

Estimación de cargas de combustibles forestales, mediante árboles de regresión y el inverso de la distancia al cuadrado (IDW)

José Armando Velasco Herrera¹
José German Flores Garnica²

RESUMEN

Se determina la distribución espacial de las cargas de combustibles forestales de una, diez, cien y mil horas (divididos en firmes y podridos), así como el combustible de hojarasca de la reserva de la biosfera selva el Ocote. Mediante árboles de regresión y el método de interpolación inverso de la distancia al cuadrado (IDW), utilizando variables independientes numéricas y dummy.

El modelo predictivo, para determinar la distribución espacial de las cargas de combustibles de 1, 10, y 100 horas así como el combustible de hojarasca, fue satisfactorio. Mientras que para los combustibles de 1000 horas, divididos en firmes y podridos, el modelo predictivo resulto no satisfactorio. Por lo que a partir de estos resultados se determina que es importante incrementando el tamaño de muestras y el área misma de muestreo para los combustibles de 1000 horas en su categoría de firme y podrido.

Palabras clave: Combustible, Dummy, Árboles, idw, Forestal, Gis.

ABSTRACT

Spatial distribution has been determined for forest fuel of one, ten, a hundred and a thousand hours (divided into firm and rotten), and litter fuel at the biosphere reserve selva el Ocote. By regression trees and the interpolation methods of inverse distance weighted (IDW), using numerical and dummy independent variables.

The model predictor determined the spatial distribution of fuel loads of one, ten, a hundred was satisfactory. Meanwhile model predictor for thousand hours fuel, firm and rotten, had unsatisfactory results. These results suggest further sampling, in order to increase the number and sampling area for one thousand hours fuels in both categories (firm and rotten).

Keys words: Fuel, Dummy, Trees, idw, Forestry, Gis.

INTRODUCCIÓN

Cuando en una selva o bosque se carece de la presencia de los combustibles forestales es imposible que se genere un incendio. Sin embargo cuando los combustibles se producen, se acumulan y trascurren largos periodos de tiempo sin la presencia del fuego, el riesgo de un incendio de alta intensidad es más probable (Flores, 2007). La cantidad y disposición de los combustibles muertos

¹Facultad de ingeniería. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH), Libramiento Norte Poniente 1150, Col. Lajas Maciel, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; México. Cp. 29039
Correo velascoherrera@gmail.com

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), centro de investigaciones del pacifico centro campo experimental forestal Colomos. Guadalajara, Jalisco; México.

generalmente determinan la facilidad de iniciar y propagar el fuego (Villers, 2006), como ha ocurrido en diversos ecosistemas. En México, bosques y selvas son constantemente afectados de manera continua por incendios forestales provocando pérdidas de los recursos naturales con valor ecológico y económico (SEMARNAT, 2007).

El estado de Chiapas, año tras año y desde 1995, ocupa los primeros lugares nacionales en superficie afectada por este fenómeno. Los trabajos de campo se

realizaron en la Reserva de la Biosfera Selva el Ocote (REBISO), dada su importancia faunística y florística, se localiza al Noroeste del estado de Chiapas. El 90% de los incendios que en ella se manifiestan tienen origen antropogénico y solamente el 10% es ocasionado por fenómenos naturales (SEMARNAT, 2007). Esto podría ser como consecuencia de las condiciones socio-económicas en áreas, donde el fuego se emplea como herramienta tradicional para actividades relacionadas con el uso del suelo (Dwyer *et al.*, 1999).

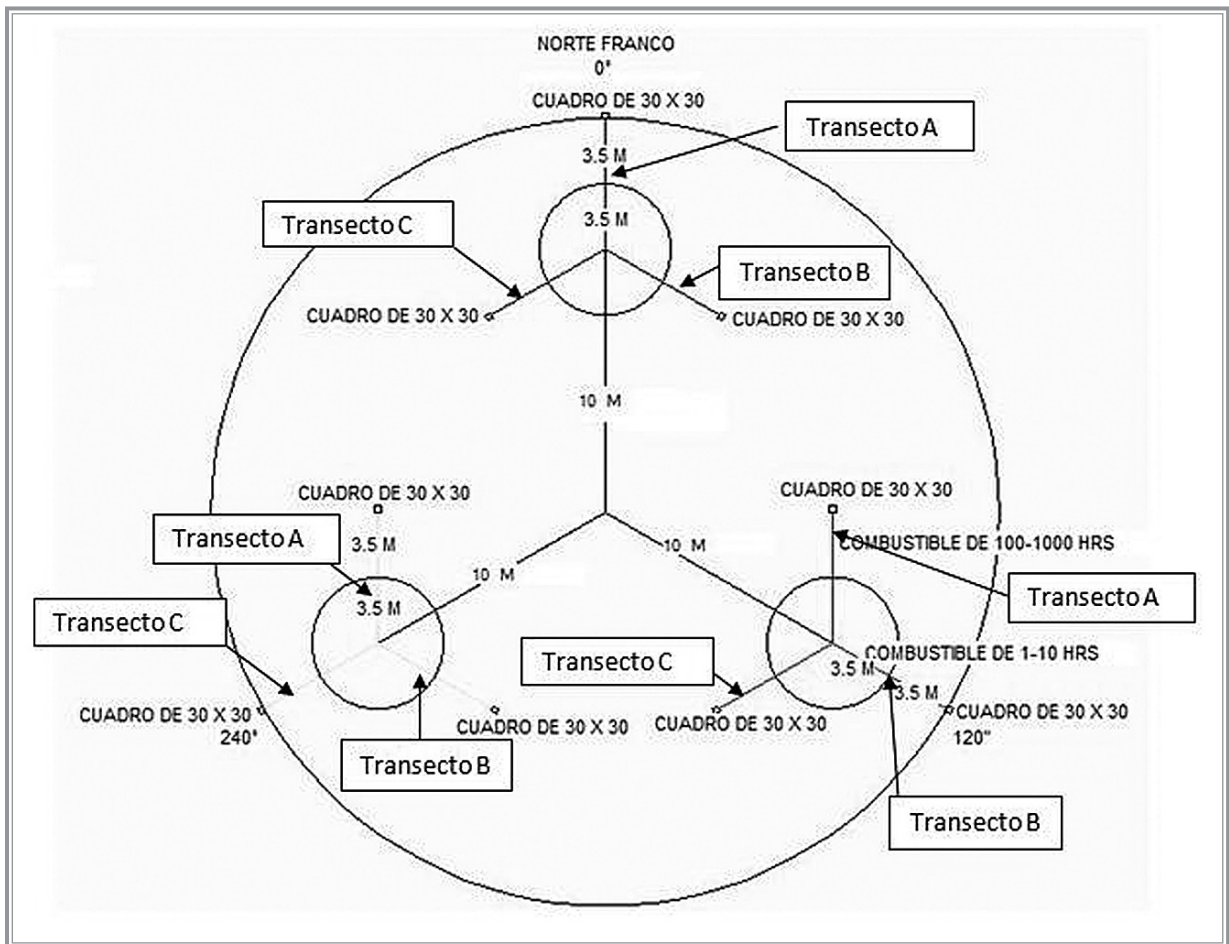


Figura 1 ■ | Diseño del sitio de muestreo con dimensiones y orientación de las cuerdas.

