69)$$

$$\bar{\beta} = \frac{1}{\bar{\delta}} \sum_{0 < i < m+1} \sum_{0 < j < n+1} \frac{(\bar{w}_0)_{ij}}{(\bar{\rho}_\rho)_{ij}} \quad (2.70)$$

$$\bar{\rho}_b = \frac{1}{\bar{\delta}} \sum_{0 < i < m+1} \sum_{0 < j < n+1} (\bar{w}_0)_{ij} \quad (2.71)$$

donde:

ρ_ρ densidad de la partícula.

δ profundidad del lecho de combustible.

Esto completa las ecuaciones necesarias para el cálculo de la intensidad de reacción.

Los parámetros dentro de la ecuación de la velocidad de propagación son tratados similarmente.

En el flujo de propagación sin viento, ξ (proporción o razón) es una función de la media proporción de empaquetamiento y la característica proporción superficie-área a volumen.

$$\xi = (192 + 7,9095 \bar{\sigma})^{-1} \exp[(0,792 + 3,7597 \bar{\sigma}^{0,5}) (\bar{\beta} + 1)] \quad (2.72)$$

2.3 EL MODELO DE ROTHERMEL: DESCRIPCIÓN DETALLADA

En los términos de disipador de calor; la densidad de volumen es dependiente sobre las propiedades de volumen del arreglo de combustible: El número de calor efectivo, ε , y el calor de preignición Q_{ig} son dependientes sobre la superficie de combustible. Por lo tanto las propiedades de volumen deben estar separadas de las propiedades de las partículas cuando se suman se ponderan.

$$\rho_b \varepsilon Q_{ig} = \bar{\rho}_b \sum_{0 < i < m+1} f_i \sum_{0 < j < n+1} f_{ij} \left[\exp\left(-\frac{4,528}{\sigma_{ij}}\right) \right] (\bar{Q}_{ig})_{ij} \quad (2.73)$$

donde:

$$(\bar{Q}_{ig})_{ij} = 581 + 2594 \quad (2.74)$$

El modelo se completa con la inclusión de la multiplicación de los factores de viento y pendiente.

$$\phi_w = C (3,28 U)^B \left(\frac{\bar{\beta}}{\bar{\beta}_{op}}\right)^{-E} \quad (2.75)$$

$$\Phi_s = 5,275 \bar{\beta}^{-0,3} (\tan(\phi))^2 \quad (2.76)$$

donde:

U velocidad del viento media a la altura media de la llama ($\frac{m}{s}$).

$$C = 7,47 \exp(-0,8711 \bar{\sigma}^{0,55}) \quad (2.77)$$

$$B = 0,15988 \bar{\sigma}^{0,54} \quad (2.78)$$

$$E = 0,715 \exp(-0,01094 \bar{\sigma}) \quad (2.79)$$

Un límite superior es puesto sobre el factor de multiplicación del viento. Rothermel y Anderson encontraron que el ángulo de inclinación de la llama podría ser correlacionado a la proporción de energía del viento y la energía del fuego:

$$\frac{q U}{I_R J} \quad (2.80)$$

donde:

q libre flujo de presión dinámica.

J equivalente mecánica de calor.

Evaluando esta proporción en el límite valor de la velocidad de propagación encontrada por McArthur da:

$$\frac{q U}{I_R J} = 3,2 \cdot 10^{-4} \quad (2.81)$$

2.3 EL MODELO DE ROTHERMEL: DESCRIPCIÓN DETALLADA

Asumiendo la temperatura del aire y la densidad para un día de verano nominal⁹ T= 80° F, elevación= 3000 ft esto se reduce a:

$$\frac{U}{I_R} = 0,9 \quad (2.82)$$

Este límite es tomado para $(\phi_w)_{max}$.

Si $\frac{U}{I_R} > 0,9$ luego ϕ_w será calculado con $U = 0,9 I_R$

Humedad de Extinción

Para obtener razonables valores para la intensidad de reacción para modelos de combustibles que contienen combustibles vivos, el valor de la humedad de extinción para combustibles vivos debe ser ajustado a un valor alto que luego es usado para los combustibles muertos. Muy poca investigación ha sido realizada en el quemado de combustibles vivos. Esto también se debe a que la proporción de combustibles muertos dentro de un complejo de combustible tiene una influencia mayor que el quemado de combustibles vivos.

Fosberg y Schroeder (1971) brindaron una fórmula para predecir la humedad de extinción de los combustibles vivos basado sobre la proporción de combustibles vivos a muertos y el contenido de humedad de los combustibles muertos.

$$(M_x)_{vivo} = 2,9 \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right) \left[1 - \frac{10}{3} (M_f)_{muerta} \right] - 0,226 \quad (2.83)$$

donde:

α proporción de masa de combustibles finos vivos a la masa total de combustibles fino. El combustible fino es tomado como combustible de $\leq \frac{1}{4}$ pulgada de diámetro.

$(M_f)_{muerta}$ contenido de humedad de los combustibles finos muertos (fracción, no porcentaje).

En el NFDRS, ver [Ce85], el contenido de la humedad de extinción de los combustibles vivos se definió como:

$$(M_x)_{vivo} = (2,9 WRAT \left(1 - \frac{MCLFE}{MXD} \right) - 0,226) 100 \quad (2.84)$$

donde:

$MCLFE$ es el contenido de humedad del combustible muerto.

MXD es el contenido de humedad de extinción de los combustibles muertos, de los modelos de combustibles (input, por cada modelo de combustible).

⁹que sólo es o existe de nombre y carece de una existencia efectiva

2.3 EL MODELO DE ROTHERMEL: DESCRIPCIÓN DETALLADA

$(M_x)_{vivo}$ no puede ser menor que MXD.

$$MCLFE = \frac{(MC1 HN1) + (MC10 HN10) + (MC100 HN100)}{HN1 + HN10 + HN100} \quad (2.85)$$

donde:

$MC1$ es el contenido de humedad del combustible muerto de la clase del tiempo de retraso de 1-h.

$MC10$ es el contenido de humedad del combustible muerto de la clase del tiempo de retraso de 10-h.

$MC100$ es el contenido de humedad del combustible muerto de la clase del tiempo de retraso de 100-h.

$H1$ es el número de calor del combustible muerto de la clase del tiempo de retraso de 1-h.

$H10$ es el número de calor del combustible muerto de la clase del tiempo de retraso de 10-h.

$H100$ es el número de calor del combustible muerto de la clase del tiempo de retraso de 100-h.

donde:

$$HN1 = W1N \exp\left(-\frac{4,528}{SG1}\right) \quad (2.86)$$

$$HN10 = W10N \exp\left(-\frac{4,528}{SG10}\right) \quad (2.87)$$

$$HN100 = W100N \exp\left(-\frac{4,528}{SG100}\right) \quad (2.88)$$

$$HNHERB = WHERB \exp\left(-\frac{500}{SGHERB}\right) \quad (2.89)$$

$$HNWOOD = WWOOD \exp\left(-\frac{500}{SGWOOD}\right) \quad (2.90)$$

en el cual SG1, SG10, SG100, SGHERB, SGWOOD son las proporciones superficie-área a volumen de 1, 10, 100 horas, herbáceo y combustibles madera especificados en el modelo de combustible. Y W1, W10, W100, WHERB, WWOOD son las cargas de combustibles de timelag, especificadas en el modelo de combustible. Ninguna carga neta de combustible 1000 horas es computada porque su influencia es mínima, por lo tanto es omitida para simplificación.

$$WRAT = \frac{HN1 + HN10 + HN100}{HNHERB + HNWOOD} \quad (2.91)$$

La Carga

La carga de combustible representa la cantidad de combustible que hay por unidad de área. Usualmente definimos las cargas para varias “partículas” de combustibles. Como es muy complejo definir las partículas de combustibles basándose en especies de vegetales, se utilizan las siguientes categorías, ver ([Val]):

- 1 Horas
- 10 Horas
- 100 Horas
- 1000 Horas
- herbáceo
- leñosos

Esta clasificación divide los combustibles muertos clasificándolos en horas, y los vivos en herbáceos y leñosos.

La clasificación de los combustibles se basa en el término “Timelag”, y se refiere a la cantidad de tiempo necesario para que este combustible pierda la mitad de humedad. Concretamente el Timelag de una partícula de combustible es la cantidad de tiempo que le lleva para alcanzar el 63 % de diferencia entre su grado hidrométrico actual y el del combustible totalmente seco.

Usualmente un combustible muerto de 1 hora pierde la mitad de su humedad en aproximadamente 1 hora a 45 °C; un combustible muerto de 10 horas pierde la mitad de su humedad en 1 día al sol, y los combustibles de 100 horas se secan en una semana al sol. Por lo que esta clasificación de combustibles es muy práctica ya que podemos estimar cuanto combustible se secó al cabo de un tiempo.

Cuando definimos la carga de combustible de un modelo, en realidad definimos la carga (en Ton/ha) para cada una de estas categorías. Usualmente conviene tener presente lo siguiente:

- Los combustibles 1 hora son ramitas de 0 a 0.64 cm de diámetro.
- Los combustibles 10 hora son ramitas de 0.64 a 2.54 cm de diámetro.
- Los combustibles 100 hora son ramitas de 2.54 a 7.62 cm de diámetro.
- Los combustibles de más de 100 horas no son incluidos en los cálculos de velocidad de propagación o intensidad de la combustión.

Principio de Huygens

Los simuladores evalúan el avance del frente del incendio mediante lo que hoy conocemos como “Principio de Huygens”. Esta técnica toma el nombre del matemático holandés Chrystian Huygens, quien desarrolló una teoría que explica como se propagan las ondas, y hoy la utilizamos para explicar la difusión de un incendio forestal.

Si llevamos un incendio a la mínima expresión, es decir en un lugar plano, sin viento y de combustible homogéneo, el incendio avanza en forma de un círculo que crece

lentamente. Si consideramos viento, (o pendiente), el frente del incendio se deforma y entonces adquiere aspecto de una elipse, ya que el fuego avanza más en la dirección del viento, o hacia arriba (sube laderas). Esta es la base de lo que conocemos como modelo de combustión de Rothermel.



Figura 2.11: Esquema de la distorsión provocada en el frente de un incendio por el viento o pendiente según el modelo de Rothermel.

Cuando un simulador de propagación de frente de incendios utiliza una técnica que simula el crecimiento del incendio utilizando el principio de Huygens, este simula la evolución del frente como la propagación de una onda elíptica. El fuego crece en cada paso finito de la simulación sobre los puntos que definen el frente del incendio como si fueran frentes independientes con forma de pequeños elipses. Estas elipses forman un envolvente alrededor del perímetro original, donde el borde exterior representa el nuevo frente de incendio.



Figura 2.12: Esquema de propagación del principio de Huygens.

La necesidad de asumir una curva, en este caso una elipse, es necesaria porque la velocidad de propagación de una porción del frente es relativamente independiente del resto del incendio, y también es regida por el modelo de difusión de Rothermel. De esa forma el frente se puede “escapar” en cualquier parte independiente de lo que sucede en el resto del incendio.

La velocidad de avance del frente en cualquier otra dirección es inferida de las propiedades matemáticas del elipse. No sería necesario adoptar la forma de la elipse si se pudiera computar la velocidad de propagación en cualquier dirección, independiente de los combustibles, el clima y la topografía.

Anderson (1938) describió la propagación del fuego como una doble elipse, el cual permite diferentes ecuaciones para la propagación hacia adelante (forward) y hacia atrás (backward) de la elipse. La proporción longitud a ancho de la elipse es una función de

la velocidad del viento a la altura media de la llama.

Desde que las originales ecuaciones de propagación de fuego de Rothermel, asumieron que el viento está alineado con la pendiente, el efecto de la pendiente transversal al viento debe ser tomado en cuenta. HFire usa la técnica definida por Rothermel (1983, fig:48) para computar la pendiente transversal al vector de velocidad de propagación, sumando 2 vectores; uno computado usando el observado viento sin pendiente y el otro usando la pendiente sin viento. La velocidad del viento en la dirección de la pendiente transversal al vector de propagación, denominado la velocidad del viento efectiva, U_{eff} ($\frac{m}{s}$) es usada para computar la proporción longitud a ancho de un elipse (ver [PMC⁺])

$$\frac{L}{W} = 1 + 0,25 U_{eff} \quad (2.92)$$

donde:

L es la longitud del elipse (m)

W es el ancho del elipse (m)

Albini and Chase (1980) brindaron una fórmula para determinar la excentricidad de la elipse, E , tal que $0 < E < 1$ usando la longitud L y el ancho W de la elipse:

$$E = \frac{\sqrt{(\frac{L}{W})^2 - 1}}{(\frac{L}{W})} \quad (2.93)$$

Dada la predecida excentricidad, E , calculada del efectivo viento, y la máxima velocidad de propagación calculada por Rothermel, R_{max} , (Albini and Chase 1980) brindaron la velocidad de propagación del fuego en un arbitrario ángulo:

$$R_{\theta} = R_{max} \frac{(1 - E)}{(1 - E \cos\theta)} \quad (2.94)$$

donde:

L es la longitud del elipse (m)

En cualquiera 3 por 3 vecinos de celdas, un fuego localizado en el centro de los vecinos tiene el potencial de propagarse a los 8 vecinos adyacentes. La distancia en la dirección de una celda vecina localizada en algún ángulo θ , en grados, desde la celda del centro durante la iteración n -ésima $d_{\theta, n}$ es igual a la velocidad de propagación en la dirección del vecino durante la n -ésima iteración $R_{\theta, n}$ multiplicado por la duración del paso de tiempo t_n :

$$d_{\theta, n} = R_{\theta, n} t_n \quad (2.95)$$

Intensidad Lineal

Las características físicas del frente de un incendio proporcionan información muy valiosa para predecir el comportamiento del mismo, o para la evaluación del comportamiento del mismo.

La *intensidad lineal* es la cantidad de calor que se libera en el frente de un incendio por unidad de tiempo y de longitud, también puede definirse como la potencia calorífica total por metro de amplitud del frente (ver [LG]).

Byram (1959) desarrolló una expresión para cuantificar la intensidad del frente del incendio:

$$I_B = \Delta H_c m_c u_{incendio} \quad (2.96)$$

donde:

ΔH_c poder calorífico inferior del combustible ($\frac{kJ}{kg}$)

m_c masa de combustible quemada por unidad de superficie ($\frac{kg}{m^2}$)

$u_{incendio}$ velocidad de avance lineal del frente del incendio ($\frac{m}{s}$)

Rothermel (1983) relacionó el valor de la intensidad de reacción a la intensidad de la línea de fuego (ver [C.R83]).

Sean:

I_R = Intensidad de reacción ($\frac{Btu}{ft^2 min}$)
 I = Intensidad de la línea de fuego ($\frac{Btu}{ft s}$)
 H_A = Calor por unidad de área ($\frac{Btu}{ft^2}$)
 R = Velocidad de propagación ($\frac{ft}{min}$)
 t_R = tiempo de residencia (min)

$$I = \frac{H_A R}{60} \quad (2.97)$$

$$H_A = I_R t_R \quad (2.98)$$

reemplazando H_A en la ecuación 2.97

$$I = \frac{I_R t_R R}{60} \quad (2.99)$$

donde t_R es dependiente de la característica proporción superficie-área volumen del lecho de combustible.

Así H_A o I_R pueden ser calculados desde los otros cuando el tiempo de residencia es conocido.

2.3 EL MODELO DE ROTHERMEL: DESCRIPCIÓN DETALLADA

Anderson (1969) mostró como el tiempo de residencia es relacionado al tamaño de la partícula de combustible (ver[C.R83]).

$$t_R = 8 d ,min \quad (2.100)$$

donde d es el tamaño de la partícula de combustible

$$d = \frac{4}{\sigma} \quad (2.101)$$

reemplazando en la ecuación 2.100

$$t_R = 8 \frac{4}{\sigma} \quad (2.102)$$

$$t_R = \frac{384}{\bar{\sigma}} ,min \quad (2.103)$$

donde $\bar{\sigma}$ es la característica proporción superficie área volumen del lecho de combustible, Rothermel 1972 (ver[C.R72]).

Características geométricas de la llama en el frente del incendio

Las características geométricas de la llama en un incendio forestal son indicadores muy valiosos a la hora de estudiar el comportamiento de un incendio. No son únicamente un claro reflejo de cómo se desarrolla un incendio, sino que también proporcionan datos indispensables para el cálculo de la radiación emitida por el frente, proporcionando una idea de la emisividad de las llamas.

La geometría del frente se caracteriza por la altura, la longitud, el ángulo de inclinación y la profundidad o la anchura de su llama (ver figura siguiente).

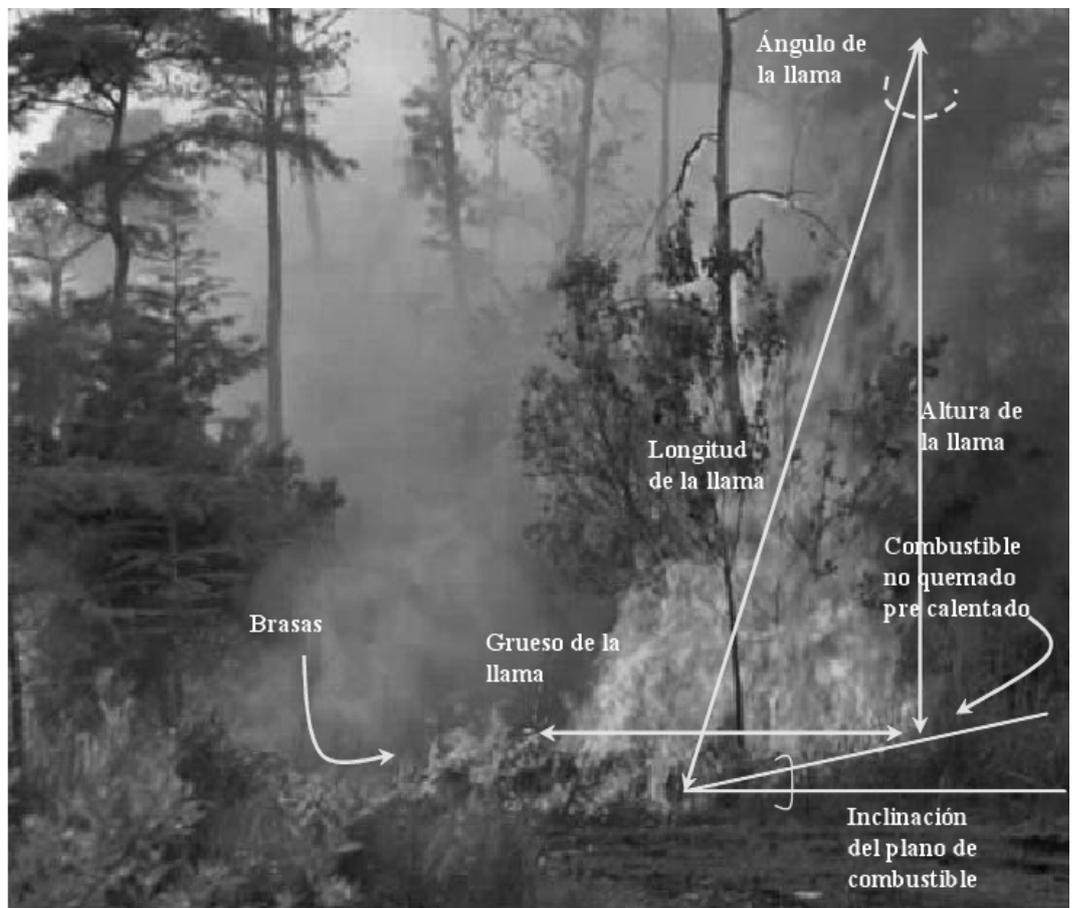


Figura 2.13: Características geométricas de la llama

Las definiciones de estas magnitudes no son las mismas de un autor a otro y a veces son ambiguas, lo cual dificulta su medición (ver [LG]).

Longitud de la llama (L_f)

Se define como la distancia entre la punta de la llama y el punto a la mitad de su espesor. También existen correlaciones para su cálculo, tales como las propuestas por Byram (1959).

Espesor o profundidad de la llama (S_f)

Es la zona donde se produce la combustión con llama de forma continua. Suele considerarse como la distancia entre la parte delantera y la parte trasera de la llama, midiéndose paralelamente al suelo. Existen varias correlaciones empíricas para su cálculo (Leicester 1985).

Correlaciones para Incendios de Superficie

Correlaciones para estimar la longitud de la llama en un incendio de superficie (Byram 1959).

$$L_f = 0,0775 I_B^{0,46} \quad (2.104)$$

2.3 EL MODELO DE ROTHERMEL: DESCRIPCIÓN DETALLADA

Teledetección y Algoritmos involucrados

3.1. Introducción

Se define a la teledetección como aquella técnica que nos permite obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre (ver [SLPI]). Para que esta observación remota sea posible, es posible que entre los objetos y el sensor exista algún tipo de interacción. Por ejemplo somos capaces de ver un árbol porque nuestros ojos reciben y traducen convenientemente una energía luminosa procedente del mismo. Esa señal además no es originada por el árbol, sino por un foco energético exterior que le ilumina.

Este sencillo ejemplo nos sirve para introducir los 3 principales elementos de cualquier sistema de teledetección: sensor (nuestro ojo), objeto observado (árbol) y flujo energético que permite poner a ambas en relación.

El sol ilumina la superficie terrestre, que refleja esa energía en función del tipo de cubierta presente sobre ella.

Las características de este flujo energético pueden describirse por dos elementos : longitud de onda (λ) y frecuencia (F).

La primera hace referencia a la distancia entre 2 picos sucesivos de onda, mientras que la frecuencia designa el número de ciclos pasando por un punto fijo en una unidad de tiempo.

Ambos elementos están inversamente relacionados :

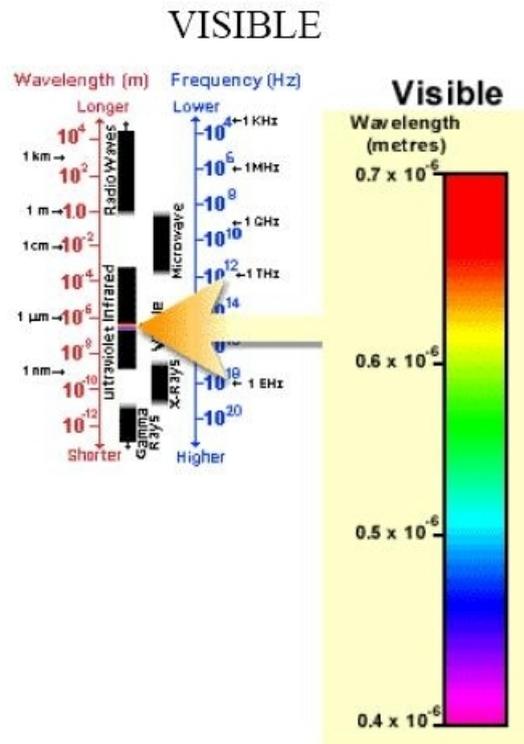
$$c = \lambda F \tag{3.1}$$

donde c indica la velocidad de la luz ($3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$), λ expresa la longitud de onda (habitualmente en micrometros $1mm = 10^{-6}m$) y F la frecuencia (Hertzios, ciclos por segundo).

3.1 INTRODUCCIÓN

Espectro Electromagnético

Podemos definir totalmente cualquier tipo de energía dando su longitud de onda (o frecuencia). El espectro electromagnético es la sucesión continua de esos valores de frecuencia, aunque conceptualmente se divide en bandas.



El espectro visible (0.4 a 0.7mm) es la única radiación electromagnética perceptible al ojo humano. Podemos localizar los distintos colores en las longitudes:

Azul: 0.4 - 0.5 mm Verde: 0.5 - 0.6 mm Rojo: 0.6 - 0.7 mm

Suelen distinguirse 3 bandas o valores elementales, que se denominan:

- **Azul:** 0.446 - 0.5 mm
- **Verde:** 0.5 - 0.6 mm
- **Rojo:** 0.6 - 0.7 mm

los colores elementales estan asociados a estas longitudes de onda.

Infrarojo próximo (0.7 a 13 mm): A veces se les denomina infrarojo reflejado o fotográfico, puesto que parte de él puede detectarse a partir de filmes dotados de emulsiones especiales. Resulta de especial importancia por su capacidad para discriminar

3.1 INTRODUCCIÓN

masas vegetales u concentraciones de humedad.

Infrarojo medio (1.3 a 8 mm): En donde se entremezclan los procesos de reflexión de la luz solar y emisión de la superficie terrestre. Resulta idóneo para estimar contenido de humedad en la vegetación y detección de focos de alta temperatura.

Infrarojo lejano o térmico (8 a 14 mm): Que incluye la porción emisiva del espectro terrestre, en donde se detecta el calor proveniente de la mayor parte de las cubiertas terrestres.

Micro-ondas (a partir de 1 mm): Con gran interés por ser un tipo de energía bastante transparente a la cubierta nubosa.

Resolución Radiométrica

Mientras los arreglos de píxeles describen la estructura espacial de una imagen, las características radiométricas describen el contenido real de la información de la imagen.

Cada vez que una imagen es adquirida por un sensor, su sensibilidad a la magnitud de la radiación electromagnética determina la resolución radiométrica. Esta resolución radiométrica describe la habilidad del sistema en discriminar muy pequeñas diferencias de energía.



Los datos de una imagen son números digitales positivos que van desde el 0 a (uno menos) una potencia de 2. Este rango corresponde al número de bits usados en los números en formato binario.

Cada bit puede guardar un exponente de potencia de 2. El máximo número de niveles de brillo disponibles depende del número de bits usados para guardar los datos de energía. Así si un sensor usa 8 bits estarán disponibles $2^8 = 256$ valores digitales que van de 0 a 255. Si sólo usamos 4 bits, sólo $2^4 = 16$ valores que van de 0 a 15 estarán disponibles. Y así la resolución radiométrica será mucho menor. Los datos de las imágenes son generalmente grabados en rangos de tonos de grises, correspondiendo el 0 al negro y el 255 al blanco.

El ejemplo que muestra la figura de arriba izquierda es una imagen con 2 bits, y la de la derecha es una imagen de 8 bits de resolución.

3.1 INTRODUCCIÓN

3.1.1. Landsat 5

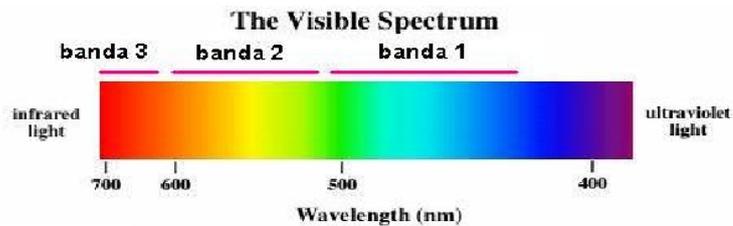


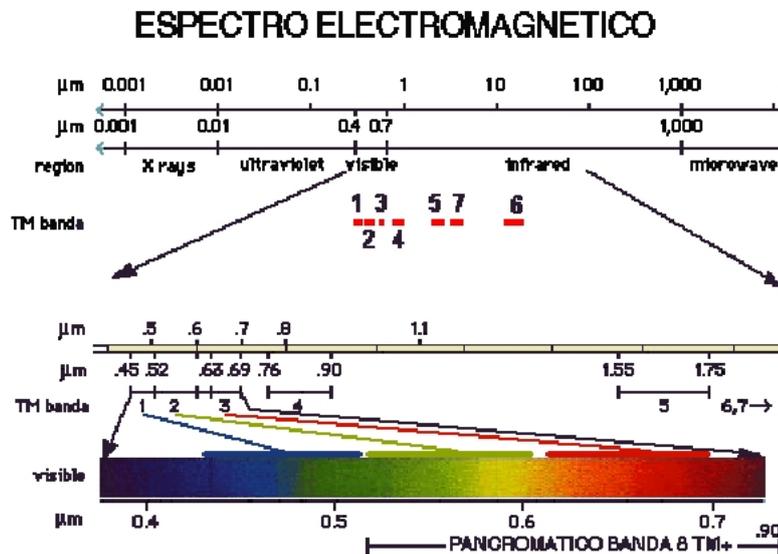
Imagen del Landsat 5

El satélite Landsat-5 tiene instalado el sensor TM (Thematic Mapper). El sensor TM dispone de 7 canales o bandas, situadas en distintas zonas del espectro electromagnético.

TM y ETM+ Bandas Espectrales								
Anchura de banda (μm) Anchura Mínima – Anchura Máxima								
Sensor	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6	Banda 7	Banda 8
TM	0.45 - 0.52	0.52 - 0.60	0.63 - 0.69	0.76 - 0.90	1.55 - 1.75	10.4 - 12.5	2.08 - 2.35	No existe
ETM+	0.45 - 0.52	0.53 - 0.61	0.63 - 0.69	0.78 - 0.90	1.55 - 1.75	10.4 - 12.5	2.09 - 2.35	.52 - .90
Región	Visible azul	Visible Verde	Visible Rojo	Infrarrojo Próximo	Infrarrojo Lejano	Térmico Lejano	Térmico próximo	Visible

A continuación se muestran las bandas en la gráfica del espectro electromagnético:





Resolución espacial (Landsat 5)

La resolución espacial cuantifica el tamaño del pixel. Para el sensor TM, la resolución espacial del sensor se muestra en la figura 3.1.

3.2. Obtención de la imagen y el dem

Dado que contábamos con el apoyo del personal del plan, ellos nos brindaron las imágenes del Landsat-5 y el dem correspondientes a los path y rows de la provincia de Córdoba.

Cada imagen .img (dado un path y un row) tiene incluido las 7 bandas del satélite Landsat-5. Dado que algunas imágenes contenían nubes, obtuvimos de la NASA las imágenes respectivas a la provincia de Córdoba, donde cada banda estaba incluida en un archivo tif.

3.3. Obtención de la capa de vegetación

La capa de vegetación fue brindada por los biólogos Marcelo Zack y Marcelo Cabido. Esta capa sólo incluye la clasificación de los combustibles del norte de la provincia de Córdoba, limitando así la zona posible de simulación.

Una **mejora** sería obtener la capa de combustible para toda la provincia de Córdoba.

3.4. Preprocesamiento de la imagen

Una vez obtenida la imagen; la abrimos con el envi junto con el vector límite de Córdoba (.shp, también entregado por la gente de la Agencia Córdoba Ambiente) para obtener las coordenadas donde comenzaríamos a realizar el recorte (dichas imágenes

3.4 PREPROCESAMIENTO DE LA IMAGEN

Satellite	Sensor	Bandwidths	Resolution	Satellite	Sensor	Bandwidths	Resolution
LANDSATs 1-2	RBV	(1) 0.48 to 0.57	80	LANDSATs 4-5	MSS	(4) 0.5 to 0.6	82
		(2) 0.58 to 0.68	80			(5) 0.6 to 0.7	82
		(3) 0.70 to 0.83	80			(6) 0.7 to 0.8	82
			(7) 0.8 to 1.1			82	
	MSS	(4) 0.5 to 0.6	79		TM	(1) 0.45 to 0.52	30
		(5) 0.6 to 0.7	79			(2) 0.52 to 0.60	30
		(6) 0.7 to 0.8	79			(3) 0.63 to 0.69	30
(7) 0.8 to 1.1		79	(4) 0.76 to 0.90	30			
LANDSAT 3	RBV	(1) 0.505 to 0.75	40	(5) 1.55 to 1.75		30	
				(6) 10.4 to 12.5		120	
	MSS	(4) 0.5 to 0.6	79	(7) 2.08 to 2.35		30	
		(5) 0.6 to 0.7	79	LANDSAT 7	ETM ⁺	(1) 0.45 to 0.52	30
		(6) 0.7 to 0.8	79			(2) 0.52 to 0.60	30
(7) 0.8 to 1.1	79	(3) 0.63 to 0.69	30				
(8) 10.4 to 12.6	240	(4) 0.76 to 0.90	30				
		(5) 1.55 to 1.75	30				
		(6) 10.4 to 12.5	60				
		(7) 2.08 to 2.35	30				
		PAN 0.50 to 0.90	15				

Figura 3.1: Resolución espacial del sensor TM

las obtuvimos georeferenciadas).

Comenzamos el recorte a partir de la latitud y longitud, - 29° 32' 14.77" y - 64° 21' 10.62" respectivamente.

Decidimos que el tamaño de los mosaicos fueran de 820 de ancho y 670 de alto, estos también son posibles cambiarlos.

Con la herramienta Pixel Locator (Tools ->Pixel Locator) obtuvimos las coordenadas cartesianas de la latitud y longitud del primer pixel del primer mosaico (mencionado arriba), para posteriormente realizar el recorte sumando el ancho y el alto elegido, para obtener las coordenadas cartesianas del último pixel abarcado por el primer mosaico.

Con la herramienta Resize Data (Basic Tools ->Resize Data), seleccionamos la imagen a recortar, Spectral Subset elegimos la banda a recortar (si la banda es un tif entonces sólo hay una banda elegida, pero si fuera un .img, como por ej el que nos brindaron aca elegiríamos la banda que queremos recortar) y con Spatial Subset insertamos el número de fila y columna donde comienza el recorte (coordenadas cartesianas) y el número de fila y columna donde termina el mosaico.

Ejemplo tomemos el pixel con la latitud y longitud mencionada arriba, con la herramienta Pixel Locator obtenemos que las coordenadas correspondientes a esta latitud y longitud son 2059 y 770 dentro del path y row 229 y 81. Luego realizamos la suma $2059 + 819 = 2878$ y $770 + 669 = 1439$, obteniendo así que la imagen del primer mosaico abarca hasta la fila 2878 y columna 1439. Realizamos el recorte con Resize Data, y lo guardamos en un bin, dentro de una carpeta llamada mosaico1, incluida en una carpeta nombrada imágenes dentro del simulador, guardando también el header generado por el envi. Dado que este incluye metadata importante como por ejemplo donde comienza la imagen (latitud y longitud) y el ancho y el alto del mosaico.

Esto lo repetimos con todas las bandas del mosaico generado.

Para obtener los mosaicos posteriores tuvimos en cuenta donde termina el mosaico anterior, y esa coordenada sería el comienzo del nuevo mosaico sumando el ancho y el alto elegido, y así obtenemos el nuevo mosaico. Esto se repitió hasta abarcar la zona de la capa de vegetación.

3.5. Preprocesamiento de la Capa de Vegetación

El tamaño del pixel de la capa de vegetación obtenida era de 30 metros, como teníamos las bandas de resolución radiométrica de 28.5 tuvimos que convertir la capa de vegetación a esta resolución con la herramienta Resize Data, mediante **Spatial Subset: Full Scene, Set Output Dims by Pixel Size: 28.5**, guardando el resultado como un binario.

Una vez realizada la transformación del tamaño del pixel ubicamos el pixel (con Pixel Locator) con latitud y longitud - 29° 32' 14.77" y - 64° 21' 10.62" respectivamente, obteniendo las coordenadas cartesianas del mismo 2241 y 374. Sumamos 819 y 669, resultando 3060 y 1043 las coordenadas cartesianas del último pixel abarcado por el mosaico 1.

Para obtener el mosaico de la capa de vegetación de un nuevo mosaico el procedimiento es el mismo que mencionamos arriba.

3.6. Preprocesamiento del Modelo Digital de Elevación (DEM)

Con el dem surgió lo mismo que con la capa de vegetación, el tamaño del pixel no era 28.5, sino 90 metros. Entonces lo transformamos con la herramienta Resize Data, con el mismo procedimiento que mencionamos en la capa de vegetación.

Una vez realizada la transformación del tamaño del pixel, ubicamos de nuevo el pixel (dado que estamos mostrando los pasos para el mosaico 1) con latitud y longitud - 29° 32' 14.77" y - 64° 21' 10.62" respectivamente, obteniendo las coordenadas cartesianas del mismo 752 y 326. Sumamos 819 y 669 resultando 1571 y 995 las coordenadas cartesianas del último pixel abarcado por el mosaico 1. Esto se puede corroborar editando los header del mosaico 1.

Una vez obtenido el dem teníamos que guardar el aspect y el slope respectivos, para poder diferenciarlos, con la herramienta Topographic Modeling (Topographic ->Topographic Modeling) logramos obtener el slope y el aspect buscados.

Otra **mejora** podría haber sido incluir el dem, y que el sistema se encargue de diferenciar las características necesarias para la simulación.

3.7. Imagen

Los datos obtenidos a través de sistemas de teledetección, tales como las imágenes de satélites, son una medida de la radiación solar reflejada por la superficie terrestre, de la energía emitida por la tierra misma o de la energía emitida por un sistema RADAR (sistemas activos) que es reflejada por la superficie terrestre.

Una imagen consiste de un arreglo de pixeles (picture elements) o celdas, las cuales

3.7 IMAGEN

están ordenadas en filas y columnas. Cada pixel tiene un número digital (DN), que representa la intensidad de la señal recibida o reflejada por un área dada de la superficie de la tierra.

El DN es producido en un rango de valores característico del tipo de sensores utilizado, los *valores radiométricos*.

Resolución Radiométrica del Landsat 5

La resolución radiométrica indica la sensibilidad del sensor, es decir la capacidad de discriminar entre pequeñas variaciones en la radiación que capta. Suele expresarse mediante el número de bits necesarios que se necesitan para almacenar cada celdita. Por ejemplo Landsat-TM (1,2,3,4,5,7) utiliza 8 bits lo que da $2^8 = 256$ niveles de energía que pueden ser captadas (ver[Res]).

Cuanto mayor sea la precisión radiométrica mayor número de detalles podrán captarse en la imagen.

Representación de los Datos

Describiremos el modelo de algunos módulos de SIF_PANO para facilitar la comprensión desde el punto de vista computacional, y descripción en lenguaje natural de los algoritmos de SIF_PANO.

Imagen

Desde el punto de vista computacional nos encargaremos de modelar la representación utilizada por SIF_PANO de una imagen, así como también las funciones y atributos propios de la imagen (como por ej sus bandas).

El lenguaje que utilizaremos para la descripción de las estructuras de datos será similar a Z, sin embargo nos tomaremos algunas libertades en cuanto a las reglas que implica la utilización de Z, con el objetivo de brindar una legibilidad mas sencilla al trabajo.

Comenzaremos primero con la descripción de la representación de un pixel. En nuestro modelo de la imagen el tipo de pixel queda definido por:

PIXEL ::= UNSIGNED_CHAR

(o lo que sería lo mismo, $0 \leq x \leq 255$ números pequeños y juegos de caracteres del PC).

Esto quiere decir que un pixel puede tomar valores entre 0 y 255 debido a que es una propiedad de los sensores (en nuestro caso de los sensores del Landsat 5).

Con la finalidad de otorgarle robustez al sistema algunos códigos de error son necesarios:

ERROR_T ::= Falla | OK | Memoria | MalParametro | MalFormato | ErrorIO

donde:

- Falla = error no-definido, poco usado
- Memoria = memoria insuficiente
- MalParametro = un inválido parámetro fue usado
- MalFormato = formato erróneo de archivo

3.7 IMAGEN

- ErrorIO = error de entrada y/o salida

En el simulador una imagen puede estar en dos estados que denominaremos ImageFlag, uno crítico en el cual es recomendable no utilizar la imagen y volverla a cargar, y otra en la que se puede procesar y simular correctamente con ella.

$$ImageFlag ::= ImageOK \mid ImageError$$

3.7.1. Representación utilizada por SIF_PANO de una IMAGEN

Dado que una imagen puede contener varias bandas, tomando como referencia al Landsat-5, nosotros modelamos con 7 bandas a una imagen, que pueden o no ser cargadas (banda1, banda2, ..., banda7).

Las imágenes tienen atributos propios como ser el ancho y el alto (w y h), si esta georeferenciada o no (ref), latitud y longitud de la imagen si la misma esta georeferenciada (lat y lon), el tamaño del pixel ($tamPixel$), y el lugar de almacenamiento de los valores de los pixeles ($banda1...banda7$).

A cada pixel de una imagen le corresponde un lugar en el espacio, que esta determinado por un sistema de coordenadas cartesianas en el espacio.

Por convención el simulador considera que el par $(0,0)$ corresponde al pixel localizado en el borde izquierdo superior de la imagen.

Esquemáticamente en un lenguaje de especificación cercano a Z podría modelarse el tipo abstracto que representara a una imagen y sus operaciones de la siguiente manera:

```
Image
-----
w : Z
h : Z
ref : Z
lat : REAL
lon : REAL
flag : ImageFlag
banda1 : 0..[(w × h) - 1] → PIXEL
banda2 : 0..[(w × h) - 1] → PIXEL
banda3 : 0..[(w × h) - 1] → PIXEL
banda4 : 0..[(w × h) - 1] → PIXEL
banda5 : 0..[(w × h) - 1] → PIXEL
banda6 : 0..[(w × h) - 1] → PIXEL
banda7 : 0..[(w × h) - 1] → PIXEL
```

Para el simulador se implementaron un conjunto de métodos para la manipulación de los atributos de la imagen, si bien este trabajo podría omitir ciertos detalles queremos que el modelo del tipo de la imagen sea lo más parecido posible a la implementación del mismo.

En el capítulo 4 se listan todos los procedimientos pero sólo se mostrarán algunos a continuación.

3.7 IMAGEN

ImageSetSize

Setea el tamaño de la imagen

$\Delta Image$

$width?, height? : \mathbb{Z}$

$out! : ERROR_T$

$w' = width?$

$h' = height?$

ImageFlood

Asigna un valor de pixel $value?$ a todos los píxeles de la banda $banda?$

$\Delta Image$

$value? : UNSIGNED_CHAR$

$banda? : \mathbb{Z}$

$\forall address : dom\ banda \bullet$

$banda\ (address)' = value? \wedge$

$(banda? = 1 \Rightarrow banda = banda1 \vee$

$.. \vee$

$banda? = 7 \Rightarrow banda = banda7)$

ImageSetPixel

Asigna un valor de pixel a la correspondiente coordenada $x?$, $y?$ de la banda $banda?$ en la imagen

$\Delta Image$

$x?, y? : \mathbb{Z}$

$banda? : \mathbb{Z}$

$val? : UNSIGNED_CHAR$

$x? \leq w \wedge y? \leq h$

$1 \leq banda? \leq 7$

$banda\ (address)' = value? \wedge address = y? w + x? \wedge$

$(banda? = 1 \Rightarrow banda = banda1 \vee$

$.. \vee$

$banda? = 7 \Rightarrow banda = banda7)$

ImageGetPixel

Obtener el valor del pixel correspondiente a las coordenada $x?$, $y?$ de la banda $banda?$ en la imagen

$\exists Image$

$x?, y? : \mathbb{Z}$

$banda? : \mathbb{Z}$

$px! : PIXEL$

$banda? : \mathbb{Z}$

$x? \leq w \wedge y? \leq h$

$1 \leq banda? \leq 7$

$px! = banda (address) \wedge address = y? w + x? \wedge$

$(banda? = 1 \Rightarrow banda = banda1 \vee$

$.. \vee$

$banda? = 7 \Rightarrow banda = banda7)$

ImageSetFlag

Asigna un estado *ImageFlag*, a la imagen

$\Delta Image$

$flag? : ImageFlag$

$flag' = flag$

ImageSetPixelAux

Asigna un valor de pixel $val?$ al pixel de la direccion $address?$ de la banda $banda?$ en la imagen

$\Delta Image$

$address? : \mathbb{Z}$

$banda? : \mathbb{Z}$

$val? : UNSIGNED_CHAR$

$1 \leq banda? \leq 7$

$0 \leq address? \leq [(wh) - 1]$

$banda (address)' = val? \wedge$

$(banda? = 1 \Rightarrow banda = banda1 \vee$

$.. \vee$

$banda? = 7 \Rightarrow banda = banda7)$

3.7.2. Carga de la imagen

El módulo *CargaArchivoImagen* contiene algunas funciones, que se utilizan cuando se realiza la carga de una imagen.

Una vez que se selecciona el archivo bin de la banda a cargar se utilizan funciones para asignar o inicializar la estructuras (como por ejemplo la de la imagen) del sistema.

A continuación mostraremos el algoritmo que crea una banda a partir de la apertura del archivo binario de la intensidad de la imagen generada por el satélite, con los parámetros de entrada *nomArchivo* (nombre del archivo), *img* (la variable imagen donde

se van a guardar los datos), `imgCopy` (la copia de la imagen que tiene un realce en el contraste, mas adelante la mostraremos), y el número de banda que se está creando.

1. Abrimos el archivo, con el cursor inicializado en el principio del mismo para comenzar a leer. Si hay algún error ir a 10.
2. `k = 0`
3. Leemos el tamaño de un char, llamemosle `c`, `sizeof(char) = 1 byte`.
4. asignamos ese caracter leído al pixel `k` de la banda `ban`, en las dos imágenes `img` e `imgCopy`.
`ImageSetPixelAux(img,ban,k,c)`
`ImageSetPixelAux(imgCopy,ban,k,c)`
5. `k ++`
6. Sino se alcanzó el final del archivo volver a 3.
7. Cierre del archivo
8. `ImageSetFlag(img,ImageOK)`, la operación terminó con éxito
9. Retorna `img`
10. `ImageSetFlag(img,ImageError)`

Optimización de la imagen (optimización visual)

La optimización (realce) del contraste; también llamado mejoramientos globales transforman los datos originales usando las estadísticas calculadas para toda la imagen. Ejemplo de ellas tenemos: expansión (stretching) lineal del contraste, ecualización del histograma y expansión (stretching) parcial del contraste.

3.7.3. Optimización del contraste

La meta del mejoramiento de contraste es facilitar la interpretación visual de una imagen; por incremento de la distinción aparente entre las características de una escena. Aunque la mente humana es excelente distinguiendo e interpretando características en una imagen, el ojo tiene limitaciones en la discriminación de diferencias sutiles de los valores de reflectancia que caracterizan tales rasgos. Usando técnicas de mejoramiento de contraste estas leves diferencias se hacen mas notorias para la observación. El mejoramiento de contraste también se emplea para reducir el efecto de bruma (haze) en la imagen. La luz dispersada en la atmósfera que llega directamente al sensor, sin haber interactuado con los objetos de la superficie terrestre, genera el llamado efecto de bruma (haze o path radiance). El efecto de bruma hace aparecer los DN con un mayor valor y este efecto aditivo es el que hace que la imagen aparezca con un bajo contraste. Las técnicas mas empleadas para mejorar el contraste son las de “linear stretching” y la de “histogram equalization”.

El monitor de una computadora en el que se visualiza una imagen de satélite es capaz de desplegar hasta 256 niveles de grises (0-255), los cuales se corresponden con la mayoría de las imágenes de satélite, que tienen DN variando en el rango de 0 a 255. El “linear

3.7 IMAGEN

stretching” es el más sencillo de los mejoramientos de contraste, un valor de DN bajo el histograma (m) se asigna al extremo negro y un valor alto (M) se asigna al extremo blanco. El resto de los valores de los pixeles se distribuye linealmente entre estos dos extremos. Aunque el “linear stretching” del contraste aplica al intervalo (m,M) sobre el de (0,255) en la mayor parte se produce una imagen con poco brillo. Aunque todas las tonalidades de gris del despliegue son utilizadas, la mayor parte de los pixeles son desplegados en grises medios. Esto se debe a la distribución mas o menos normal dentro de los valores mínimo y máximo del histograma. Por esta razón es muy común cortar los valores extremos de la distribución en las partes superior e inferior (usualmente en 1 %, ver [hisnt]).

El mas común linear stretch se realiza usando la siguiente ecuación:

$$DN' = \frac{DN - Min}{Max - Min} 255 \quad (3.2)$$

donde:

DN' es el nuevo nivel de gris
 DN es el original nivel de gris
 MIN es el mínimo nivel de gris de la imagen original
 MAX es el máximo nivel de gris de la imagen original

A continuación mostraremos el modelado del tipo abstracto que representa al histograma, el cual fue utilizado para generar el contraste:

Histograma

$ncount : \mathbb{Z}$
 $ptable : 0..255 \rightarrow \mathbb{N}$

ResetearHistograma

Inicializa el histograma, seteando los valores de los dn a 0
 Δ Histograma

$\forall k : \text{dom } ptable \bullet$
 $ptable(k)' = 0$

HistogramaComputar

Computa el histograma de la banda de entrada de la imagen
 Δ Histograma
 $imagen? : Image$
 $banda? : \mathbb{Z}$

$\forall k : \text{dom } ptable \bullet$
 $banda? = 1 \Rightarrow banda = banda1 \vee$
 $.. \vee$
 $banda? = 7 \Rightarrow banda = banda7$
 $ptable(k)' = \#\{address \in \text{dom } imagen?.banda \mid$
 $imagen?.banda(address) = k\}$

El mínimo y el máximo de los DN (los valores extremos de la distribución a partir del cual cortaremos el histograma) son calculados mediante el siguiente algoritmo. Teniendo en cuenta el porcentaje elegido, que decidimos hacerlo del 1 % del total de los valores de los DN, del histograma hist de la imagen img.

1. sumaida = 0, i = 0
2. Definimos el porcentaje a partir del cual dejaremos de tener en cuenta los valores de los dn
porcentaje = $\frac{w \cdot h}{100}$
w y h son el alto y el ancho de la imagen img
3. sumaida = hist.ptable (i)
4. i ++
5. Si sumaida < porcentaje ir a 3
6. Sino ir a 7
7. devuelvo el valor de i

Este algoritmo calcula el límite inferior, el límite superior es similar, excepto que cambia el valor inicial de i a 255, y en vez de ir incrementando va decrementando (i--).

Esta función será utilizada en el siguiente algoritmo, que computa el contraste de la banda banda de la imagen img, guardando el resultado en la imagen imgCopy.

1. ResetearHistograma (hist)
2. Se computa el histograma de la banda banda de la imagen img
HistogramaComputar (hist,img,banda)
3. w = ImageGetWidth (img), h = ImageGetHeight (img), ancho y alto de la imagen
4. Calculamos el límite inferior y superior, y lo guardamos en Nmin y Nmax respectivamente
5. Para todos los pixeles de la imagen, con coordenadas cartesianas x, y calculamos el nuevo nv:
$$nv = \frac{ImageGetPixel(img,banda,x,y) - N_{min}}{N_{max} - N_{min}} \cdot 255$$
6. Si nv < 0 => nv = 0
7. ImageSetPixel(imgCopy, banda, x, y, nv)

3.7.4. Carga del DEM

El módulo CargaArchivoImagen también contiene funciones, que se utilizan cuando se realiza la carga del dem.

La salida del **mapa raster del slope** (generado con el preprocesamiento del DEM con Envi) contiene valores de las pendientes, se indica en grados de inclinación con respecto a la horizontal, dado que el formato = grados (por defecto de Envi).

La salida del **mapa raster del aspect** (generado con el preprocesamiento del DEM con Envi) contiene valores de ángulos aspect (aspecto) que es la dirección que se enfrenta a una pendiente, con la convención en Envi de 0 grados en el norte (arriba) y el ángulo incrementa en el sentido de las agujas del reloj.

El Aspect (aspecto) es la dirección de la cara de la pendiente.

Es usado para determinar la dirección de la pendiente ascendente para considerar los efectos del viento y la pendiente sobre la propagación del fuego.

Una vez que se selecciona el mapa raster de las características topográficas (aspect o slope) se utilizan funciones para que tales características sean guardadas en el sistema.

El tipo aspect y el tipo slope pueden ser representados como:

$$\begin{aligned} \text{aspect} &: \text{width height} \rightarrow \mathbb{Z} \\ \text{slope} &: \text{width height} \rightarrow \mathbb{Z} \end{aligned}$$

(fueron implementados como punteros a un total de width * height de enteros).

Por lo tanto el algoritmo para la carga del DEM, cambia con respecto a las bandas. Dado el nombre del archivo (nomArchivo), el ancho (ancho) y el alto (alto) de la característica a cargar (slope o aspect) el siguiente algoritmo crea las características en el sistema:

1. Abrimos el archivo, con el cursor inicializado en el principio del mismo para comenzar a leer. Si hay algún error ir a 14.
2. Mover el cursor al inicio de los datos (omitir el encabezado).
3. $k = 0, j = 0, \text{res} = ""$ //(char * res)
Para todos los valores de banda, $\text{banda}[l] = 0$ ($0 < l < \text{ancho} * \text{alto}$)
4. Leemos el tamaño de un char, llamemosle per.linea
5. Si $\text{per.linea} = ""$ o $\text{per.linea} = \text{enter}$ no lo guardo, ir a 12.
6. Sino $\text{res}[k] = \text{per.linea}, k++$
7. Leemos el tamaño de un char, llamemosle per.linea
8. Si $\text{per.linea} = ""$ o $\text{per.linea} = \text{enter}$ ir a 11.
6. Sino $\text{res}[k] = \text{per.linea}, k++$ ir a 10.
10. Sino se alcanzó el final del archivo ir a 7
11. $\text{banda}[j] = \text{convertirInt}(\text{res})$ //convierte el string a entero
 $\text{res} = ""$, $k = 0, j++$, ir a 12
12. Sino se alcanzó el final del archivo ir a 4
13. Si se alcanzó el final del archivo, lo cerramos y devolvemos banda
14. Devolvemos banda

3.7.5. Carga de la capa de vegetación y Preprocesamiento

El algoritmo para la carga de la capa de vegetación es el mismo que para la carga de la imagen (ver sección 3.7.2) con la excepción de que una vez leída la capa de vegetación antes de guardarla en el sist se realiza un preprocesamiento, una asignación de acuerdo a los modelos de combustibles de Marcelo Zack y Marcelo Cabido (ver [ZC]) a los 13 modelos de combustibles forestales, utilizados en EE.UU (ver [VNF⁺]), esta función es llamada *matcheo* o *matching* y es mostrada a continuación:

Tomemos como ejemplo, el modelo 4 de Zack y Cabido “bosque de planicie oriental” el *matching* dice 9, es decir a los pixeles que corresponden a este modelo son asignados con 9, indicando que corresponden al modelo 9 de los 13 modelos de combustibles “pastizal fino”.

A continuación se muestra el algoritmo que realiza el *matching*, para una banda (la implementación de la capa de vegetación es la misma que la imagen, excepto que tiene una sola banda), de una imagen *imgCVegetacion* (de la capa de vegetación), *alto* y *ancho* de la capa de vegetación (*alto* y *ancho* respectivamente).

1. $y = 0, x = 0$

2.

$$f(n) = \begin{cases} 7 & \text{si } n \text{ es } 2 \\ 2 & \text{si } n \text{ es } 3 \\ 9 & \text{si } n \text{ es } 4 \\ 12 & \text{si } n \text{ es } 6 \\ 6 & \text{si } n \text{ es } 7 \\ 3 & \text{si } n \text{ es } 9 \\ 11 & \text{si } n \text{ es } 10 \\ 10 & \text{si } n \text{ es } 11 \\ 4 & \text{si } n \text{ es } 12 \\ n & \text{c.c} \end{cases}$$

donde n es `ImageGetPixel(imgCVegetacion,banda,x,y)`,
y $f(n)$ es el parámetro que se pasa a la función,
`ImageSetPixel(imgCVegetacion,banda,x,y,f(n))`.

3. $x++$

4. si $x < \text{ancho}$ ir a 2

5. sino $y++$

6. si $y < \text{alto}$ ir a 2

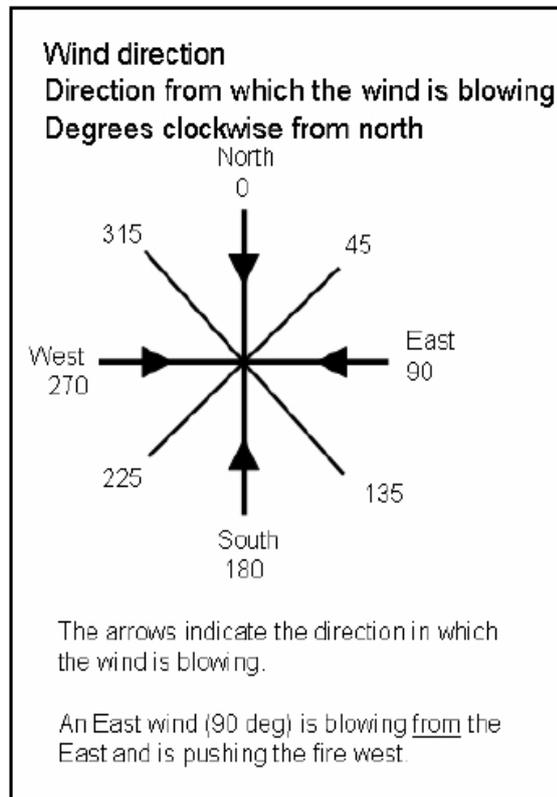
7. sino devolver *imgCVegetacion*

Una futura **mejora** al simulador sería que el *matching* fuera realizado por gente especializada en modelos de combustibles, como por ejemplo biólogos.

3.8. Implementación del viento

La dirección del viento medida en grados desde el norte es la dirección a partir de la cual el viento esta soplando.

3.8 IMPLEMENTACIÓN DEL VIENTO



Nota: Las imágenes mostradas en SIF_PANO con respecto a los vientos, la flecha está invertida, en vez de indicar la dirección del viento (la dirección en el cual el viento está soplando, dirección hacia donde va el viento), nosotros mostramos la flecha de donde viene el viento.

Pero en el momento de la carga de las variables se tiene en cuenta la correcta dirección del viento.

Es decir por ejemplo: si en el formulario de dirección y velocidad del viento/Selección Rápida, se selecciona 45° (con respecto al norte), entonces la dirección es SUROESTE 135° (donde 0 es el norte en sentido horario), esta es la dirección real guardada en el sistema.

El viento se representó mediante dos variables:

velViento : double
dirViento : double

donde *velViento* indica la velocidad del viento en millas por hora, y *dirViento* indica la dirección del viento en grados cartesianos, donde 0 es el norte en sentido horario.

Dichas variables no serán modificadas en toda la simulación, si el usuario no ingresó cambios en la dirección y velocidad del viento.

Pero si el usuario ingresó cambios, dichas variables serán modificadas en el tiempo de cambio seteado por el usuario.

3.9. Implementación del Tiempo

El tiempo de simulación lo podemos representar mediante un natural, que representa los minutos que va a demorar la simulación, calculada mediante el ingreso del usuario. El usuario ingresa los días, las horas y los minutos que va a demorar la simulación, y el sistema guarda este valor como un natural.

tiemposimulacion : \mathbb{N}

El simulador en base a la fecha del sistema y del tiempo de duración, calcula el tiempo de fin de la simulación y lo muestra en el formulario principal.

3.10. Implementación de los Puntos de Ignición

Antes de describir los puntos de ignición debemos comenzar por describir el punto de ignición.

En nuestro modelo, el tipo punto de ignición queda definido por:

```
puntosIgn _____  
px :  $\mathbb{Z}$   
py :  $\mathbb{Z}$   
marca : String  
cargado : Bool
```

donde *px*, *py* son las coordenadas cartesianas del punto, *marca* es el nombre del mismo (ingresado por el usuario), *cargado* indica si el punto fue seteado, es decir si es válido (seteado por el usuario).

Una vez definido el tipo punto de ignición, podemos definir el tipo *listapuntos*.

El tipo *listapuntos* fue implementado, con un arreglo del tipo de *puntosIgn*, esto es porque en el simulador a lo sumo se pueden cargar 20 puntos de ignición. A continuación mostraremos la representación del tipo lista puntos.

listapuntos : $0..20 \rightarrow \text{puntosIgn}$

En el capítulo 4 se listan sus funciones y procedimientos junto con sus descripciones.

3.11. Algoritmo de Simulación

A continuación mostraremos el algoritmo principal, el que realiza la simulación, con algunos detalles omitidos:

Inicializa variables, asigna memoria solicitada.

Creamos un modelo estándar de combustible (Rothermel) y la tabla de las intensidades del fuego.

3.11 ALGORITMO DE SIMULACIÓN

```
catalog = Fire_FuelCatalogCreateStandard("Standard", 13);
```

```
Fire_FlameLengthTable(catalog, 500, 0.1);
```

Tamaño de la imagen en filas y columnas

```
int Rows = ImageGetHeight(img);
```

```
int Cols = ImageGetWidth(img);
```

```
w = Cols;
```

```
h = Rows;
```

```
cells = Rows * Cols;
```

Ancho de la celda desde (Este-Oeste) en pies

```
double CellWd = metro_apies((double)ImageGetTamPixel(Form1->img));
```

Alto de la celda desde (Norte-Sur) en pies

```
double CellHt = metro_apies((double)ImageGetTamPixel(Form1->img));
```

Dirección del vecino N NE E SE S SW W NW

```
int nCol[8] = { 0, 1, 1, 1, 0, -1, -1, -1};
```

```
int nRow[8] = { 1, 1, 0, -1, -1, -1, 0, 1};
```

Se setea para todas las celdas el tiempo de ignición infinito.

```
for ( cell=0; cell<cells; cell++ )
```

```
{
```

```
    ignMap[cell] = INFINITY;
```

```
}
```

Calculamos la distancia a través de cada vecino y su azimut

```
for ( n=0; n<8; n++ )
```

```
{
```

```
    nDist[n] = sqrt ( nCol[n] * CellWd * nCol[n] * CellWd +  
                    nRow[n] * CellHt * nRow[n] * CellHt );
```

```
    nAzm[n] = n * 45.;
```

```
}
```

El tiempo de ignición para todos los puntos es 1

```
int p = 0;
```

```
int w2 = ImageGetWidth(img);
```

```
while(p <cantpuntos){
```

```
    int x = listapuntos[p].px;
```

```
    int y = listapuntos[p].py;
```

```
    cell = y * w2 + x;
```

```
    ignMap[cell] = 1.0;
```

```
}
```

Buscamos el tiempo de ignición mas cercano

3.11 ALGORITMO DE SIMULACIÓN

```
for ( timeNext=INFINITY, cell=0; cell<cells; cell++){
```

```
    if ( ignMap[cell] <timeNext ) timeNext = ignMap[cell];
```

```
}
```

Loop hasta que no haya más celdas que puedan incendiarse o el fuego alcance uno de los extremos de la imagen

```
atEdge = 0;
```

```
while ( timeNext <INFINITY && atEdge && timeNext<=tiempoSimulacion)
```

```
{
```

```
    timeNow = timeNext; //el tiempo ahora es el tiempo del vecino con menos tiempo a incinerarse
```

```
    timeNext = INFINITY; //tiempo de la próxima ignición
```

```
    nTimes++; //contador del paso del tiempo
```

Examina cada celda incendiada en el arreglo de combustible

```
for ( cell=0, row=0; row<Rows; row++ )
```

```
{
```

```
    for ( col=0; col<Cols; col++, cell++ )
```

```
    {
```

No hace nada si esta celda no fue incendiada

```
    if ( ignMap[cell] >timeNow )
```

```
    {
```

Chequea si esta celda es la próxima a incinerarse

```
        if ( ignMap[cell] <timeNext ) timeNext = ignMap[cell];
```

```
        continue; //sale del for de col
```

```
    }
```

Seteamos el flag atEdge a 1 si el fuego alcanzó uno de los extremos de la imagen

```
if ( row==0 || row==Rows-1 || col==0 || col==Cols-1 ) atEdge = 1;
```

Setea las características básicas (humedad y combustible) asociadas a la celda

```
modelNumber = fuelMap[cell]; //el modelo de combustible de la celda actual
```

```
moisture[0] = m1Map[cell]; //setea todas las humedades relacionadas a la celda
```

```
moisture[1] = m10Map[cell];
```

```
moisture[2] = m100Map[cell];
```

```
moisture[3] = m100Map[cell];
```

```
moisture[4] = mherbMap[cell];
```

```
moisture[5] = mwoodMap[cell];
```

Calcula la intensidad de reacción del incendio, y la velocidad de propagación sin viento y sin pendiente, pero teniendo en cuenta el modelo de combustible y la humedad de entrada.

```
Fire_SpreadNoWindNoSlope(catalog, modelNumber, moisture);
```

Calcula la máxima dirección y la máxima velocidad de propagación del incendio teniendo

3.11 ALGORITMO DE SIMULACIÓN

```
en cuenta las condiciones de viento y pendiente
Fire_SpreadWindSlopeMax(catalog, modelNumber, velViento, dirViento, (double)slope[cell],
giro((double)aspect[cell]));

Examina los vecinos
for ( n=0; n<8; n++ )
{

    Busca la ubicación de los vecinos
    nrow = row + nRow[n];
    ncol = col + nCol[n];
    ncell = ncol + nrow*Cols;

    Sale de la iteración, sino es una fila o columna válida
    if ( nrow<0 || nrow>=Rows || ncol<0 || ncol>=Cols )continue;

    Si el vecino ya fue igniciado no hace nada
    if ( ignMap[ncell] <= timeNow ) continue;

    Calcula la velocidad de propagación del incendio en la dirección del vecino
    y lo guarda en Fuel_SpreadAny(catalog,modelnumber).
    Fire_SpreadAtAzimuth(catalog, modelNumber, nAzm[n], FIRE_NONE);

    if ( (fpm = Fuel_SpreadAny(catalog, modelNumber)) >Smidgen)
    {

        Calcula el tiempo de ignición del vecino.
        minutes = nDist[n] / fpm;

        if ( (ignTime = timeNow + minutes) <ignMap[ncell] )
        {

            Asigna al vecino el tiempo de ignición
            ignMap[ncell] = ignTime

            Calcula la longitud de la llama, usando la tabla de las intensidades
            de la línea de fuego.
            Fire_FlameScorch(catalog, modelNumber, FIRE_FLAME);
            flMap[ncell] = Fuel_FlameLength(catalog,modelNumber);

            Mantiene la huella del tiempo de la próxima celda a igniciarse, es decir
            va llevando el menor tiempo de los 8 vecinos, y el que tenga el menor
            tiempo es el que se va a igniciar.
            if ( ignTime <timeNext ) timeNext = ignTime;

        }
    }
} //end for n (próximo vecino)
} //end for col (próxima columna)
} //end for row (próxima fila)
```

}//próximo tiempo

3.12. Funciones de FireLib

En esta sección mostraremos un simple esquema de las principales funciones de FireLib, omitiendo algunos detalles.

