ESTUDIOS DE CASO EN LAS CIENCIAS AMBIENTALES

Coordinadores: Juan Cervantes Pérez / José Francisco Báez Corona

Autores: José Abelardo Hoyos Ramírez, Cluni Rafael Aguilar Lendechy, William Alejandro Castillo Toscano, Gerardo Mario Ortigoza Capetillo, Alberto Pedro Lorandi Medina, Rigoberto Vargas Carballo, Eduardo Gutiérrez Morín, Enrique Hipólito Romero, María Guadalupe Tejeda Rosas

Scire Ad Trascedere
Universidad de Xalapa

ESTUDIOS DE CASO EN LAS CIENCIAS AMBIENTALES

Coordinadores:
Juan Cervantes Pérez
José Francisco Báez Corona

Presentación:
Dr. Carlos García Méndez

ESTUDIOS DE CASO EN LAS CIENCIAS AMBIENTALES

Autores:
José Abelardo Hoyos Ramírez
Cluni Rafael Aguilar Lendechy
William Alejandro Castillo Toscano
Gerardo Mario Ortigoza Capetillo
Alberto Pedro Lorandi Medina
Rigoberto Vargas Carballo
Eduardo Gutiérrez Morín
Enrique Hipólito Romero
María Guadalupe Tejeda Rosas

UNIVERSIDAD DE XALAPA
Saber / Trascender

INSTITUTO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIONES
Universidad de Xalapa

XALAPA
2016

Primera edición: enero 2016

D.R. © Universidad de Xalapa, A. C.
Kilómetro 2 de la carretera Xalapa-Veracruz.
C.P. 91190. Xalapa, Veracruz, México.
www.ux.edu.mx

Diseño editorial:
Eduardo Gutiérrez Morín
José Abelardo Hoyos Ramírez

Estilo y forma:
Rigoberto Vargas Carballo
William Alejandro Castillo Toscano

Logística de la presentación:
María Guadalupe Tejeda Rosas
Cluni Rafael Aguilar Lendechy

Tipografía y Formato:
Eduardo Isunza Vera

Edición digital de distribución gratuita.
Cada autor es titular y responsable de manera individual por el contenido de su participación, los cuales no reflejan una postura institucional.

Requerimiento técnico:
Visualizador PDF versión 1.7 o superior

ISBN: 978-607-8156-41-2

Hecho en México

Índice

Presentación 11

La infiltración de agua de lluvia en una mina de arena sílica en Jáltipan Veracruz 13
1. INTRODUCCIÓN 13
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 15
3. HIPÓTESIS 23
4. OBJETIVOS 23
4.1. Objetivo general 23
4.2 . Objetivos específicos 24
5. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO 24
6. METODOLOGÍA 25
6.1. Evapotranspiración 27
6.2. Escurrimiento superficial 28
6.3. Infiltración 28
7. RESULTADOS 29
8. DISCUSIÓN 42
9. CONCLUSIONES 43
10. BIBLIOGRAFÍA 44

El posible impacto de factores ambientales del aire en Xalapa, Ver. Relacionado con enfermedades de las vías respiratorias de los derechohabientes del ISSSTE, Xalapa 49
1. INTRODUCCIÓN 49
2. PROBLEMA 51
3. MARCO TEÓRICO 59

3.1. Contaminación atmosférica y conciencia ciudadana *59*
3.2. Calidad del aire (exterior) y la salud *63*
3.3. Fuentes de contaminación *67*
3.4. Partículas de la atmósfera *69*
3.5. Efectos a la salud debidos al ozono *74*
3.6. Efectos en la salud debidos a las partículas menores a 10 y 2.5 micrómetros *75*
3.7. Acciones que desarrolla la OMS *76*
3.8. Contaminación atmosférica y el cuerpo humano *77*
3.9. Enfermedades relacionadas con la contaminación del aire *79*
3.10. Mortalidad en México en relación a la contaminación ambiental *82*
4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN 83
5. OBJETIVO GENERAL 83
6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 84
7. METAS 84
8. OBJETO DE ESTUDIO 84
9. HIPÓTESIS 85
10. JUSTIFICACIÓN 85
11. MÉTODO 86
12. METODOLOGÍA 86
13. BIBLIOGRAFIA 87

MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DE FUEGOS DE PROPAGACIÓN POR PAVESAS CON AUTÓMATA CELULAR TRIANGULAR NO ESTRUCTURADO 91
1. INTRODUCCIÓN 91
2. UN MODELO DE PROPAGACIÓN DE PAVESAS IMPLEMENTADO EN UN AUTÓMATA CELULAR TRIANGULAR NO ESTRUCTURADO 93
2.1. Modelos de propagación de pavesas *94*
3. LAS SIMULACIONES NUMÉRICAS 99
3.1. Las pavesas aumentan la propagación del fuego *101*

