



# **UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

## **T E S I S**

### **“ESTIMACIÓN DE CARGAS DE COMBUSTIBLES FORESTALES, MEDIANTE ANÁLISIS GEOESTADÍSTICOS”**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
DOCTOR EN CIENCIAS EN  
DESARROLLO SUSTENTABLE**

**PRESENTA**

**JOSÉ ARMANDO VELASCO HERRERA**

**DIRECTOR**

**DR. JOSÉ GERMÁN FLORES GARNICA**

**TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS.**

**Agosto 2011.**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios: Principalmente por darme la vida y permitirme llegar hasta este día.

A mí Papá: Eduardo Velasco Hernández (+). Que aunque ya no está conmigo, sé que donde quiera que se encuentre, estará orgulloso por el logro alcanzado. A mi madre. Por todo ese cariño que me dio de pequeño, de adolescente y hoy en día. Por darme su valor y temple para enfrentar los problemas. Te amo mamá.

A Lucia. Por ser mi compañera y por esos tres preciosos hijos, Sergio Armando, José Emiliano y Juan Pablo, que han venido a darme un nuevo motivo para seguir, luchando. Esta tesis es por ustedes chicos.

A Doña Lilia, Don Sergio y Liliana. Por estar siempre a nuestro lado, en las buenas y en las malas.

Al Dr. Germán Flores Garnica. Por su amistad. Por sus conocimientos y sabios consejos para desarrollar este trabajo.

A todos mis asesores y profesores. Que sin esperar nada a cambio me ayudaron a continuar mejorando este manuscrito hasta el final. Al Dr. Alejandro Flamenco Sandoval. Por esa llamada de atención a tiempo.

A mis compañeros del Doctorado. Por lo mucho que aprendí de ustedes. A todos mis alumnos de la facultad de ingeniería. Porque ustedes son parte fundamental para superarme día a día.

A todos los que han estado a mí lado, estaré eternamente, agradecido.

# ÍNDICE GENERAL

Pág.

ÍNDICE DE FIGURAS.

ÍNDICE DE TABLAS.

RESUMEN.

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....</b>	<b>4</b>
2.1. <b>Objetivo general.....</b>	<b>4</b>
2.1.1. <b>Objetivos particulares.....</b>	<b>4</b>
2.2. <b>Hipótesis.....</b>	<b>5</b>
<b>3. ANTECEDENTES.....</b>	<b>5</b>
3.1. <b>Incendios forestales en México.....</b>	<b>9</b>
3.2. <b>Incendios forestales en Chiapas.....</b>	<b>11</b>
3.3. <b>Incendios en la reserva de la biosfera selva el Ocote.....</b>	<b>12</b>
3.4. <b>Conceptos generales de los incendios forestales.....</b>	<b>13</b>
3.4.1. <b>El triángulo de fuego.....</b>	<b>13</b>
3.4.2. <b>La gran triada.....</b>	<b>15</b>
3.4.2.1. <b>Combustible.....</b>	<b>16</b>
3.4.2.2. <b>Topografía.....</b>	<b>16</b>
3.4.2.3. <b>Tiempo atmosférico.....</b>	<b>17</b>
3.5. <b>Combustibles forestales.....</b>	<b>19</b>
3.5.1. <b>Modelos de combustibles.....</b>	<b>19</b>
3.5.1.1. <b>Modelos de combustibles forestales.....</b>	<b>20</b>
3.5.1.2. <b>Clasificación de los modelos de combustibles forestales.....</b>	<b>22</b>
3.5.2. <b>Características de los combustibles forestales.....</b>	<b>23</b>
3.5.2.1. <b>Cantidad, estado, peso.....</b>	<b>23</b>
3.5.2.2. <b>Tamaño y forma.....</b>	<b>24</b>
3.5.2.3. <b>Densidad.....</b>	<b>24</b>
3.5.2.4. <b>Contenido de humedad.....</b>	<b>25</b>
3.5.2.5. <b>Presencia de sustancias inflamables.....</b>	<b>26</b>
3.5.2.6. <b>Compactación.....</b>	<b>26</b>
3.5.2.7. <b>Continuidad.....</b>	<b>26</b>
3.5.2.8. <b>Altura.....</b>	<b>27</b>
3.5.3. <b>Cargas de combustibles.....</b>	<b>27</b>
3.5.4. <b>Combustibles muertos.....</b>	<b>28</b>

3.5.5. Combustibles gruesos o pesados. ....	28
3.5.6. Combustibles finos o ligeros. ....	31
3.5.7. Pendiente. ....	32
<b>3.6. Estadística espacial. ....</b>	<b>32</b>
3.6.1. Geoestadística. ....	33
3.6.2. Georreferenciación de la información. ....	35
3.6.3. Árboles de clasificación y regresión. ....	36
3.6.4. Distancia inversa ponderada (IDW). ....	37
<b>4. MATERIALES Y MÉTODOS. ....</b>	<b>39</b>
<b>4.1. Características del área de estudio. ....</b>	<b>39</b>
<b>4.2. Materiales. ....</b>	<b>42</b>
4.2.1. Materiales de campo. ....	42
4.2.2. Materiales de laboratorio. ....	43
<b>4.3. Métodos. ....</b>	<b>44</b>
4.3.1. Selección de los sitios de muestreo. ....	44
4.3.2. Formato para identificar los sitios de muestreo. ....	48
4.3.3. Datos de control de los combustibles muestreados. ....	49
4.3.4. Técnica de muestreo. ....	49
4.3.5. Combustible grueso. ....	51
4.3.6. Registro de combustible grueso. ....	52
4.3.7. Muestreo de combustible fino. ....	53
4.3.8. Separación de las muestras de combustible fino. ....	55
4.3.9. Pesado y secado de las muestras. ....	56
4.3.10. Estimación de las cargas de combustibles. ....	57
4.3.11. Determinación de las variables independientes. ....	60
4.3.12. Generación de árboles de clasificación y regresión. ....	62
4.3.13. Generación de superficies continuas, a partir de la información obtenida mediante los árboles de regresión. ....	69
<b>5. RESULTADOS. ....</b>	<b>73</b>
<b>5.1. Artículo. ....</b>	<b>73</b>
<b>Sitios de muestreo para cargas de combustibles forestales, a partir de áreas de respuestas homogéneas. ....</b>	<b>73</b>
RESUMEN. ....	73
ABSTRACT. ....	74
INTRODUCCIÓN. ....	75
MATERIALES Y MÉTODOS. ....	79
Descripción del área de estudio. ....	79
Criterios de estratificación. ....	80
Modelo de elevación digital. ....	81
Coberturas de Vegetación. ....	82
Implementación espacial de criterios de estratificación. ....	83
RESULTADOS. ....	85
DISCUSIÓN. ....	90
CONCLUSIONES. ....	92
AGRADECIMIENTOS. ....	93

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
<b>5.2. Construcción de árboles de regresión. ....</b>	<b>100</b>
5.2.1. Combustibles de 1 hora. ....	100
5.2.2. Combustibles de 10 horas. ....	102
5.2.3. Combustibles de 100 horas. ....	103
5.2.4. Combustibles de 1000 horas (firmes). ....	105
5.2.5. Combustibles de 1000 horas (podridos). ....	107
5.2.6. Combustible forestal hojarasca. ....	109
<b>5.3. Variables cualitativas (<i>dummy</i>) independientes más utilizadas en la construcción de los árboles de regresión. ....</b>	<b>111</b>
5.3.1. Combustibles de 1 hora. ....	111
5.3.2. Combustibles de 10 horas. ....	113
5.3.3. Combustibles de 100 horas. ....	115
5.3.4. Combustibles de 1000 horas (firmes). ....	117
5.3.5. Combustibles de 1000 horas (podridos). ....	119
5.3.6. Combustible forestal hojarasca. ....	121
<b>5.4. Mapas temáticos de la distribución de combustibles forestales generados mediante arboles de clasificación y regresión a partir de variables numéricas.....</b>	<b>123</b>
5.4.1. Figura 45. Distribución de combustibles de la clase de 1 hora. ....	125
5.4.2. Figura 46. Distribución de combustibles de la clase de 10 horas. ....	126
5.4.3. Figura 47. Distribución de combustibles de la clase de 100 horas. ....	127
5.4.4. Figura 48. Distribución de combustibles de la clase de 1000 horas firmes. ....	128
5.4.5. Figura 49. Distribución de combustibles de la clase de 1000 horas podridos. ....	129
5.4.6. Figura 50. Distribución de combustibles de la clase de hojarasca. ....	130
<b>5.5. Mapas temáticos de la distribución de combustibles forestales generados mediante arboles de clasificación y regresión a partir de variables cualitativas (<i>dummy</i>). ....</b>	<b>131</b>
5.5.1. Figura 51. Distribución de combustibles de la clase de 1 hora. ....	132
5.5.2. Figura 52. Distribución de combustibles de la clase de 10 horas. ....	133
5.5.3. Figura 53. Distribución de combustibles de la clase de 100 horas. ....	134
5.5.4. Figura 54. de combustibles de la clase de 1000 horas firmes. ....	135
5.5.5. Figura 55. Distribución de combustibles de la clase de 1000 horas podridos. ....	136
5.5.6. Figura 56. Distribución de combustibles de la clase de hojarasca. ....	137
<b>5.6. Validación de resultados.....</b>	<b>138</b>
<b>5.7. Mapas temáticos de la distribución de combustibles forestales generados mediante el método del inverso de la distancia al cuadrado (IDW), variables numéricas. ....</b>	<b>141</b>
5.7.1. Figura 65. Distribución de combustibles de la clase de 1 hora. ....	142
5.7.2. Figura 66. Distribución de combustibles de la clase de 10 horas. ....	143
5.7.3. Figura 67. Distribución de combustibles de la clase de 100 horas. ....	144
5.7.4. Figura 68. Distribución de combustibles de la clase de 1000 horas Firmes. ....	145
5.7.5. Figura 69. Distribución de combustibles de la clase 1000 horas Podridos. ....	146
5.7.6. Figura 70. Distribución de combustibles de la clase de Hojarasca. ....	147
<b>5.8. Mapas temáticos de la distribución de combustibles forestales generados mediante el método del inverso de la distancia al cuadrado (IDW), variables cualitativas (<i>variables dummy</i>). ....</b>	<b>148</b>
5.8.1. Figura 77. Distribución de combustibles de la clase de 1 hora. ....	150
5.8.2. Figura 78. Distribución de combustibles de la clase de 10 horas. ....	151
5.8.3. Figura 79. Distribución de combustibles de la clase de 100 horas. ....	152

5.8.4. Figura 80. Distribución de combustibles de la clase de 1000 horas firmes. ....	153
5.8.5. Figura 81. Distribución de combustibles de la clase de 1000 horas podridos. ....	154
5.8.6. Figura 82. Distribución de combustibles de la clase de hojarasca. ....	155
<b>5.9. Variables numéricas y dummy, independientes más utilizadas en la construcción de los árboles de regresión. ....</b>	<b>156</b>
<b>5.10. Pruebas de <math>\chi^2</math> de Pearson. ....</b>	<b>157</b>
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>159</b>
6.1. CONCLUSIONES.....	159
6.2. RECOMENDACIONES .....	164
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>166</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>173</b>
Formato de muestreo uno. ....	173
Formato de muestreo dos.....	174
Concentrado de pesos iniciales y finales de combustibles.....	175
Archivo fotográfico. Tipos de vegetación de sitios muestreados.....	180
Tablas de valores de cargas de combustibles forestales, muestreados y estimados.....	192

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	DESCRIPCIÓN	PÁG.
1	Frecuencia de la presencia de incendios en la república mexicana.	10
2	Superficie afectada por incendios forestales en la república mexicana.	11
3	El triángulo de fuego y los elementos que lo forman.	14
4	Formas de transmisión del calor.	15
5	Factores de la gran triada que rigen un incendio forestal.	16
6	Estimación de combustibles mediante intersecciones planares	29
7	Calibrador para muestreo de combustible forestal.	31
8	Muestreo de combustible ligero, en un cuadro de 30 por 30 cm.	31
9	Estimación de la pendiente.	32
10	Localización geográfica de la reserva de la biosfera selva el Ocote.	41
11	Instrumentos para realizar el muestreo de combustibles forestales.	43
12	Instrumentos utilizados en la separación y secado del combustible.	44
13	Ortofotos para la cartografía de la reserva de la biosfera selva el Ocote.	45
14	Cartografía de la reserva de la biosfera selva el Ocote.	46
15	Distribución espacial de los sitios de muestreo.	48
16	Diseño del sitio de muestreo con dimensiones y orientación de las cuerdas.	50
17	Trazo de línea de muestreo, utilizando las cuerdas de 13.5 y 3.5 metros.	51
18	Medición de combustibles, utilizando calibrador y flexómetro.	52
19	Tipo de vegetación del sitio treinta.	53
20	Cuadro de 30 x 30 Cm para muestrear combustible ligero.	54
21	Separación de combustibles forestales.	55
22	Determinación del peso inicial del combustible.	56
23	Prototipo de estufa de secado de combustible fino.	57
24	Capa de vegetación, transformada de vectorial a raster (GRID).	64
25	Extracción de valores de sitios de muestreo, utilizando GetGridValue.	65
26	Importando datos de combustibles forestales a S_Plus.	67
27	Generación de tabla en formato .SDD.	68
28	Determinación de las variables.	68
29	Nodos terminales en arboles de regresion.	68
30	Metodología para construir modelo de árbol de regresión.	71
31	Importación de datos estadísticos generados por arboles de regresión y los valores correspondientes a las variables independientes.	71
32	Mapa de la distribución espacial de los combustibles forestales, generado mediante la lectura de los datos estadísticos utilizando la extensión StarMod.	72
33	Representación gráfica del árbol de regresión utilizado para la estimación de combustibles de 1 horas y variables numéricas.	101
34	Representación gráfica del árbol de regresión utilizado para la estimación de combustibles de 10 horas y variables numéricas.	103

35	Representación gráfica del árbol de regresión utilizado para la estimación de combustibles de 100 horas y variables numéricas.	105
36	Representación gráfica del árbol de regresión utilizado para la estimación de combustibles de 1000 HORAS Firmes y variables numéricas.	107
37	Representación gráfica del árbol de regresión utilizado para la estimación de combustibles de 1000 horas podridos y variables numérica.	109
38	Representación gráfica del árbol de regresión utilizado, para la estimación de combustibles de hojarasca y variables numéricas.	111
39	Representación gráfica del árbol de regresión utilizado para la estimación de combustibles de 1 horas y variables <i>dummy</i> .	113
40	Representación gráfica del árbol de regresión utilizado para la estimación de combustibles de 10 HORAS y variables <i>dummy</i> .	115
41	Representación gráfica del árbol de regresión utilizado para la estimación de combustibles de 100 horas y variables <i>dummy</i> .	117
42	Representación gráfica del árbol de regresión utilizado para la estimación de combustibles de 1000 horas firmes y variables <i>dummy</i> .	119
43	Representación gráfica del árbol de regresión utilizado para la estimación de combustibles de 1000 horas podridos y variables <i>dummy</i> .	121
44	Representación gráfica del árbol de regresión utilizado para la estimación de combustibles de hojarasca y variables <i>dummy</i> .	123
45	Mapa temático de la estimación de la distribución de combustibles de la clase de 1 hora, utilizando Variables Numéricas.	125
46	Mapa temático de la estimación de la distribución de combustibles de la clase de 10 horas, utilizando Variables Numéricas.	126
47	Mapa temático de la estimación de la distribución de combustibles de la clase de 100 horas, utilizando Variables Numéricas.	127
48	Mapa temático de la estimación de la distribución de combustibles de la clase de 1000 horas firmes, utilizando variables numéricas.	128
49	Mapa temático de la estimación de la distribución de combustibles de la clase de 1000 horas podridos, utilizando Variables Numéricas.	129
50	Mapa temático de la estimación de la distribución de combustibles de la clase de hojarasca, utilizando Variables Numéricas.	130
51	Mapa temático de la estimación de la distribución de combustibles de la clase 1 hora, utilizando variables <i>dummy</i>	132
52	Mapa temático de la estimación de la distribución de combustibles de la clase 10 horas, utilizando variables <i>dummy</i> .	133
53	Mapa temático de la estimación de la distribución de combustibles de la clase 100 horas, utilizando variables <i>dummy</i> .	134
54	Mapa temático de la estimación de la distribución de combustibles de la clase 1000 horas firmes, utilizando variables <i>dummy</i> .	135
55	Mapa temático de la estimación de la distribución de combustibles de la clase 1000 horas podridos, utilizando variables <i>dummy</i> .	136
56	Mapa temático de la estimación de la distribución de combustibles de la	137



	clase de hojarasca, utilizando variables <i>dummy</i> .	
57	Puntos de muestreo utilizados para la validación de los resultados.	138
58	Distribución espacial de los puntos de muestreo para la validación de resultados.	139
59	Cuadrado medio del error para combustibles de 1 hora (variables numéricas).	140
60	Cuadrado medio del error para combustibles de 10 horas (variables numéricas).	140
61	Cuadrado medio del error para combustibles de 100 horas (variables numéricas).	140
62	Cuadrado medio del error para combustibles de 1000 horas Firmes (variables numéricas).	140
63	Cuadrado medio del error para combustibles de 1000 horas podridos (variables numéricas).	141
64	Cuadrado medio del error para combustibles hojarasca (variables numéricas).	141
65	Mapa temático con valores estimados de la distribución de combustibles de 1 hora mediante el método de interpolación inverso de la distancia al cuadrado (IDW).	142
66	Mapa temático con valores estimados de la distribución de combustibles de 10 horas mediante el método de interpolación inverso de la distancia al cuadrado (IDW).	143
67	Mapa temático con valores estimados de la distribución de combustibles de 100 horas mediante el método de interpolación inverso de la distancia al cuadrado (IDW).	144
68	Mapa temático con valores estimados de la distribución de combustibles de 1000 horas firmes mediante el método de interpolación inverso de la distancia al cuadrado (IDW).	145
69	Mapa temático con valores estimados de la distribución de combustibles de 1000 horas podridos mediante el método de interpolación inverso de la distancia al cuadrado (IDW).	146
70	Mapa temático con valores estimados de la distribución de combustibles de hojarasca mediante el método de interpolación inverso de la distancia al cuadrado (IDW).	147
71	Cuadrado medio del error para combustibles de 1 hora (variables <i>dummy</i> ).	148
72	Cuadrado medio del error para combustibles de 10 horas (variables <i>dummy</i> ).	148
73	Cuadrado medio del error para combustibles de 100 horas (variables <i>dummy</i> ).	148
74	Cuadrado medio del error para combustibles de 1000 horas Firmes (variables <i>dummy</i> ).	148
75	Cuadrado medio del error para combustibles de 1000 horas Podridos (variables <i>dummy</i> ).	149

76	Cuadrado medio del error para combustibles de la clase de hojarasca (variables <i>dummy</i> )	149
77	Mapa temático con valores estimados de la distribución de combustibles de la clase de 1 hora mediante el método de interpolación inverso de la distancia al cuadrado (IDW), (variables cualitativas).	150
78	Mapa temático con valores estimados de la distribución de combustibles de la clase de 10 horas mediante el método de interpolación inverso de la distancia al cuadrado (IDW), (variables cualitativas).	151
79	Mapa temático con valores estimados de la distribución de combustibles de la clase de 100 horas mediante el método de interpolación inverso de la distancia al cuadrado (IDW), (variables cualitativas).	152
80	Mapa temático con valores estimados de la distribución de combustibles de la clase de 1000 horas firmes, mediante método de interpolación inverso de la distancia al cuadrado (IDW), (variables cualitativas).	153
81	Mapa temático con valores estimados de la distribución de combustibles de la clase de 1000 horas podridos, mediante el método de interpolación inverso de la distancia al cuadrado (IDW), (variables cualitativas).	154
82	Mapa temático con valores estimados de la distribución de combustibles de la clase hojarasca, mediante el método de interpolación inverso de la distancia al cuadrado (IDW), (variables cualitativas).	155

## ÍNDICE DE TABLAS

CUADRO	DESCRIPCIÓN	PÁG.
1	Relación del diámetro de combustibles por su tiempo de retardo (Burgan et al., 1984, Anderson, 1990).	30
2	Ubicación espacial mediante coordenadas UTM Z15 de los sitios de muestreo.	47
3	Resultados de pesos de combustibles secos del sitio uno, obtenidos mediante la herramienta automatizada SICCO (Flores, 2004).	59
4	Concentrado de captura de combustibles de 1h, 10h, 100h, 1000h (firmes y podridos), y hojarasca.	60
5	Relación de variables independientes utilizada, para generar mapas de superficies continuas de combustibles.	62
6	Concentrado de tipos de combustibles y valores de las variables independientes.	66
7	Valores de la distribución de los residuales resultantes del árbol de regresión que estima las cargas de combustibles de 1 Hora, con variables numéricas.	101
8	Valores de la distribución de los residuales resultantes del árbol de regresión que estima las cargas de combustibles de 10 Horas, con variables numéricas.	102
9	Valores de la distribución de los residuales resultantes del árbol de	104

	regresión que estima las cargas de combustibles de 100 Horas, con variables numéricas.	
10	Valores de la distribución de los residuales resultantes del árbol de regresión que estima las cargas de combustibles de 1000 Horas firmes, con variables numéricas.	106
11	Valores de la distribución de los residuales resultantes del árbol de regresión que estima las cargas de combustibles de 1000 horas (podridos), con variables numéricas.	108
12	Valores de la distribución de los residuales resultantes del árbol de regresión que estima las cargas de combustibles de hojarasca, con variables numéricas.	110
13	Valores de la distribución de los residuales resultantes del árbol de regresión que estima las cargas de combustibles de 1 hora, con variables <i>dummy</i> .	112
14	Valores de la distribución de los residuales resultantes del árbol de regresión que estima las cargas de combustibles de 10 Horas, con variables <i>dummy</i> .	114
15	Valores de la distribución de los residuales resultantes del árbol de regresión que estima las cargas de combustibles de 100 horas, con variables <i>dummy</i> .	116
16	Valores de la distribución de los residuales resultantes del árbol de regresión que estima las cargas de combustibles de 1000 horas firmes, con variables <i>dummy</i> .	118
17	Valores de la distribución de los residuales resultantes del árbol de regresión que estima las cargas de combustibles de 1000 horas podridos, con variables <i>dummy</i> .	120
18	Valores de la distribución de los residuales resultantes del árbol de regresión que estima las cargas de combustibles de hojarasca, con variables <i>dummy</i> .	122
19	Variables auxiliares más utilizadas para la estimación de cargas de combustibles forestales.	156
20	Valores de $X^2$ , para variables numéricas y <i>dummy</i> .	158

## RESUMEN.

Para la elaboración de este proyecto de investigación y llevar a cabo los trabajos de campo, derivado de su importancia para el estado y el país, se eligió a la reserva de la biosfera selva el Ocote, la cual cuenta con una superficie de 101,288 hectáreas. Este proyecto se estructura en dos temas generales. El primero de ellos en la construcción de áreas de respuestas homogéneas (ARH). El segundo en la estimación de las cargas de combustibles forestales mediante, procesos Geoestadísticos.