3.12.1. Velocidad de Propagación sin viento y sin pendiente

Comenzaremos con la función `Fire_SpreadNoWindNoSlope(catalog, modelNumber, moisture)`, mostrando un breve esquema de lo que la función implementa.

1. Chequea si hay que llamar a `Fire_FuelCombustion`, si hay que llamarlo lo llama, sino no.
2. Guarda la humedad pasada por parámetro de las 6 clases (1HR, 10HR, 100HR, 1000HR, HERB, WOOD)
3. Asigna a esta partícula la humedad de combustible por su tamaño de clase.
`Fuel_Moisture(catalog,model,particle) = moisture[mclass];`
4. Computa la humedad de extinción del combustible vivo, `ver([Ce85])`

$$MXL = (2,9 WRAT [1 - \frac{MCLFE}{MXD}]) - 0,226$$

donde

$$WRAT = \frac{HN1+HN10+HN100}{HNHERB+HWOOD} = \frac{\sum w_{muerto} \exp - \frac{138}{\sigma}}{\sum w_{vivo} \exp - \frac{500}{\sigma}}$$

proporción de los números de calor de los combustibles muertos a vivos

$$MCLFE = \frac{(MC1 HN1)+(MC10 HN10)+(MC100 HN100)}{HN1+HN10+HN100}$$

contenido de humedad del combustible muerto para la humedad de extinción del combustible vivo

donde

$$HN1 = W1N \exp - \frac{138}{SG1}$$

número de calor para cada clase de contenido

$$HN10 = W10N \exp - \frac{138}{SG10}$$

$$HN100 = W100N \exp - \frac{138}{SG100}$$

$$HNHERB = WHERBN \exp - \frac{500}{SGHERB}$$

$$HNWOOD = WWOODN \exp - \frac{500}{SGWOOD}$$

3.12 FUNCIONES DE FIRELIB

en el cual SG1, SG10, SG100, SGHERB y SGWOOD son las proporciones superficie área volumen de 1, 10, 100 horas, herbáceo, y combustible madera especificados en el modelo de combustible.

MC1 = contenido de humedad de combustible para cada clase de combustible.

MXD = humedad de extinción de los combustibles muertos del modelo de combustible, ingresado por parámetro (es un input del modelo de entrada).

5. Calcula el calor de preignición para cada clase de tamaño j-ésima (1HR, 10HR, 10HR, 100HR, 1000HR, HERB, WOOD) dentro de la categoría i-ésima (DEAD or LIVE), para calcular el calor de preignición total Q_{ig}

$$(\bar{Q}_{ig})_{ij} = 250 + 1,116 (\bar{M}_f)_{ij}$$

donde

$(\bar{M}_f)_{ij}$ es el contenido de humedad de la i-ésima categoría, ingresado por parámetro (moisture[mclass]).

$$(\bar{Q}_{ig})_i = \sum_{0 < j < n+1} f_{ij} (\bar{Q}_{ig})_{ij}$$

$$\bar{Q}_{ig} = \sum_{0 < i < m+1} f_i (\bar{Q}_{ig})_i$$

donde, ver([C.R72])

$f_{ij} = \frac{\bar{A}_{ij}}{\bar{A}_i}$ proporción de superficie-área del j-ésimo clase de tamaño al total superficie área de la i-ésima categoría por unidad de pila de combustible.

$f_i = \frac{\bar{A}_i}{A_T}$ proporción de superficie área de la i-ésima categoría a la total superficie área por unidad de pila de combustible.

$\bar{A}_{ij} = \frac{(\bar{\sigma})_{ij} (\bar{w}_0)_{ij}}{(\bar{\rho}_p)_{ij}}$ la media del área-superficie total de combustible de la j-ésima clase de la i-ésima categoría por unidad de pila de combustible, es calculada en Fire_FuelParticleAdd().

$\bar{A}_i = \sum_{0 < j < n+1} A_{ij}$ la media del área-superficie total de combustible de la categoría i-ésima por unidad de pila de combustible.

A_T la media del área-superficie total de combustible por unidad de pila de combustible.

6. Computa el coeficiente de amortiguación de humedad por categoría (de vida).

$$\eta_M = 1 - 2,59 \frac{M_f}{M_x} + 5,11 \frac{M_f^2}{M_x^2} - 3,52 \frac{M_f^3}{M_x^3}$$

donde

M_f es la humedad total del combustible por categoría.

M_x es la humedad de extinción por categoría, si la categoría es combustible muerto es pasada por parámetro, sino se calcula.

$$(\bar{M}_f)_i = \sum_{0 < j < n+1} \frac{\bar{A}_{ij}}{\bar{A}_i} \text{moisture}[mclass]$$

donde mclass = 1 HR, 10HR, 100 HR, 1000HR, HERB, WOOD (madera viva)

$$(\bar{M}_f)_i = \sum_{0 < j < n+1} f_{ij} (\bar{M}_f)_{ij}$$

7. Calcula la intensidad de reacción

$$I_R = \sum_{0 < i < m+1} (w_n)_i (h)_i (\eta_s)_i \Gamma (\eta_M)_i$$

$$I_R = w_n h \Gamma \eta_M \eta_s$$

8. Calcula la velocidad de propagación sin viento ni pendiente.

$$R_0 = \frac{(I_p)_0}{\rho_b \varepsilon Q_{ig}} = \frac{\xi I_R}{\rho_b \varepsilon Q_{ig}}$$

donde

I_R intensidad de reacción

ξ fracción de flujo de energía de propagación

ρ_b densidad aparente, es calculado en Fire_FuelCombustion()

ε número de calentamiento efectivo ($\exp - \frac{138}{\sigma}$), es calculado en Fire_FuelParticleAdd

Q_{ig} calor de preignición.

3.12.2. Velocidad de propagación con viento y pendiente

Seguimos con la función Fire_SpreadWindSlopeMax (catalog, modelNumber, windFpm, windDeg, slope, aspect), donde windFpm es la velocidad de viento, y windDeg es la dirección del viento, recordemos que la función calcula la máxima dirección y la máxima velocidad de propagación del incendio teniendo en cuenta las condiciones de viento y pendiente.

A continuación mostraremos un breve esquema de como la función lo hace.

1. Calcula el factor de la pendiente si difiere del modelo de entrada, y guarda la pendiente

$$\phi_S = 5,275 \beta^{-0,3} (\tan \phi)^2$$

2. Recalcula el factor de viento solo si es diferente del modelo de entrada

$$\phi_w = C \left(\frac{\beta}{\beta_{op}} \right)^{-E} U^B$$

3.12 FUNCIONES DE FIRELIB

donde $C = 7,47 \exp(-0,133 \sigma^0,55)$

$\beta_{op} = \frac{3,348}{0,8189}$ compresión óptima, compactación óptima del combustible.

$\beta = \frac{\rho_b}{\rho}$ compactación del combustible, calculada en Fire_FuelCombustion

$B = 0,02526 \sigma^0,54$ calculado en Fire_FuelCombustion

3. Combina los factores de viento y pendiente

$$\phi_{EW} = \phi_W + \phi_S$$

Calcula la pendiente arriba (orientación en grados de la pendiente arriba)

Si $aspect \geq 180 \Rightarrow upslope = aspect - 180$

sino $upslope = aspect + 180$

4. Calcula la máxima velocidad de propagación y el azimuth máximo

Situación 1: sin velocidad de propagación o intensidad de reacción entonces la velocidad de propagación máxima y el azimuth máximo son ceros.

$spreadMax = 0$
 $azimuthMax = 0$
 $effectiveWind = 0$
 $doEffectiveWind = 0$
 $checkWindLimit = 0$

Situación 2: sin viento y sin pendiente

$spreadMax = R_0$ $azimuthMax = 0$
 $effectiveWind = 0$
 $doEffectiveWind = 0$
 $checkWindLimit = 0$

Situación 3: con viento y sin pendiente

$spreadMax = R_0 (1 + \phi_{EW})$
 $azimuthMax = windDeg$, dirección del viento entrada por parámetro
 $doEffectiveWind = 0$
 $checkWindLimit = 1$
 $effectiveWind = windFpm$, velocidad del viento entrada por parámetro

Situación 4: pendiente y sin viento

$spreadMax = R_0 (1 + \phi_{EW})$
 $azimuthMax = upslope$, (recordemos que el aspect es la dirección que se enfrenta a una pendiente)

3.12 FUNCIONES DE FIRELIB

$doEffectiveWind = 1$
 $checkWindLimit = 1$

Situación 5: el viento sopla pendiente arriba

$spreadMax = R_0 (1 + \phi_{EW})$
 $azimuthMax = upslope$
 $doEffectiveWind = 1$
 $checkWindLimit = 1$

Situación 6: el viento sopla cruzando la pendiente

Recalcula la velocidad de propagación en la dirección óptima.

Calcula la dirección resultante, entre la dirección del viento y el azimuth (pendiente arriba).

$splitDeg = windDeg - upslope$ si $upslope \leq windDeg$
 $splitDeg = 360 - upslope + windDeg$ si $upslope > windDeg$

$splitRad = DegreesToRadians(splitDeg)$ dirección resultante en radianes

$slpRate = R_0 \phi_S$
 $wndRate = R_0 \phi_W$

$x = slpRate + wndRate \cos(splitRad)$
 $y = wndRate \sin(splitRad)$
 $rv = \sqrt{x^2 + y^2}$

$spreadMax = R_0 + rv$

$\phi_{EW} = \frac{spreadMax}{R_0} - 1$,
 $\phi_W = \frac{R_W}{R_0} - 1$ velocidad de propagación en la presencia de una partida de viento,
ver([C.R72])

Si $\phi_{EW} > 0 \Rightarrow doEffectiveWind = 1$
Si $\phi_{EW} < 0 \Rightarrow doEffectiveWind = 0$

$checkWindLimit = 1$

Recalcula la dirección de la máxima velocidad de propagación en los grados del azimuth

$al = \text{asin}(\frac{|y|}{rv})$

3.12 FUNCIONES DE FIRELIB

si $x \geq 0$ && $y \geq 0 \Rightarrow a = al$

si $x \geq 0$ && $y < 0 \Rightarrow a = \pi + \pi - al$

si $x < 0$ && $y \geq 0 \Rightarrow a = \pi - al$

si $x < 0$ && $y < 0 \Rightarrow a = \pi + al$

SplitDeg = RadiansToDegrees(a);

azimuthMax = upslope + SplitDeg;

la dirección del vector resultante entre la pendiente y el viento.

Si $azimuthMax \geq 360 \Rightarrow azimuthMax = azimuthMax - 360$

5. Si se da doEffectiveWind calculo la velocidad del viento, basado sobre ϕ_{EW}

$$\text{dado que } \phi_{EW} = \frac{U_e^B C}{\left(\frac{\beta}{\beta_{op}}\right)^e}$$

\Rightarrow

$$U_e^B = \phi_{EW} \left(\frac{\beta}{\beta_{op}}\right)^e \frac{1}{C}$$

\Rightarrow

$$U_e = (\phi_{EW})^{\frac{1}{B}} \left(\left(\frac{\beta}{\beta_{op}}\right)^e \frac{1}{C}\right)^{\frac{1}{B}}$$

donde

U_e se le llama viento efectivo.

6. Si se da checkWindLimit, se recalcula ϕ_{EW}

$$U_{max} = 0,9 I_R$$

Si se da $U_{max} < 0 \Rightarrow \phi_{EW} = 0$

$$\text{sino } \Rightarrow \phi_{EW} = C \left(\frac{\beta}{\beta_{op}}\right)^{-e} U_{max}^B$$

7. Calcula la excentricidad del elipse, que se forma a partir del viento efectivo, ver([C.R91]).

$$\text{Si } U_e > 0 \Rightarrow \frac{L}{W} = 1 + 0,25 U_e$$

$$\text{Si } \frac{L}{W} > 1 \Rightarrow E = \frac{\sqrt{LW^2 - 1}}{LW}$$

donde E es la excentricidad del elipse, dada por Albini y Chase(1980), ver ([PMC⁺])

8. Guarda lo calculado

3.12.3. Velocidad de propagación en el azimuth

Seguimos con la función Fire_SpreadAtAzimuth (catalog, model, azimuth, which), recordemos que la función calcula la velocidad de propagación del incendio en la dirección del vecino y lo guarda en Fuel_SpreadAny(catalog,modelNumber).

A continuación mostraremos un breve esquema de como la función lo hace.

1. Como ya tenemos la excentricidad del elipse, calculo la velocidad de propagación en base al ángulo del vecino.

$$R_{\theta} = R_{max} \left(\frac{1-E}{1-E \cos\theta} \right)$$

donde R_{max} ya lo tenemos calculado. La ecuación esta restringida a múltiplos de 45° en el rango de [-180°,180], ver([PMC+])

Si $AzimuthMax - azimuth \geq 180 \Rightarrow dir = 360 - (AzimuthMax - azimuth)$
donde $AzimuthMax$ es la variable guardada por la función `Fuel_SpreadWindSlopeMax`
sino $dir = AzimuthMax - azimuth$

$radians = DegreesToRadians(dir);$
 $radians = \theta$

3.12.4. Intensidad de la Línea de Fuego

Seguimos con la función `Fire_FlameScorch` (`catalog`, `model`, `which`), recordemos que la función calcula la longitud de la llama, usando la tabla de las intensidades de la línea de fuego.

- 1.

$$byrams = \frac{t_R I_R R_{\theta}}{60}$$

donde $R_{\theta} = FuelSpreadAny(c, m)$

Si $wich == FIRE_FLAME$

Si $byrams < 0 \Rightarrow LongituddeLaLlama = 0$

sino

si $n = ClasesdeLaLlama > 0 \&\& ArreglodelaLlama[n - 1] > byrams \Rightarrow$

buscar l_0 tal que $ArreglodelaLlama[l_0] == byrams$

$LongituddeLaLlama = PasodelaLlama (l_0 + 1)$

sino

$LongituddeLaLlama = 0,45 byrams^{0,46}$

ver([Rya81]).

3.12.5. Tabla de las intensidades de la línea de fuego

Finalizamos con la función `Fire_FlameLengthTable` (`catalog`, `flameClasses`, `flameStep`), que recordemos que crea una tabla para las longitudes de la llama de 0.1 pies (feet) en intervalos de 0.1 pies, guardando la intensidad lineal de fuego asociada a la longitud de la llama.

1. Llena el arreglo

```
for(i = 0; i < flameClasses; i++){  
  flame = flameStep (i + 1);  
  ArreglodelaLlama[i] = (flame / 0,45)1/0,46  
}
```

3.12 FUNCIONES DE FIRELIB

Si vemos([Rya81]), entonces tenemos que:

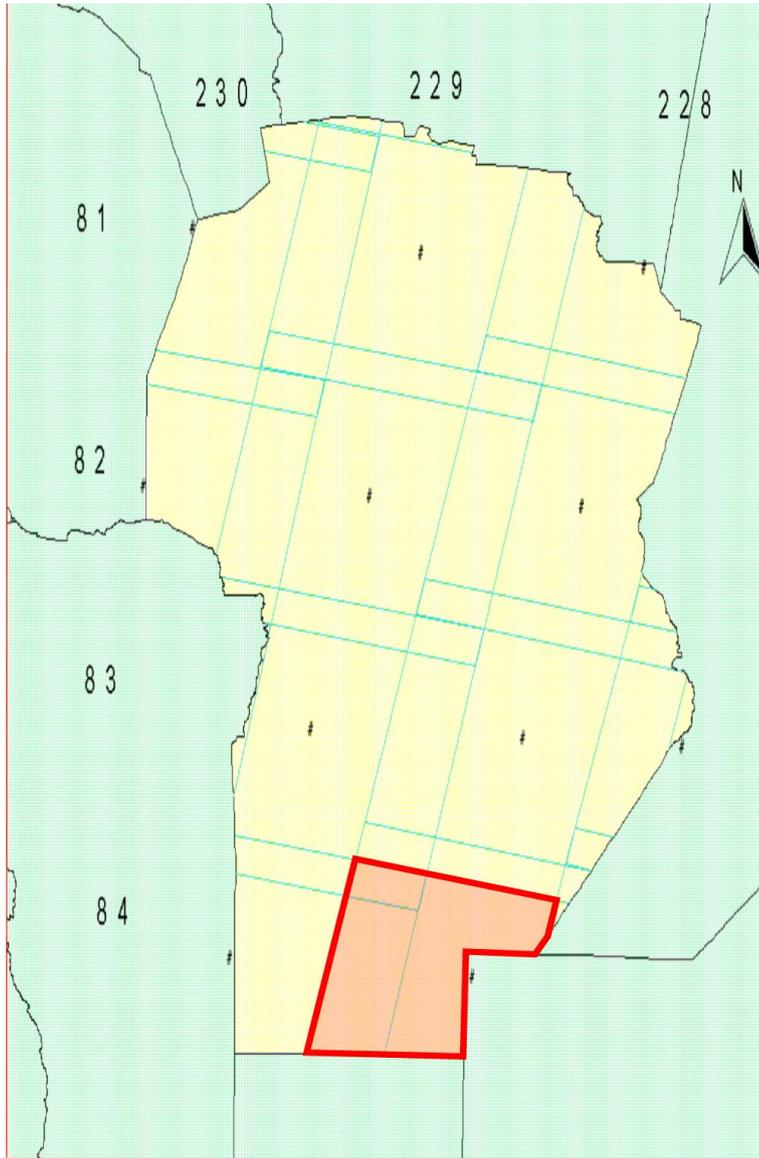
$$L = 0,45 I_B^{0,46} \Rightarrow$$

$$\left(\frac{L}{0,45}\right)^{\frac{1}{0,46}} = I_B$$

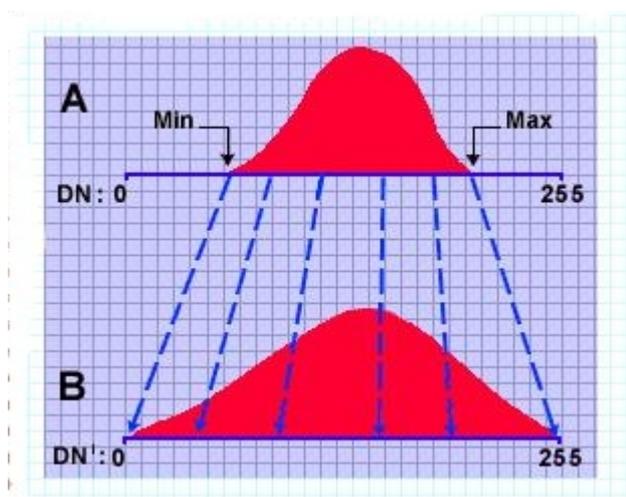
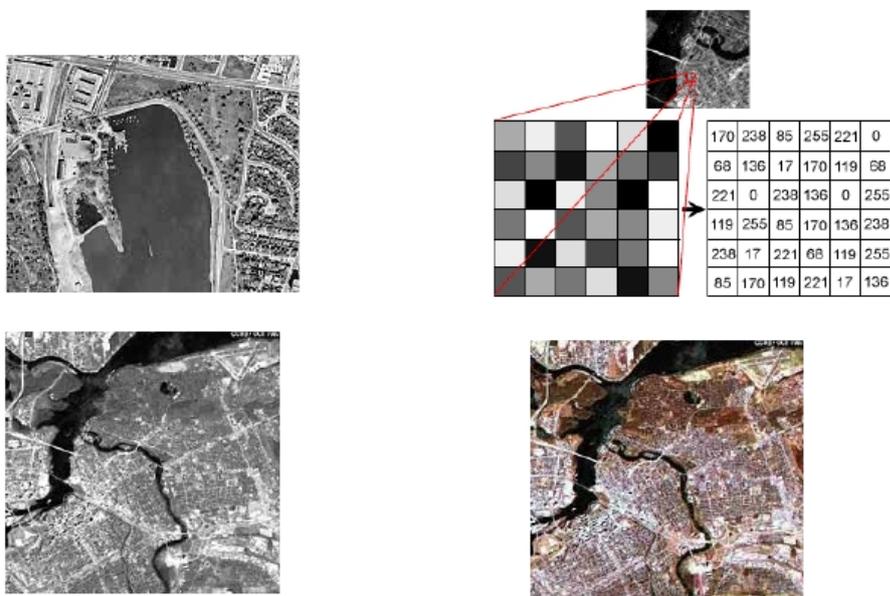
donde L = longitud de la llama (ft)

I_B = intensidad de la línea de fuego de byrams ($Btu\ per\ \frac{ft}{s}$)

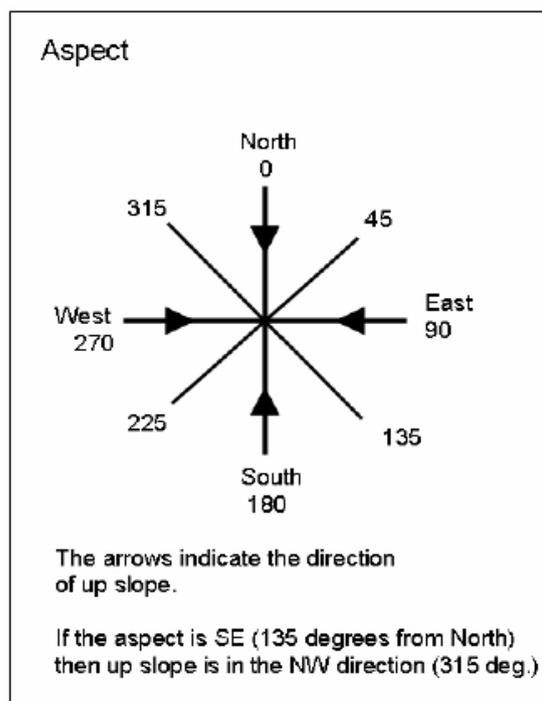
3.12 FUNCIONES DE FIRELIB



3.12 FUNCIONES DE FIRELIB



3.12 FUNCIONES DE FIRELIB



Zack y Cabido	matching	13 modelos de combustibles
0 no clasificado	0	no combustible fuel
1 palmar-pastizal	1	pastizal fino
2 bosque serrano	7	matorral de especies muy inflamables
3 suelo desnudo	2	pastizal fino cubierta de combustibles leñosos
4 bosque de planicie oriental	9	chaparral
5 matorral de sustitución y bosque secundario	5	matorral denso de menos de 1 metro de altura
6 matorral de acacia y caven (espinillo)	12	restos de combustible muerto de cobertura media del suelo
7 matorral serrano de romerillo	6	matorral con restos de tala
8 bosque de planicie occidental	8	bosques sin presencia de matorral
9 agua	3	pastizal fino
10 matorral sub-halófilo alto con cadón	11	bosques sin presencia de matorral
11 espartillar	10	bosques con restos de combustible
12 matorral halófilo y subhalófilo bajo	4	matorral denso de 2 metros de altura
13 cultural	13	gran acumulación de restos de combustible muerto

CAPÍTULO 4

Diseño del Sistema

4.1. TDN

A continuación se muestran los principales módulos en los cuales fue dividido nuestro sistema, con sus principales funciones. En el apéndice A, el lector puede encontrar todos los módulos funciones y procedimientos relacionados. Para mayor claridad se aconseja leer el TDN junto con el GDN (ver sección 4.2).

Funciones de Rothermel

A continuación resumiremos las funciones de la librería que utilizamos FireLib (ver [Bev05, 9]), esta implementa las funciones principales de Rothermel, calculando las variables intermedias que fueron nombradas con anterioridad, para finalmente calcular la velocidad de propagación. Decidimos utilizar dicha librería, porque ésta tenía todas las funciones que teníamos que implementar nosotros.

El módulo Catalogo se relaciona a lo que es un catálogo, (mencionado con anterioridad), como por ejemplo un bosque esta relacionado a lo que es un catalogo. Un catálogo está compuesto por diversos modelos de vegetación (ver sección 2.3.1).

```
module Catalogo
uses Particle; Model
exports
type FuelCatalogPtr = ?
```

```
procedure Fire_FuelCatalogCreateStandard (name: in char *; maxModels: in size_t;
catalog: out FuelCatalogPtr);
```

```
procedure Fire_FlameLengthTable (catalog: in FuelCatalogPtr, flameClasses: in size_t;
flameStep: in double; e: out int);
```

4.1 TDN

procedure Fire_SpreadWindSlopeMax (catalog: in FuelCatalogPtr; model: in size_t; windFpm: in double; windDeg: in double; slope: in double; aspect: in double);

procedure Fire_SpreadAtAzimuth (catalog: in FuelCatalogPtr; model: in size_t; azimuth: in double; doWhich: in size_t; e: out int);

procedure Fire_FlameScorch (catalog: in FuelCatalogPtr; model: in size_t model; doWhich: in size_t; e: out int);

implements

El procedimiento Fire_FuelCatalogCreateStandard crea un nuevo catalogo capaz de almacenar los modelos de combustibles con id's en el rango [0..maxModel], y con el nombre del catalogo dado por name. El catalogo es llenado con los 13 modelos de combustibles estándar del comportamiento del fuego. Otros modelos pueden ser agregados posteriormente llamando a Fire_FuelModelCreate.

El procedimiento Fire_FlameLengthTable crea una tabla de intensidades de la línea de fuego asociadas a las longitudes de la llama, desde 0 hasta flameClasses, en intervalos de flameStep. Es decir si flameStep es 0.1, entonces la longitud de la llama irá aumentando en 0.1 hasta llegar a flameClasses.

El procedimiento Fire_SpreadWindSlopeMax calcula la máxima dirección y velocidad de propagación del incendio dadas las condiciones de viento y pendiente.

El procedimiento Fire_SpreadAtAzimuth calcula la velocidad de propagación del incendio en una especificada dirección y opcionalmente calcula la intensidad de la línea de fuego.

El procedimiento Fire_FlameScorch calcula la longitud de la llama. Usa la tabla de la longitud de la llama si existe. Ofrece un método para obtener la longitud de la llama si Fire_SpreadAtAzimuth no ha sido calculado.

end Catalogo

El módulo siguiente esta relacionado a lo que es una partícula, una partícula esta relacionado a un modelo de vegetación si nuestro modelo fuera palmar, la partícula serían: ramas grandes, troncos, ramas chicas, etc.

module Particle

uses Catalogo

exports

type

procedure Fire_FuelParticleAdd (catalog: in FuelCatalogPtr catalog; model: in size_t; type: in size_t type; load: in double; savr: in double; dens: in double; heat: in double; stot: in double; seff: in double; e: out int);

implements

4.1 TDN

El procedimiento `Fire_FuelParticleAdd` agrega una partícula de combustible al especificado modelo de combustible.

end Particle

El siguiente módulo está relacionado a lo que es un modelo de vegetación. Por ejemplo: palmar, espartillar, romerillo, etc.

module Model

uses Catalogo

exports

type

procedure `Fire_FuelModelCreate` (catalog: in FuelCatalogPtr; model: in size_t; name: char *; desc: in char *; depth: in double; mex: in double; adjust: in double; maxParticles: in size_t; e: out int);

procedure `Fire_FuelCombustion` (catalog: in FuelCatalogPtr; model: in size_t; e: out int);

procedure `Fire_SpreadNoWindNoSlope` (catalog FuelCatalogPtr; model : in size_t; moisture: in double [FIRE_MCLASSES]; e: out int);

implements

El procedimiento `Fire_FuelModelCreate` crea un nuevo modelo de combustible capaz de almacenar como máximo `maxParticles` partículas de combustibles. Estas partículas posteriormente podrán ser sumadas con `Fire_FuelParticleAdd`.

El procedimiento `Fire_FuelCombustion` calcula y guarda todas las variables dependientes de la combustión de combustibles.

El procedimiento `Fire_SpreadNoWindNoSlope` calcula la intensidad de reacción del incendio, y la velocidad de propagación si viento y sin pendiente, pero teniendo en cuenta el modelo de combustible y la humedad de entrada.

end Model

Éstos módulos estarán incluidos en el módulo principal `SimuladorInc`, dado que éste último utilizará sus funciones, procedimientos y tipos. Más adelante describiremos a `SimuladorInc`.

A continuación listaremos nuestras funciones y procedimientos:

Capas

A continuación mostraremos el módulo `image`. Este módulo va a servir para guardar la imagen que será el escenario donde se realizará la simulación, ídem con la capa de la vegetación y el dem.

```
module Image
uses Tads
exports
type Image_t = ?; ImageFlag= ?; EstTam = ?

procedure ImageCreate(img: out Image_t);

procedure ImageSetSize(img: in Image_t; width: in const int; height: in const int; e: out Error_t);

procedure ImageFlood(img: in Image_t ; value: in const unsigned char; banda: in int; e: out Error_t ) ;

procedure ImageSetPixel(img: in Image_t; banda: in const int; x: in const int; y: in const int;
val: in const unsigned char);

procedure ImageSetPixelAux(img: in Image_t; banda: in const int; address: in const int;
val: in const unsigned char);

function ImageGetPixel(img: in const Image_t; banda: in const int; x: in const int;
y: in const int):unsigned char;

function ImageGetPixelAux(img: in Image_t; banda: in const int; address: in const int)
:unsigned char;

function ImageGetBuffer(img: in Image_t; banda: in const int):unsigned char* ;

function ImageGetWidth(img: in const Image_t):int;

function ImageGetHeight(img: in const Image_t):int;

function ImageGetSize(img: in const Image_t):int;

function ImageGetPitch(img: in const Image_t):int;

function ImageGetLatitud(img: in const Image_t):double;

function ImageGetLongitud(img: in const Image_t):double;

function ImageGetTamPixel(img: in const Image_t):double;

function ImageGetRef(img: in const Image_t):int;

procedure ImageSetLatitud(img: in const Image_t; latitud: in const double);

procedure ImageSetLongitud(img: in const Image_t; longitud: in const double);

procedure ImageSetTamPixel(img: in const Image_t; pixel: in const double);

procedure ImageSetRef(img: in const Image_t; ref: in const int);

implements
```

4.1 TDN

El procedimiento ImageCreate crea el objeto imagen.

El procedimiento ImageSetSize setea el tamaño de la imagen especificada, ancho con width, y alto con height.

El procedimiento ImageFlood setea todos los valores de la banda con value.

El procedimiento ImageSetPixel setea el pixel (de la imagen img, de la banda especificada) ubicado en la dirección “y * anchodelaimagen + x”, con el valor val.

El procedimiento ImageSetPixelAux setea el pixel ubicado en address, con el valor val.

La función ImageGetPixel devuelve el valor del pixel ubicado en “y * anchodelaimagen + x”.

La función ImageGetPixelAux devuelve el valor del pixel ubicado en address.

La función ImageGetBuffer devuelve la banda especificada.

La función ImageGetWidth devuelve el ancho de la imagen.

La función ImageGetHeight devuelve la altura de la imagen.

La función ImageGetSize devuelve el tamaño de la imagen ancho * alto.

La función ImageGetPitch devuelve pitch, el campo asociado a “y * pitch + x”.

La función ImageGetLatitud devuelve la latitud asociada a la imagen, es decir la latitud del pixel 1.

La función ImageGetLongitud devuelve la longitud asociada a la imagen, es decir la latitud del pixel 1.

La función ImageGetTamPixel devuelve el tamaño del pixel, asociado a la imagen especificada.

La función ImageGetRef indica si la imagen esta georeferenciada.

El procedimiento ImageSetLatitud setea la latitud asociada a la imagen.

El procedimiento ImageSetLongitud setea la longitud asociada a la imagen.

El procedimiento ImageSetTamPixel setea el tamaño del pixel asociado a la imagen especificada.

El procedimiento ImageSetRef setea la variable con ref, indicando si es cero, la imagen no va a estar georeferenciada, caso contrario si.

end Image

4.1 TDN

Continuamos con el módulo que contiene algunas funciones, que se utilizan cuando se realiza la carga de la imagen.

module CargaArchivoImagen

uses File; Image

exports

type

function TamImagen(fd:in File *): out EstTam*;

procedure crearbanda(nomArchivo: in char *; img: in out Image_t; imgCopy: in Image_t; ban: in int);

procedure ParserUtm(fd: in File *; img: in const Image_t);

implements

El procedimiento crearbanda, crea la banda correspondiente con el número de entrada, de las imágenes input con el contenido del archivo.

El procedimiento ParserUtm, setea con el header de la banda la latitud y longitud de la imagen, y pone a ref en 1 indicando que la imagen esta georeferenciada.

end CargaArchivoImagen

Datos obtenidos con sistemas de teledetección (sensores remotos)

Una imagen puede consistir de muchas capas o bandas. Cada banda es creada por el sensor que colecta energía en longitudes de onda específicas del espectro electromagnético.

La intensidad de cada pixel corresponde al promedio de brillantez, o radiancia, medido electrónicamente sobre un área de la tierra correspondiente a cada pixel.

Típicamente, los DN's que forman una imagen digital son almacenados en el rango numérico de 0 a 255 ($8 \text{ bits} = 2^8 = 256$), aunque algunas imágenes tienen otros rangos numéricos.

La unidad de despliegue tiene usualmente una profundidad de despliegue de 8 bits. Es decir el monitor puede desplegar imágenes en 256 tonalidades de grises.(ver [Pro])

Números Digitales (Digital Number, DN) y pixeles

Las respuestas espectrales de la superficie terrestre en longitudes de onda específicas, grabadas por espectrómetros en el satélite, son asignadas a elementos individuales de una imagen denominados pixeles. Pixeles con una respuesta espectral fuerte tienen altos números digitales y viceversa. La respuesta espectral de los objetos puede cambiar con respecto a la longitud de onda observada. Cuando la escala de grises es utilizada; imágenes con respuesta espectral débil son de tono oscuro (negro) y pixeles representado una respuesta espectral fuerte con de tono luminoso (blanco).

Los números digitales entonces se representan con intensidades en una escala de blanco a negro.

Optimización del contraste

A continuación mostraremos el módulo histograma, para poder mejorar el contraste en el momento de mostrar una imagen:

```
module Histograma
uses Image
exports
type Histograma_t = ?

procedure ResetearHistograma (histograma: in Histograma_t; e: out Error_t);

procedure HistogramaComputar (histograma: in Histograma_t;
imagen: in const Image_t; banda: in int; e: out Error_t);

procedure HistogramaGetMean (histograma: in const Histograma_t; val: out unsigned char);
```

implements

El procedimiento ResetearHistograma setea todas las variables con su valor inicial.

En el procedimiento HistogramaComputar, para la banda ingresada, computa el histograma; es decir para una imagen de 8 bits (256 valores, 2^8), guarda la cantidad de valores de pixel correspondiente a toda la imagen, es decir en la posición 30 guardará la cantidad de valores 30 que hay en la imagen.

En el procedimiento HistogramaGetMean calcula la media del histograma y la guarda.

end Histograma

A continuación mostramos el módulo que está relacionado con todas las funciones para la carga de la imagen, y la muestra de la misma. Dicho módulo es un formulario que se muestra en el sistema.

```
module FormCargaImagen
uses Image; Histograma; FormDescripcionMascara; CargaArchivoImagen
exports
type

procedure ContrasteImagen (img: in Image_t; imgCopy: in Image_t; hist: in Histograma_t; banda: in int;
msn: in AnsiString; Nmin: in double; Nmax: in double);

procedure Abrir1Click();

procedure Abrir2Click();

procedure Cerrar1Click();
```

procedure Cerrar2Click();

procedure GenerarImagenRGB (imagen: in Image_t; banda1: in int; banda2: in int; banda3: in int; descripcion: in AnsiString);

procedure SpeedButton2Click();

procedure SpeedButton3Click();

procedure SpeedButton1Click();

function GenerarIndices (imagen: in Image_t; bandaa: in int; bandab: in int):out double*;

function MostrarIndices (imagen: in Image_t; indice: in double*; descripcion: in AnsiString);

procedure SpeedButton9Click ();

procedure Banda11Click ();

procedure Mascara11Click ();

procedure Cancelar1Click ();

procedure cargarImagenSistema(img: in Image_t; banda1: in int; banda2: in; banda3: in int);

implements

El procedimiento ContrasteImagen realiza el contraste de la imagen.

El procedimiento Abrir1Click abre y muestra la banda1, ídem con las demás.

El procedimiento Cerrar1Click pone en 0 todos los valores de la banda 1 de la imagen y de la copia de la imagen.

El procedimiento GenerarImagenRGB muestra la imagen, seteando el rojo con la banda 3, el verde con la banda 2 y el azul con la banda 1.

El procedimiento SpeedButton2Click muestra la banda 1, ídem con las demás.

El procedimiento SpeedButton1Click muestra la imagen en color real, es decir setea el rojo con la banda1, el verde con la 2 y el azul con la banda 3.

La función GenerarIndices realiza un cálculo matemático con las bandas de input $\frac{bandaa-bandab}{bandaa+bandab}$.

La función MostrarIndices muestra el índice de entrada.

El procedimiento SpeedButton9Click calcula el índice de vegetación y lo muestra.

4.1 TDN

El procedimiento Banda1Click muestra la imagen en color real, llamando a GenerarImagenRGB.

El procedimiento Mascara1Click crea un formulario con la descripción de la máscara, inicializado con la máscara en falso color.(Rojo: banda4, Verde: banda3, Azul: banda2).

El procedimiento Cancelar1Click cancela la carga de la imagen llamando a ImageSetSize(0,0), o sea el ancho y el alto lo setea a 0. Ídem para la copia de la imagen.

El procedimiento cargarImagenSistema carga la imagen en el sistema.

end FormCargaImagen

Seguimos con el módulo formcargacapavegetacion, que es formulario que se encarga de la carga de la capa de vegetación y de mostrarla.

```
module FormCargaCapaVegetacion
uses CargaArchivoImagen; Image
exports
type
```

```
procedure matching (img: in out Image_t img; banda: in int; alto: in int; ancho: in int);
```

```
procedure Image1MouseMove (X: in int; Y: in int);
```

```
procedure Salir1Click ();
```

```
procedure Abrir1Click ();
```

implements

El procedimiento matching realiza el matching de la capa de vegetación de Marcelo Zack y Marcelo Cabido a los 13 modelos de combustibles forestal utilizados en EE.UU para el estudio del comportamiento de los incendios.

El procedimiento Image1MouseMove muestra el modelo (de Zack y Cabido) asociado al pixel X,Y, en el panel del formulario principal, si las referencias fueron solicitadas.

El procedimiento Salir1Click carga la capa de vegetación en el sistema (setea la variable que indica que la capa de vegetación fue cargada).

El procedimiento Abrir1Click abre la capa de vegetación; realiza el matching y el resultado lo guarda en una variable. Y finalmente muestra la capa de vegetación.

end FormCargaCapaVegetacion

Continuamos con el módulo formcargacapadem, éste es un formulario encargado de la carga y la muestra del dem (aspect y slope).

4.1 TDN

```
module FormCargaCapaDem  
uses CargaArchivoImagen; Image  
exports  
type
```

```
procedure AbrirSlope1Click ();
```

```
procedure Salir1Click ();
```

```
procedure Aceptar1Click ();
```

```
procedure Saleir1Click ();
```

implements

El procedimiento `AbrirSlope1Click` crea la banda correspondiente al slope (llamando a `crearbandaentero`) y lo muestra.

El procedimiento `Salir1Click` crea la banda correspondiente al aspect (llamando a `crearbandaentero`) y lo muestra.

El procedimiento `Aceptar1Click` verifica si el slope y el aspect fueron cargados correctamente, e inicializa las variables correspondientes indicando que fueron cargados en el sistema.

El procedimiento `Saleir1Click` modifica las variables correspondientes, indicando que el aspect y el slope no fueron cargados correctamente.

```
end FormCargaCapaDem
```

Tiempo

A continuación mostraremos el módulo `formulariotiempo`, que es un formulario para inicializar el tiempo que va a durar la simulación:

```
module FormularioTiempo  
uses  
exports  
type
```

```
procedure ComboBox1Change ();
```

```
procedure SpeedButton1Click ();
```

implements

El procedimiento `ComboBox1Change` calcula y muestra el tiempo de finalización de la simulación, teniendo en cuenta el tiempo de inicio (fecha actual) y la cantidad de días ingresadas por el usuario.

4.1 TDN

El procedimiento SpeedButton1Click carga el tiempo que durará la simulación al sistema, mostrando la fecha de inicio de simulación y la de fin en el panel derecho del formulario general.

end FormularioTiempo

Simulador

A continuación mostraremos el módulo simuladorinc, que es el formulario principal del sistema:

module SimuladorInc

uses FormCargaImagen; FormCargaCapaDem; FormCargaCapaVegetacion;
FormularioReferenciaProgreso; FormReferenciasAlturaLlama; FormularioTiempo;
CoordenadasdelPixelX, Y; FormAjusteGrilla; FormListaPuntosdeIgnición;
FormularioReferenciaProgreso; FormReferenciasAlturaLlama; FormEstadísticas;
FormReferencias; FormVientoE; FormVientoSG; FormVientoSR; FormCortaFuego;
FormContraFuego; Hidrante

exports

type

procedure AbrirImagen1Click ();

procedure Abrirdem1Click ();

procedure AbrirCapaVegetacin1Click ();

procedure SpeedButton4Click ();

procedure SpeedButton11Click ();

procedure SpeedButton12Click ();

procedure SpeedButton5Click ();

procedure SpeedButton6Click ();

procedure SpeedButton7Click ();

procedure SpeedButton8Click ();

procedure SpeedButton16Click ();

procedure Image1Click ();

procedure BorrarAtaque1Click ();

procedure SpeedButton1Click ();

```
procedure IniciarSimulacion1Click ();  
procedure Simulacion ();  
procedure SpeedButton24Click ();  
procedure NuevaSimulacin1Click ();  
procedure SpeedButton23Click ();  
procedure jpg1Click ();  
procedure PermetrodelIncendio1Click ();  
procedure TodoslosPuntos1Click ();  
procedure shp1Click ();  
procedure DibujarProgresoTrasluz1Click ();  
procedure ProgresoIncendio1Click ();  
procedure DibujarIntensidadllama1Click ();  
procedure Estadisticas2Click ();  
procedure Referencia2Click ();  
procedure AyudaPANO1Click ();  
procedure ManualMultimedia1Click ();  
procedure PuntosdeIgnicin1Click ();  
procedure Grilla1Click ();  
procedure Image33Click ();  
procedure Image32Click ();  
procedure Image25Click ();  
procedure Image36Click ();
```

implements

El procedimiento AbrirImagen1Click crea un formulario FormCargaImagen, que es el formulario para la carga de imagen de la escena donde se va a simular, en nuestro caso utilizaremos imágenes del Landsat 5; 7 bandas con sus respectivos headers. Nosotros realizamos los mosaicos de 820 pixeles por 670 pixeles del norte de Córdoba, con la

4.1 TDN

vegetación y el dem asociados. Lo realizamos con respecto a esta zona, dado que era la zona que teníamos de la capa de vegetación.

El procedimiento `Abrirdem1Click` crea un formulario `FormCargaCapaDem`, que es el formulario para la carga del modelo digital de elevación de la escena donde se va a simular, éste se encuentra en el mismo directorio donde está la imagen previamente cargada.

El procedimiento `AbrirCapaVegetacin1Click` crea un formulario `FormCargaCapaVegetacion`, que es el encargado de realizar la carga de la capa de vegetación de Zack y Cabido, asociada a la escena donde se va a simular.

El procedimiento `SpeedButton4Click` habilita el panel del viento, mostrando los siguientes métodos de selección:

Selección Rápida, Selección Grados, Editar Viento, Cancelar.

El procedimiento `SpeedButton11Click` llama al formulario de viento de selección rápida.

El procedimiento `SpeedButton12Click` llama al formulario de viento de selección de grados.

El procedimiento `SpeedButton5Click` llama al formulario de editar viento.

El procedimiento `SpeedButton6Click` habilita el panel de puntos de ignición, mostrando los siguientes métodos de selección: Coordenadas X/Y, Coordenadas Lat/Lon, Acción del Mouse, Ver Lista de Puntos, Cancelar.

El procedimiento `SpeedButton7Click` llama al formulario puntos de ignición x, y.

El procedimiento `SpeedButton8Click` llama al formulario puntos de ignición latitud, longitud.

El procedimiento `SpeedButton16Click` cambia el cursor, para seleccionar un punto con el mouse.

El procedimiento `Image1Click` agrega puntos de ignición si el mouse esta seteado para agregar puntos de ignición; el punto de ignición es elegido por el usuario y agregado a la lista de puntos de ignición, por último llama al formulario `PuntosdeIgnicionAcciondelMouse`.

El procedimiento `BorrarAtaque1Click` borra la totalidad del ataque que se haya establecido con las herramientas de ataque (cortafuego, contrafuego y avión hidrante). Si el usuario se equivoca en la colocación de alguna de las acciones de ataque no se podrá borrar únicamente esa, sino también todas las anteriores.

El procedimiento `SpeedButton1Click` verifica que se haya cargado el dem, la capa de vegetación y la imagen, también verifica que todas tengan el mismo tamaño, si esto sucede llama a `Simulacion`. Si faltara alguna de las capas mencionados, este botón no tendría efecto alguno en el sistema.

El procedimiento `IniciarSimulacion1Click` inicia la simulación, llama a `Simulacion`.

El procedimiento `Simulacion` es el simulador de crecimiento de fuego, a continuación será explicado.

4.1 TDN

Con el procedimiento SpeedButton24Click, luego de terminada una simulación, el usuario podrá optar por la opción de reiniciar dicho proceso de manera automática sin tener que volver a cargar los datos necesarios para tal fin, o con la posibilidad de cambiar algunos (si se cambia la imagen y se dejan el dem y la vegetación sin cambiar el simulador no corrobora que el dem y la capa de vegetación sean de la imagen donde se va a simular, esto también podría ser una mejora a futuro).

Una vez terminada la simulación el procedimiento NuevaSimulacin1Click lleva al sistema al estado inicial (inicializando las variables, liberando la memoria pedida, limpiando los formularios , etc) para introducir nuevos datos y así generar otra nueva simulación con todos los datos actualizados.

Una vez finalizada la simulación el simulador le permite al usuario guardar su simulación en varios formatos, para poder hacer un postprocesamiento o una evaluación de las distintas características de la simulación realizada. jpg1Click guarda la vista del mapa actual en un archivo cuya extensión es pano (por ej prueba.pano), el cual es posible abrir con cualquier visualizador o editor de imágenes para su posterior manipulación.

El procedimiento PermetrodelIncendio1Click genera un archivo con formato kml, con los puntos georeferenciados del perímetro del incendio simulado por el sistema. Este archivo posteriormente puede ser levantado con Google Earth. El mismo es creado con funciones del módulo Kml, que posteriormente describiremos.

TodoslosPuntos1Click ídem a PermetrodelIncendio1Click, pero con todos los puntos del incendio simulado.

El procedimiento shp1Click genera un archivo con formato shp, con todos los puntos georeferenciados del incendio simulado por el sistema. Posteriormente este archivo puede ser cargado en herramientas relacionadas a la información GIS, así también como en herramientas de procesamiento de imágenes satelitales como es Envi. Este archivo es creado con las funciones del módulo Shp, que posteriormente describiremos.

El procedimiento DibujarProgresoTrasluz1Click dibuja el progreso del incendio en un tono naranjado transparente, donde se puede visualizar la imagen satelital de fondo, este dibujo es el predeterminado durante la simulación.

El procedimiento ProgresoIncendio1Click dibuja el progreso del incendio en escala de colores según el tiempo en que se fue quemando la zona, cada uno de los anillos representa dos horas de simulación, donde esta escala es representada por el modulo FormularioReferenciaProgreso.

El procedimiento DibujarIntensidadllama1Click dibuja la longitud de la llama, representado con una escala de colores (cuya referencia será mostrada por el módulo FormReferenciasAlturaLlama) donde cada color representa 0.3 m (1 pie = 0.3048 m) o un factor de éste, de la longitud de la llama de la zona.

El procedimiento Estadisticas2Click llama al formulario FormEstadísticas que muestra información posterior a la simulación, que puede resultar de interés al usuario para un postprocesamiento.

El procedimiento Referencia2Click llama al formulario FormReferencias, que se encarga de la información asociada a los mosaicos disponibles en el simulador para realizar una simulación o varias, más adelante lo describiremos.

4.1 TDN

El procedimiento `AyudaPANO1Click` abrirá el manual de `SIF_PANO` en formato pdf, si la pc tiene instalado algún programa de visualización de pdf.

El procedimiento `ManualMultimedia1Click` muestra (con windows media player) el manual de `SIF_PANO`, en formato de video (avi), donde se puede ver y escuchar una descripción del sistema, y donde se pueden seguir los pasos para realizar una simulación a modo de ejemplo.

El procedimiento `PuntosdeIgnicin1Click` deshabilita/habilita los símbolos que identifican los puntos de ignición, esto sirve principalmente cuando se quiere tener una visión completa de la zona afectada por la simulación.

El procedimiento `Grilla1Click` muestra una grilla de coordenadas para localizar e interpretar geográficamente la propagación del incendio. Una vez activada el usuario puede desactivarla en cualquier momento accediendo a la misma opción. Cabe destacar que queda deshabilitada cuando se realizan zooms (zoom in o zoom out). La grilla no se visualizará sino hay una imagen previamente cargada en el sistema. Esta podrá ser configurada por el usuario con el procedimiento `Ajustargrilla1Click`.

El procedimiento `Image33Click` realiza un zoom-in en la imagen previamente cargada en el sistema, este zoom-in se puede hacer antes o despues de la simulación.

El procedimiento `Image32Click` realiza un zoom-out si previamente se realizó un zoom-in, en caso contrario no tiene efecto alguno.

El procedimiento `Image25Click` restaura la imagen al estado por defecto, es decir al estado sin zoom (ni zoom-in ni zoom-out).

El procedimiento `Image36Click` mueve la escena al nor-oeste, si previamente se realizó un zoom-in.

is composed of Kml; Shp; Particle; Model; Catalogo

end SimuladorInc

El procedimiento `Simulacion` es el simulador de crecimiento de fuego de la librería `FireLib`, con algunas modificaciones (se tienen en cuenta las herramientas mencionadas con anterioridad de ataque). Este simulador fue presentado como un ejemplo de aplicación del uso de la API (application programming interface) `FireLib`.

El ejemplo del simulador de la librería es capaz de simular el crecimiento del fuego dentro de un combustible espacialmente variable, humedad del combustible, slope, aspect velocidad y dirección del viento constantes. Se va leyendo un mapa (arreglo) de tiempo de ignición (que puede ser inicializado con cualquier número de encendido pre-programado o un conjunto de tiempo) que se va modificando como parte de la simulación.

El ejemplo del simulador del `FireLib` no permite variar la velocidad y dirección en el tiempo, y la humedad de combustible no varía, con un combustible espacialmente variable. Nosotros tomamos a éste y le añadimos la posibilidad de variar la velocidad y

dirección del viento en el tiempo. Una mejora a futuro al simulador sería añadirle la opción de variar el contenido de humedad del combustible (podría ser con respecto a la hora del día, es decir dependiendo de la ubicación del mismo si esta en la sombra o no, o con respecto a la estación del año: verano, otoño, primavera, invierno o podría ser una combinación de ambas). Este ejemplo de simulador usa un simple algoritmo de contagio de celda a los 8 vecinos para la propagación del incendio. Con las herramientas de ataque se retrasa el tiempo de ignición, y en el caso del contrafuego se incendia la celda logrando así el efecto de éste.

Viento

A continuación mostraremos el módulo `formvientosr`, que es un formulario del viento, para que el usuario seleccione la dirección, la velocidad y la unidad del viento en forma rápida. Dicha selección será constante a través de toda la simulación.

```
module FormVientoSR
uses SimuladorInc
exports
type

procedure SpeedButton2Click ();

procedure Image2Click ();

procedure SpeedButton1Click ();

implements

El procedimiento SpeedButton2Click cierra el formulario.

El procedimiento Image2Click actualiza la dirección del viento a 45° (actualizando en el formulario el punto cardinal y los grados cartesianos).

El procedimiento SpeedButton1Click carga la dirección del viento, la velocidad, y la unidad solicitada por el usuario en el sistema. Mostrando lo solicitado en el panel del formulario general, indicando además que la dirección del viento es constante, es decir que no hay cambios de direcciones de viento en toda la simulación. Finalmente cierra el formulario.

end FormVientoSR
```

Seguimos con el formulario de edición de viento, en este permitimos que se puedan realizar hasta cinco cambios de la dirección del viento, en el transcurso de la simulación (es decir la dirección del viento es variable):

```
module FormVientoE
uses SimuladorInc
exports
type
```

procedure CheckBox1Click ();

procedure ComboBox1Change ();

procedure SpeedButton1Click ();

implements

El procedimiento CheckBox1Click habilita el tiempo de cambio (días, horas, minutos), la unidad de medida, la velocidad y la dirección en grados cartesianos para que puedan ser elegidos por el usuario, todo con respecto al primer cambio.

El procedimiento ComboBox1Change setea la dirección del viento con respecto al primer cambio del viento.

El procedimiento SpeedButton1Click carga la velocidad, dirección y unidad del viento con respecto al primer, segundo, tercer, cuarto y quinto cambio. Por último cierra el formulario.

end FormVientoE

Puntos de Ignición

A continuación mostraremos el módulo estructura_puntos, que tiene funciones asociadas a los puntos de ignición, que las utilizan los formularios o módulos asociados a éstos:

module Estructura_Puntos

uses SimuladorInc

exports

type puntosIgn = ?

procedure agregarpunto (listapuntos: in out puntosIgn *; punto: in puntosIgn; pos: in int; tamarray: in int);

procedure cambiarMarca (listapuntos: in out puntosIgn *; pos int; marca: in AnsiString; tamarray: in int);

function getpx (listapuntos: in puntosIgn *; pos: in int pos; tamarray: in int): out int;

function getpy (listapuntos: in puntosIgn *; pos: in int pos; tamarray: in int): out int;

function getMarca (listapuntos: in puntosIgn *; pos: in int; tamarray: in int): out AnsiString;

function getpunto(listapuntos: in puntosIgn *; pos: in int pos; tamarray: in int): out puntosIgn;

implements

El procedimiento agregarpunto agrega el punto a la lista de puntos.

4.1 TDN

El procedimiento `cambiarMarca` cambia la marca (nombre del punto de ignición elegido por el usuario) asociada a la posición de entrada, en la lista de puntos de ignición de entrada.

La función `getpx` devuelve la abscisa del punto de ignición, ubicado en la posición `pos` de la lista de puntos de ignición de entrada.

`getpy` ídem a `getpx`, pero devuelve la ordenada del punto.

La función `getMarca` devuelve la marca asociada a la posición de entrada; en la lista de puntos de ignición de entrada.

La función `getpunto` devuelve el punto asociado a la posición de entrada.

end Estructura_Puntos

El módulo `PuntosdeIgnicionAcciondelMouse`; es un formulario Puntos de Ignición / Acción del mouse sirve para elegir el nombre del punto de ignición (marca), que será elegido por el usuario, mediante un click del botón primario del mouse, en la imagen satelital previamente cargada en el formulario principal.

module PuntosdeIgnicionAcciondelMouse

uses SimuladorInc; Estructura_Puntos

exports

procedure SpeedButton2Click ();

procedure SpeedButton1Click ();

implements

El procedimiento `SpeedButton2Click` acepta el punto seleccionado por el usuario; a través de un click; carga en el formulario principal del sistema la marca y la imagen que fueron seleccionados por el usuario en este formulario; y deshabilita la opción de poder seguir agregando más puntos de ignición, (es decir a lo sumo con este botón se puede sumar un punto de ignición).

El procedimiento `SpeedButton1Click`, hace lo mismo que el procedimiento anterior excepto que no deshabilita la opción de seguir sumando puntos de ignición. El usuario podrá agregar a lo sumo 20 puntos de ignición y después deberá aceptar, porque si sigue tratando de agregar más el sistema le notificará al usuario que ya no puede agregar más con el siguiente mensaje de error: "Cantidad Máxima de Puntos de Ignición".

end PuntosdeIgnicionAcciondelMouse

También se cuenta con el módulo `FormPuntoIgnicionXY` para ingresar los puntos de ignición mediante las coordenadas cartesianas (X,Y), que pueden ser visualizadas a medida que se mueve el mouse sobre el formulario principal.

4.1 TDN

```
module FormPuntoIgnicionXY  
uses SimuladorInc; Estructura_Puntos  
exports
```

```
procedure SpeedButton2Click ();
```

```
procedure SpeedButton1Click ();
```

```
procedure SpeedButton3Click ();
```

implements

El procedimiento SpeedButton2Click agrega el punto de ignición con la marca (nombre del punto de ignición) y la imagen del punto, ambas seleccionadas por el usuario, teniendo en cuenta la máxima cantidad de puntos en el sistema (20 puntos). Previamente controla que las coordenadas cartesianas sean válidas, y que se haya cargado la imagen en el sistema, finalmente cierra el formulario.

SpeedButton1Click, ídem al anterior pero no cierra el formulario, es decir permite agregar 1 o más puntos en el sistema (como máximo 20 puntos).

El procedimiento SpeedButton3Click borra el punto seleccionado de la lista de puntos de ignición mostrada a la derecha del formulario.

```
end FormPuntoIgnicionXY
```

También esta la opción de ingresar un punto de ignición mediante el módulo o formulario FormPuntoIgnicionLatLong, el mismo será ingresado por medio de las coordenadas geográficas de latitud y longitud. Éste módulo está explicado en el apéndice A.

A continuación mostraremos el módulo FormListaPuntosdeIgnición, es un formulario encargado de listar los puntos de ignición dando la opción de poder elegir alguno y eliminarlo del sistema.

```
module FormListaPuntosdeIgnicion  
uses SimuladorInc  
exports
```

```
procedure SpeedButton2Click ();
```

```
procedure SpeedButton3Click ();
```

implements

El procedimiento SpeedButton2Click (botón aceptar), cierra el formulario.

El procedimiento SpeedButton3Click , borra el punto seleccionado de la lista de puntos de ignición cargados en el sistema.

end FormListaPuntosdeIgnicion

Coordenadas Geográficas

El sistema de coordenadas geográficas es un sistema de referencia que utiliza dos coordenadas angulares (latitud (norte o sur) y longitud (este u oeste)) para determinar las posiciones de la superficie terrestre (ver [Coo]). La latitud es la distancia que existe entre un punto cualquiera y el Ecuador. La longitud mide el ángulo a lo largo del ecuador desde cualquier punto de la Tierra.

Sistema de Coordenadas Proyectadas

Al contrario que las coordenadas geográficas que se caracterizan por no estar proyectadas, se definen diferentes proyecciones cartográficas. El sistema más utilizado, el Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator (Universal Transverse Mercator, UTM) está basado en la proyección cartográfica transversal de Mercator. Las magnitudes en el sistema UTM se expresan en metros al nivel del mar, que es la base de la proyección del elipsoide de referencia.

Proyección Cartográfica

La proyección cartográfica o proyección geográfica es un sistema de representación gráfico que establece una relación ordenada entre los puntos de la superficie curva de la Tierra y los de una superficie plana (mapa).

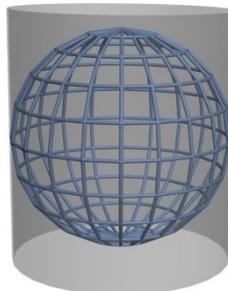
En un sistema de coordenadas proyectadas, los puntos se identifican por las coordenadas x,y en una malla con su origen en el centro de la malla.

Las representaciones planas de la esfera terrestre se llaman mapas.

Una de las representaciones básicas es la proyección cilíndrica.

Proyección Cilíndrica

La proyección de Mercator, es cilíndrica y conforme. En ella, se proyecta el globo terrestre sobre una superficie cilíndrica.



Incluimos una librería que provee las funciones para transformar las coordenadas angulares (latitud y longitud) al sistema de coordenadas proyectadas (utm) y viceversa.

module Utm

uses

exports

procedure LatLonToUtm (a: in double; f: in double; utmXZone: out int&; utmYZone: out char&; easting: out double&; northing: out double&; lat: in double; lon: in double) ;

procedure LatLonToUtmWGS84 (utmXZone : out int&; utmYZone: out char&; easting: out double&; northing: out double&; lat: in double; lon: in double) ;

procedure UtmToLatLonWGS84 (utmXZone: in int; utmYZone: in char; easting: in double; northing: in double; lat: out double&; lon: out double&);

implements

El procedimiento LatLonToUtm convierte las especificadas coordenadas latitud y longitud a las coordenadas proyectadas utm.

El procedimiento LatLonToUtmWGS84 convierte las especificadas coordenadas a coordenadas utm en el datum WGS84 (ver [wgs]).

El procedimiento UtmToLatLonWGS84 convierte las especificadas coordenadas utm a coordenadas angulares (latitud y longitud), en el datum wgs84.

end Utm

A continuación explicaremos los parámetros del procedimiento LatLonToUtmWGS84:

- **int & utmXZone:** este parámetro contiene el número de la zona horizontal de las coordenadas utm. El valor retornado por éste parámetro es un número dentro del rango 1 a 60, inclusive.
- **char& utmYZone:** este parámetro contiene la letra de la zona de las coordenadas utm. La letra tiene que ser una de estas: CDEFGHJKLMNPQRSTUVWXYZ.
- **double& easting:** este parámetro contiene la utm easting resultante (hacia el este) en metros.
- **double& northing:** este parámetro contiene la utm northing resultante (hacia el norte) en metros.
- **double lat, double lon:** las coordenadas latitud y longitud a convertir.

A continuación explicaremos los parámetros del procedimiento LatLonToUtm:

- **double a:** semieje mayor del elipsoide, en metros (Para el datum WGS84, usar 6378137).
- **double f:** achatamiento del elipsoide (Para el datum WGS84, usar 1/298.257223563).
- **int & utmXZone:** este parámetro contiene el número de la zona horizontal de las coordenadas utm. El valor retornado por éste parámetro es un número dentro del rango 1 a 60, inclusive.

4.1 TDN

- **char& utmYZone:** este parámetro contiene la letra de la zona de las coordenadas utm.
- **double& easting:** este parámetro contiene la utm easting (hacia el este) en metros.
- **double& northing:** este parámetro contiene la utm northing (hacia el norte) en metros.
- **double lat, double lon:** las coordenadas latitud y longitud a convertir.

A continuación mostraremos el módulo `CoordenadasdelPixelX,Y`, que provee dos funciones asociadas a la georeferenciación. Una función es la encargada de devolver la latitud y longitud de un pixel dado, y la otra devuelve el pixel asociado a una coordenada angular (latitud y longitud).

module `CoordenadasdelPixelX,Y`

uses

exports

function `darlatlonpixelxy` (`numpixelx`: in double; `numpixely`: in double; `tampixel`: in double; `easting1`: in double; `northing1` : in double; `latres`: out double&; `lonres`: out double&; `utmXZone`: in int; `utmYZone`: out char);

function `darpixelxy` (`easting1`: in double; `northing1`: in double; `latpixelx`: in double; `lonpixely`: in double; `tampixel`: in double; `numpixelx`: out int&; `numpixely`: out int&; `utmXZone`: in int; `utmYZone`: in char);

implements

La función `darlatlonpixelxy` devuelve las coordenadas angulares latitud y longitud en `latres` y `lonres` respectivamente del pixel `x,y`. Tomando como parámetro las coordenadas cartesianas del pixel `x,y`, el tamaño de éste (en nuestro caso como estamos usando imágenes del Landsat 5, el tamaño del pixel es 30 m ,ver [Lan]), las coordenadas proyectadas utm del pixel (1,1), el número de la zona horizontal y la letra de la zona vertical de las coordenadas utm.