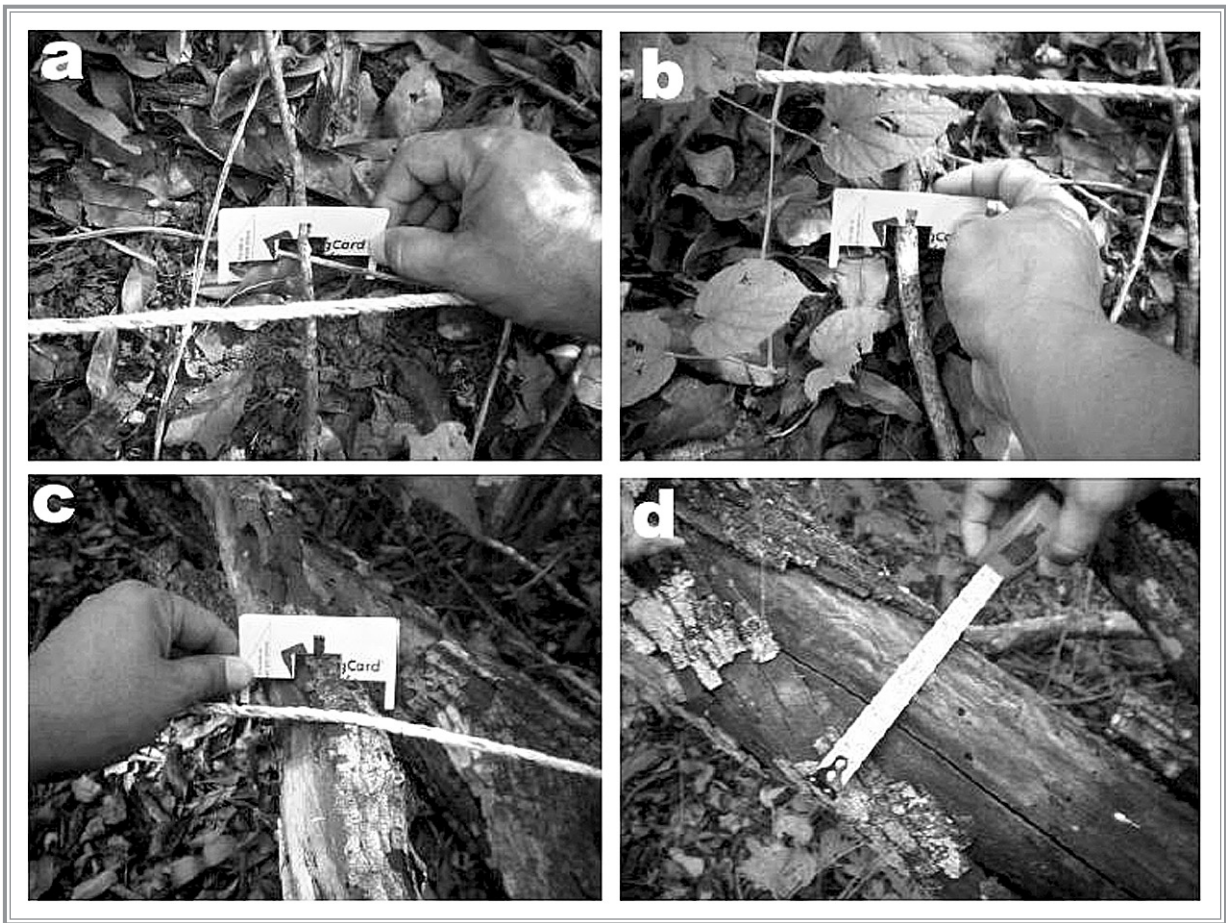


Figura 2 ■ Medición de combustibles de: a) 1Hora (0 a 0.6 Cm), b) 10 Horas (0.61 a 2.5 Cm), c) 100 Horas (2.51 a 7.6 Cm); d) 1000 Horas, utilizando flexómetro (> 7.6 Cm).

Los incendios forestales no sólo afectan los hábitats para la fauna y flora, sino que también la presencia del fenómeno elimina la cubierta protectora vegetal, alterándose los ciclos hidrológicos y modificándose las características edáficas y con ello la disminución de la productividad de los suelos, aunados a procesos severos de erosión. A nivel económico, los incendios son responsables de graves pérdidas asociadas a la afectación de especies maderables, de productos secundarios forestales como aquellas especies aprovechables para uso farmacéutico, junto con estas afectaciones hay

que destacar las alteraciones a nivel climático local. El humo de los grandes incendios tiene efectos temporales sobre la formación de nubes de lluvia dificultando su formación (Nepstad *et al.*, 2001), además de afectaciones a la salud por las elevadas concentraciones de material en suspensión.

Con este panorama, resulta importante desarrollar procesos que permitan la estimación de la distribución espacial y la cantidad de los combustibles forestales, ya que llegado el momento se podrán tomar decisiones importantes a partir de información precisa (Flores,