En la actualidad los combustibles forestales muertos son evaluados *in situ*, con una intensidad de muestreo entre 1 y 3% con respecto al área total. Aunque esto significa una gran inversión de recursos económicos, humanos y tiempo, las precisiones obtenidas son bajas. Por esto, en este trabajo se propone una nueva alternativa de muestreo que consiste en identificar áreas con características similares. A las que se les denomina áreas de respuestas (ARH). Para este proyecto estas ARH se definieron en base a diez tipos de vegetación y tres intervalos de altitud, determinándose un total de diecinueve de ellas. Se encontró que el ARH con mayor extensión tiene una superficie de 38,808 hectáreas, y corresponde a selva alta y mediana perennifolia, localizada entre los 634 y 1086 metros. Mientras que la menor tiene una superficie de 3.4 hectáreas y pertenece a la condición de sabana, localizada a una altura de entre 180 y 633 metros s.n.m.m.

Se determina la distribución espacial de las cargas de combustibles forestales de 1 hora, 10 horas, 100 horas y hojarasca. Generados mediante los arboles de

regresión e interpolación por el inverso de la distancia al cuadrado (IDW), tanto para variables independientes numéricas como cualitativas (*dummy*).

La distribución espacial de las cargas de combustibles forestales de 1,10,10 y hojarasca. Generados mediante los arboles de regresión e interpolación por el inverso de la distancia al cuadrado (IDW), tanto para variables numéricas como cualitativas (*dummy*). El modelo predictivo de la distribución espacial de las cargas de combustibles, es positiva. Mientras que para combustibles de 1000 horas, divididos en firmes y podridos, el modelo predictivo es negativo. Por lo que es necesario realizar nuevos trabajos de investigación, encaminados al muestreo de estos combustibles. Se recomienda, levantar el registro en campo de todos los combustibles de 1000 horas que se encuentren dentro del círculo de muestreo. Así mismo es importante incrementar el número de muestras, para obtener mejores resultados en la distribución de las cargas de combustibles forestales. Por otro lado es importante modelar los combustibles finos como el humus y la materia orgánica.

# 1. 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 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, 2003).

El estado de Chiapas, año tras año y desde 1995, ocupa los primeros lugares nacionales en superficie afectada por este fenómeno. Por lo que, los trabajos de campo se realizaron en la Reserva de la Biosfera Selva el Ocote (REBISO), dada su importancia faunística y florística, que se localiza al Noroeste del estado de Chiapas. En esta reserva se tienen registros que el 90% de los incendios son de origen antropogénico y solamente el 10% 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. Tales como los desmontes de terrenos forestales, para transformarlos en zonas agrícolas, y quemas de regeneración de pastos (Dwyer *et al.*, 1999).

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. Aquellos incendios que se producen en zonas de interface entre áreas residenciales y bosques, conllevan además, pérdidas de bienes materiales, cosechas, y vidas humanas.

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, 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 es importante decir que hasta la fecha los trabajos para determinar esta distribución ha sido una tarea muy fácil (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, regeneración 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).

En esta tesis se propone y se describe metodológicamente, la construcción de áreas de respuestas homogéneas (ARH), encaminadas a la identificación de los sitios de muestreo, y la implementación de la geostatística, para determinar la distribución espacial de los combustibles forestales. Así como la representación gráfica en forma de mapas de los datos estadísticos obtenidos de los árboles de regresión de cada tipo de combustible; de tal forma que se facilita la comprensión de la distribución espacial de las cargas de los combustibles forestales.

La construcción de las ARH, facilitó la selección de los sitios o lugares donde se realizarían los muestreos de campo, diseñado como un muestreo aleatorio estratificado, para lo cual primeramente mediante operaciones de álgebras de mapas realizadas en un sistema de información geográfica (SIG), se identificaron píxeles con similares características a partir de variables tales como la vegetación y altura del lugar, esto permitió la construcción de las ARH, optimizando con ello recursos económicos mediante la reducción de tiempos de muestreo en campo. La captura de los combustibles *in situ* se realizó aplicando la metodología descrita por James K. Brown en 1972 y adaptada por Flores en 2007. Finalmente la generación de los mapas finales de la distribución de los combustibles forestales se realizó a partir de



árboles de clasificación y procesos de interpolación mediante el concepto de distancia inversa ponderada.

## **2. OBJETIVOS e HIPÓTESIS.**

### **2.1. Objetivo general.**

Desarrollar una metodología que basada en técnicas de percepción remota, sistemas de información geográfica y geostatística, permita determinar la distribución espacial de las cargas de Combustibles forestales, en la Reserva de la Biosfera Selva el Ocote.

#### **2.1.1. Objetivos particulares.**

1. Establecer una metodología que permita la generación de áreas de respuestas homogéneas (ARH).
2. Determinar sitios de muestreo, basados en las áreas de respuestas homogéneas.
3. Determinar las variables numéricas y cualitativas independientes, que sean más significativas para estimar las cargas de combustibles forestales, mediante árboles de regresión.
4. Desarrollar los mapas temáticos que corresponden a cada tipo de combustible forestal, con base a una técnica de interpolación.

## **2.2. Hipótesis.**

La correlación espacial de las cargas de combustibles forestales, que considera factores físicos y ambientales, es suficiente para modelar la distribución espacial de dichas cargas.

## **3. ANTECEDENTES.**

México posee un historial importante en lo que a incendios forestales se refiere, los años más críticos en materia de incendios para México fueron 1998 y 2003, que sumados estos eventos, impactaron alrededor de un millón de hectáreas (SEMARNAT, 2003). Esto causado principalmente por la acumulación de combustibles forestales (Nájera *et al.*, 2006).

Se estima que los incendios forestales afectan cada vez con mayor severidad áreas más extensas en diversas regiones del mundo con ello producen pérdidas económicas y ambientales, además del daño que provocan debido a la destrucción del valor paisajístico, afectación de la infraestructura vial y el transporte, así como gastos significativos para la movilización de equipo y personal para su combate (Iraola y Resnichenko, 2008), de aquí la necesidad de realizar trabajos de investigación que coadyuven en la estimación de los combustibles forestales.

En el contexto internacional diversos países realizan investigaciones en temas de incendios forestales tales como: ambiente de los incendios, ecología del fuego, manejo del fuego, relación del fuego con el cambio climático (Stephen, 2001), reducción de emisiones inventario de combustibles y el modelaje del comportamiento

del fuego (Flores *et al.*, 2004), generación de cartografía de modelos de combustibles, a partir del modelaje en imágenes Landsat Thematic Mapper, (Salas y Chuvieco, 1995), inventarios de combustibles mediante sensores AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) de los satélites NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) (Mc Kinley *et al.*, 1985, Miller y Johnston 1985, Wert *et al.*, 1985).

En el plano nacional, se viene trabajando en el tema desde diferentes líneas que van desde, la elaboración de inventarios de manera directa, así como indirectamente mediante fotoseries las cuales consisten en realizar pares fotográficos (Flores *et al.*, 2004), tomados en diferentes tipos de vegetación, permitiendo de esta manera utilizar la fotografía para evaluaciones ecológicas del paisaje a través de la estimación de combustibles leñosos vivos y muertos, estructura de la vegetación y características del rodal (Morfín *et al.*, 2005).

Otra técnica utilizada es el mapeo de combustibles mediante la aplicación de técnicas de geomática (Flores, 2007), la cual permite la implementación de modelos de combustibles definidos en función de la estructura de una formación vegetal y la cantidad de material vivo y muerto de diverso tamaño presente (Villers, 2006); no obstante esta metodología tiene el inconveniente de que se clasifican grandes áreas como un modelo de combustibles, lo que no permite apreciar los cambios internos de las cargas de combustibles, representando una desventaja ya que se considera la homogeneidad espacial de los combustibles, lo cual no es adecuado toda vez que existen cambios en su distribución (Hobbs *et al.*, 1988).

Aunado a estas investigaciones en México se tiene personal con experiencia en quemas controladas, monitoreo de incendios forestales mediante el tratamiento digital de imágenes satelitales de alta resolución, en las que se encuentran involucradas instituciones educativas y gubernamentales, que llevan a cabo trabajos y estudios relativos a los incendios forestales, tal es el caso de la comisión nacional para la preservación de la biodiversidad (CONABIO), que mediante imágenes de alta resolución, determina puntos de calor mediante la implementación de algoritmos. La secretaria del medio ambiente y recursos naturales (SEMARNAT) trabaja en la prevención de los incendios forestales, en dónde se presentan y cómo reportarlos, registro de estadísticas mensuales, así como en la elaboración de artículos relativos al tema, todo ello bajo el programa denominado, sistema de información de los incendios forestales; realizado en colaboración con el gobierno canadiense (Flores, 2007). La universidad de Colima monitorea el territorio nacional mediante un sistema para detectar incendios vía satélite (Raygoza, 2006).

De manera local, en la reserva biosfera selva el ocote (REBISO), los estudios elaborados en relación al fenómeno se han centrado en programas de manejo del fuego, con la participación de la comisión nacional de áreas naturales protegidas (CONANP), y organismos no gubernamentales, entre los que se cuentan al Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (FMCN), y The Nature Conservancy (TNC).

Desde los años sesenta, los estudios sobre incendios forestales en México, presentan distintos enfoques centrados básicamente en tres aspectos:

1).Estudios sobre los efectos del fuego en los ecosistemas forestales (Olvera, 1967; Zendejas, 1971; Aguirre, 1978; García,1985; Flores y Benavides, 1993; Becerra, 1995; Rodríguez, 1996).

2) Actividades de prevención y combate, dividiéndose éstas en dos partes, la operativa (Carvajal, 1996; Rodríguez *et al.*, 2002) y el desarrollo de índices de comportamiento y riesgo de incendios (Magaña, 1983; Marín *et al.*, 1984; Alvarado, 1986; Flores, 2001).

3) Uso del fuego como herramienta silvícola pastoril (Sánchez *et al.*, 1983, Velázquez *et al.*, 1986).

Los resultados de las investigaciones sobre la ecología del fuego y experiencias prácticas en manejo y conservación, han llevado a un cambio de enfoque convencional en el que los incendios son considerados solamente como un factor de deterioro que debe ser suprimido, a un enfoque en el cual el fuego es reconocido como un factor ecológico que debe de ser manejado (Pyne *et al.*, 1996).

El manejo del fuego hace mayor énfasis en aplicar tratamientos que reduzcan el riesgo, peligrosidad y severidad de los incendios y en el papel de este fenómeno en la dinámica de los ecosistemas. El cambio de la supresión de incendios a la prevención y manejo del fuego también ha influido en la investigación que se realiza sobre los combustible forestales (Harrington, 2005), particularmente en la caracterización de las propiedades físicas tales como, carga, tamaño y forma,

compactación y distribución, que junto con la configuración del terreno y el estado del tiempo rigen el comportamiento del fuego.

Esta nueva aproximación requiere de información más detallada de las cargas de combustibles, la cual no se cubre con un enfoque exclusivamente en el comportamiento del fuego (Reinhardt *et al.*, 2001). Con lo que se hace necesario contar con estudios de los combustibles que respondan a la evaluación de su distribución espacial (Morfin *et al.*, 2008).

A partir de lo anterior surge esta propuesta la cual consiste en hacer uso de la geostatística como una alternativa para disminuir los esfuerzos en el muestreo e incrementar la precisión en las estimaciones de las cargas de los combustibles forestales y con ello lograr la construcción de mapas que presenten la distribución espacial de las cargas de combustibles forestales encaminados a coadyuvar en la implementación de estrategias del manejo integral del fuego.

### **3.1. Incendios forestales en México.**

En México la relevancia económica de los programas de manejo y protección contra incendios forestales continúa en aumento, considerando particularmente las pérdidas a nivel mundial causados por ellos y las justificaciones para la asignación de recursos económicos para el manejo y la protección de los ecosistemas. A pesar de ello 1998 está considerado como el peor año en la historia de los incendios en México con la presencia de 14,330 eventos y una superficie afectada de 847,128

hectáreas. De estos 351,080 hectáreas, correspondieron a pastizales; 198,490 hectáreas de arbolado y 297,558 hectáreas de arbustos y matorrales.

El fenómeno sigue creciendo, en los primeros siete meses del 2011, se tienen contabilizados a nivel nacional 11,822 incendios forestales (Figura 1), que aun cuando en número son menores a los que se manifestaron en 1998, la superficie que en este año se ha visto afectada rebasa a la de años anteriores, actualmente la superficie afectada corresponde a 899,492 hectáreas (Figura 2), de los cuales 319,750 hectáreas son de pastizales; 68,890 hectáreas de arbolado y 510,850 hectáreas de arbustos y matorrales (SEMARNAT, 2011).

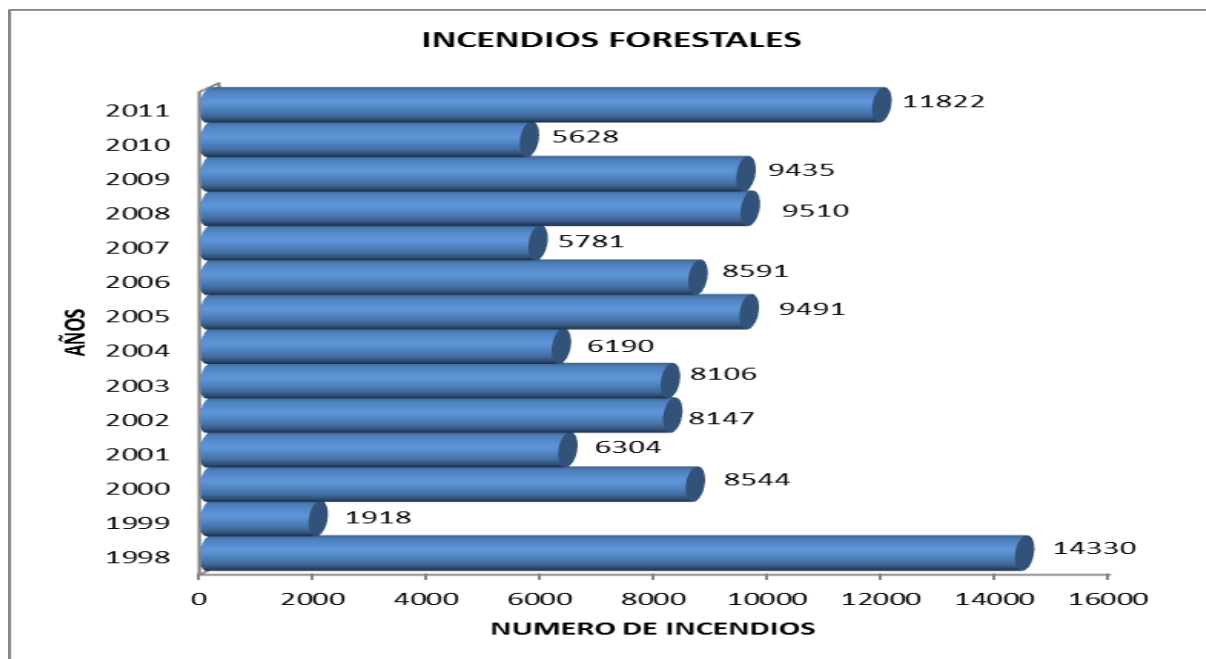


Figura 1. Frecuencia de la presencia de incendios en la república mexicana.

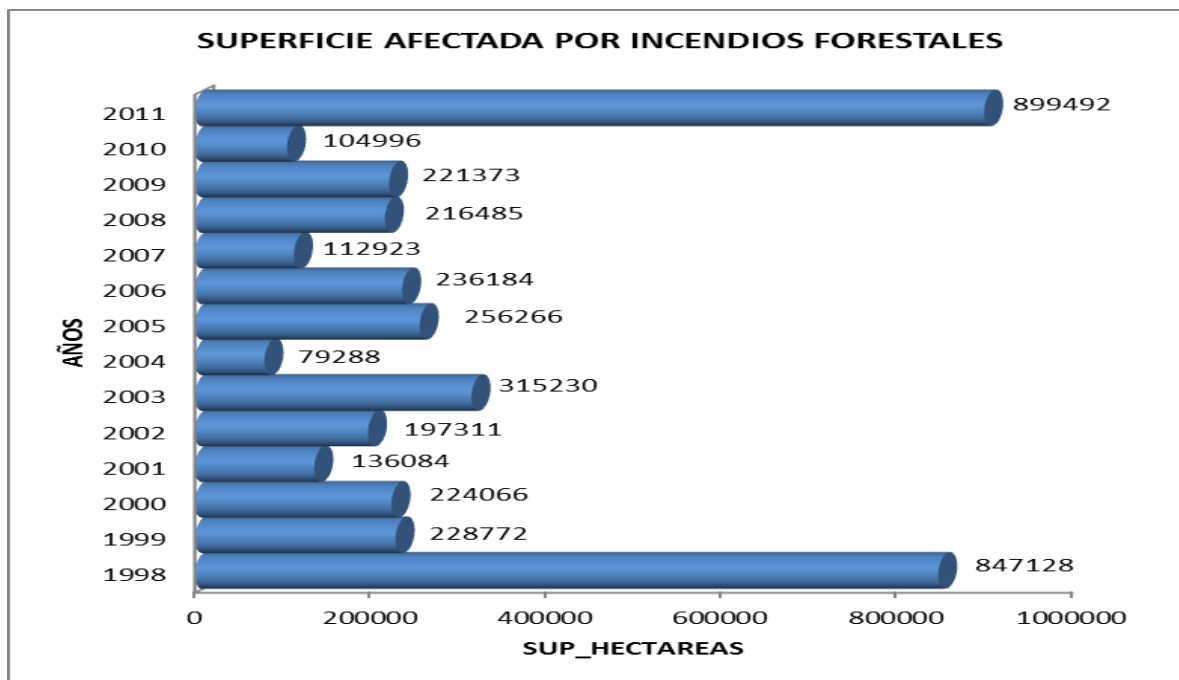


Figura 2. Superficie afectada por incendios forestales en la república mexicana.