La función `darpixelxy` devuelve las coordenadas cartesianas del pixel cuya latitud y longitud son `latpixelx` y `lonpixely`, con los parámetros de entrada `easting1` y `northing1` las coordenadas proyectadas utm del pixel 1,1 y `utmXZone`, `utmYZone` el número de la zona horizontal y la letra de la zona vertical respectivamente, asociadas al pixel 1,1.

is composed of utm

end `CoordenadasdelPixelX,Y`

Ataque

A continuación mostraremos todos los módulos asociados a ataque, que son algunos de los procedimientos utilizados a la hora de combatir un incendio forestal.

4.1 TDN

CortaFuego:

Como su nombre lo indica, esta herramienta es utilizada para tratar de detener el frente de un incendio realizando distintas acciones como ser limpieza de la vegetación en una franja para evitar que el incendio se propague más allá. La llama indica de donde viene propagándose el incendio y la barra o línea indica el cortafuego, el usuario deberá orientar el cortafuego de acuerdo a las condiciones del incendio. Teniendo en cuenta que una vez colocado no puede ser movido del lugar, la única manera es borrando todo el ataque. A continuación mostraremos el módulo FormCortaFuego:

```
module FormCortaFuego
uses SimuladorInc
exports
```

```
procedure SpeedButton2Click ();
```

```
procedure Image1Click ();
```

```
procedure SpeedButton1Click ();
```

implements

El procedimiento SpeedButton2Click cancela el procedimiento de cortafuego, y cierra el formulario.

El procedimiento Image1Click setea el cortafuego en la dirección 315°, donde 0 es el norte en sentido horario.

El procedimiento SpeedButton1Click cierra el formulario.

```
end FormCortaFuego
```

ContraFuego:

Esta herramienta se utiliza a la hora de detener el avance del incendio pero con una técnica diferente a la anterior, es decir, se realiza un pequeño incendio y se lo trata de llevar en dirección al frente del incendio, así de esta manera el incendio se detiene ya que no encuentra combustible que no haya quemado.

A continuación mostraremos el módulo FormContraFuego:

```
module FormContraFuego
uses SimuladorInc
exports
```

```
procedure SpeedButton2Click ();
```

```
procedure Image1Click ();
```

procedure SpeedButton1Click ();

implements

El procedimiento SpeedButton2Click cancela el procedimiento de contrafuego, y cierra el formulario.

El procedimiento Image1Click setea el cortafuego en la dirección 315°,

teniendo en cuenta que el 0 es el norte en sentido horario.

El procedimiento SpeedButton1Click cierra el formulario.

end FormContraFuego

Avión Hidrante:

Esta acción simula lo que sería el accionar de un avión hidrante en la zona del incendio, retardando o apagando por completo el frente del incendio.

A continuación mostraremos el módulo AviónHidrante:

module FormHidrante

uses SimuladorInc

exports

procedure SpeedButton2Click ();

procedure Image1Click ();

procedure SpeedButton1Click ();

implements

El procedimiento SpeedButton2Click cancela el procedimiento hidrante, y cierra el formulario.

El procedimiento Image1Click setea el cortafuego en la dirección 315°,

teniendo en cuenta que el 0 es el norte en sentido horario.

El procedimiento SpeedButton1Click cierra el formulario.

end FormHidrante

Shapefile y Kml

A continuación describiremos el módulo encargado de proveer las funciones para crear el archivo kml (formato xml), con los puntos georeferenciados de la simulación.

4.1 TDN

module Kml

uses

exports

procedure crearkmlintro (myfile: in char *; pFile1: out FILE*);

procedure sumarcoord (pFile1: in out FILE *; name: in char*; lat: in char*; lon: in char*);

procedure crearkmlfin(pFile1: in out FILE *);

procedure crearinformeintro(namefile555: in char *; fechagen555: in char *; nameimg555 : in char*; namedem555 : in char*; nameveg555: in char*; dirviento555: in char*; velviento555: in char*; unidviento555: in char*; dirviento1555 : in char*; velviento1555 : in char*; unidviento1555: in char*; dirviento2555 : in char*; velviento2555: in char*; unidviento2555: in char*; dirviento3555 : in char*; velviento3555: in char*; unidviento3555: in char*; dirviento4555 : in char*; velviento4555: in char*; unidviento4555: in char*; dirviento5555 : in char*; velviento5555: in char*; unidviento5555: in char*; pFile1: out FILE*);

procedure sumarcoordinforme (pFile1: in out FILE *; name:in char*; lat:in char*; lon: in char*);

procedure crearfininforme (pFile1: in FILE *; tiemsimudd: in char*; tiemsimuhh : in char*; tiemsimumm: in char*; fechainiciosimudd: in char*; fechainiciosimuhh: in char*; fechainiciosimumm: in char*; fehafinsimudd: in char*; fehafinsimuhh: in char*; fehafinsimumm: in char*);

implements

El procedimiento crearkmlintro devuelve un puntero a un archivo, tomando como parámetro el nombre del archivo, con el contenido inicializado con el encabezado de los archivos kml.

Dado el puntero del archivo, el nombre de la coordenada (esto es útil cuando la coordenada tiene un string o nombre asociado, recordemos el punto de ignición tiene una marca asociada) entonces el procedimiento **sumarcoord** va a guardar en el archivo, la coordenada angular, mas el string “Punto de Ignición - nombre” si la coordenada es un punto de ignición. Sino guarda el punto georeferenciado en el archivo.

El procedimiento crearkmlfin cierra el archivo anexándole contenido de cierre del formato kml.

El procedimiento crearinformeintro crea un archivo txt, con el nombre del archivo namefile555 mas “_kml.txt” (por ejemplo si namefile555 fuera prueba entonces el resultado sería prueba_kml.txt), y con el contenido inicializado con información relacionada a la simulación.
nameimg555: nombre del archivo de la imagen (path del archivo de la imagen más el nombre de la banda1)
namedem555: nombre del archivo del dem (path del archivo del dem más el nombre del archivo del slope)
nameveg555: nombre del archivo de la capa de vegetación (path del archivo de la capa de vegetación más el nombre del archivo)
dirviento555: dirección del viento inicial
velviento555: velocidad del viento inicial

4.1 TDN

unidviento555: unidad del viento inicial

dirviento1555: dirección del viento (del primer cambio). Ídem con dirviento2555, dirviento3555 dirviento4555, dirviento5555 pero con respecto al segundo, tercer, cuarto y quinto cambio.

velviento1555: velocidad del viento (del primer cambio).

unidviento1555: unidad del viento(del primer cambio).

El procedimiento sumarcoordinforme agrega en el informe la coordenada angular del punto de ignición con su respectivo nombre.

El procedimiento crearfininforme cierra el informe agregándole: el tiempo de duración de la simulación, fecha de inicio, fecha de fin de la simulación y las coordenadas angulares (latitud y longitud) del punto de ignición mas la marca asociada

tiemsimudd: cantidad de días de duración de la simulación

tiemsimuhh: cantidad de horas de duración de la simulación

tiemsimumm: cantidad de minutos de duración de la simulación

fechainiciosimudd: día de inicio de la simulación

fechainiciosimuhh: hora de inicio de la simulación

fechainiciosimumm: minutos de inicio de la simulación

fechafinsimudd, fechafinsimuhh, fechafinsimumm ídem a la anteriores pero con respecto al final de la simulación.

end Kml

Seguiremos con una breve descripción de la librería shapelib, mencionando los procedimientos que utilizamos para crear el archivo con formato shape.

La librería esta disponible en <http://shapelib.maptools.org/>.

module Shp

uses

exports

procedure SHPCreateSimpleObject (nSHPType: in int; nVertices: in int; padfX: in double *; padfY: in double *; padfZ: in double *; psObject: out SHPObject *);

procedure SHPWriteObject(hSHP: in SHPHandle; iShape: in out int; psObject:in SHPObject *);

implements

El procedimiento SHPCreateSimpleObject crea un objeto de tipo nSHPType (point,arc, polygon, multipolygon, multipoint), con nVertices (el número de vértices que se están pasando en padfX padfY y en padfZ), padfX: el arreglo de las coordenadas X de los vértices para este objeto, padfY: el arreglo de las coordenadas Y de los vértices para este objeto y padfZ: el arreglo de las coordenadas Z de los vértices para este objeto (este será null en el caso que todos estén inicializados a cero). Generalmente se crea el objeto con esta función para posteriormente pasarlo al procedimiento SHPWriteObject, quien se encargará de escribirlo en el archivo.

El procedimiento SHPWriteObject escribe la estructura del objeto en el archivo shape.

hSHP: el valor devuelto previamente por SHPOpen o SHPCreate,

iShape: el número de identidad de la forma a escribir (-1 debería ser usado para nuevas formas),

4.1 TDN

psObject: la forma a escribir en el archivo (previamente construido con SHPCreateObject o SHPCreateSimpleObject).

end Shp

Visualización

El siguiente formulario o módulo FormularioReferenciaProgreso, muestra la referencia de colores o la misma escala de colores que se muestra en la imagen del formulario principal, donde asocia cada color con las 2 respectivas horas en que se quemó la zona.

```
module FormularioReferenciaProgreso  
uses  
exports
```

```
procedure FormCreate ();
```

```
implements
```

El procedimiento FormCreate inicializa la escala en este formulario, cuando se crea el mismo

```
end FormularioReferenciaProgreso
```

Seguiremos con el formulario FormReferenciasAlturaLlama, que es el encargado de mostrar la escala asignada en la imagen del formulario principal asociada a la altura de la longitud de la llama.

```
module FormReferenciasAlturaLlama  
uses  
exports
```

```
procedure FormCreate ();
```

```
implements
```

El procedimiento FormCreate inicializa la escala de colores en este formulario, cuando se crea el mismo, mostrando así la referencia de la longitud de la llama de la imagen del formulario principal.

```
end FormReferenciasAlturaLlama
```

Estadísticas

A continuación mostraremos el módulo FormEstadísticas, que está relacionado con la información estadística de la simulación previamente realizada.

4.1 TDN

module FormEstadísticas

uses SimuladorInc

exports

procedure SpeedButton1Click ();

procedure SpeedButton3Click ();

procedure SpeedButton2Click ();

procedure SpeedButton4Click ();

implements

El procedimiento SpeedButton1Click calcula y muestra en modo texto:

Número total de hectáreas quemadas

Promedio de hectáreas quemadas por hora

Número total de pixeles quemados

Promedio de pixeles quemados por horas

También muestra gráficamente las hectáreas quemadas por hora de simulación, dándole 2 opciones al usuario gráfico de barras o gráficos de línea (en el gráfico de barras se muestra el porcentaje de hectáreas quemadas, y en el gráfico de línea se muestra la cantidad de hectáreas quemadas).

También se da la posibilidad al usuario de darle una animación al gráfico con un tiempo de refresco entre 1 a 5 segundos, el usuario también podrá cambiar el color de la barras en el gráfico de barras.

El procedimiento SpeedButton3Click calcula y muestra la longitud de la llama promedio de toda la simulación. También muestra gráficamente la longitud promedio de la llama del incendio por hora de simulación. Existen dos posibles gráficos que podrá el usuario optar, gráfico de barras o de línea (ambas mostrando el promedio de la longitud de la llama).

El procedimiento SpeedButton2Click calcula y muestra por cada tipo de combustible la cantidad de hectáreas quemadas (textualmente y gráficamente).

El procedimiento SpeedButton4Click calcula y muestra:

hectáreas hectáreas acumuladas con respecto a las horas de simulación

intensidad muestra lo mismo SpeedButton1Click, pero sólo la información textual.

vegetación por cada tipo de combustible muestra la cantidad de hectáreas quemadas.

end FormEstadísticas

Referencia del mosaico satelital

El siguiente formulario o módulo visualiza las zonas de la provincia de Córdoba que se encuentran disponibles para realizar una simulación. La limitación de los mosaicos disponibles fue impuesta por la capa de vegetación desarrollada hasta la fecha;

4.1 TDN

en que se desarrolló el simulador.

Una mejora a futuro sería completar Córdoba con los mosaicos faltantes (imágenes, modelo digital de elevación y la capa de vegetación).

También incluye un buscador, que de acuerdo a las coordenadas de la zona en que se quiere realizar la simulación, indica el mosaico a utilizar junto con la ubicación de los archivos (imagen, dem, vegetación).

module FormReferencias

uses SimuladorInc

exports

procedure SpeedButton1Click ();

procedure Label12Click ();

implements

El procedimiento SpeedButton1Click realiza la búsqueda del mosaico donde se encuentra la coordenada deseada por el usuario, mostrando el número asociado al mosaico solicitado y también indicando la ubicación de los archivos (imagen, dem, vegetación).

El procedimiento Label12Click muestra el número del mosaico 1 que fue seleccionado, la ubicación de los archivos asociados (imagen, dem, capa de vegetación) y el rango abarcado por las coordenadas angulares del mismo (latitud y longitud), es decir de donde comienza el mosaico y hasta donde termina.

end FormReferencias

Aplicaciones

Las aplicaciones son llamadas a las herramientas que sirven para mejorar la interpretación de una simulación.

A continuación mostraremos el módulo FormaAjusteGrilla, que es el encargado de configurar o guardar el tamaño de las filas y columnas que componen la grilla elegidos por el usuario.

module FormaAjusteGrilla

uses SimuladorInc

exports

procedure SpeedButton2Click ();

procedure FormCreate ();

procedure SpeedButton1Click ();

implements

El procedimiento SpeedButton2Click guarda los coeficientes de ajuste de celdas de latitud

4.2 GDN

y longitud (es decir el tamaño de las filas y las columnas), por último cierra el formulario.

El procedimiento FormCreate crea el formulario definiendo los coeficientes de ajuste de celdas de latitud y longitud con los valores por defecto (0.05 grados) definidos en el módulo SimuladorInc, si es que no fueron establecidos por el usuario mediante el procedimiento SpeedButton2Click.

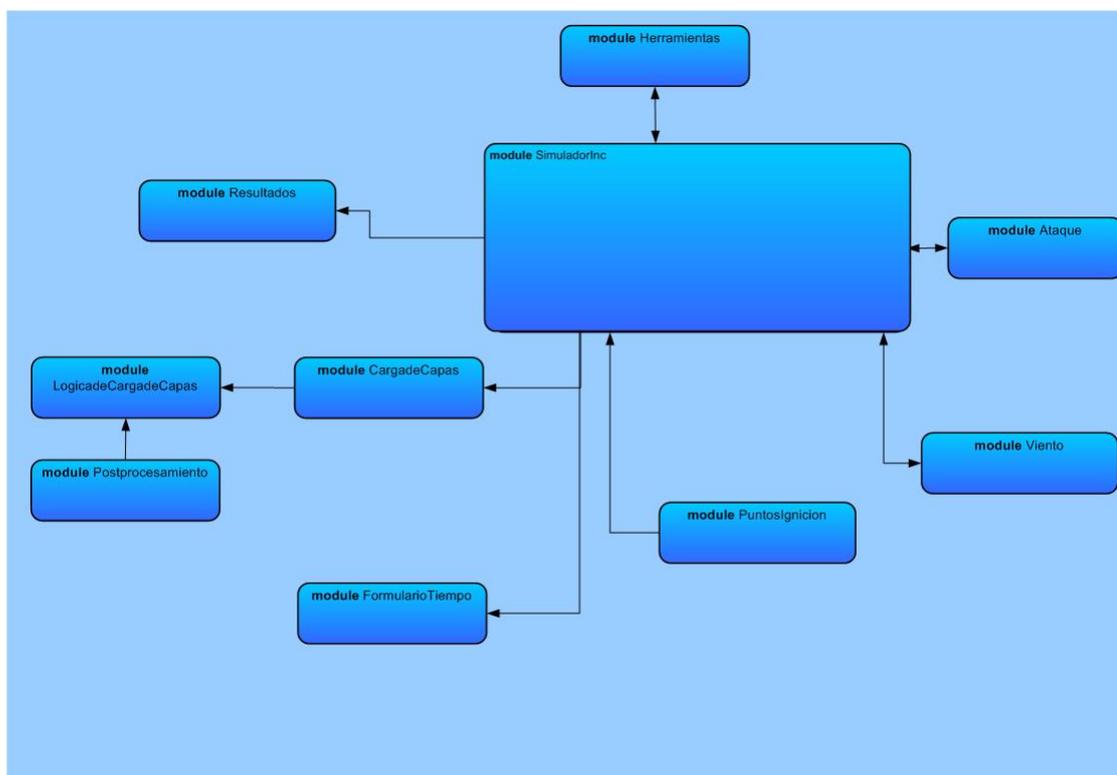
El procedimiento SpeedButton1Click establece los coeficientes de ajuste de celdas de latitud y longitud con los valores por defecto (0.05 grados).

end FormAjusteGrilla

4.2. GDN

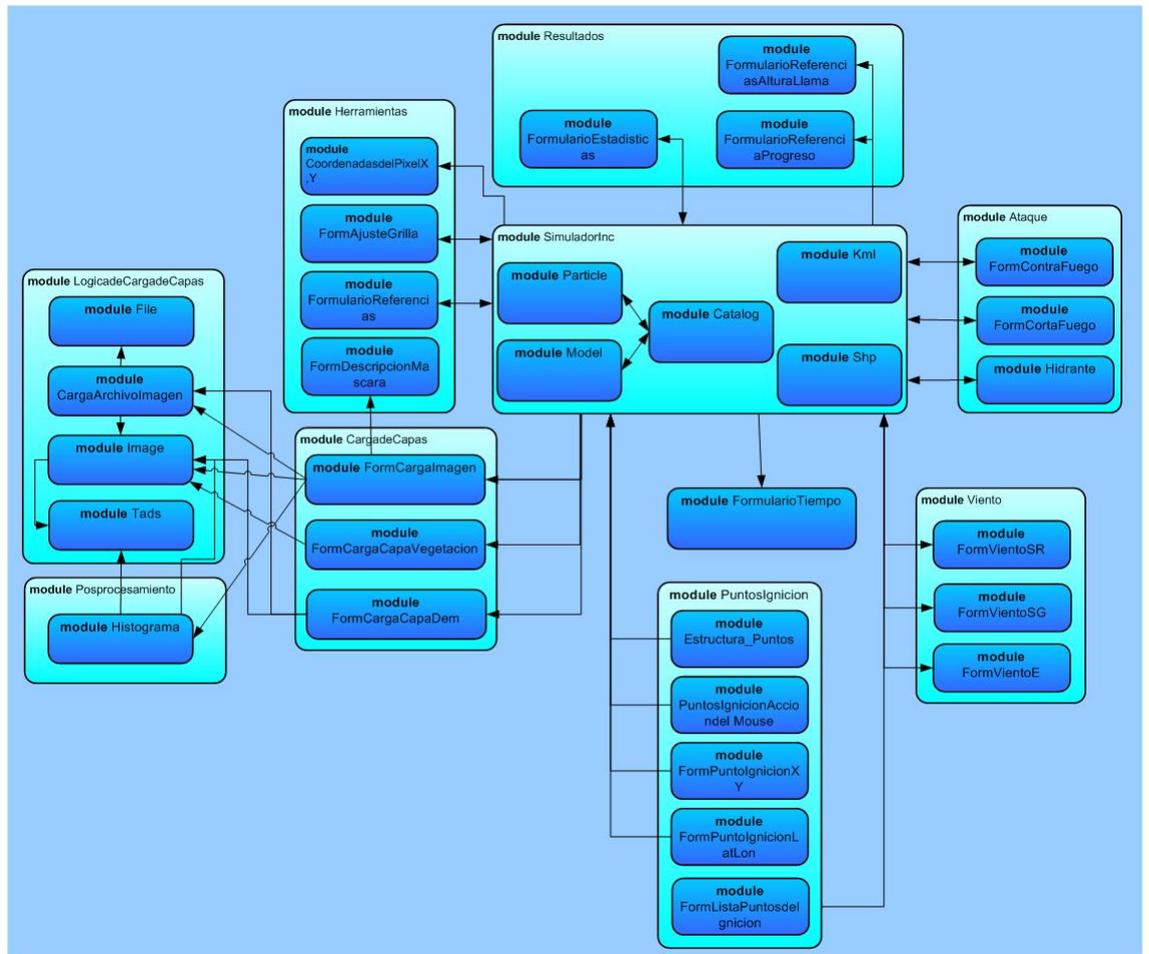
A continuación mostraremos GDN (Graphical Design Notation) del diseño del sistema. El lenguaje gráfico del diseño del software (GDN) básicamente describe cuáles módulos están contenidos dentro de otros gráficamente (si un módulo está contenido dentro de otro gráficamente significa que el módulo más grande exporta sus funciones más las funciones exportadas del módulo que está incluido; esta relación se llama **is composed of**) y cuáles módulos usan un módulo (es decir si una flecha va de un módulo a otro significa que el módulo donde nace la flecha utilizará funciones del módulo apuntado por la flecha, esta relación se llama **uses**).

A continuación mostraremos un esquema de módulos por lo cual el sistema, puede dividirse, (vale aclarar al lector que esta división es sólo para mejorar la interpretación de la arquitectura, el sistema no está dividido así, la división real será mostrada al final).

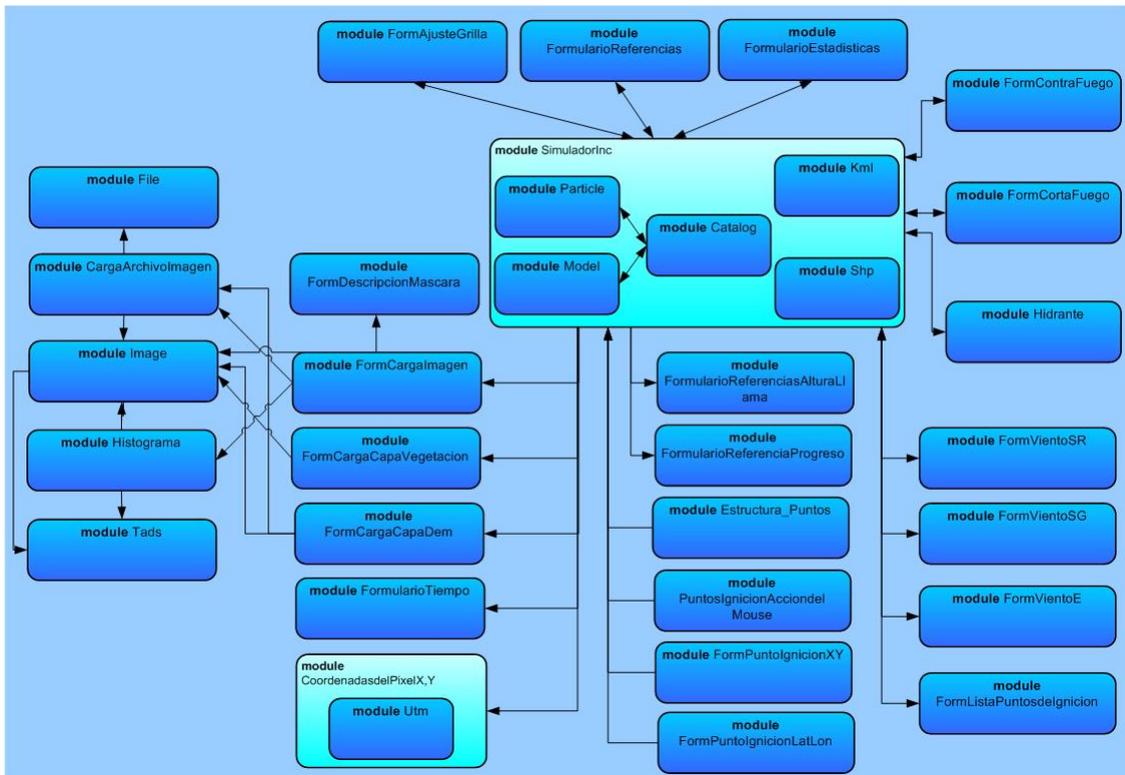


Pero éstos módulos son útiles para ver los verdaderos módulos (que están contenidos dentro de éstos), asociados con funciones similares, mediante el siguiente gráfico:

4.2 GDN



Finalmente la arquitectura del sistema queda como se muestra a continuación:



CAPÍTULO 5

Un caso de prueba real

Una vez listo el sistema, nos surgió la inquietud de ver que simularía el sistema si tuviéramos un caso real.

Esta inquietud nos llevó a ir a un incendio el 9 de Octubre del 2007, que hacía pocos días que se había apagado, cerca de San Francisco de Chañar. En el camino vimos una columna de humo proveniente de otro incendio, entonces decidimos ir hasta el lugar.

Un poco preparados (con la estación meteorológica y el gps) anotamos las variables que la misma nos proporcionó, entre ellas se encontraba la que mas nos interesaba dirección y velocidad del viento en distintos tiempos.

La primera medición la realizamos a las 13 horas del mismo día, donde la dirección del viento era NOR-ESTE (recordemos que se llama dirección del viento el punto del horizonte donde viene o sopla) con una velocidad de $10 \frac{km}{H}$.

La segunda medición fue realizada a las 14 horas, donde la dirección del viento era NOR-OESTE con una velocidad de $15 \frac{km}{H}$.

La tercer medición fue a las 18 horas donde la dirección del viento era NOR-ESTE y la velocidad era $8 \frac{km}{H}$.

Días posteriores volvimos al lugar del incendio, hablando con los vecinos del campo donde se produjo el mayor porcentaje de quemado de hectáreas, nos indicaron donde había sido el punto de ignición, de inmediato lo relevamos con el gps.



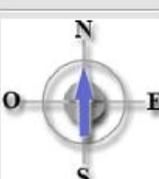
Figura 5.1: Punto de Ignición del incendio en el 2009, en San Francisco del Chañar

Con el gps en la mano, arriba de un cuatriciclo relevamos el perímetro del incendio, para posteriormente compararlo con nuestra simulación.

La simulación fue realizada con los 3 cambios de viento mencionados arriba, siendo la 1^{er} hora de simulación las 13:00 horas del día del incendio, la 2^{da} hora de simulación las 14:00 horas, ..., la 6^{ta} hora las 18:00. Simulamos hasta 9^{na} hora (las 21:00 horas) dado que ya no teníamos mas datos sobre el viento.

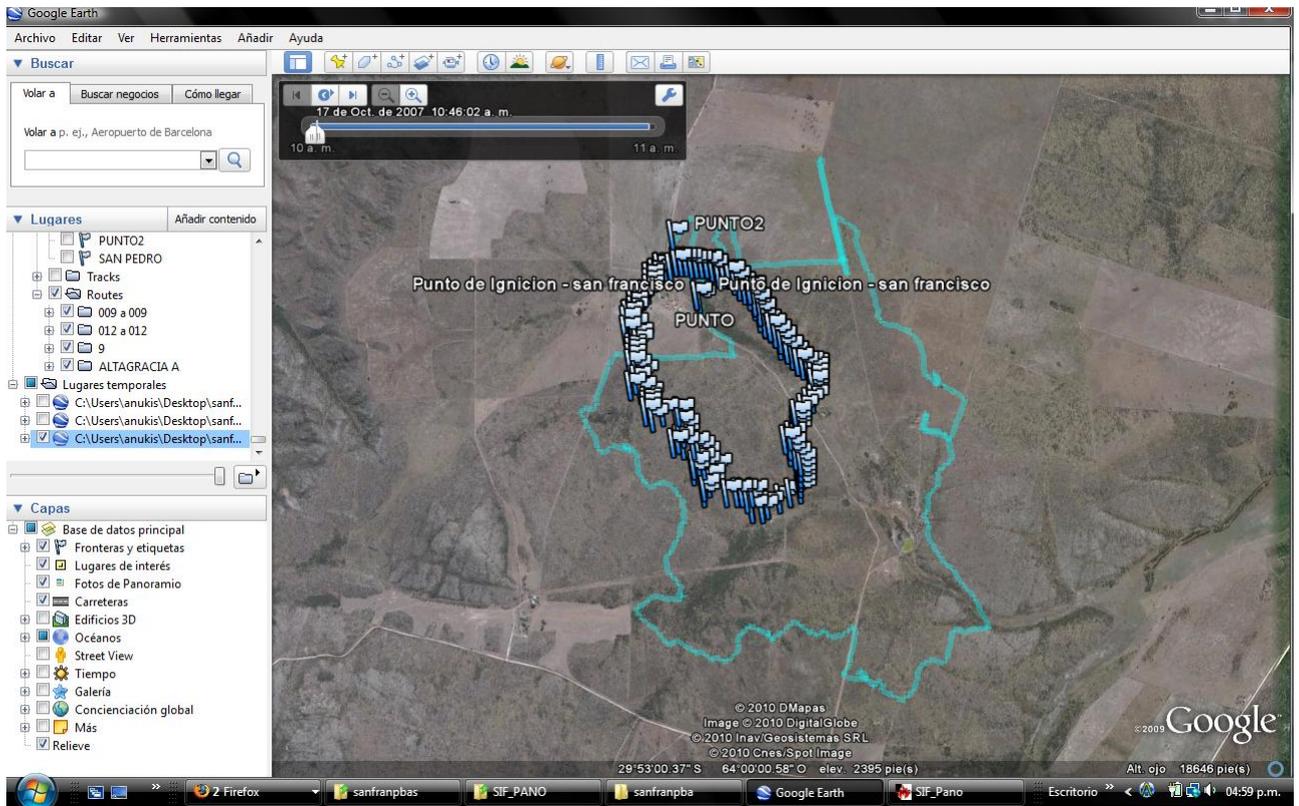
5 UN CASO DE PRUEBA REAL

Dirección y Velocidad del Viento / Edición Viento Variable

Primer Cambio <input checked="" type="checkbox"/> Habilitar		Grados Cartesianos <input type="text" value="225"/>	Unidad de Medida <input checked="" type="radio"/> Km/Hora <input type="radio"/> Pies/Segundo <input type="radio"/> Millas/Hora <input type="radio"/> Metros/Segundo	Velocidad <input type="text" value="10,0"/> Nota: En caso de ingresar una fracción se debe colocar primero el numero entero, luego la coma seguido de los decimales correspondientes.	
Segundo Cambio <input checked="" type="checkbox"/> Habilitar		Grados Cartesianos <input type="text" value="135"/>	Unidad de Medida <input checked="" type="radio"/> Km/Hora <input type="radio"/> Pies/Segundo <input type="radio"/> Millas/Hora <input type="radio"/> Metros/Segundo	Velocidad <input type="text" value="15,0"/> Nota: En caso de ingresar una fracción se debe colocar primero el numero entero, luego la coma seguido de los decimales correspondientes.	
Tercer Cambio <input checked="" type="checkbox"/> Habilitar		Grados Cartesianos <input type="text" value="225"/>	Unidad de Medida <input checked="" type="radio"/> Km/Hora <input type="radio"/> Pies/Segundo <input type="radio"/> Millas/Hora <input type="radio"/> Metros/Segundo	Velocidad <input type="text" value="8,0"/> Nota: En caso de ingresar una fracción se debe colocar primero el numero entero, luego la coma seguido de los decimales correspondientes.	
Cuarto Cambio <input type="checkbox"/> Habilitar		Grados Cartesianos <input type="text" value="0"/>	Unidad de Medida <input checked="" type="radio"/> Km/Hora <input type="radio"/> Pies/Segundo <input type="radio"/> Millas/Hora <input type="radio"/> Metros/Segundo	Velocidad <input type="text" value="0,0"/> Nota: En caso de ingresar una fracción se debe colocar primero el numero entero, luego la coma seguido de los decimales correspondientes.	
Quinto Cambio <input type="checkbox"/> Habilitar		Grados Cartesianos <input type="text" value="0"/>	Unidad de Medida <input checked="" type="radio"/> Km/Hora <input type="radio"/> Pies/Segundo <input type="radio"/> Millas/Hora <input type="radio"/> Metros/Segundo	Velocidad <input type="text" value="0,0"/> Nota: En caso de ingresar una fracción se debe colocar primero el numero entero, luego la coma seguido de los decimales correspondientes.	

A continuación se puede ver la diferencia, lo relevado es el área mas grande y el área mas pequeña es lo simulado. Muy satisfactoriamente podemos concluir que el sistema simula de una forma muy realística, mejor a la que esperábamos (tengamos en cuenta que no sabemos a que hora finalizó el incendio).

5 UN CASO DE PRUEBA REAL



CAPÍTULO 6

Conclusión

Nuestro sistema permite tener una visión global de la propagación del incendio, ingresando una aproximación de la variable viento, es posible calcular y evaluar todos los posibles comportamientos del incendio, antes de que finalice el mismo.

Esto lleva a reducir tiempos y costos, facilitando la planificación y la toma de decisiones en la prevención y lucha contra los incendios forestales.

También permite una evaluación a posterior del siniestro con los datos de la velocidad del viento real.

Esta herramienta es importantes para países desarrollados, como los europeos quienes sufren a menudo de siniestros de esta índole.

Nuestro país como también a menudo sufre de incendios forestales, debería contar con varias herramientas relacionadas con los incendios forestales, y sobretodo sin previo procesamiento, es decir orientadas a los usuarios que sólo quieran usar el sistema, sin previos conocimientos en la generación de datos de entrada (como es el caso de Farsite).

El sistema puede ser instalado en cualquier versión de Windows, y sin ningún otro requerimiento a nivel del software.

Antes de comenzar con el desarrollo del mismo, se realizaron estudios de los diversos modelos matemáticos existentes, presentando ventajas y desventajas de éstos en un seminario realizado en Conae, culminando con el modelo de Rothermel. Esto significa que tuvimos que realizar distintas tareas de investigación.

Mientras se desarrollaba el sistema fuimos hablando con los usuarios a futuros, para tener una idea de las herramientas que serían útiles en el simulador, varias de ellas fueron sumadas.

Logramos además una aplicación amigable al usuario, y fácil de usar, para ello brindamos la interfaz en Borland C++ Builder version 5.0, con un sistema de formularios o ventanas amigables al uso.

Con todo ello hemos profundizado nuestros conocimientos en diversas áreas, en la programación a nivel general, en la teoría que compete a los modelos de propagación de incendios, junto con definiciones y fórmulas matemáticas, repasando conceptos de física.

Con la realización del caso de prueba real, también adquirimos conocimientos sobre gps, estación meteorológicas, el ataque real en frente de un incendio.

No podemos dejar de mencionar los conceptos adquiridos en c++.

Con este trabajo se intentó brindarle a los encargados del ataque del incendio una herramienta útil, fácil de usar y estable, que le permitiera evaluar las posibles propagaciones y así mejorar su visión a futuro.

Podemos concluir diciendo que a pesar de que la ciencia en esta área ha sido poco desarrollada, es posible tener un simulador de incendios amigable para nuestros principales guardianes, los bomberos, en nuestro país.

6.1. Trabajo a Futuro

Como se mencionó con anterioridad este sistema sólo tiene en cuenta el incendio de suelo, se podría expandir para que también tenga en cuenta los incendios de copas y de subsuelo. Y así mejorar la simulación y llevarla mas a la realidad.

A continuación renombraremos las mejoras mencionadas en el capítulo 3:

Una **mejora** sería obtener la capa de combustible para toda la provincia de Córdoba, completando en el sistema toda Córdoba, con los mosaicos faltantes (imágenes, modelo digital de elevación y la capa de vegetación).

Otra **mejora** podría haber sido incluir el dem, y que el sistema se encargue de diferenciar las características necesarias para la simulación.

Una futura **mejora** al simulador sería que el matching fuera realizado por gente especializada en modelos de combustibles, como por ejemplo biólogos.

A continuación renombraremos las mejoras mencionadas en el capítulo 4:

En el procedimiento SpeedButton24Click, luego de terminada una simulación, el usuario podrá optar por la opción de reiniciar dicho proceso de manera automática sin tener que volver a cargar los datos necesarios para tal fin, o con la posibilidad de cambiar algunos (si se cambia la imagen y se dejan el dem y la vegetación sin cambiar el simulador no corrobora que el dem y la capa de vegetación sean de la imagen donde se va a simular, esto también podría ser una **mejora** a futuro).

Una mejora a futuro al simulador sería añadirle la opción de variar el contenido de humedad del combustible (podría ser con respecto a la hora del día, es decir dependiendo de la ubicación del mismo si esta en la sombra o no, o con respecto a la estación del año: verano, otoño, primavera, invierno o podría ser una combinación de ambas).

Otra mejora sería que en la carga de la imagen, indicando el mosaico se carguen todas las bandas, el dem y la capa de vegetación asociadas a éste.

APÉNDICE A

Extensión del Diseño del Sistema

A.1. TDN

TDN: Textual Design Notation, es un lenguaje de diseño del software planteado por Carlo Ghezzi [GJM91]. Para mayor claridad se aconseja leer el TDN junto con el GDN, este último también fue planteado por Carlo Ghezzi [GJM91] y es un lenguaje gráfico de diseño del software. En este apéndice se muestran todos los módulos, con sus funciones y procedimientos respectivos.

module Catalogo

uses Particle; Model

exports

type FuelCatalogPtr = ?

procedure Fire_FuelCatalogCreate (name: in char *; maxModels: in size_t;
catalog: out FuelCatalogPtr);

procedure Fire_FuelCatalogDestroy (catalog: in FuelCatalogPtr; e: out int);

procedure Fire_FuelCatalogCreateStandard (name: in char *; maxModels: in size_t;
catalog: out FuelCatalogPtr);

procedure Fire_FlameLengthTable (catalog: in FuelCatalogPtr, flameClasses: in size_t;
flameStep: in double; e: out int);

procedure Fire_SpreadWindSlopeMax (catalog: in FuelCatalogPtr; model: in size_t;
windFpm: in double; windDeg: in double; slope: in double; aspect: in double);

procedure Fire_SpreadAtAzimuth (catalog: in FuelCatalogPtr; model: in size_t;
azimuth: in double; doWhich: in size_t; e: out int);

procedure Fire_FlameScorch (catalog: in FuelCatalogPtr; model: in size_t model;
doWhich: in size_t; e: out int);

implements

El procedimiento Fire_FuelCatalogCreate crea un nuevo catalogo capaz de almacenar los modelos de combustibles con id's en el rango [0..maxModel], y con el nombre del catalogo dado por name. El catálogo será lleno por subsecuentes llamadas a Fire_FuelModelCreate.

El procedimiento Fire_FuelCatalogDestroy destruye el catalogo de combustible, todos sus modelos de combustibles y partículas asociados al mismo.

El procedimiento Fire_FuelCatalogCreateStandard crea un nuevo catalogo capaz de almacenar los modelos de combustibles con id's en el rango [0..maxModel], y con el nombre del catalogo dado por name. El catalogo es llenado con los 13 modelos de combustibles estandar del comportamiento del fuego. Otros modelos pueden ser agregados posteriormente llamando a Fire_FuelModelCreate.

El procedimiento Fire_FlameLengthTable crea una tabla de intensidades de la línea de fuego asociadas a las longitudes de la llama, desde 0 hasta flameClasses, en intervalos de flameStep. Es decir si flameStep es 0.1, entonces la longitud de la llama irá aumentando en 0.1 hasta llegar a flameClasses.

El procedimiento Fire_SpreadWindSlopeMax calcula la máxima dirección y velocidad de propagación del incendio dadas las condiciones de viento y pendiente.

El procedimiento Fire_SpreadAtAzimuth calcula la velocidad de propagación del incendio en una especificada dirección y opcionalmente calcula la intensidad de la línea de fuego.

El procedimiento Fire_FlameScorch calcula la longitud de la llama. Usa la tabla de la longitud de la llama si existe. Ofrece un método para obtener la longitud de la llama si Fire_SpreadAtAzimuth no ha sido calculado.

end Catalogo

module Particle

uses Catalogo

exports

type

procedure Fire_FuelParticleAdd (catalog: in FuelCatalogPtr catalog; model: in size_t;
type: in size_t type; load: in double; savr: in double; dens: in double; heat: in double;
stot: in double; seff: in double; e: out int);

implements

El procedimiento Fire_FuelParticleAdd agrega una partícula de combustible al especificado modelo de combustible.

end Particle

module Model
uses Catalogo
exports
type

procedure Fire_FuelModelCreate (catalog: in FuelCatalogPtr; model: in size_t;
name: char *; desc: in char *; depth: in double; mex: in double; adjust: in double;
maxParticles: in size_t; e: out int);

procedure Fire_FuelModelDestroy (catalog FuelCatalogPtr; model: in size_t; e: out int);

function Fire_FuelModelExists (catalog: in FuelCatalogPtr; model : in size_t; e: out int);

procedure Fire_FuelCombustion (catalog: in FuelCatalogPtr; model: in size_t; e: out int);

procedure Fire_SpreadNoWindNoSlope (catalog FuelCatalogPtr; model : in size_t;
moisture: in double [FIRE_MCLASSES]; e: out int);

implements

El procedimiento Fire_FuelModelCreate crea un nuevo modelo de combustible capaz de almacenar como máximo maxParticles partículas de combustibles. Estas partículas posteriormente podrán ser sumadas con Fire_FuelParticleAdd.

El procedimiento Fire_FuelModelDestroy borra el especificado modelo de combustible.

La función Fire_FuelModelExists chequea que el puntero del catálogo sea válido, también chequea que el número del modelo de combustible este dentro del rango y exista el modelo.

El procedimiento Fire_FuelCombustion calcula y guarda todas las variables dependientes de la combustión de combustibles.

El procedimiento Fire_SpreadNoWindNoSlope calcula la intensidad de reacción del incendio, y la velocidad de propagación si viento y sin pendiente, pero teniendo en cuenta el modelo de combustible y la humedad de entrada.

end Model

En el módulo Tads sólo importamos algunos tipos básicos para ser utilizados en otros módulos:

module Tads
uses
exports

A.1 TDN

```
type Booleano = ?; Error_t = ?; Handler = ?;
implements
```

Handler se utiliza para manejar estructuras oscuras, (es un puntero)

```
end Tads
```

```
module Image
```

```
uses Tads
```

```
exports
```

```
type Image_t = ?; ImageFlag= ?; EstTam = ?
```

```
procedure ImageCreate(img: out Image_t);
```

```
procedure ImageSetSize(img: in Image_t; width: in const int; height: in const int; e: out Error_t);
```

```
procedure ImageFlood(img: in Image_t ; value: in const unsigned char; banda: in int; e: out Error_t ) ;
```

```
procedure ImageDestroy(img: in Image_t);
```

```
procedure ImageSetFlag(img: in Image_t; flag: in const ImageFlag; e: out Error_t);
```

```
function ImageGetFlag(img: in const Image_t):ImageFlag;
```

```
procedure ImageCopy(destination: in Image_t; source: in const Image_t; e: out Error_t);
```

```
procedure ImageClear(img: in Image_t; banda: in int; e: out Error_t);
```

```
procedure ImageSetPixel(img: in Image_t; banda: in const int; x: in const int; y: in const int;
val: in const unsigned char);
```

```
procedure ImageSetPixelAux(img: in Image_t; banda: in const int; address: in const int;
val: in const unsigned char);
```

```
function ImageGetPixel(img: in const Image_t; banda: in const int; x: in const int;
y: in const int):unsigned char;
```

```
function ImageGetPixelAux(img: in Image_t; banda: in const int; address: in const int)
:unsigned char;
```

```
function ImageGetBuffer(img: in Image_t; banda: in const int):unsigned char* ;
```

```
function ImageGetWidth(img: in const Image_t):int;
```

```
function ImageGetHeight(img: in const Image_t):int;
```

```
function ImageGetSize(img: in const Image_t):int;
```

function ImageGetPitch(img: in const Image_t):int;

function ImageGetLatitud(img: in const Image_t):double;

function ImageGetLongitud(img: in const Image_t):double;

function ImageGetTamPixel(img: in const Image_t):double;

function ImageGetRef(img: in const Image_t):int;

procedure ImageSetLatitud(img: in const Image_t; latitud: in const double);

procedure ImageSetLongitud(img: in const Image_t; longitud: in const double);

procedure ImageSetTamPixel(img: in const Image_t; pixel: in const double);

procedure ImageSetRef(img: in const Image_t; ref: in const int);

implements

El procedimiento ImageCreate crea el objeto imagen.

El procedimiento ImageSetSize setea el tamaño de la imagen especificada, ancho con width, y alto con height.

El procedimiento ImageFlood setea todos los valores de la banda con value.

El procedimiento ImageDestroy destruye el objeto imagen.

El procedimiento ImageSetFlag setea el flag de la imagen; existen 2 flags ImageError o ImageOk (por defecto), que indican el estado de la imagen si hubo un error o no.

La función ImageGetFlag, devuelve el flag de la imagen.

El procedimiento ImageCopy copia la imagen de source a destination.

El procedimiento ImageClear pone en cero todos los valores de la banda.

El procedimiento ImageSetPixel setea el pixel (de la imagen img, de la banda especificada) ubicado en la dirección “y * anchodelaimagen + x”, con el valor val.

El procedimiento ImageSetPixelAux setea el pixel ubicado en address, con el valor val.

La función ImageGetPixel devuelve el valor del pixel ubicado en “y * anchodelaimagen + x”.

La función ImageGetPixelAux devuelve el valor del pixel ubicado en address.

La función ImageGetBuffer devuelve la banda especificada.

A.1 TDN

La función ImageGetWidth devuelve el ancho de la imagen.

La función ImageGetHeight devuelve la altura de la imagen.

La función ImageGetSize devuelve el tamaño de la imagen ancho * alto.

La función ImageGetPitch devuelve pitch, el campo asociado a “y * pitch + x”.

La función ImageGetLatitud devuelve la latitud asociada a la imagen, es decir la latitud del pixel 1.

La función ImageGetLongitud devuelve la longitud asociada a la imagen, es decir la latitud del pixel 1.

La función ImageGetTamPixel devuelve el tamaño del pixel, asociado a la imagen especificada.

La función ImageGetRef indica si la imagen esta georeferenciada.

El procedimiento ImageSetLatitud setea la latitud asociada a la imagen.

El procedimiento ImageSetLongitud setea la longitud asociada a la imagen.

El procedimiento ImageSetTamPixel setea el tamaño del pixel asociado a la imagen especificada.

El procedimiento ImageSetRef setea la variable con ref, incando si es cero, la imagen no va a estar georeferenciada, caso contrario si.

end Image

A continuación mostraremos el módulo file, que tiene las funciones esenciales y el tipo para tratar con los archivos:

module File

uses

exports

type File * = ?;

procedure AperturaAcrchivo(nom: in char *; modo: in char *);

procedure CierreArchivo(fd: in File *);

end File

module CargaArchivoImagen

uses File; Image

exports

type

function TamImagen(fd:in File *): out EstTam*;

procedure crearbanda(nomArchivo: in char *; img: in out Image_t; imgCopy: in Image_t; ban: in int);

procedure ParserUtm(fd: in File *; img: in const Image_t);

implements

El procedimiento crearbanda, crea la banda correspondiente con el número de entrada, de las imágenes input con el contenido del archivo.

El procedimiento ParserUtm, setea con el header de la banda la latitud y longitud de la imagen, y pone a ref en 1 indicando que la imagen esta georeferenciada.

end CargaArchivoImagen

module Histograma

uses Image

exports

type Histograma_t = ?

procedure HistogramCreate (histograma: out Histograma_t);

procedure HistogramDestroy (histograma: in Histograma_t);

procedure ReseteaHistograma (histograma: in Histograma_t; e: out Error_t);

procedure HistogramaComputar (histograma: in Histograma_t;
imagen: in const Image_t; banda: in int; e: out Error_t);

procedure HistogramaGetMean (histograma: in const Histograma_t; val: out unsigned char);

procedure HistogramaGetVariance (histograma: in const Histograma_t; val: out unsigned int);

implements

El procedimiento HistogramCreate crea un nuevo histograma, solicitando recursos para su estructura y variables.

El procedimiento HistogramDestroy destruye el histograma, liberando los recursos solicitados cuando el mismo se creó.

El procedimiento ReseteaHistograma setea todas las variables con su valor inicial.

En el procedimiento HistogramaComputar, para la banda ingresada, computa el histograma; es decir para una imagen de 8 bits (256 valores, 2^8), guarda la cantidad de valores de pixel correspondiente a toda la imagen, es decir en la posición 30 guardará la cantidad de valores 30 que hay en la imagen.

A.1 TDN

En el procedimiento HistogramaGetMean calcula la media del histograma y la guarda.

El procedimiento HistogramaGetVariance calcula la variencia del histograma y la guarda.

end Histograma

module FormCargaImagen

uses Image; Histograma; FormDescripcionMascara; CargaArchivoImagen

exports

type

procedure ContrasteImagen (img: in Image_t; imgCopy: in Image_t; hist: in Histograma_t; banda: in int; msn: in AnsiString; Nmin: in double; Nmax:in double);

procedure Abrir1Click();

procedure Abrir2Click();

procedure Abrir3Click();

procedure Abrir4Click();

procedure Abrir5Click();

procedure Abrir6Click();

procedure Abrir7Click();

procedure Cerrar1Click();

procedure Cerrar2Click();

procedure Cerrar3Click();

procedure Cerrar4Click();

procedure Cerrar5Click();

procedure Cerrar6Click();

procedure Cerrar7Click();

procedure GenerarImagenRGB (imagen: in Image_t; banda1: in int; banda2: in int; banda3: in int; descripcion: in AnsiString);

procedure SpeedButton2Click();

procedure SpeedButton3Click();

procedure SpeedButton4Click();

procedure SpeedButton5Click();

procedure SpeedButton6Click();

procedure SpeedButton7Click();

procedure SpeedButton8Click();

procedure SpeedButton1Click();

function GenerarIndices (imagen: in Image_t; bandaa: in int; bandab: in int):out double*;

function MostrarIndices (imagen: in Image_t; indice: in double*; descripcion: in AnsiString);

procedure SpeedButton9Click ();

procedure SpeedButton10Click ();

procedure SpeedButton11Click ();

procedure Banda11Click ();

procedure Mascara11Click ();

procedure Cancelar1Click ();

procedure cargarImagenSistema(img: in Image_t; banda1: in int; banda2: in; banda3: in int);

procedure ttc();

implements

El procedimiento **ContrasteImagen** realiza el contraste de la imagen.

El procedimiento **Abrir1Click** abre y muestra la banda1, idem con las demás.

El procedimiento **Cerrar1Click** pone en 0 todos los valores de la banda 1 de la imagen y de la copia de la imagen.

El procedimiento **GenerarImagenRGB** muestra la imagen, seteando el rojo con la banda 3, el verde con la banda 2 y el azul con la banda 1.

El procedimiento **SpeedButton2Click** muestra la banda 1, idem con las demás.

El procedimiento **SpeedButton1Click** muestra la imagen en color real, es decir setea el rojo con la banda1, el verde con la 2 y el azul con la banda 3.

A.1 TDN

La función GenerarIndices realiza un cálculo matemático con las bandas de input $\frac{\text{bandaa}-\text{bandab}}{\text{bandaa}+\text{bandab}}$.

La función MostrarIndices muestra el índice de entrada.

El procedimiento SpeedButton9Click calcula el índice de vegetación y lo muestra.

El procedimiento SpeedButton10Click calcula el índice de agua y lo muestra.

El procedimiento SpeedButton11Click calcula el índice de suelo y lo muestra.

El procedimiento Banda11Click muestra la imagen en color real, llamando a GenerarImagenRGB.

El procedimiento Mascara11Click crea un formulario con la descripción de la máscara, inicializado con la máscara en falso color.(Rojo: banda4, Verde: banda3, Azul: banda2).

El procedimiento Cancelar1Click cancela la carga de la imagen llamando a ImageSetSize(0,0), o sea el ancho y el alto lo setea a 0. Idem para la copia de la imagen.

El procedimiento cargarImagenSistema carga la imagen en el sistema.

El procedimiento ttc calcula el brightness, greenness, wetness (brillo, verdor, humedad, ver [HWY⁺]).

end FormCargaImagen

A continuación mostraremos el módulo descripción máscara, que es un formulario que muestra la descripción de las máscaras que se pueden cargar y ver en el sistema.

```
module FormDescripcionMascara
uses
exports
type

procedure FormCreate();

procedure SpeedButton1Click();

procedure SpeedButton2Click();

procedure SpeedButton3Click();

procedure SpeedButton4Click();

procedure SpeedButton5Click();

procedure SpeedButton6Click();

procedure SpeedButton7Click();

procedure SpeedButton8Click();
```

procedure SpeedButton9Click();

procedure SpeedButton10Click();

implements

El procedimiento FormCreate crea el formulario, mostrando la descripción de la máscara 1.

El procedimiento SpeedButton1Click cierra el formulario.

El procedimiento SpeedButton2Click muestra la descripción de la máscara 1, idem con los demás procedimientos.

end FormDescripcionMascara

module FormCargaCapaVegetacion

uses CargaArchivoImagen; Image

exports

type

procedure matching (img: in out Image_t img; banda: in int; alto: in int; ancho: in int);

procedure Cancelar1Click ();

procedure CheckBox1Click ();

procedure Image1MouseMove (X: in int; Y: in int);

procedure Salir1Click ();

procedure Abrir1Click ();

implements

El procedimiento matching realiza el matching de la capa de vegetación de Marcelo Zack y Marcelo Cabido a los 13 modelos de combustibles forestal utilizados en EE.UU para el estudio del comportamiento de los incendios.

El procedimiento Cancelar1Click destruye el formulario, la capa de vegetación y la copia de la capa de vegetación llamando a ImageDestroy.

El procedimiento CheckBox1Click chequea si se solicitaron las referencias de la capa de vegetación.

El procedimiento Image1MouseMove muestra el modelo (de Zack y Cabido) asociado al pixel X,Y, en el panel del formulario principal, si las referencias fueron solicitadas.

El procedimiento Salir1Click carga la capa de vegetación en el sistema (setea la variable que indica que la capa de vegetación fue cargada).

A.1 TDN

El procedimiento `Abrir1Click` abre la capa de vegetación; realiza el matching y el resultado lo guarda en una variable. Y finalmente muestra la capa de vegetación.

end `FormCargaCapaVegetacion`

```
module FormCargaCapaDem
uses CargaArchivoImagen; Image
exports
type
```

```
procedure AbrirSlope1Click ();
```

```
procedure Salir1Click ();
```

```
function SpeedButton1Click ();
```

```
function SpeedButton2Click ();
```

```
procedure Aceptar1Click ();
```

```
procedure Saleir1Click ();
```

```
procedure FormDestroy ();
```

```
implements
```

El procedimiento `AbrirSlope1Click` crea la banda correspondiente al slope (llamando a `crearbandaentero`) y lo muestra.

El procedimiento `Salir1Click` crea la banda correspondiente al aspect (llamando a `crearbandaentero`) y lo muestra.

La función `SpeedButton1Click` muestra el aspect.

La función `SpeedButton2Click` muestra el slope.

El procedimiento `Aceptar1Click` verifica si el slope y el aspect fueron cargados correctamente, e inicializa las variables correspondientes indicando que fueron cargados en el sistema.

El procedimiento `Saleir1Click` modifica las variables correspondientes, indicando que el aspect y el slope no fueron cargados correctamente.

El procedimiento `FormDestroy` destruye el formulario y modifica las variables correspondientes, indicando que el aspect y el slope no fueron cargados correctamente.

```
end FormCargaCapaDem
```

```
module FormularioTiempo
uses
```

exports

type

procedure ComboBox1Change ();

procedure ComboBox2Change ();

procedure ComboBox3Change ();

procedure SpeedButton1Click ();

procedure SpeedButton2Click ();

implements

El procedimiento ComboBox1Change calcula y muestra el tiempo de finalización de la simulación, teniendo en cuenta el tiempo de inicio (fecha actual) y la cantidad de días ingresadas por el usuario.

El procedimiento ComboBox2Change calcula y muestra el tiempo de finalización de la simulación, teniendo en cuenta el tiempo de inicio (fecha actual) y la cantidad de horas ingresadas por el usuario.

El procedimiento ComboBox3Change calcula y muestra el tiempo de finalización de la simulación, teniendo en cuenta el tiempo de inicio (fecha actual) y la cantidad de minutos ingresados por el usuario.

El procedimiento SpeedButton1Click carga el tiempo que durará la simulación al sistema, mostrando la fecha de inicio de simulación y la de fin en el panel derecho del formulario general.

El procedimiento SpeedButton2Click cancela la carga del tiempo en el sistema, inicializando este a cero y cerrando el formulario.

end FormularioTiempo

module SimuladorInc

uses FormCargaImagen; FormCargaCapaDem; FormCargaCapaVegetacion;
FormularioReferenciaProgreso; FormReferenciasAlturaLlama; FormularioTiempo;
CoordenadasdelPixelX,Y; FormAjusteGrilla; FormListaPuntosdeIgnición;
FormularioReferenciaProgreso; FormReferenciasAlturaLlama; FormEstadísticas;
FormReferencias; FormVientoE; FormVientoSG; FormVientoSR; FormCortaFuego;
FormContraFuego; Hidrante

exports

type

procedure AbrirImagen1Click ();

procedure Abrirdem1Click ();

procedure AbrirCapaVegetacin1Click ();

procedure SpeedButton4Click ();

procedure SpeedButton11Click ();

procedure SpeedButton12Click ();
procedure SpeedButton5Click ();
procedure SpeedButton13Click ();
procedure SpeedButton6Click ();
procedure SpeedButton7Click ();
procedure SpeedButton8Click ();
procedure SpeedButton16Click ();
procedure Image1Click ();
procedure BorrarAtaque1Click ();
procedure SpeedButton22Click ();
procedure SpeedButton1Click ();
procedure IniciarSimulacion1Click ();
procedure Simulacion ();
procedure SpeedButton24Click ();
procedure ReiniciarSimulacn1Click ();
procedure NuevaSimulacin1Click ();
procedure SpeedButton23Click ();
procedure jpg1Click ();
procedure PermetrodelIncendio1Click ();
procedure TodoslosPuntos1Click ();
procedure shp1Click ();
procedure DibujarProgresoTrasluz1Click ();
procedure ProgresoIncendio1Click ();
procedure DibujarIntensidadllama1Click ();
procedure Estadisticas2Click ();

procedure Referencia2Click ();

procedure AyudaPANO1Click ();

procedure ManualMultimedia1Click ();

procedure PuntosdeIgnicin1Click ();

procedure Coperacin1Click ();

procedure Acercade1Click ();

procedure Grilla1Click ();

procedure Ajustargrilla1Click ();

procedure Image33Click ();

procedure Image32Click ();

procedure Image25Click ();

procedure Image36Click ();

procedure Image35Click ();

procedure Image34Click ();

procedure Image31Click ();

procedure Image26Click ();

procedure Image27Click ();

procedure Image28Click ();

procedure Image29Click ();

implements

El procedimiento `AbrirImagen1Click` crea un formulario `FormCargaImagen`, que es el formulario para la carga de imagen de la escena donde se va a simular, en nuestro caso utilizaremos imágenes del Landsat 5; 7 bandas con sus respectivos headers. Nosotros realizamos los mosaicos de 820 pixeles por 670 pixeles del norte de Córdoba, con la vegetación y el dem asociados. Lo realizamos con respecto a esta zona, dado que era la zona que teníamos de la capa de vegetación.

El procedimiento `Abrirdem1Click` crea un formulario `FormCargaCapaDem`, que es el formulario para la carga del modelo digital de elevación de la escena donde se va a

A.1 TDN

simular, éste se encuentra en el mismo directorio donde está la imagen previamente cargada.

El procedimiento `AbrirCapaVegetacion1Click` crea un formulario `FormCargaCapaVegetacion`, que es el encargado de realizar la carga de la capa de vegetación de Zack y Cabido, asociada a la escena donde se va a simular.

El procedimiento `SpeedButton4Click` habilita el panel del viento, mostrando los siguientes métodos de selección:

Selección Rápida, Selección Grados, Editar Viento, Cancelar.

El procedimiento `SpeedButton11Click` llama al formulario de viento de selección rápida.

El procedimiento `SpeedButton12Click` llama al formulario de viento de selección de grados.

El procedimiento `SpeedButton5Click` llama al formulario de editar viento.

El procedimiento `SpeedButton13Click` deshabilita el panel del viento.

El procedimiento `SpeedButton6Click` habilita el panel de puntos de ignición, mostrando los siguientes métodos de selección: Coordenadas X/Y, Coordenadas Lat/Lon, Acción del Mouse, Ver Lista de Puntos, Cancelar.

El procedimiento `SpeedButton7Click` llama al formulario puntos de ignición x, y.

El procedimiento `SpeedButton8Click` llama al formulario puntos de ignición latitud, longitud.

El procedimiento `SpeedButton16Click` cambia el cursor, para seleccionar un punto con el mouse.

El procedimiento `Image1Click` agrega puntos de ignición si el mouse esta seteado para agregar puntos de ignición; el punto de ignición es elegido por el usuario y agregado a la lista de puntos de ignición, por último llama al formulario `PuntosdeIgnicionAcciondelMouse`.

El procedimiento `BorrarAtaque1Click` borra la totalidad del ataque que se haya establecido con las herramientas de ataque (cortafuego, contrafuego y avión hidrante). Si el usuario se equivoca en la colocación de alguna de las acciones de ataque no se podrá borrar únicamente esa, sino también todas las anteriores.

`SpeedButton22Click` idem a `BorrarAtaque1Click`.

El procedimiento `SpeedButton1Click` verifica que se haya cargado el dem, la capa de vegetación y la imagen, también verifica que todas tengan el mismo tamaño, si esto sucede llama a `Simulacion`. Si faltara alguna de las capas mencionados, este botón no tendría efecto alguno en el sistema.

El procedimiento `IniciarSimulacion1Click` inicia la simulación, llama a `Simulacion`.

El procedimiento `Simulacion` es el simulador de crecimiento de fuego, a continuación será explicado.

Con el procedimiento SpeedButton24Click, luego de terminada una simulación, el usuario podrá optar por la opción de reiniciar dicho proceso de manera automática sin tener que volver a cargar los datos necesarios para tal fin, o con la posibilidad de cambiar algunos (si se cambia la imagen y se dejan el dem y la vegetación sin cambiar el simulador no corrobora que el dem y la capa de vegetación sean de la imagen donde se va a simular, esto también podría ser una mejora a futuro).

ReiniciarSimulacn1Click idem a SpeedButton24Click.

Una vez terminada la simulación el procedimiento NuevaSimulacin1Click lleva al sistema al estado inicial (inicializando las variables, liberando la memoria pedida, limpiando los formularios , etc) para introducir nuevos datos y así generar otra nueva simulación con todos los datos actualizados.

SpeedButton24Click idem a ReiniciarSimulacn1Click.

Una vez finalizada la simulación el simulador le permite al usuario guardar su simulación en varios formatos, para poder hacer un postprocesamiento o una evaluación de las distintas características de la simulación realizada. jpg1Click guardar la vista del mapa actual en un archivo cuya extensión es pano (por ej prueba.pano), el cual es posible abrir con cualquier visualizador o editor de imágenes para su posterior manipulación.

El procedimiento PermetrodelIncendio1Click genera un archivo con formato kml, con los puntos georeferenciados del perímetro del incendio simulado por el sistema. Este archivo posteriormente puede ser levantado con Google Earth. El mismo es creado con funciones del módulo Kml, que posteriormente describiremos.

TodoslosPuntos1Click idem a PermetrodelIncendio1Click, pero con todos los puntos del incendio simulado.

El procedimiento shp1Click genera un archivo con formato shp, con todos los puntos georeferenciados del incendio simulado por el sistema. Posteriormente este archivo puede ser cargado en herramientas relacionadas a la información GIS, así también como en herramientas de procesamiento de imágenes satelitales como es Envi. Este archivo es creado con las funciones del módulo Shp, que posteriormente describiremos.

El procedimiento DibujarProgresoTrasluz1Click dibuja el progreso del incendio en un tono naranjado transparente, donde se puede visualizar la imagen satelital de fondo, este dibujo es el predeterminado durante la simulación.