3.2. La propagación por pavesas salta barreras *103*
4. DISCUSIÓN 105
5. CONCLUSIONES 107
6. REFERENCIAS 108

Curvas de acumulación de especies arbóreas 111
1. INTRODUCCIÓN 111
2. PLANTEAMIENTO 115
3. METODOLOGÍA 116
3.1. Ubicación del área de estudio *117*
3.2. Método de muestreo *121*
3.3. Resumen de los muestreos *122*
4. RESULTADOS 125
5. DISCUSIÓN 133
6. CONCLUSIONES 136
7. BIBLIOGRAFÍA 138

Supervivencia en plantaciones de Conocarpus erectus L. (Combretaceae) en la cuenca baja del río Coatzacoalcos, Veracruz, México 141
1. INTRODUCCIÓN 141
2. MATERIALES Y MÉTODOS 143
3. RESULTADOS 149
3.1. Mortalidad *149*
3.2. Sobrevivencia *150*
3.3. Altura *151*
3.4. Diámetro *152*
3.5. Número de hojas *153*
4. DISCUSIÓN 154
4.1. Sobrevivencia *154*
4.2. Mortalidad *155*
4.3. Comportamiento altura, diámetro y hojas *156*
4.4. Tasas de crecimiento altura y diámetro *156*

5. CONCLUSIONES 157
6. BIBLIOGRAFÍA 159

Percepción de la sociedad de Tampico, Tamaulipas, con referencia a la generación de residuos sólidos costeros 163
1. INTRODUCCIÓN 163
2. METODOLOGÍA 168
3. RESULTADOS 171
4. DISCUSIÓN 182
5. CONCLUSIONES 183
6. BIBLIOGRAFIA 185

PRESENTACIÓN

La Universidad de Xalapa es una Institución de Educación Superior privada, pionera en el desarrollo de licenciaturas y posgrados en la región, tiene el compromiso de formar profesionistas y académicos altamente competentes para dar solución a problemáticas de orden local y nacional, potenciando el desarrollo de Veracruz y México en un contexto global.

Derivado de lo anterior, surge el programa de Doctorado en Ciencias Ambientales con la intención de formar investigadores que desarrollen sus capacidades para la aplicación y generación de conocimientos en el campo de las ciencias ambientales, orientados a realizar una evaluación y gestión sustentable de los recursos naturales desde una perspectiva multidisciplinaria; con amplios conocimientos teórico-prácticos, estrategias metodológicas y actitudes que les permitan incorporar a su campo profesional, académico y personal, la habilidad de investigación innovadora en beneficio de la sociedad.

Producto del cultivo de sus diferentes líneas de investigación:

- Ciencia y Tecnología Ambiental
- Evaluación y Gestión de Recursos Naturales
- Desarrollo Sustentable, Salud y Educación
- Derecho Ambiental
- Formación en Investigación

Surge este trabajo conjunto que contiene diversos aportes, avances o reportes de investigación vinculados al desarrollo de la tesis de grado de los estudiantes del Doctorado en Ciencias Ambientales, para lo cual los trabajos se han realizado, reforzado y revisado en conjunto con destacados académicos del Sistema Nacional de Investigadores del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, hermanando en un trabajo interinstitucional a la Universidad de Xalapa con otras entidades públicas y privadas como la Universidad Veracruzana, la Universidad Autónoma Chapingo, Consultora para el Desarrollo Rural y Ordenamiento Ambiental Cedro, Laboratorios Las Américas Siglo XXI y Consultores en Gestión Integral de Riesgos S. C. en esta obra que sin duda aportará y enriquecerá a las discusiones en la materia.

Enero 2016

Dr. Carlos García Méndez
Rector

MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DE FUEGOS DE PROPAGACIÓN POR PAVESAS CON AUTÓMATA CELULAR TRIANGULAR NO ESTRUCTURADO

Gerardo Mario Ortigoza-Capetillo[1], William A. Castillo Toscano[1], Alberto Lorandi Medina[2]

[1]Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería, Región Veracruz.
gortigoza@uv.mx; wcastillo@uv.mx
[2]Universidad Veracruzana, Instituto de Ingeniera
alorandi@uv.mx

1. INTRODUCCIÓN

Cada año los incendios forestales alrededor del mundo devastan enormes cantidades de tierra y causan daños extensos, tanto en la vida humana como en bienes y materiales. Estos incendios se propagan rápidamente, y sin un modelo adecuado que pronostique su crecimiento, los bomberos forestales no son capaces de combatirlo en una forma eficiente como lo sería teniendo esa información. En un manejo de emergencias de incendios forestales, los modelos de cómputo de incendios forestales son muy útiles para entender que tan rápido se pueden propagar así como las áreas que pueden ser afectadas por la propagación de un incendio antes

de que este ocurra. Los resultados pueden ser usados para entrenamiento, así como la planeación de estrategias de protección al fuego o planes de emergencias de bomberos forestales.