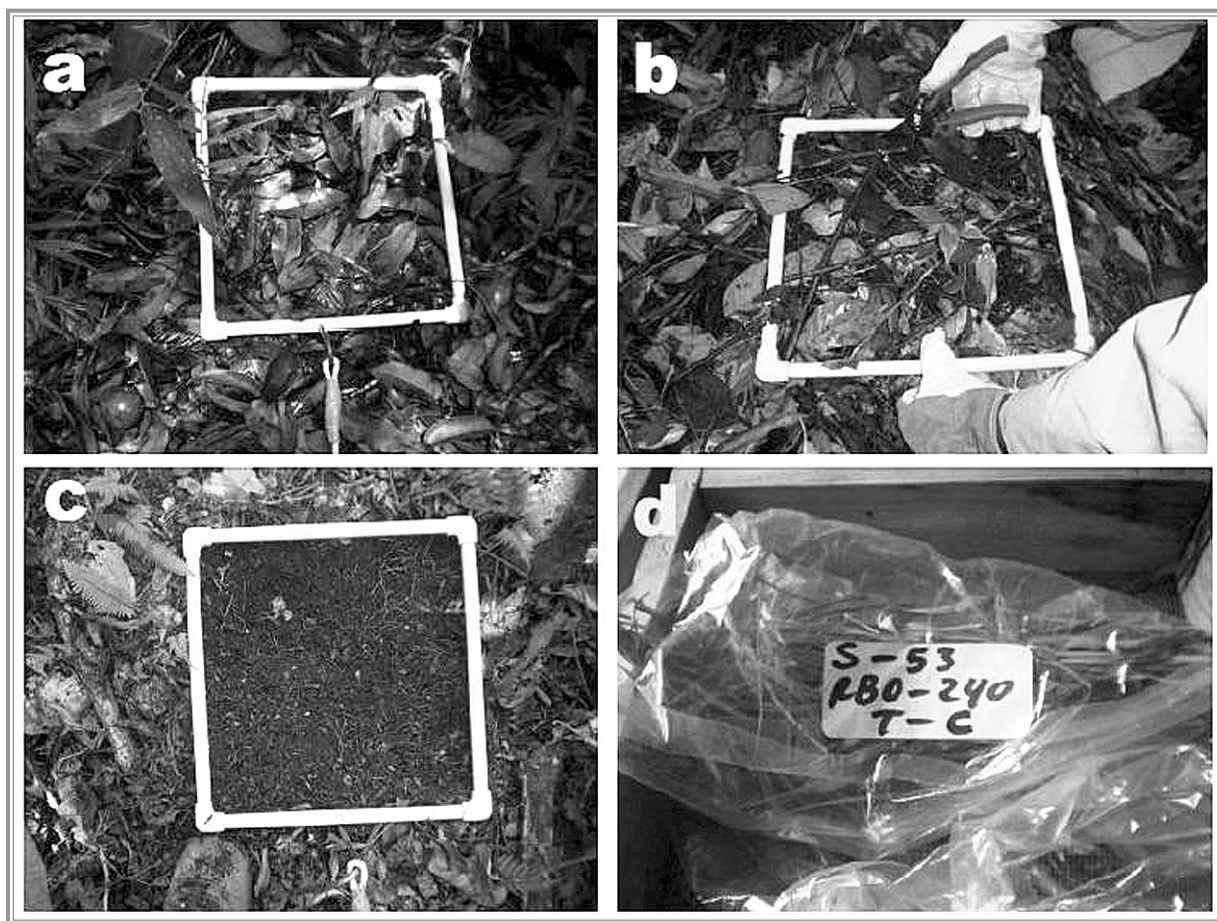


Figura 3 ■ a) Cuadro de 30 x 30 Cm para muestrear la hojarasca; b) Levantando el combustible; c) Aspecto del sitio una vez levantado el material combustible; d) combustible muestreado y etiquetado, para su posterior separación en laboratorio. (S-53= sitio 53, Rbo-240 = Rumbo o Azimut, T-C= Transecto C).

2007). La distribución espacial de los combustibles forestales tiene un papel preponderante en la modelación de la simulación del comportamiento de los incendios forestales. Sin embargo hasta la fecha los trabajos para determinar esta distribución de los combustibles forestales ha sido una tarea muy difícil (Keane *et al.*, 1999). La información de la distribución espacial de las cargas de combustibles forestales, permite mejorar la toma de decisiones para establecer programas relacionados con el manejo integral del fuego (quemadas prescritas, rege-

neración natural de las plantas, programas preventivos y de combate directo al fenómeno en caso de que este se presente), lo que lleva a evitar posibles pérdidas de vidas humanas (Villers, 2006).

METODOLOGÍA

Los sitios de muestreo fueron determinados de acuerdo al diseño de un muestreo aleatorio estratificado, en cada sitio se levantaron las muestras de acuerdo a la metodología desarrollada por Brown *et al.*, (1974)

y adaptada por Flores *et al.*, (2008), el cual consistió en realizar un trazo utilizando tres cuerdas de 13.50 metros cada una. La primer cuerda se orientó a 0° grados de Azimut o lo que es lo mismo con rumbo Norte Franco, la segunda con un Azimut de 120° grados o rumbo Sureste de 60° y la tercera con un Azimut de 240° grados o rumbo Suroeste de 60°. Al final de cada línea de 13.50 metros se adicionaron tres cuerdas de 7.00 metros cada una, que al igual que las cuerdas de 13.50 metros fueron orientadas a 0°, 120 y 240 grados de Azimut respectivamente. Figura 1.

Posteriormente se procedió a realizar el levantamiento de los combustibles gruesos y ligeros. Primeramente el combustible grueso de 1 hora, siguiendo con los de 10, 100 y 1000 horas, divididos en firmes y podridos. Los combustibles de 100 y 1000 horas se midieron a lo largo de la línea de siete metros, mientras que los combustibles de 1 hora y 10 horas fueron medidos en los primeros 3.50 metros de cada transecto A, B, C. Figura 1 y 2.

El combustible ligero representado por la hojarasca se levantó al final de cada transecto, mediante un cuadro de 30 x 30 cm, de acuerdo a la metodología adaptada por Flores *et al.*, (2008). Figura 3. Una vez realizados los muestreos directos en campo se definieron las variables numéricas y *dummy* para su modelado en los árboles de regresión y posterior interpolaciones en el inverso de la distancia al cuadrado (IDW). Encontrando con ello las variables numéricas y *dummy* que mejor estiman las cargas de combustibles forestales y su distribución espacial mediante los valores predictivos obtenidos con los árboles de regresión y el IDW.

RESULTADOS

Se determinó que la distribución espacial del combustible de 1 hora, tanto para variables numéricas como cualitativas (*dummy*). Presentan una concordancia con valores semejantes entre sí. La variable independiente numérica que mejor respuesta tiene para modelarla con árboles de regresión fue la banda 4 de una imagen

Spot y la banda 8 de una imagen Landsat Thematic Mapper. Las variables independientes *dummy* que mejor respondieron a los árboles de regresión fueron el clima y la hipsometría del área de estudio.

Para los combustibles de 10 horas, el modelo predictivo establecido con variables numéricas y *dummy*, en ambos casos se encontró dentro de los parámetros aceptables. La variable independiente numérica que mejor respuesta tuvo con los árboles de regresión fue la banda 2 de una imagen Spot y la banda 5 de la imagen Landsat TM. Por otro lado la variable independiente *dummy* que mejor respondió a los árboles de regresión fue la correspondiente al relieve.

La distribución espacial de las cargas de combustibles forestales de 100 horas, en la REBISO. Generados mediante los árboles de regresión y la interpolación por el inverso de la distancia al cuadrado (IDW), tanto para variables numéricas como cualitativas (*dummy*). Nos presenta que el modelo predictivo en ambos casos se encuentra dentro de los parámetros aceptables. Se obtiene una mayor definición con el IDW, utilizando interpolaciones con potencias de 3.6 para variables independientes numéricas y potencia de 0.1 para variables independientes *dummy*. Las variables independientes numéricas que mejor respuesta tienen para modelarlas con árboles de regresión se encuentra en la banda 2 de la imagen Landsat TM. Por otro lado las variables independientes *dummy* que mejor respondieron a los árboles de regresión fueron el clima y la hipsometría del área de estudio respectivamente. Sin embargo la distribución espacial de las cargas de combustibles forestales de 1000 horas firmes, en la REBISO. Nos dice que el modelo predictivo en ambos casos no se encontró dentro de los parámetros aceptables. La variable independiente numérica que mejor respuesta tiene para modelarla con árboles de regresión se encuentra en la banda 6 de la imagen Landsat TM. Por otro lado las variables independientes *dummy* que mejor respondieron a los árboles de regresión fueron correspondiente al clima y la hipsometría del lugar respectivamente. La distribución espacial de las

cargas de combustibles forestales de 1000 horas podridos, en la REBISO. Nos dice que el modelo predictivo en ambos casos no se encontró dentro de los parámetros aceptables. Las variables independientes numéricas que mejor respuesta tienen para modelarlas con árboles de regresión se encuentran en la banda 2 de la imagen Spot y la banda 1 de la imagen Landsat TM. Por otro lado las variables independientes *dummy* que mejor respondieron a los árboles de regresión correspondiente al clima y la hipsometría del lugar respectivamente. La distribución espacial de las cargas de combustibles forestales de la clase de hojarasca, presenta que el modelo predictivo para variables numéricas como *dummy*, en ambos casos se encuentra dentro de los parámetros aceptables. Se obtiene una mayor definición con el IDW, utilizando interpolaciones con potencias de 0.009 para variables independientes numéricas y potencia de 1.7 para variables independientes *dummy*. Las variables independientes numéricas que mejor respuesta tienen para modelarlas con árboles de regresión se encuentra en la variable que corresponde a la precipitación y los valores del modelo digital de elevaciones del área de estudio. Por otro lado las variables independientes *dummy* que mejor respondieron a los árboles de regresión fueron correspondiente al clima y la hipsometría del lugar respectivamente.