El procedimiento ProgresoIncendio1Click dibuja el progreso del incendio en escala de colores según el tiempo en que se fue quemando la zona, cada uno de los anillos representa dos horas de simulación, donde esta escala es representada por el modulo FormularioReferenciaProgreso.

El procedimiento DibujarIntensidadllama1Click dibuja la longitud de la llama, representado con una escala de colores (cuya referencia será mostrada por el módulo FormReferenciasAlturaLlama) donde cada color representa 0.3 m (1 pie = 0.3048 m) o un factor de éste, de la longitud de la llama de la zona.

El procedimiento Estadísticas2Click llama al formulario FormEstadísticas que muestra información posterior a la simulación, que puede resultar de interés al usuario para un postprocesamiento.

A.1 TDN

El procedimiento Referencia2Click llama al formulario FormReferencias, que se encarga de la información asociada a los mosaicos disponibles en el simulador para realizar una simulación o varias, más adelante lo describiremos.

El procedimiento AyudaPANO1Click abrirá el manual de SIF_PANO en formato pdf, si la pc tiene instalado algún programa de visualización de pdf.

El procedimiento ManualMultimedia1Click muestra (con windows media player) el manual de SIF_PANO, en formato de video (avi), donde se puede ver y escuchar una descripción del sistema, y donde se pueden seguir los pasos para realizar una simulación a modo de ejemplo.

El procedimiento PuntosdeIgnicin1Click deshabilita/habilita los símbolos que identifican los puntos de ignición, esto sirve principalmente cuando se quiere tener una visión completa de la zona afectada por la simulación.

El procedimiento Coperacin1Click muestra un agradecimiento a las personas e instituciones que colaboraron con este proyecto.

El procedimiento Acercade1Click muestra el nombre de los autores que desarrollaron este proyecto.

El procedimiento Grilla1Click muestra una grilla de coordenadas para localizar e interpretar geográficamente la propagación del incendio. Una vez activada el usuario puede desactivarla en cualquier momento accediendo a la misma opción. Cabe destacar que queda deshabilitada cuando se realizan zooms (zoom in o zoom out). La grilla no se visualizará sino hay una imagen previamente cargada en el sistema. Esta podrá ser configurada por el usuario con el procedimiento Ajustargrilla1Click.

El procedimiento Ajustargrilla1Click llama al formulario FormAjusteGrilla, que es el encargado de darle la opción al usuario de elegir el tamaño de las filas y columnas que componen la grilla, más adelante será explicado.

El procedimiento Image33Click realiza un zoom-in en la imagen previamente cargada en el sistema, este zoom-in se puede hacer antes o después de la simulación.

El procedimiento Image32Click realiza un zoom-out si previamente se realizó un zoom-in, en caso contrario no tiene efecto alguno.

El procedimiento Image25Click restaura la imagen al estado por defecto, es decir al estado sin zoom (ni zoom-in ni zoom-out).

El procedimiento Image36Click mueve la escena al nor-oeste, si previamente se realizó un zoom-in.

El procedimiento Image35Click mueve la escena al norte, si previamente se realizó un zoom-in.

El procedimiento Image34Click mueve la escena al nor-este, si previamente se realizó un zoom-in.

El procedimiento Image31Click mueve la escena al este, si previamente se realizó un zoom-in.

A.1 TDN

El procedimiento Image26Click idem a Image31Click, pero al sur-este.

El procedimiento Image27Click idem a Image31Click, pero al sur.

El procedimiento Image28Click idem a Image31Click, pero al sur-oeste.

El procedimiento Image29Click idem a Image31Click, pero al oeste.

is composed of Kml; Shp; Particle; Model; Catalogo

end SimuladorInc

module FormVientoSR

uses SimuladorInc

exports

type

procedure SpeedButton2Click ();

procedure Image2Click ();

procedure Image5Click ();

procedure Image8Click ();

procedure Image9Click ();

procedure Image10Click ();

procedure Image7Click ();

procedure Image4Click ();

procedure SpeedButton1Click ();

implements

El procedimiento SpeedButton2Click cierra el formulario.

El procedimiento Image2Click actualiza la dirección del vientoa 45° (actualizando en el formulario el punto cardinal y los grados cartesianos).

El procedimiento Image5Click actualiza la dirección del vientoa 90° (actualizando en el formulario el punto cardinal y los grados cartesianos).

El procedimiento Image8Click actualiza la dirección del vientoa 135° (actualizando en el formulario el punto cardinal y los grados cartesianos).

El procedimiento Image9Click actualiza la dirección del vientoa 180° (actualizando en el formulario el punto cardinal y los grados cartesianos).

A.1 TDN

El procedimiento Image10Click actualiza la dirección del viento a 225° (actualizando en el formulario el punto cardinal y los grados cartesianos).

El procedimiento Image7Click actualiza la dirección del viento a 270° (actualizando en el formulario el punto cardinal y los grados cartesianos).

El procedimiento Image4Click actualiza la dirección del viento a 315° (actualizando en el formulario el punto cardinal y los grados cartesianos).

El procedimiento SpeedButton1Click carga la dirección del viento, la velocidad, y la unidad solicitada por el usuario en el sistema. Mostrando lo solicitado en el panel del formulario general, indicando además que la dirección del viento es constante, es decir que no hay cambios de direcciones de viento en toda la simulación. Finalmente cierra el formulario.

end FormVientoSR

A continuación mostraremos el módulo formvientosg, que es un formulario para que el usuario seleccione la dirección, la velocidad y la unidad del viento. Dicha selección se podrá realizar eligiendo los grados, y será constante para toda la simulación.

module FormVientoSG

uses SimuladorInc

exports

type

procedure SpeedButton2Click ();

procedure ComboBox1Change ();

procedure SpeedButton1Click ();

implements

El procedimiento SpeedButton2Click cierra el formulario.

El procedimiento ComboBox1Change actualiza el formulario mostrando el punto cardinal y los grados cartesianos, de acuerdo a los grados seleccionados por el usuario.

El procedimiento SpeedButton1Click muestra la dirección del viento (punto cardinal y en grados) en el formulario principal, la velocidad, unidad e indica que el viento fue seleccionado con una dirección constante.

end FormVientoSG

module FormVientoE

uses SimuladorInc

exports

type

```
procedure CheckBox1Click ();  
procedure CheckBox2Click ();  
procedure CheckBox3Click ();  
procedure CheckBox4Click ();  
procedure CheckBox5Click ();  
procedure ComboBox1Change ();  
procedure ComboBox2Change ();  
procedure ComboBox6Change ();  
procedure ComboBox10Change ();  
procedure ComboBox14Change ();  
procedure SpeedButton1Click ();
```

implements

El procedimiento CheckBox1Click habilita el tiempo de cambio (días, horas, minutos), la unidad de medida, la velocidad y la dirección en grados cartesianos para que puedan ser elegidos por el usuario, todo con respecto al primer cambio.

CheckBox2Click, CheckBox3Click, CheckBox4Click, CheckBox5Click idem a CheckBox1Click, pero con respecto a segundo, tercer, cuarto y quinto cambio respectivamente.

El procedimiento ComboBox1Change setea la dirección del viento con respecto al primer cambio del viento.

ComboBox2Change, ComboBox6Change, ComboBox10Change, ComboBox14Change idem a ComboBox1Change, pero con respecto a segundo, tercer, cuarto y quinto cambio respectivamente.

El procedimiento SpeedButton1Click carga la velocidad, dirección y unidad del viento con respecto al primer, segundo, tercer, cuarto y quinto cambio. Por último cierra el formulario.

end FormVientoE

```
module Estructura_Puntos  
uses SimuladorInc  
exports  
type puntosIgn = ?
```

```
procedure creapunto (x: in int; y: in int; marca: in AnsiString; pi: out puntosIgn);
```

```
function encontrarposlibre (listapuntos: in puntosIgn *: tamarray: in int): out int;  
procedure agregarpunto (listapuntos: in out puntosIgn *: punto: in puntosIgn; pos: in int; tamarray: in int);  
procedure cambiarMarca (listapuntos: in out puntosIgn *: pos: in int; marca: in AnsiString; tamarray: in int);  
procedure eliminarpunto (listapuntos: in out puntosIgn *: pos: in int; tamarray: in int);  
function getpx (listapuntos: in puntosIgn *: pos: in int pos; tamarray: in int): out int;  
function getpy (listapuntos: in puntosIgn *: pos: in int pos; tamarray: in int): out int;  
function getMarca (listapuntos: in puntosIgn *: pos: in int; tamarray: in int): out AnsiString;  
function getCargado (listapuntos: in puntosIgn *: pos: in int; tamarray : in int): out bool;  
function getpunto( listapuntos: in puntosIgn *: pos: in int pos; tamarray: in int): out puntosIgn;
```

implements

El procedimiento creapunto un punto de ignición con los parámetros de entrada.

La función encontrarposlibre, devuelve la posición libre en la lista de puntos de ignición.

El procedimiento agregarpunto agrega el punto a la lista de puntos.

El procedimiento cambiarMarca cambia la marca (nombre del punto de ignición elegido por el usuario) asociada a la posición de entrada, en la lista de puntos de ignición de entrada.

El procedimiento eliminarpunto elimina el punto en la lista de puntos dado por la posición de entrada.

La función getpx devuelve la abscisa del punto de ignición, ubicado en la posición pos de la lista de puntos de ignición de entrada.

getpy idem a getpx, pero devuelve la ordenada del punto.

La función getMarca devuelve la marca asociada a la posición de entrada; en la lista de puntos de ignición de entrada.

La función getCargado indica si en la posición pos de entrada hay un punto válido cargado.

La función getpunto devuelve el punto asociado a la posición de entrada.

end Estructura_Puntos

```
module PuntosdeIgnicionAcciondelMouse  
uses SimuladorInc; Estructura_Puntos  
exports
```

procedure SpeedButton2Click ();

procedure SpeedButton1Click ();

procedure SpeedButton4Click ();

implements

El procedimiento SpeedButton2Click acepta el punto seleccionado por el usuario; a través de un click; carga en el formulario principal del sistema la marca y la imagen que fueron seleccionados por el usuario en este formulario; y deshabilita la opción de poder seguir agregando más puntos de ignición, (es decir a lo sumo con este botón se puede sumar un punto de ignición).

El procedimiento SpeedButton1Click, hace lo mismo que el procedimiento anterior excepto que no deshabilita la opción de seguir sumando puntos de ignición. El usuario podrá agregar a lo sumo 20 puntos de ignición y después deberá aceptar, porque si sigue tratando de agregar más el sistema le notificará al usuario que ya no puede agregar más con el siguiente mensaje de error: "Cantidad Máxima de Puntos de Ignición".

El procedimiento SpeedButton4Click elimina el último punto agregado y deshabilita la "manito" (cuando el mouse está seteado así significa que el usuario puede agregar más puntos de ignición, mediante un click del mouse).

end PuntosdeIgnicionAcciondelMouse

module FormPuntoIgnicionXY

uses SimuladorInc; Estructura_Puntos

exports

procedure SpeedButton2Click ();

procedure SpeedButton1Click ();

procedure SpeedButton3Click ();

implements

El procedimiento SpeedButton2Click agrega el punto de ignición con la marca (nombre del punto de ignición) y la imagen del punto, ambas seleccionadas por el usuario, teniendo en cuenta la máxima cantidad de puntos en el sistema (20 puntos). Previamente controla que las coordenadas cartesianas sean válidas, y que se haya cargado la imagen en el sistema, finalmente cierra el formulario.

SpeedButton1Click, idem al anterior pero no cierra el formulario, es decir permite agregar 1 o más puntos en el sistema (como máximo 20 puntos).

El procedimiento SpeedButton3Click borra el punto seleccionado de la lista de puntos de ignición mostrada a la derecha del formulario.

end FormPuntoIgnicionXY

La última opción de ingresar un punto de ignición es mediante el módulo o formulario FormPuntoIgnicionLatLong, el mismo será ingresado por medio de las coordenadas geográficas de latitud y longitud. Éste módulo utiliza el modulo CoordenadasdelPixelX,Y que será mas adelante explicado.

module FormPuntoIgnicionLatLon
uses SimuladorInc; Estructura_Puntos, CoordenadasdelPixelX,Y
exports

procedure SpeedButton2Click ();

procedure SpeedButton1Click ();

procedure SpeedButton3Click ();

implements

El procedimiento SpeedButton2Click agrega el punto de ignición mediante 2 posibles ingresos de las coordenadas geográficas, Grados (grados decimales) o GMS (grados, minutos y segundos), teniendo en cuenta la máxima cantidad de puntos en el sistema y que previamente se haya cargado la imagen de la escena donde se va a simular. Finalmente cierra el formulario, asumiendo que el usuario quería agregar 1 solo punto de ignición.

SpeedButton1Click idem al anterior pero no cierra el formulario, es decir permite agregar 1 o más puntos en el sistema (como máximo 20 puntos).

El procedimiento SpeedButton3Click borra el punto seleccionado de la lista de puntos de ignición mostrada a la derecha del formulario.

end FormPuntoIgnicionLatLon

module FormListaPuntosdeIgnicion
uses SimuladorInc
exports

procedure SpeedButton2Click ();

procedure SpeedButton1Click ();

procedure SpeedButton3Click ();

implements

El procedimiento SpeedButton2Click (botón aceptar), cierra el formulario.

El procedimiento SpeedButton1Click (botón cancelar), idem al anterior.

El procedimiento SpeedButton3Click , borra el punto seleccionado de la lista de puntos de ignición cargados en el sistema.

end FormListaPuntosdeIgnicion

module Utm

uses

exports

procedure LatLonToUtm (a: in double; f: in double; utmXZone: out int&; utmYZone: out char&; easting: out double&; northing: out double&; lat: in double; lon: in double) ;

procedure LatLonToUtmWGS84 (utmXZone : out int&; utmYZone: out char&; easting: out double&; northing: out double&; lat: in double; lon: in double) ;

procedure UtmToLatLon (a: in double; f: in double; utmXZone: in int; utmYZone: in char; easting: in double; northing: in double , lat: out double&; lon: out double& lon);

procedure UtmToLatLonWGS84 (utmXZone: in int; utmYZone: in char; easting: in double; northing: in double; lat: out double&; lon: out double&);

implements

El procedimiento LatLonToUtm convierte las especificadas coordenadas latitud y longitud a las coordenadas proyectadas utm.

El procedimiento LatLonToUtmWGS84 convierte las especificadas coordenadas a coordenadas utm en el datum WGS84 (ver [wgs]).

El procedimiento UtmToLatLon convierte las especificadas coordenadas utm a coordenadas angulares (latitud y longitud).

El procedimiento UtmToLatLonWGS84 convierte las especificadas coordenadas utm a coordenadas angulares (latitud y longitud), en el datum wgs84.

end Utm

module CoordenadasdelPixelX,Y

uses

exports

function darlatlonpixelxy (numpixelx: in double; numpixely: in double; tampixel: in double; easting1: in double; northing1 : in double; latres: out double&; lonres: out double&; utmXZone: in int; utmYZone: out char);

function darpixelxy (easting1: in double; northing1: in double; latpixelx: in double; lonpixely: in double; tampixel: in double; numpixelx: out int&; numpixely: out int&; utmXZone: in int; utmYZone: in char);

implements

La función `darlatlonpixelxy` devuelve las coordenadas angulares latitud y longitud en latres y lonres respectivamente del pixel `x,y`. Tomando como parámetro las coordenadas cartesianas del pixel `x,y`, el tamaño de éste (en nuestro caso como estamos usando imágenes del Landsat 5, el tamaño del pixel es 30 m ,ver [Lan]), las coordenadas proyectadas utm del pixel (1,1), el número de la zona horizontal y la letra de la zona vertical de las coordenadas utm.

La función `darpixelxy` devuelve las coordenadas cartesianas del pixel cuya latitud y longitud son `latpixelx` y `lonpixely`, con los parámetros de entrada `easting1` y `northing1` las coordenadas proyectadas utm del pixel 1,1 y `utmXZone`, `utmYZone` el número de la zona horizontal y la letra de la zona vertical respectivamente, asociadas al pixel 1,1.

is composed of utm

end CoordenadasdelPixelX,Y

module FormCortaFuego

uses SimuladorInc

exports

procedure SpeedButton2Click ();

procedure Image1Click ();

procedure Image2Click ();

procedure Image3Click ();

procedure Image4Click ();

procedure Image5Click ();

procedure Image6Click ();

procedure Image7Click ();

procedure Image8Click ();

procedure SpeedButton1Click ();

implements

El procedimiento `SpeedButton2Click` cancela el procedimiento de cortafuego, y cierra el formulario.

El procedimiento `Image1Click` setea el cortafuego en la dirección 315°, donde 0 es el norte en sentido horario.

A.1 TDN

Idem con los procedimientos Image2Click, Image3Click, Image4Click, Image5Click, Image6Click, Image7Click, Image8Click, Image9Click, pero en las direcciones 270°, 135°, 45°, 90°, 180°, 0°, 225° respectivamente.

El procedimiento SpeedButton1Click cierra el formulario.

end FormCortaFuego

module FormContraFuego
uses SimuladorInc
exports

procedure SpeedButton2Click ();

procedure Image1Click ();

procedure Image2Click ();

procedure Image3Click ();

procedure Image4Click ();

procedure Image5Click ();

procedure Image6Click ();

procedure Image7Click ();

procedure Image8Click ();

procedure SpeedButton1Click ();

implements

El procedimiento SpeedButton2Click cancela el procedimiento de contrafuego, y cierra el formulario.

El procedimiento Image1Click setea el cortafuego en la dirección 315°,

teniendo en cuenta que el 0 es el norte en sentido horario.

Idem con los procedimientos Image2Click, Image3Click, Image4Click, Image5Click, Image6Click, Image7Click, Image8Click, Image9Click, pero en las direcciones 270°, 135°, 45°, 90°, 180°, 0°, 225° respectivamente.

El procedimiento SpeedButton1Click cierra el formulario.

end FormContraFuego

A.1 TDN

```
module FormHidrante  
uses SimuladorInc  
exports
```

```
procedure SpeedButton2Click ();
```

```
procedure Image1Click ();
```

```
procedure Image2Click ();
```

```
procedure Image3Click ();
```

```
procedure Image4Click ();
```

```
procedure Image5Click ();
```

```
procedure Image6Click ();
```

```
procedure Image7Click ();
```

```
procedure Image8Click ();
```

```
procedure SpeedButton1Click ();
```

```
implements
```

El procedimiento SpeedButton2Click cancela el procedimiento hidrante, y cierra el formulario.

El procedimiento Image1Click setea el cortafuego en la dirección 315°, teniendo en cuenta que el 0 es el norte en sentido horario.

Idem con los procedimientos Image2Click, Image3Click, Image4Click, Image5Click, Image6Click, Image7Click, Image8Click, Image9Click, pero en las direcciones 270°, 135°, 45°, 90°, 180°, 0°, 225° respectivamente.

El procedimiento SpeedButton1Click cierra el formulario.

```
end FormHidrante
```

```
module Kml  
uses  
exports
```

```
procedure crearkmlintro (myfile: in char *; pFile1: out FILE*);
```

```
procedure sumarcoord (pFile1: in out FILE *;name: in char*; lat: in char*; lon: in char*);
```

procedure crearkmlfin(pFile1: in out FILE *);

procedure crearinformeintro(namefile555: in char *, fechagen555: in char *, nameimg555 : in char*; namedem555 : in char*; nameveg555: in char*; dirviento555: in char*; velviento555: in char*; unidviento555: in char*; dirviento1555 : in char*; velviento1555 : in char*; unidviento1555: in char*; dirviento2555 : in char*; velviento2555: in char*; unidviento2555: in char*; dirviento3555 : in char*; velviento3555: in char*; unidviento3555: in char*; dirviento4555 : in char*; velviento4555: in char*; unidviento4555: in char*; dirviento5555 : in char*; velviento5555: in char*; unidviento5555: in char*,pFile1: out FILE*);

procedure sumarcoordinforme (pFile1: in out FILE *; name:in char*; lat:in char*; lon: in char*);

procedure crearfininforme (pFile1: in FILE *; tiemsimudd: in char*; tiemsimuhh : in char*; tiemsimumm: in char*; fechainiciosimudd: in char*; fechainiciosimuhh: in char*; fechainiciosimumm: in char*; fechafinsimudd: in char*; fechafinsimuhh: in char*; fechafinsimumm: in char*);

implements

El procedimiento crearkmlintro devuelve un puntero a un archivo, tomando como parámetro el nombre del archivo, con el contenido inicializado con el encabezado de los archivos kml.

Dado el puntero del archivo, el nombre de la coordenada (esto es útil cuando la coordenada tiene un string o nombre asociado, recordemos el punto de ignición tiene una marca asociada) entonces el procedimiento **sumarcoord** va a guardar en el archivo, la coordenada angular, mas el string "Punto de Ignicion - nombre" si la coordenada es un punto de ignición. Sino guarda el punto georeferenciado en el archivo.

El procedimiento crearkmlfin cierra el archivo anexándole contenido de cierre del formato kml.

El procedimiento crearinformeintro crea un archivo txt, con el nombre del archivo namefile555 mas "_kml.txt" (por ejemplo si namefile555 fuera prueba entonces el resultado sería prueba_kml.txt), y con el contenido inicializado con información relacionada a la simulación.
nameimg555: nombre del archivo de la imagen (path del archivo de la imagen más el nombre de la banda1)
namedem555: nombre del archivo del dem (path del archivo del dem más el nombre del archivo del slope)
nameveg555: nombre del archivo de la capa de vegetación (path del archivo de la capa de vegetación más el nombre del archivo)
dirviento555: dirección del viento inicial
velviento555: velocidad del viento inicial
unidviento555: unidad del viento inicial
dirviento1555: dirección del viento (del primer cambio). Idem con dirviento2555, dirviento3555
dirviento4555, dirviento5555 pero con respecto al segundo, tercer, cuarto y quinto cambio.
velviento1555: velocidad del viento (del primer cambio).
unidviento1555: unidad del viento(del primer cambio).

El procedimiento sumarcoordinforme agrega en el informe la coordenada angular del punto de ignición con su respectivo nombre.

A.1 TDN

El procedimiento `crearinforme` cierra el informe agregándole: el tiempo de duración de la simulación, fecha de inicio, fecha de fin de la simulación y las coordenadas angulares (latitud y longitud) del punto de ignición mas la marca asociada
`tiemsimudd`: cantidad de días de duración de la simulación
`tiemsimuhh`: cantidad de horas de duración de la simulación
`tiemsimumm`: cantidad de minutos de duración de la simulación
`fechainiciosimudd`: día de inicio de la simulación
`fechainiciosimuhh`: hora de inicio de la simulación
`fechainiciosimumm`: minutos de inicio de la simulación
`fechafinsimudd`, `fechafinsimuhh`, `fechafinsimumm` idem a la anteriores pero con respecto al final de la simulación.

end Kml

module Shp

uses

exports

procedure SHPCreate(pszShapeFile : in const char *; nShapeType: in int; hSHP: out SHPHandle);

procedure SHPCreateSimpleObject (nSHPTYPE: in int; nVertices: in int; padfX: in double *; padfY: in double *; padfZ: in double *; psObject: out SHPObject *);

procedure SHPWriteObject(hSHP: in SHPHandle; iShape: in out int; psObject:in SHPObject *);

procedure SHPDestroyObject(psObject: in SHPObject *);

procedure SHPClose(hSHP: in SHPHandle);

implements

El procedimiento `SHPCreate` crea un nuevo archivo `.shp` y `.shx` del tipo deseado. `pszShapeFile` el nombre de la capa, `nShapeType` el tipo de las formas que seran almacenadas en el archivo recién creado(`point`,`arc`, `polygon`, `multipolygon`, `multipoint`).

El procedimiento `SHPCreateSimpleObject` crea un objeto de tipo `nSHPTYPE` (`point`,`arc`, `polygon`, `multipolygon`, `multipoint`), con `nVertices` (el número de vertices que se están pasando en `padfX`, `padfY` y en `padfZ`), `padfX`: el arreglo de las coordenadas X de los vertices para este objeto, `padfY`: el arreglo de las coordenadas Y de los vertices para este objeto y `padfZ`: el arreglo de las coordenadas Z de los vertices para este objeto (este será null en el caso que todos esten inicializados a cero). Generalmente se crea el objeto con esta función para posteriormente pasarlo al procedimiento `SHPWriteObject`, quien se encargará de escribirlo en el archivo.

El procedimiento `SHPClose` cierra los archivos `.shp` y `.shx` .

El procedimiento `SHPWriteObject` escribe la estructura del objeto en el archivo `shape`.
`hSHP`: el valor devuelto previamente por `SHPOpen` o `SHPCreate`,
`iShape`: el número de identidad de la forma a escribir (-1 debería ser usado para nuevas formas),

psObject: la forma a escribir en el archivo (previamente construido con SHPCreateObject o SHPCreateSimpleObject).

El procedimiento SHPDestroyObject debería ser usado para liberar los recursos asociados con el objeto.

end Shp

module FormularioReferenciaProgreso

uses

exports

procedure FormCreate ();

implements

El procedimiento FormCreate inicializa la escala en este formulario, cuando se crea el mismo

end FormularioReferenciaProgreso

module FormReferenciasAlturaLlama

uses

exports

procedure FormCreate ();

implements

El procedimiento FormCreate inicializa la escala de colores en este formulario, cuando se crea el mismo, mostrando así la referencia de la longitud de la llama de la imagen del formulario principal.

end FormReferenciasAlturaLlama

module FormEstadísticas

uses SimuladorInc

exports

procedure SpeedButton1Click ();

procedure SpeedButton3Click ();

procedure SpeedButton2Click ();

procedure SpeedButton4Click ();

implements

El procedimiento SpeedButton1Click calcula y muestra en modo texto:

Número total de hectáreas quemadas
Promedio de hectáreas quemadas por hora
Número total de pixeles quemados
Promedio de pixeles quemados por horas
También muestra gráficamente las hectáreas quemadas por hora de simulación, dándole 2 opciones al usuario gráfico de barras o gráficos de línea (en el gráfico de barras se muestra el porcentaje de hectáreas quemadas, y en el gráfico de línea se muestra la cantidad de hectáreas quemadas).
También se la da la posibilidad al usuario de darle una animación al gráfico con un tiempo de refresco entre 1 a 5 segundos, el usuario también podrá cambiar el color de la barras en el gráfico de barras.

El procedimiento SpeedButton3Click calcula y muestra la longitud de la llama promedio de toda la simulación. También muestra gráficamente la longitud promedio de la llama del incendio por hora de simulación. Existen dos posibles gráficos que podrá el usuario optar, gráfico de barras o de línea (ambas mostrando el promedio de la longitud de la llama).

El procedimiento SpeedButton2Click calcula y muestra por cada tipo de combustible la cantidad de hectáreas quemadas (textualmente y gráficamente).

El procedimiento SpeedButton4Click calcula y muestra:
hectáreas hectáreas acumuladas con respecto a las horas de simulación
intensidad muestra lo mismo SpeedButton1Click, pero sólo la información textual.
vegetación por cada tipo de combustible muestra la cantidad de hectáreas quemadas.

end FormEstadísticas

module FormReferencias

uses SimuladorInc

exports

procedure SpeedButton1Click ();

procedure Label12Click ();

procedure Label13Click ();

.....

procedure Label67Click ();

implements

El procedimiento SpeedButton1Click realiza la búsqueda del mosaico donde se encuentra la coordenada deseada por el usuario, mostrando el número asociado al mosaico solicitado y también indicando la ubicación de los archivos (imagen, dem, vegetación).

El procedimiento Label12Click muestra el número del mosaico 1 que fue seleccionado, la ubicación de los archivos asociados (imagen, dem, capa de vegetación) y el rango abarcado por las coordenadas angulares del mismo (latitud y longitud), es decir de donde comienza el mosaico y hasta donde termina.

Label13Click Label67Click idem a Label12Click, pero con respecto a los mosaicos 2 hasta el 56.

end FormReferencias

module FormAjusteGrilla

uses SimuladorInc

exports

procedure SpeedButton2Click ();

procedure SpeedButton4Click ();

procedure FormCreate ();

procedure SpeedButton1Click ();

implements

El procedimiento SpeedButton2Click guarda los coeficientes de ajuste de celdas de latitud y longitud (es decir el tamaño de las filas y las columnas), por último cierra el formulario.

El procedimiento SpeedButton4Click cierra el formulario (botón de cancelar).

El procedimiento FormCreate crea el formulario definiendo los coeficientes de ajuste de celdas de latitud y longitud con los valores por defecto (0.05 grados) definidos en el módulo SimuladorInc, si es que no fueron establecidos por el usuario mediante el procedimiento SpeedButton2Click.

El procedimiento SpeedButton1Click establece los coeficientes de ajuste de celdas de latitud y longitud con los valores por defecto (0.05 grados).

end FormAjusteGrilla

APÉNDICE B

Manual del Sistema

En este apéndice incluiremos el manual del sistema, donde se explican sus funciones, entre ellas las herramientas que incluye el simulador.



**SIMULADOR DE INCENDIOS FORESTALES
SIF_PANO V2.0.1**

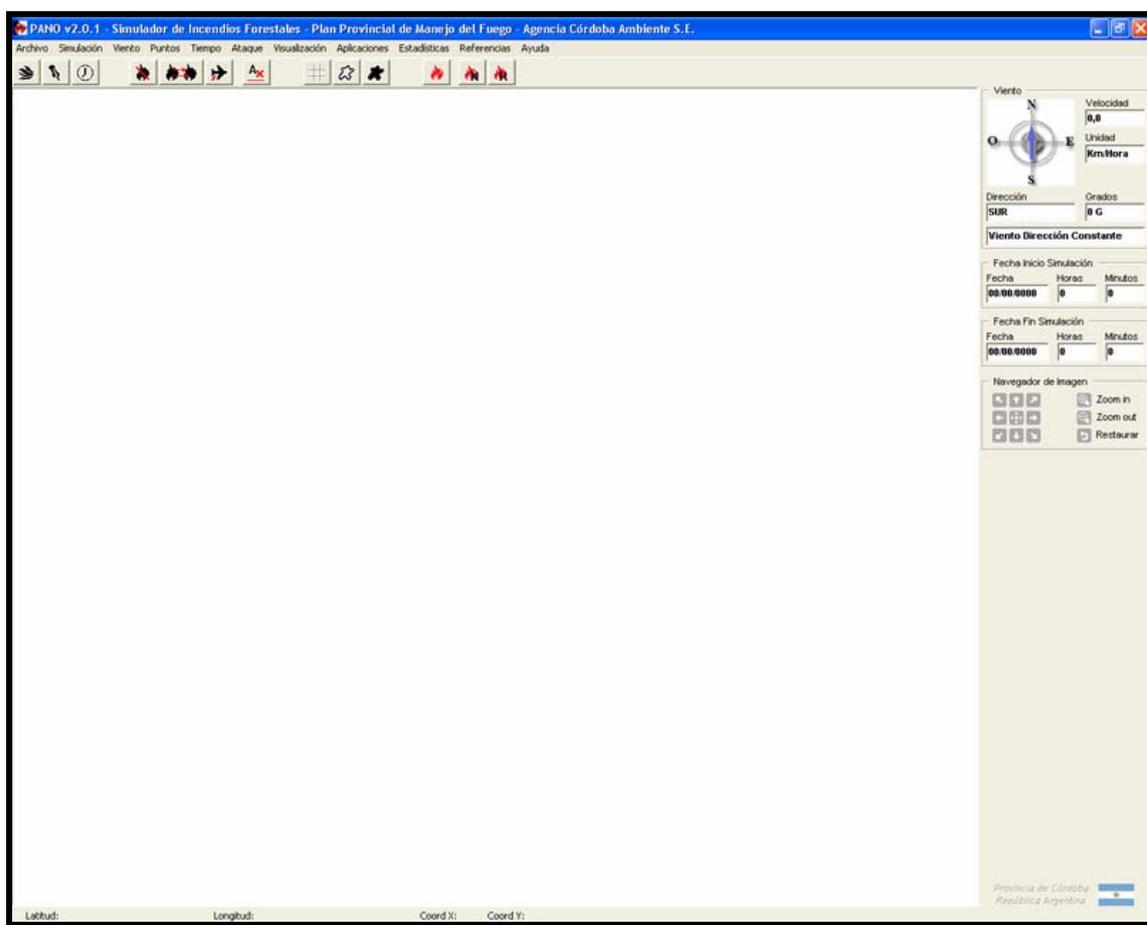
**Agencia Córdoba Ambiente S.E
Plan Provincial de Manejo del Fuego**

**Analista en Comp. Juan Pablo Nicoloff
Analista en Comp. Noelia Chaves**

INTRODUCCIÓN

SIF_Pano es un sistema de simulación de incendios forestales adaptado a las condiciones topográficas y climatológicas de la provincia de Córdoba, teniendo como principal objetivo determinar la dirección y velocidad con la que se podría propagar un incendio forestal en una determinada región de la provincia y de esta manera ser una herramienta mas a la hora de prevenir y de combatir un siniestro de esta naturaleza.

La interfaz del sistema se presenta a la vista del usuario de la siguiente manera:

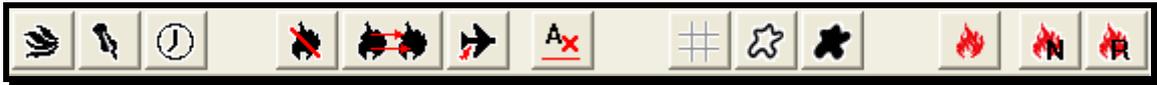


El mismo se divide en cinco sectores fundamentales bien definidos:

El menú principal:

Archivo Simulación Viento Puntos Tiempo Ataque Visualización Aplicaciones Estadísticas Referencias Ayuda

El panel de herramientas:



La barra de navegación:



La barra de información:

Viento



Velocidad
0,0

Unidad
Km/Hora

Dirección
SUR

Grados
0 G

Viento Dirección Constante

Fecha Inicio Simulación

Fecha	Horas	Minutos
00/00/0000	0	0

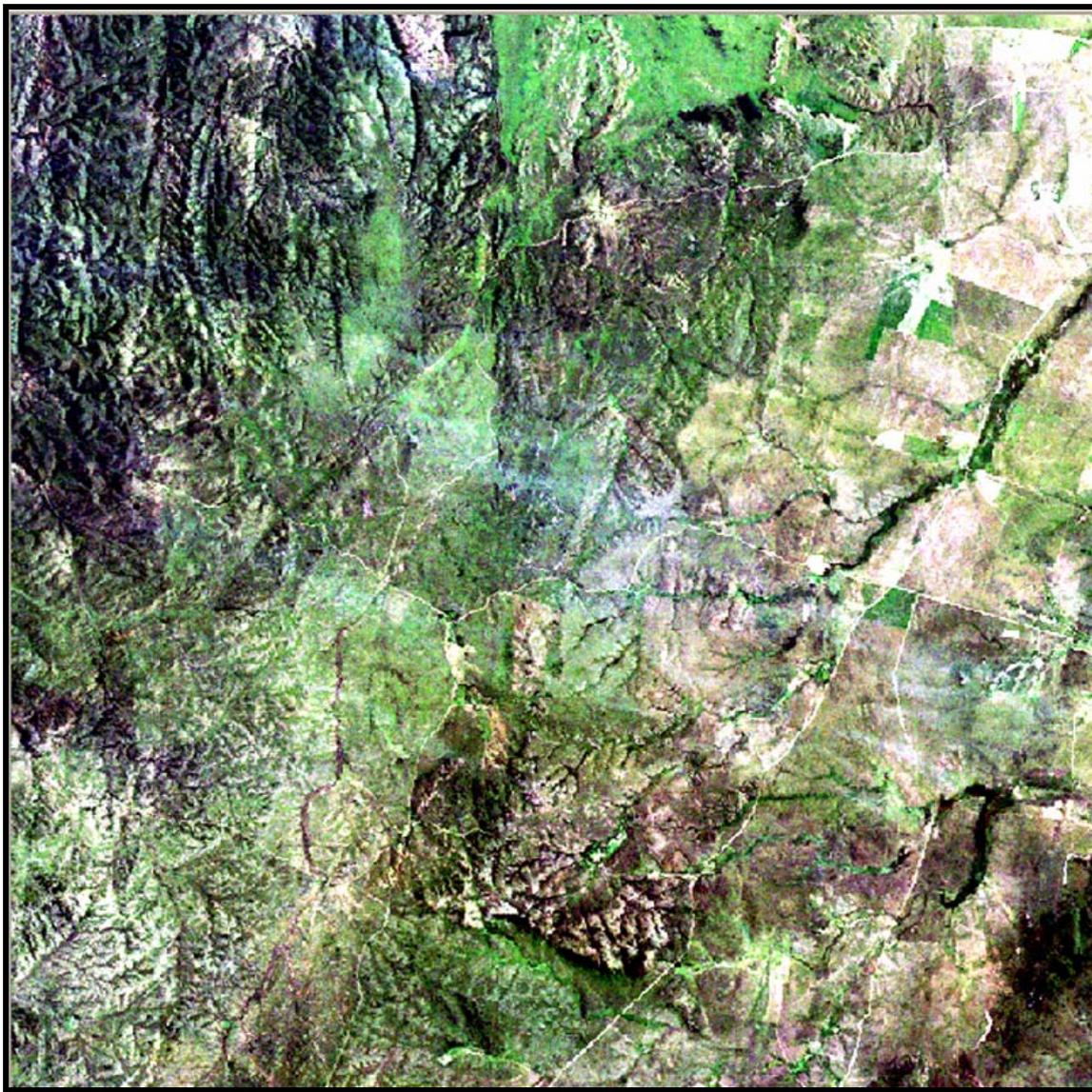
Fecha Fin Simulación

Fecha	Horas	Minutos
00/00/0000	0	0

Navegador de Imagen

		Zoom in
		Zoom out
		Restaurar

El mapa principal:



EL MENU PRINCIPAL

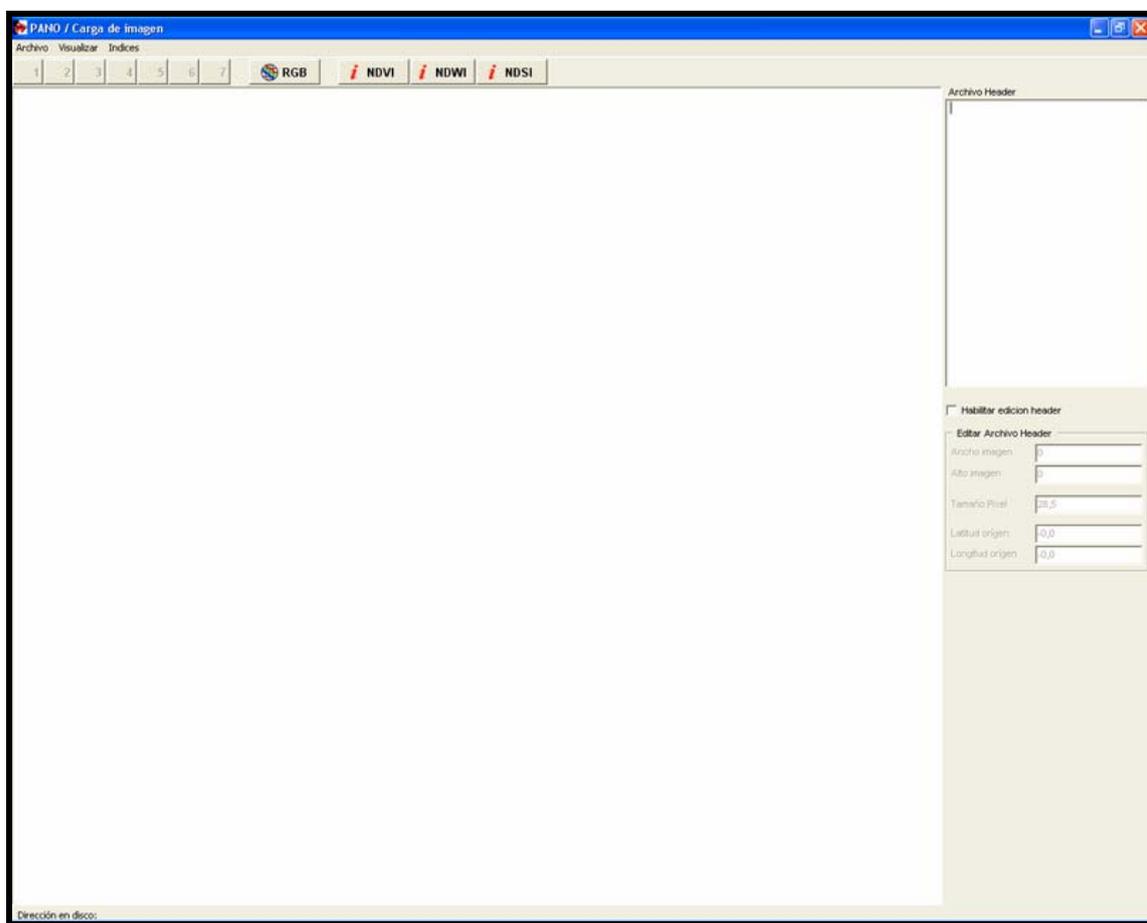
Desde el se puede acceder a la totalidad de las herramientas del sistema.

Archivo:

Desde aquí se controla la carga de las principales variables para realizar una simulación, estas son, la imagen satelital de la zona de interés, el modelo digital de elevación (dem) y la capa de vegetación. Además se agrupan opciones para guardar la información que genera una simulación.

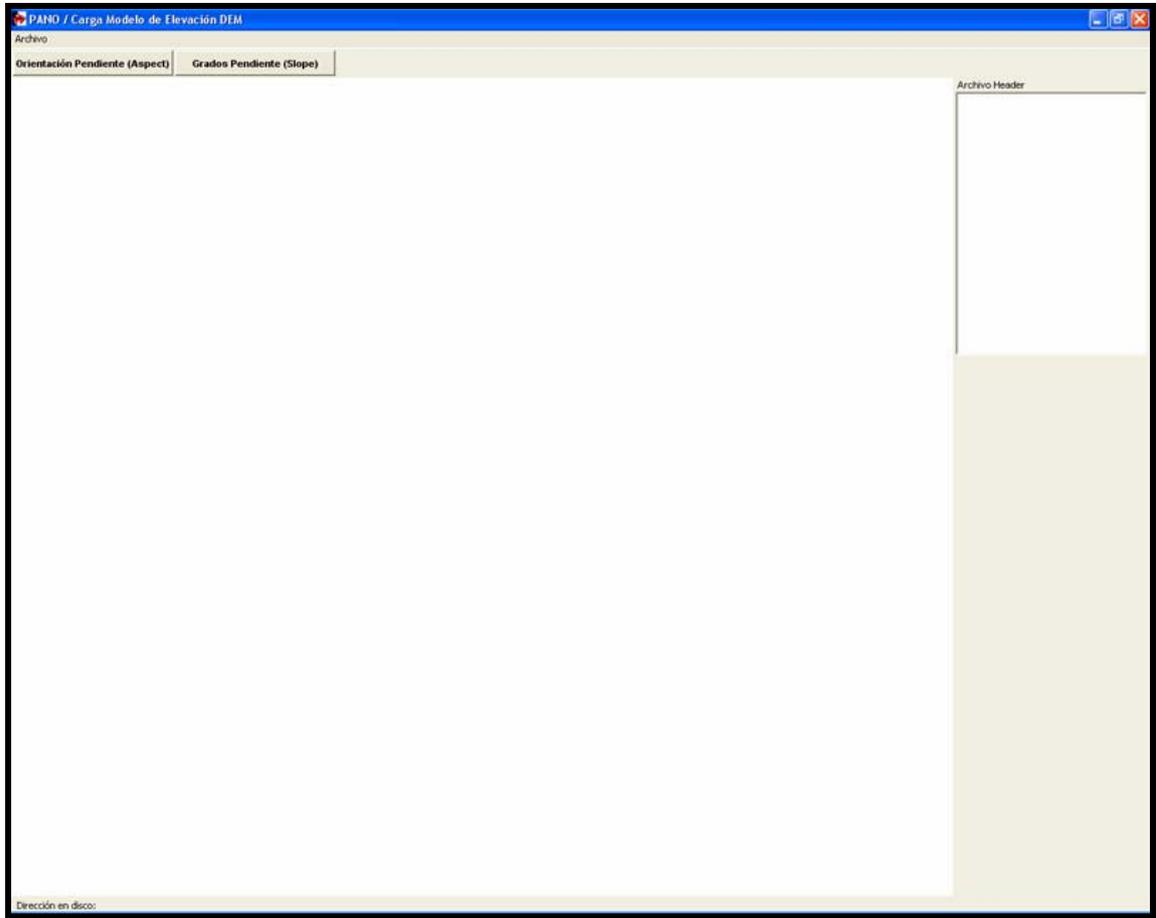
Abrir imagen:

Dispara el formulario donde se administra la carga de la imagen satelital banda a banda, así también como de la manipulación de las mismas para visualizar distintas características de interés.



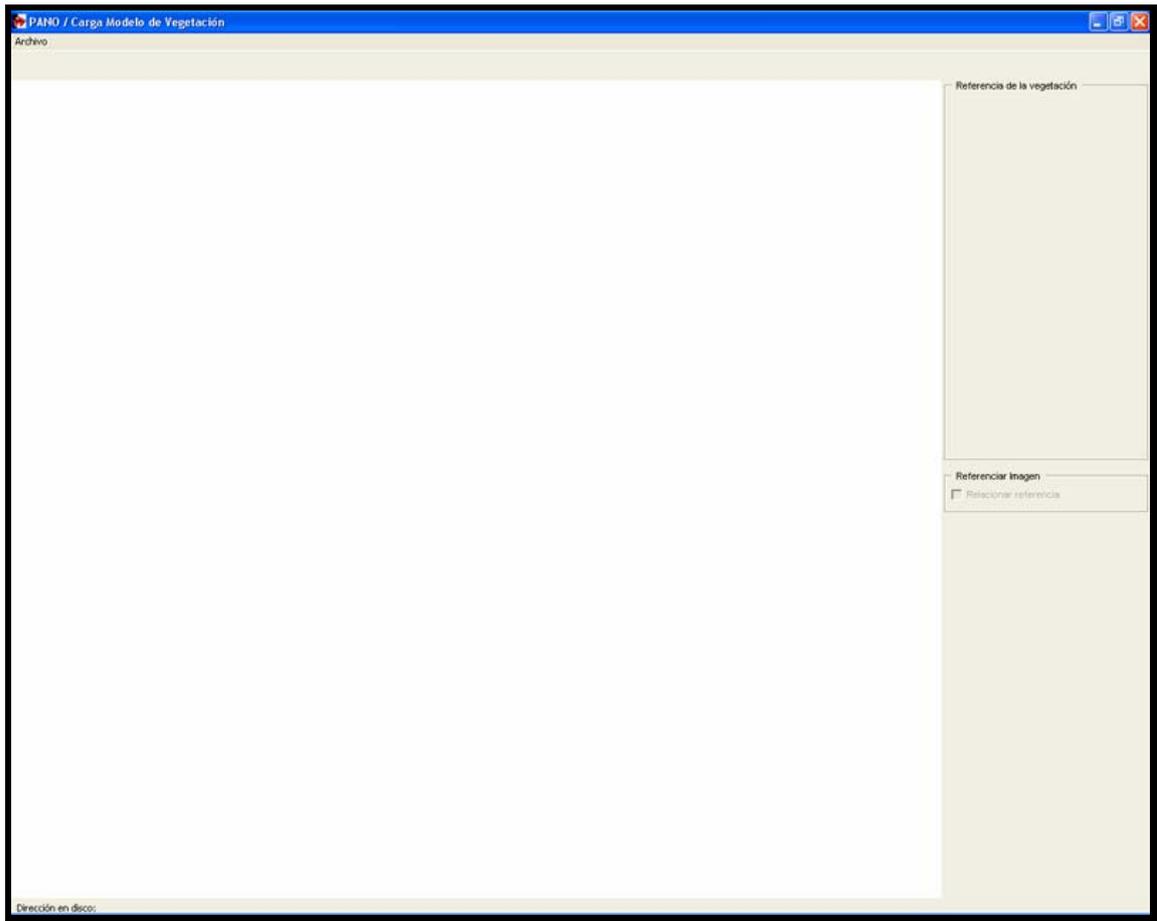
Abrir dem:

Dispara el formulario donde se administra la carga del modelo digital de elevación (dem), esta carga se realiza en dos etapas separadas, en una se realiza la carga de la capa slope (Grados de la pendiente), en la otra se realiza la carga del aspect (Orientación de la pendiente).



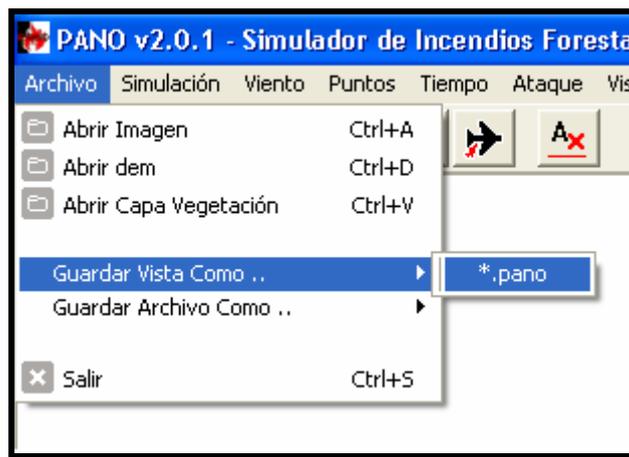
Abrir capa vegetación:

Dispara el formulario donde se administra la carga de la capa de vegetación, en este formulario se puede ver la cubierta vegetal en falso color y referenciando el mismo con el tipo de la misma a la que pertenece.



Guardar vista como:

Permite guardar la vista del mapa actual en un archivo cuya extensión es *.pano el cual es posible abrir con cualquier visualizador o editor de imágenes para su posterior manipulación (Envío a través de correo electrónico, manipulación gráfica, etc.).



Guardar archivo como:

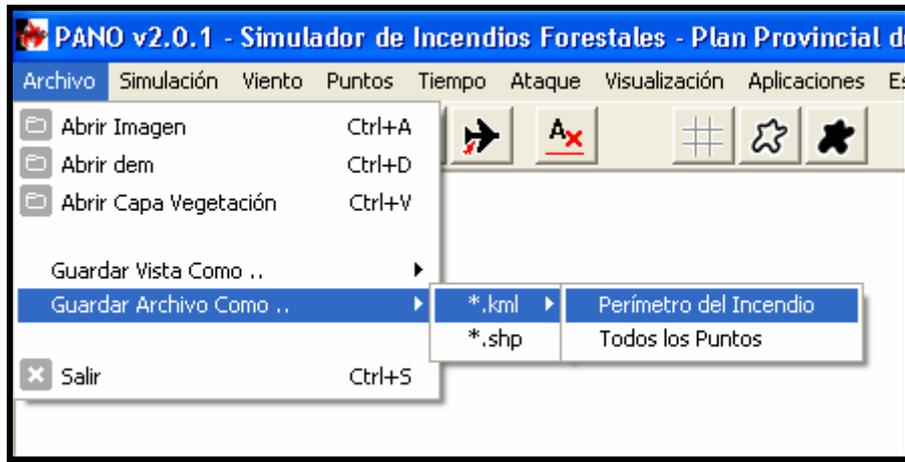
Permite guardar el progreso del incendio en la simulación realizada para su posterior visualización en diferente software que soportan los formatos siguientes.

**.kml:*

Este archivo presenta un formato que permite ser cargado en herramientas de visualización de imágenes satelitales, el más destacado es el Google Earth.

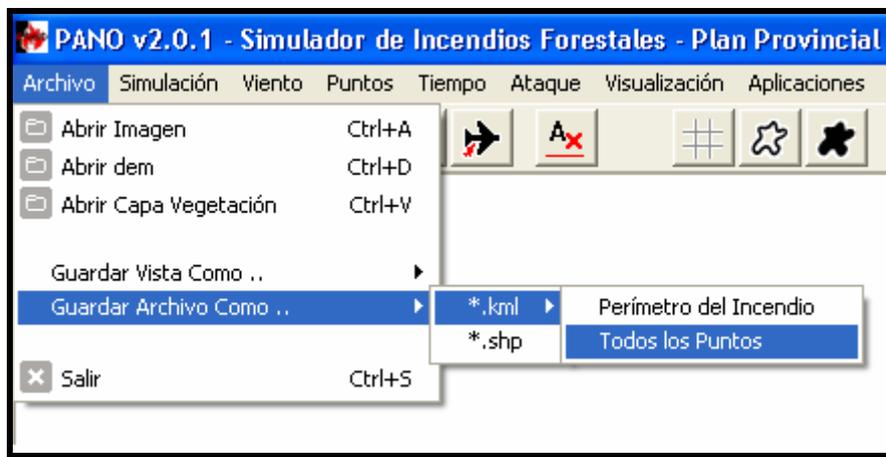
Perímetro:

Se genera un archivo con los puntos georeferenciados del perímetro del incendio simulado por el sistema.



Todo:

Se genera un archivo con los puntos georeferenciado de la totalidad de la superficie del incendio simulado por el simulador.

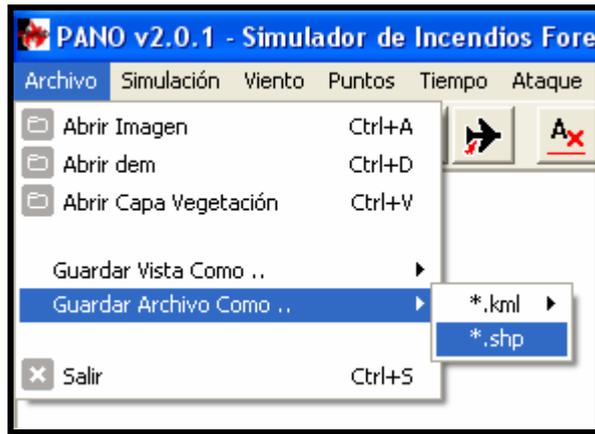


**.shp:*

Este archivo presenta un formato que permite ser cargado en herramientas, sobre todo en las que se especializan en información GIS así también como en herramientas de procesamiento de imágenes satelitales como es ENVI.

Todo:

Se genera un archivo con los puntos georeferenciado de la totalidad de la superficie del incendio simulado por el simulador.



Simulación:

Esta opción agrupa funciones de inicio, reinicio y nueva simulación.

Iniciar Simulación:

Inicia la simulación de un incendio siempre y cuando se hayan cargado todos los parámetros necesarios para tal fin, si faltara alguno de los mismos esta opción no tendría efecto alguno en el sistema.



Reiniciar Simulación:

Luego de terminada una simulación, el usuario puede optar por la opción de reiniciar dicho proceso de manera automática sin tener que volver a cargar los datos necesarios para tal fina.



Setear steps:

Determina el tiempo en que se requiere que la simulación se detenga mostrando un cuadro de dialogo que invita a terminar la simulación o seguir por un lapso idéntico

al anterior, si es seteado este parámetro, la acción se repetirá durante todo el tiempo que dure la simulación.



Nueva simulación:

Una vez terminada una simulación, el sistema puede ser configurado rápidamente para introducir nuevos datos y así generar otra nueva simulación con datos actualizados o modificados.

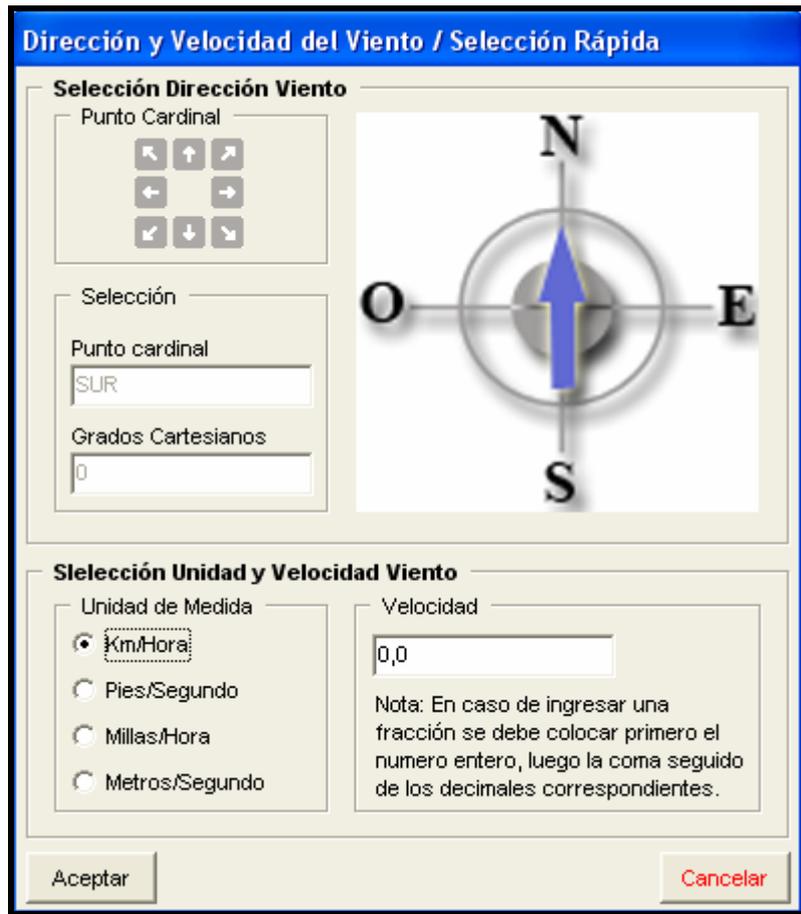


Viento:

Desde aquí se configura el viento con el que se va a realizar una simulación, pudiendo decidir por tener un viento constante o bien un viento que varía durante el proceso de simulación de incendio.

Selección rápida:

Se selecciona de manera rápida una dirección de viento en uno de los ocho puntos cardinales (Norte, Noreste, Este, Sureste, Sur, Suroeste, Oeste, Noroeste), así también como la velocidad y unidad del mismo. Esto se mantendrá de forma constante a lo largo de toda la simulación.



Selección Grados:

Se selecciona una dirección de viento introduciendo los grados hacia donde soplara el mismo, partiendo desde 0° (Norte) y girando en sentido de las agujas del reloj hasta los 359°, así también como la velocidad y unidad del mismo. Esto se mantendrá de forma constante a lo largo de toda la simulación.

Dirección y Velocidad del Viento / Selección Grados

Selección Dirección Viento

Grados Cartesianos

Selección

Punto cardinal

Grados Cartesianos



Selección Unidad y Velocidad Viento

Unidad de Medida

- Km/Hora
- Pies/Segundo
- Millas/Hora
- Metros/Segundo

Velocidad

Nota: En caso de ingresar una fracción se debe colocar primero el número entero, luego la coma seguido de los decimales correspondientes.

Editar viento:

Desde aquí se puede editar el comportamiento del viento durante una simulación, pudiendo ingresarse cambios en la dirección, velocidad y unidad del mismo en un determinado momento de dicha simulación. El sistema permite hasta un total de cinco de estos cambios en todo el proceso de simulación.

Dirección y Velocidad del Viento / Edición Viento Variable

Primer Cambio			
<input type="checkbox"/> Habilitar	Grados Cartesianos 0	Unidad de Medida <input checked="" type="radio"/> Km/Hora <input type="radio"/> Pies/Segundo <input type="radio"/> Millas/Hora <input type="radio"/> Metros/Segundo	Velocidad 0,0 <small>Nota: En caso de ingresar una fracción se debe colocar primero el número entero, luego la coma seguido de los decimales correspondientes.</small>
Tiempo de Cambio Días: 0 Horas: 0 Minutos: 0			
Segundo Cambio			
<input type="checkbox"/> Habilitar	Grados Cartesianos 0	Unidad de Medida <input checked="" type="radio"/> Km/Hora <input type="radio"/> Pies/Segundo <input type="radio"/> Millas/Hora <input type="radio"/> Metros/Segundo	Velocidad 0,0 <small>Nota: En caso de ingresar una fracción se debe colocar primero el número entero, luego la coma seguido de los decimales correspondientes.</small>
Tiempo de Cambio Días: 0 Horas: 0 Minutos: 0			
Tercer Cambio			
<input type="checkbox"/> Habilitar	Grados Cartesianos 0	Unidad de Medida <input checked="" type="radio"/> Km/Hora <input type="radio"/> Pies/Segundo <input type="radio"/> Millas/Hora <input type="radio"/> Metros/Segundo	Velocidad 0,0 <small>Nota: En caso de ingresar una fracción se debe colocar primero el número entero, luego la coma seguido de los decimales correspondientes.</small>
Tiempo de Cambio Días: 0 Horas: 0 Minutos: 0			
Cuarto Cambio			
<input type="checkbox"/> Habilitar	Grados Cartesianos 0	Unidad de Medida <input checked="" type="radio"/> Km/Hora <input type="radio"/> Pies/Segundo <input type="radio"/> Millas/Hora <input type="radio"/> Metros/Segundo	Velocidad 0,0 <small>Nota: En caso de ingresar una fracción se debe colocar primero el número entero, luego la coma seguido de los decimales correspondientes.</small>
Tiempo de Cambio Días: 0 Horas: 0 Minutos: 0			
Quinto Cambio			
<input type="checkbox"/> Habilitar	Grados Cartesianos 0	Unidad de Medida <input checked="" type="radio"/> Km/Hora <input type="radio"/> Pies/Segundo <input type="radio"/> Millas/Hora <input type="radio"/> Metros/Segundo	Velocidad 0,0 <small>Nota: En caso de ingresar una fracción se debe colocar primero el número entero, luego la coma seguido de los decimales correspondientes.</small>
Tiempo de Cambio Días: 0 Horas: 0 Minutos: 0			

Aceptar Cancelar

Puntos:

Esta opción agrupa las acciones de situar hasta una cantidad de 20 puntos de ignición sobre la imagen a simular, una vez superada esta cantidad el sistema no dejara que se sigan ingresando estos puntos. Cabe destacar que para hacer uso de esta herramienta se debe tener una imagen cargada previamente en el sistema.

Acción Mouse:

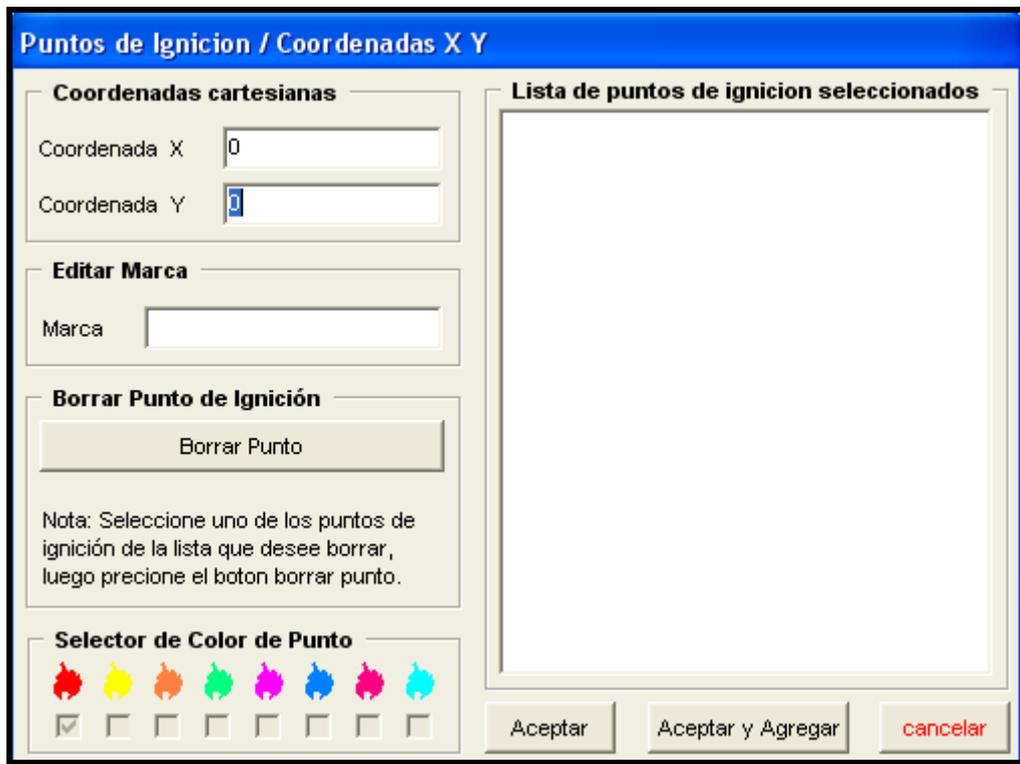
Se ingresan los puntos por medio de la acción del Mouse, una vez activada esta acción se deberá hacer clic con el botón primario del Mouse en el lugar donde se quiere colocar uno de estos puntos de ignición, esto siempre debe ser sobre la imagen satelital previamente cargada en el mapa principal, luego de hacer este clic se desplegará un

cuadro de dialogo para introducir una etiqueta que identificara al punto, así también como cambiar el color al símbolo que lo identifica.