El incendio por propagación de pavesas es uno que incrementa enormemente los riesgos y se presenta generalmente en incendios forestales muy grandes. Además de ser muy difíciles de predecir, el incendio puede crear situaciones muy peligrosas especialmente para los bomberos forestales, dificultando sus movimientos y finalmente tiene el potencial para atraparlos entredos frentes de fuego. En incendios, que se producen en la interface urbano/forestales, las pavesas son una fuente muy peligrosa que puede hacer que los incendios lleguen hasta las edificaciones y/o estructuras, sin que esta propagación sea conducida por contacto directo, sino por la propagación de las mismas. También reduce la efectividad de la prevención de incendios, haciendo el control de quemas prescritas una tarea complicada.Pese a su complejidad y desarrollo aleatorio, tratar de predecir los factores que gobiernan su desarrollo así como los lugares de ocurrencia puede ayudar a minimizar los efectos devastadores.

El trabajo está organizado como sigue: en la sección 2 se presentan algunos de los principales supuestos de un modelo de autómatas celulares previamente reportados para la propagación del fuego mediante una malla triangular no estructurada. Aquellos incluyen: estados, ignición y probabilidad de combustión para diferentes tipos de combustibles; en esta sección introducimos también la definición de nuestro modelo de pavesas y cómo se implementa en rejillas triangulares no estructuradas. En la sección 3 se presen-

tan algunas simulaciones numéricas. Finalmente en la sección 4 se incluyen algunas conclusiones de este trabajo.

2. UN MODELO DE PROPAGACIÓN DE PAVESAS IMPLEMENTADO EN UN AUTÓMATA CELULAR TRIANGULAR NO ESTRUCTURADO

Comencemos revisando que algunos de los supuestos básicos de los autómatas celulares triangulares no estructurados para la propagación de un incendio forestal definida en [9].

1. El dominio espacial se discretiza usando una malla triangular no estructurada, cada celda es un triángulo.

2. Se asumen vecindades de Neumann (una celda y sus tres vecinos).

3. En cada momento, cada celda puede asumir uno de los cuatro valores siguientes:

   (0) que representa una celda no combustible (no inflamable).
   (1) representa una celda combustible.
   (2) representa una celda quemándose.
   (3) que representa una celda quemada.

4. Dos probabilidades se asignan a cada celda: p_i probabilidad de ignición y p_q probabilidad de detener el fuego. El primero caracteriza la capacidad de un combustible para quemarse, y la segunda la capacidad de mantener la combustión.

5. El fuego se propaga de una celda quemándose a una celda combustible con una probabilidad p_i.

6. Las reglas de las transiciones están definidas por:

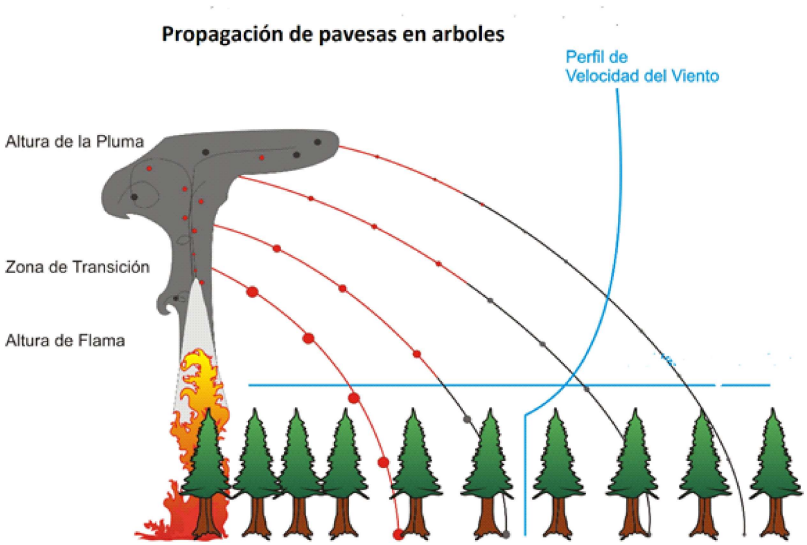
$$\begin{cases} (1) \rightarrow (2) \text{con probabilidad } p_i \\ (0) \rightarrow (0) \text{una celda no consumible no se incendie.} \\ (2) \rightarrow (3) \text{una celda de la quema se convierte en una celda quemado con probabilidad } p_q \\ (3) \rightarrow (3) \text{una celda quemada permanece quemándose.} \end{cases}$$

Se asumen condiciones de frontera fijas.

7. La probabilidad de ignición depende de cada tipo de combustible y también puede ser relacionada con otros parámetros tales como: la temperatura ambiente, la humedad relativa, viento (velocidad / dirección) y pendiente del terreno.