### 3.2. Incendios forestales en Chiapas.

Actualmente el cuarenta y un % de la superficie afectada por los incendios forestales, corresponden a los estados de Chiapas y Oaxaca. Estados que tienen los más bajos índices de desarrollo humano en el país, incluyendo servicios, educación, y diferencias entre género (Caban, 2008).

Para el estado de Chiapas, los incendios forestales inducidos por el hombre son los más frecuentes. La causa principal es la práctica generalizada de agricultores y ganaderos (64.1%), (CONAFOR, 2004). Los incendios superficiales son los que con mayor frecuencia se presentan en el estado (94.9%), afectando principalmente los estratos herbáceo, el arbustivo y el renuevo. Dentro de las actividades



productivas que están relacionadas con el uso del fuego se encuentra, la agricultura (roza, tumba y quema), ganadería (mantenimiento de pasturas) y cacería. Otros factores que implican el uso del fuego son las invasiones por problemas agrarios y el cultivo de estupefacientes (CONANP y TNC, 2009).

### **3.3. Incendios en la reserva de la biosfera selva el Ocote.**

La Reserva cuenta con datos estadísticos confiables a partir de 1988, año en que tan solo 7 incendios consumieron 22,000 hectáreas. En la selva alta perennifolia y en la selva mediana o baja perennifolia la frecuencia de los incendios, en ambos ecosistemas se alteró el régimen del fuego debido a que se presentaron incendios en los mismos sitios en un periodo no mayor a cinco años, en particular, los incendios de 1998 y 2003 fragmentaron el corredor biológico de los Chimalapas, y la mayoría de incendios del 2007 fueron en zonas previamente afectadas de 1998 (CONANP y TNC, 2009).

Si bien es cierto que se han realizado trabajos en el manejo de los combustibles, éstos no han sido suficientes toda vez que en el último análisis de amenazas elaborado en el año de 1999, los incendios ocupaban la primera y más importante prioridad, derivando en la implementación de la primer campaña de incendios de la REBISO con la política de suprimir cualquier brote, apoyada con acciones del gobierno del estado de Chiapas mediante una iniciativa de Ley para prohibir el uso del fuego, con recursos del fondo de desastres naturales y el fondo mexicano para la conservación de la naturaleza (CONANP y TNC, 2009).

### **3.4. Conceptos generales de los incendios forestales.**

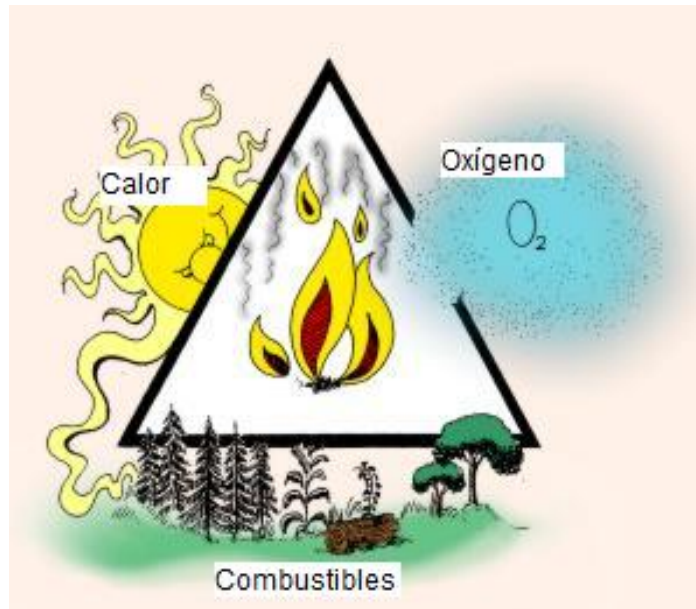
Para que se genere un incendio forestal, deben existir tres elementos importantes estos son: **el calor, el oxígeno y el combustible**. Sin embargo, para entender su comportamiento, existen otra serie de factores; como los **climáticos, los topográficos y la vegetación**.

Dentro de los factores climáticos se considera, la velocidad del viento, temperatura, y humedad relativa.

Los factores topográficos son, La pendiente, exposición y altitud, y los combustibles forestales producidos por un tipo de vegetación en particular. La manifestación de estos generalmente obedece a un patrón determinado, generando condiciones especiales que influyen en la presencia y propagación de los incendios. De acuerdo a estos factores que intervienen en el fuego, el más importante se refiere a los **combustibles forestales** (vegetación), ya que ésta es la representación de las interacciones de los demás factores: topográficos y de clima (Flores y Benavides 1993).

#### **3.4.1. El triángulo de fuego.**

El fuego es la liberación de energía en forma de luz y calor, producto de la combustión (quema). Para que el fuego se produzca se requieren tres elementos, el combustible, el calor y oxígeno, sin la presencia de alguno de estos no es factible la combustión, a estos les conoce el triángulo de fuego (Flores, 2007).



**Figura 3.** El triángulo de fuego y los elementos que lo forman (Flores, 2007).

El calor del sol o del fuego provoca la combustión y puede transmitirse en cuatro formas por conducción, convección, radiación y por pavesas (Rodríguez *et al.*, 2002). La conducción es la transferencia de calor por contacto a través de las moléculas de un cuerpo sólido mientras que la en la convección la transferencia de calor se da por una columna de partículas de aire calentado (por el mismo incendio), que se mueve hacia arriba en una dirección determinada por el viento, en la radiación el calor se transfiere en ondas electromagnéticas y finalmente las pavesas son restos de combustible que aún no ha dejado de arder y que son transportados por el viento o bien pueden rodar por la topografía del terreno (Rodríguez *et al.*, 2002).

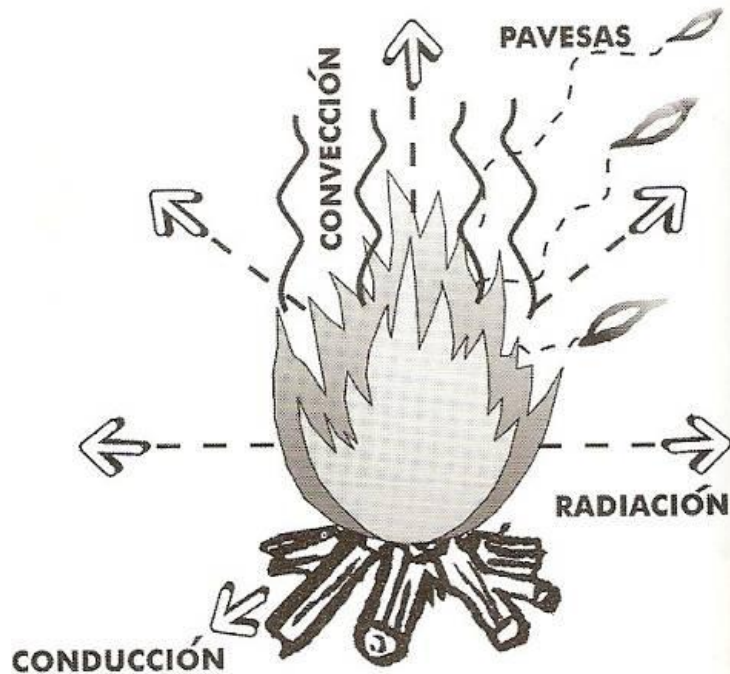


Figura 4. Formas de transmisión del calor (Rodríguez *et al.*, 2002).

### 3.4.2. La gran triada.

El comportamiento o propagación de todo incendio forestal está gobernado por tres factores, conocidos en conjunto como la gran triada; estos factores son los combustibles existentes en el lugar, la topografía del terreno, y el tiempo atmosférico (Rodríguez *et al.*, 2002).

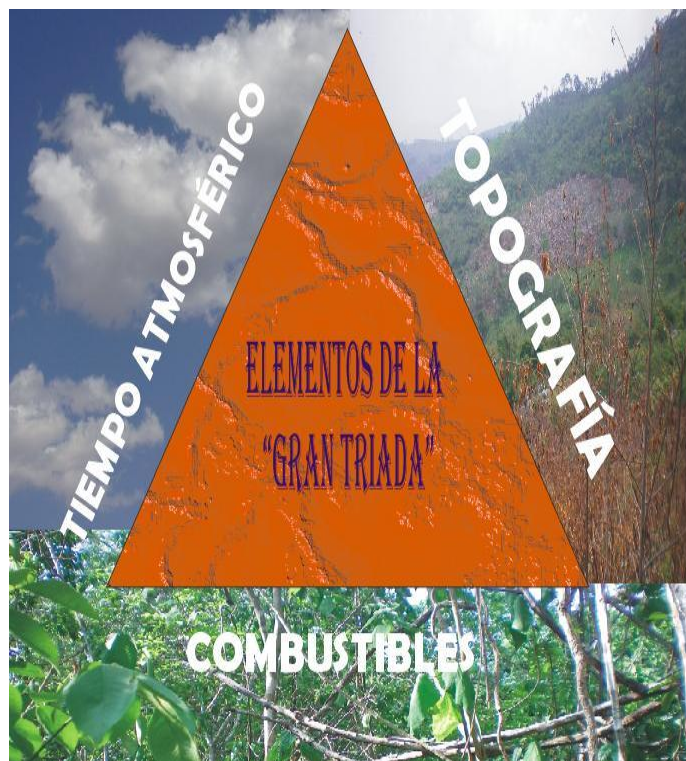


Figura 5. Factores de la gran triada que rigen un incendio forestal.

#### 3.4.2.1. Combustible.

Es el factor principal que determina si se inicia o no un incendio, la dificultad de controlarlo y la probabilidad de comportamiento extremo o irregular; es el único factor de la gran triada sobre el que se puede actuar directamente, ya que ni el tiempo atmosférico ni la topografía pueden modificarse (Rodríguez *et al.*, 2002).

#### 3.4.2.2. Topografía.

Es un factor que permite predecir la influencia que tendrá en un incendio. La altitud o elevación, la exposición, la configuración y la pendiente del terreno son características topográficas que modifican el clima (Rodríguez *et al.*, 2002). La

altitud o elevación, puede definirse como la altura del lugar sobre el nivel medio del mar (Arrufat, 1995). Mientras que la exposición, es la orientación de una ladera respecto al sol; se dice que las laderas con una orientación hacia el sol tienen una temperatura alta, como consecuencia ocurre una disminución de la humedad relativa y aumento de temperatura, así mismo son lugares donde los combustibles están más secos y en menor cantidad (Flores, 2007). La configuración conocida también como relieve, tiene una especial influencia o efecto en los regímenes de viento, como consecuencia de las diferencias de temperatura entre el aire próximo a una ladera y el que está lejos de ella, en ella se producen vientos locales diarios ascendentes durante el día y descendentes durante la noche (Flores, 2007). Finalmente la pendiente del terreno, es la más importante de las características topográficas que afectan el comportamiento del fuego; su efecto se caracteriza por la influencia que ejerce en el desarrollo de la columna de convección y por el hecho de que mientras más inclinada se presente, mayores posibilidades existen para que se establezca un contacto directo entre las llamas y las copas de los árboles (Flores, 2007).

#### **3.4.2.3. Tiempo atmosférico.**

Afecta el comportamiento del fuego por ello es el tercer elemento de la gran triada; la evolución de un incendio forestal está condicionada de un modo importante por la condición meteorológica del momento y su tendencia. Al ser el tiempo atmosférico el parámetro más variable y el de mayor influencia en el desarrollo de un incendio, es fundamental disponer de observaciones meteorológicas. Los elementos

del tiempo atmosférico son: la temperatura, la humedad relativa y el viento (Rodríguez *et al.*, 2002).

a) La temperatura: Es la cantidad de calor que la atmósfera puede contener. El mayor calentamiento del aire se da en sus capas bajas que están en contacto con la superficie terrestre, misma que a su vez es calentada por los rayos solares, cuya intensidad varía de acuerdo a su ángulo de incidencia (Rodríguez *et al.*, 2002). Los rayos solares al calentar los combustibles, y por efecto del viento caliente, pierden humedad, incrementando su temperatura hasta comenzar a arder y continuar haciéndolo sin requerir que se le aplique otra fuente de calor. Las máximas temperaturas durante el día se registran alrededor de las 15:00 horas, siendo ésta una hora crítica para el combate de los incendios forestales (CEFOFOR, 2008).

b) La humedad relativa: Es el contenido de agua en el aire, se define como el porcentaje de saturación del aire con vapor de agua, es decir, es la relación entre la cantidad de vapor de agua que contiene un metro cúbico de aire en unas condiciones determinadas de temperatura y presión y la que tendría si estuviera saturado a la misma temperatura y presión. La humedad relativa de una muestra de aire depende de la temperatura y de la presión a la que se encuentre.  $HR = e/E(100) = \text{presión de vapor actual} / \text{presión de vapor a saturación}$  (expresado en %), la humedad relativa es inversa a la temperatura del aire; en valores menores de 30% se presentan condiciones propicias para el desarrollo de incendios. Los combustibles disponibles ganan o pierden humedad con relación a los cambios en la humedad relativa (CEFOFOR, 2008).

c) El viento: Es aire en movimiento que obedece a cambios de temperatura, este factor es el que cambia con más frecuencia y más violentamente, en cualquier dirección, pudiendo hacer saltar chispas y brasas que originen nuevos brotes de fuego; en áreas de combustible homogéneas el viento rige la dirección del fuego y da la configuración al incendio (CEFOFOR, 2008).

### **3.5. Combustibles forestales.**

Los combustibles forestales se definen como toda aquella biomasa que potencialmente puede arder al ser expuesta a una fuente de calor y que al encenderse alimentan el proceso de combustión y por lo tanto la propagación del fuego en los incendios forestales (Chandler *et al.*, 1983, Pyne *et al.*, 1996). Estos combustibles pueden ser: árboles, ramas, troncos, arbustos, pastos, hierbas, hojarasca y humus (Villers, 2006). Se clasifican por su estado en vivos y muertos; por su peso en ligeros medianos y pesados, por su tiempo de retardo en combustibles de 1 hora, 10 horas, 100 horas y 1000 horas (Flores, 2007).

#### **3.5.1. Modelos de combustibles.**

Hoy en día la caracterización de los combustibles forestales significa un adelanto en la investigación forestal; sin embargo, para lograr un análisis adecuado requiere de mucho esfuerzo. Por tal razón, a propósito de simplificar el problema se crearon los modelos de combustibles (MC). Con ello se logra la categorización de áreas dentro de clases de comportamiento potencial del fuego basándose en las características de los combustibles (Flores y Omi, 2003). Los modelos de



combustible, por sus propiedades, se organizan en 4 grupos: pastizal, matorral, hojarasca bajo arbolado y restos de poda. A partir de ello se originan 13 variables. Cada modelo está definido por la carga de combustible y la proporción de la relación volumen-área; la profundidad de la cama de combustibles involucradas en el frente del fuego y la humedad del combustible, (Anderson, 1982; Scott y Burgan, 2005).

### **3.5.1.1. Modelos de combustibles forestales.**

En el pasado se les definió como unidades de medida para la evaluación de las asociaciones de vegetación, respecto al potencial de propagación del fuego y a la resistencia al control (Horby, 1936). En la actualidad se concibe un modelo de combustible como aquel que representa a todas las clases de vegetación en donde el fuego tendrá un comportamiento similar, siempre que se mantengan homólogas las condiciones meteorológicas y topográficas que las puedan estar afectando (Fahnestock, 1970; Deeming *et al.*, 1975, Rothermel 1974, Albini 1976, Anderson, 1982). La modelación de los combustibles forestales para la toma de decisiones en el control de incendios es de importancia (Roussopoulos *et al.*, 1975, Maxwell *et al.*, 1981, Ottmar *et al.*, 1990, Julio, 1992), toda vez que:

1. Permiten la elaboración de mapas zonales de combustibles y por lo tanto, facilita la planificación del manejo del fuego desde el punto de vista de la distribución espacial del peligro.
2. Define los niveles de organización y preparación de las unidades de supresión en relación al peligro como respecto a los niveles del esfuerzo de control.

3. Fundamenta la determinación de prioridades en el manejo de los combustibles y la definición de los tratamientos que deben aplicarse para la reducción del peligro.
4. Permite la operación de simuladores de incendios forestales, particularmente en lo que se refiere al pronóstico del comportamiento del fuego y de los daños que puedan originarse.

Es de hacer notar que en un lugar se pueden presentar variaciones en el tipo y estructura de la vegetación, complicando la predicción del comportamiento de los incendios, a pesar de los esfuerzos de investigadores del tema. Hoy en día no existe una clasificación única y válida de modelos de combustibles forestales, para todas las regiones del mundo. Países como Estados Unidos, Canadá y Australia, encabezan los avances en la definición y clasificación de modelos de combustibles el resto de los países están copiando o adaptando estos modelos a sus regiones (Viger *et al.*, 2004).

Es durante los años 70's cuando aparecen los modelos de propagación de incendios forestales y los sistemas de predicción que utilizan como dato el tipo de combustible y su distribución espacial, información no disponible de manera precisa en las regiones de México (Flores 2001).

Hoy en día en los Estados Unidos de Norte América, existen 13 modelos vigentes de combustibles forestales que reciben el nombre de modelos de comportamiento de incendio (Viger *et al.*, 2004). De estos modelos, 11 fueron desarrollados por Anderson y Brown, y publicados por Rothermel (1972), mientras

que Van Wagner propuso un nuevo modelo que caracteriza los bosques con sotobosque de combustible muerto, documentado por Rothermel (1972) Albini (1976). El último modelo de combustible describe los matorrales de especies muy inflamables, modelo documentado por Albini (1976).

### **3.5.1.2. Clasificación de los modelos de combustibles forestales.**

Los modelos de combustibles pueden ser clasificados de acuerdo a la caracterización de las propiedades que en su conjunto hacen posible la estimación del comportamiento potencial del fuego. Las categorías clasificadas demuestran distintos niveles de peligro, por lo cual esto facilita la planificación y programación de las actividades de prevención (Koller, 1982). Esta caracterización se basa en tres grandes grupos de propiedades: físicas, calidad y condición según, Fahnestock (1970), Deeming y Brown (1975), Ward y Sandberg (1981), Fischer (1981) y Anderson (1982).

Horby (1936), Sandberg y Ward (1981). Incluyen una cuarta propiedad a la que denominan “resistencia al control”, sin embargo, este aspecto es discutible calificarlo en tal sentido, puesto que es una consecuencia de los tres grupos de propiedades anteriores y además está determinado por factores ajenos al comportamiento del fuego, por ejemplo, la organización, capacitación e implementación de las unidades de combate (Julio, 1992).

### **3.5.2. Características de los combustibles forestales.**

Las características principales de los combustibles son: cantidad, estado, peso, tamaño y forma, densidad, contenido de humedad, presencia de sustancias inflamables, compactación, continuidad horizontal, continuidad vertical y altura (Wong y Villers 2006).

Su acumulación, distribución, y concentración, se puede presentar de manera natural, por la caída de hojas, ramas, caída del mismo árbol que puede ser derribado por el viento o por el peso de plantas que sobre él se encuentren, o por actividades antropogénicas como aprovechamiento forestal y actividades de recreación (Flores *et al.*, 2007).

#### **3.5.2.1. Cantidad, estado, peso.**

La cantidad, esta característica se determina extrayendo la humedad al combustible, lo anterior es importante ya que existe una relación en la intensidad calorífica: a mayor cantidad de combustible el incendio presenta mayor intensidad, a menor cantidad de combustible existe una menor intensidad (Flores, 2007).

El estado, se refiere al grado de conservación de la vegetación o el tipo de uso que esta tenga.

El peso, en el caso de la hojarasca generalmente está dada por su peso seco entre el área (Flores *et al.*, 2008).

### **3.5.2.2. Tamaño y forma.**

El tamaño y la forma del combustible está relacionado con la intensidad en un incendio, los combustibles de gran tamaño como troncos y ramas gruesas, tardan más tiempo en arder, que los combustibles más chicos o pequeños, sin embargo, una vez empezada la combustión en el material combustible de gran tamaño la intensidad es mayor, caso contrario con el combustible pequeño el cual arde más fácilmente.

### **3.5.2.3. Densidad.**

En términos físicos se define la densidad como una magnitud referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen. Para el caso de los combustibles forestales la densidad se observa desde dos aspectos:

La primera se estudia para conocer la capacidad de un combustible forestal de absorber energía calórica sin cambiar su temperatura, las maderas más densas necesitan más tiempo expuestas al calor para encender pero duran más tiempo encendidas que las maderas menos densas, se determina dividiendo la carga de combustible entre la unidad de volumen, el resultado puede ser expresado en Kg/m<sup>3</sup>. (Masa / volumen) (Flores *et al.*, 2007).