CONCLUSIONES

Los árboles de regresión encuentran una mejor respuesta para la estimación de las cargas de combustibles forestales de 1 hora, en la información proveniente del infrarrojo medio (1,58 – 1,75 μm), de imágenes Spot y longitudes de onda del visible (0.52 – 0.90 μm), de imágenes Landsat. Así mismo para los combustibles de 10 horas encuentran una mejor respuesta para la estimación de las cargas de combustibles forestales, la información del visible (0,61 – 0,68 μm) de imágenes Spot e infrarrojo lejano (1.55 – 1.75 μm), para imágenes Landsat. Para los combustibles de 100 horas, los árboles de regresión modelaron la información proveniente del visible de imágenes Landsat. Para los

combustibles de 1000 horas, los árboles encontraron buena respuesta en las bandas del visible de ambas imágenes y en el térmico de la imagen Landsat. A diferencia del combustible de la clase de hojarasca que encontró su mejor disposición en información proveniente de la precipitación y la información proveniente del modelo digital de elevaciones.

La actualización de las cartografías referentes a la construcción de los mapas que permiten determinar la distribución espacial de las cargas de combustibles forestales de una hora, diez horas, cien horas y hojarasca, en lo subsecuente podrán realizarse mediante árboles de regresión, o bien utilizando métodos de interpolación como el inverso de la distancia al cuadrado y las potencias aquí señaladas para cada tipo de combustible como las idóneas. Es importante que en futuros trabajos se realice la modelación de las cargas de combustibles finos como el humus y la capa de fermentación. Así mismo se recomienda modificar el muestreo de los combustibles de 1000 horas (firmes y podridos), levantando todo el material que se encuentre dentro del círculo de 20.50 metros con la finalidad mejorar las precisiones para este tipo de combustible en particular.

LITERATURA CITADA

- BROWN, J., 1974.** *Handbook for inventorying downed woody material.* USDA Forest Service. Utah, USA. pp. 1-24.
- DWYER, E., J.M.C. PEREIRA, J.P. GREGOIRE & C.C. DACAMARA, 1999.** Characterization of the spatio-temporal patterns of global fire activity using satellite imagery for the period April 1992 to March 1993. *J. Biogeogr.* 27:57-69.

FLORES, G., 2007. *Plan de protección contra incendios forestales en el estado de Chiapas, basado en la ubicación de áreas de mayor riesgo.* Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro-Altos de Jalisco, México.

FLORES, G., D. CHÁVEZ, J.C. XELHUANTZI y S.A. VILLELA, 2008. *Evaluación de la Respuesta de Diferentes Ecosistemas Forestales a los Incendios Forestales.* Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro-Altos de Jalisco, México.

KEANE, R., E. BURGAN, & VAN WAGTENDOK, 1999. *Mapping wild land fuels for fire management across multiple scales: Integrating remote sensing, GIS, and biophysical modeling.* USDA For. Ser. RMRS. Fire Sciences Laboratory, Fire Modeling Institute.

NEPSTAD, D., G. CARVALHO, A.C. BARROS, A. ALENCAR, J.P. CAPOBIANCO, J. BISHOP, P. MOUTINHO, P. LEFEBVRE & U. LOPES DA SILVA, 2001. Road paving, fire regime feedbacks and the future of Amazon forests. *For. Ecol. Manage.* 154:395-407.

SEMARNAT, 2007. *Programa de Manejo Integrado del Fuego de la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote.* Chiapas, México.

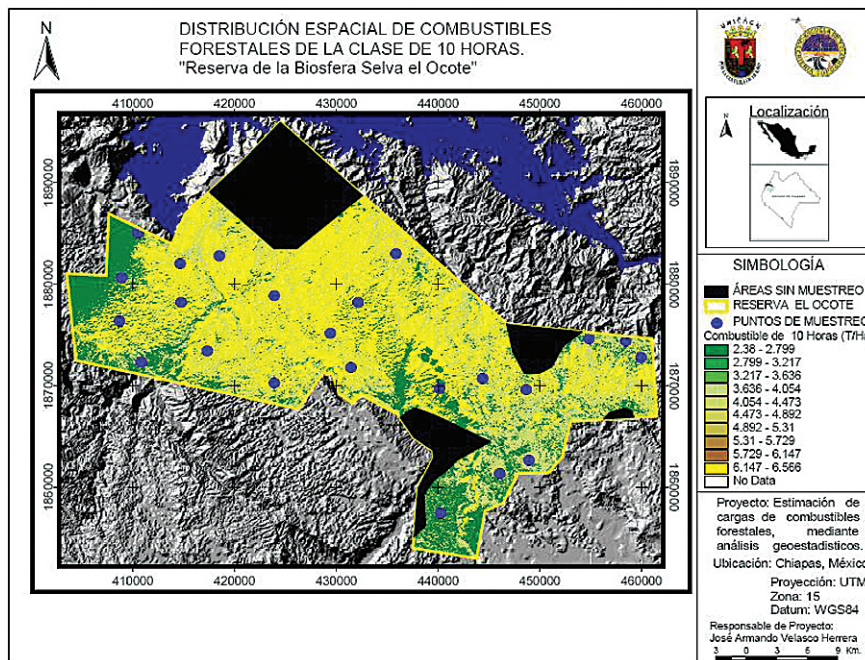
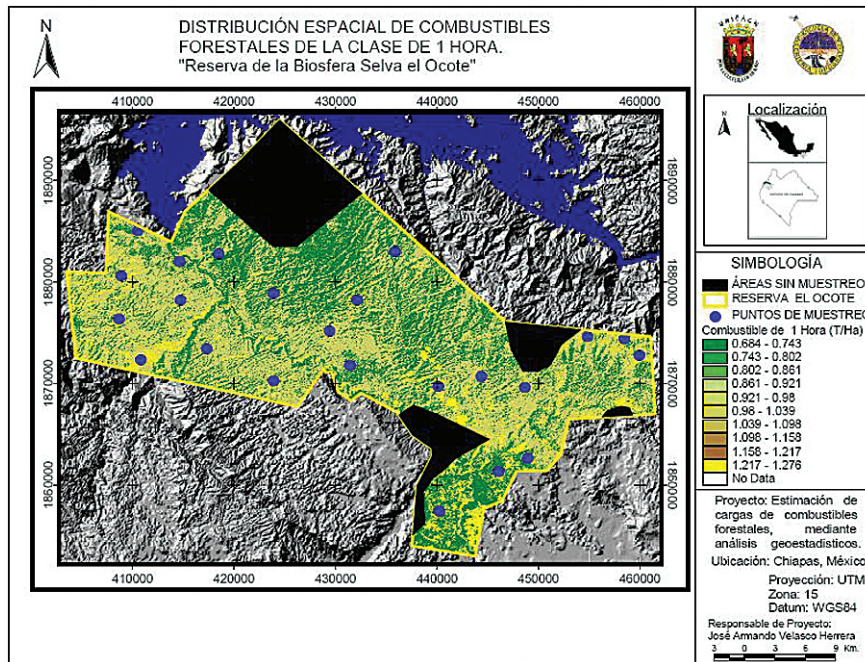
VILLERS, R.M.L., 2006. *Parámetros ambientales físico bióticos y modelos para estudiar el comportamiento del fuego.* *Incendios forestales.* CONAFOR. Mundi Prensa. México.