Coordenadas X/Y:

Los puntos serán ingresados por medio de las coordenadas cartesianas (X,Y), que pueden ser visualizadas a medida que se mueve el Mouse sobre el mapa principal, esto siempre con una imagen previamente cargada en el sistema. También se puede colocar etiquetas a los puntos y el color del símbolo que los identifica.



Coordenadas Lat/Long:

Los puntos serán ingresados por medio de las coordenadas geográficas de latitud y longitud, y de igual manera se podrá editar la etiqueta y el color del símbolo que los identifica.

Puntos de Ignicion / Coordenadas Latitud Longitud

Coordenadas Geográficas

Grados GMS

Latitud:

Longitud:

Editar Marca

Marca:

Borrar Punto de Ignición

Nota: Cuando ingrese las coordenadas geográficas, debe ingresar con el correspondiente signo de acuerdo a la zona geográfica donde se encuentre.

Selector de Color de Punto

Lista de puntos de ignicion seleccionados

Ver lista Puntos:

Aquí se puede visualizar la lista de puntos de ignición cargados en el sistema, pudiendo borrar uno o todos los mismos.

Puntos de Ignición / Lista de Puntos

Lista de Puntos de Ignición

Tiempo:

Se programa el tiempo de duración de la simulación.

Tiempo de simulación:

Desde aquí se introduce la cantidad de tiempo que se quiere simular un incendio, el mismo se ingresa por medio de la cantidad de días, horas y minutos, calculando automáticamente la fecha y hora de inicio junto con la fecha y hora de finalización.

Tiempo de Simulación

Tiempo De Simulación

Duración

Días 1 Horas 4 Minutos 45

Tiempo Inicio - Fin Simulación

Tiempo Inicio

Fecha 24/11/2007 Horas 12 Minutos 43

Tiempo Fin

Fecha 25/11/2007 Horas 17 Minutos 28

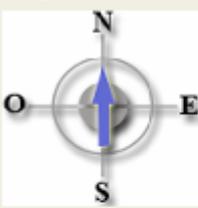
Aceptar Cancelar

Display tiempo:

Configura la posición del display de visualización del tiempo transcurrido en la simulación.

Anclar al margen:

Esta opción ancla el display de tiempo en el margen de información la interfaz.

Viento		
		
Velocidad	0,0	
Unidad	Km/Hora	
Dirección	SUR	
Grados	0 G	
Viento Dirección Constante		
Tiempo de Simulación		
Días	Horas	Minutos
0	0	0
Fecha Inicio Simulación		
Fecha	Horas	Minutos
00/00/0000	0	0
Fecha Fin Simulación		
Fecha	Horas	Minutos
00/00/0000	0	0
Navegador de Imagen		
		
Zoom in		
Zoom out		
Restaurar		

Mostrar en ventana:

Esta opción muestra el display de tiempo de simulación en una ventana independiente y sacándolo del margen de información.

Tiempo de Simulación					
DD:	0	HH:	0	MM:	0

Ataque:

Estas herramientas hacen referencia a lo que son algunos de los procedimientos utilizados a la hora de combatir un incendio forestal.

Corta fuego:

Como su nombre lo indica, esta herramienta es utilizada para tratar de detener el frente de un incendio realizando distintas acciones como ser limpieza de la vegetación en una franja para evitar que el incendio se propague más allá.

La llama indica desde donde viene propagándose el incendio y la barra o línea indica el cortafuego, el usuario tiene que tener en cuenta estas dos cosas ya que debe orientar el cortafuego de acuerdo con las condiciones del incendio. Luego de seleccionar una de las opciones y de aceptar la misma, se debe colocar en el mapa

principal haciendo clic con el botón primario del Mouse, tenga en cuenta que una vez colocado no puede ser movido del lugar, la única manera es borrando todo el ataque.



Contra fuego:

Esta herramienta se utiliza a la hora de detener el avance del incendio pero con una técnica diferente a la anterior, es decir, se realiza un pequeño incendio y se lo trata de llevar en dirección al frente del incendio, así de esta manera, al encontrarse los dos frentes el incendio se detiene ya que no encuentra combustible que no se haya quemado. La forma de usarla es igual a la mencionada con el cortafuego.



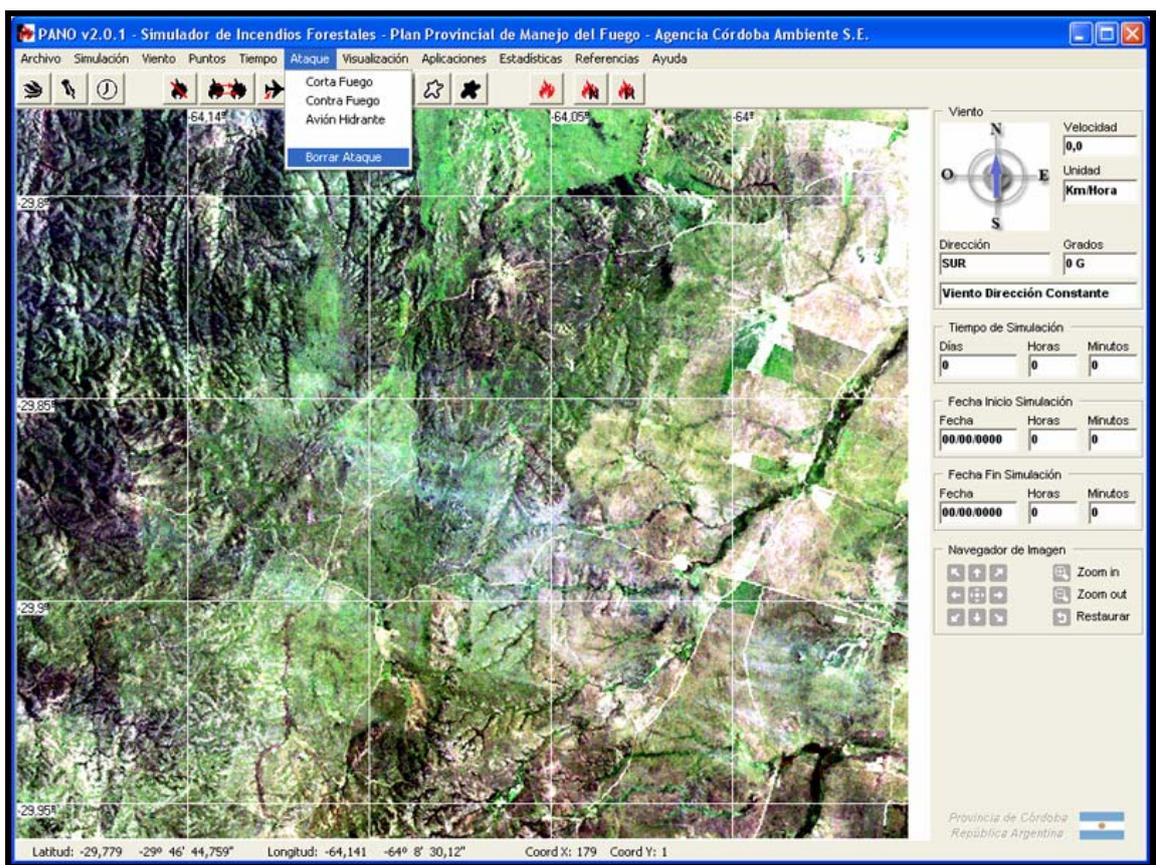
Avión hidrante:

Esta acción simula lo que sería el accionar de un avión hidrante en la zona del incendio, retardando o apagando por completo en frente del incendio, su modo de utilización es idéntico a los dos anteriores.



Borra ataque:

Borra la totalidad del ataque que se haya establecido con las herramientas anteriores, tenga en cuenta que si se equivoca en una colocación de las acciones de ataque no se podrá borrar únicamente esa, sino también todas las anteriores.

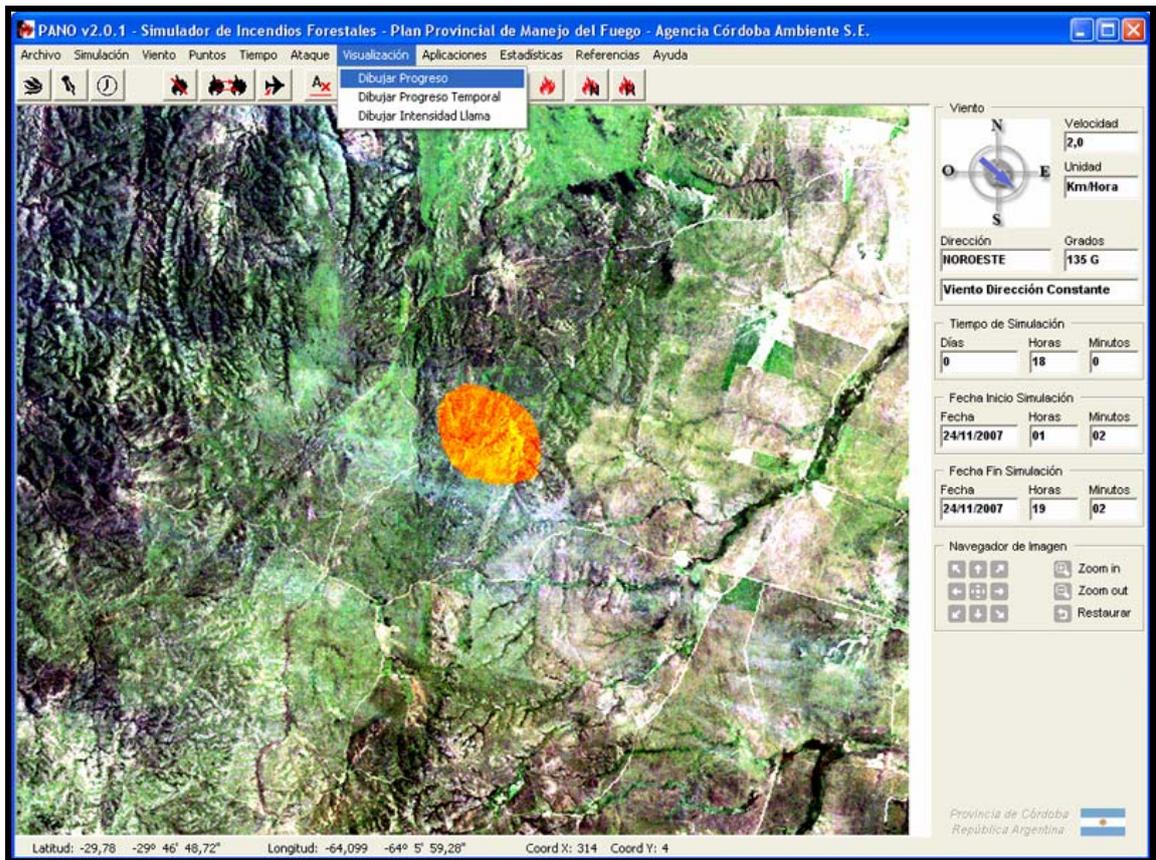


Visualización:

Esta opción agrupa herramientas de visualización del progreso del incendio simulado, tendrá efecto solamente luego de realizada dicha simulación.

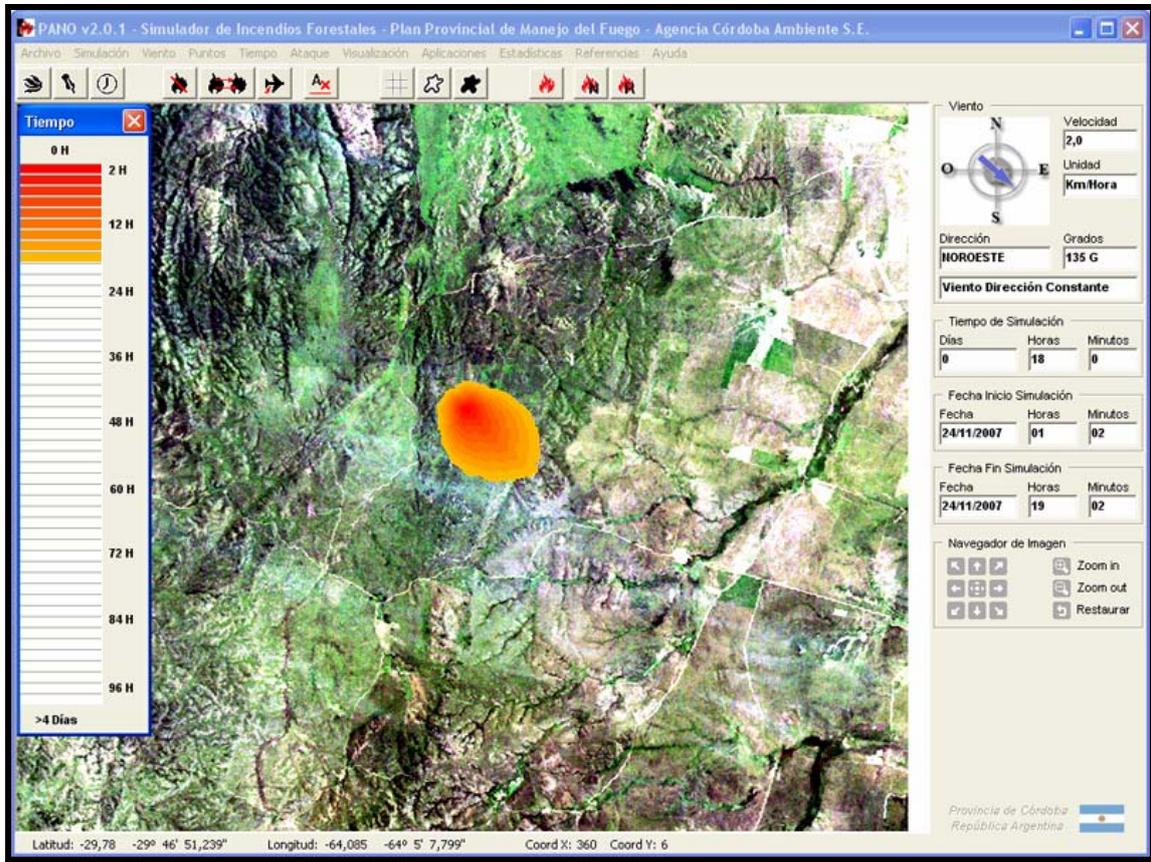
Dibujar progreso:

Dibuja el progreso del incendio en un tono rojizo transparente donde se puede visualizar la imagen satelital de fondo, este dibujo del progreso es el predeterminado durante una simulación.



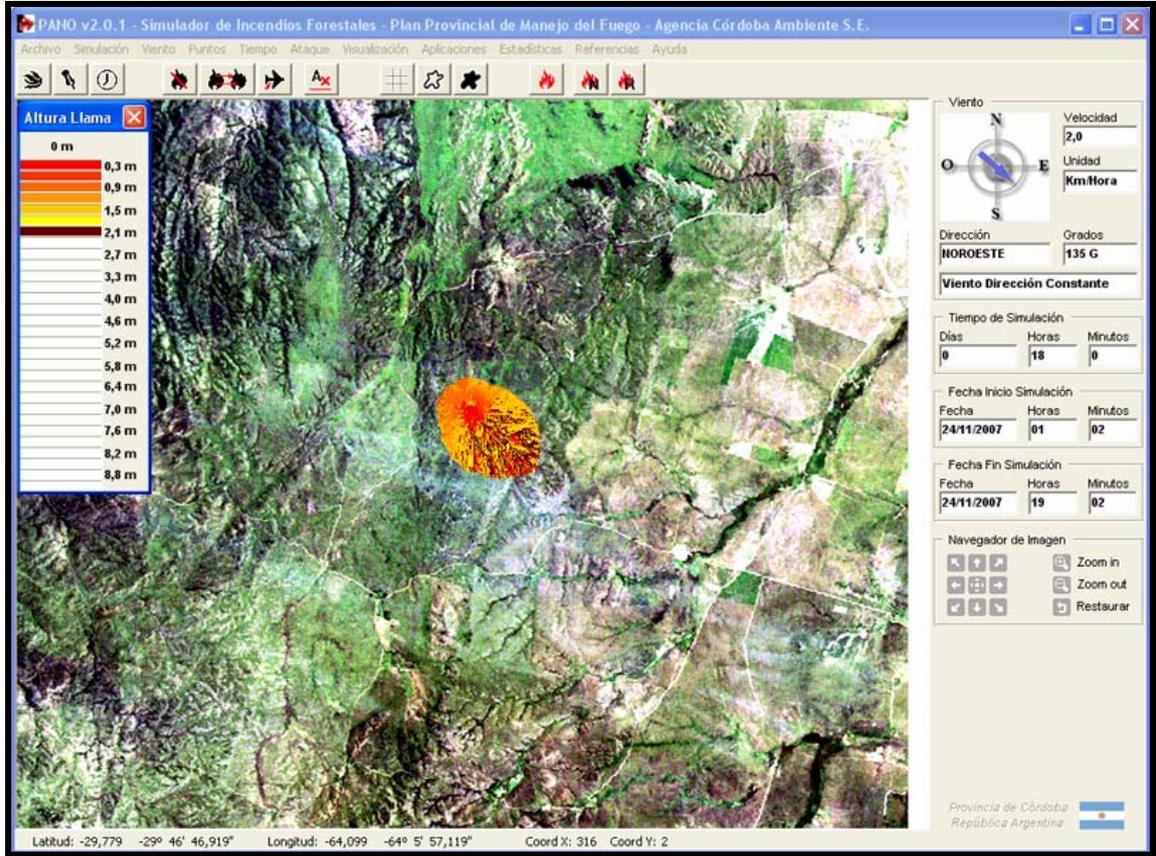
Dibujar progreso temporal:

Dibuja el progreso del incendio en escala de colores según el tiempo en que fue quemando la zona, cada uno de los anillos representa dos horas de simulación donde esta escala esta representada en una ventana que se activa al hacer uso de esta opción.



Dibujar intensidad llama:

Dibuja la intensidad del incendio de acuerdo a la vegetación que fue afectada y a las condiciones de humedad y de viento establecidos para la simulación, esta representado por una escala de colores cuya referencia se desplegará en una nueva ventana con la escala correspondiente, una ves activada la herramienta.

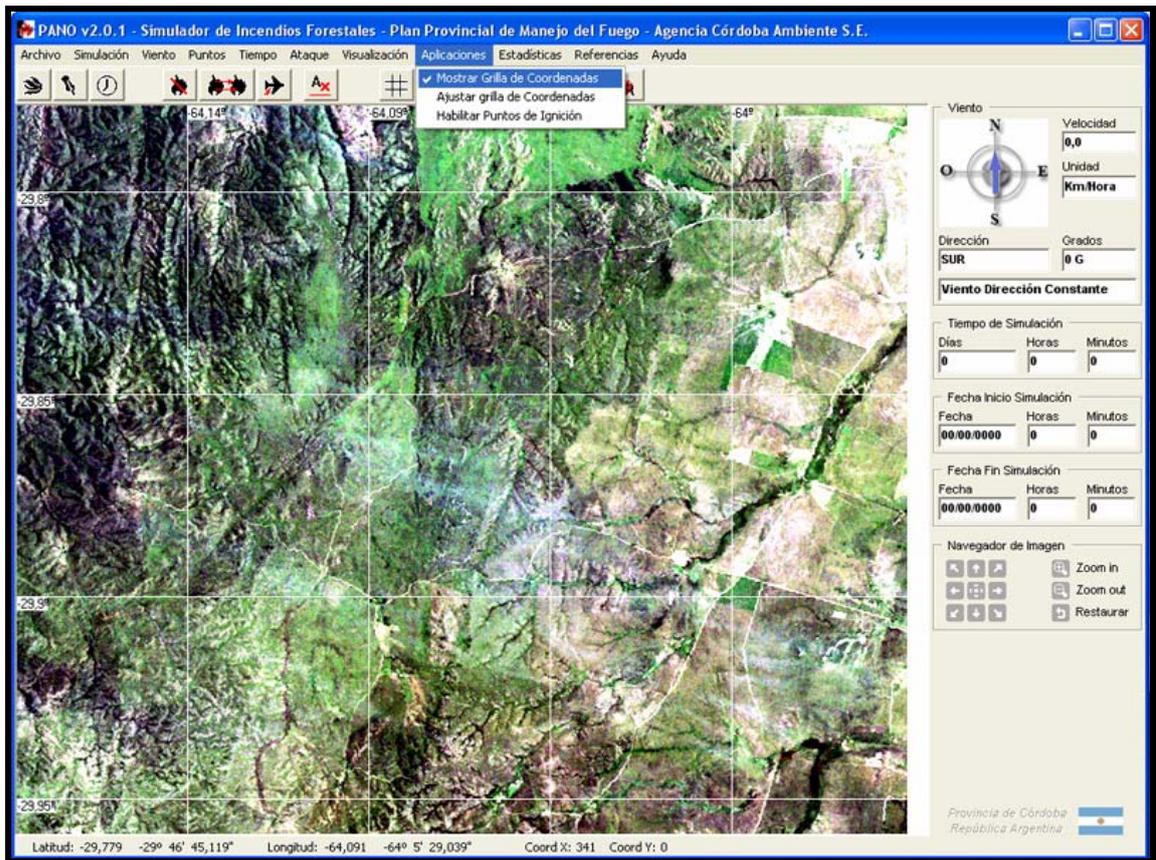


Aplicaciones:

Herramientas que sirven para mejorar la interpretación de una simulación.

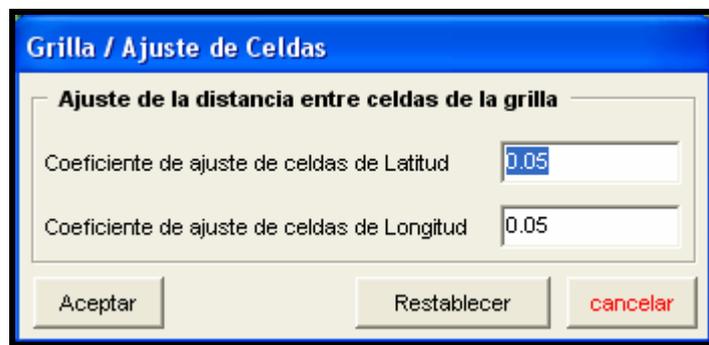
Mostrar Grilla de Coordenadas:

Muestra una grilla de coordenadas al estilo Google Earth que sirve para localizar e interpretar geográficamente la propagación del incendio, una vez activada el usuario puede desactivarla en cualquier momento accediendo a la misma opción. Cabe destacar que la grilla queda deshabilitada cuando se realizan paneos, zoom in y zoom out.



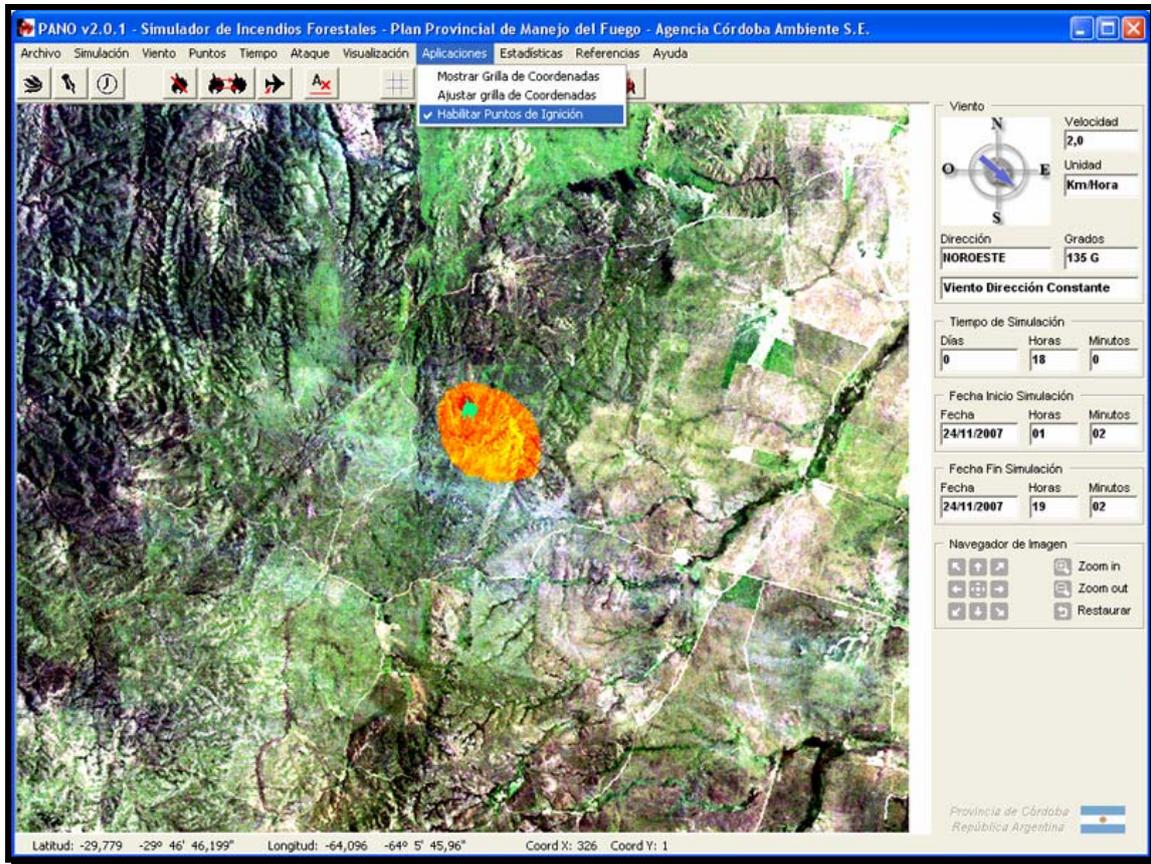
Ajustar Grilla de coordenadas:

Ajusta la grilla de coordenadas, desde aquí se introducen el tamaño de las filas y columnas que componen la grilla.



Habilitar puntos de ignición:

Esta herramienta deshabilita/habilita los símbolos que identifican los puntos de ignición, esto sirve principalmente cuando se quiere tener una visión completa de la zona afectada por la simulación.

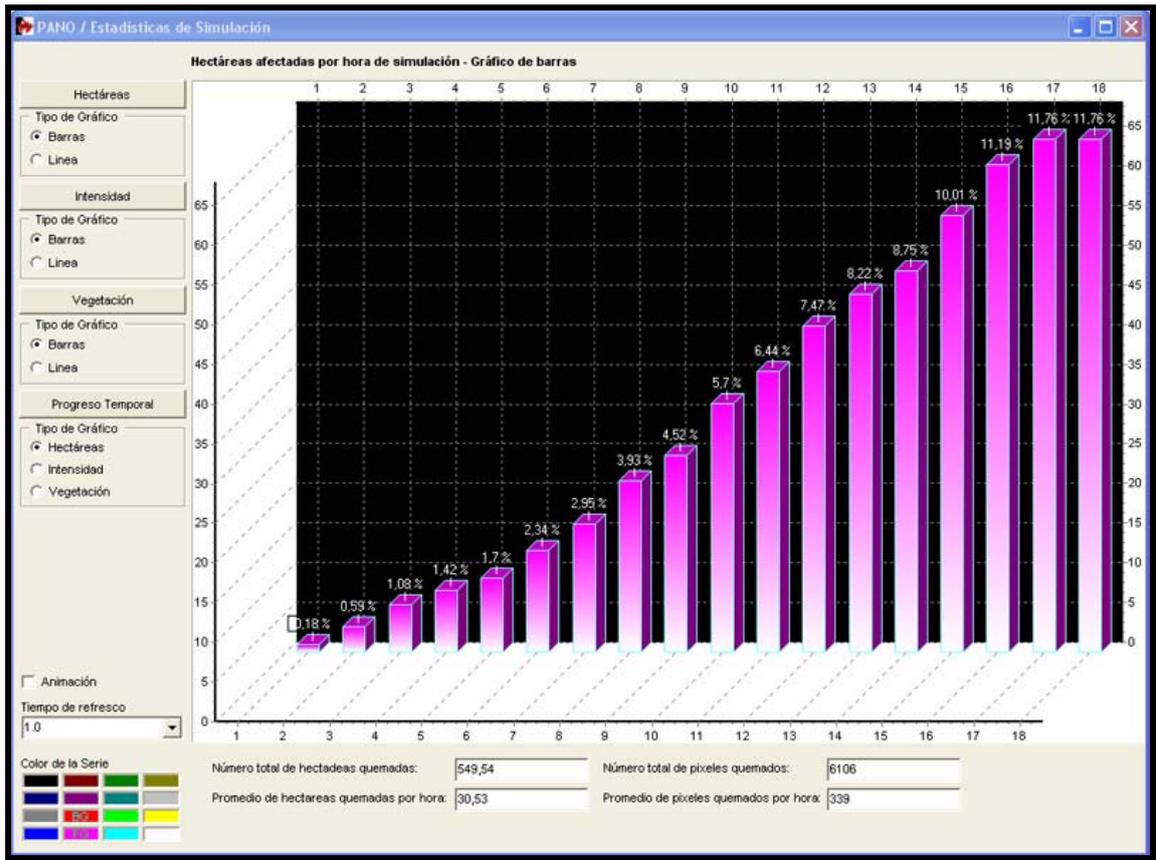


Estadísticas:

Aquí se encuentra la información estadística de la simulación realizada.

Estadísticas:

Se despliega un nuevo formulario con información estadística referida a la simulación realizada previamente, en el mismo se puede visualizar gráficos de hectáreas afectadas, intensidad del incendio, vegetación afectada, así también como promedios y porcentajes de estos datos.



Referencias:

Ayuda en la localización de la escena donde se pretende realizar una simulación.

Referencias:

Se despliega un formulario donde se visualiza las zonas de la provincia de Córdoba que se encuentran activadas para realizar una simulación, además cuenta con un buscador que de acuerdo con las coordenadas de la zona en la que se quiere realizar la simulación, me indica el mosaico a utilizar junto con la ubicación de los archivos de (imagen, dem, vegetación).

Ayuda:

Aquí se encuentra toda la ayuda que viene incluida con el simulador

Ayuda Pano:

Al activar esta opción automáticamente se abrirá un programa de visualización de archivos en formato .pdf (Adobe Reader), el cual debe estar previamente instalado en la pc donde se corre el sistema. Si este software no se encuentra instalado se puede acceder a la ayuda en formato .doc (Microsoft office - Word) en la siguiente ubicación dentro de la pc (C:\SIF_PANO\Manual).

Manual Interactivo:

Esta es una ayuda interactiva donde se puede ver y escuchar una descripción del sistema y donde se puede seguir los pasos para realizar una simulación a modo de ejemplo.

Agradecimientos:

Agradecimiento a todas las personas e instituciones que colaboraron con este proyecto.

Acerca de:

Acerca de los autores del proyecto.

EL PANEL DE HERRAMIENTAS

Este panel posee algunas de las funciones del menú y otras que son exclusivas del sistema para tener acceso rápido a estas funcionalidades. Como se puede observar se distinguen cuatro grupos de botones, agrupados de acuerdo con su funcionalidad.

El primer grupo de botones esta relacionado con valores de entrada propios de una simulación, y son parámetro necesarios para realizar dicha tarea.

El segundo grupo se relaciona con las acciones de ataque que se pueden establecer durante una simulación.

El tercer grupo responde a herramientas de visualización del proceso de simulación, nos da una idea más general y clara del lugar en la que se realizo la misma y de la magnitud de la misma.

El cuarto y último grupo responde a acciones de inicio, reinicio y nueva simulación.



Botón viento: Activa la barra de herramientas para editar la dirección y velocidad del viento.



Selección Rapida

Dispara el formulario de selección rápida de viento, donde se puede programar uno de los 8 puntos cardinales predefinidos (Norte, Sur, Este, Oeste, Noreste, Sureste, Noroeste, Suroeste), así también como la velocidad del mismo y dicha unidad de medida.

Selección Grados

Dispara el formulario de selección en grados, donde se puede programar unos de los 360 grados de dirección de viento, partiendo desde el grado 0 (Norte) y en sentido horario hasta los 359 grados. También es posible editar la velocidad y unidad de medida del mismo.

Editar Viento

Dispara el formulario de edición de viento, desde aquí se puede editar hasta 5 cambios de viento durante una simulación, por cambio quiere decir que en un determinado momento la simulación se encuentra con una dirección, velocidad y unidad de medida, pero en algún instante, previamente definido por el usuario, el viento

puede variar en cualquiera de estos 3 parámetros, es decir cambiar la velocidad, la dirección y la unidad de medida.



Desactiva la barra de herramientas de edición de viento.



Botón puntos: Activa la barra de herramientas para edición de puntos de ignición.



Dispara el formulario de edición de puntos de ignición mediante coordenadas cartesianas (X/Y).El usuario introduce las coordenadas del sitio donde desea setear un punto de ignición, además se puede editar el color del símbolo de foco y su etiqueta a mostrar.



Dispara el formulario de edición de puntos de ignición mediante coordenadas geográficas (Latitud/Longitud).El usuario introduce las coordenadas del sitio donde desea setear un punto de ignición, además se puede editar el color del símbolo de foco y su etiqueta a mostrar



Dispara la acción del Mouse para colocar el punto de ignición donde se haga un clic con el botón primario del mismo, luego de esta acción se dispara el formulario donde se puede editar el color del símbolo de foco y su etiqueta a mostrar.



Dispara el formulario de lista de puntos, desde aquí se visualizan los puntos que se hayan seteado para una simulación, con la opción de borrar alguno o todos los mismos.



Desactiva la barra de herramientas para edición de puntos de ignición.



Botón tiempo: Dispara el formulario para edición del tiempo de duración de la simulación.



Botón corta fuego: Dispara el formulario de edición de acción de corta fuego sobre una simulación.



Botón contra fuego: Dispara el formulario de edición de acción de contra fuego sobre una simulación



Botón avión hidrante: Dispara el formulario de edición de acción de avión hidrante sobre una simulación.



Botón borrar ataque: Elimina todas las acciones de ataque del incendio que se hayan setado en un determinado momento, quedando sin efecto corta fuego, contra fuego y acción del avión hidrante.



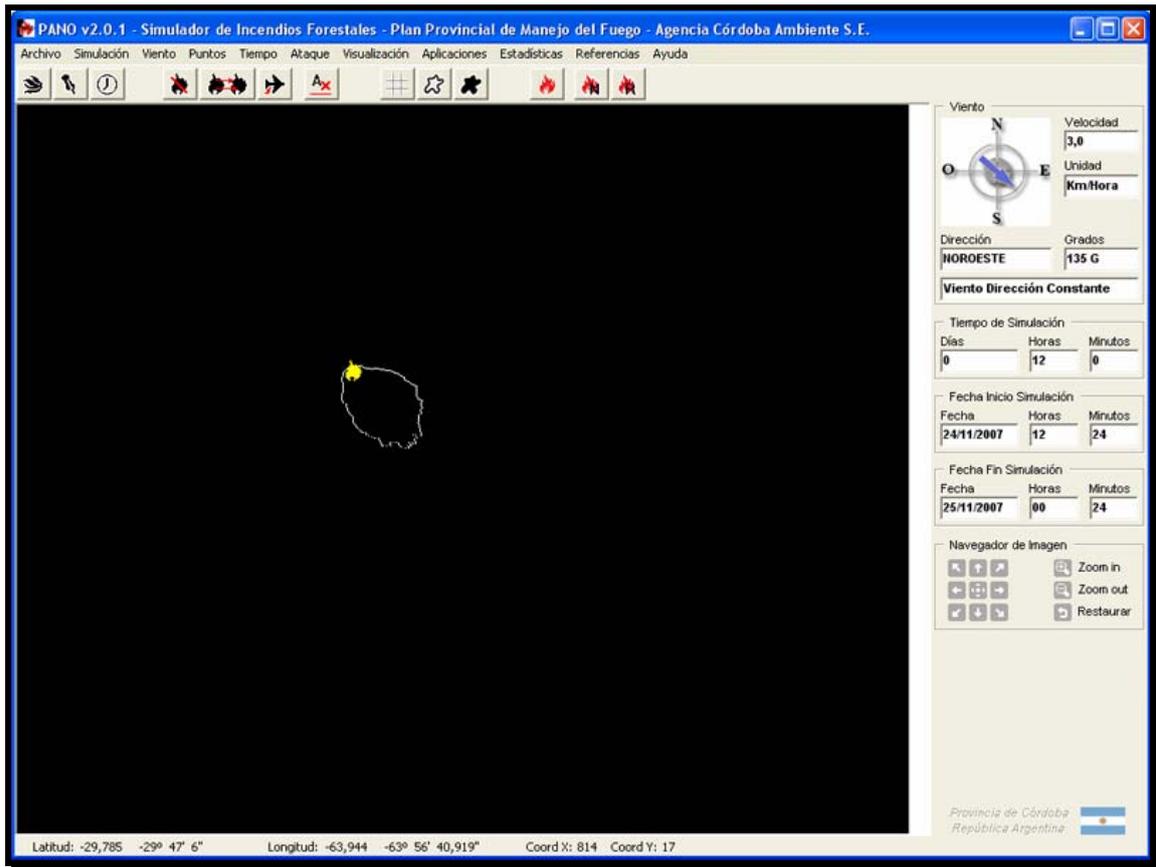
Botón activar/desactivar grilla de coordenadas: Activa la grilla de coordenadas geográfica, una vez presionado el botón la grilla se mostrara en el mapa principal y el



icono cambiara avisando que la grilla esta activa y que se puede desactivar en cualquier momento.



Botón dibujar perímetro del incendio: Mediante esta acción se dibuja el perímetro del incendio sobre el mapa principal.



Botón restaurar dibujo simulación: Mediante esta acción se reestablece la imagen satelital al estado original antes de la acción de dibujar perímetro del incendio.



Botón iniciar simulación: Realiza la misma acción que la opción iniciar simulación del menú principal simulación

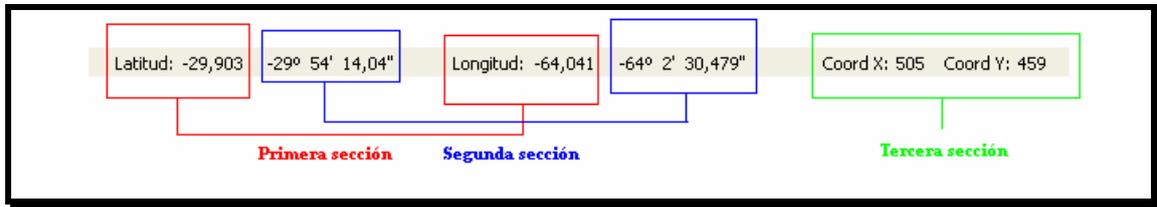


Botón nueva simulación: Realiza la misma acción que la opción nueva simulación del menú principal simulación



Botón reiniciar simulación: Realiza la misma acción que la opción reiniciara simulación del menú principal simulación

LA BARRA DE NAVEGACIÓN



En esta barra se visualiza la información referida a las coordenadas en la cual se encuentra posicionado el Mouse sobre el mapa principal, esta información se encuentra representada en distintos formatos, en la primera sección de la barra se encuentran las coordenadas de Latitud y Longitud en (grados), en la segunda sección se encuentran las coordenadas de Latitud y Longitud pero en (grados, minutos, segundos), finalizando en la tercera sección con las coordenadas cartesianas en formato (x,y).

Esta componente queda sin efecto cuando no hay una imagen cargada en el sistema y cuando estamos realizando paneos, zoom in o zoom out de la imagen.

LA BARRA DE INFORMACIÓN

Aquí se visualiza toda la información referente a los datos que fueron ingresados para realizar una simulación, además de una herramienta para realizar paneos en la imagen.

La interfaz del mismo se presenta a la vista del usuario de la siguiente manera:

The screenshot displays a user interface for wind simulation. It is organized into several sections:

- Viento (Wind):** Contains a compass rose with a blue arrow pointing North. To its right are input fields for "Velocidad" (0,0), "Unidad" (Km/Hora), "Dirección" (SUR), and "Grados" (0 G). Below these is a button labeled "Viento Dirección Constante".
- Fecha Inicio Simulación (Simulation Start Date):** A section with three input fields for "Fecha" (00/00/0000), "Horas" (0), and "Minutos" (0).
- Fecha Fin Simulación (Simulation End Date):** A section with three input fields for "Fecha" (00/00/0000), "Horas" (0), and "Minutos" (0).
- Navegador de Imagen (Image Navigator):** A section containing navigation icons: a magnifying glass with a plus sign for "Zoom in", a magnifying glass with a minus sign for "Zoom out", and a circular arrow for "Restaurar".

Se distinguen tres partes fundamentales:

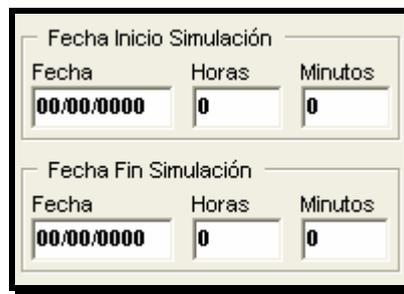
El panel de viento:

Muestra los datos del viento que fueron ingresados por el usuario para establecer una simulación, estos son dirección, velocidad, unidad de la velocidad, grados de dirección, punto cardinal y si el viento es constante o si se configuró el viento variable para dicha simulación.



El panel de tiempo:

Aquí se visualiza la hora y fecha en que se inicia la simulación y la hora y fecha en la que se debe detener dicho proceso.



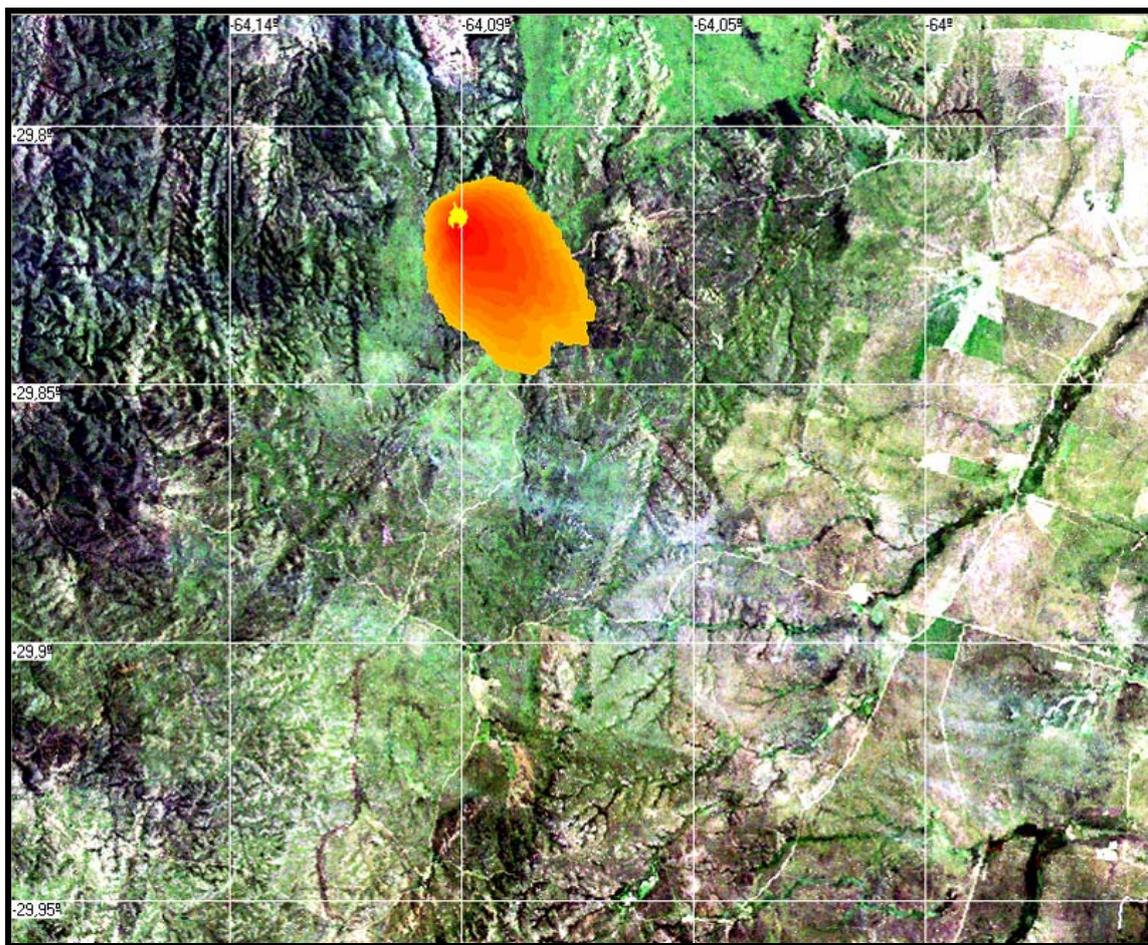
Panel de paneos:

Desde estos controles se pueden hacer paneos, zoom in, zoom out de la imagen previamente cargada en el sistema, esto se puede hacer antes o después de la simulación



EL MAPA PRINCIPAL

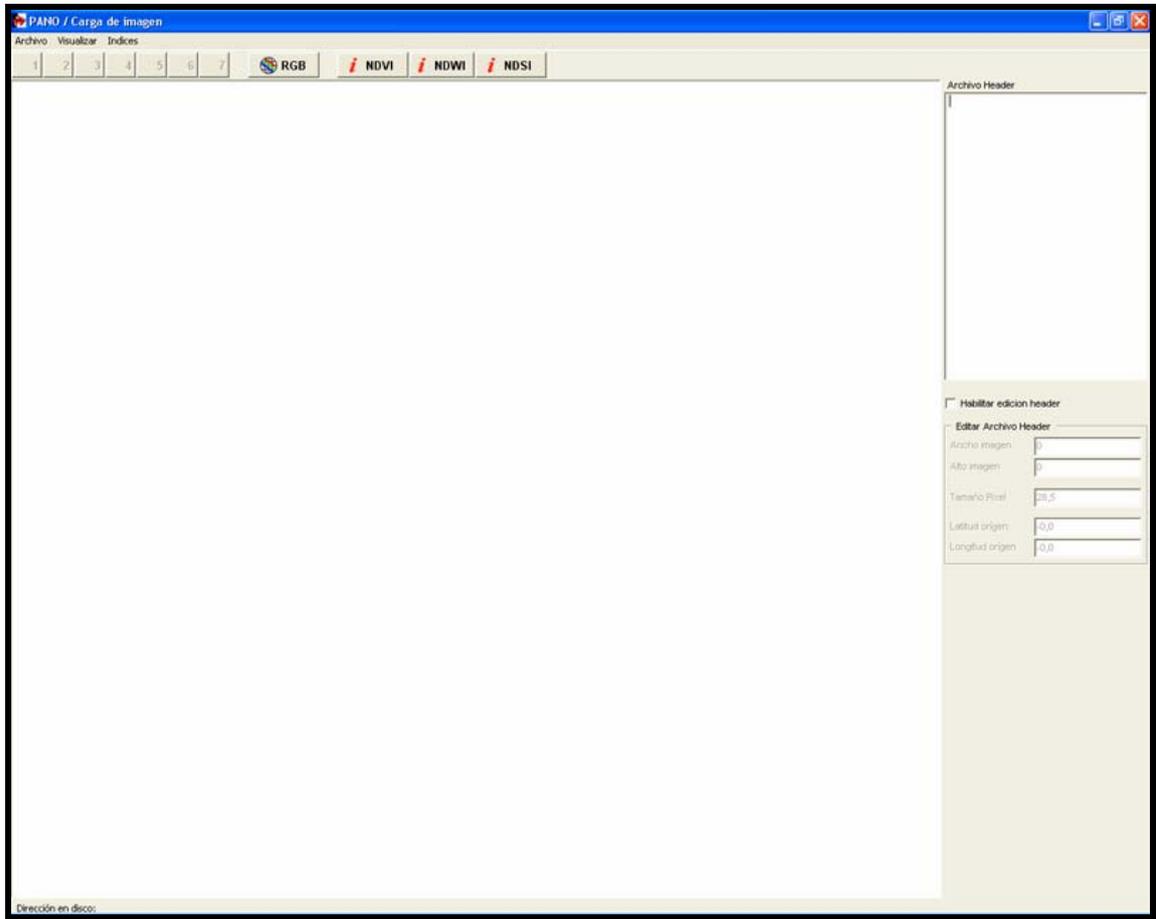
El mapa principal muestra el progreso del incendio forestal que se ha programado en el sistema, así también como los efectos que cause el uso de las herramientas visuales programadas en el simulador para un posterior tratamiento de la información obtenida.



FORMULARIO CARGA DE IMAGEN

Desde aquí se realiza la carga de la imagen satelital sobre la cual se llevara a cabo la simulación del incendio.

La interfaz del formulario se presenta a la vista del usuario de la siguiente manera:



El mismo se divide en cinco sectores fundamentales bien definidos:

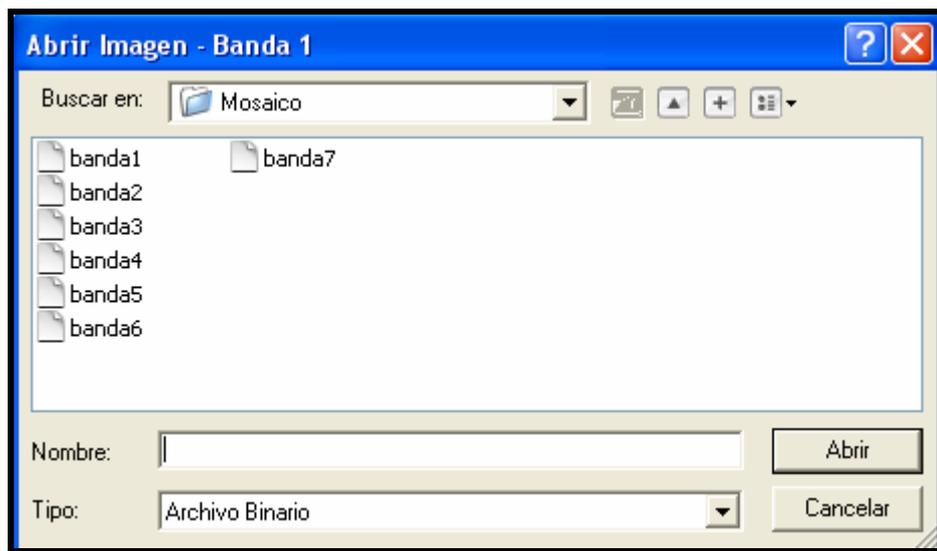
El menú principal:

Archivo Visualizar Indices

Desde aquí se accede a las funciones de carga de bandas que se encuentran en la pestaña Archivo, el usuario debe cargar cada una de las 7 bandas que componen una imagen satelital y su correspondiente archivo cabecera (header).



Luego de seleccionar la opción como muestra la figura anterior, el sistema mostrara un cuadro de búsqueda del archivo a cargar.



Seleccione la banda que quiere abrir, pero tenga en cuenta que siempre debe abrir la banda cuya opción del menú ha seleccionado, abrir otra banda significaría modificar los datos originales de la imagen satelital al realizar el procesamiento de la misma.

Luego que selecciono la banda y presione el botón de abrir, el sistema desplegara otro cuadro de búsqueda pero esta vez para que usted seleccione el archivo cabecera de la banda, aquí también es importante que seleccione el archivo correspondiente a la banda que quiere abrir. Luego de aceptar la carga el sistema mostrara la banda en el mapa principal y cuyo header estará visible en el margen de información.

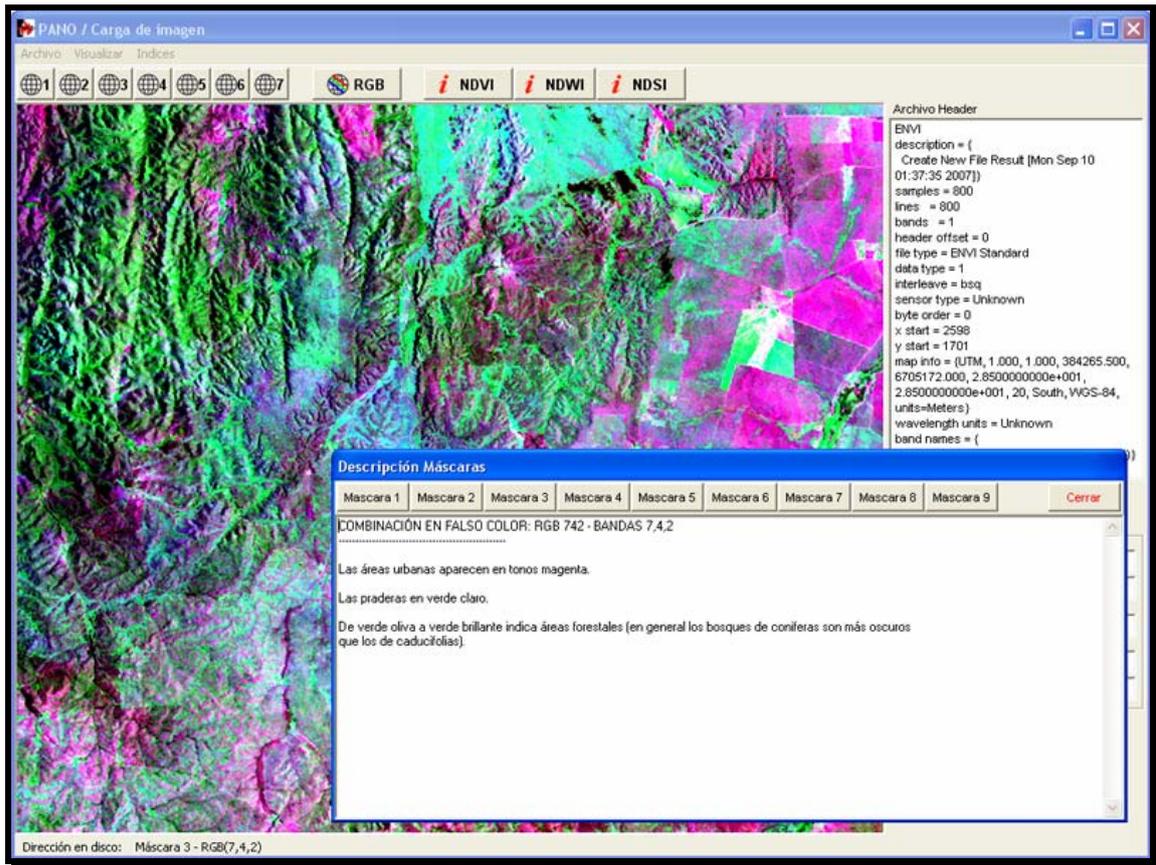
Este proceso se debe repetir para todas las bandas de la imagen, el sistema no dejara realizar ninguna otra acción si este procedimiento no fue realizado.

Como se ve en las imágenes siguientes se puede tener acceso a las opciones de procesamiento de las imágenes, RGB, NDVI, NDWI, NDSI, MAZCARAS.



Estas opciones serán explicadas en la barra de herramientas, mientras que en el menú se encuentra una opción de realizar mascarar de visualización, esto hace referencia a realizar combinaciones de bandas para resaltar características particulares de la zona de la cual tenemos la imagen satelital cargada. Una vez seleccionada alguna de las mascarar, la misma se visualizara en el mapa principal y el sistema desplegara un cuadro de referencias, donde se debe seleccionar la misma mascarar que se ha generado para poder ver a que hace referencia los distintos tonos de colores.





La barra de herramientas:



Aquí se encuentran alguna de las acciones que se pueden realizar luego de cargar las bandas correspondientes de una imagen, en la primera parte de la misma se pueden ver 7 botones, cada uno representa una de las bandas de la imagen, luego de realizar una carga automáticamente se activa el icono correspondiente a la banda cargada y queda habilitado para que se puede visualizar dicha banda en cualquier momento solo presionándolo.



En la segunda parte de de la barra de herramientas se tienen los botones de procesamiento de la imagen, RGB realiza la conversión de la imagen a color real, NDVI representa el índice de vegetación, NDWI representa el índice de agua, NDSI representa el índice de suelo, todos estos procedimientos son visibles en el mapa principal y sirve para obtener datos referentes a la cubierta terrestre representada en este caso por la imagen satelital.



La barra de navegación:



Muestra información referente a la banda que se está visualizando en el mapa principal, además de la ubicación en la que está almacenada la misma en la computadora.

El margen de información:



Se visualiza el archivo header actualmente cargado en el mapa principal, este archivo brinda información del tamaño de la imagen, tamaño del píxel, coordenadas geográficas de la esquina superior izquierda, etc.

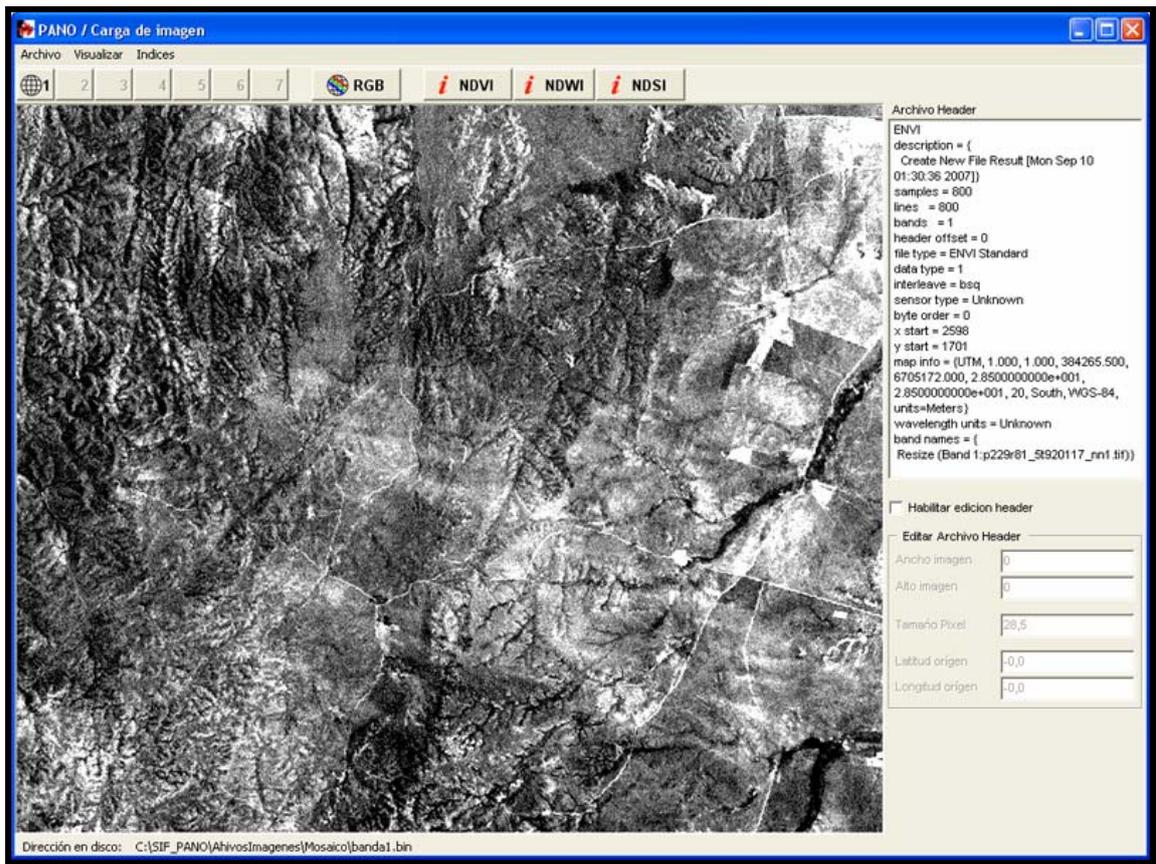
Más abajo se observa la edición de archivo header, esto sirve en caso de que no se pueda o no se tenga el header del archivo, en este caso se debe pasar el ancho y alto de la imagen en píxeles de manera exacta, tamaño del píxel de la imagen en metros y las coordenadas de latitud y longitud de la esquina superior izquierda.

El mapa principal:

Aquí se visualiza todas las cargas de bandas y su posterior procesamiento.



Imagen de la interfaz con una de las bandas cargadas (banda 1) y la visualización de su correspondiente header.

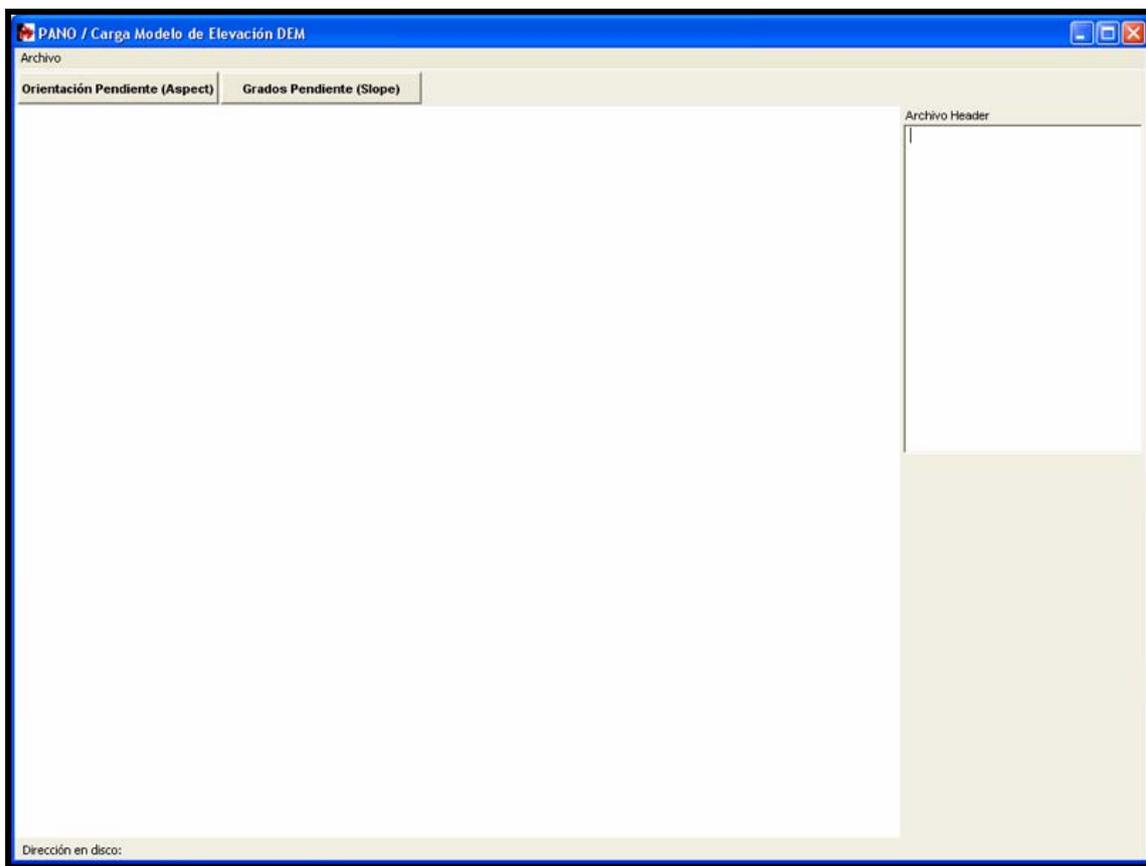


Luego de realizar la carga y de acciones de procesamiento de la imagen, se debe cargar la misma en el sistema por medio de la opción aceptar de la pestaña archivo, el sistema luego de esta acción preguntara que vista desea cargar dando la opción de RGB o algunas de las mascararas definidas. Esto será lo que se visualizara a la hora de realizar una simulación en el formulario principal del sistema.

FORMULARIO CARGA MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN - DEM

Desde aquí se realiza la carga del modelo digital de elevación en dos partes, en una de ellas se realiza la carga del archivo de pendiente y en la otra se realiza la carga del archivo de orientación de la misma.

La interfaz del formulario se presenta a la vista del usuario de la siguiente manera:



El mismo se divide en cinco sectores fundamentales bien definidos:

El menú principal:

Desde aquí se tiene acceso a las opciones de carga de los diferentes archivos, tanto del archivo de inclinación de la pendiente (slope), como del archivo de orientación de la pendiente (aspect).