La segunda se utiliza para conocer y caracterizar a un grupo de individuos o combustibles que comparten una determinada área, las cargas de combustibles pueden estar relacionadas con la densidad de un bosque, por lo que la incidencia de

incendios puede ser muy frecuente de aquí que la *Densidad = número de individuos* de una especie por unidad de área (Flores *et al.*, 2007).

#### **3.5.2.4. Contenido de humedad.**

Es la cantidad de agua en el combustible expresada en porcentaje del peso seco del combustible, es un factor importante ya que determina si se inicia o no un incendio, incluyendo su comportamiento y control, si la humedad de un combustible es baja, existe mayor probabilidad de que este arda fácilmente, el contenido de humedad puede ser determinado mediante la fórmula siguiente propuesta por Echenique y Robles (1993).

$$CH\% = \left( \frac{PI - PA}{PA} \right) * 100$$

Dónde:

*CH* % = Contenido de humedad en %

*PI* = Peso inicial del combustible (g)

*PA* = Peso seco del combustible (g)

La capacidad de ganar o perder humedad dependerá del estado que presente el combustible el cual se encuentra relacionado con el tamaño, a esta capacidad se le denomina tiempo de retardo (en inglés: *timelag*) y se define como el tiempo de respuesta de los combustibles, frente a cambios en el medio que los rodea (Fosberg, 1977). En otras palabras el tiempo de retardo es el tiempo necesario para que un

combustible gane o pierda aproximadamente las dos terceras partes de la diferencia entre su contenido de humedad inicial y de equilibrio (Flores *et al.*, 2008).

#### **3.5.2.5. Presencia de sustancias inflamables.**

La presencia de resinas, en el follaje vivo, contribuye a la combustión, estas sustancias, resinas en coníferas y gomas en latifoliadas, son producidas en diversos tejidos vegetales, en algunas plantas, las sustancias se acumulan en las hojas y los tallos, esta sustancia en la mayoría de los casos, contribuye a que el fuego se propague con mayor velocidad (Flores *et al.*, 2007)

#### **3.5.2.6. Compactación.**

El término es utilizado para referirse a ese espacio que existe entre los combustibles y el porcentaje de aire contenido entre estos, en general esta característica de los combustibles afecta la tasa de secamiento y la velocidad de propagación del fuego, a medida que el combustible está más compacto la circulación del aire es menor por lo tanto se merma la cantidad de oxígeno y la combustión se dificulta (Rodríguez, 1996).

#### **3.5.2.7. Continuidad.**

Se considera como la unión natural de los combustibles entre sí o la proximidad entre ellos. Se divide en: Continuidad horizontal y continuidad vertical.

a) **Continuidad horizontal.** Consiste en la proximidad en el plano horizontal entre los combustibles, rige la capacidad de los mismos de sostener la propagación del fuego, y define hacia donde se propaga el fuego y su velocidad (Viger, 2004).

b) **Continuidad vertical.** Es la proximidad en el plano vertical entre los combustibles, que gobierna la capacidad de los mismos de permitir el desplazamiento del fuego entre distintos estratos de la vegetación. Generalmente la propagación del fuego de abajo hacia arriba. Influye en que el incendio superficial se convierta en un incendio de copa (Viger, 2004).

#### **3.5.2.8. Altura.**

Es la distancia vertical de un combustible respecto a la tierra o a cualquier otra superficie tomada como referencia. En esta categoría normalmente los combustibles se clasifican en: subterráneos, superficiales y aéreos.

#### **3.5.3. Cargas de combustibles.**

Uno de los aspectos para determinar el riesgo que puede existir en un área dada es el cálculo de la cantidad de combustible existente. Esta característica se determina extrayendo la humedad al combustible. Existe entre la intensidad calorífica y la cantidad de combustible la siguiente relación: a mayor cantidad de combustible el incendio presenta mayor intensidad calórica y a menor cantidad de combustible existe una menor intensidad. La estimación de las cargas de combustibles, se realiza dependiendo del tipo de combustible. Los combustibles leñosos pertenecientes a los distintos tamaños. Se clasifican de acuerdo con su diámetro. En general, la carga de



combustible es el resultado de dividir el peso por unidad de área (Flores *et al.*, 2007), lo que se expresa de la siguiente manera: ***Carga de combustible = peso / área.***

#### **3.5.4. Combustibles muertos.**

Los combustibles muertos están representados por los troncos, las ramas y las hojas que normalmente se encuentran sobre el suelo (Villers, 2006), se dividen en gruesos o pesados y en finos o ligeros (Flores *et al.*, 2008), la condición, el tamaño, la carga, el arreglo y la humedad contenida de estos combustibles son componentes indispensables para entender cómo se queman, generalmente esto es lo que define el comportamiento de un incendio (Villers, 2006, Flores *et al.*, 2008).

#### **3.5.5. Combustibles gruesos o pesados.**

Los combustibles gruesos o pesados, son levantados *in situ*, para ello puede utilizarse la metodología conocida como intersecciones planares, la cual se refiere al conteo por frecuencia en la que las piezas leñosas como ramillas, ramas, y troncos intersectan en un plano horizontal, este plano generalmente es trazado con cuerdas (Flores *et al.*, 2008) (Figura 6).



**Figura 6. Estimación de combustible grueso o Pesado, mediante intersecciones Planares.**

Los combustibles que deben de tomarse en cuenta van desde ramillas hasta troncos de árboles y arbustos que estén separados de su fuente original (Brown *et al.*, 1982). Para este tipo de combustibles, Fosberg (1971), clasificó el grosor según el tiempo que tardan en alcanzar el equilibrio con la humedad ambiental, es decir el lapso en que un combustible tarda en perder o ganar por condiciones de humedad ambiental dos tercios de la diferencia entre su contenido inicial de humedad y el del ambiente (tiempo de retardo). Se ha observado que si el combustible es más grande, perderá o ganará humedad más lentamente; es decir, tendrá un mayor tiempo de retardo (Villers, 2006). De esta forma, se tiene una clasificación de los combustibles como la mostrada en la tabla siguiente (Burgan *et al.*, 1984; Anderson, 1990).

<u>Clase</u>	<u>Diámetro en Cm</u>	<u>Tipo</u>
<b>1 Hora</b>	<b>0.0 a 0.6</b>	<b>Ramillas</b>
<b>10 Horas</b>	<b>0.61 a 2.5</b>	<b>Ramillas-Ramas</b>
<b>100 Horas</b>	<b>2.51 a 7.6</b>	<b>Ramas</b>
<b>1000 Horas</b>	<b>&gt; 7.6</b>	<b>Troncos</b>

**Tabla 1. Relación del diámetro de combustibles por su tiempo de retardo.** (Burgan *et al.*, 1984; Anderson,1990).

Para determinar de manera ágil y cómoda el diámetro de los combustibles gruesos o pesados en campo se puede utilizar un calibrador (Figura 7), en el cual se reflejen las medidas del cuadro anterior, es decir marcando los combustibles de 1 hora, 10 horas, 100 horas, mientras que para determinar los combustibles de 1000 horas se utiliza un flexómetro, toda vez que los diámetros de estos son mayores a 7.6 cm y en algunos casos diámetros grandes, lo que ya no vuelve práctico un calibrador de estas dimensiones. Los combustibles de 1000 horas se dividen en firmes y podridos (Flores *et al.*, 2008), por lo que se deberá tener cuidado en su clasificación en el momento de levantarlos.

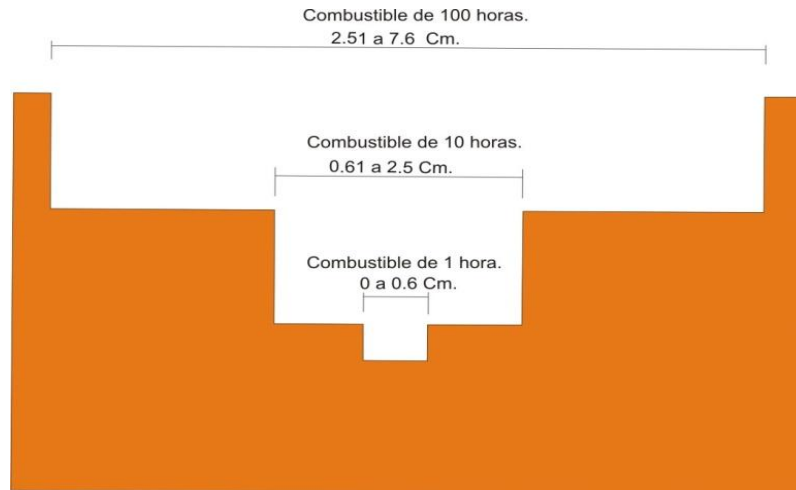


Figura 7. Diseño de calibrador para realizar muestreo de combustible forestal.

### 3.5.6. Combustibles finos o ligeros.

Representados por los combustibles conocidos como hojarasca, la carga está dada por el *peso seco por unidad de área*. El área se determina mediante la construcción de un cuadro de 30 por 30 cm y el peso se obtiene al separar la hojarasca de las impurezas y llevarlo a una báscula de precisión (Flores *et al.*, 2007) (Figura 8).



Figura 8. Muestreo de combustible ligero, en un cuadro de 30 por 30 cm, y báscula de precisión para el pesado de combustible.

### 3.5.7. Pendiente.

Antes de levantar el combustible forestal es importante determinar la pendiente del lugar, específicamente la pendiente en porcentaje de cada transecto (Flores *et al.*, 2008), la cual se mide con respecto al punto central del sitio, calculada de acuerdo al desnivel entre la distancia horizontal (Figura 9).

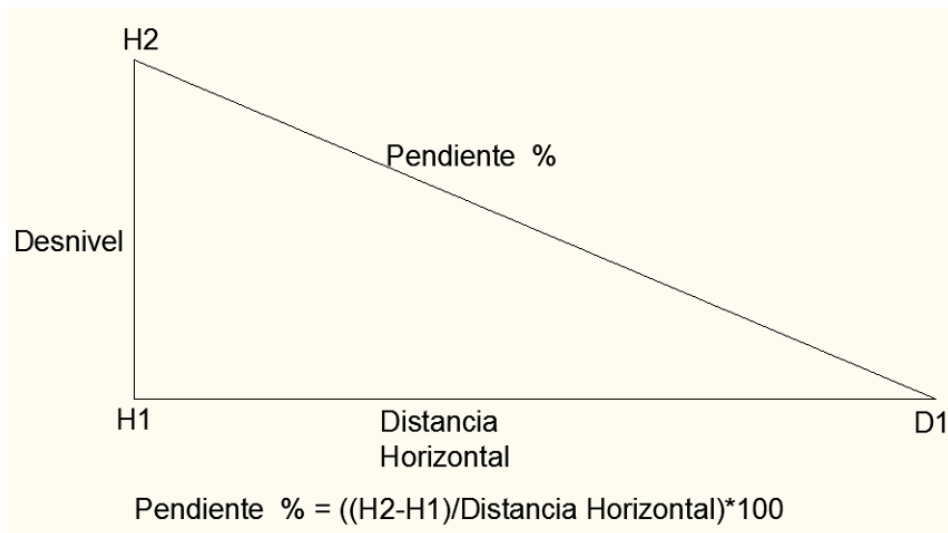


Figura 9. Estimación de la Pendiente entre dos puntos.

### 3.6. Estadística espacial.

El término Estadística Espacial; fue utilizado por primera vez por Ripley (1981), no solamente se aplicó a la estadística en datos geográficos, sino que se introdujo por primera vez el espacio como elemento fundamental del análisis. Esta línea ha continuado con los trabajos de Cressie (1991), Fotheringham *et al.*, (2000) y Haining (2003), aprovechando las bondades de los sistemas de información geográfica (SIG), que ofrecen la posibilidad de cruzar, vincular y analizar bases de datos con información cartográfica. Dentro de la estadística espacial existe el

concepto de dependencia o autocorrelación espacial, destinada para analizar la falta de independencia que se produce entre las observaciones de una variable, la estadística espacial se une con la geografía mediante los trabajos de Tobler (1979) y su *“primera ley de la geografía”, en la que se afirma que en el análisis geográfico todo está relacionado con todo, pero las cosas cercanas están más relacionadas entre sí que las cosas lejanas.* Los primeros índices formales para detectar la presencia de autocorrelación espacial se deben a Moran (1948) y Geary (1954). El estudio de fenómenos con correlación espacial, por medio de métodos geoestadísticos, surge especialmente con el propósito de predecir valores de las variables en sitios no muestreados. Como antecedentes suelen citarse trabajos de Sichel (1947; 1949) y Krige (1951).

### **3.6.1. Geoestadística.**

Esta ciencia tiene sus inicios a partir de los trabajos realizados por el ingeniero de minas, Danie Gerhardus Krige, (Olea 1988). Los primeros conceptos fueron tomados en 1967 por George Matheron, el cual estaba interesado en los problemas de estimación de reservas minerales, actividad que consolidó y desarrolló como una ciencia aplicada casi exclusivamente en el campo minero. En el transcurso del tiempo esta ciencia ha tenido grandes contribuciones en diversos campos (Flores *et al.*, 2004). Posteriores a los trabajos de Matheron, la geostatística se ha aplicado en estudios tales como estudios ambientales (Robertson, 1987; Cressie y Majure, 1995; Diggle *et al.*, 1995), contaminación de suelos (Sommer *et al.*, 2000), hidrología (Giraldo, 2002), fertilidad de los mismos (Uloa, 2002), distribución espacial de plagas

(Moral, 2004), monitoreo de ecosistemas (Flores *et al.*, 2007), vegetación, hábitat de fauna silvestre, clima y contaminación (Hunner, 2000; Metzeger, 1997); sin embargo de acuerdo a trabajos de investigación realizados por Flores *et al.*, 2007, determinan que su aportación en la estimación de las cargas de combustibles forestales ha pasado desapercibida, **por lo que recomiendan realizar trabajos de investigación que permitan determinar los alcances de esta ciencia dentro de este problema forestal.**

La Geoestadística es definida: Como un conjunto de herramientas y técnicas que sirven para analizar y predecir los valores de una variable distribuida en el espacio o en el tiempo de una forma continua, se encuentra relacionada con datos geográficos, derivado de su aplicación orientada a los sistemas de información geográfica (SIG), de aquí que se le conozca como estadística espacial (Moral, 2004).

Algunas otras definiciones podrían ser las siguientes:

Es una rama de la estadística que trata fenómenos espaciales (Journel y Huijbregts, 1978), y cuyo interés primordial es la estimación, predicción y simulación de dichos fenómenos (Myers, 1987).

Es una herramienta que ofrece una manera de describir la continuidad espacial, que es un rasgo distintivo esencial de muchos fenómenos naturales, y proporciona adaptaciones de las técnicas clásicas de regresión para tomar ventajas de esta continuidad (Isaaks y Srivastava, 1989).

Es una aplicación de la teoría de probabilidades a la estimación estadística de variables espaciales (Petitgas, 1996).

De acuerdo a las definiciones anteriores podemos determinar entonces que la geostatística opera básicamente en dos etapas.

1. La primera es el análisis mediante el cual se logra describir la correlación entre puntos en el espacio.
2. En la segunda fase se hace predicción en sitios de la región no muestreados por medio de técnicas de interpolación, donde los pesos asignados a los valores muestreados son determinados por la correlación establecida en la primera etapa y por la configuración del muestreo (Petitgas, 1996).

De aquí que en la geostatística el propósito esencial sea la interpolación, afirmándose que si no hay continuidad espacial pueden hacerse predicciones carentes de sentido.

### **3.6.2. Georreferenciación de la información.**

Cuando se realizan los trabajos de campo y se miden las características de la variable de interés es conveniente que esta información se asocie a un sistema de coordenadas que permita ubicar posteriormente los sitios donde las muestras fueron tomadas, para ello, pueden utilizarse las tecnologías provenientes de los sistemas de posicionamiento global, (Giraldo, 2002). El cual consiste en un sistema de localización, diseñado por el Departamento de defensa de los Estados Unidos con



finos militares, desde 1995 utiliza una constelación de 24 satélites para determinar por triangulación, la altitud, longitud y latitud de cualquier objeto en la superficie terrestre (Herring, 1996 y Fernández, 1997).

### **3.6.3. Árboles de clasificación y regresión.**

Son estructuras en las que las ramas representan conjuntos de decisiones, estas decisiones generan sucesivas reglas para la clasificación de un conjunto de datos, las ramificaciones se realizan de forma tal que deben cumplirse ciertos criterios de parada (Flores, 2005).

El objetivo de utilizar estos métodos es que de esta forma se logran obtener individuos más homogéneos con respecto a la variable que se desea discriminar. Para la construcción del árbol se requiere información de variables explicativas a partir de las cuales se realiza la discriminación de la población.

Hoy en día existen programas muy sofisticados que permiten ejecutar rutinas en cortos periodos de tiempo, sin embargo no siempre fue así, en un inicio el programa Automatic Interaction Detection (AID) de Sonquist, Baker y Morgan (1971), representó uno de los primeros métodos de ajuste de los datos basados en modelos de árboles de clasificación. Posteriormente surgieron otros sistemas como el desarrollado por Breiman en 1984, al que denominó, Classification And Regression Tree, (CART), Friedman en el 1991, desarrolló el sistema, Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS).

#### 3.6.4. Distancia inversa ponderada (IDW).

El objetivo de cualquier método de interpolación es pasar de una red de observaciones irregularmente distribuida en una cuadrícula regular. El método de interpolación denominado distancia inversa ponderada (IDW), asume que cada punto posee una influencia local que se disminuye con la distancia. De esta manera, el método pondera con mayor fuerza los puntos cercanos a la celda proceso y con menor intensidad sobre aquellos ubicados a mayor distancia. El valor de cada celda, se determina mediante una búsqueda en base a una serie definida de puntos o mediante todos aquellos puntos que se encuentren al interior de un radio de búsqueda determinado. ***Este método es apropiado cuando la variable analizada disminuye conforme aumenta la distancia desde cada punto analizado.*** Considerando que el IDW es un método de interpolación que utiliza los promedios de los valores de entrada, de aquí su nombre distancia inversa ponderada (Inverse Distance Weighted), el resultado de los valores de las celdas, jamás superarán los límites máximos y mínimos establecidos en los puntos de entrada del análisis. IDW estima los valores de las celdas promediando los datos obtenidos desde los puntos de entrada ingresados que están más cercanos a ella. Sin embargo existen algunos parámetros que pueden ser configurados para modificar o ajustar los resultados:

Power (potencia): Mediante IDW es posible controlar. Basándose en la distancia, la importancia de los puntos conocidos sobre los valores interpolados. Al definir una potencia alta, mayor será el énfasis sobre los puntos más cercanos y el resultado de la superficie será más detallado, pero menos suavizado. Especificando

una potencia menor, se le dará una mayor importancia a los puntos más distantes y por tanto la superficie resultante será más suave. Las características de la superficie interpolada pueden ser controladas también al limitar el número de puntos utilizados en los cálculos.

Fixed Radius Type, (tipo de radio fijo): Utilizando un radio de búsqueda definido para cada punto interpolado, todos los puntos que se encuentren al interior del radio de búsqueda son utilizados. Especificando un mínimo de puntos en la búsqueda asegura que de no encontrarse puntos dentro del radio, este aumentará hasta encontrar la cantidad de puntos definida con anterioridad.

Variable Radius Type, (tipo de radio variable): Utilizando un radio de búsqueda variable, el número de puntos utilizados en la interpolación es fijo y por lo tanto el radio de búsqueda variara dependiendo de cuán lejos se encuentren los puntos definidos con anterioridad. Esta modalidad de búsqueda puede producir mejores resultados cuando la densidad de los puntos varía de una zona a otra. Si se tienen áreas con pocos datos quizá sea necesario restringir el área de búsqueda aunque disminuya el número de puntos participes de la interpolación.

Barrier (barrera): Una línea o polígono puede ser utilizado como barrera o quiebre que limita la búsqueda de puntos. Una línea puede representar un risco, acantilado o cualquier otra interrupción sobre el paisaje. Solo aquellos puntos ubicados en el mismo lado de la celda proceso que serán utilizados.

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS.**

### **4.1. Características del área de estudio.**

La reserva de la biosfera selva el Ocote, se ubica en el occidente del estado de Chiapas, dentro de la región socioeconómica centro; en los municipios de Ocozocoautla de Espinosa, Cintalapa de Figueroa, Tecpatán de Mezcalapa y Jiquipilas, entre los paralelos 16°45'42" y 17°09'00" latitud norte y los meridianos 93°54'19" y 93°21'20" longitud Oeste (SEMARNAT 2000).