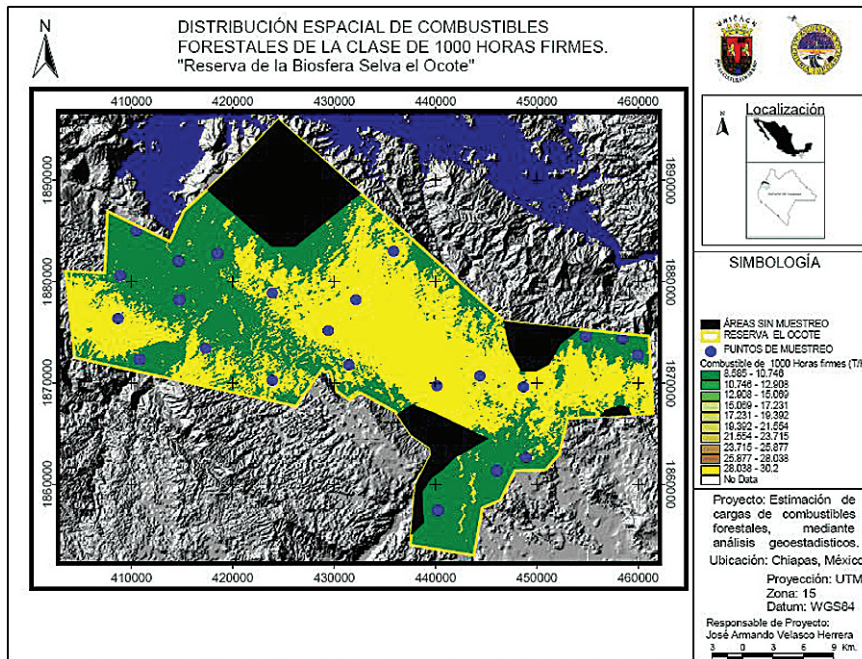
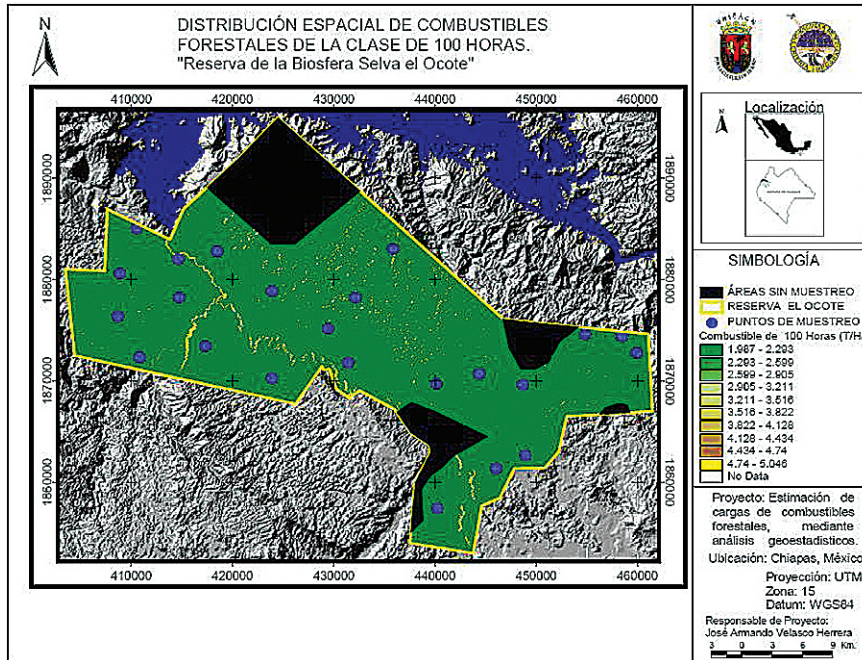


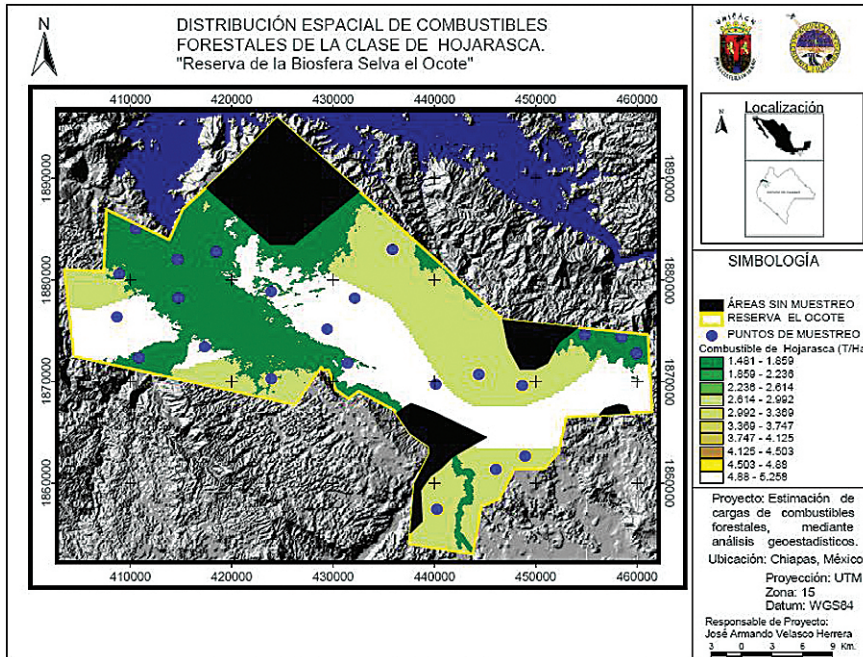
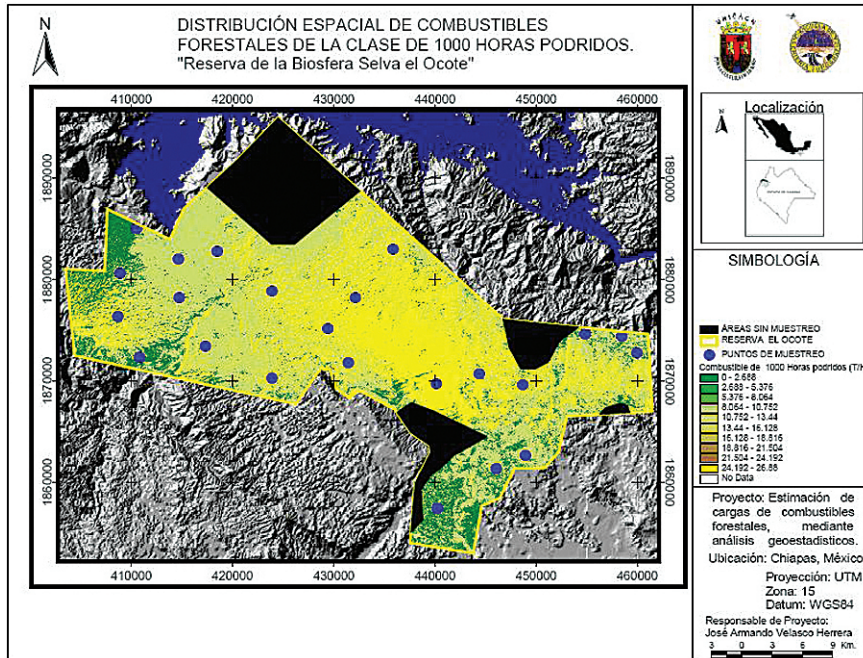
APÉNDICE