2.1. Modelos de propagación de pavesas

Las pavesas es el fenómeno por el cual material que se está quemando, conocido como brasas, y que se encuentra en la parte superior de los arboles (copas), es transportado por el campo de influencia de las condiciones del fuego y del viento, y es depositado adelante del incendiogenerando un nuevo frente de fuego.



Albini [1] desarrolló un modelo predictivo para la distancia máxima de alcance de la brasa de un árbol incendiado. El modelo de Albini se ha incorporado en los modelos de incendios forestales como BEHAVE y FARSITE. FARSITE [4] simula el incendio determinando los lugares de contacto de brasas estándar de diferentes tamaños que se transportan sobre la topografía heterogénea. Linn et al. modelaron las brasas en dos formas simples: un disco y un cilindro [6].

Albini asume que las brasas comienzan a propagarse a favor del viento después de la estructura de la flama/pluma colapsa, lo que significa que el fuego principal se extingue antes de que se lleve a

cabo el transporte de las brasas. Boychuk et. al. [2] tratan la generación de una brasa que empieza a ser enviada a lo alto como un evento de Poisson a las velocidades de propagación de las celdas adyacentes y de que tan rápido de consume el fuego en la celda actual. También generan una variable aleatoria de Bernoulli para determinar si la ignición se produce en el momento en que tocan el terreno. Porterie et. al [11] usaron redes de pequeños objetos para simular el efecto de brasas y paveas. Permiten que cada espacio o lugar que se encuentra en combustión, genere un numero de brasas que depende del tiempo, *N (t)*,así mismo del tipo de tipo combustible. También analiza cuando una brasa llega a un sitio sin quemar, y se cuenta con una probabilidad de ignición Pi (t), basada en el contenido de humedad y el tipo de material combustible que la recibe para determinar si la brasa provoca el inicio de un nuevo fuego. La mayoría de los incendios forestales de pavesas son causados por la ignición de fragmentos de corteza de árboles, y la abundancia e intensidad de este fenómeno depende de la cantidad y tipo de la corteza de los árboles. Las pavesas son más marcadas en bosques de eucaliptos; de hecho, muchos modelos de comportamiento del fuego en los pastizales o praderas no tienen en cuenta el efecto de las pavesas ya que los combustibles en el pastizal essuficiente para cruzar pequeñas barreras de combustibles. Sin embargo, algunos simuladores de incendios forestales como Phoenix[10] pueden iniciar focos secundarios en los combustibles de pastizales de incendios en los bosques. Opperman informó una comparación de los diferentes sistemas de modelado de pavesas.[7]. Perryman et al. realizaron experimentos numéricos sobre mallas rectangulares para verificar el cómo se propaga el fuego y el efecto de la velocidad de propagación del mismo. [10]. Con el fin de reducir el sesgo inducido por rejillas rectangulares

[8] implementamos un autómata celular en las redes no estructuradas para modelar y simular este fenómeno. En nuestro modelo suponemos que el fenómeno se manifiesta básicamente en los árboles / arbustos cuando ocurre un incendio de alta intensidad (material con fuego que puede ser elevado y transportado); también asumimos que el inicio de nuevos incendios depende de tipo de combustible que exista en el lugar donde lleguen las brasas [3]. Las condiciones atmosféricas que sean favorables para la propagación del fuego continuo, tales como elevadas velocidades de viento y baja humedad, también mejoran este mecanismo de propagación del fuego lo que propicia que aumente tanto la distancia a la cual llega el transporte de las pavesas así como la probabilidad de la ignición [5]. La dirección del viento impulsa el transporte de material incendiario, suponemos que se dispersa en un ángulo de 28° de la celda que inicia el fuego; donde la línea central está determinada por la dirección del viento. Nuestro modeloincluye la probabilidad de transporte de pavesas como una función de la humedad relativa según lo informado por Weir [3]. Sus datos fueron utilizados para ajustar la curva exponencial

$P_{brasa} = a * e^{-b*x} + C$, aquí los coeficientes se calculan empleando los mínimos cuadrados con un 95% límites de confianza. Se obtiene

$$P_{brasa} = 20.14 * e^{-0.1383*HR} + 0.02981$$

con bondad de ajuste: SSE 0.008726, R-cuadrada: 0.9906, R-cuadrada ajustada:0.9886, RMSE: 0.03114.

La figura 1 muestra la probabilidad de transporte de pavesas como función de la humedad relativa.