Es declarada como área natural protegida en el año 2000, con carácter de reserva de la biosfera y ampliándose su superficie de 48,140 hectáreas a 101,288 hectáreas (D.O.F. 2000). Tiene un nivel altitudinal de 180 m.s.n.m; llegando hasta los 1500 m.s.n.m, en el cerro La colmena, las menores altitudes se encuentran al norte y noroeste, mientras que las mayores se encuentran en el extremo sureste (Müllerried 1957). En ella se identifican seis áreas edáficas: Acrisol, litosol, luvisol, regosol, rendzina, vertisol, presenta suelos del Cuaternario de origen aluvial, rocas sedimentarias formada por calizas, areniscas, lutitas, limonitas y volcanosedimentarias, la morfología es típicamente kárstica lo que permite la propagación de incendios subterráneos (PEOT, 2000).

La zona está incluida en la cuenca hidrológica de la red fluvial del río Grijalva o Mezcalapa que nace en Guatemala y recorre el estado de Chiapas en dirección Sureste Noroeste, atravesando la depresión central, la altiplanicie y montañas del Norte, hasta desembocar en el golfo de México. La acumulación superficiales de

cuerpos de agua en el área son muy escasos, debido a que la mayoría del agua de lluvia se filtra por las grietas como consecuencia del material calizo, formando corrientes subterráneas, que en ocasiones afloran en cuevas, peñascos, simas o en cuerpos de agua como el río la ventas localizado en cotas altitudinales más bajas (IHN, 1994; Albise *et al.*, 1999). La reserva tiene meses secos en marzo y abril; septiembre el más lluvioso; enero el más frío; mayo el más caliente. Los vientos que predominan en la zona son del noroeste; las temperaturas máximas registradas en temporada de estiaje van de 42° C a 45° C y la mayoría de ellas se han presentado en abril y mayo (SEMARNAT, 2001).

Los tipos de vegetación en la reserva de acuerdo al inventario forestal correspondiente al año 2000 se encuentran conformados por asociaciones de bosque de encino, sabana, selva alta y mediana perennifolia, selva alta y mediana perennifolia con vegetación secundaria arbustiva y herbácea, selva baja caducifolia y sub caducifolia. La fauna se compone de 656 especies de vertebrados terrestres, distribuidos de la siguiente forma: 25 especies de anfibios, 62 especies de reptiles, 460 especies de aves y 109 especies de mamíferos. Las especies de vertebrados presentes representan el 45% de los vertebrados de Chiapas y el 23% del país (PEOT 2000).

Las principales actividades productivas son la agricultura, la ganadería y la explotación forestal aun cuando las tierras presentan poca aptitud agrícola, esta actividad se realiza en todas las comunidades, especialmente para el cultivo de maíz

y fríjol, también pueden observarse cultivos de café, plátano y diversos árboles frutales (Castillo *et al.*, 1998).

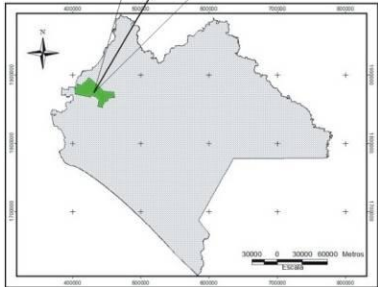
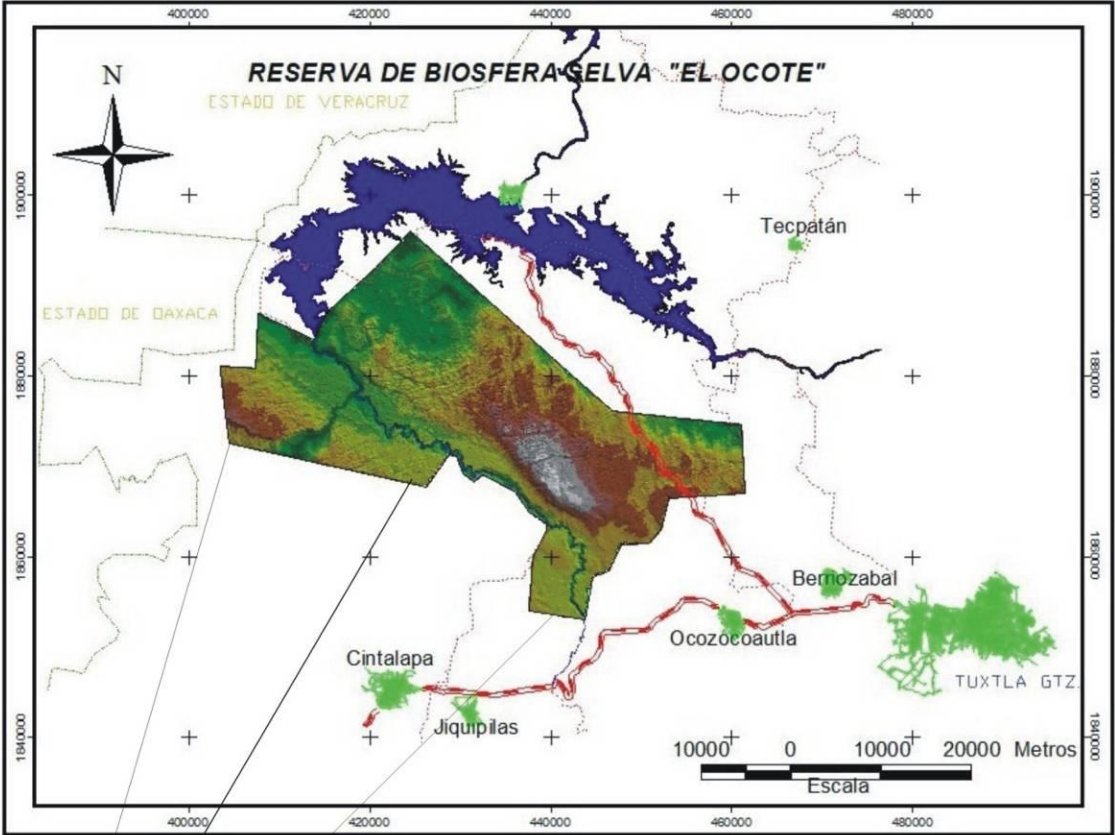


Figura 10. Localización geográfica de la Reserva de la Biosfera Selva el Ocote.

## **4.2. Materiales.**

En este apartado se describen los materiales que se utilizaron para realizar el trabajo de campo y laboratorio.

### **4.2.1. Materiales de campo.**

El Instrumental utilizado para el trazo y levantamiento de los sitios muestreados en campo consistió: En tres cuerdas de 13.50 metros en color amarillo (a) y tres cuerdas de 7.00 metros en color blanco (b), paquete de bolsas de plástico para guardar el combustible fino (c), etiquetas para rotular cada muestra levantada (d), guantes de piel (e), tabla rígida (f), formatos de captura de sitios muestreados (g), cámara fotográfica (h), navegador GPS (i), Flexómetro (j), Brújula Brunton (k), Cuadro de 30 x 30 centímetros (Fabricada con PVC) (l), Fichas metálicas para sujetar las cuerdas (m), Cuchara de albañil para levantar el material (n), lápiz, pluma y marcador para realizar anotaciones y rotular las etiquetas respectivamente (o), Pinza para recortar en el perímetro del cuadro de 30 x 30 centímetros (p), mapa de la cartografía de la zona de estudio (q), termo de agua (r), bolsas de dormir (s), mochila (t) para transportar los instrumentos utilizados en el muestreo así como para el material muestreado, (Figura 11).



Figura 11. Instrumentos utilizados para realizar el muestreo de combustibles en la Reserva de la Biosfera Selva el Ocote.

#### 4.2.2. Materiales de laboratorio.

Los instrumentos de laboratorio utilizados en la separación y secado del combustible consistieron en los siguientes:

Estufa de secado construida de madera y forrada en su interior de papel aluminio y focos de alta resistencia para generar calor (a), báscula de precisión, utilizada para pesar el combustible fino (b), guantes, tapa-bocas, mesa, bolsas de papel y cribas de malla fina (c).



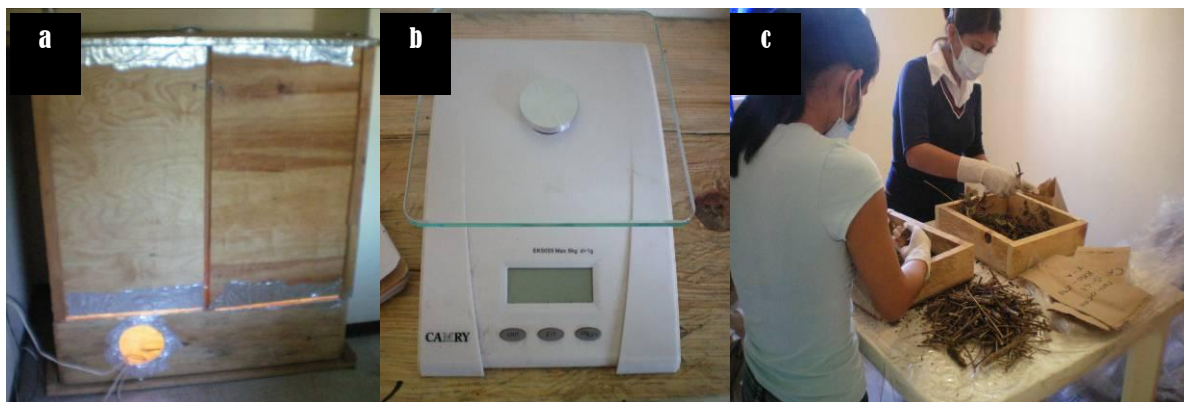


Figura 12. Instrumentos de laboratorio utilizados en la separación y secado del combustible.

### 4.3. Métodos.

Para la selección de los sitios de muestreo fue necesario establecer una metodología basada en la construcción de las ARH, para que posteriormente se realizará un muestreo aleatorio estratificado para la selección de los puntos de muestreo, una vez realizado los muestreos directos en campo se definieron estrategias para la implementación de árboles de clasificación y regresión para encontrar que variables que mejor estiman las cargas de combustibles forestales.

#### 4.3.1. Selección de los sitios de muestreo.

Una vez Determinada la cantidad y conocida la ubicación de las Áreas de Respuestas Homogéneas (ARH), se procedió a la digitalización utilizando el Software AutoCad 2008, de las vías primarias, y secundarias, brechas y poblados localizados en el interior del área de estudio. Para ello se utilizaron Ortofotos digitales con una resolución espacial de 1.5 metros por pixel, mismas que fueron adquiridas al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (Figura 13).

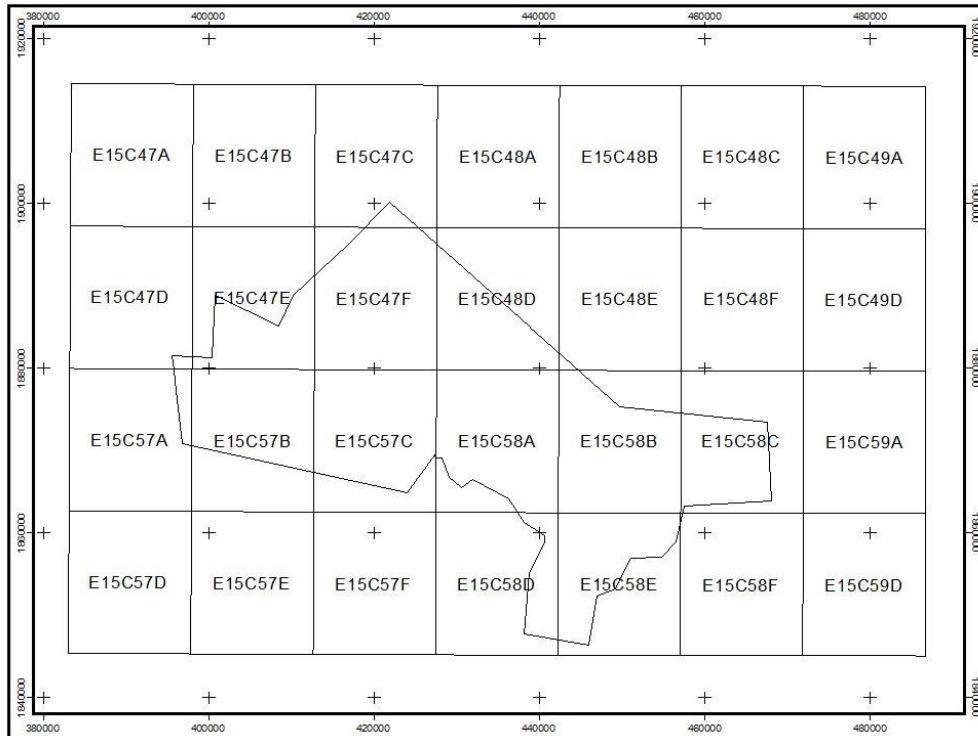


Figura 13. Ortofotos Utilizadas para la digitalización de caminos, brechas y poblados Localizados al interior de la reserva de la biosfera selva el Ocote.

Posteriormente se procedió al vaciado de la información digitalizada sobre las ARH, con el objetivo de que la información generada permitiera obtener un conocimiento general de cómo acceder, lo más cerca posible de los sitios de muestreo sin que ello representara demora en los tiempos de llegada a cada sitio de muestreo (Figura 14). Una vez determinada las áreas de respuestas homogéneas, la cartografía compuesta por los caminos, brechas, poblados etc. Se procedió a ubicar los sitios donde se realizarían las muestras, eligiéndose una **técnica de muestreo aleatorio estratificado**, mediante el *Script Random Point Generator V.1.3* para Arc View 3.1, cuyo autor es JEFF JENNESS ([jeffi@jenessent.com](mailto:jeffi@jenessent.com)).

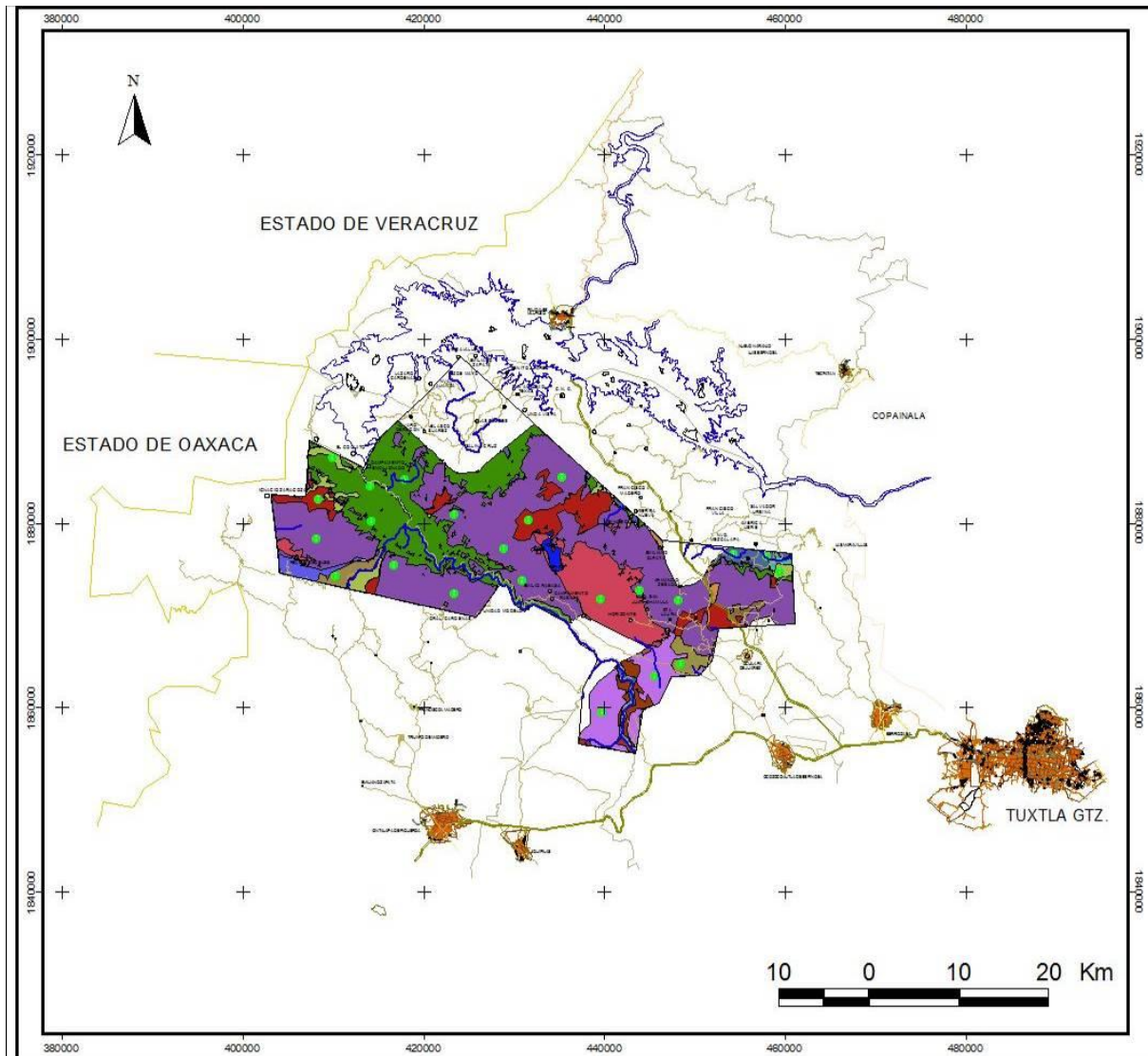


Figura 14. Cartografía obtenida mediante procesos de digitalización a partir de Ortofotos Georreferenciadas.

A cada uno de estos sitios se les determinaron sus coordenadas ortogonales, utilizándose para ello una Proyección y un sistema de referencia (Flores *et al.*, 2008), en este caso la proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) y Datum WGS84, Zona 15. Es posible determinar estas coordenadas dentro de un Sistema de Información Geográfica (ArcView 3.1), toda vez que al ser estos sistemas de utilidad mundial se han generado diversas aplicaciones que trabajan dentro de estos entornos, por lo que para generar estas coordenadas se ejecutó la rutina (en inglés:

scrit) denominado *Coordenadas X,Y*; para ArcView 3.1. Posteriormente las coordenadas generadas fueron exportadas a un navegador satelital Garmin Explorist\_210 (GPS), para su posterior localización en campo (Tabla 2).