Archivo

La barra de herramientas:

Una vez cargado uno o ambos archivos la barra de herramienta se activa dejando que el usuario pueda visualizar uno u otro archivo en el mapa principal haciendo clic en el botón correspondiente, estas opciones no tienen efecto si no se han cargado los archivos.

Orientación Pendiente (Aspect)

Grados Pendiente (Slope)

Barra de navegación:

Desde aquí se visualiza el nombre del archivo que actualmente se encuentra cargado en el mapa principal del formulario, además de mostrar la dirección física de dicho archivo en el disco de la PC.

Dirección en disco: C:\SIF_PANO\aspecto y orientacion\aspect.bin

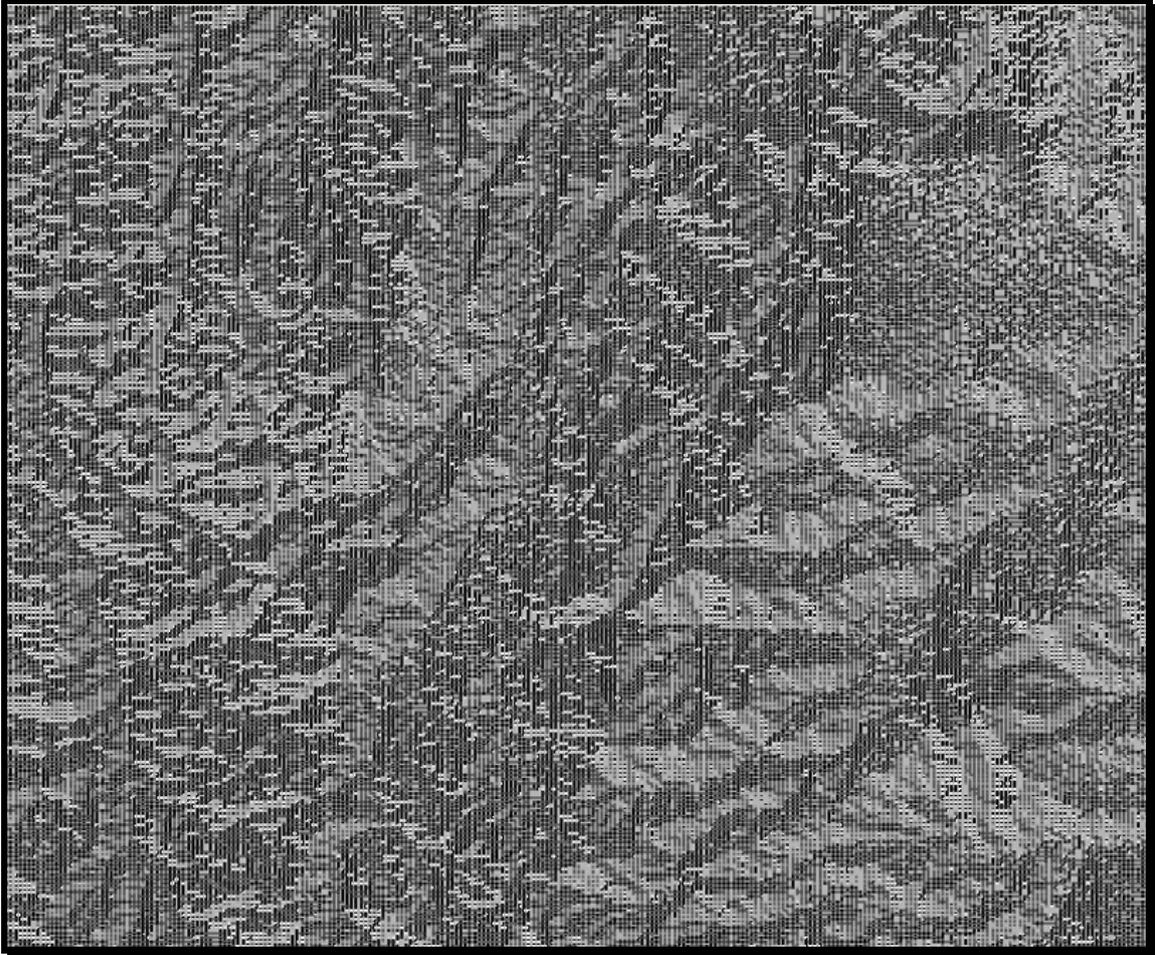
Margen de información:

Como ya explicamos en el formulario de carga de imagen, este margen muestra información referente al header del archivo actualmente visible en el mapa principal, donde se puede encontrar información referente al mismo.

```
Archivo Header
{
  ENVI
  description = {
    Create New File Result [Mon Sep 17
17:26:00 2007]}
  samples = 800
  lines = 800
  bands = 1
  header offset = 0
  file type = ENVI Standard
  data type = 4
  interleave = bsq
  sensor type = Unknown
  byte order = 0
  x start = 2896
  y start = 1954
  map info = {UTM, 1.000, 1.000,
383801.959, 6705284.477,
2.8500000000e+001,
2.8500000000e+001, 20, South, WGS-84,
units=Meters}
```

Mapa principal:

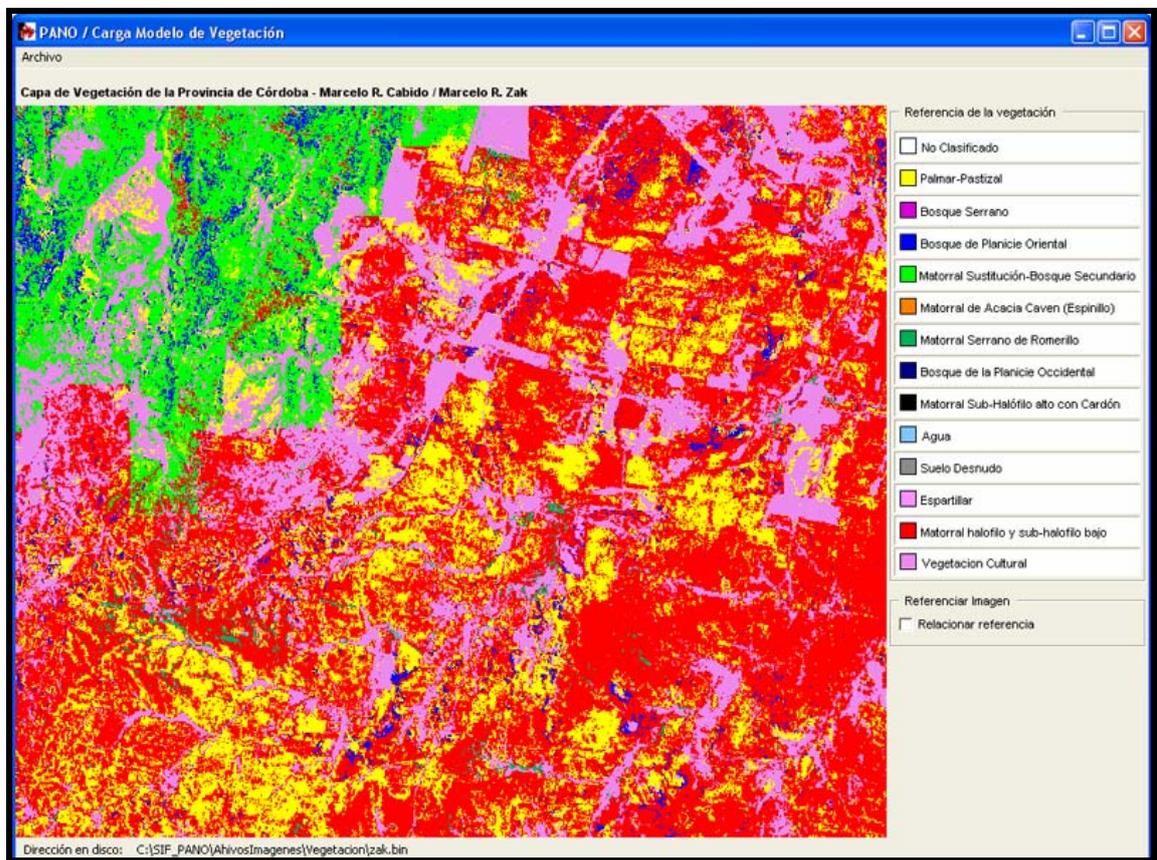
Aquí se visualiza la carga que se lleve a cabo como muestra la siguiente figura, en este caso se visualiza el archivo dependiente.



FORMULARIO CARGA CAPA DE VEGETACIÓN

Desde aquí se realiza la carga de la capa de vegetación que se va a utilizar en la simulación del incendio.

La interfaz del formulario se presenta a la vista del usuario de la siguiente manera:



El mismo se divide en cuatro sectores fundamentales bien definidos:

El menú principal:

Desde la pestaña archivo se tiene acceso a la función de carga del archivo, nuevamente se debe realizar esto en dos pasos, primero se carga el archivo binario y luego el sistema le pedirá que ingrese el archivo header del mismo.

Archivo



Barra de navegación:

Muestra información sobre el archivo que se encuentra cargado en el mapa principal, además de la dirección física donde se encuentra almacenado dentro de la PC.

Dirección en disco: C:\SIF_PANO\ArchivosImágenes\Vegetacion\zak.bin

Margen de información:

En este caso en el margen de información se visualiza las referencias de la vegetación del archivo que esta cargado en el mapa principal. El usuario puede referenciar esta información con la imagen de dos maneras, una es de manera visual ya que el archivo de vegetación tiene aplicado una mascara en colores para resaltar las distintas cubiertas vegetales que componen la imagen y cuya referencia esta en este margen, la otra manera es por medio de la acción del Mouse, es decir, activando la opción relacionar referencia en la parte inferior del margen se puede visualizar el tipo de vegetación donde se encuentra apuntado el cursor en el mapa principal.

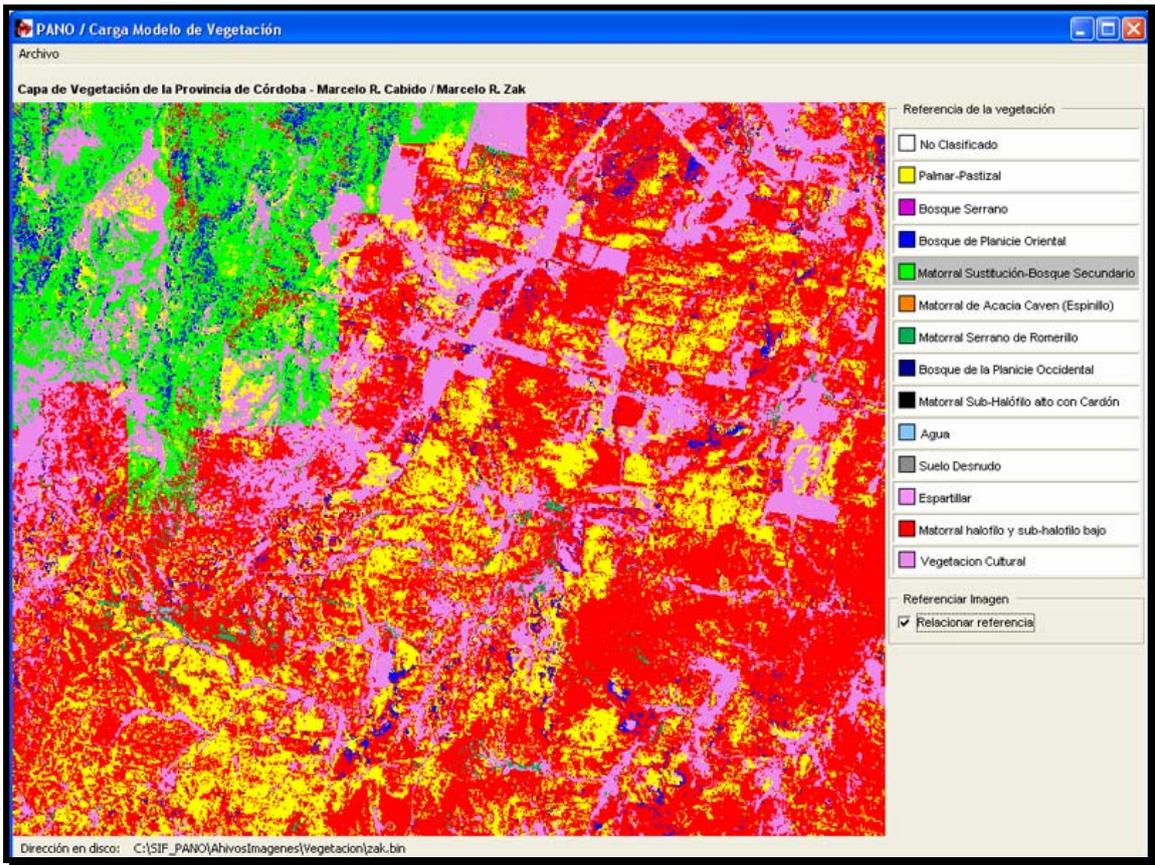


Referencia de la vegetación

<input type="checkbox"/>	No Clasificado
<input checked="" type="checkbox"/>	Palmar-Pastizal
<input checked="" type="checkbox"/>	Bosque Serrano
<input checked="" type="checkbox"/>	Bosque de Planicie Oriental
<input checked="" type="checkbox"/>	Matorral Sustitución-Bosque Secundario
<input checked="" type="checkbox"/>	Matorral de Acacia Caven (Espinillo)
<input checked="" type="checkbox"/>	Matorral Serrano de Romerillo
<input checked="" type="checkbox"/>	Bosque de la Planicie Occidental
<input checked="" type="checkbox"/>	Matorral Sub-Halófilo alto con Cardón
<input checked="" type="checkbox"/>	Agua
<input checked="" type="checkbox"/>	Suelo Desnudo
<input checked="" type="checkbox"/>	Espartillar
<input checked="" type="checkbox"/>	Matorral halofilo y sub-halofilo bajo
<input checked="" type="checkbox"/>	Vegetacion Cultural

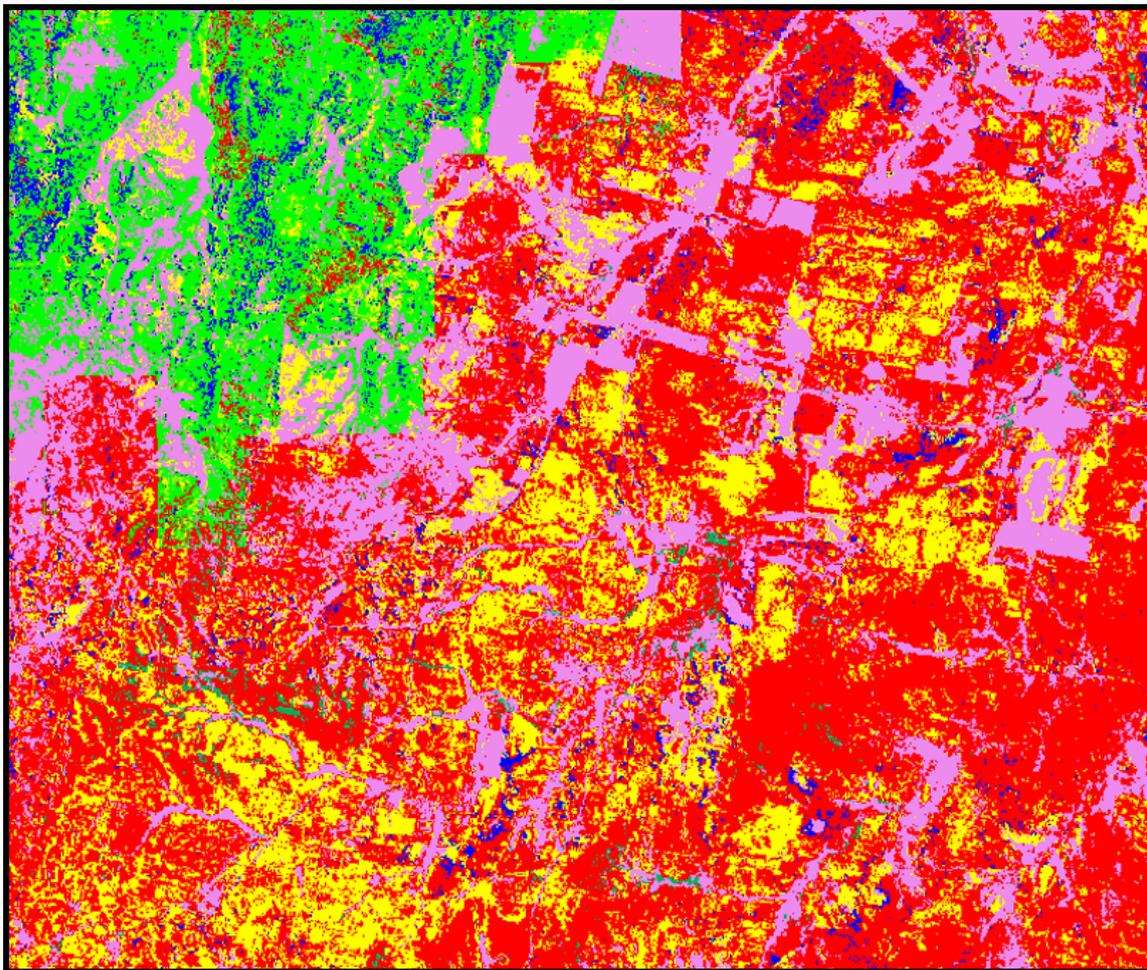
Referenciar Imagen

Relacionar referencia



Mapa principal:

Aquí se visualiza el archivo que se haya cargado.



APÉNDICE C

Ejemplo de corrida del Sistema

En este apéndice incluiremos un documento que relata un ejemplo de la corrida del sistema. El mismo comienza realizando una simulación sin herramientas de ataque, y termina con la misma simulación pero agrega ejemplos de la aplicación de las herramientas de ataque.

En este documento mostraremos un ejemplo de una corrida del sistema.

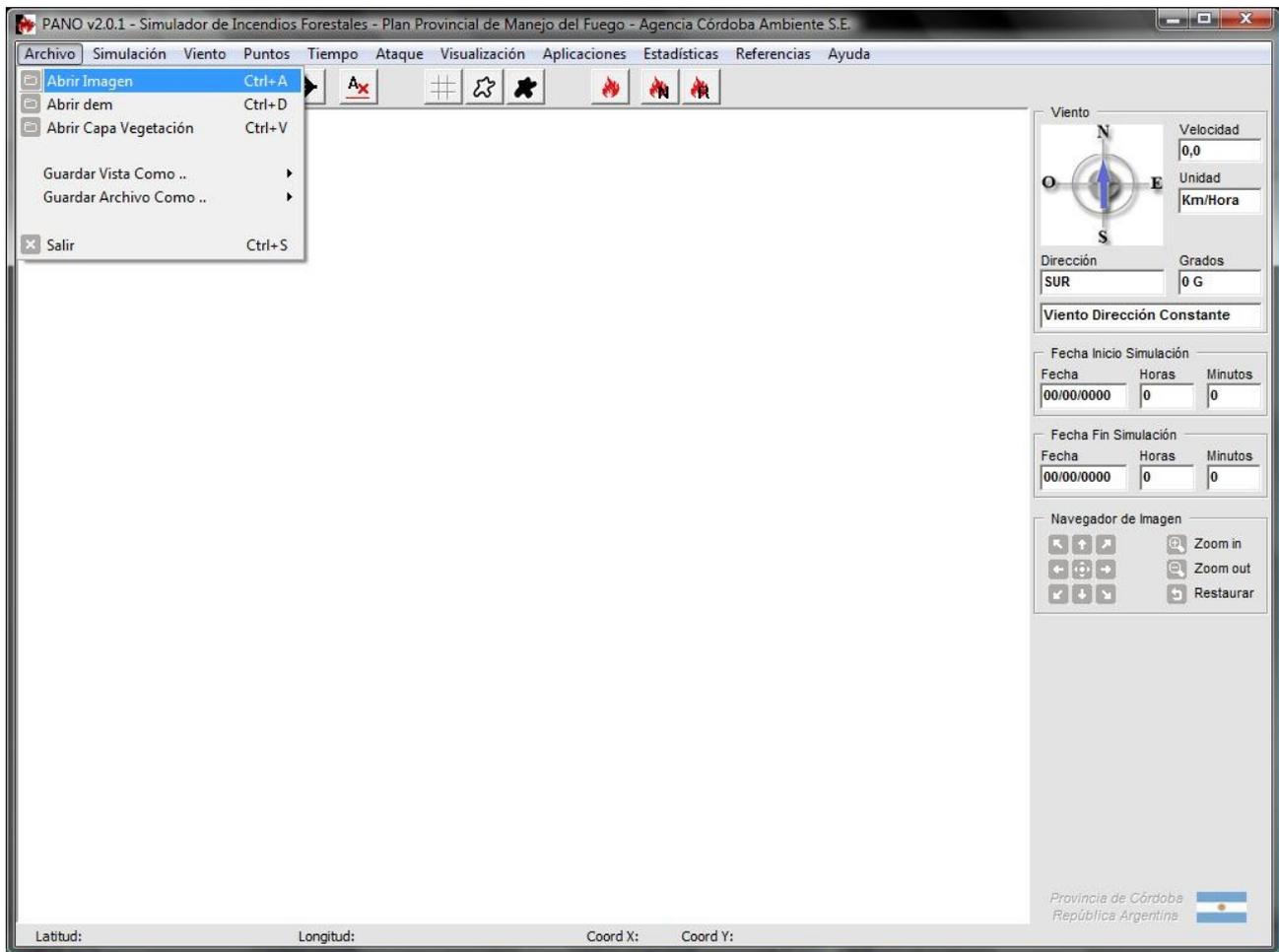


Este es el icono para iniciar el sistema, una vez ejecutado nos preguntará si aceptamos las condiciones de uso del sistema.

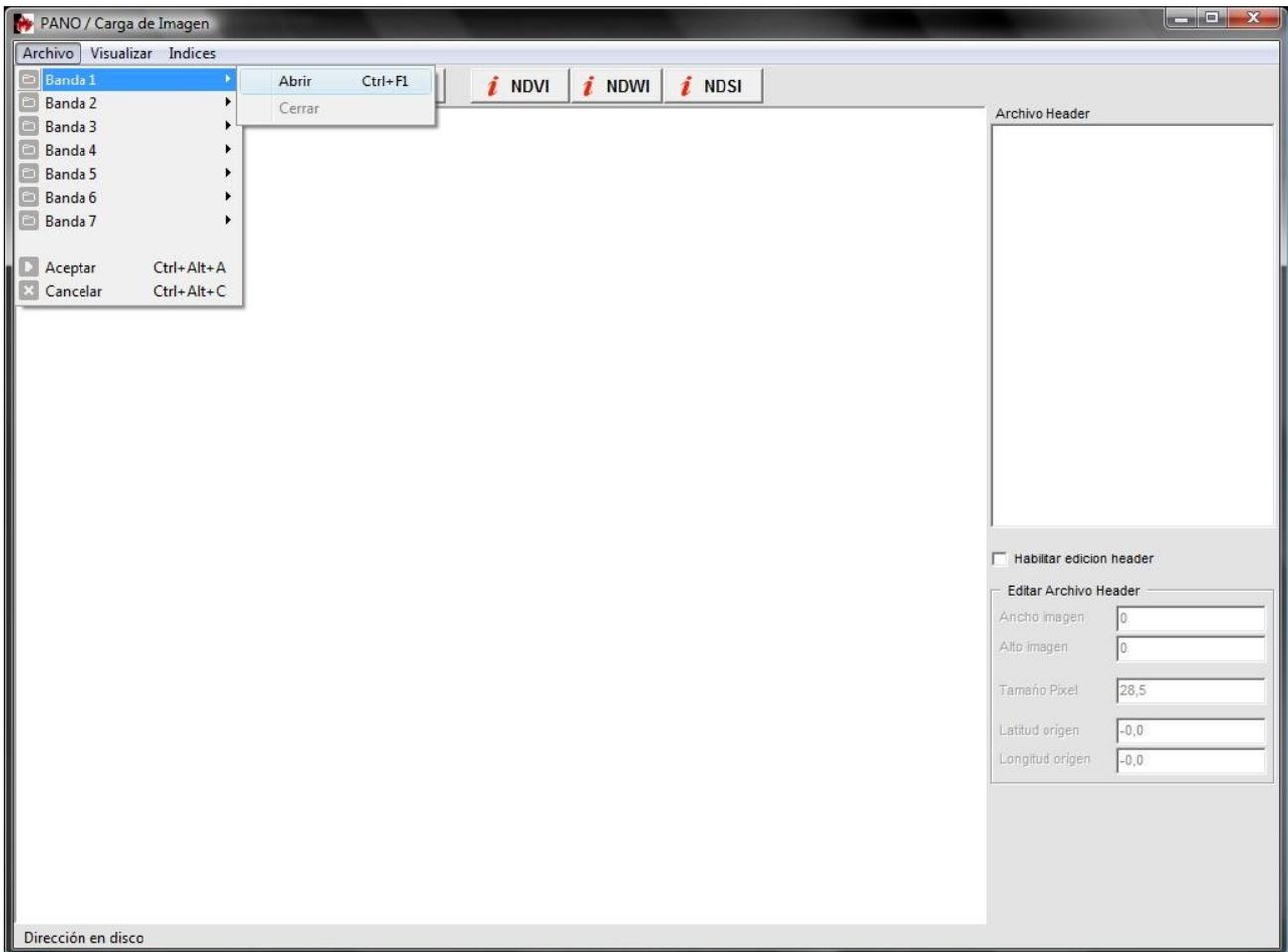


Si no aceptamos el sistema automáticamente se cierra. En caso contrario se abre el formulario principal del sistema.

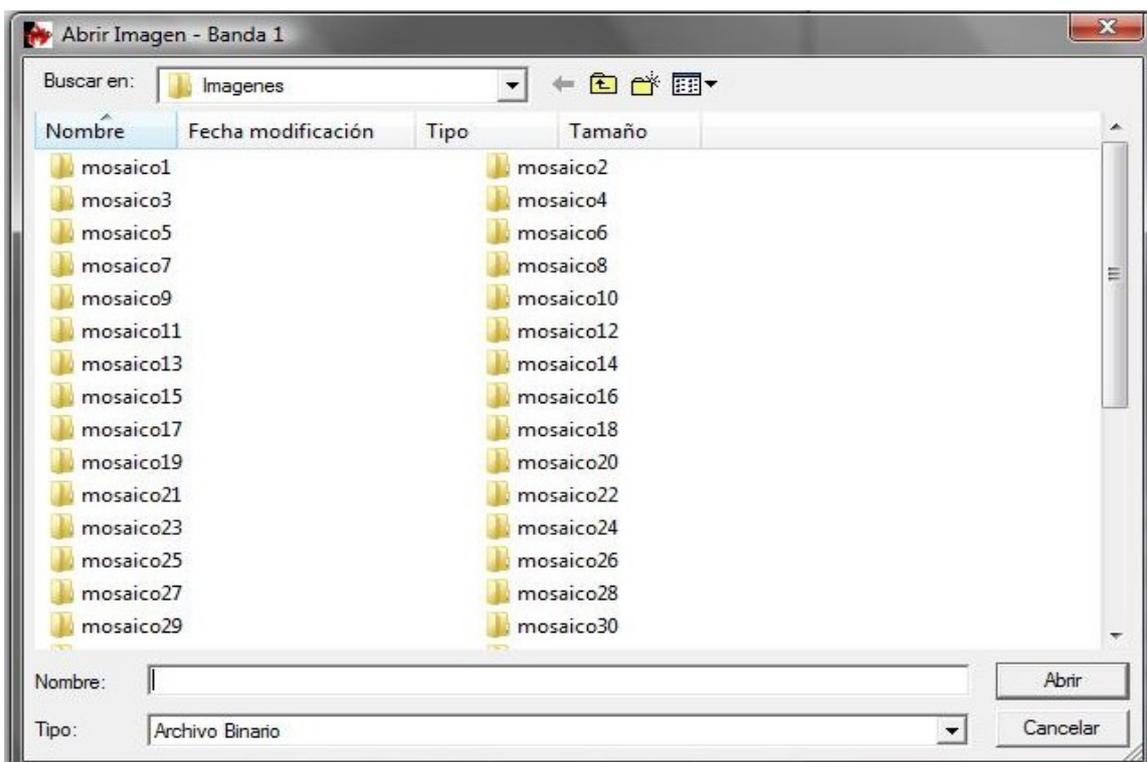
Comenzaremos cargando las variables para realizar la simulación. A continuación vamos al menú principal Archivo -> Abrir Imagen, para proceder a cargar las bandas asociadas a la imagen de la escena que el usuario quiere simular.



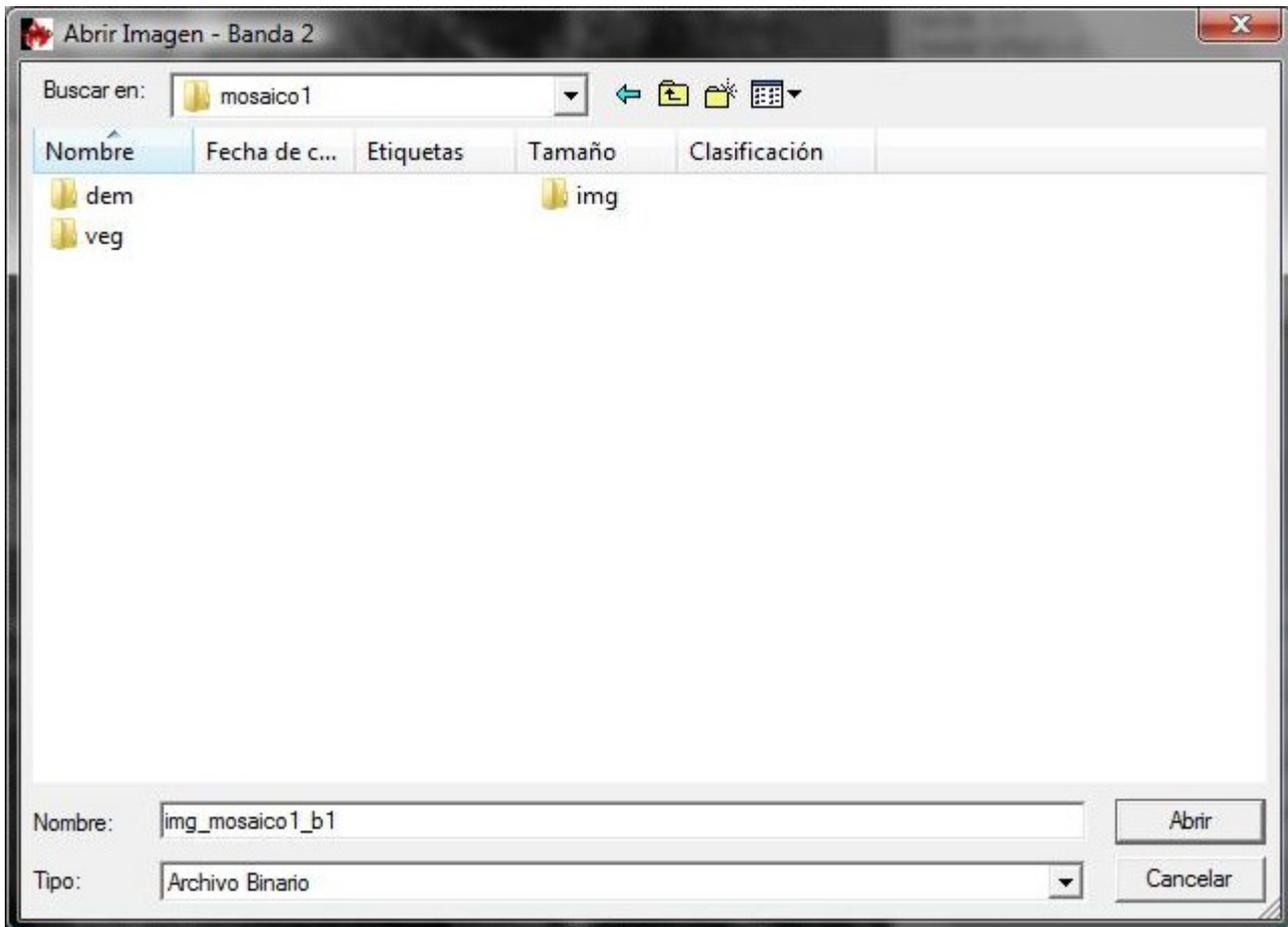
Podemos empezar a cargar las bandas, mostraremos el ejemplo para la banda 1, para las demás bandas es análogo. Vamos al menú Archivo → Banda1 → Abrir para buscar donde se encuentra la banda 1 del mosaico que queremos simular.



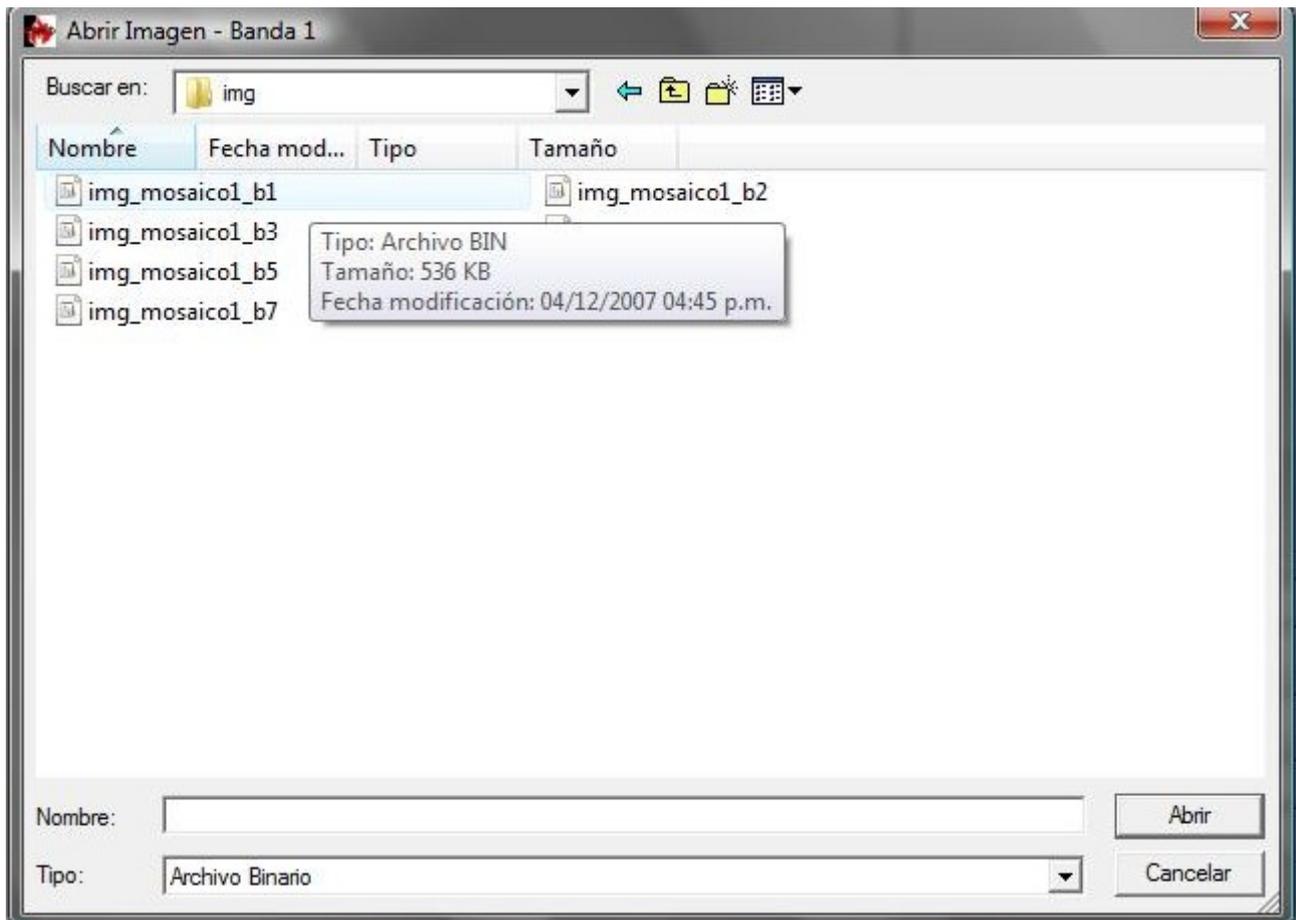
A continuación se nos abrirá un diálogo que muestra los mosaicos que tiene el sistema, para poder simular. Nuestro ejemplo lo haremos con el mosaico 1, por lo tanto abriremos este.



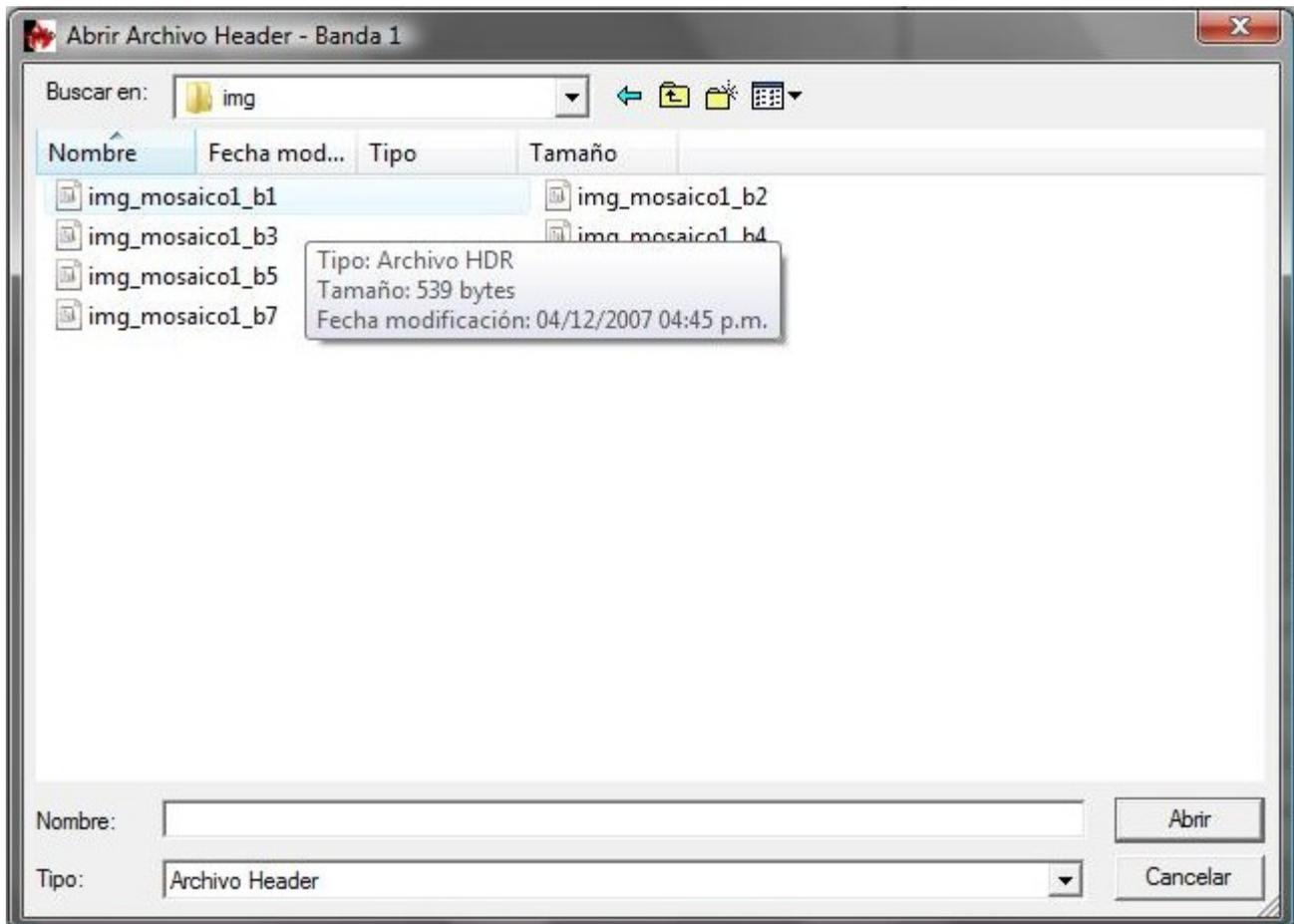
Dentro de las carpetas de cada mosaico hay 3 carpetas, una que contiene las bandas llamada img, otra que contiene el dem (llamada también dem) y veg que tiene la capa de vegetación, todas asociadas al mismo mosaico.



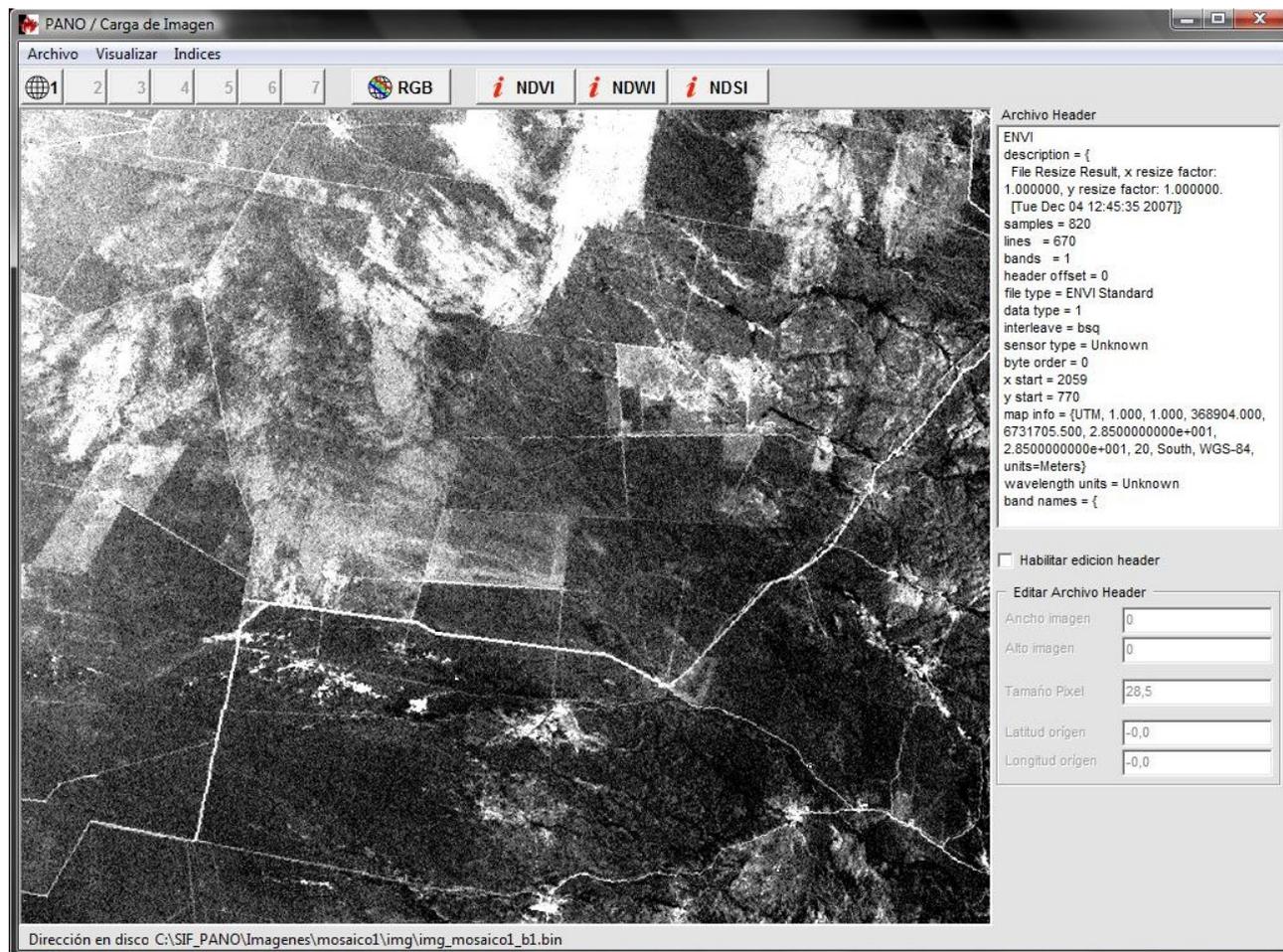
Ahora nos tenemos que posicionar en la carpeta img, y si estamos cargando la banda 1, nuestro archivo a abrir es: img_mosaico1_b1, para posteriormente cargarlo en el sistema.



Seguidamente nos preguntará por el archivo header que esta ubicado en la misma carpeta con el mismo nombre.

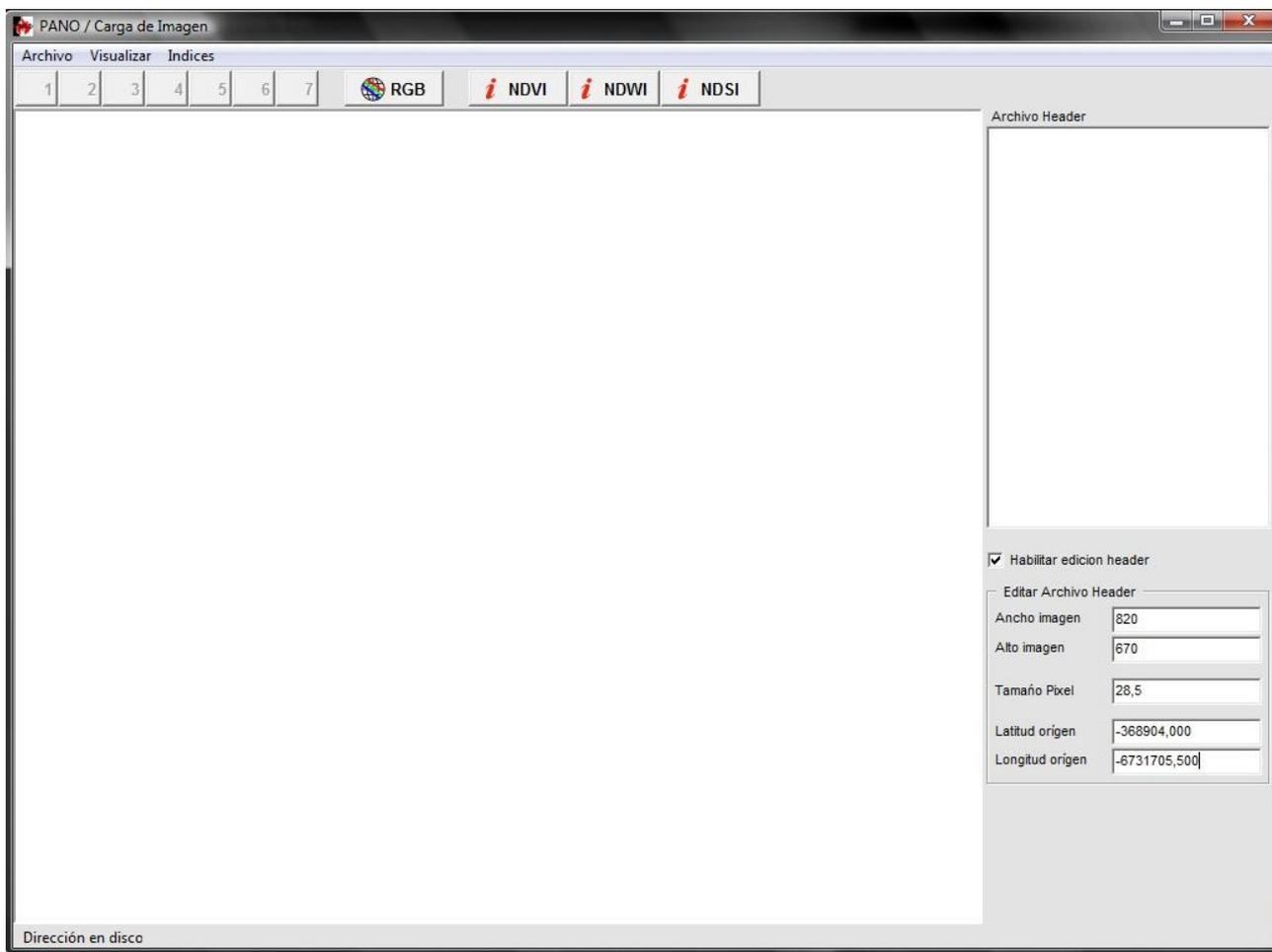


Una vez aceptado nos mostrará la banda en el formulario:



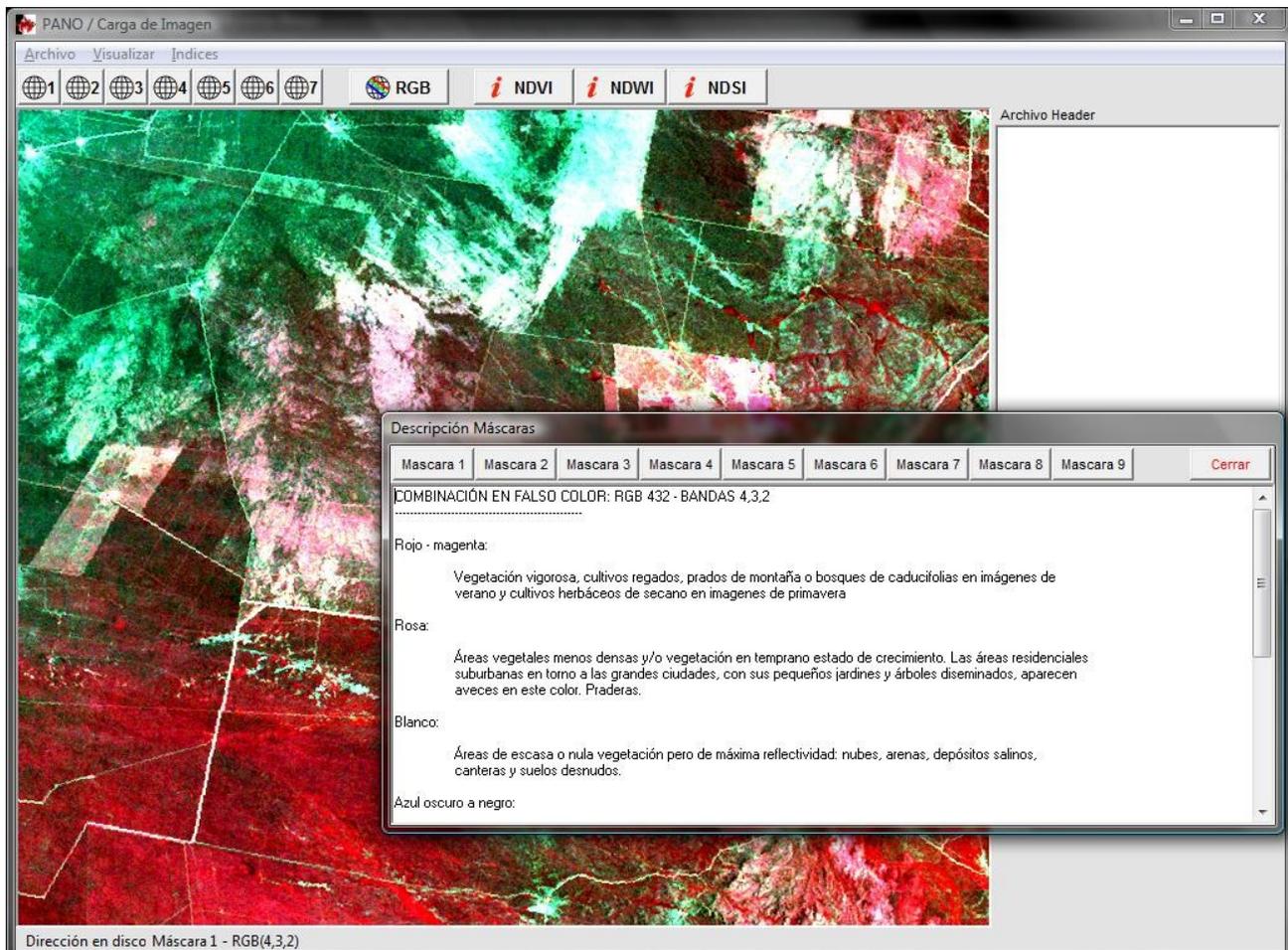
Cargamos las 7 bandas con sus respectivos headers.

El botón habilitar edición header, es para no cargar el archivo del header, sino mas bien introducirlo a mano, pero hay que habilitarlo antes que se cargue el archivo binario de la imagen e introducir los valores previamente de cargar la banda. Como por ej:



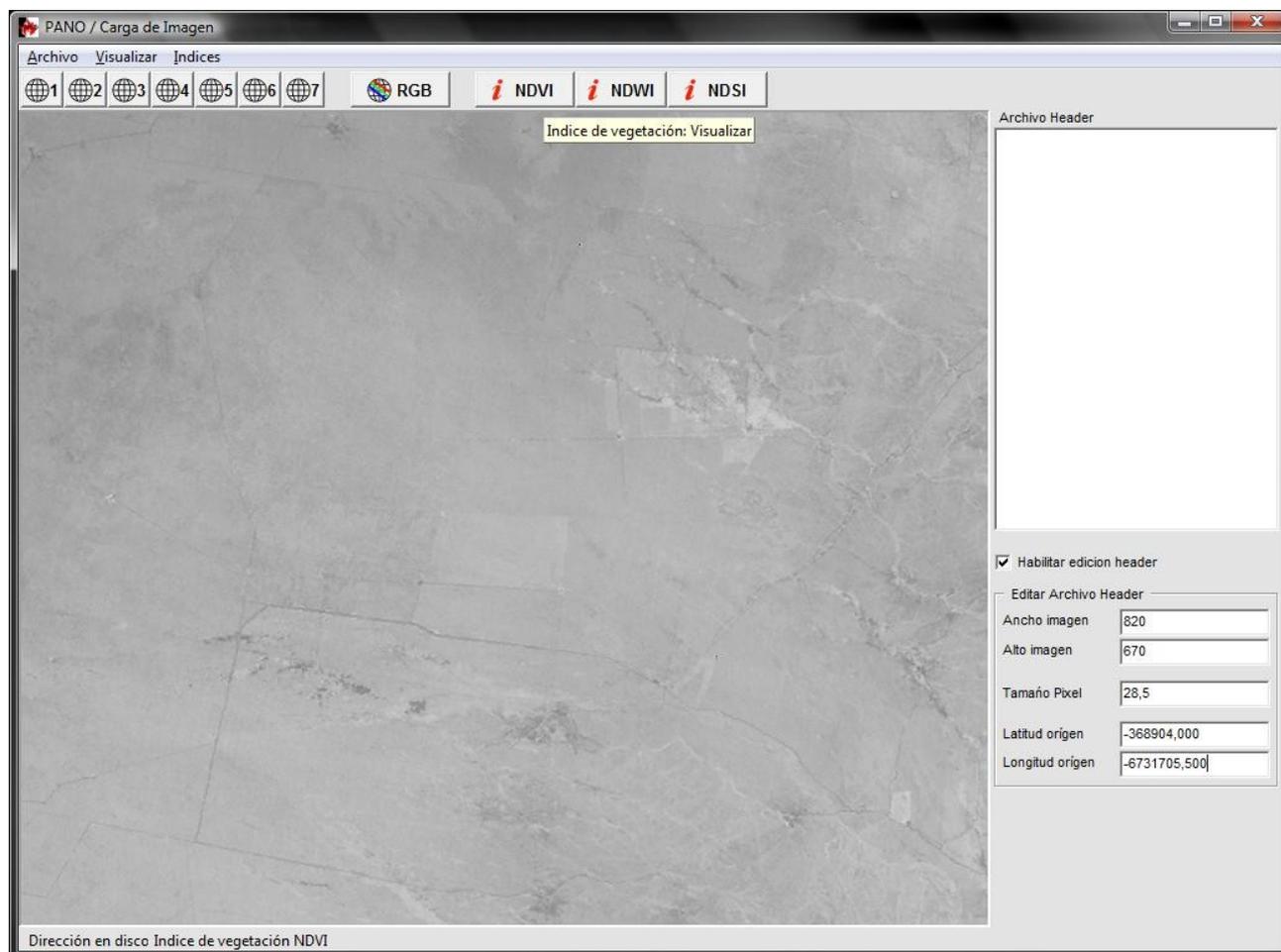
Luego si se puede cargar los archivos binarios de las bandas.

Es posible visualizar 9 mascarás, cuya descripción están en el sistema. A continuación mostraremos la visualización de la máscara 1, que se puede acceder mediante el menú Visualizar → Mascara → Mascara 1, junto con su descripción que se puede acceder mediante el menú Visualizar → Mascara → Descripción Mascaras

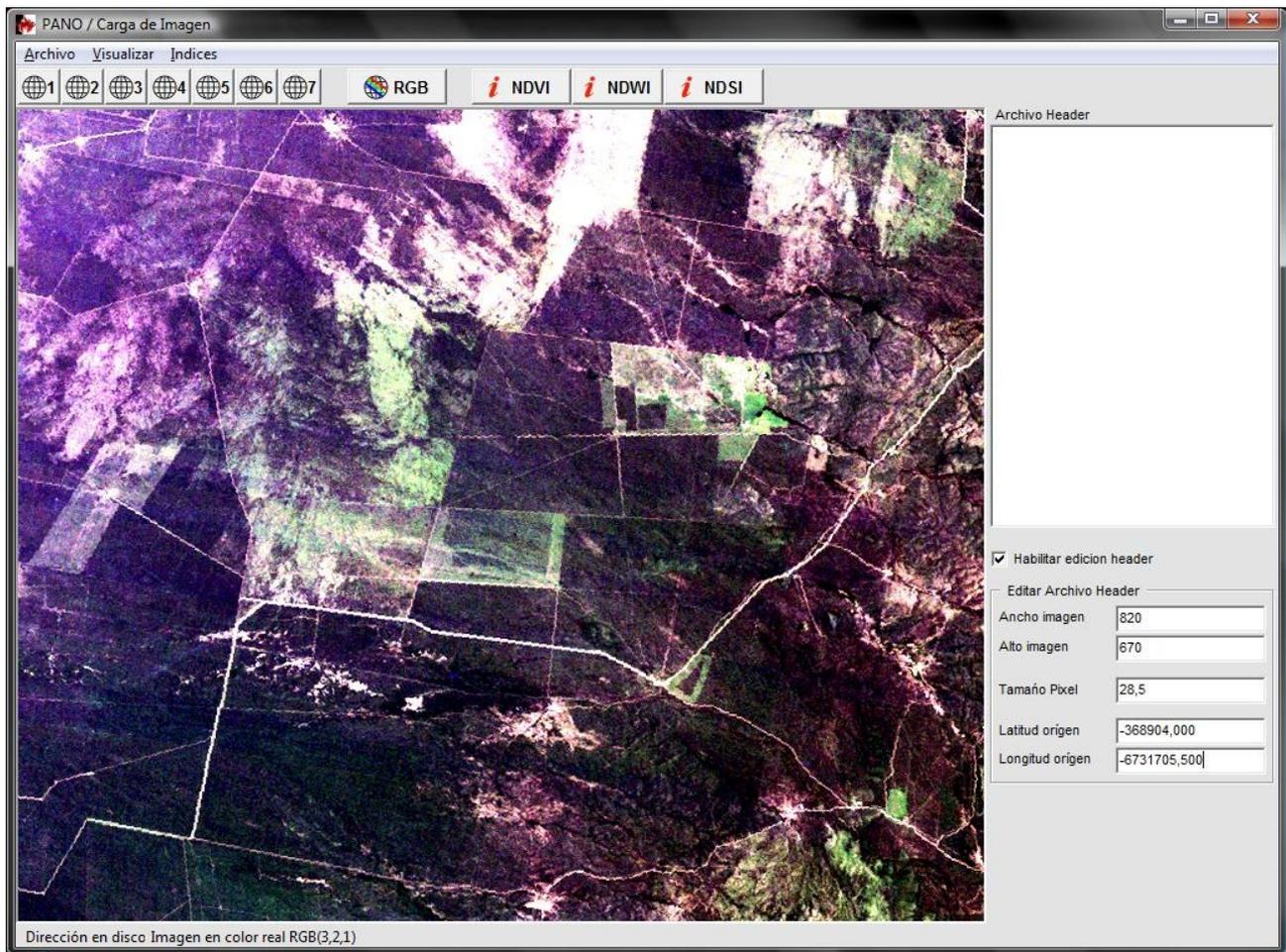


También es posible visualizar los 3 índices de vegetación, de agua y de suelo, mediante el menú Índices o mediante los botones en la barra de herramientas.

Como por ejemplo el índice de vegetación:



Por último se puede visualizar la máscara en color real, mediante el boton RGB.



Si vamos al menú Archivo → Cancelar entonces las bandas que cargamos no se cargarán en el sistema, pero en cambio si vamos a Aceptar nos preguntará sobre que máscara queremos simular, esta se cargará en el formulario principal para poder visualizarse mientras se simula.