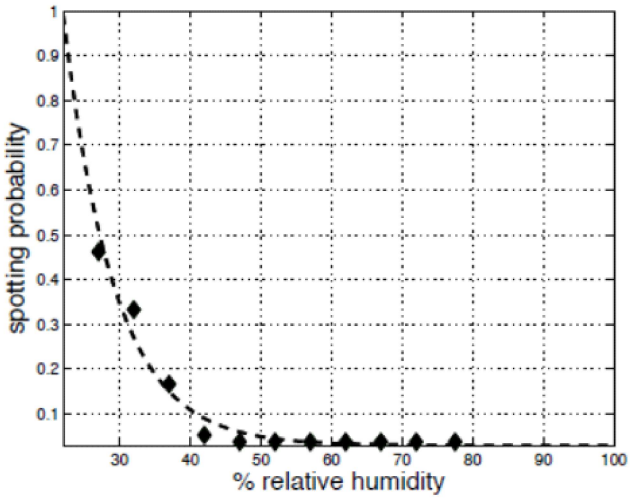


Figura 1. Curva exponencial para emplearse en probabilidad de propagación de pavesas como una función de la humedad relativa.

El fenómeno de transporte de pavesas es muy complejo, sin embargo, asumiendo algunas simplificaciones a nuestro modelo lo podemos emplear:

1.- Las brasas comienzan a propagarse a favor del viento después de la estructura de la llama / penacho colapsa, por lo que una celda quemándose que cambia a celda quemada se considera como una fuente de transporte de pavesas.

2.- La probabilidad de trasporte de pavesas depende de la humedad relativa.

3.- La intensidad del fuego en la celda fuente se estima por el número de las células vecinas que se encuentren en llamas.

4.- Una célula se considera como una fuente de transporte de pavesas, dependiendo del tipo de combustible que contiene, asumimos este transporte básicamente en los árboles / arbustos.

5.- La intensidad del viento afecta la distancia a la cual llega el transporte de pavesas, empleando vecindades de Neumann extendidas(vecindades de las vecindades).

6.- La dirección del viento impulsa el transporte de material incendiario, suponemos que se dispersan en un arco de 28º de la celda fuente de fuego.

7.- Un nuevo el fuego inicial depende de la probabilidad de ignición del tipo del combustible donde llegue la brasa.

3. Las simulaciones numéricas

Se considera un dominio cuadrado de a 2 km x 2 km, dos tipos de combustibles: árboles $(\sqrt{x^2} + y^2 \leq 1000)$ y hierba por otro lado. Como condición inicial se asumió un núcleo de células que queman ubicados en el origen $(\sqrt{x^2} + y^2 \leq 500)$ como muestra la figura 2.

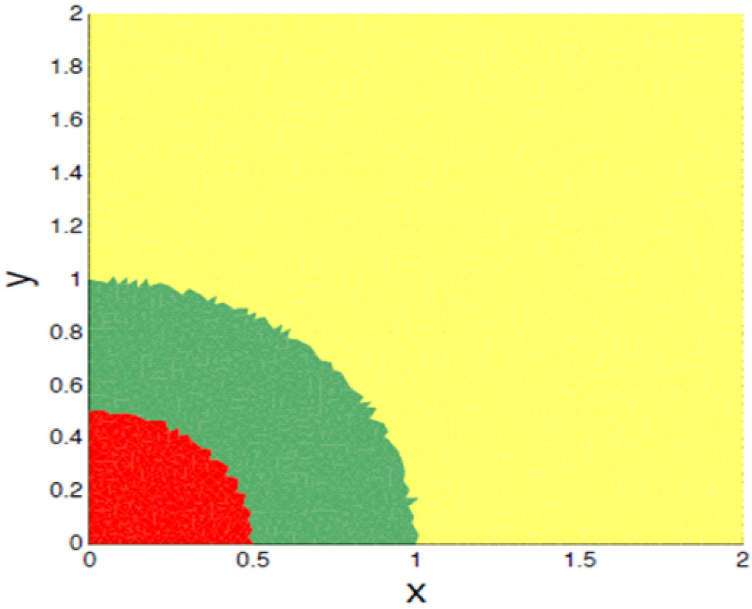


Figura 2. Un dominio cuadrado, con tipo de combustible hierba/árboles y un núcleo inicial de combustión.