<b>X_COORD</b>	<b>Y_COORD</b>	<b>NUM_PUNTO</b>
458,419	1,874,438	53
410,785	1,872,296	19
410,490	1,885,072	66
459,932	1,872,770	83
454,803	1,874,612	26
408,865	1,880,641	95
414,693	1,878,225	27
418,466	1,882,783	58
414,620	1,881,985	91
417,284	1,873,404	52
423,857	1,878,869	70
429,396	1,875,176	101
448,650	1,869,632	75
435,836	1,882,978	12
431,390	1,871,779	10
408,644	1,876,358	45
444,341	1,870,670	54
432,128	1,878,278	64
440,104	1,869,785	61
448,920	1,862,682	87
440,209	1,857,481	82
423,865	1,870,291	55
446,018	1,861,403	1

**Tabla 2. Ubicación espacial mediante coordenadas UTM Z15 de los sitios de muestreo.**

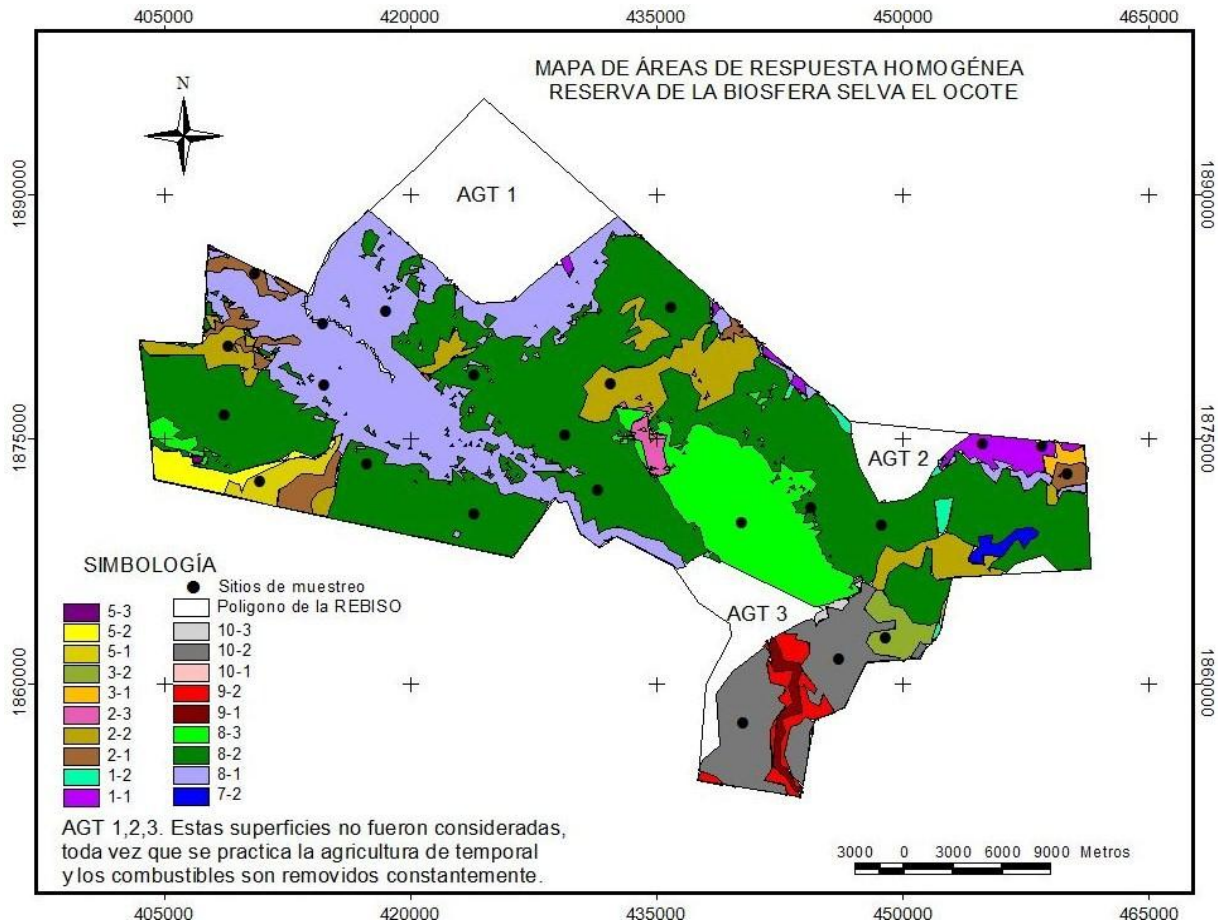


Figura 15. Distribución espacial de los sitios de muestreo, elegidos de manera aleatoria.

#### 4.3.2. Formato para identificar los sitios de muestreo.

Este formato se diseñó de tal manera que permitió anotar la información necesaria de cada sitio de muestreo consistente en: número de sitio, estado, municipio, predio, tenencia, asociación vegetal, fecha, institución, brigada responsable, latitud, longitud, altura, Datum, precisión del navegador, tipo de navegador, modelo, croquis, y observaciones generales (Anexos. Formato 1).

#### **4.3.3. Datos de control de los combustibles muestreados.**

Consistieron principalmente en la información del combustible forestal que se evalúa. Es decir los de 1,10 ,100 y 1000 horas, estos últimos divididos en firmes y podridos (Flores *et al.*, 2008). Adicionalmente se incluyeron, datos complementarios como: número de sitio, orientación, perturbación ambiental, grado de perturbación, tipo de erosión, grado de erosión, exposición, pendiente, capa de hojarasca en cm, capa de fermentación en cm), cobertura de capa de hojarasca en %, cobertura de capa de fermentación en %, cobertura de capa de hierbas en %, cobertura de capa de pastos en %, cobertura de suelo mineral en % (Anexos. Formato 2).

#### **4.3.4. Técnica de muestreo.**

Cada sitio de muestreo fue diseñado siguiendo la metodología desarrollada por Brown *et al.*, (1982) 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 16).

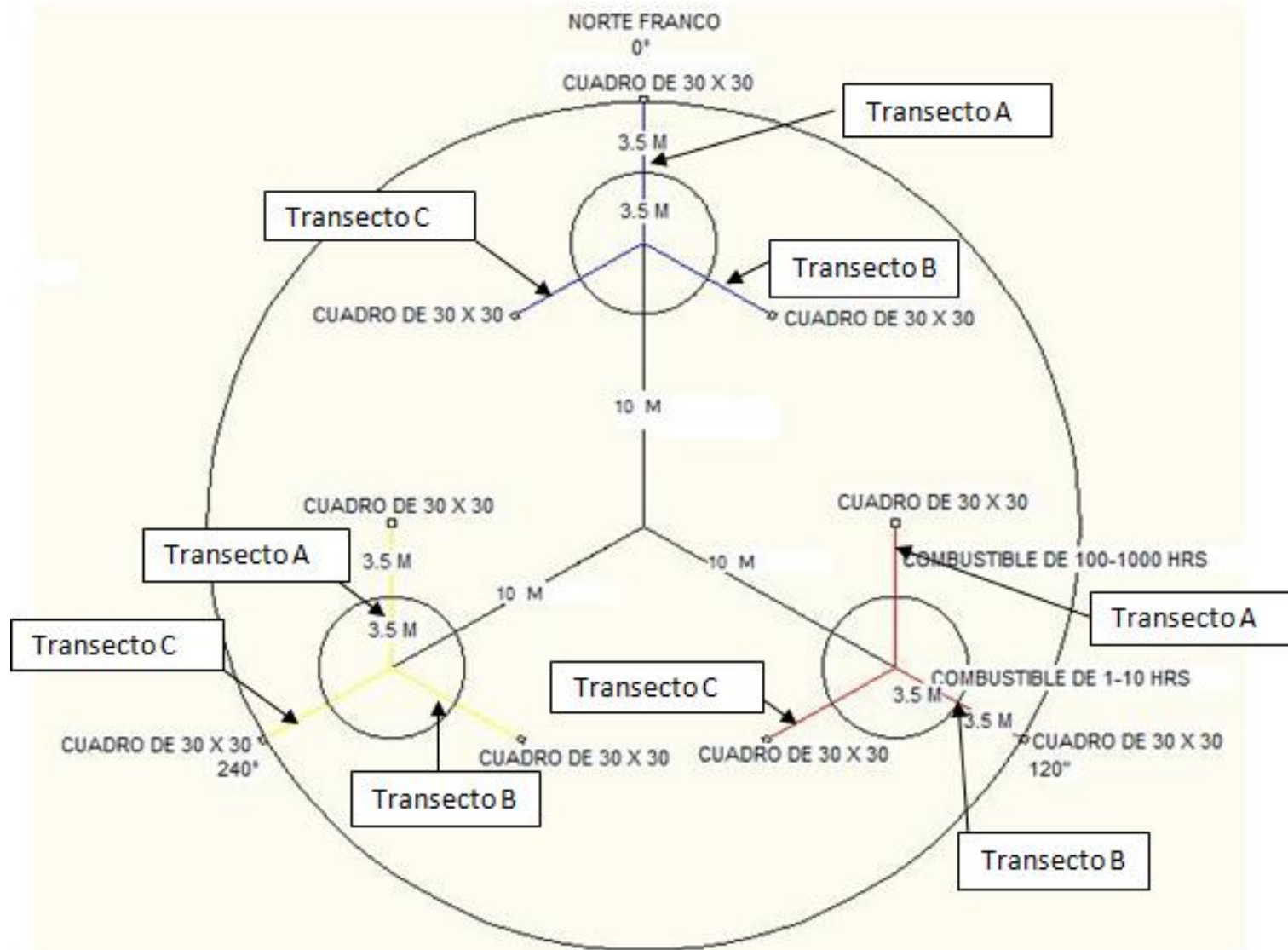


Figura 16. Diseño del sitio de muestreo con dimensiones y orientación de las cuerdas.



**Figura 17.** Trazo de línea de muestreo con orientación Norte Franco, utilizando las cuerdas de 13.5 metros en color amarillo y cuerdas de 3.5 en color blanco (la flecha indica la unión de ambas cuerdas).

#### **4.3.5. Combustible grueso.**

Una vez realizados los trazos de acuerdo a la metodología descrita, se procedió a realizar el levantamiento de los combustibles de 1, 10, 100 y 1000 horas. El muestreo se inició levantando el combustible 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 el combustible de 1 hora y 10 horas fue medido en los primeros 3.50 metros de cada transecto A, B, C (Figuras 17,18).





Figura 18. 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, e) 1000 Horas, utilizando calibrador y flexómetro (> 7.6 Cm).

#### 4.3.6. Registro de combustible grueso.

El registro del combustible grueso se realizó en el formato 2, mismo que puede consultarse en los anexos. El formato está diseñado de tal forma que permite ir anotando la cantidad y tipo de combustible que es intersectado por las cuerdas. Por otro lado se complementó la información del sitio de muestreo, con una fotografía panorámica de tal forma que se registró el tipo de vegetación del lugar para su posterior clasificación, en la imagen siguiente se aprecia el tipo de vegetación encontrada en el sitio treinta muestreado.



Figura 19. Panorámica de la vegetación localizada en el sitio treinta.

#### 4.3.7. Muestreo de combustible fino.

Este combustible se levantó al final de cada transecto, mediante un cuadro de 30 x 30 cm, con la finalidad de muestrear el combustible (hojarasca) que se encuentre dentro del mismo, de acuerdo a la metodología propuesta por Flores *et al.*, (2008), para ello se midió en centímetros la profundidad de la capa de hojarasca y fermentación así como en porcentaje la cobertura de ambos y la capa de hierbas, pastos, y suelo mineral. Dichas muestras fueron empaquetadas en bolsas las cuales fueron etiquetadas para su control y posterior separación en laboratorio, (Figura 20).



Figura 20. a) Cuadro de 30 x 30 Cm para muestrear la hojarasca; b) Recortando 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).

Con esta metodología el número de muestras levantada en cada sitio (conglomerado), fue de nueve muestras mismas que se etiquetaron adecuadamente de acuerdo al Azimut, rumbo y transecto que le correspondió (Figura 24 (a)). La superficie que abarcó cada sitio muestreado correspondió a 1359 metros cuadrados o lo que es lo mismo al que se genera con un círculo cuyo radio corresponde a 20.80 metros.

#### 4.3.8. Separación de las muestras de combustible fino.

La muestra de hojarasca tomada dentro del cuadro de 30 por 30 centímetros, fue tratada en laboratorio, el proceso consistió en la eliminación de impurezas como piedras, suelo mineral, ramas, ramillas.

La hojarasca separada, fue embolsada, etiquetada, pesada y colocada en la estufa de secado con la finalidad de obtener peso anhidro de este combustible, el cual se obtuvo al eliminar el contenido de humedad de las muestras. El tiempo de secado que se necesitó estuvo en función de la cantidad de combustibles, calidad y contenido de humedad inicial, (Figura 21).



Figura 21. Separación de los combustibles, a) muestra tal y como es tomada en el sitio, b,c) eliminación de las impurezas, d) combustible separado e) Materiales, suelo mineral y capa de fermentación, ramas y ramillas f) combustible fino listo para ser secado.

#### 4.3.9. Pesado y secado de las muestras.

Para controlar el peso de las muestras, el combustible fue puesto dentro de bolsas de papel. Previamente antes de llenar de combustible a las bolsas de papel se les determinó, con el fin obtener los pesos netos de los combustibles secos, (Figura 22).



Figura 22. a) Calculando el promedio del peso de las bolsas; b) determinando el peso inicial del combustible (hojarasca).

El secado de las muestras se realizó en una estufa, construida con madera y forrada en su interior con papel aluminio, el calor fue generado mediante lámparas de alta resistencia colados en su interior, en la parte superior de la estufa se instaló un extractor de humedad, y en el interior entrepaños de malla de alambre, (Figura 23). Con la finalidad de lograr un secado homogéneo en el combustible, este era rotado cada vez que se verificaba su peso, es decir a las 12, 24, 36 y 48 horas, el combustible se dio por seco en el momento que se dejó de registrar variación en su

peso, el cual se logró en todos los casos a las 48 horas, los registros de los pesos se presentan en la tabla 3, de anexos.

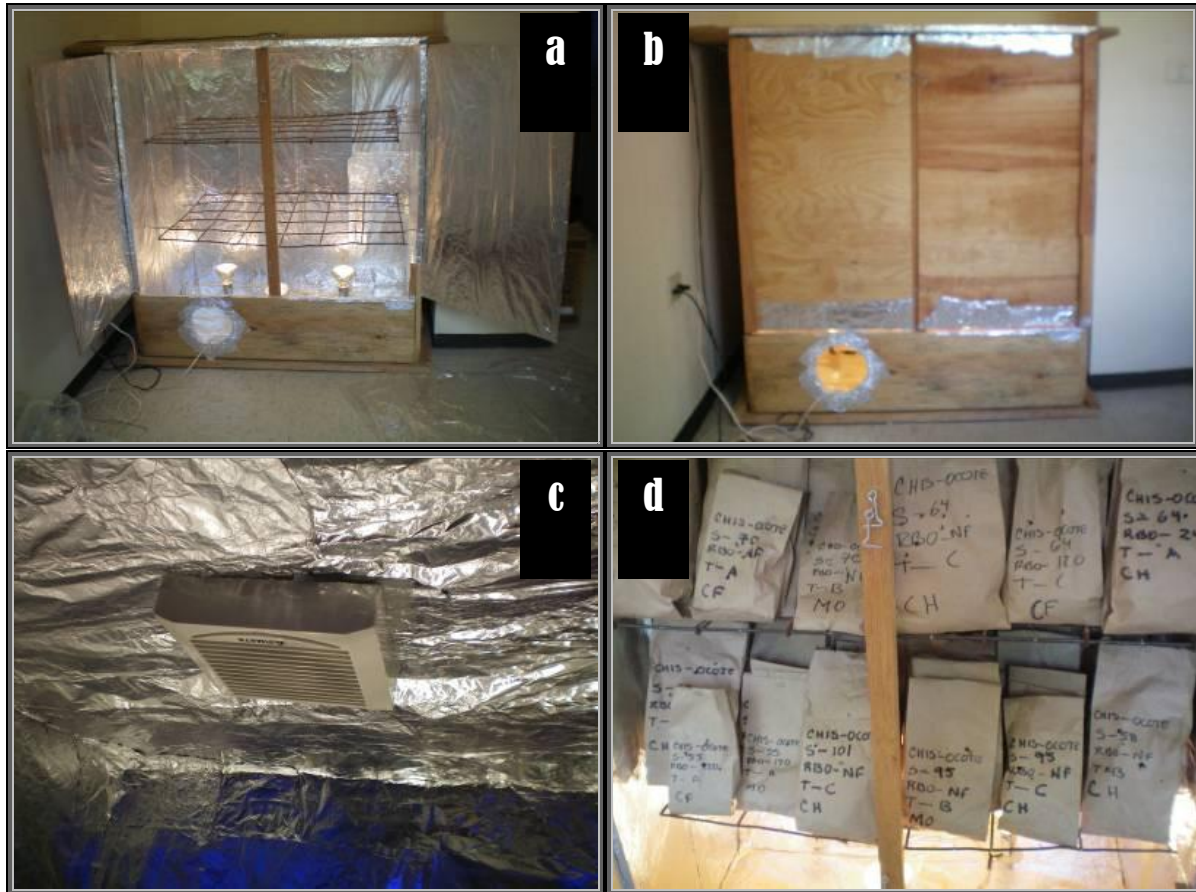


Figura 23. a, b) Prototipo de estufa de secado de combustible fino, c) Extractor de humedad, d) estufa llena de combustible (obsérvese que las bolsas tienen pequeñas perforaciones para dejar salir la humedad).

#### 4.3.10. Estimación de las cargas de combustibles.

El cálculo de cargas de combustibles, se determinó considerando la información obtenida en campo en lo que se refiere al combustible leñoso caído (1 hora, 10 horas, 100 horas y 1000 horas), y el peso seco de las muestras de hojarasca. La carga de combustible para cada muestra, se calculó en toneladas por hectárea (ton/ha), utilizando el sistema automatizado para el cálculo de combustibles

(SICCO) desarrollado por Flores (2004). El cual consiste en una herramienta automatizada que permite a partir de la captura de datos de campo del combustible grueso y los pesos secos de los combustibles finos obtenidos en laboratorio, el cálculo automatizado de los pesos de los combustibles respectivos.

En las tablas siguientes y con la intención ejemplificar se muestran los resultados obtenidos del Sitio uno, después de procesarlos con esta herramienta.

**COMBUSTIBLES DE 1 HORA (0 - 0,6cm)**

Numero de transecto	Longitud del transecto (m)	Numero de transectos	Numero de intersecciones	Pendiente del transecto (%)
A	3.5	1	70	1
B	3.5	1	90	1
C	3.5	1	51	1
A	3.5	1	55	1
B	3.5	1	100	1
C	3.5	1	92	1
A	3.5	1	45	1
B	3.5	1	55	1
C	3.5	1	25	1

**SITIO 01**

<b>BROWN</b>					
Planar slope correction factor	Longitud del transecto (pies)	Libras por acre	Libras por hectarea	Kilogramos por hectarea	Toneladas por hectarea
1.000	11.483	1162.579	2871.571	1302.523	1.303
1.000	11.483	1494.745	3692.020	1674.673	1.675
1.000	11.483	847.022	2092.145	948.981	0.949
1.000	11.483	913.455	2256.235	1023.411	1.023
1.000	11.483	1660.828	4102.245	1860.747	1.861
1.000	11.483	1527.962	3774.065	1711.888	1.712
1.000	11.483	747.373	1846.010	837.336	0.837
1.000	11.483	913.455	2256.235	1023.411	1.023
1.000	11.483	415.207	1025.561	465.187	0.465
					<b>1.205</b>

**COMBUSTIBLES DE 10 HORAS (0,6 - 0,2,5cm)**

Numero de transecto	Longitud del transecto (m)	Numero de transectos	Numero de intersecciones	Pendiente del transecto (%)
A	3.5	1	13	1
B	3.5	1	4	1
C	3.5	1	4	1
A	3.5	1	5	1
B	3.5	1	1	1
C	3.5	1	7	1
A	3.5	1	1	1
B	3.5	1	2	1
C	3.5	1	1	1

**SITIO 01**

<b>BROWN</b>					
Planar slope correction factor	Longitud del transecto (pies)	Libras por acre	Libras por hectarea	Kilogramos por hectarea	Toneladas por hectarea
1.000	11.483	4132.474	10207.211	4629.914	4.630
1.000	11.483	1271.530	3140.680	1424.589	1.425
1.000	11.483	1271.530	3140.680	1424.589	1.425
1.000	11.483	1589.413	3925.850	1780.736	1.781
1.000	11.483	317.883	785.170	356.147	0.356
1.000	11.483	2225.178	5496.190	2493.031	2.493
1.000	11.483	317.883	785.170	356.147	0.356
1.000	11.483	635.765	1570.340	712.295	0.712
1.000	11.483	317.883	785.170	356.147	0.356
					<b>1.504</b>

**COMBUSTIBLES DE 100 HORAS (2,5 - 7,5cm)**

Numero de transecto	Longitud del transecto (m)	Numero de transectos	Numero de intersecciones	Pendiente del transecto (%)
A	7	1	1	1
B	7	1	0	1
C	7	1	0	1
A	7	1	0	1
B	7	1	2	1
C	7	1	0	1
A	7	1	0	1
B	7	1	0	1
C	7	1	0	1

**SITIO 01**

<b>BROWN</b>					
Planar slope correction factor	Longitud del transecto (pies)	Libras por acre	Libras por hectarea	Kilogramos por hectarea	Toneladas por hectarea
1.000	22.966	1264.563	3123.471	1416.783	1.417
1.000	22.966	0.000	0.000	0.000	0.000
1.000	22.966	0.000	0.000	0.000	0.000
1.000	22.966	0.000	0.000	0.000	0.000
1.000	22.966	2529.126	6246.942	2833.566	2.834
1.000	22.966	0.000	0.000	0.000	0.000
1.000	22.966	0.000	0.000	0.000	0.000
1.000	22.966	0.000	0.000	0.000	0.000
1.000	22.966	0.000	0.000	0.000	0.000
					<b>2.125</b>

### COMBUSTIBLES MAYORES DE 7,5 cm FIRMES

Longitud del transecto (m)	Numero de transectos	Numero de troza	Diametro (cm)	Pendiente del transecto (%)
7	1	1	15	1
7	1		0	
7	1		0	
7	1		0	

SITIO 01					BROWN			
Diametro en pulgadas	Centimetros cuadrados	Pulgadas cuadradas	Planar slope correction factor	Longitud del transecto en pies	Libras por acre	Libras por hectarea	Kilogramos por hectarea	Toneladas por hectarea
5.906	225.000	34.875	1.000	22.966	14141.711	34930.027	15843.998	15.844
0.000	0.000	0.000	1.000	22.966	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	1.000	22.966	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	1.000	22.966	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>15.844</b>								

### COMBUSTIBLES MAYORES DE 7,5 cm PODRIDOS

Longitud del transecto (m)	Numero de transectos	Numero de troza	Diametro (cm)	Pendiente del transecto (%)
7	1	1	12	1
7	1	2	0	0

SITIO 01					BROWN			
Diametro en pulgadas	Centimetros cuadrados	Pulgadas cuadradas	Planar slope correction factor	Longitud del transecto en pies	Libras por acre	Libras por hectarea	Kilogramos por hectarea	Toneladas por hectarea
4.724	144.000	22.320	1.000	22.966	6788.021	16766.413	7605.119	7.605
0.000	0.000	0.000	1.000	22.966	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>7.605</b>								

### COMBUSTIBLES FINOS (HOJARASCA)

Numero de sitio	Peso de hojarasca (grs)	Porcentaje de cobertura en 30 x 30 cm	Profundidad de hojarasca (cm)	SITIO 01	
				Toneladas por hectarea	
A-NF	22.7	80	2	2.522	
B-NF	21	100	4	2.333	
C-NF	13	100	4	1.444	
A-120	4	95	2	0.444	
B-120	10	70	1	1.111	
C-120	14	40	2	1.556	
A-240	3	40	1	0.333	
B-240	58	100	3	6.444	
C-240	15	90	2	1.667	
				<b>1.984</b>	

Tabla 3. Resultados de pesos de combustibles secos del sitio uno, obtenidos mediante la herramienta automatizada SICCO (Flores, 2004).