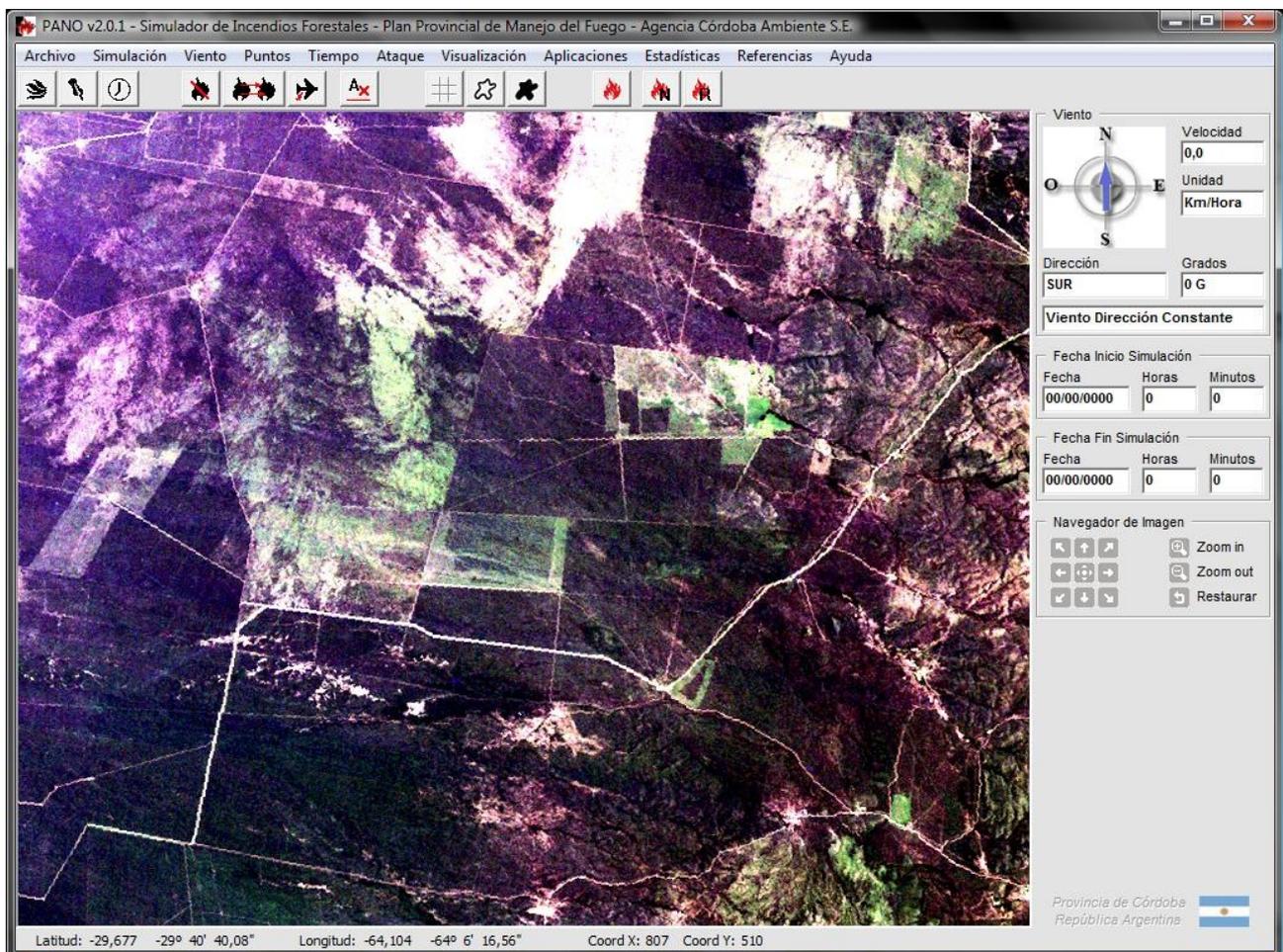
Formato de Imagen a Cargar

Imagen RGB Mascara 2 Mascara 4 Mascara 6 Mascara 8

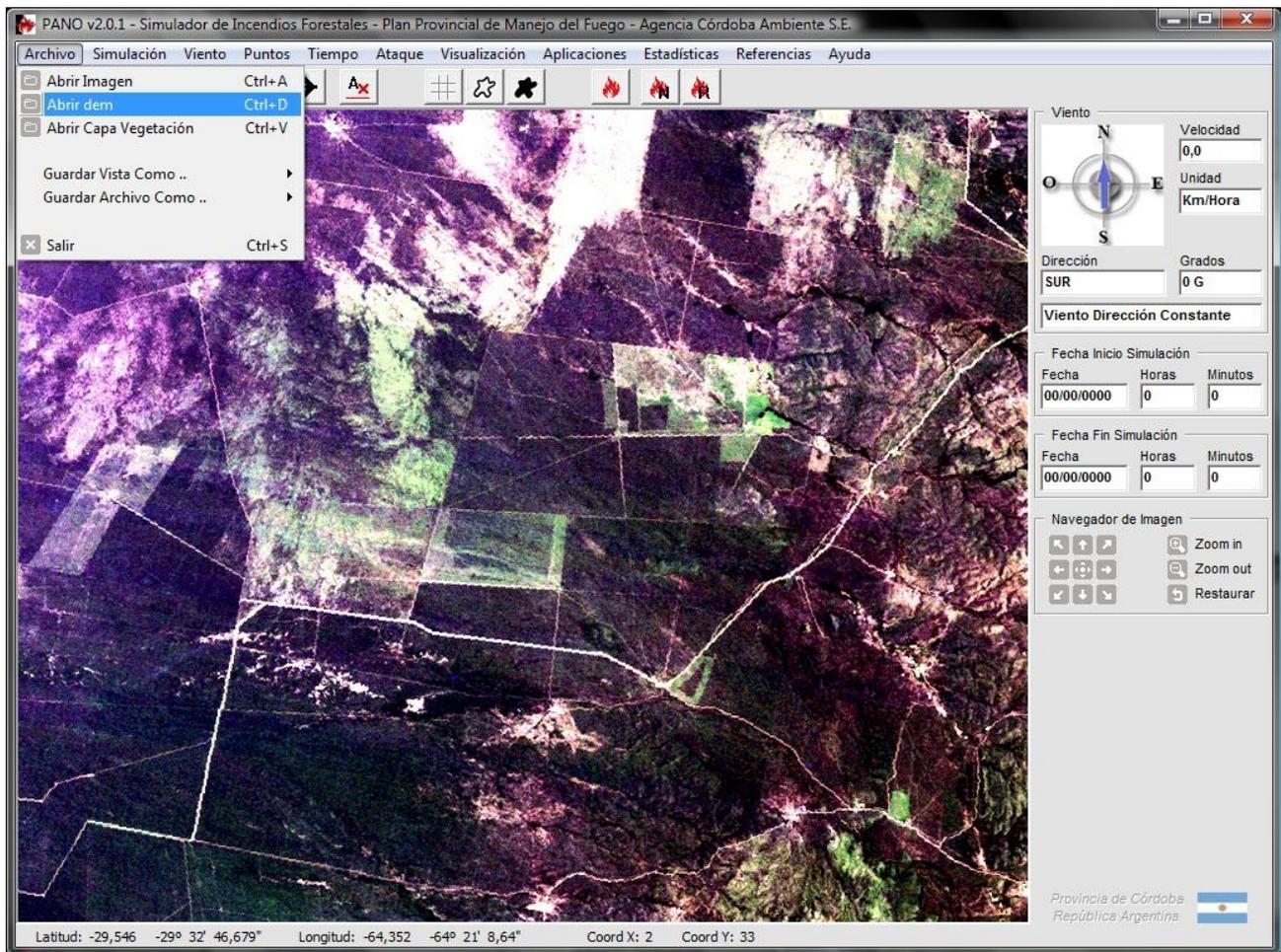
Mascara 1 Mascara 3 Mascara 5 Mascara 7 Mascara 9

Aceptar Cancelar

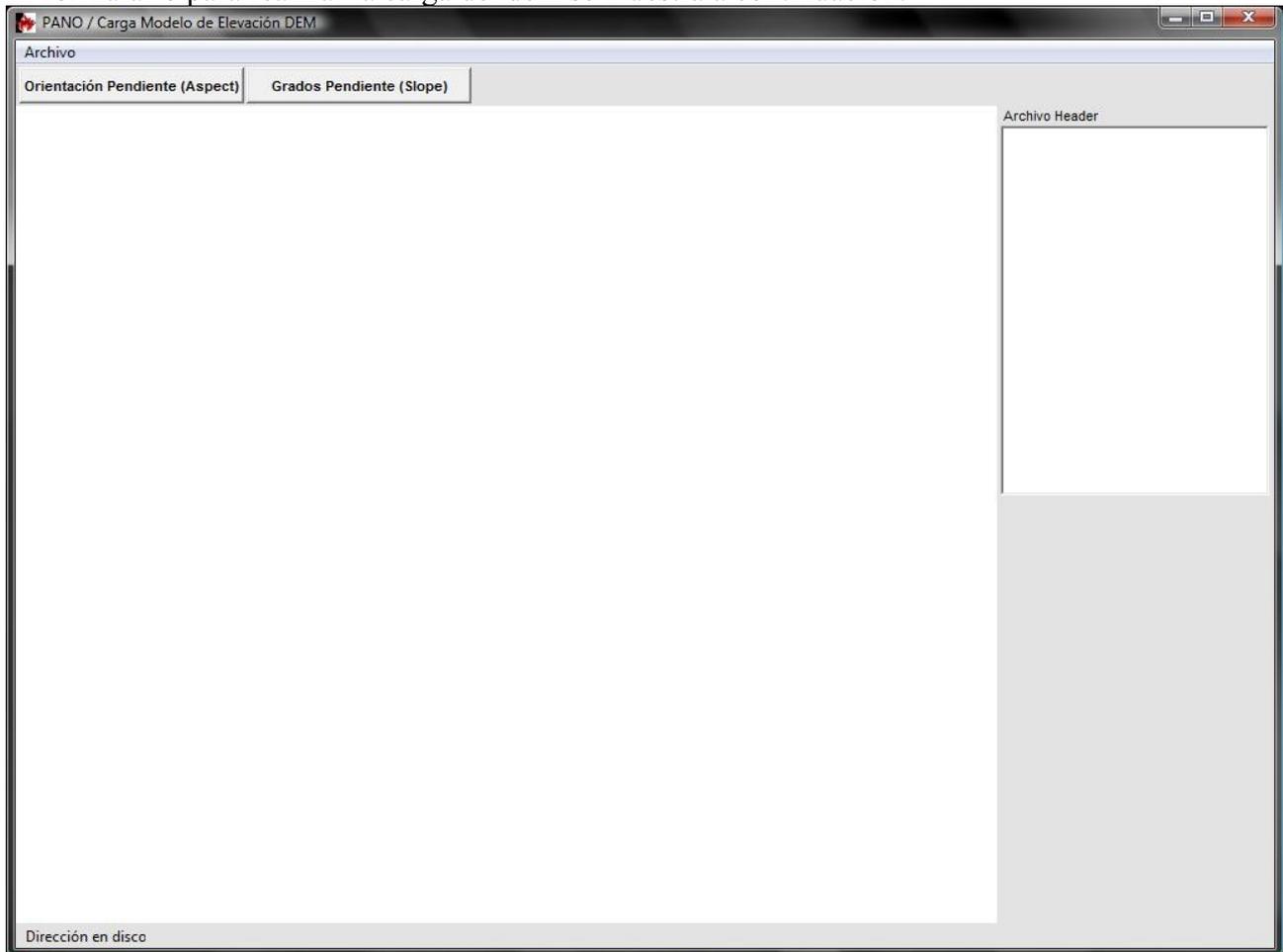
Simularemos sobre la máscara RGB, por lo tanto el formulario principal del sistema queda como:



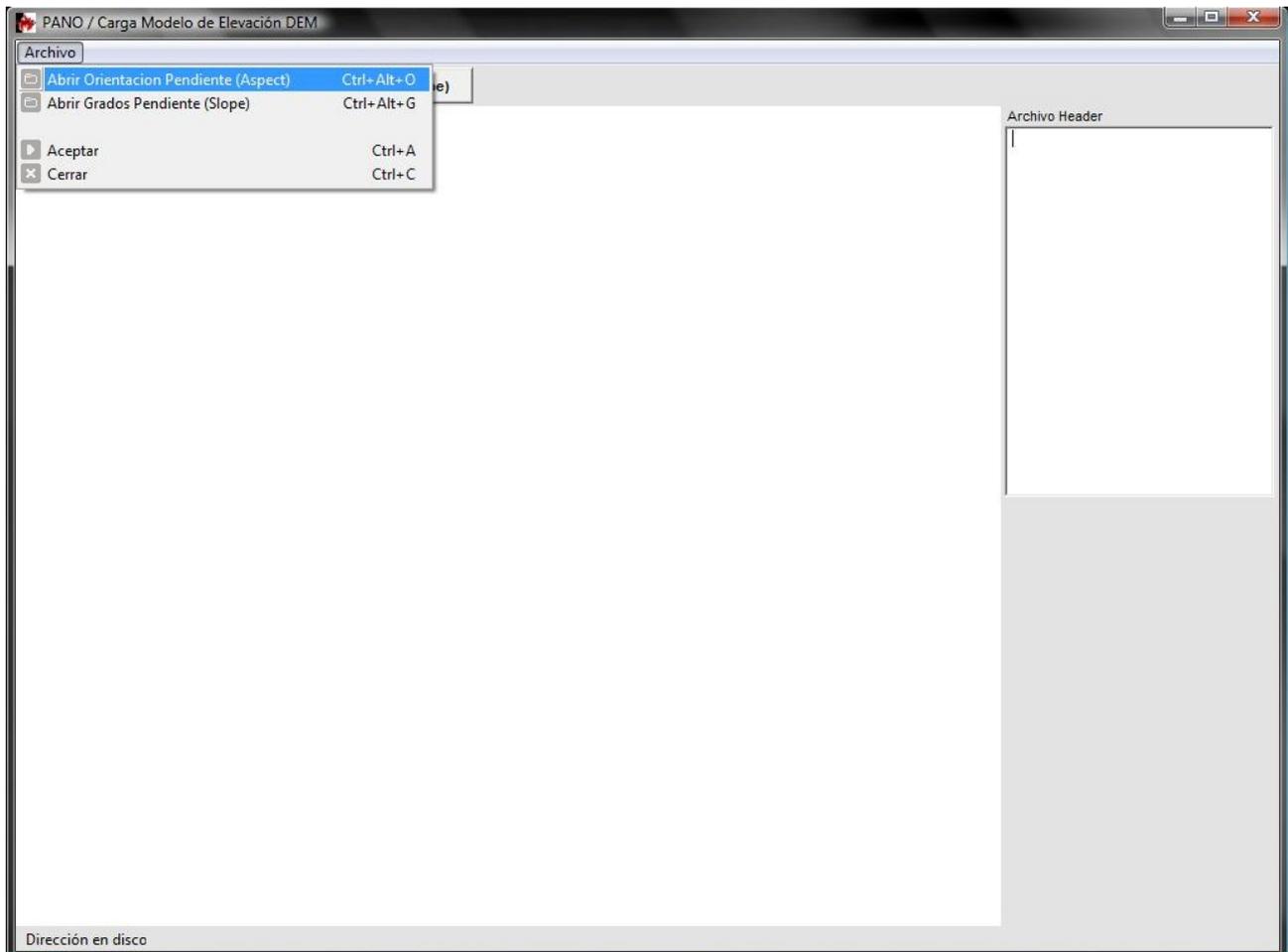
A continuación cargaremos el dem relacionado con el mosaico 1, donde habiamos elegido realizar el ejemplo de la simulación, abriremos el formulario mediante el menú Archivo → Abrir dem



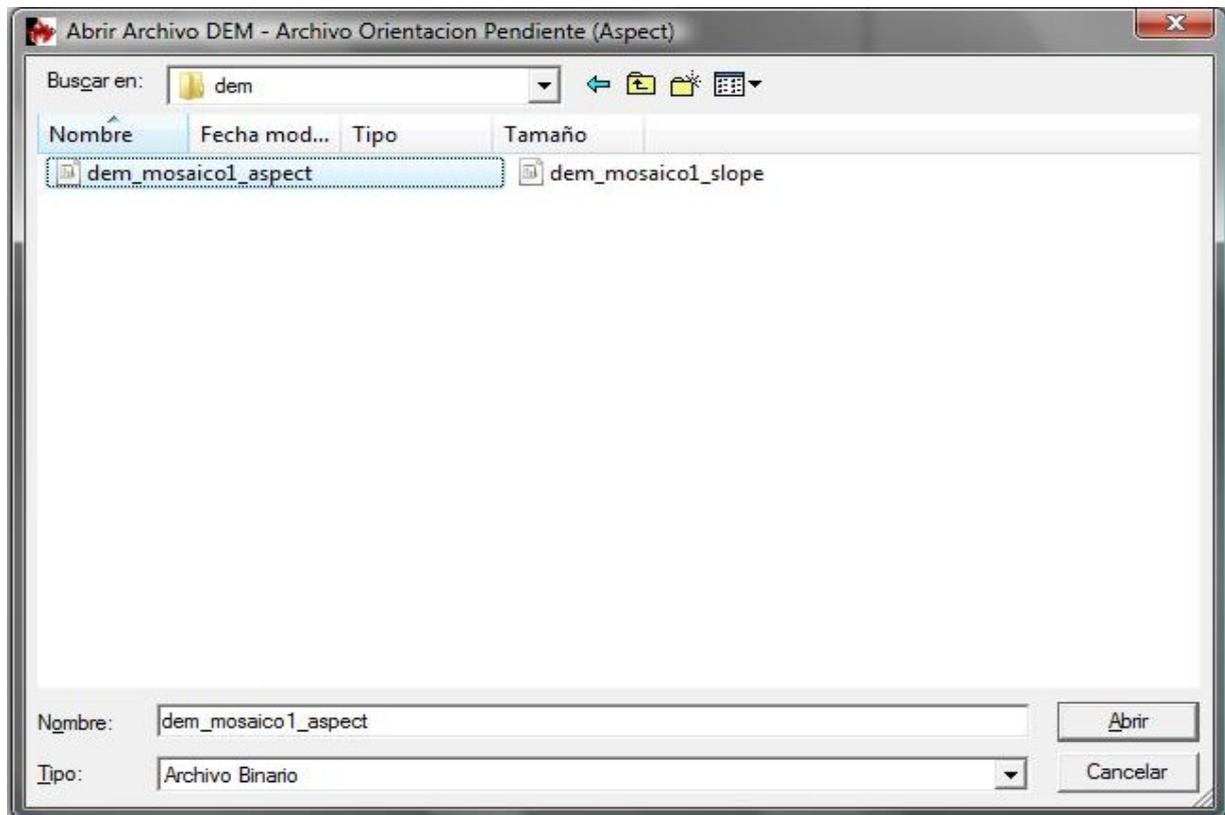
El formulario para realizar la carga del dem se muestra a continuación:



Mediante el menú archivo, podemos cargar el slope y el aspect del mosaico relacionado.

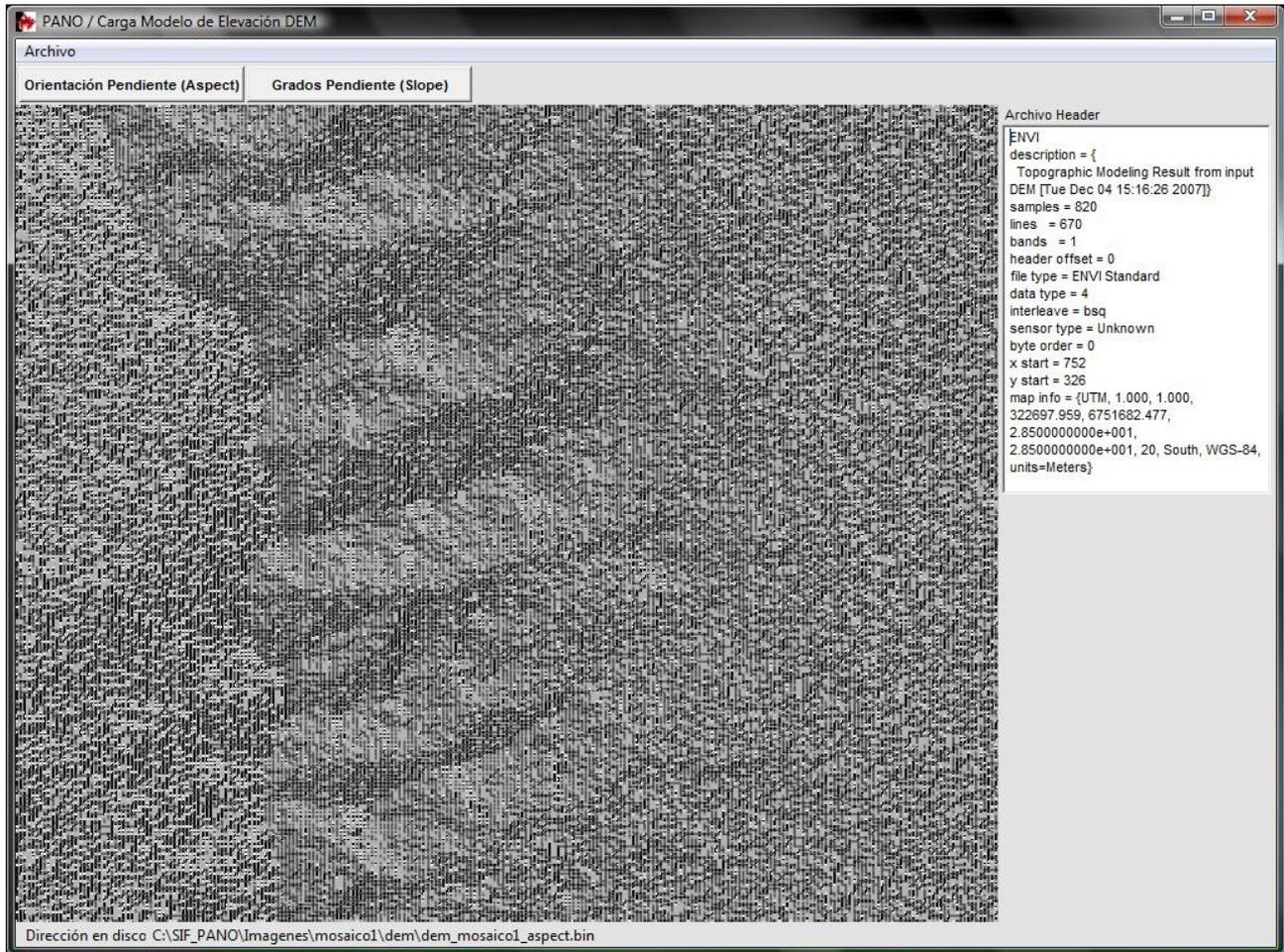


Mostraremos el ejemplo del aspect, el slope es similar. Vamos al menú Archivo → Abrir Orientacion Pendiente (Aspect), hacemos click, de nuevo se nos abre la ventana de diálogo para buscar donde esta el archivo del aspect. Nos posicionamos en la carpeta dem, dentro de mosaico1, y elegimos el archivo nombrado aspect.



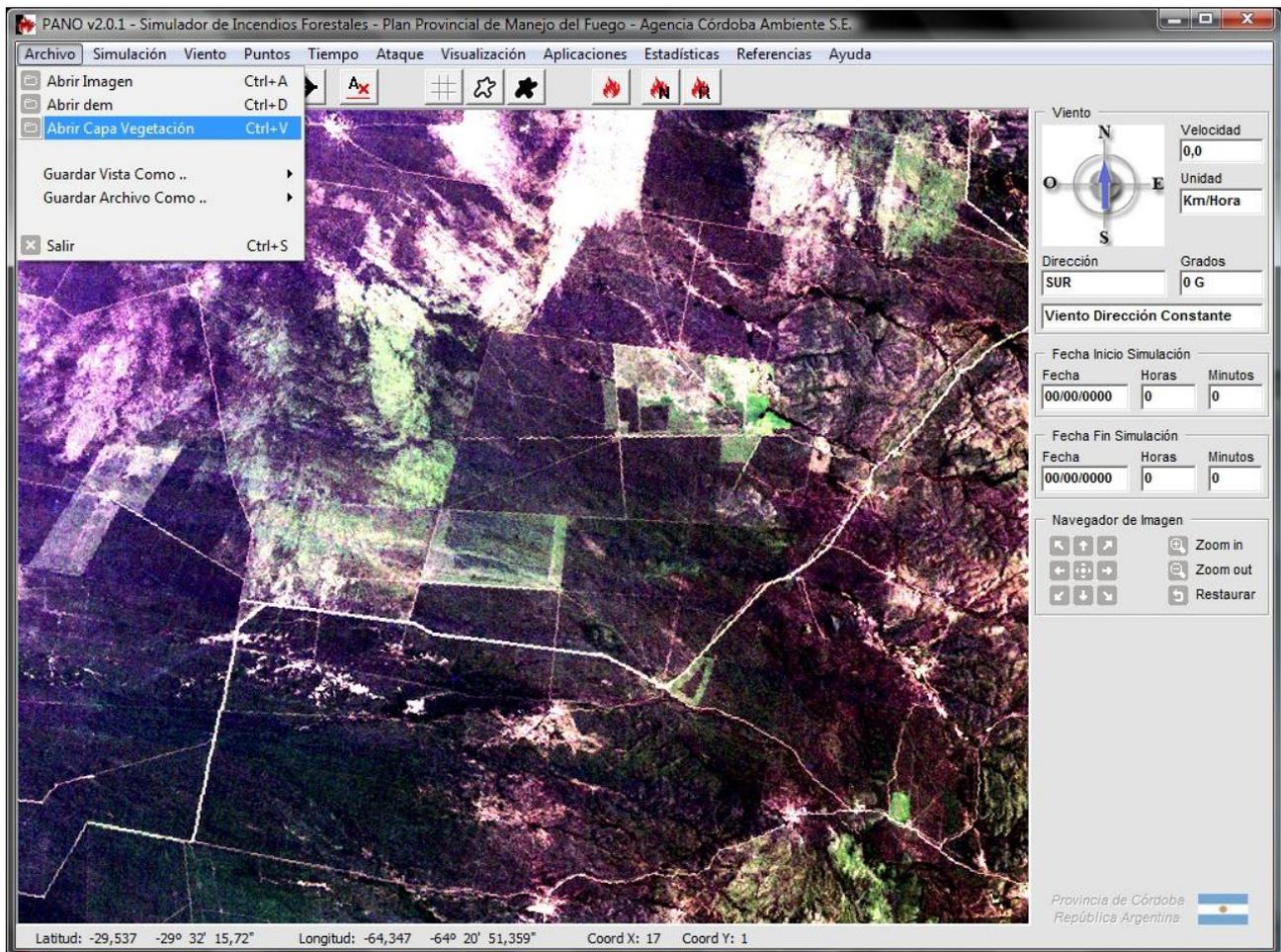
Posteriormente nos pedirá el archivo header.

El formulario visualiza el aspect que recién cargamos, como se muestra a continuación:

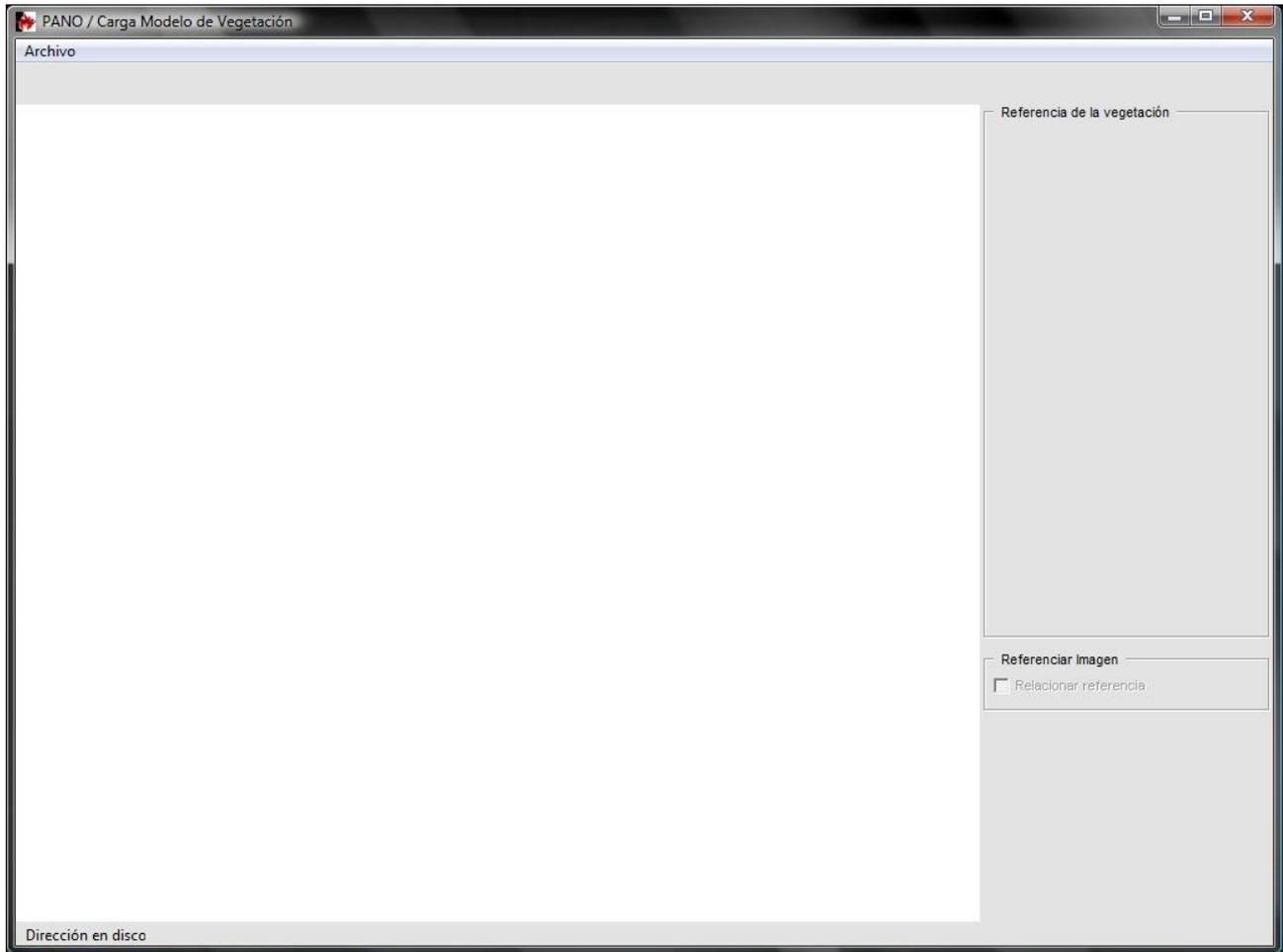


Mediante los 2 botones de la barra de herramientas podemos visualizar el aspect y el slope. Si vamos al menú tenemos la opción cerrar, que no cargará el aspect y el slope que abrimos en el sistema (esto puede ser útil en el caso de que nos hayamos equivocado en el archivo que queríamos cargar), si se quiere guardar ambas variables en el sistema se tiene que aceptar también en el menú Archivo → Aceptar, para nuestro ejemplo le damos Aceptar. Se cierra este formulario y vuelve al formulario principal mostrándonos la máscara que seleccionamos para la simulación.

Continuemos con la carga de la capa de vegetación, vamos al menú Archivo → Abrir Capa Vegetación

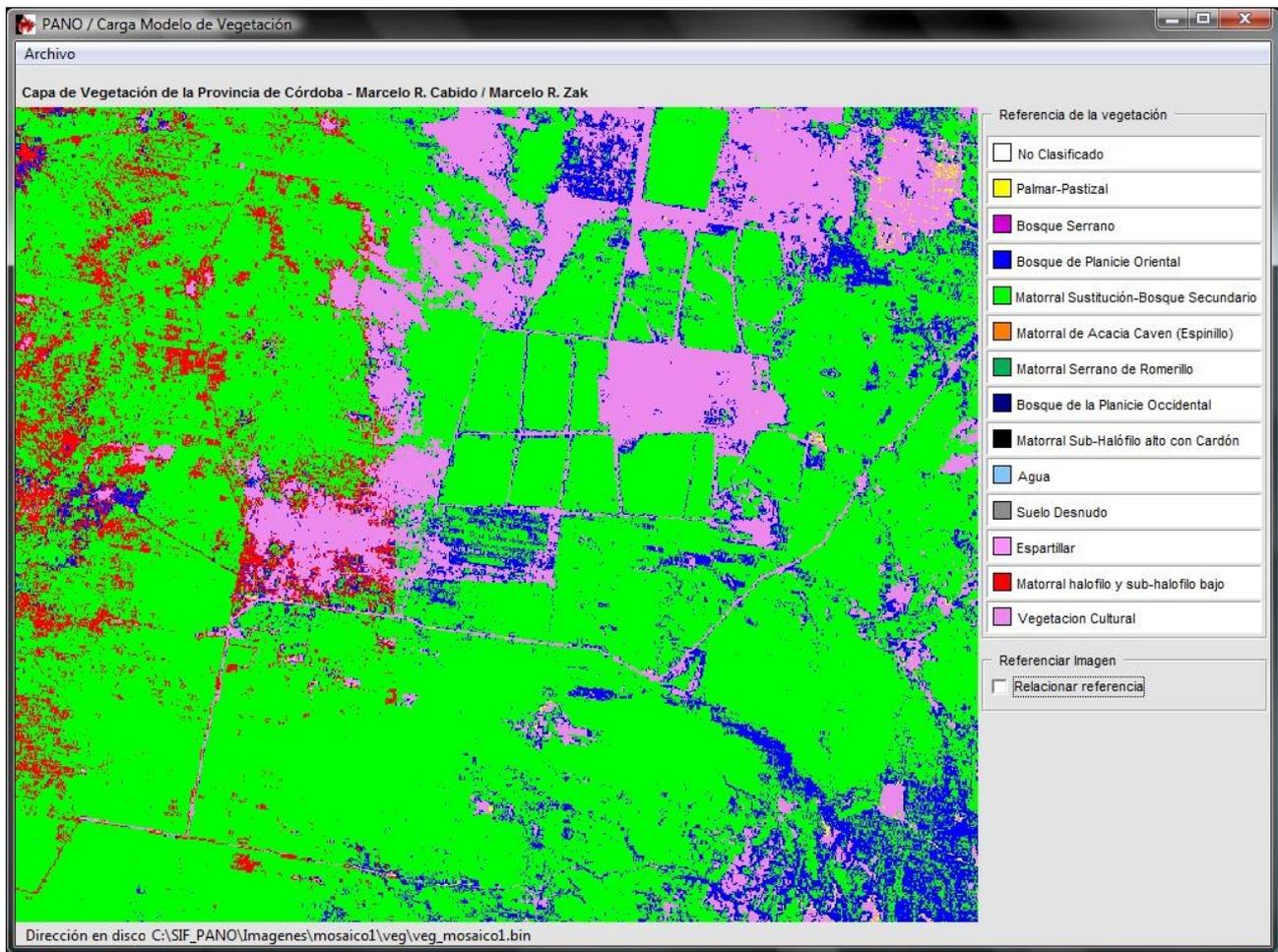


El formulario para la carga de la capa de vegetación es el que se muestra a continuación:

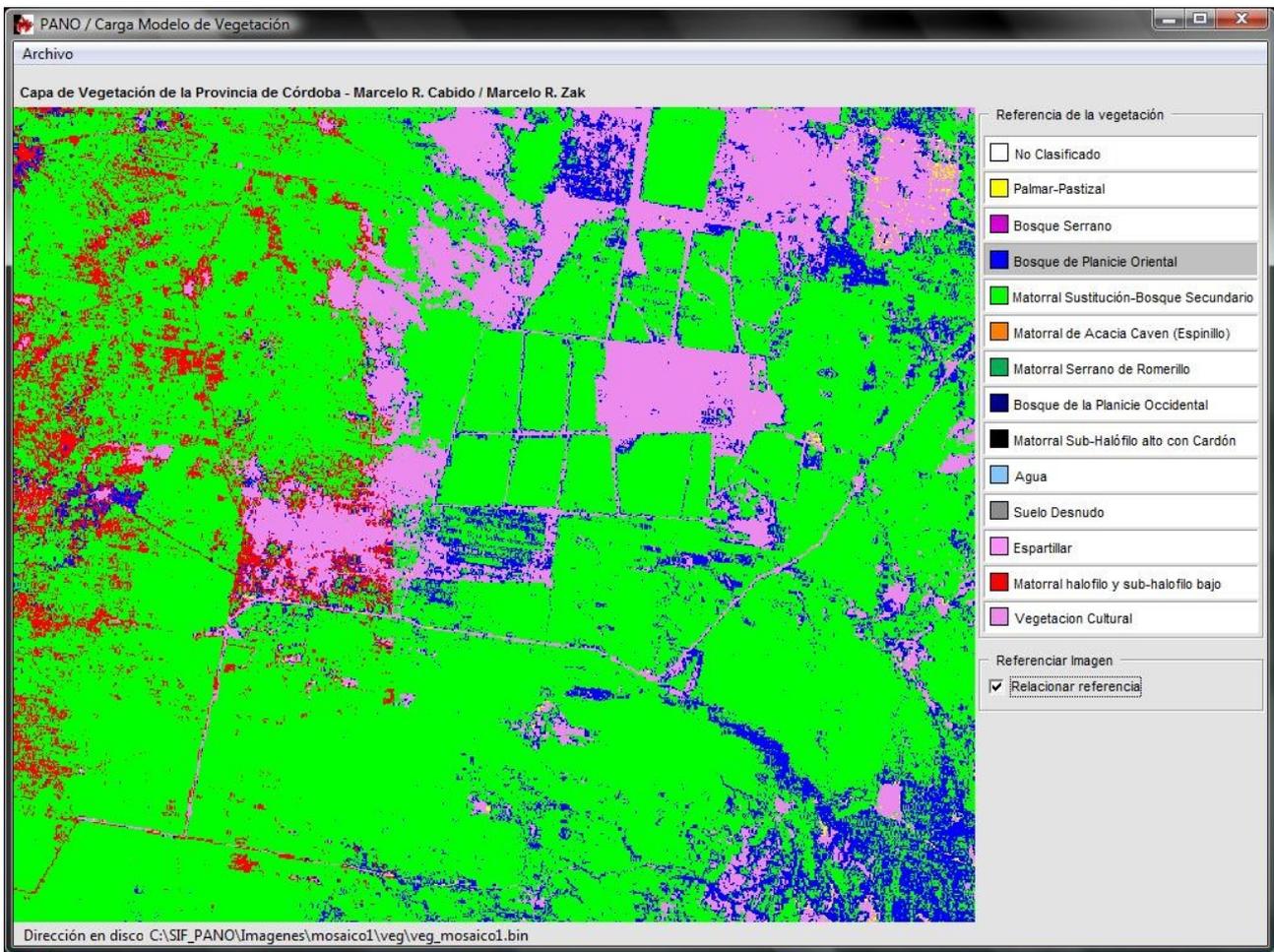


Vamos al menú Archivo → Abrir Capa de Vegetación, nos ubicamos en la carpeta veg, abrimos el archivo veg_mosaico1 con su header.

Luego el sistema visualiza la capa de vegetación recién cargada, con la referencia de los modelos de vegetación en el panel de la derecha.



Tiene la herramienta que relaciona el pixel donde se ubica el cursor con el modelo de vegetación asociado a éste, listado en el panel de los modelos de combustibles.



En éste caso el cursor esta en un pixel cuyo modelo de combustible es “Bosque de Planicie Oriental”.

También tiene 2 opciones en el menú Archivo, Cancelar cierra el formulario pero no carga la capa de vegetación en el sistema. Para tal fin tenemos que Aceptar, que es lo que haremos en nuestro ejemplo, para que quede guardada la variable. Cualquiera de estas 2 opciones cierra este formulario y vuelve al formulario principal.

Continuemos con el seteo de la variable del viento, el sistema tiene 3 opciones para su inicialización

- 1) Selección Rápida
- 2) Selección Grados
- 3) Editar Viento

Las 2 primeras son para el caso de que tengamos viento constante durante toda la simulación. Para hacer nuestro ejemplo interesante usaremos la 3ra opción, para mostrar como funciona, ya que las otras son fáciles.

Supongamos que en nuestro ejemplo tenemos 3 cambios en la dirección y velocidad del viento:

- 1) la simulación comienza con dirección NOR-ESTE y velocidad 10km/H
- 2) a las 3 horas de la simulación el viento cambia con dirección NORTE y velocidad 8 km/H
- 3) a la 7ma hora de la simulación el viento cambia con dirección ESTE y velocidad 8 km/H

Tengamos en cuenta que por definición la dirección del viento es de donde viene o de donde sopla, por lo tanto donde nace la flecha es la dirección, y la punta indica hacia donde va el viento. Nuestro ejemplo queda:

Dirección y Velocidad del Viento / Edición Viento Variable

Primer Cambio <input checked="" type="checkbox"/> Habilitar		Grados Cartesianos <input type="text" value="225"/>	Unidad de Medida <input checked="" type="radio"/> Km/Hora <input type="radio"/> Pies/Segundo <input type="radio"/> Millas/Hora <input type="radio"/> Metros/Segundo	Velocidad <input type="text" value="10,0"/> Nota: En caso de ingresar una fracción se debe colocar primero el numero entero, luego la coma seguido de los decimales correspondientes.	
Segundo Cambio <input checked="" type="checkbox"/> Habilitar		Grados Cartesianos <input type="text" value="180"/>	Unidad de Medida <input checked="" type="radio"/> Km/Hora <input type="radio"/> Pies/Segundo <input type="radio"/> Millas/Hora <input type="radio"/> Metros/Segundo	Velocidad <input type="text" value="8,0"/> Nota: En caso de ingresar una fracción se debe colocar primero el numero entero, luego la coma seguido de los decimales correspondientes.	
Tercer Cambio <input checked="" type="checkbox"/> Habilitar		Grados Cartesianos <input type="text" value="270"/>	Unidad de Medida <input checked="" type="radio"/> Km/Hora <input type="radio"/> Pies/Segundo <input type="radio"/> Millas/Hora <input type="radio"/> Metros/Segundo	Velocidad <input type="text" value="0,0"/> Nota: En caso de ingresar una fracción se debe colocar primero el numero entero, luego la coma seguido de los decimales correspondientes.	
Cuarto Cambio <input type="checkbox"/> Habilitar		Grados Cartesianos <input type="text" value="0"/>	Unidad de Medida <input checked="" type="radio"/> Km/Hora <input type="radio"/> Pies/Segundo <input type="radio"/> Millas/Hora <input type="radio"/> Metros/Segundo	Velocidad <input type="text" value="0,0"/> Nota: En caso de ingresar una fracción se debe colocar primero el numero entero, luego la coma seguido de los decimales correspondientes.	
Quinto Cambio <input type="checkbox"/> Habilitar		Grados Cartesianos <input type="text" value="0"/>	Unidad de Medida <input checked="" type="radio"/> Km/Hora <input type="radio"/> Pies/Segundo <input type="radio"/> Millas/Hora <input type="radio"/> Metros/Segundo	Velocidad <input type="text" value="0,0"/> Nota: En caso de ingresar una fracción se debe colocar primero el numero entero, luego la coma seguido de los decimales correspondientes.	

Como se muestra en el formulario tiene 2 botones, el de cancelar no carga en el sistema la variable del viento, en cambio Aceptar si guarda la variable en el sistema. De nuevo para nuestro ejemplo la guardaremos.

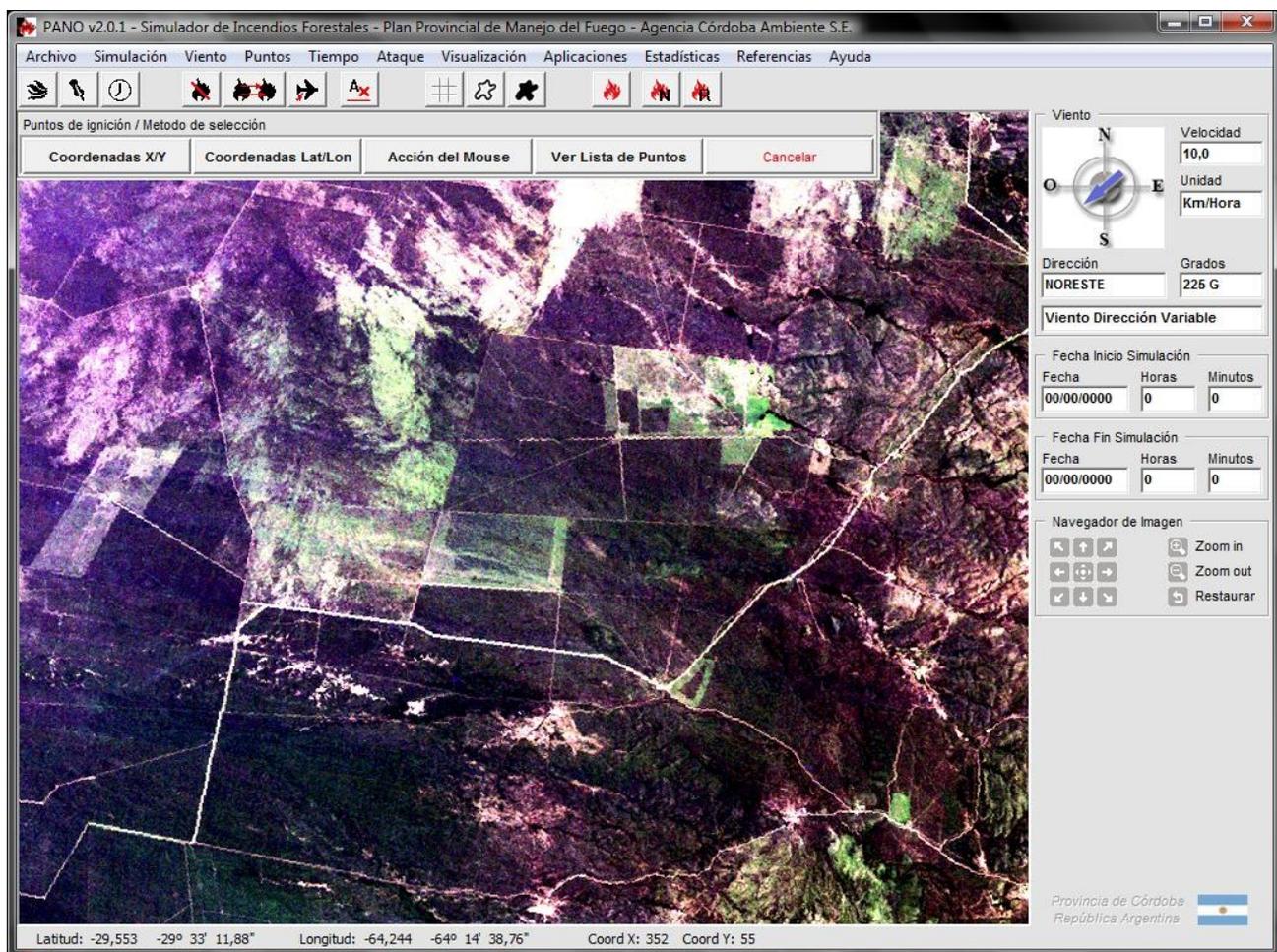
Ahora setearemos los puntos de ignición, el sistema tiene tres métodos para seleccionar los puntos, que también se puede usar una combinación de ellos, lo cual no es posible con la variable del viento.

- 1) Coordenadas X/Y
- 2) Coordenadas Lat/Lon
- 3) Acción del Mouse

-La primera opción es útil para seleccionar los puntos si sabemos las coordenadas cartesianas X, Y en la imagen cargada.

-La segunda opción es útil para seleccionar los puntos si sabemos las coordenadas latitud y longitud de los puntos.

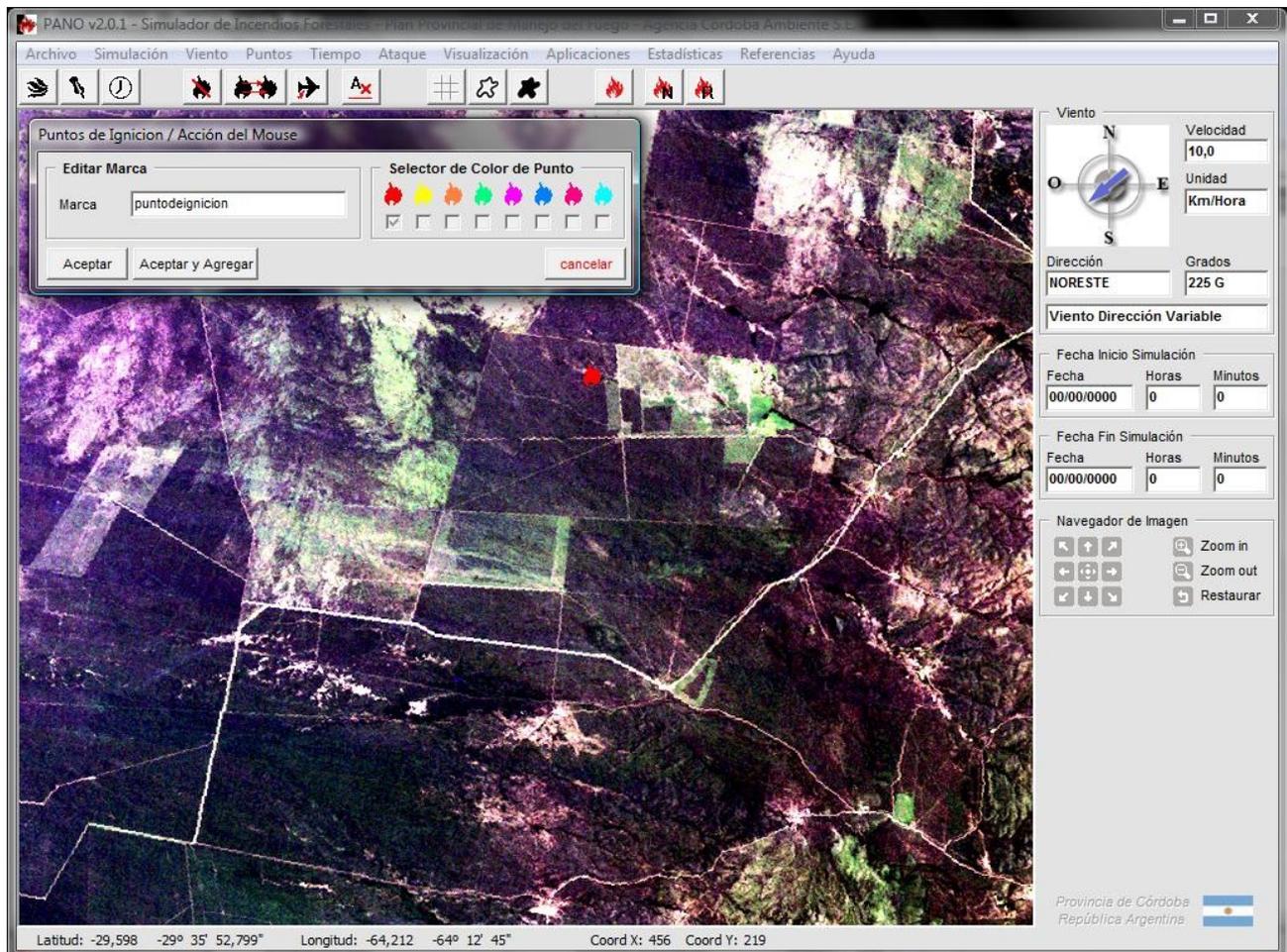
-La tercera opción se ingresarán los puntos mediante la acción del mouse, cuando se activa esta opción se deberá hacer click con el botón primario del mouse en el lugar donde se quiere colocar el punto.



En las 3 opciones se le da al usuario la posibilidad de ponerle un nombre (marca) y el color del símbolo al punto de ignición.

Recordar que el sistema acepta a lo sumo 20 puntos de ignición.

Para nuestro ejemplo usaremos la última opción.



El formulario tiene 3 botonos:

- 1) Aceptar
- 2) Aceptar y Agregar
- 3) Cancelar

Con el primer botón (Aceptar) guardamos en el sistema este punto de ignición asumiendo que el usuario sólo quiere cargar en el sistema este único punto (a los que ya están cargados).

Con el segundo botón (Aceptar y Agregar) agrega este punto y abre de nuevo este formulario para que el usuario pueda seguir agregando puntos en el sistema.

El botón cancelar cancela la última acción, o sea el último punto agregado en el sistema.

El sistema tiene una herramienta para visualizar los puntos cargados en el sistema, se puede acceder mediante el menú Puntos → Ver List Puntos, o mediante el botón de la barra de herramientas Selección de Focos de Incendio



Ver Lista de Puntos del Panel de Puntos de ignición:

Puntos de ignición / Metodo de selección

Coordenadas X/Y	Coordenadas Lat/Lon	Acción del Mouse	Ver Lista de Puntos	Cancelar
-----------------	---------------------	------------------	---------------------	----------

El formulario es el que se muestra a continuación:

Puntos de Ignición / Lista de Puntos

Lista de Puntos de Ignición

(x = 456 , y = 219 , Marca = puntodeignicion)
(x = 408 , y = 355 , Marca = pba2)

Aceptar Borrar Punto Cancelar

El formulario tiene 3 botones

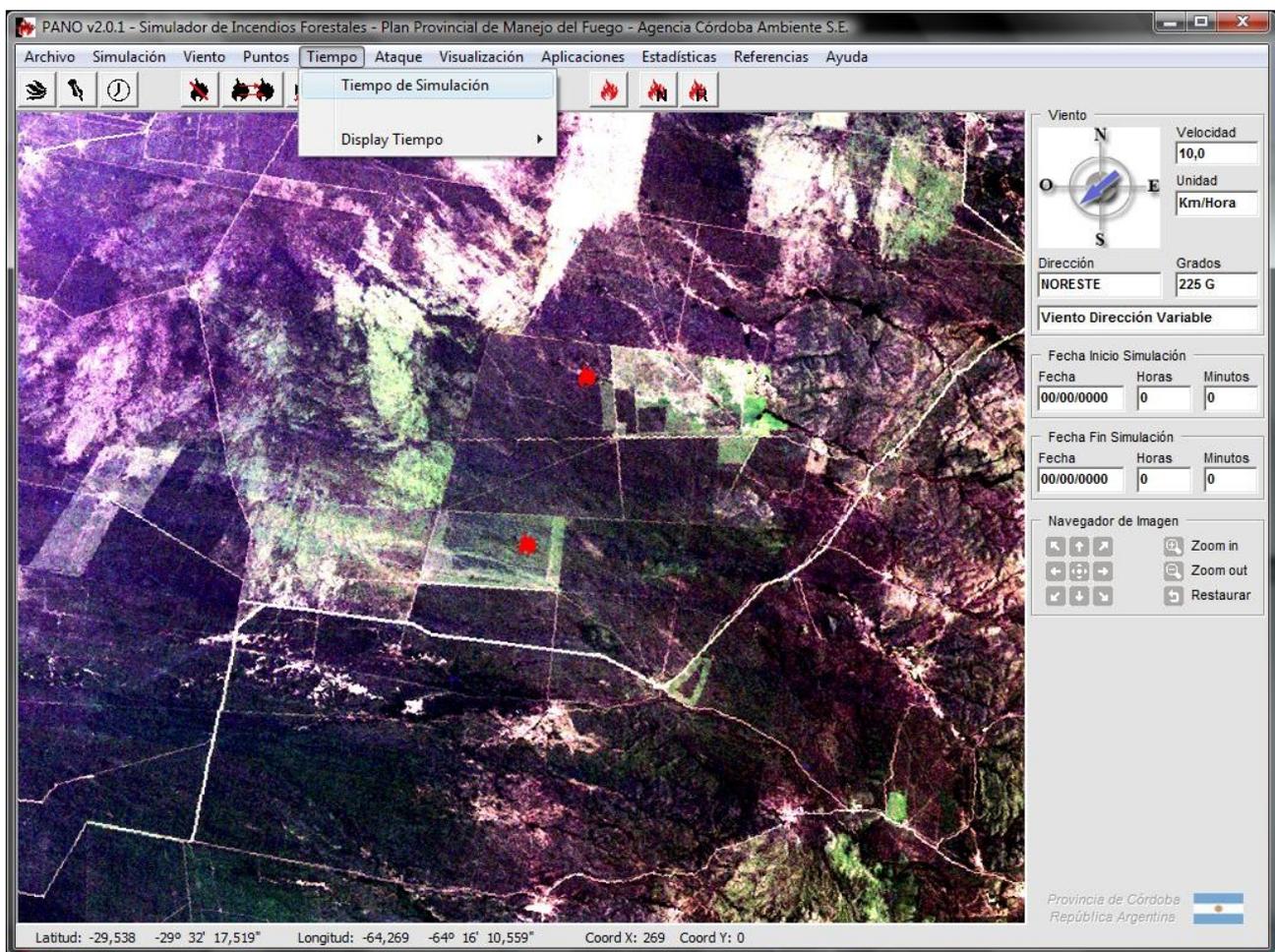
- 1) Aceptar
- 2) Borrar Punto
- 3) Cancelar

-El primer botón cierra el formulario, asumiendo que el usuario no quiere hacer ningún cambio con respecto a los puntos de ignición.

-El segundo botón si se selecciona un punto y luego se hace click en este botón, se eliminará el punto de ignición del sistema.

-El tercer botón también cierra el formulario, asumiedo que el usuario no quiere hacer ningún cambio con respecto a los puntos de ignición cargados.

Continuemos mostrando el seteo de la variable del tiempo de simulación, mediante el menú Tiempo → Tiempo de Simulación



o el icono de la barra de herramientas



abrimos el siguiente formulario para setear la variable:

Tiempo de Simulación

Tiempo De Simulación

Duración

Días 1 Horas 0 Minutos 0

Tiempo Inicio - Fin Simulación

Tiempo Inicio

Fecha 23/05/2010 Horas 07 Minutos 54

Tiempo Fin

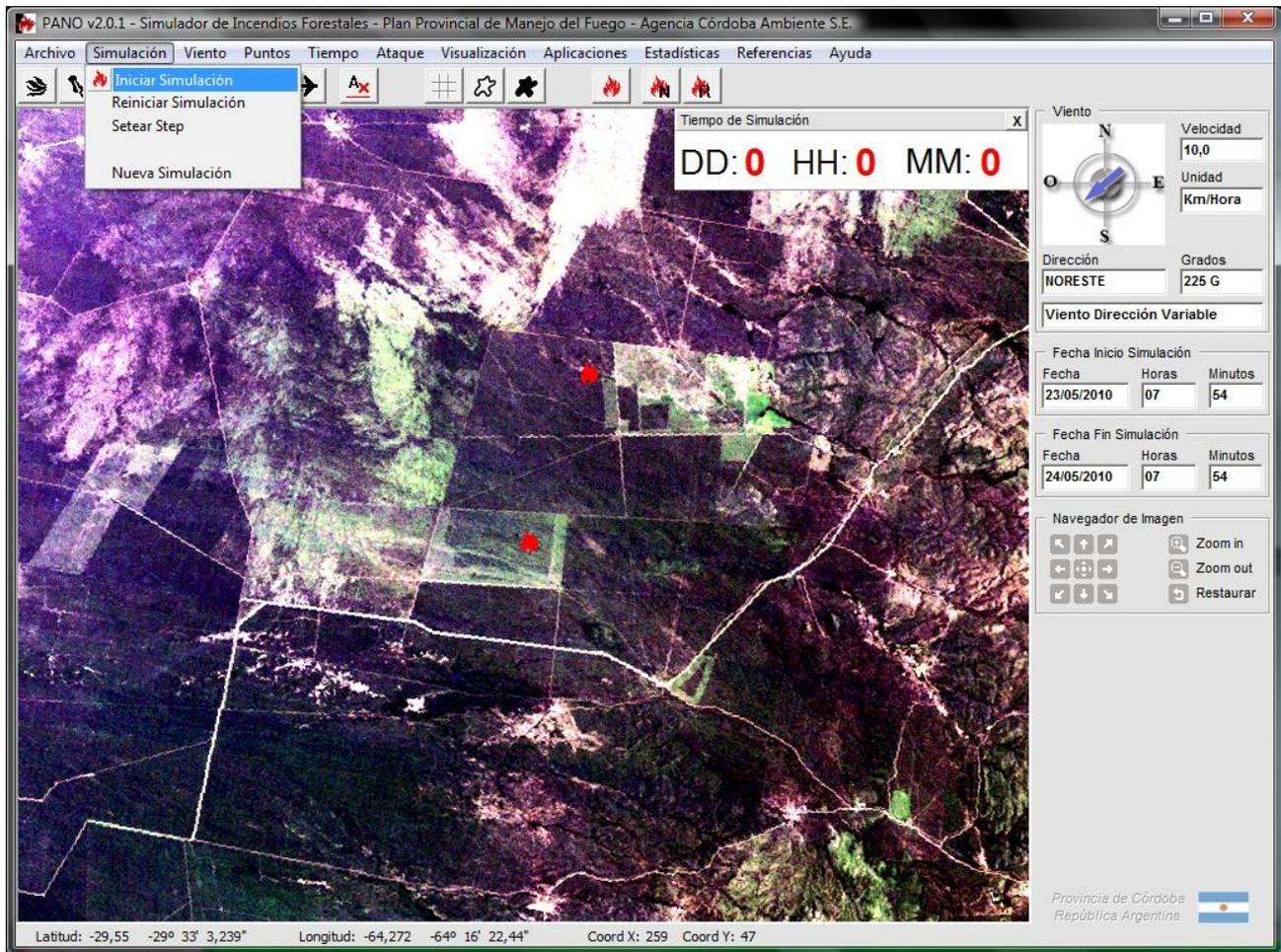
Fecha 24/05/2010 Horas 07 Minutos 54

Aceptar Cancelar

Para nuestro ejemplo seteamos que el tiempo de duración de simulación es de 1 día, el sistema toma la fecha actual y la fecha de duración, y calcula la fecha de finalización de la simulación.

También el sistema tiene 2 botones Cancelar, no guarda en el sistema el tiempo de duración, en cambio el botón Aceptar guarda la variable en el sistema. Para nuestro ejemplo le damos Aceptar.

Con todas las variables seteadas ya estamos en condiciones de simular, esto es posible mediante el menú Simulación → Iniciar Simulación

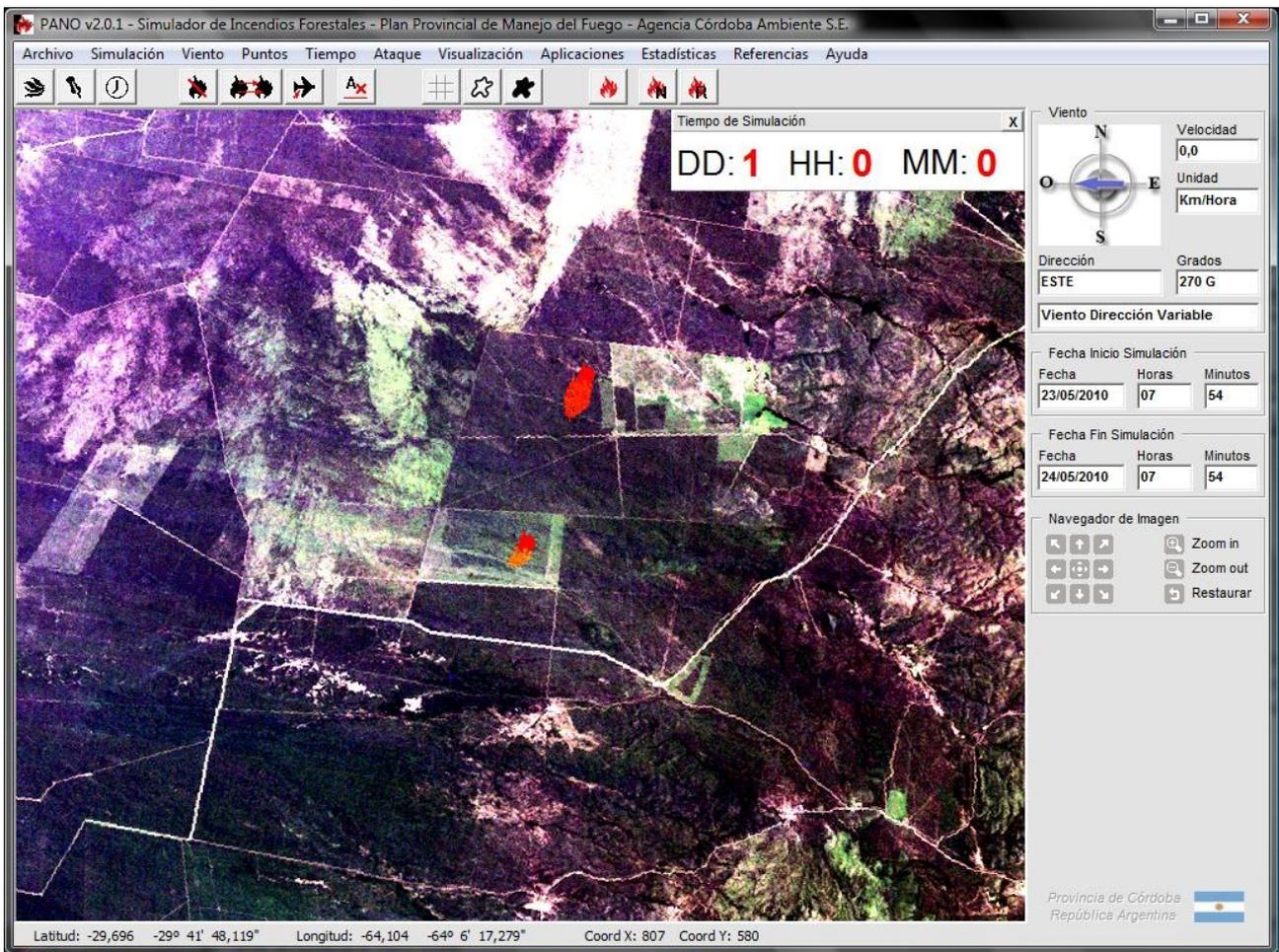


o el icono de la barra de herramientas



El ejemplo se compone de dos partes o corridas, la primera parte la vamos hacer sin ninguna herramienta de ataque, por lo tanto le damos click iniciando la simulación.