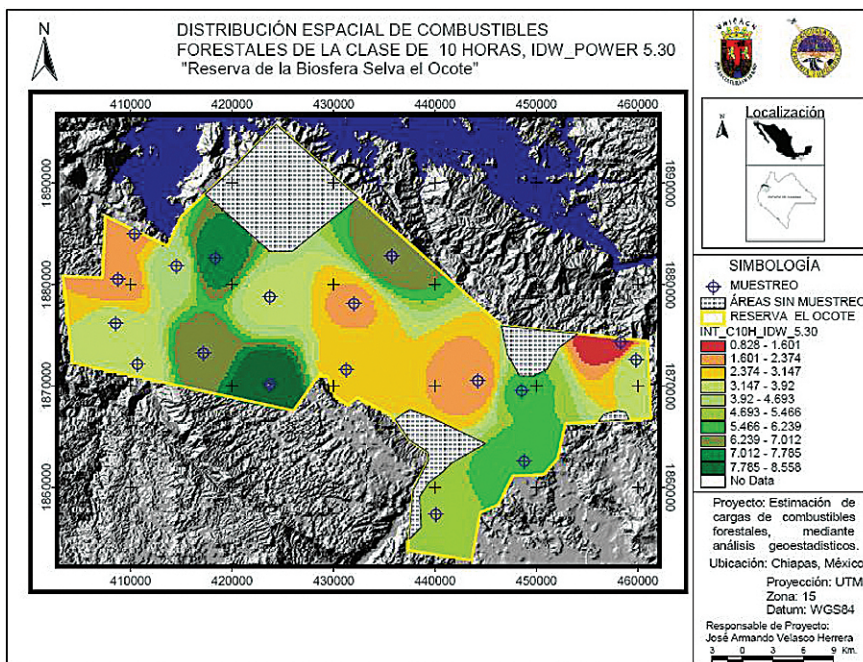
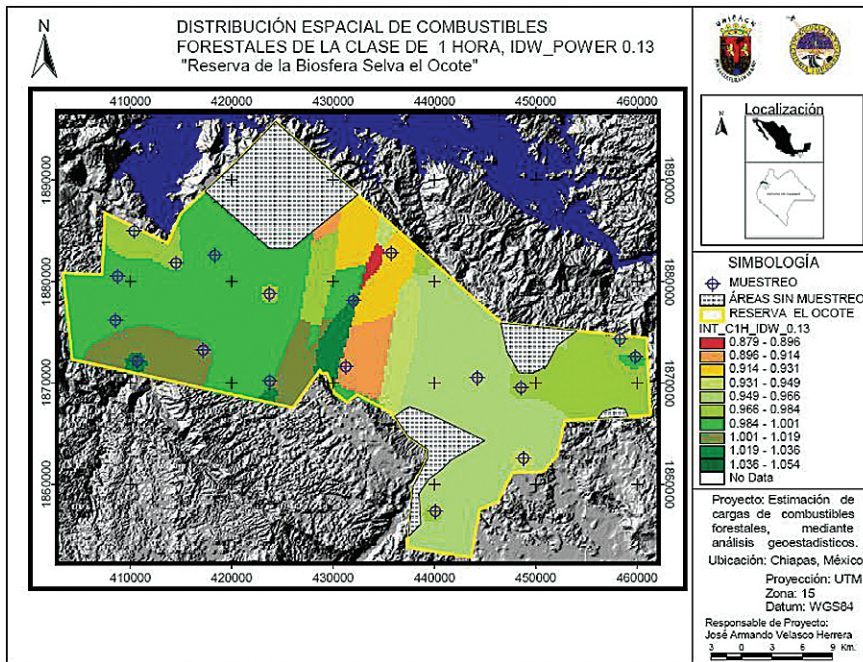
Distribución espacial de combustibles forestales de 1,10,1000 horas (firmes, podridos) y hojarasca. Mediante árboles de regresión, utilizando variables numericas.

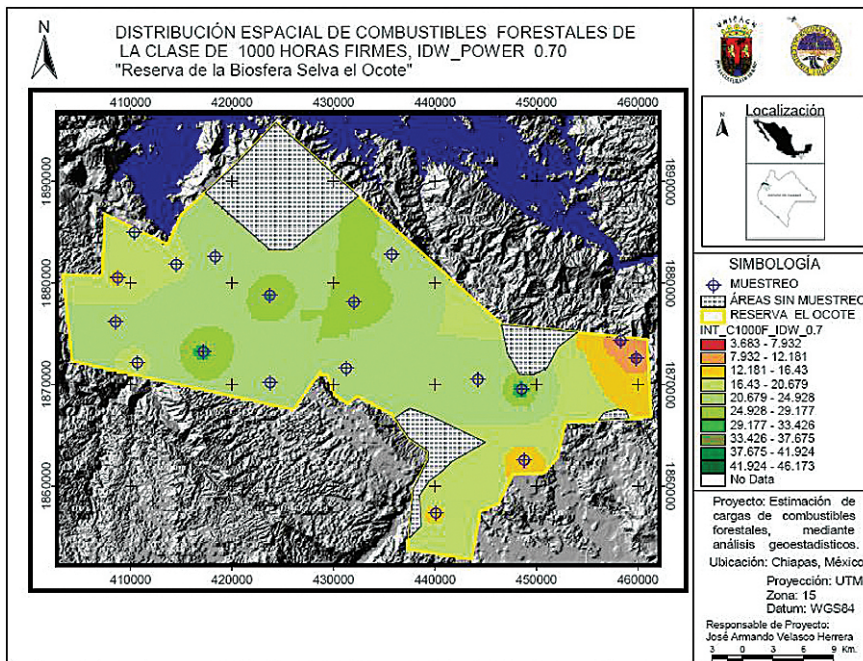
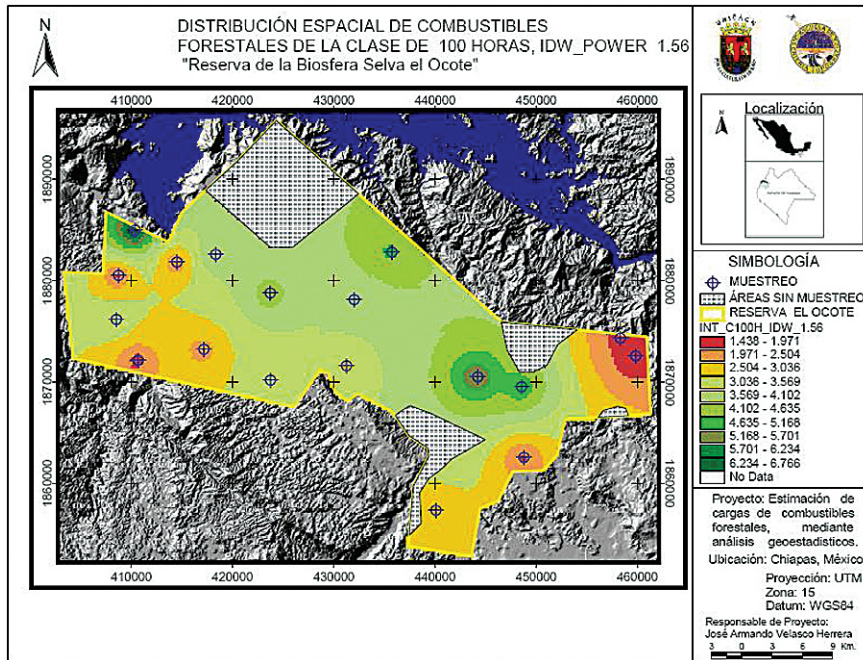