Una vez procesada la información en esta hoja de cálculo de cada uno de los sitios muestreados, se obtuvieron los resultados que se presentan en la siguiente tabla:



X_COORD	Y_COORD	NUM_PUNTO	1_H	10_H	100_h	FIRMES	PODR	HOJAR
458419.00000	1874438.00000	53	1.210	0.828	1.845	0	0	2.004
410785.00000	1872296.00000	19	1.855	3.45	1.774	10.152	0	1.185
410490.00000	1885072.00000	66	0.573	2.352	6.818	15.129	0	0.937
459932.00000	1872770.00000	83	1.318	3.694	1.43	0	0	0.684
454803.00000	1874612.00000	26	0.537	2.641	2.66	10.253	11.588	1.805
408865.00000	1880641.00000	95	0.982	1.908	1.895	5.779	0	2.012
414693.00000	1878225.00000	27	0.895	4.136	3.955	10.219	12.402	4.469
418466.00000	1882783.00000	58	1.087	7.553	4.108	21.913	21.488	1.972
414620.00000	1881985.00000	91	0.795	4.232	2	13.956	0	1.570
417284.00000	1873404.00000	52	1.178	6.782	2.224	46.194	13.107	7.398
423857.00000	1878869.00000	70	0.778	3.814	4.447	36.691	10.263	3.630
429396.00000	1875176.00000	101	0.61	3.188	3.652	76.099	17.939	4.840
448650.00000	1869632.00000	75	1.137	5.567	4.983	50.821	11.995	5.728
435836.00000	1882978.00000	12	1.003	6.704	4.735	22.698	10.364	1.469
431390.00000	1871779.00000	10	0.593	2.986	3.009	15.17	9.686	7.062
408644.00000	1876358.00000	45	0.868	3.271	3.66	29.085	22.244	3.198
444341.00000	1870670.00000	54	0.77	2.105	5.687	20.375	84.603	1.815
432128.00000	1878278.00000	64	1.017	2.324	3.813	32.269	7.306	5.000
440104.00000	1869785.00000	61	0.891	1.002	2.877	40.51	6.538	0.398
448920.00000	1862682.00000	87	0.373	5.854	1.89	0	0	2.904
440209.00000	1857481.00000	82	1.084	5.376	2.711	10.340	11.514	3.198
423865.00000	1870291.00000	55	1.166	8.558	3.266	18.499	20.116	3.778
446018.00000	1861403.00000	1	1.205	1.504	2.125	15.844	7.605	1.984

Tabla 4. Concentrado de captura de combustibles de 1h, 10h, 100h, 1000h (firmes y podridos), y hojarasca.

#### 4.3.11. Determinación de las variables independientes.

Cuando se trabaja con árboles de regresión es necesario alimentar el sistema con información es muy común que estos datos se encuentren en formato vectorial, por lo que es necesario transformar esta información de vectorial a raster.

En este proyecto la conversión de los datos vectoriales a raster se realizó utilizando el SIG ArcView versión 3.1. Las variables seleccionadas utilizadas fueron aquellas que tienen influencia en la generación y distribución de los combustibles forestales. De acuerdo a trabajos previos por investigadores entre los que destacan los trabajos realizados por Flores en el 2004 quien encontró una fuerte correlación en la estimación de cargas de combustibles para la república mexicana, utilizando imágenes satelitales y datos fotogramétricos.

En este proyecto se modeló la información espectral proveniente de las ocho bandas de una imagen LANDSAT TM, cuatro bandas de una imagen SPOT, imagen fotogramétrica del mes de Enero del 2001, y Modelo Digital de Terreno.

Se complementa el número de variables independientes con la clasificación no supervisada de una imagen LANDSAT Tematic Mapper. Con este proceso se analizaron un total 26 variables, de estas siete fueron variables *dummy* (cualitativas) y diecinueve variables numéricas (cuantitativas), mismas que se describen en la siguiente tabla:

<b>NOMBRE</b>	<b>ABREVIATURA</b>	<b>CAMPO</b>	<b>VARIABLE</b>
Climas	Cli	Desc_prec	V1 ( <i>dummy</i> )
Evaporación	Eva	Desc	V2 ( <i>dummy</i> )
Hipsometría	Hip	Desc	V3 ( <i>dummy</i> )
Isotermas anuales	Iso_anu	Desc	V4 ( <i>dummy</i> )
Relieve	Rel_atr	Desc	V5 ( <i>dummy</i> )
Uso_suelo	Uso_sue	Desc	V6 ( <i>dummy</i> )
Vegetación	Veg	Desc	V7 ( <i>dummy</i> )
Edafología	eda	VALOR	V8
Precipitación	Pre_anu	VALOR	V9
Temperatura mínima	Tem_min	VALOR	V10
Temperatura máxima	Tem_max	VALOR	V11
Modelo Digital Elevaciones	MDE_grid	VALUE	V12
Landsat clasificación no supervisada	L_no_super	VALUE	V13
Spot	Spot_b4	VALUE	V14

Spot	Spot_b3	VALUE	V15
Spot	Spot_b2	VALUE	V16
Spot	Spot_b1	VALUE	V17
Fotografía aérea	Ortofoto	VALUE	V18
Landsat TM	Land_b8	VALUE	V19
Landsat TM	Land_b7	VALUE	V20
Landsat TM	Land_b6	VALUE	V21
Landsat TM	Land_b5	VALUE	V22
Landsat TM	Land_b4	VALUE	V23
Landsat TM	Land_b3	VALUE	V24
Landsat TM	Land_b2	VALUE	V25
Landsat TM	Land_b1	VALUE	V26

Tabla 5. Relación de Variables independientes utilizada, para generar mapas de superficies continuas de combustibles.

#### 4.3.12. Generación de árboles de clasificación y regresión.

Para el modelaje con los árboles de regresión las variables independientes fueron separadas en dos grupos. El primero integrado por diecinueve variables **CUANTITATIVAS**, representadas por la **Edafología (V8)**, **Precipitación (V9)**, **Temperatura Mínima (V10)**, **Temperatura Máxima (V11)**, **Modelo Digital de Elevaciones (V12)**, **Imagen Landsat con procesos de clasificación no supervisada (V13)**, **Banda 4 de Imagen Spot (V14)**, **Banda 3 de Imagen Spot (V15)**, **Banda 2 de Imagen Spot (V16)**, **Banda 1 de Imagen Spot (V17)**, **Vuelo Fotogramétrico (V18)**, **Banda 8 de Imagen Landsat TM (V19)**, **Banda 7 de Imagen Landsat TM**

**(V20), Banda 6 de Imagen Landsat TM (V21), Banda 5 de Imagen Landsat TM (V22), Banda 4 de Imagen Landsat TM (V23), Banda 3 de Imagen Landsat TM (V24), Banda 2 de Imagen Landsat TM (V25), Banda 1 de Imagen Landsat TM (V26).**

El segundo grupo formado por siete variables **CUALITATIVAS**, representadas por los diferentes **Climas (V1)** de la zona de estudio, la **Evaporación (V2)**, la **Hipsometría (V3)**, las **Isotermas Anuales (V4)**, el **Relieve (V5)**, **Uso del Suelo (V6)**, y la **Vegetación (V7)**.

Una vez seleccionadas las variables independientes compuestas por los dos grupos arriba descritos fueron integradas a un Sistema de Información Geográfica (SIG), para ser transformadas a formato RASTER (GRID) (Figura 26). En esta fase los modelos se generaron de acuerdo a la combinación de los combustibles de 1 hora, 10 horas, 1000 horas, 1000 horas en firmes y podridos y Hojarasca, la 19 variables NUMÉRICAS y las siete variables CUALITATIVAS (*dummy*). Una vez transformadas a formato RASTER estas veintiséis variables independientes se sometieron a un proceso de extracción de los valores de cada pixel correspondiente a cada sitio de muestreo, para ello se utilizó la extensión GetGridValue para ArcView 3.1. (Figura 24).

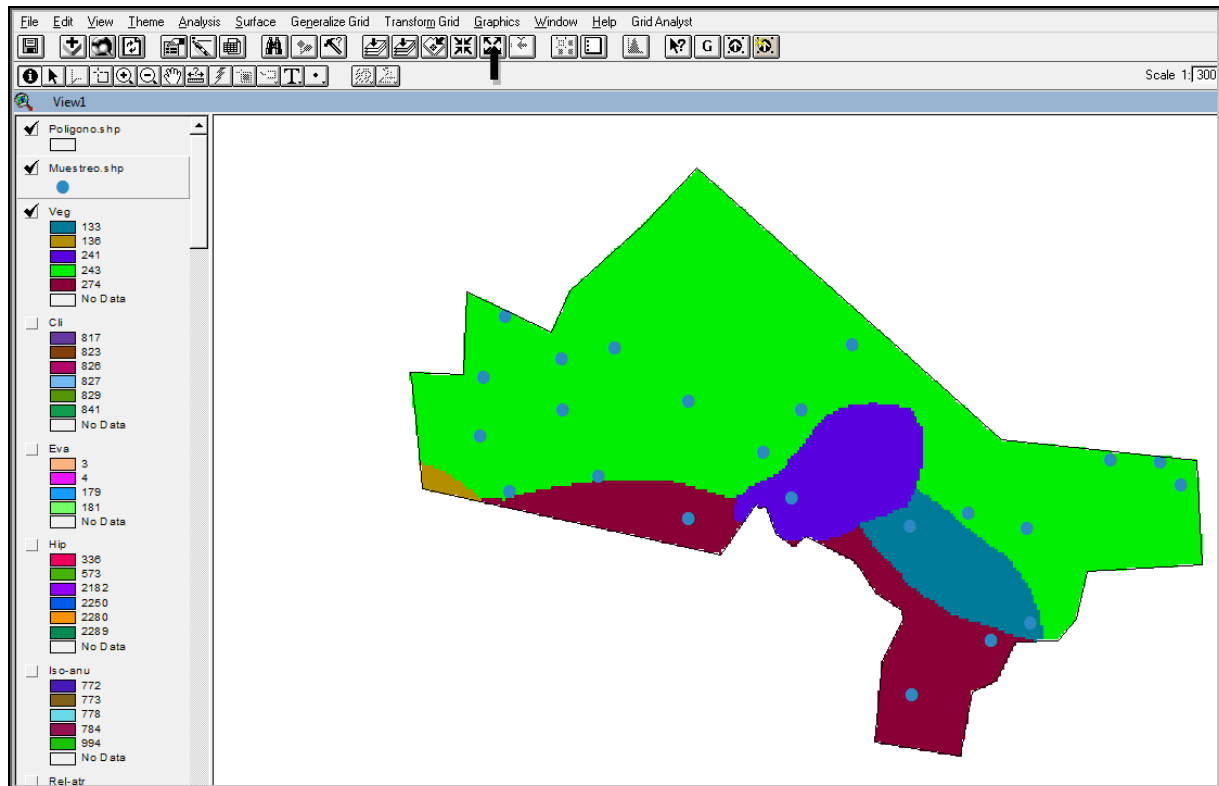


Figura 24. Capa de Vegetación, el archivo se transforma de Vectorial a Raster (GRID). La flecha señala el icono que se genera para la extensión GetGridValue.

El proceso para extraer los valores puntuales de los sitios de muestreo, mediante la extensión GredGridValue, requiere de la siguiente metodología: Una vez transformada a raster las veintiseis variables auxiliares se activó la extensión GredGridValue mediante el icono que se genera en la vista del proyecto (vease la flecha en la Figura 24), posteriormente se activó el archivo que contiene los datos del muestreo de campo es decir el concentrado de captura de combustibles de 1h, 10h, 100h, 1000h (firmes, podridos) y hojarasca, (Figura 29). Enseguida se seleccionó el archivo del tema del cual se extrajeron los valores, asignándose el nombre del campo que recibe la información resultante, finalmente se determinó el tamaño de los campos para soportar los valores resultantes en enteros y fracciones, con lo que se genero una base de datos resultante.

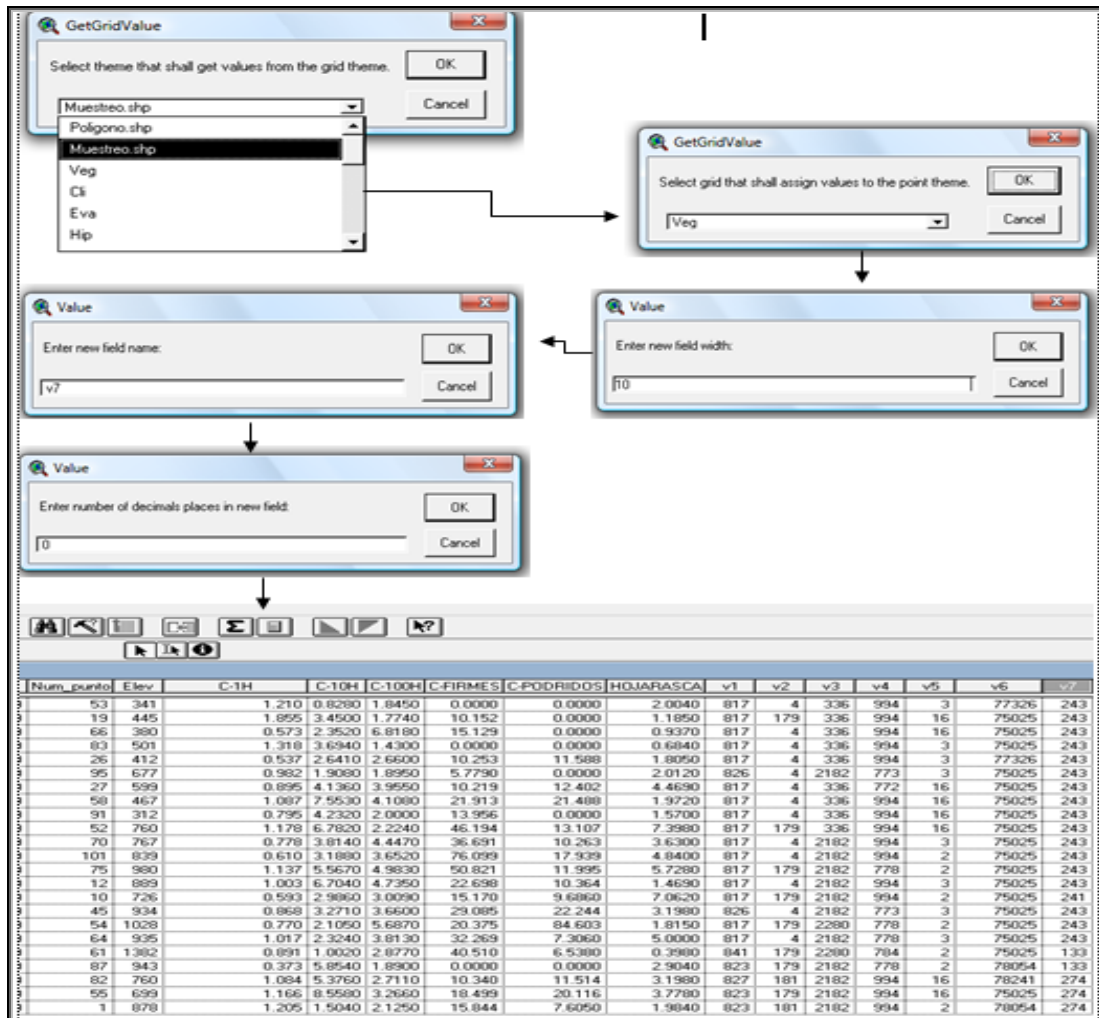


Figura 25. Descripción gráfica del proceso de extracción de los valores de los sitios de muestreo, utilizando la extensión GetGridValue.

En la Figura 25, se aprecian únicamente siete variables independientes, toda vez que se realizan con fines demostrativos. En la realidad la tabla contiene veintiséis variables y los valores correspondientes a cada pixel del muestreo de acuerdo a la tabla siguiente:

punto	Elev	C-1h	C-10h	C-100h	C-firmes	C-podridos	Hojarasca	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16	V17	V18	V19	V20	V21	V22	V23	V24	V25	V26
53	341	1.21	0.828	1.845	0	0	2.004	1	1	1	1	1	3	1	3	2	40	40	339	8	190	164	156	110	146	44	13	140	44	48	24	28	77
19	445	1.855	3.45	1.774	10.152	0	1.185	1	1	1	1	2	1	1	2	1	50	40	446	68	136	143	106	118	128	64	34	145	106	104	35	37	84
66	380	0.573	2.352	6.818	15.129	0	0.937	1	1	1	1	2	1	1	3	3	50	40	380	18	106	155	108	128	129	46	16	142	51	65	22	26	78
83	501	1.318	3.694	1.43	0	0	0.684	1	1	1	1	1	1	1	3	2	40	50	502	52	150	135	109	120	79	71	29	147	97	113	30	34	78
95	677	0.982	1.908	1.895	5.779	0	2.012	2	1	2	2	1	1	1	3	3	50	50	680	23	158	174	127	145	146	63	20	140	68	81	23	29	75
58	467	1.087	7.553	4.108	21.913	21.488	1.972	1	1	1	1	2	1	1	3	2	50	50	479	18	114	137	89	141	229	51	15	140	48	60	24	28	76
91	312	0.795	4.232	2	13.956	0	1.57	1	1	1	1	2	1	1	2	3	50	50	316	18	88	123	76	119	32	49	14	141	48	62	21	27	76
52	760	1.178	6.782	2.224	46.194	13.107	7.398	1	1	1	1	2	1	1	2	1	50	40	760	20	106	132	84	145	122	56	19	136	58	69	24	29	74
70	767	0.778	3.814	4.447	36.691	10.263	3.63	1	1	2	1	1	1	1	3	2	50	50	765	22	112	128	79	151	185	53	19	136	60	77	22	27	73
75	980	1.137	5.567	4.983	50.821	11.995	5.728	1	1	2	1	1	1	1	3	3	50	50	980	19	109	127	83	147	203	51	17	132	55	67	23	26	72
12	889	1.003	6.704	4.735	22.698	10.364	1.469	1	1	2	1	1	1	1	3	3	50	50	890	19	85	111	70	112	73	50	15	136	53	71	22	25	71
10	726	0.593	2.986	3.009	15.17	9.686	7.062	1	1	2	1	1	1	3	3	1	50	40	726	22	78	111	71	105	148	49	19	136	60	75	23	26	74
45	934	0.868	3.271	3.66	29.085	22.244	3.198	2	1	2	2	1	1	1	3	2	50	60	942	22	74	123	77	88	129	58	21	133	59	77	24	28	75
54	1028	0.77	2.105	5.687	20.375	84.603	1.815	1	1	3	1	1	1	1	3	3	60	60	1024	19	127	141	99	144	86	58	14	132	46	61	20	25	69
64	935	1.017	2.324	3.813	32.269	7.306	5	1	1	2	1	1	1	1	3	2	60	60	934	25	140	149	104	136	147	69	21	133	73	97	23	28	72
87	943	0.373	5.854	1.89	0	0	2.904	3	1	2	1	1	1	2	2	5	60	50	940	44	100	118	84	107	163	46	38	138	98	63	35	33	83
82	760	1.084	5.376	2.711	10.34	11.514	3.198	3	3	2	1	2	6	4	2	6	50	40	760	99	108	123	89	99	143	49	74	149	157	62	56	43	100
55	699	1.166	8.558	3.266	18.499	20.116	3.778	3	1	2	1	2	1	4	2	5	50	40	697	20	77	115	74	88	65	57	17	136	57	68	23	27	71

**Tabla 6. Concentrado de tipos de combustibles y valores de las variables independientes.** N\_punto = número de punto, Elev= Elevación del sitio de muestreo, C\_1h= combustible de una hora, C\_10h = combustible de 10 horas, C\_100H= combustibles de 100 horas, C-firmes= combustibles de 1000 horas firmes, C-podridos= combustibles de 1000 horas podridos. HOJARASCA= combustible ligero. V1...V26= Variables Independientes (numéricas y cualitativas)

Posteriormente la información obtenida en el proceso anteriormente descrito, se modeló en los árboles de regresión mediante el programa estadístico S-PLUS 2000, el objetivo de este proceso consistió en conocer cuáles son las variables que mejor estiman las cargas de combustibles y que permitan generar mapas de superficies continuas de combustibles forestales.