3.1. Las pavesas aumentan la propagación del fuego

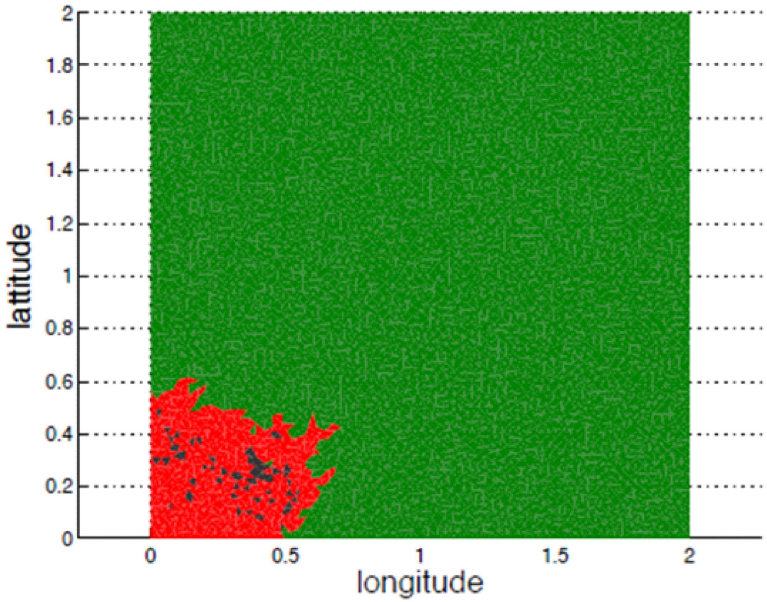


Figura 3. Intensidad de viento de 21 km/h dirección noreste sin pavesas.

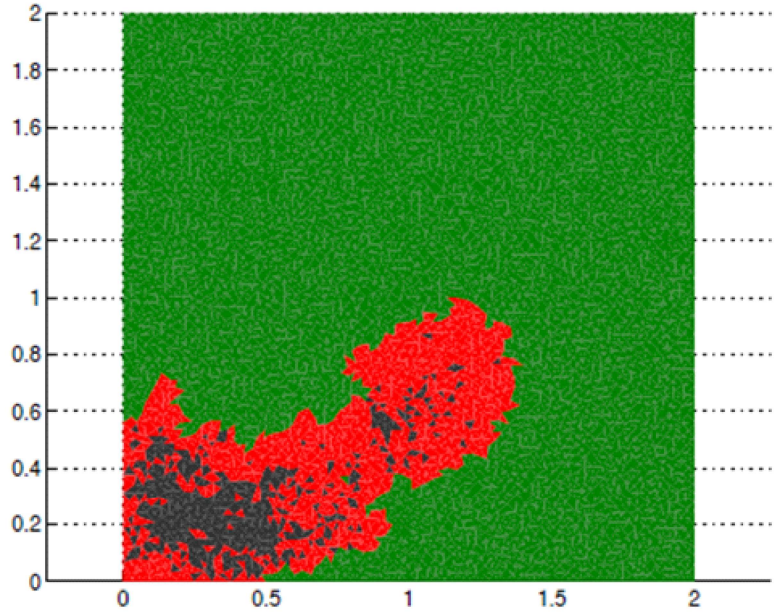


Figura 4. Intensidad del viento de 21 km/h en dirección noreste asumiendo el modelo de propagación de pavesas.

La Figura 3 muestra la propagación del fuego bajo el efecto de un viento de 21 km/h en dirección noreste. Podemos notar los dedos de incendios producidos por el efecto del viento; aquí se considera ningún efecto de transporte de pavesas. Por otro lado en la figura 4, donde se considera el modelo de transporte, el fuego se extendió hacia adelante, lo que hizo que el fuego llegara a la zona de pastizal. En ambas figuras tiempos de simulación son las mismas 500 iteraciones de tiempo.

3.2. La propagación por pavesas salta barreras

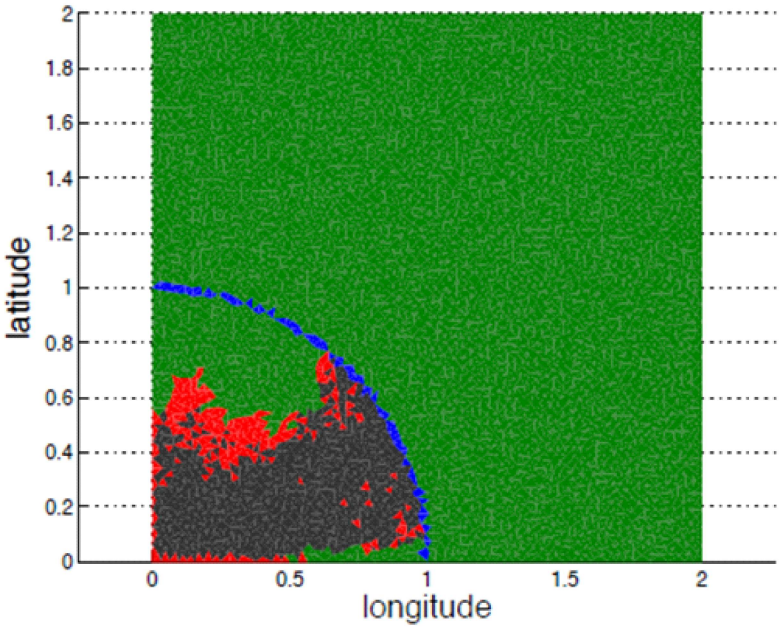


Figura 5. Intensidad del viento 21 km/ h dirección noreste sin propagación de pavesas, con una barrera.