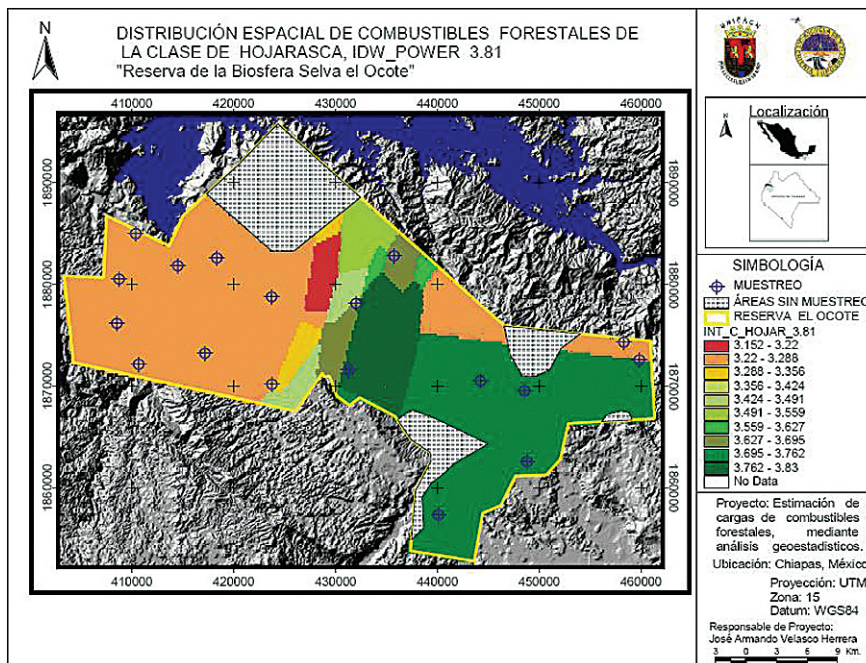
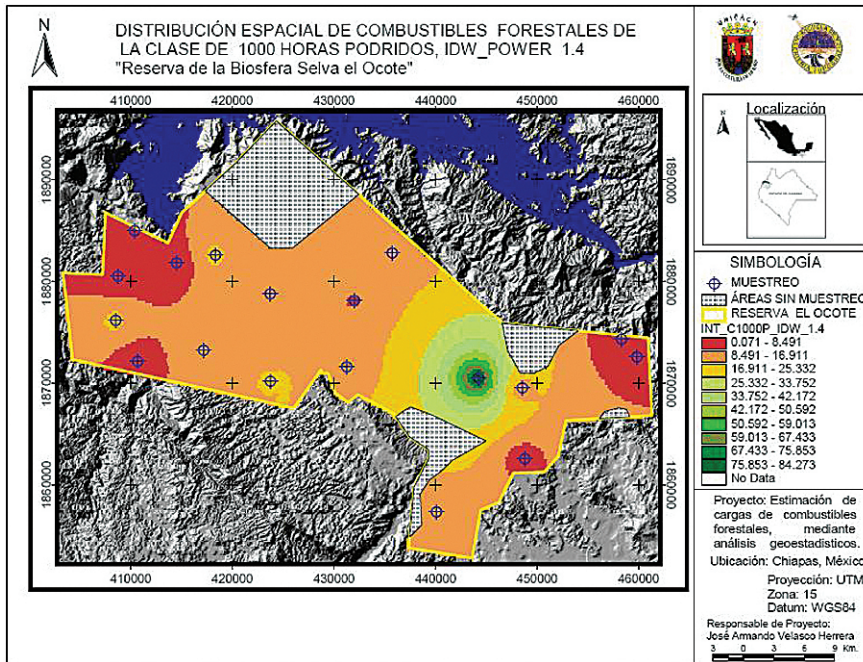




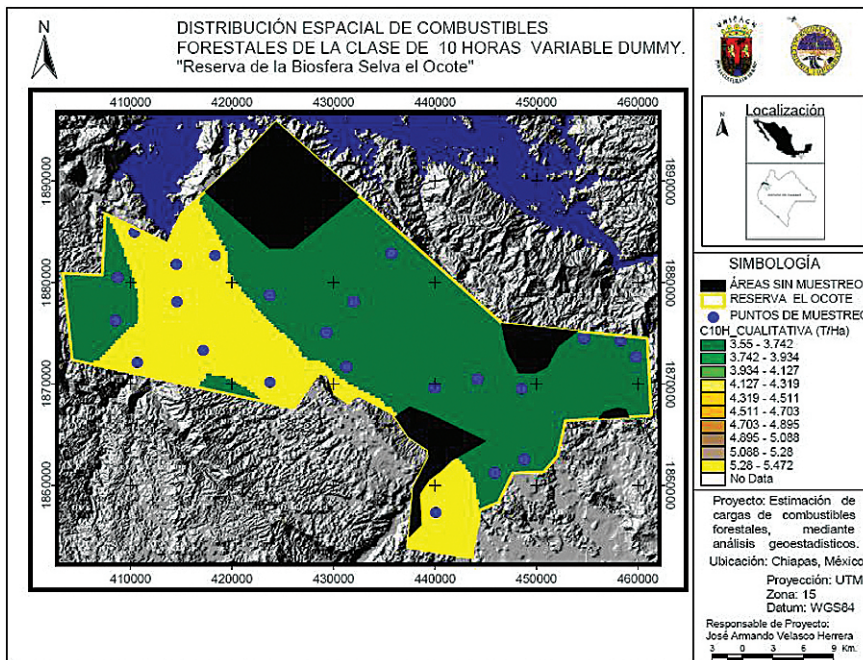
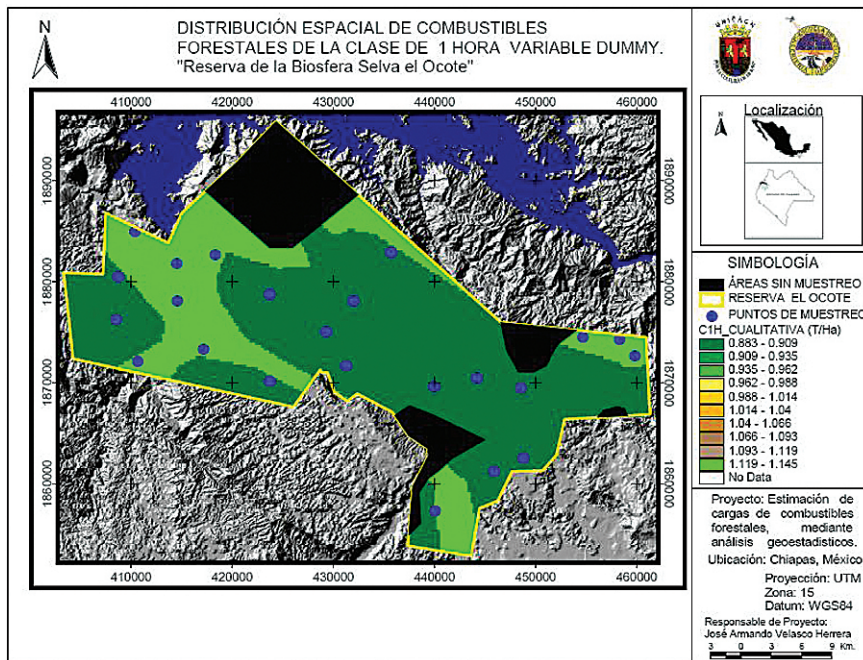
Distribución espacial de combustibles forestales de 1,10,1000 horas (firmes, podridos) y hojarasca. Mediante el inverso de la distancia al cuadrado (IDW), utilizando variables numericas.