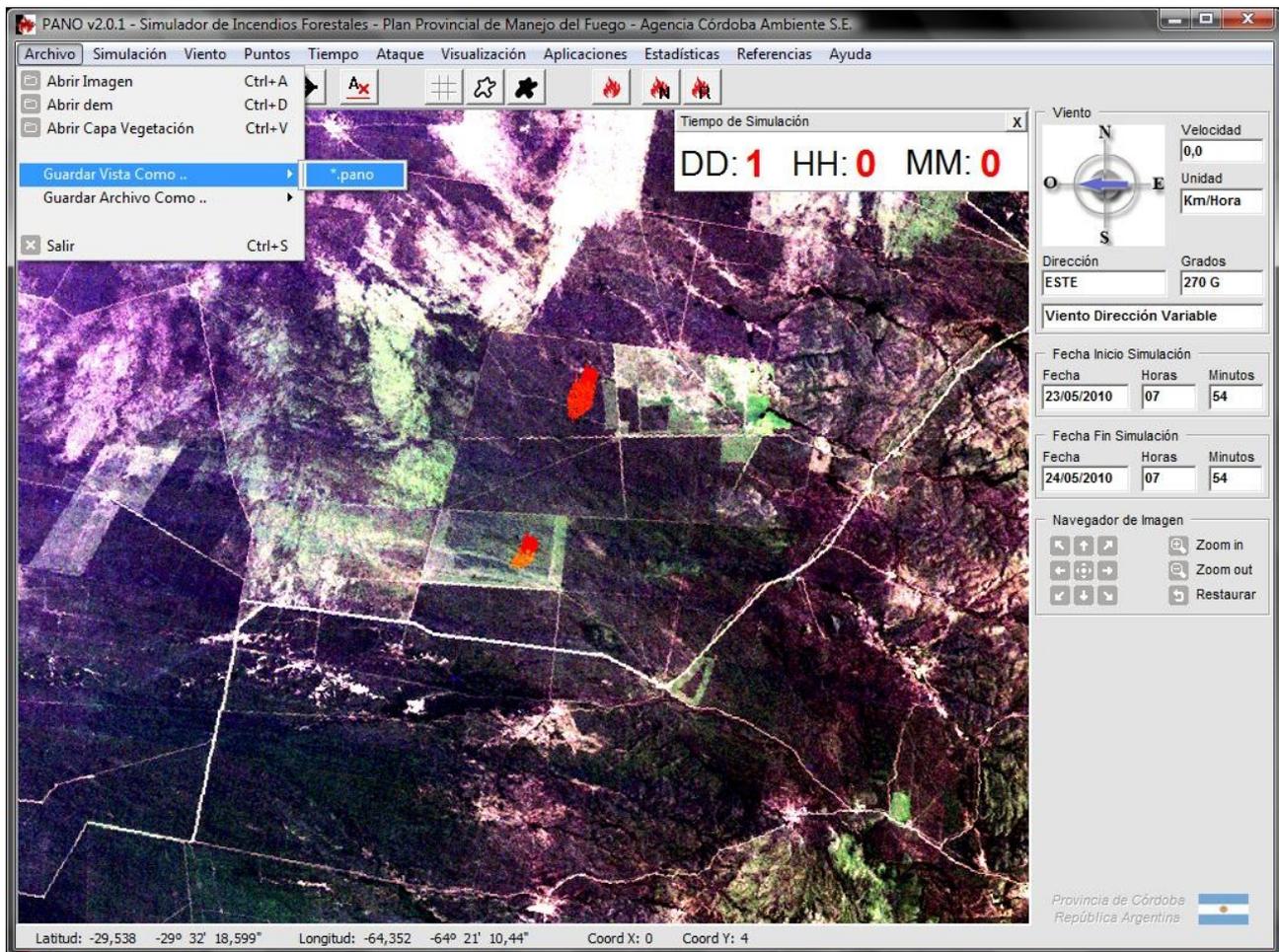
El resultado de la simulación lo mostraremos a continuación:



Una vez terminada la simulación el sistema tiene opciones para guardar la simulación, en varios formatos.

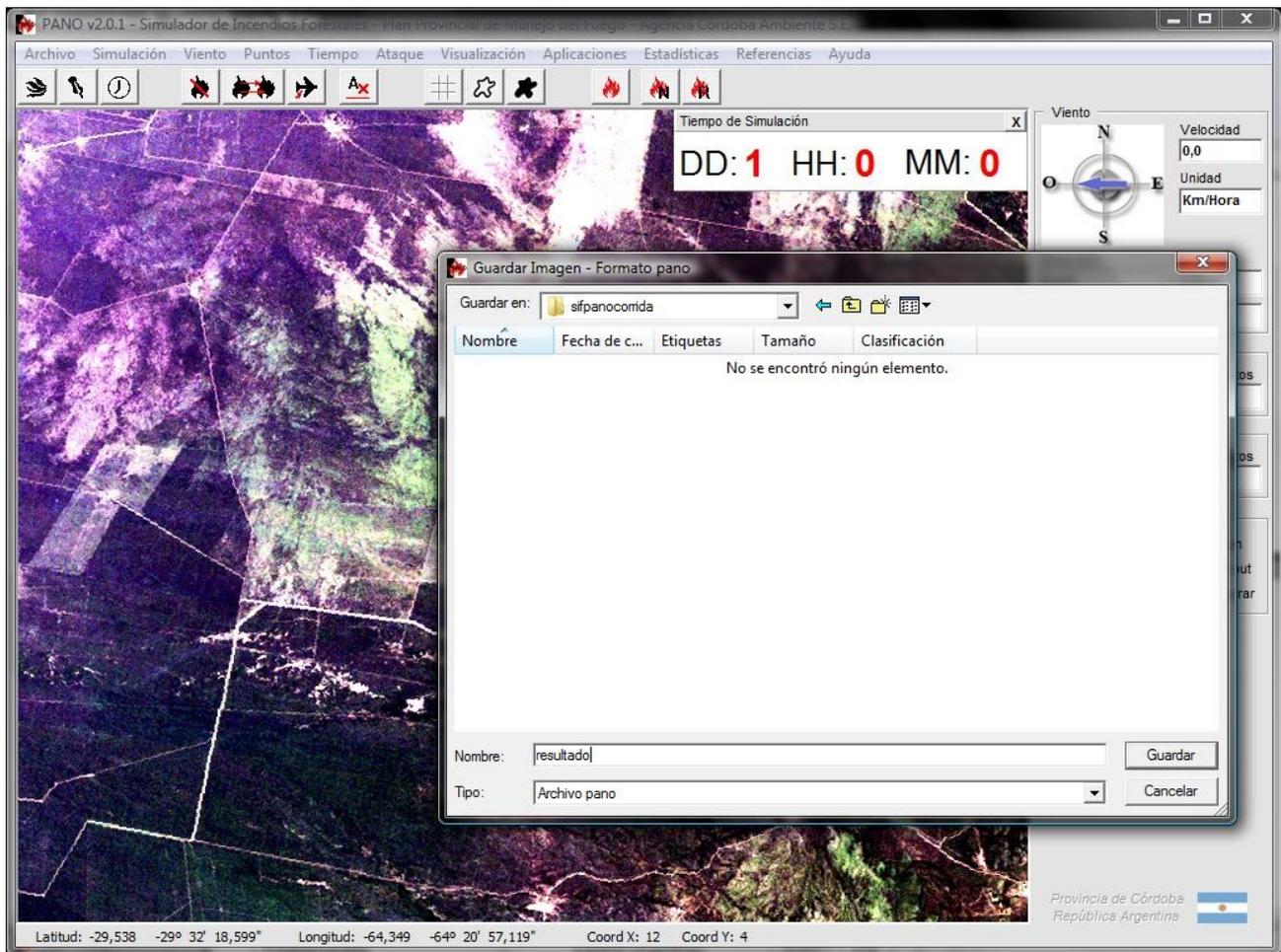
Guardemos nuestro ejemplo en todos los formatos permitidos por el sistema.

Comencemos por guardarlo como una imagen, mediante el menú Archivo → Guardar Vista Como → .pano

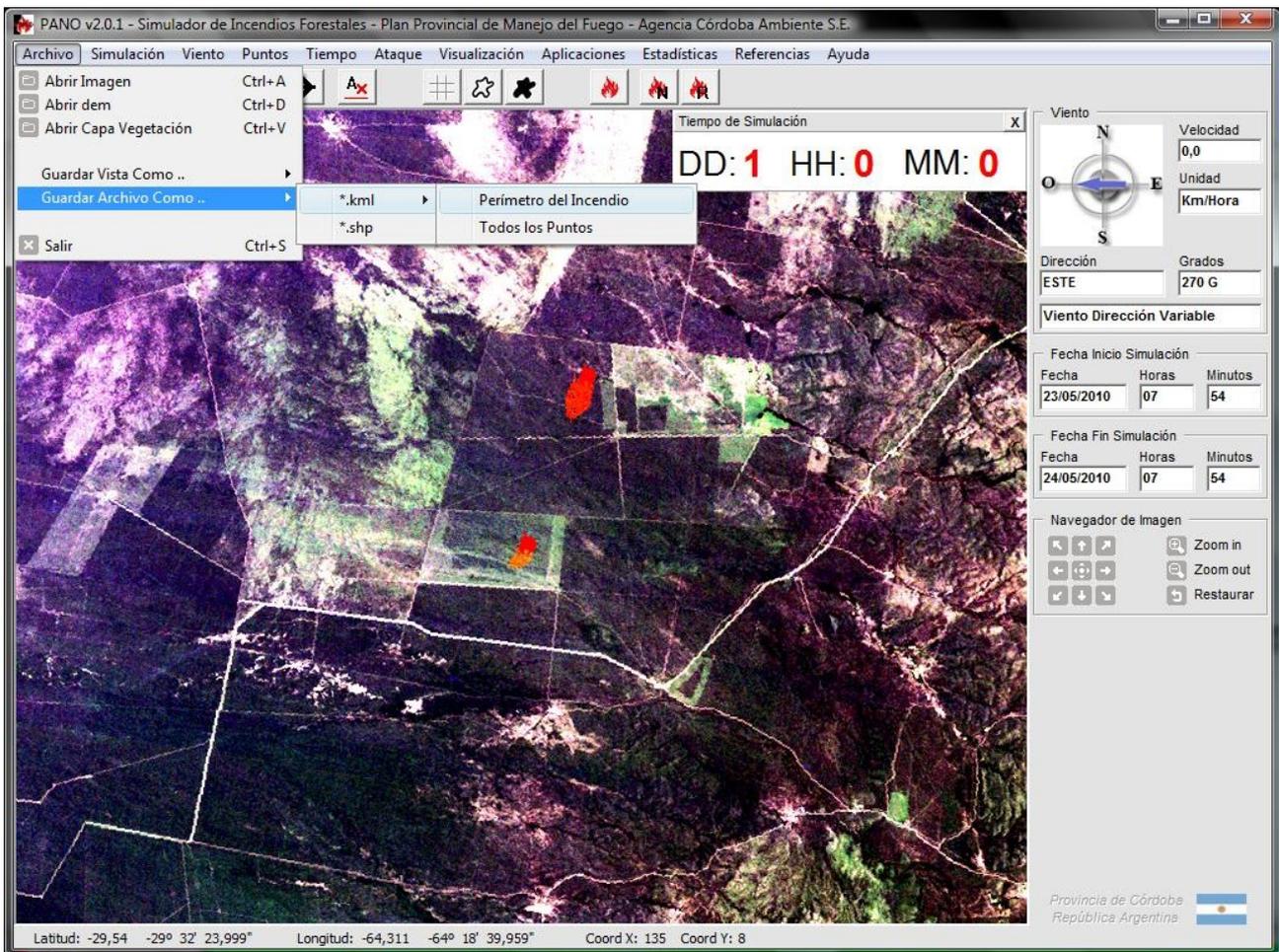


El formato pano, es un formato similar a la de las imágenes que puede ser visualizado con cualquier visualizador de imágenes.

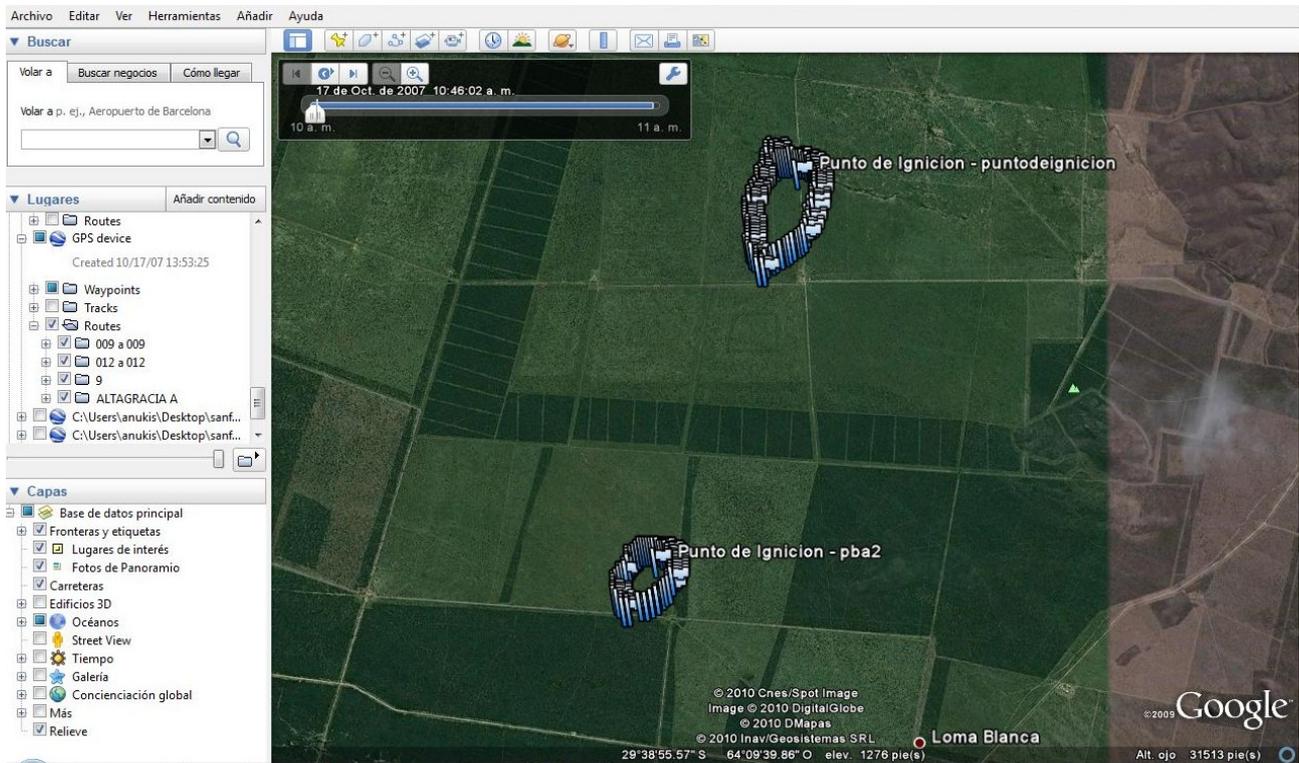
El sistema permite elegir donde guardarlo, abriendo un ventana de diálogo:



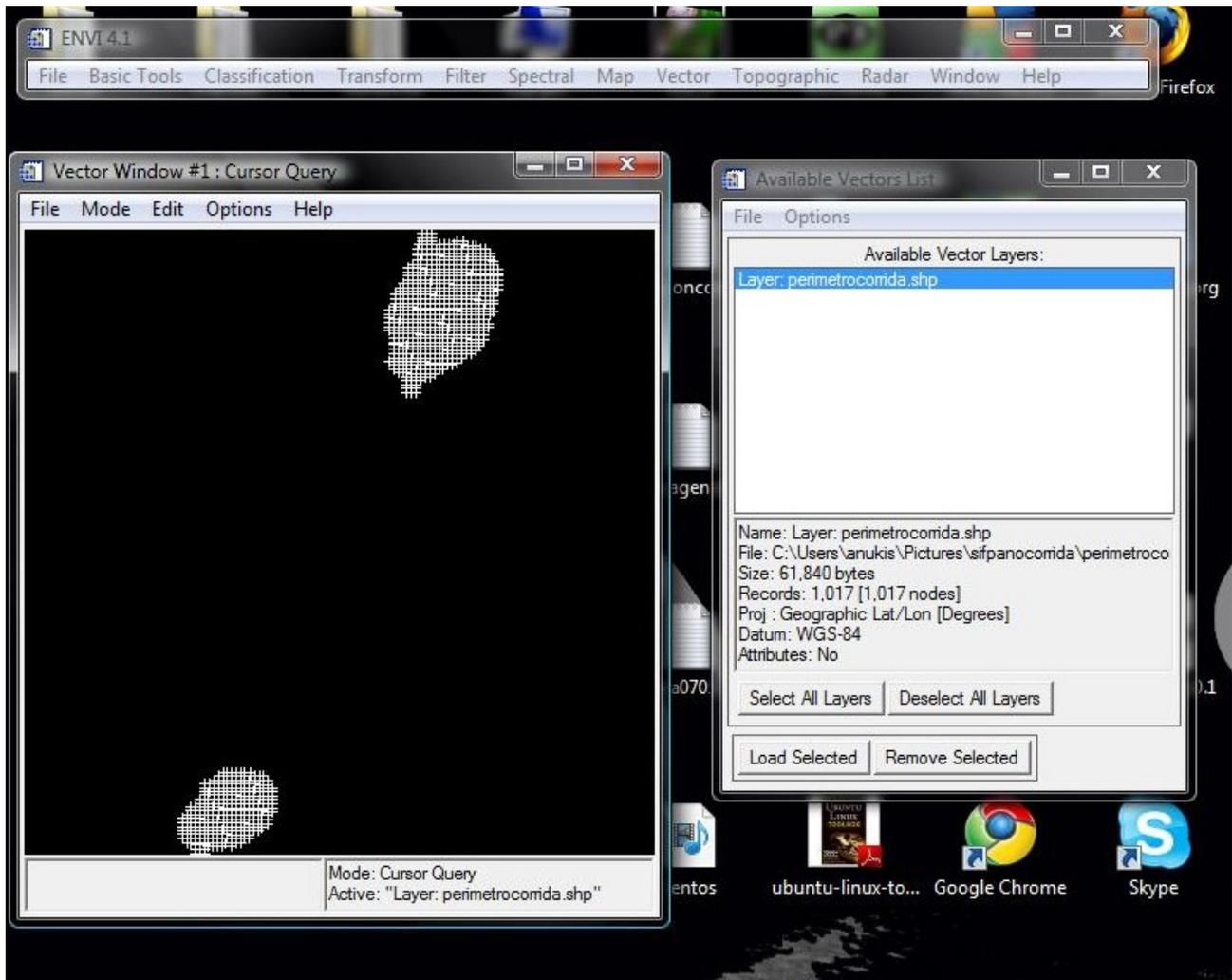
También permite guardar el perímetro o toda la simulación, en el formato de google earth (kml)



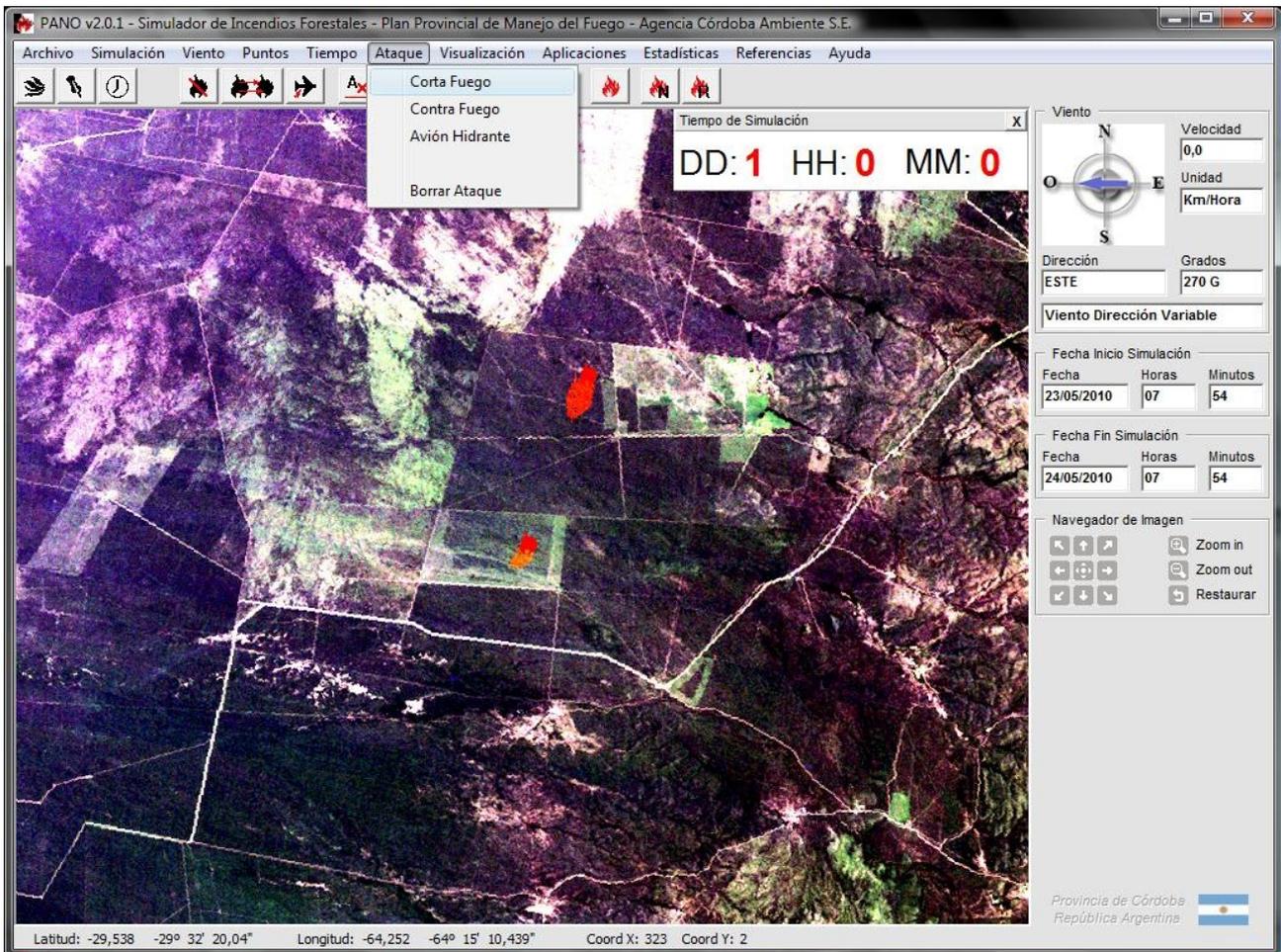
Guardemos de nuestra simulación, el perímetro para posteriormente levantarla con google earth. A continuación se muestra el resultado:



También el resultado puede ser guardado en formato shapefile (shp), donde programas como Envi u otros relacionados con GIS, lo pueden levantar.



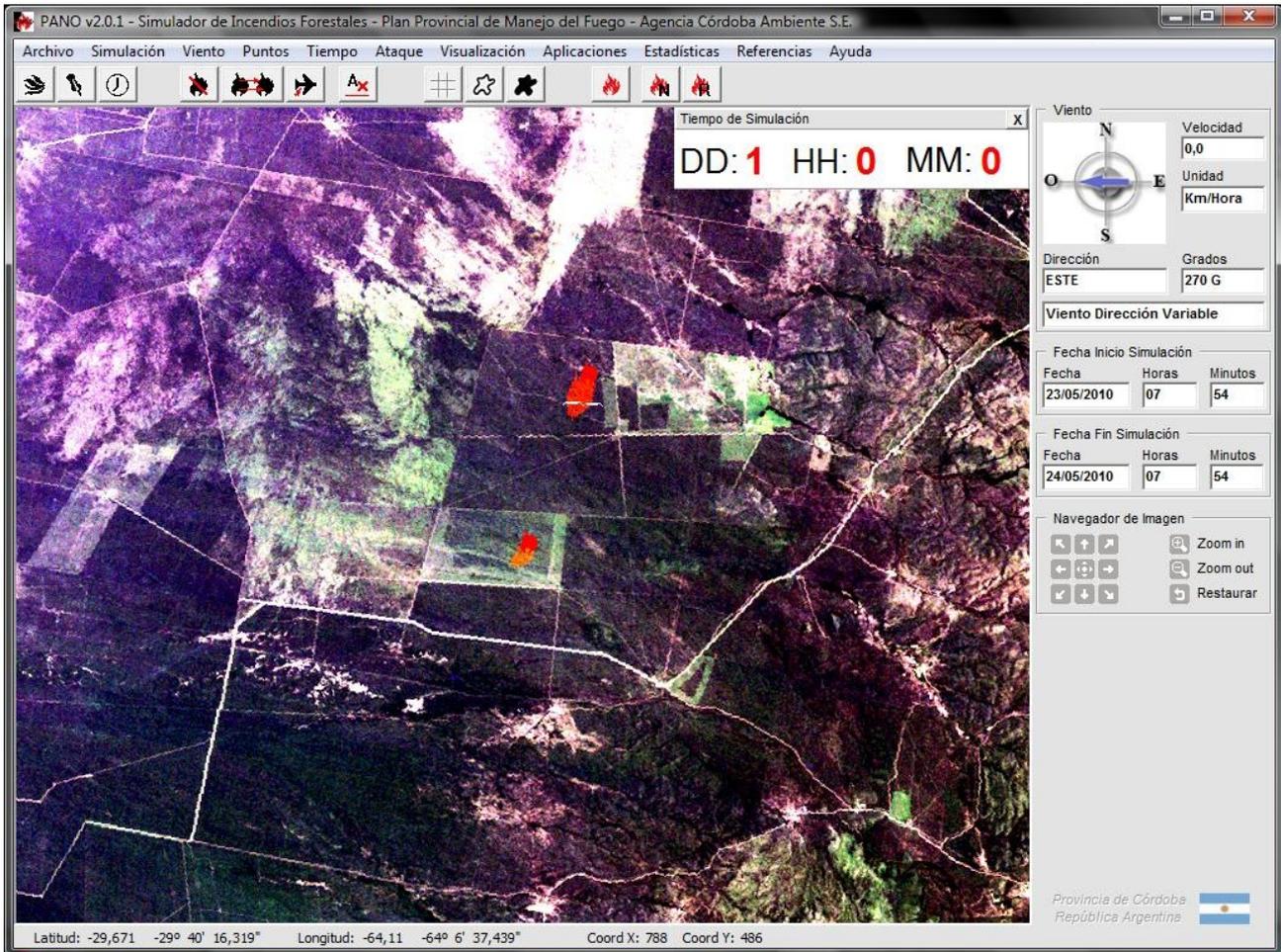
Una vez estudiada en la escena la propagación del incendio, podemos sumarle herramientas de ataque, como por ejemplo cortafuego, mediante el menú Ataque → CortaFuego



Al incendio que esta ubicado al norte le colocaremos dos cortafuego como se muestra a continuación, por cada cortafuego se tiene que sumar cada uno mediante el siguiente el formulario



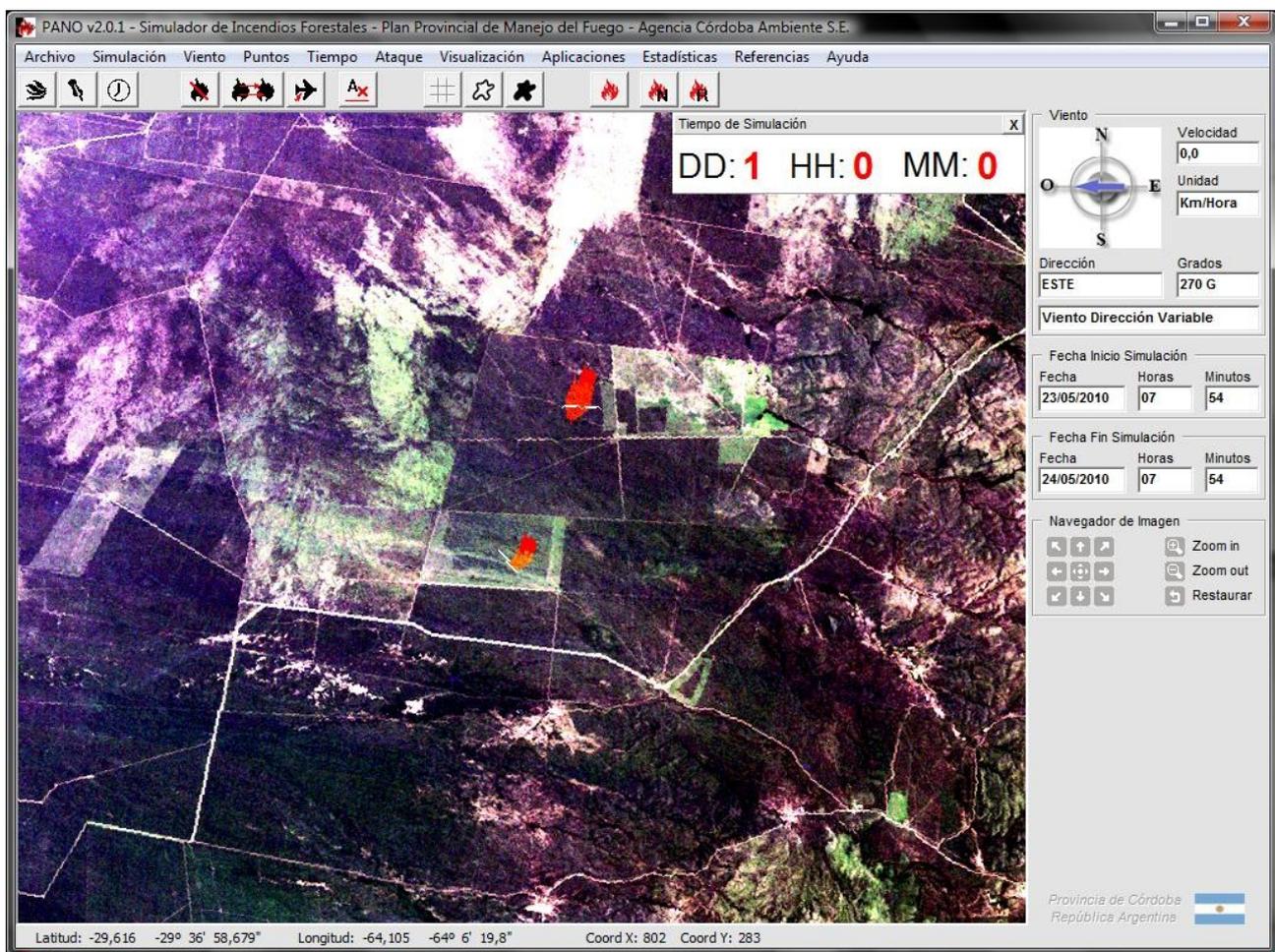
El resultado de la aplicación del cortafuego se muestra a continuación:



Al incendio del sur le sumaremos 2 contrafuegos, también por cada contrafuego se tiene que sumar mediante el siguiente formulario.

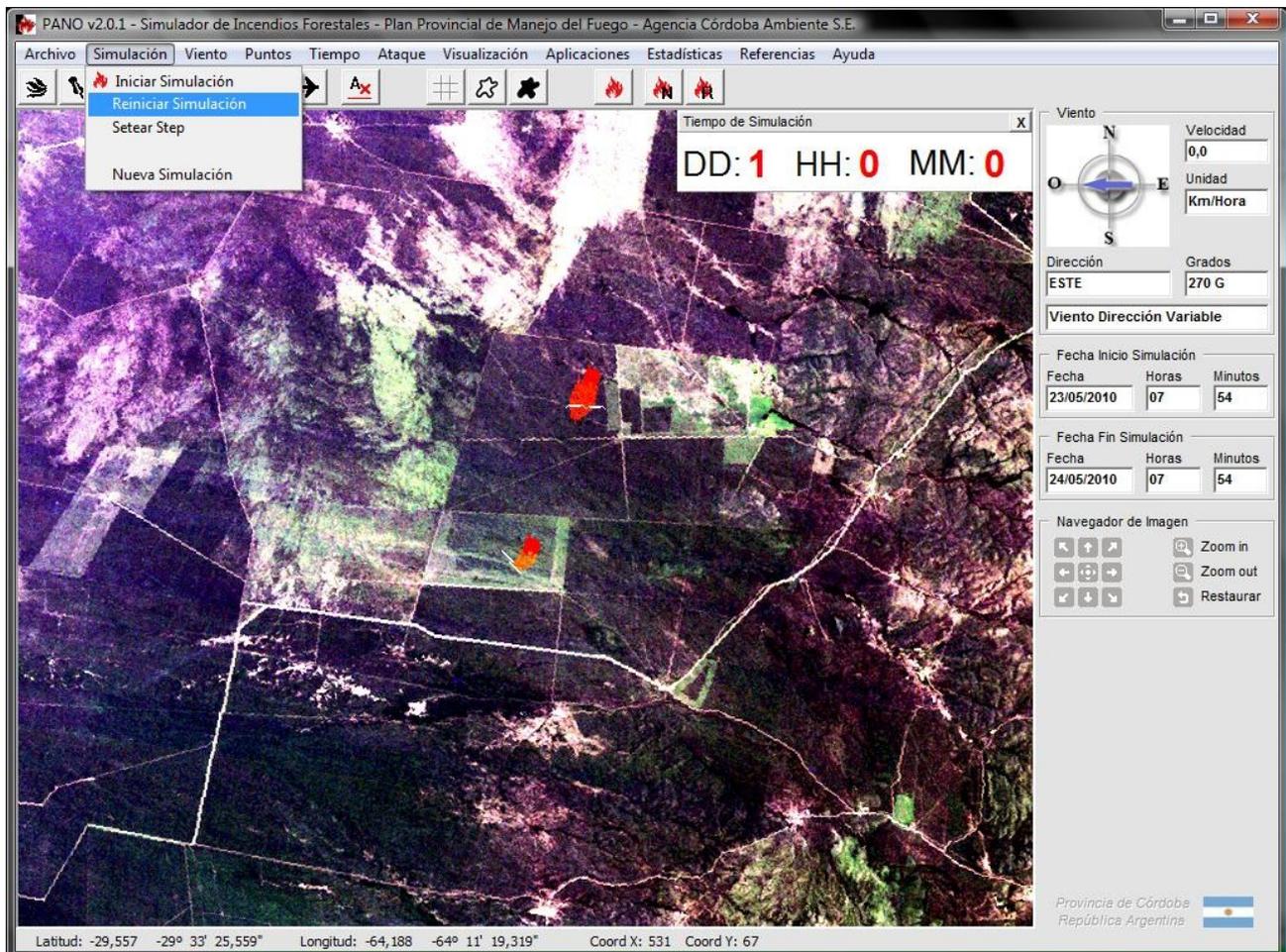


El resultado de aplicar las herramientas de ataque se muestra a continuación, tener en cuenta que lo que se muestra como propagación es de la simulación sin ataque.



Una vez seteados el ataque de ejemplo, vamos a correr la misma simulación para notar la diferencia.

No hace falta cargar de nuevo los datos previamente cargados, imagen, dem, vegetación, tiempo y viento, si utilizamos la herramienta reiniciar simulación. Mediante el menú Simulación → Reiniciar Simulación

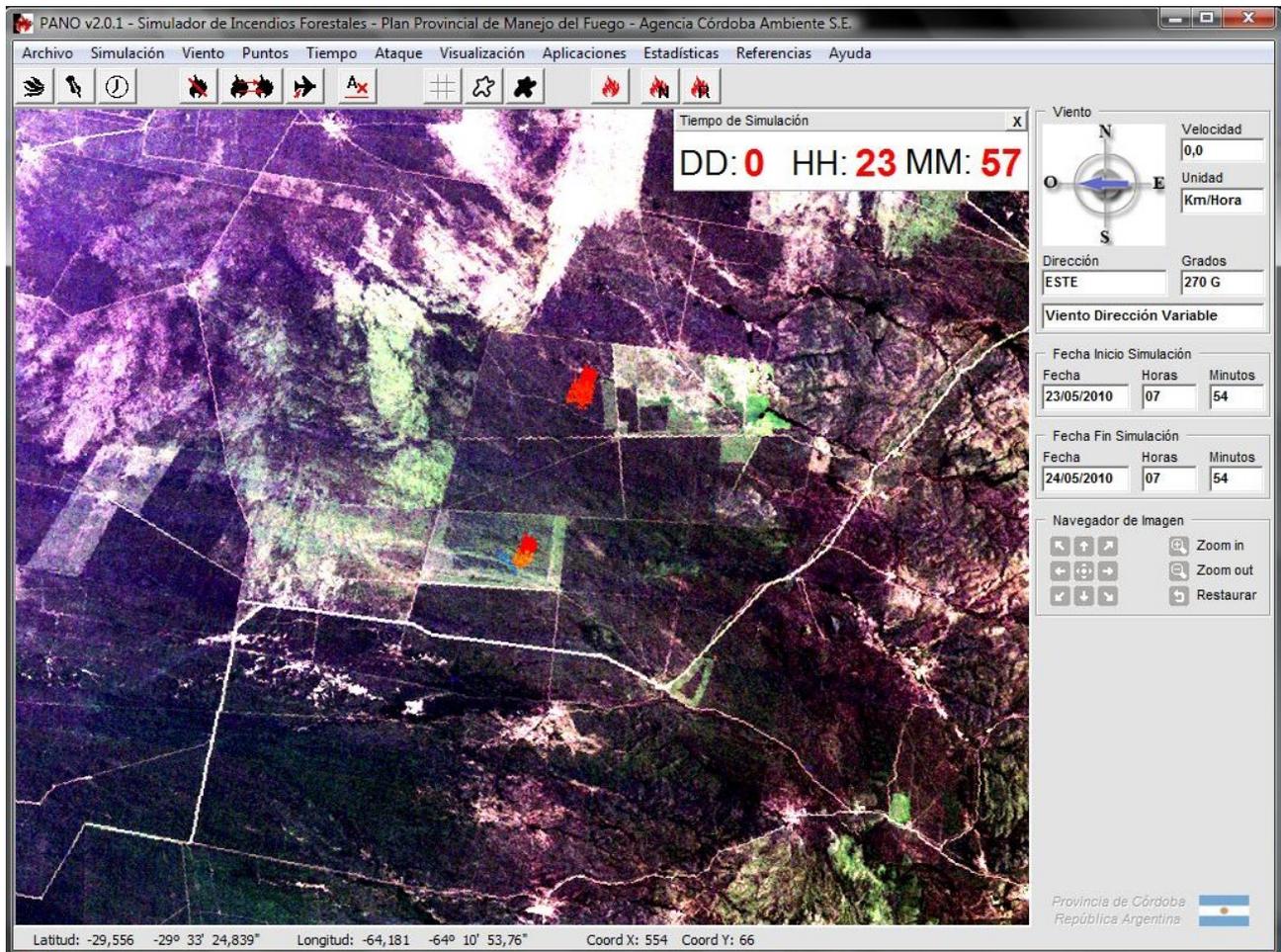


o el icono



reiniciaremos nuestra simulación.

El resultado de la simulación se muestra a continuación, diferenciándose con el resultado previamente presentado que se realizó sin ataque.



El sistema tiene varias herramientas que se muestran en el manual del mismo.

APÉNDICE D

Manual de Instalación del Sistema

En este apéndice incluiremos el manual de instalación del sistema, donde se explica paso por paso como instalar el simulador.



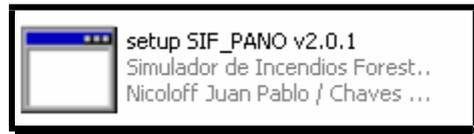
**SIMULADOR DE INCENDIOS FORESTALES
SIF_PANO V2.0.1**

**Agencia Córdoba Ambiente S.E Plan
Provincial de Manejo del Fuego**

**Analista en Comp. Juan Pablo Nicoloff
Analista en Comp. Noelia Chaves**

PASO N° 1:

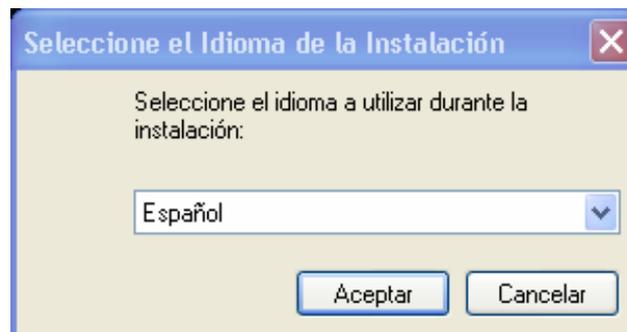
Para realizar la instalación del sistema en su computadora se deben seguir una serie de pasos sencillos. Como primer acción se debe buscar el archivo de instalación (setup SIF_PANO v2.0.1) que puede ser encontrado dentro del CD de instalación y luce de esta manera ante la vista del usuario.



Una vez localizado dicho archivo se debe hacer doble clic con el botón izquierdo del Mouse sobre el mismo.

PASO N° 2:

A continuación el sistema le mostrara la siguiente ventana de selección de idioma para la instalación, dependiendo de que opción elija aquí el proceso de instalación nos guiará con este idioma. Por defecto la instalación se realizara en Español.



Presione Aceptar luego de seleccionar el idioma.

PASO N° 3:

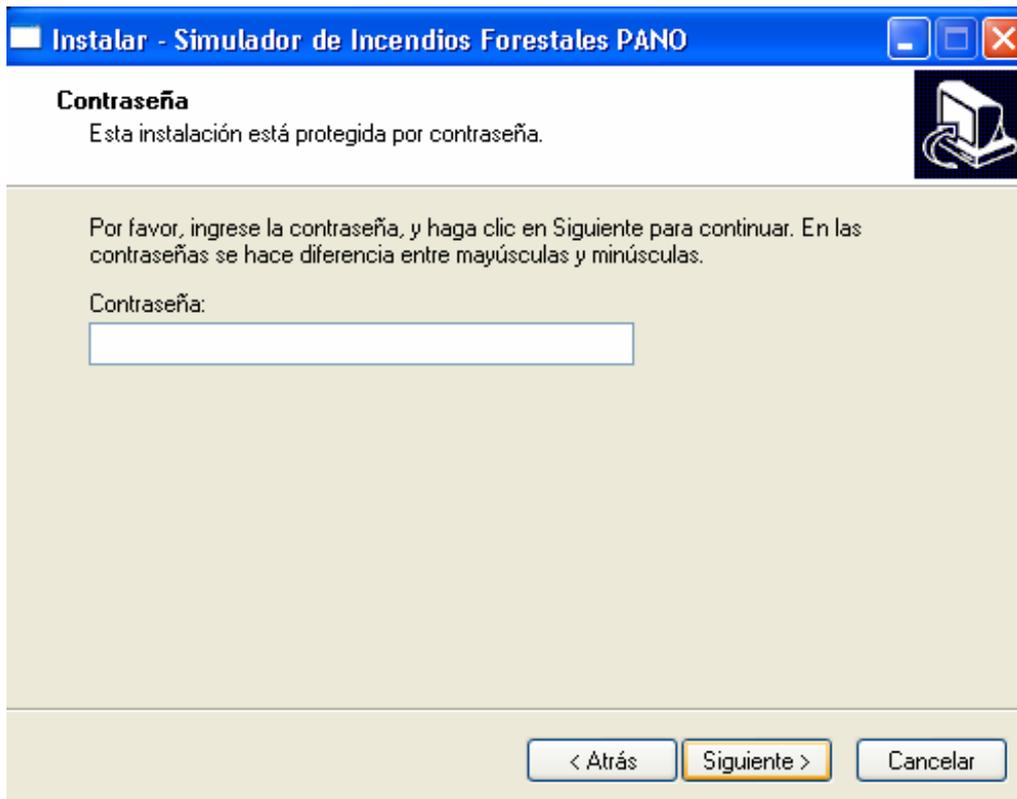
Luego de seleccionar el idioma de instalación y de presionar aceptar el sistema le mostrará la siguiente ventana de bienvenida donde recomienda realizar algunas acciones para la correcta instalación del mismo.



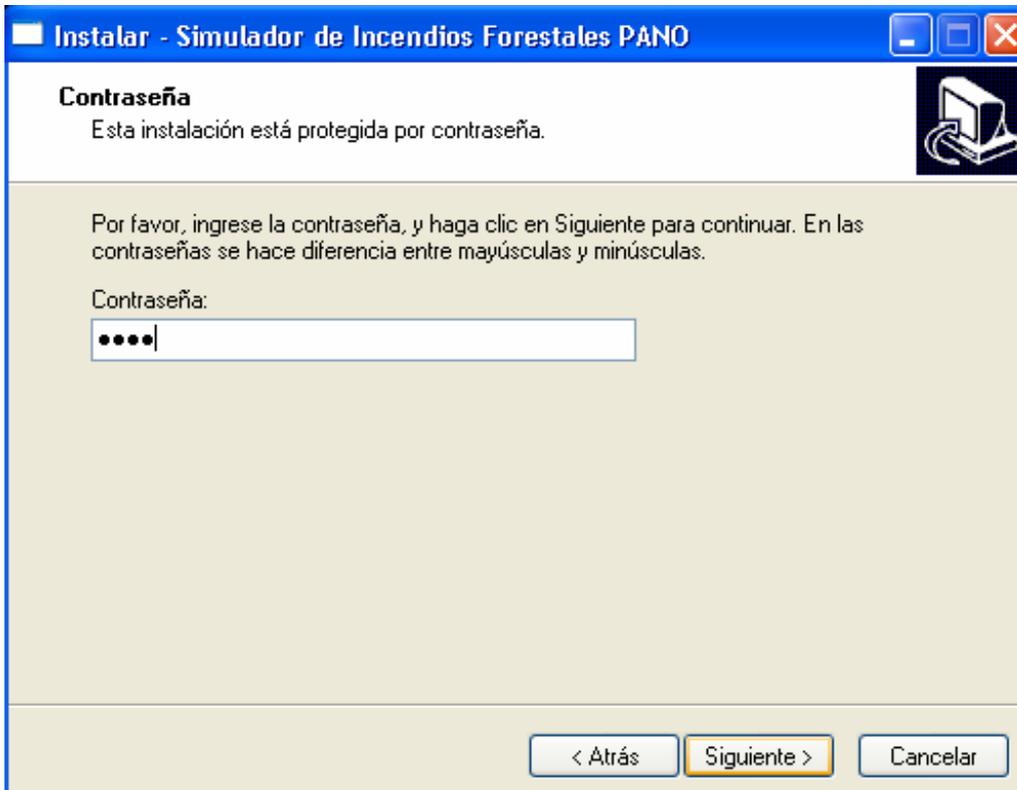
Presione Siguiente luego de leer y cumplir con lo pedido en esta pantalla.

PASO N° 4:

A continuación el sistema nos pedirá una contraseña de instalación del sistema, dicha contraseña se encuentra en un archivo (Contraseña.txt) que viene junto al instalador dentro del CD, tenga en cuenta que el sistema hace diferencias entre mayúsculas y minúsculas por lo que deberá ingresar la contraseña de forma exacta para poder seguir con el proceso de instalación del sistema SIF_PANOv2.0.1



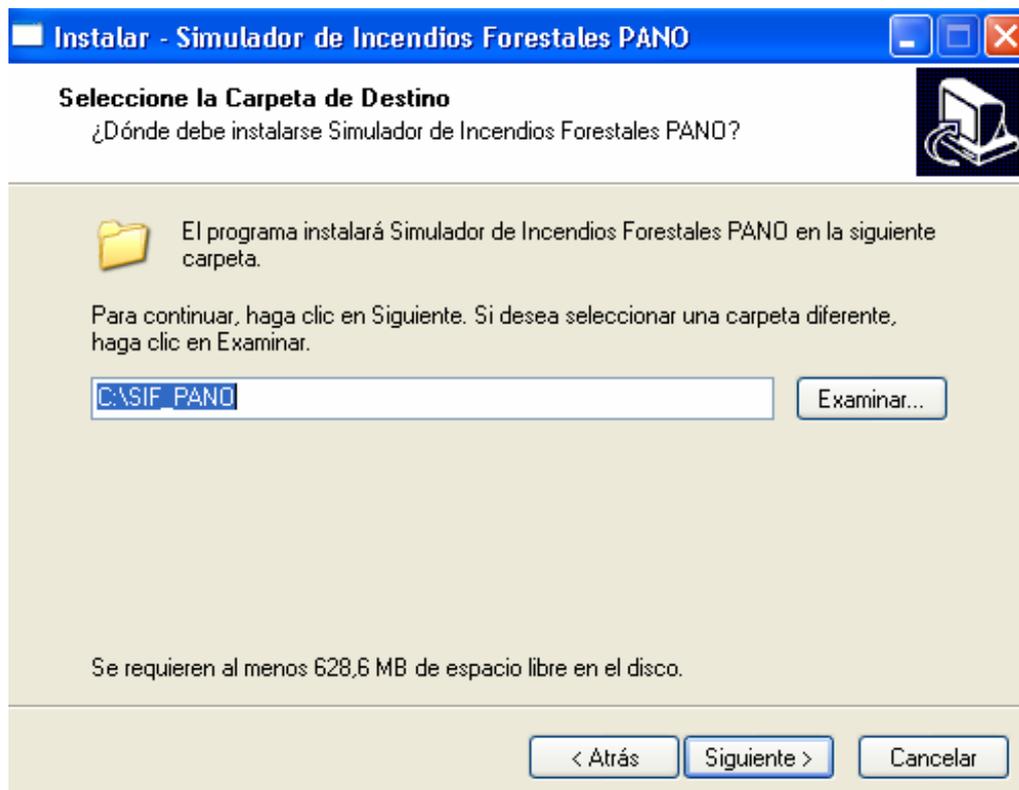
Luego de ingresar la contraseña presione el botón Siguiente.



PASO N° 5:

En este paso el proceso de instalación nos indicará donde se coloca la carpeta del sistema dentro de nuestra computadora, tenga en cuenta que este paso es a modo de informar al usuario donde esta instalado el sistema y no a modo de selección del lugar de instalación de la misma, por ningún motivo se debe cambiar la ubicación de la carpeta SIF_PANO especificada por el sistema.

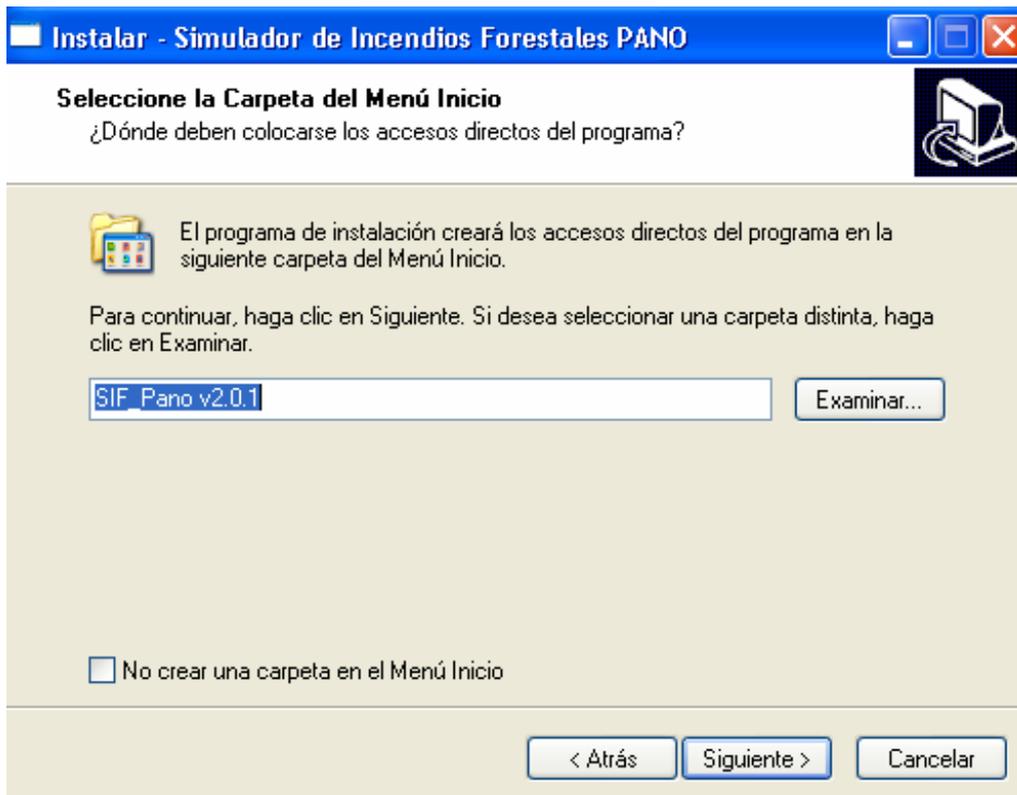
En la parte inferior de la ventana nos muestra el espacio necesario en nuestro disco rígido para realizar la instalación, donde se debe cumplir con este requerimiento de lo contrario el sistema no podrá ser instalado.



Luego se debe presionar el botón Siguiente.

PASO N° 6:

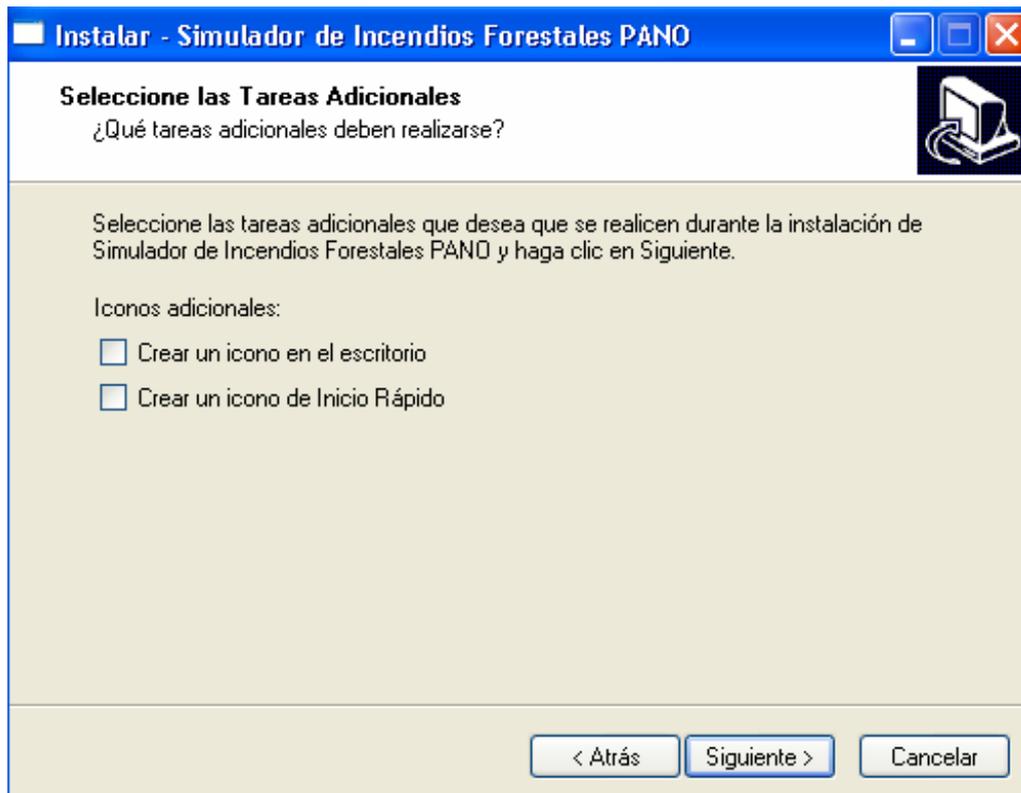
Luego el sistema preguntará donde colocar el acceso directo del sistema, aquí si se deja la posibilidad de que el usuario seleccione la ubicación más conveniente para su uso. Por defecto el mismo se coloca en la carpeta SIF_Pano v2.0.1.



Tilde la opción No crear una carpeta en el menú inicio si es que no quiere hacerlo, luego presione Siguiente para continuar con el proceso de instalación.

PASO N° 7:

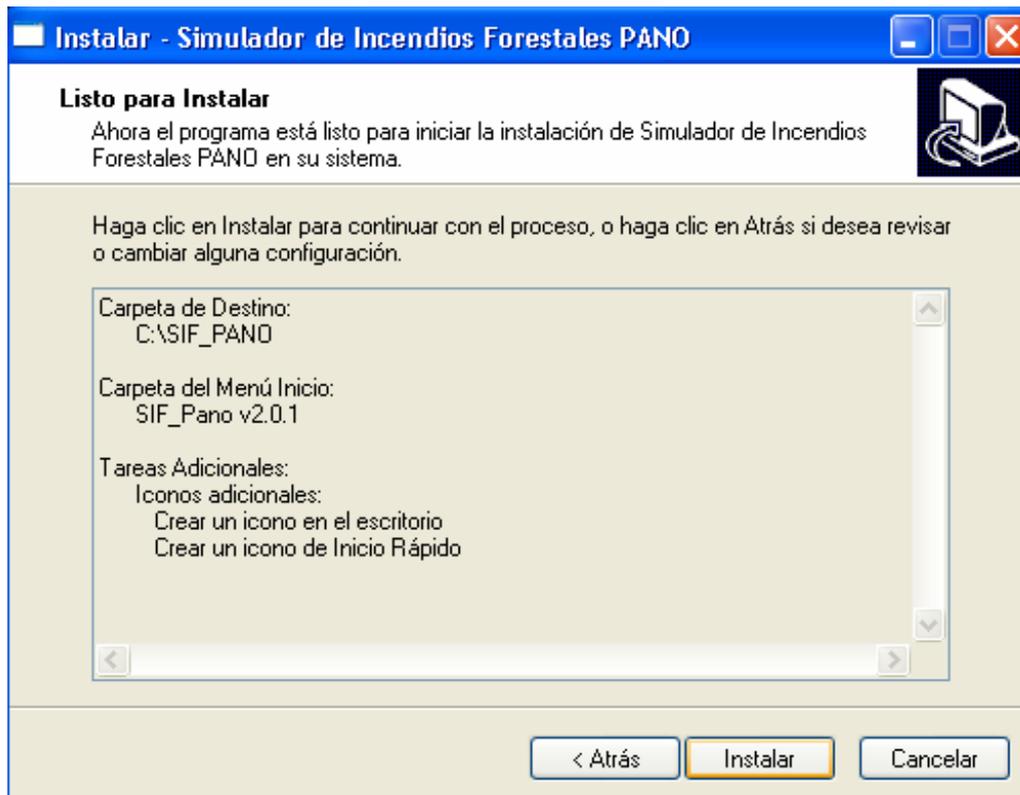
Luego el sistema le preguntará si quiere crear iconos adicionales para el acceso rápido a la aplicación. Se recomienda tildar crear un icono en el escritorio así se tiene un acceso rápido desde allí al sistema.



Luego presione Siguiente para continuar.

PASO N° 8:

Se muestra información referida a la instalación de sistema, aquí puede optar por realizar cambios ya sea en la carpeta de instalación como en otros parámetros solo con volver hacia atrás en los pasos y realizar nuevamente las acciones realizadas anteriormente, pero esta vez con los cambios realizados.

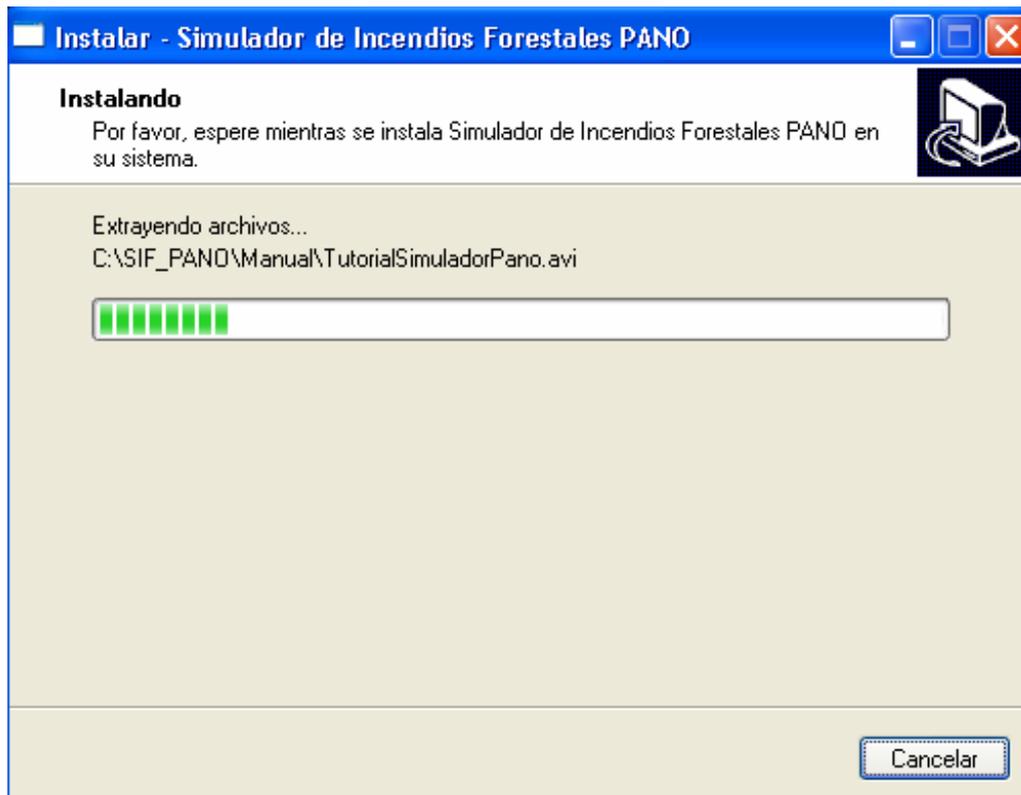


Luego presione Instalar para comenzar con el proceso de instalación de los distintos componentes del sistema.

PASO N° 9:

La siguiente ventana muestra el progreso de la instalación, este proceso puede tardar unos minutos dependiendo de la velocidad de su PC.

Usted puede cancelar la instalación en cualquier momento con solo presionar el botón cancelar de la ventana.



PASO N° 10:

Una vez finalizado el progreso de instalación el sistema nos mostrará la siguiente ventana donde nos indica que el proceso ha finalizado correctamente y nos invita a ejecutar el sistema de simulación de incendios, si usted no quiere que se realice dicha acción basta con destildar la opción Ejecutar SIF_Pano v2.0.1.



A continuación presione Finalizar para terminar.

PASO N° 11:

A continuación puede tener acceso al sistema de simulación de incendios forestales de varias maneras.

Una vez accediendo al icono que se encuentra en el escritorio, siempre y cuando se haya seleccionado esta opción en el proceso de instalación.

El icono luce de esta manera.



La otra forma es accediendo al menú inicio->Todos los programas->SIF_Panov2.0.1-> SIF_Panov2.0.1.

Referencias

- [AH] Ignacio Alonso and Eliecer Herrero. El satélite landsat. análisis visual de imágenes obtenidas del sensor etm + satélite landsat. *Tel*, "".
- [Beha] *Behave Plus: User's Guide*.
- [Behb] *Behave Plus: Variable Help*.
- [Bev05] Collin D. Bevins. Firelib. 2005.
- [Ce85] Jack D. Cohen and John e. Deeming. The national fire-danger rating system: basic equations. 1985.
- [Coo] Coordenadas geográficas. Available from http://es.wikipedia.org/wiki/Coordenadas_geográficas.
- [C.R72] Richard C.Rothermel. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. 1972.
- [C.R83] Richard C.Rothermel. How to predict the spread and intensity of forest and range fires. June 1983.
- [C.R91] Richard C.Rothermel. Predicting behavior and size of crown fires in the northern rocky mountains. January 1991.
- [Env] *Envi Online Help*. NDVI normalized difference vegetation index, NDVI transform.
- [Fir] Fire models. Available from <http://www.fire.models.org/>.
- [GJM91] Carlo Ghezzi, Mehdi Jazayeri, and Dino Mandrioli. *Fundamentals of Software Engineering*. Prentice Hall, 1991.
- [hisnt] Canada centre for remote sensing, Glossary of remote Term = Linear Enhancement. Available from <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/>.
- [HWY⁺] Chengquan Huang, Bruce Wylie, Limin Yang, Collin Homer, and Zylstra Gregory. Derivation of a tasseled cap transformation based on landsat 7 at satellite reflectance.

REFERENCIAS

- [Lan] Ficha técnica resumida : Landsat 5 tm. Available from <http://www.bgeo.com.py/landsat5.html>.
- [LG] Zárate López and Luís Guadalupe. Estudio de las características físicas y geométricas de la llama en los incendios forestales.
- [PMC⁺] Seth H. Peterson, Marco E. Morais, Jean M. Carlson, Philip E. Dennison, Dar A. Roberts, Max A. Moritz, and David R. Weise. Using hfire for spatial modeling of fire in shrublands.
- [Pro] Ilwis user's guide. *Procesamiento de Imágenes*.
- [Res] Resolución radiométrica del landsat 5. Available from <http://ocw.um.es/ciencias/herramientas-de-teledeteccion-aplicadas-a-la/material-de-clase-1/>.
- [Rya81] Kevin C. Ryan. Evaluation of a passive flame-height sensor to estimate forest fire intensity. June 1981.
- [SB05] Scott and Burgan. Standard fire behavior fuel models: A comprehensive set for use with rothermel's surface fire spread model. *Bio*, 2005.
- [SLPI] M. Scavuzzo, M. Lamfri, G. Platzeck, and J. Izaurralde. Fundamentos de sensado remoto.
- [TY04] W Takeuchi and Y Yasuoka. Development of normalized vegetation, soil and water indices derived from satellite remote sensing data. *Teled*, 2004.
- [Val] Diego A. Vallmitjana. Simulación de incendios forestales. *Un resumen completo sobre la utilización de simuladores en incendios forestales en el Norte de la Patagonia*.
- [VNF⁺] J. Viger, X.Ñonell, E. Ferrer, E. Planas Cuchi, and L. Zárate López. *Manual de ingeniería básica para la prevención y extinción de incendios forestales*.
- [wgs] Wgs84. Available from <http://es.wikipedia.or/wiki/WGS84>.
- [ZC] Marcelo Zack and MArcelo Cabido. *Vegetación del Norte de la Provincia de Córdoba*.