En la figura 5 asumimos que no hay fenómeno de transporte de pavesa, el fuego se propaga con un viento de 21 km/h en dirección del noreste, la condición inicial está rodeado por una frontera natural que no puede quemarse(980??(x^2)+y^2?1000). Como vimos al final de la simulación, el fuego está rodeado por esta barrera natural, lo que hace el uso de barreras sea uno de los métodos más utilizados en quemas prescritas o extinción de incendios por parte de los bomberos forestales.Por otra parte, en la

figura 6, donde el modelo de propagación de pavesas, con la misma dirección y velocidad del viento se supone que la barrera no impide la propagación del fuego. Las pavesas producen nuevos incendios en el otro lado de la barrera no combustible; esta es la razón por la que la propagación de pavesas es un fenómeno muy peligroso. En ambos casos se supone 1000 iteraciones de tiempo, y las variables climáticas son: 30 °C de temperatura, humedad relativa 30% y el contenido de humedad del combustible de 30%.

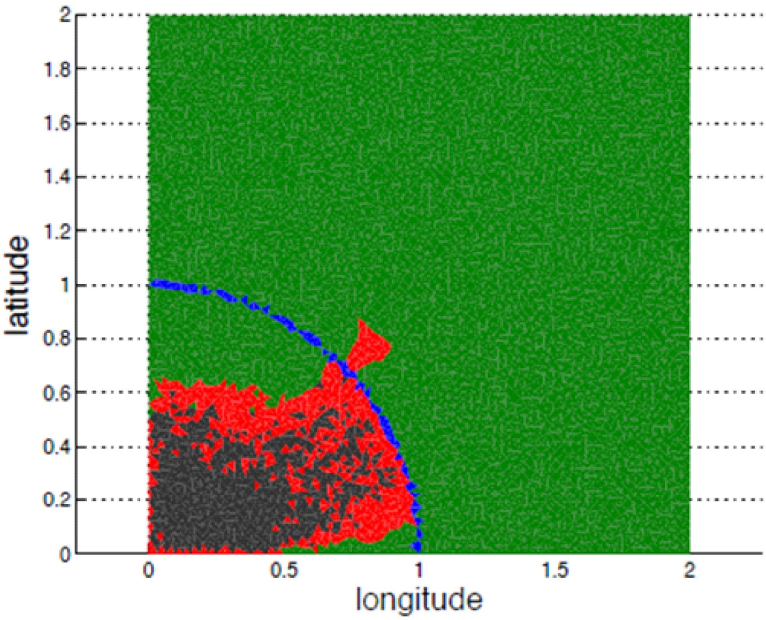


Figura 6. Intensidad del viento 21 km/h dirección noreste suponiendo modelo de propagación de pavesas, con una barrera inicial, pero el fuego final salta la barrera.

4. DISCUSIÓN

Hagamos algunas observaciones sobre el enfoque propuesto de incorporarsu modelo de propagación a un autómata celular triangular no estructurado para el modelo de propagación de incendios. Este modelo supone que el fenómeno solo ocurre en las celdas que contienen árboles o arbustos. La propagación de brasas ocurre cuando una celda pasa del estado quemándose a quemado. Las brasas se suponen que serán accionadas por el viento (dirección / intensidad), de acuerdo con el número deceldas vecinas que se encuentren quemadas(intensidad del fuego) y la magnitud del viento, así estimamos la distancia de propagación mediante el uso de los rangos de las vecindades extendidas. La figura 7 muestra las vecindades extendidas, rango 1 verde, rango 2 púrpura y rango 3 verde agua, el rojo es la celda que se está quemando y celdas amarillas son rango de 0. El la propagación de pavesas sigue la dirección del viento cuando el ángulo entre el vector de viento y el vector de las brasas (vector de la celda fuente y la celda prospecto de aterrizaje) es menor o igual a 28º. Además probabilidad del fenómeno se supone que es dependiente de forma exponencial en la humedad relativa. El éxito del encendido por el trasporte de brasas en la llegada al terreno depende de la probabilidad de que se encienda la celda tan pronto llega al terreno.