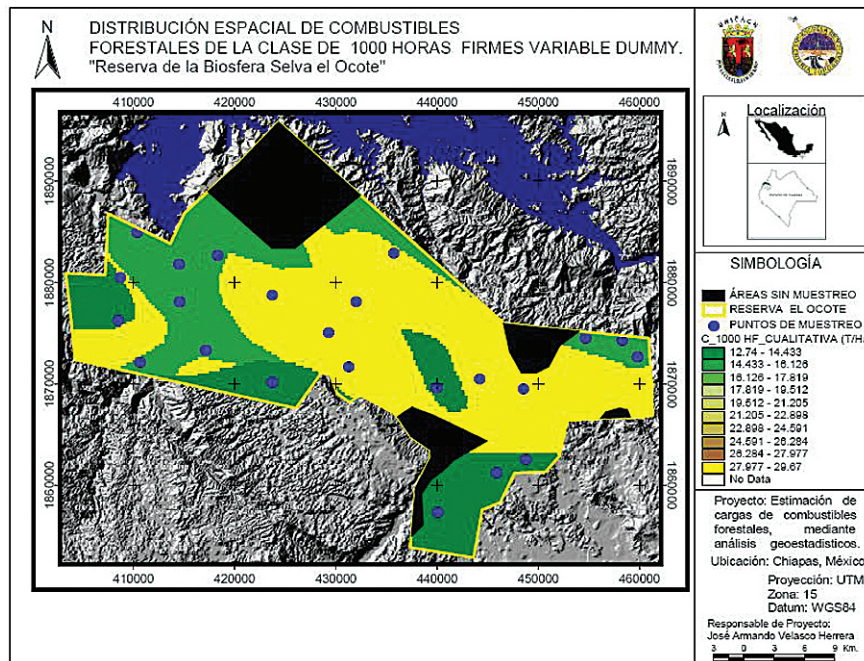
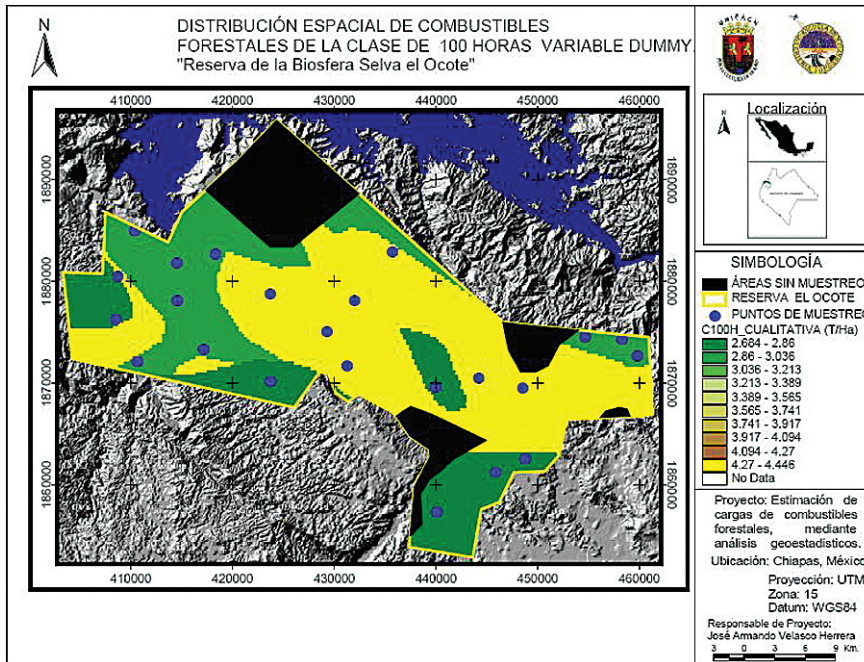


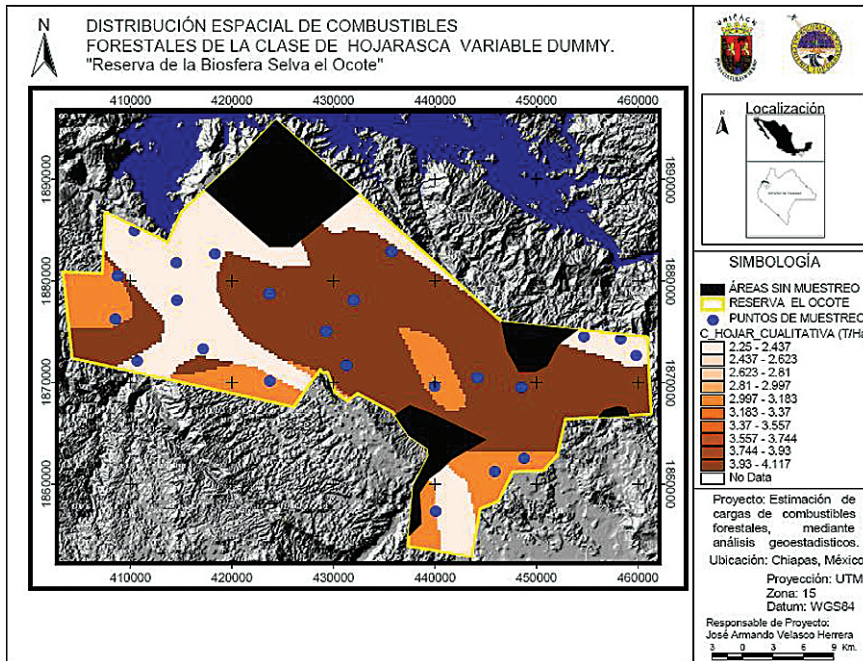
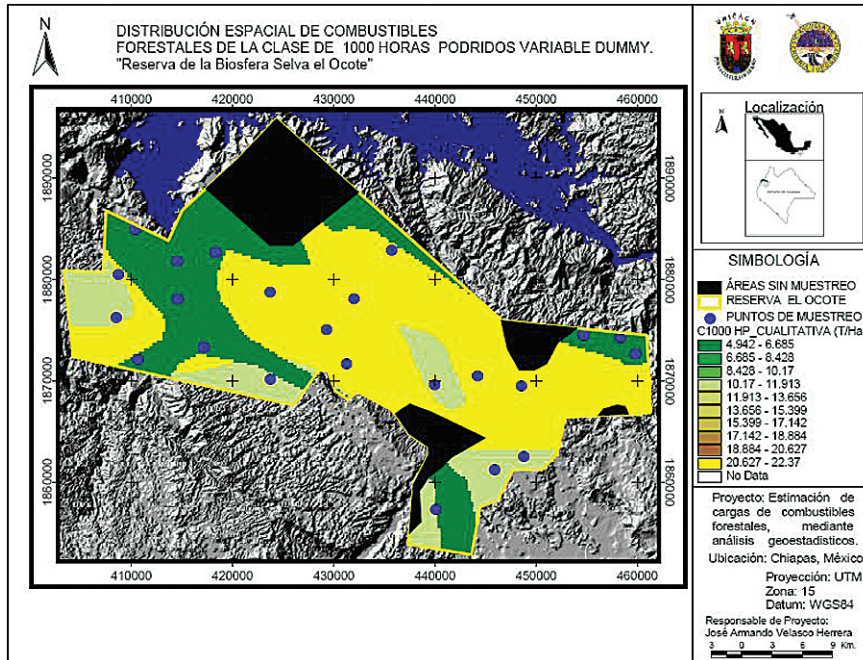




Distribución espacial de combustibles forestales de 1,10,1000 horas (firmes, podridos) y hojarasca. Mediante árboles de regresión, utilizando variables DUMMY.







Distribución espacial de combustibles forestales de 1,10,1000 horas (firmes, podridos) y hojarasca. Mediante el inverso de la distancia al cuadrado (IDW), utilizando variables numericas.