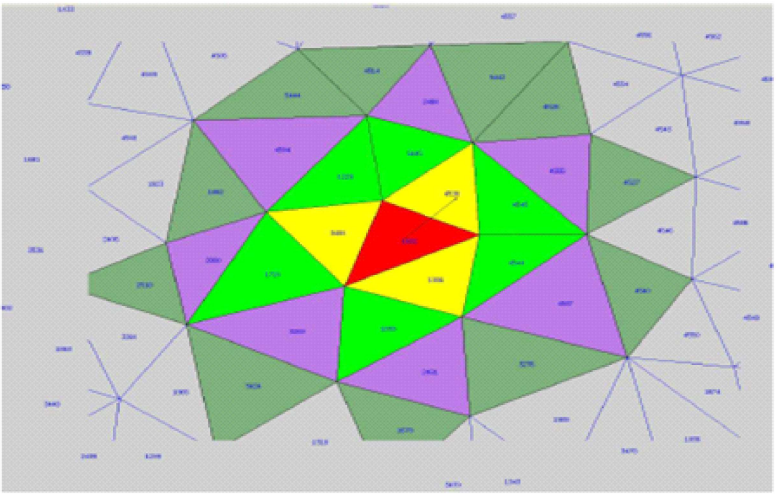


Figura 7: Vecindades extendidas

Aquí presentamos un Pseudocódigo para su modelo de propagación de pavesas:

```
loop over the cells i
if (olddof[i]=burning AND newdof[i]=burned)
if (cell=tree OR cell=shrubs)
calculateswind_intensity and fire_intensity
defines range depending of wind_intensity and fire_intensity
switch (ranges)
loop over cells in the range
        calculatesspotting_vector
         if (angle between spotting_vector and wind_vector< 28 )
              if (rand()<spotting_probability(RH))
                 fuel cell burns by spotting
```

```
                    end if
                end if
            end loop
        end switch
end if
end if
end loop over cells
```

5. CONCLUSIONES

Hemos propuesto el uso de un modelo de propagación de incendios forestales por pavesas incorporándolo a un autómata celular triangular no estructurado. El modelo asume que la propagación de presenta cuando una celda cambia de estar quemándose a quemada y se presenta cuando las celdas contienen arbustos y árboles. La intensidad del viento y la velocidad de propagación del fuego se utilizan para determinar el rango al cual llegaran las pavesas. Las brasas son dirigidas por el vector dirección del viento dentro de un ángulo de 28º; la probabilidad de propagación de pavesas se considera en dependencia de la humedad relativa en forma exponencial y la celda se considera que se empieza a quemar en función de la probabilidad de ignición de la celda cuando llega al terreno. Los experimentos numéricos reproducen el comportamiento de los fenómenos de incendios por propagación de pavesas. El fenómeno aumenta la intensidad de propagación de incendios, además de que salta barreras que se hallan formado ya sea en forma natural o como medida para contener incendios, lo que en su momento dificulta las acciones para poder contener los mismo, labores que realizan los bomberos forestales. Como traba-

jo futuro se pretende comparar los resultados del presente modelo con los demás modelos usados y desarrollados por otros países que tengan acoplado el módulo de incendios por propagación de pavesas.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología CONACYT. Proyecto 25128, Ciencias Básicas.

6. REFERENCIAS

[1] Albini F. A. (1979), Spot fire distance from burning trees; a predictivemodel, USDA Forest Service, Intermountain Forest Range Experimentstation. technical report INT-56.

[2] Den Boychuk, W. John Braun, Reg J. Kulperger , Zinovi L. Krougly,David A. Stanford (2009), A stochastic forest fire growth model, Environmentaland Ecological Statistics, Volume 16, Issue 2, pp 133-151.

[3] Peter F.M. Ellis, (2012), A review of empirical studies of firebrandbehaviour, Bushfire Cooperative Research Centre

[4] Mark A. Finney, (2004), Farsite: Fire Area Simulator Model Development and Evaluation, available at www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_rp004.pdf

[5] koo E., Pagni P.J., Weise D.R., Woycheese J.P., (2010), Firebrands andspotting ignition in large-scale fires, International Journal of WildlandFire 19(7):818-843.

[6] R. R. Linn ; C. H. Sieg ; E. X. Koo ; J. L. Winterkamp,(2010),Usinga physics-based model to characterize spotting potential for protectionof the wildland urban interface, Final Report to the Joint Fire ScienceProgram.

[7] T. Opperman, (2010), Modeling Spot Fires-U.S. Modeling System Comparisons for Practitioners, Wildland Fire Management RD&A

[8] Ortigoza G. ,(2015), Unstructured Triangular Cellular Automata forModeling Geographic spread, Journal o applied mathematics and ComputationElsevier, 258, pp 520-536.

[9] Ortigoza G.(2015) , An Unstructured Triangular Cellular Automata forModeling Fire Propagation, submitted to Ecological Modelling Elsevier.

[10] Perryman H. A., Dugaw C. J., Varner J.M. and Johnson D. L.,(2013),A cellular automata model to link surface fires to firebrand lift-off anddispersal, International Journal of Wildland Fire, 22, 428-439.

La obra electrónica «Estudios de caso en las ciencias ambientales» se terminó de editar en la Editorial de la Universidad de Xalapa, A. C. el mes de enero de 2016, para su elaboración se utilizaron fuentes Garamond y Arial, su distribución digital es gratuita.

Contribuir a preservar el medio ambiente es responsabilidad de todos. Tarea nada simple, pero sí, impostergable. Generemos ideas y llevémoslas a la práctica por el bienestar de todos.