El proceso para lograr el objetivo buscado se definió de la siguiente manera: primeramente se importaron los datos correspondientes a los pesos de cada tipo de combustible (Figura 30), el programa S-PLUS 2000 generó una tabla en formato .SDD (Figura 31). Posteriormente se definió el modelo de árbol y se determinó la **variable dependiente** en este caso representado por el tipo de combustible y las 19 variables independientes del primer grupo (numéricas), se ajustaron los parámetros de salida en la pestaña RESULT (Figura 26), se corrió el modelo para obtener el número resultante de nodos terminales, para cada combustible (Figura 29). Estos últimos se refieren a las puntas terminales en las que finalizan las ramas de los árboles. Es decir, donde el criterio binario (mayor o menor del valor de cierta variable) ya no se aplica, ya que se ha asignado un valor final a la celda que se esté calificando.

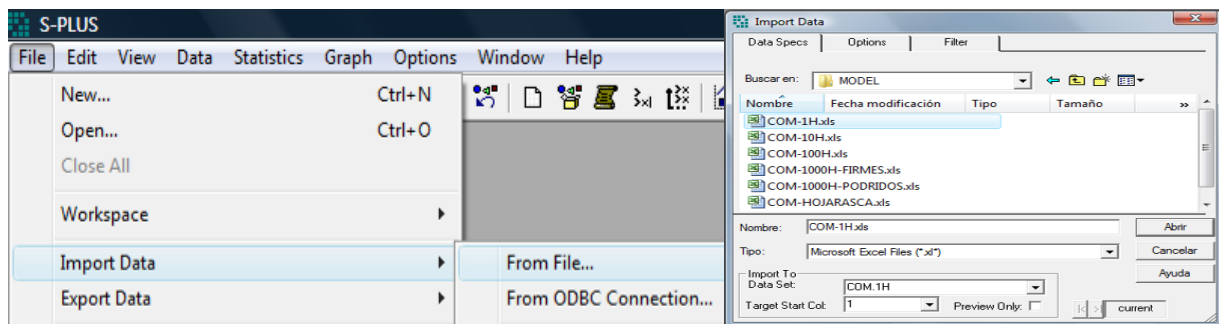


Figura 26. Importando datos de combustibles forestales. La información se capturó en tablas de Excell.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	ID	X.COORD	Y.COORD	NUM.PUNTO	x.H	V1	V2	V3	V4	V5	V6
1	1.00	458419.00	1874438.00	53.00	1.21	817.00	4.00	336.00	994.00	3.00	77326.0
2	2.00	410785.00	1872296.00	19.00	1.86	817.00	179.00	336.00	994.00	16.00	75025.0
3	3.00	410490.00	1885072.00	66.00	0.57	817.00	4.00	336.00	994.00	16.00	75025.0
4	4.00	459932.00	1872770.00	83.00	1.32	817.00	4.00	336.00	994.00	3.00	75025.0
5	5.00	454803.00	1874612.00	26.00	0.54	817.00	4.00	336.00	994.00	3.00	77326.0
6	6.00	408865.00	1880641.00	95.00	0.98	826.00	4.00	2182.00	773.00	3.00	75025.0
7	7.00	414693.00	1878225.00	27.00	0.90	817.00	4.00	336.00	772.00	16.00	75025.0
8	8.00	418466.00	1882783.00	58.00	1.09	817.00	4.00	336.00	994.00	16.00	75025.0
9	9.00	414620.00	1881985.00	91.00	0.80	817.00	4.00	336.00	994.00	16.00	75025.0
10	10.00	417284.00	1873404.00	52.00	1.18	817.00	179.00	336.00	994.00	16.00	75025.0
11	11.00	423857.00	1878869.00	70.00	0.78	817.00	4.00	2182.00	994.00	3.00	75025.0
12	12.00	429396.00	1875176.00	101.00	0.61	817.00	4.00	2182.00	994.00	2.00	75025.0

Figura 27. Una vez importados los datos a S-Plus se genera una tabla en formato .SDD

Figura 28. Determinando las variables dependientes e independientes.

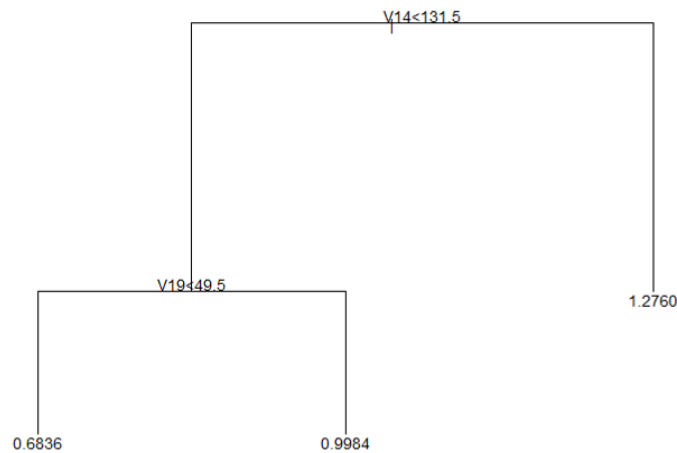


Figura 29. Nodos terminales en los que se muestran la variables independientes que influyen en cada uno de los combustibles.

Otro estadístico que se presenta es la desviación media de los residuales (errores de estimación), con base a la cual se seleccionaron los árboles de regresión más adecuados. Finalmente, se muestran estadísticos específicos definidos por los residuales resultantes de las estimaciones: a) valor mínimo; b) primer cuartil; c) mediana; d) tercer cuartil; e) valor máximo.

#### COMBUSTIBLE FORESTAL DE 1 HORA

Variables actually used in tree construction:

[1] "V14" "V19"

Number of terminal nodes: 3

Residual mean deviance: 0.06598 = 0.9897 / 15

Distribution of residuals:

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
-0.3106	-0.1979	-0.03089	-1.234e-017	0.1318	0.5786

#### **4.3.13. Generación de superficies continuas, a partir de la información obtenida mediante los árboles de regresión.**

En esta fase se busco la ruta que permitiera representar de manera grafica los resultados obtenidos en los arboles de regresión. Esto se logró mediante un Sistema de Información Geográfica y la extensión StarMod para ArcView 3.1.

Utilizando el programa StarMod, se modelaron los resultados generados en los árboles de regresión, esto permitió construir mapas graficos que muestran la

distribución espacial de los combustibles forestales, el desarrollo metodológico fue el siguiente:

Primeramente se activó la extensión StarMod, que previamente fue compliada en el SIG, permitiendo que en la barra de herramientas de este se desplegara el comando de StarMod. A partir de esto se especificó la opción de ejecutar un modelo de arbol de regresión. Seguidamente se importaron los datos estadísticos generados en el arbol de regresión. Para ejecutar la unión (join), entre ambos sistemas, la información generada en el arbol se guardó en archivos .TXT. A partir de esto StarMod, solicita que se le vaya proveyendo de la información que corresponde a la variable independiente elegida por el arbol y que presenta las mejores condiciones para estimar las cargas de combustibles. Por lo que es necesario relacionar a que información corresponde cada variable independiente, para ello se tiene la Tabla 6, mediante la cual se relaciona la clave de cada variable independiente. Es necesario que todas las variables independientes sean numericas o *dummy*, se hayan previamente “*cargadas*”, al SIG y se encuentren en formato raster (GRID). Una vez proporcionados al programa StarMod los valores correspondientes a cada uno de los nodos terminales, se especificó la interpolación por vecinos cercanos y con ello se generó de manera automática un mapa que representa la distribución **estimada** de las cargas de combustibles forestales de acuerdo a la información proporcionada es decir si es de una hora, 10 horas, 100 horas, 1000 horas divididos en combustibles firmes y podridos o la hojarasca. En las figuras siguientes se describe de manera grafica el procedimiento.

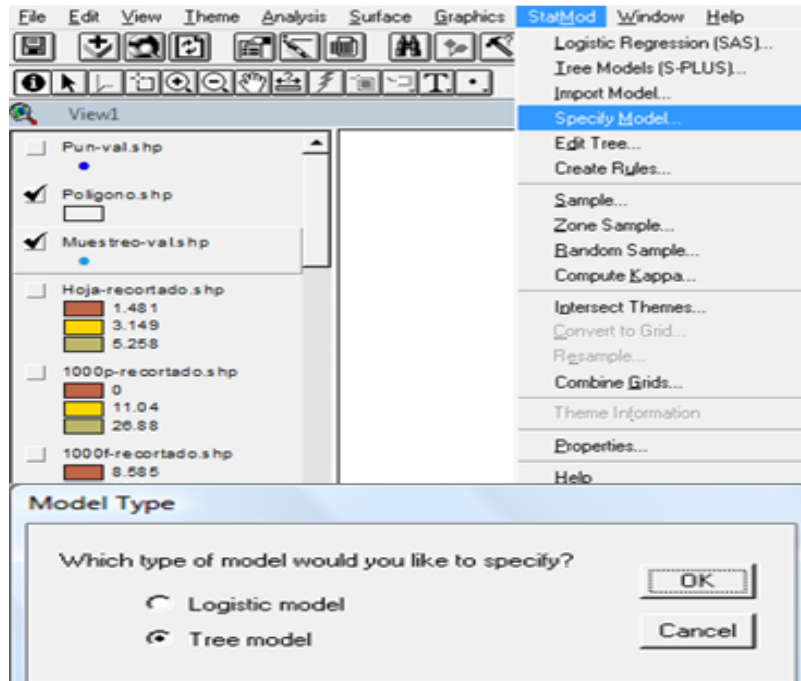


Figura 30. Primeramente se especifica que se desea construir un modelo de árbol de regresión.

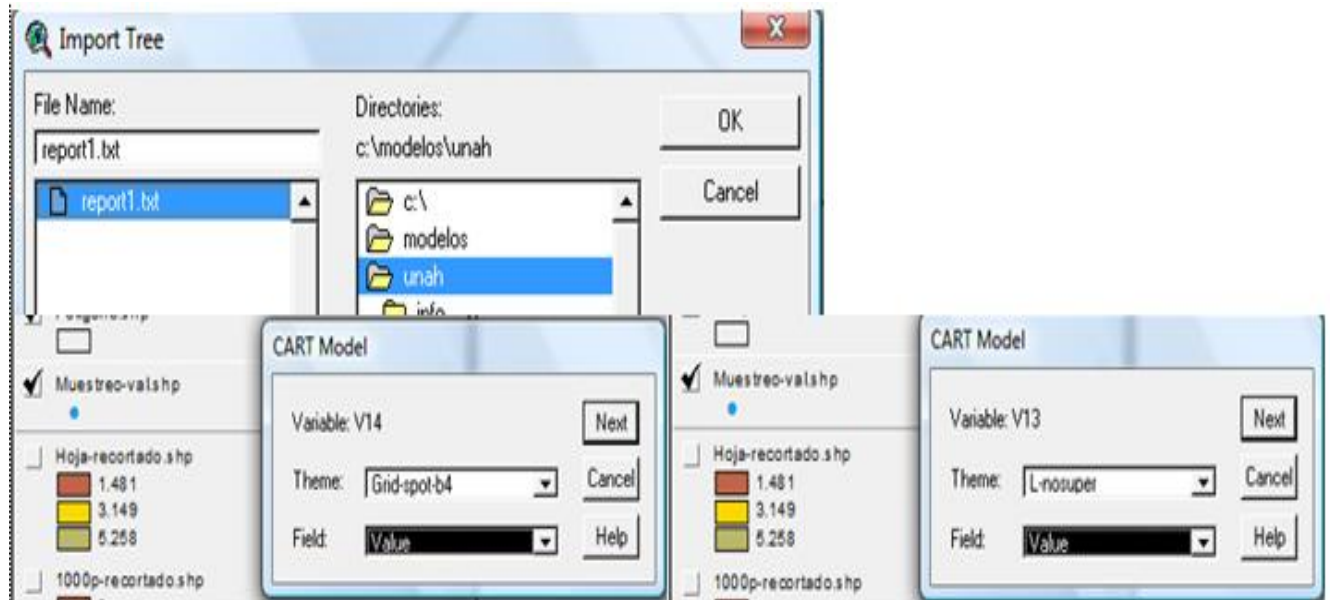


Figura 31. Se importan los datos estadísticos generados por el árbol y los valores correspondientes a las variables independientes.

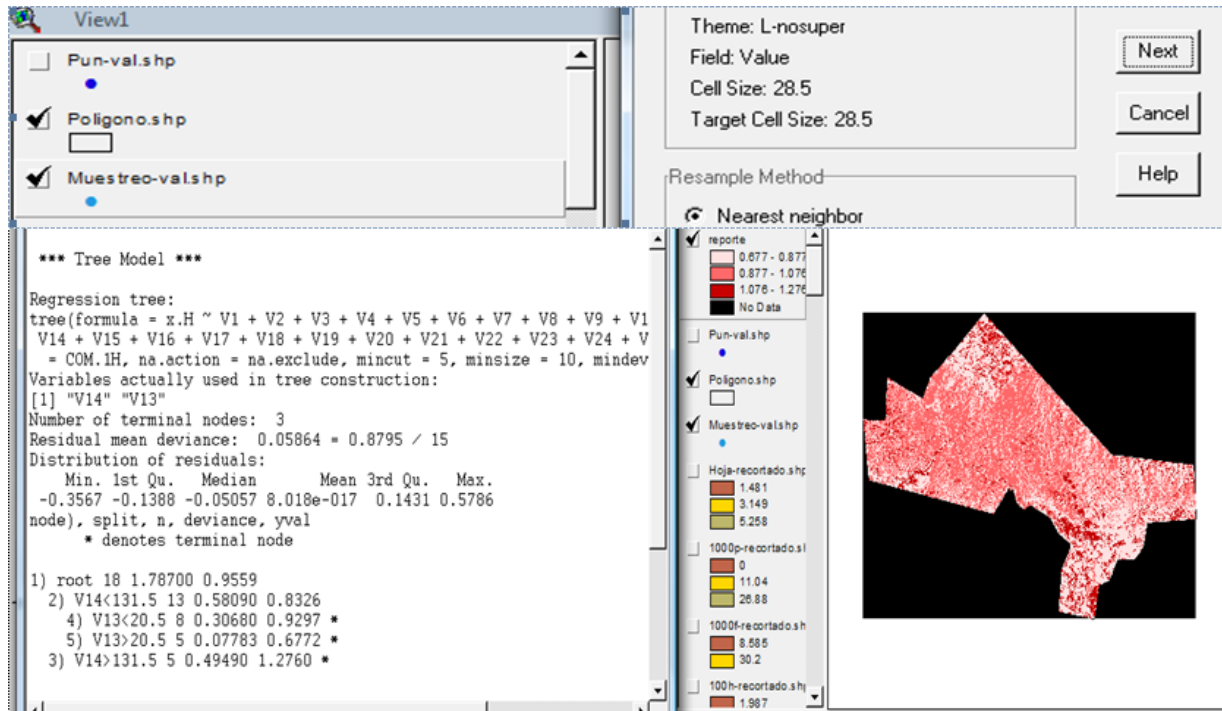


Figura 32. Mapa de la distribución espacial de los combustibles forestales, generado mediante la lectura de los datos estadísticos utilizando la extensión StarMod.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Artículo.

#### **Sitios de muestreo para cargas de combustibles forestales, a partir de áreas de respuestas homogéneas.**

José Armando Velasco Herrera<sup>1</sup>, José Germán Flores Garnica<sup>2</sup>, Bertha Márquez Azua<sup>3</sup>, Sergio López<sup>1</sup>

#### **RESUMEN**

Los combustibles forestales muertos son evaluados *in situ*, requiriéndose de varios sitios, ubicados generalmente de manera sistemática, con intensidad de muestreo entre 1 y 3% con respecto al área total. Aunque esto significa una gran inversión de recursos económicos, humanos y tiempo, las precisiones obtenidas son bajas. Por esto, se propone una alternativa de muestreo que consiste en identificar áreas con características similares denominadas Áreas de Respuesta Homogénea (ARH).

Las ARH sirven de base para la estructuración de un diseño de muestreo estratificado, tendiendo a reducir la varianza dentro de cada ARH, para aumentar la precisión de las estimaciones. Este trabajo se realizó en la reserva de la Biosfera selva el Ocote, del estado de Chiapas. Con base a diez tipos de vegetación y tres intervalos de altitud, se definieron 19 ARH. Cada una de esta formada por varios

---

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. México. Correo-e: velascoherrera@gmail.com

<sup>2</sup> Instituto de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias. INIFAP. Guadalajara Jalisco, México.

<sup>3</sup> Departamento de Geografía y Ordenación Territorial. Universidad de Guadalajara. México.

polígonos, donde la estrategia de ARH permite que el muestreo que se haga en uno, o varios de éstos, arroje resultados que pueden extrapolarse al resto de los polígonos que conforman dicha ARH. Lo cual, en sí, representa una enorme ventaja en relación al muestreo tradicional. El ARH con mayor extensión (38,808 ha) correspondió a la condición de selva alta y mediana perennifolia localizada entre los 634 y 1086 metros. Mientras que la menor (3.4 ha) correspondió a una condición de sabana entre 180 y 633 metros. En posteriores trabajos se recomienda usar otras variables para definir ARH, tales como pendiente, exposición, suelo e imágenes satelitales.

**Palabras clave:** áreas de respuestas homogéneas, combustible forestal, geomática, selva el ocote, sistemas de información geográfica.

## **ABSTRACT**

These forest fuels are evaluated in a direct way *in situ*, this requires of various sample plots, that in general they are located systematically, with a sampling intensity among 1 and 3%. Although this signifies a great investment of human and economic resources, and time, the precision of the resulting fuel load estimations is low. Therefore, an alternative sampling process is proposed, which consists of identifying areas with similar characteristics, called areas with homogeneous response (AHR). This ARH is used to support a stratified sampling design, tending to reduce the variance inside each AHR, to increase the precision of the estimations. This work was carried out in the forest biosphere reserve the ocote, state of Chiapas. Based on ten types of vegetation and on three intervals of altitude, 19 AHR were defined. Each

ARH is formed by various polygons, where the strategy of AHR allows that the sampling that be done in one, or several of these, throws results that are able extrapolate to the remainder polygons that conform such AHR. This, in itself, represents an enormous advantage relating to traditional sampling. The AHR with greater extension (38,808 has) corresponded to the condition of tall and median evergreen tropical forest, located among the 634 and 1086 m. Smaller one (3.4 has) corresponded to a condition of savanna, among 180 and 633 m. In future works it is suggested to use other variables to define ARH, such as slope, exposition, soil and satellite imagery.

**Key words:** areas of homogeneous response, forest fuel, geomatic, reserve the ocote, geographical information system.

## **INTRODUCCIÓN**

En México, bosques y selvas son afectados constantemente por incendios forestales, provocando diferentes tipos de impactos a los recursos naturales. Al respecto el estado de Chiapas, desde 1995, ocupa los primeros lugares nacionales en superficie afectada y frecuencia de ocurrencia de incendios forestales, particularmente en la Reserva de la Biosfera Selva el Ocote (REBISO), el 90% de los incendios forestales que en ella se manifiestan tienen causas antropogénicas y el 10% son provocados por fenómenos naturales (SEMARNAT, 2007). Sin embargo, para que estos incendios se manifiesten es imprescindible que exista el combustible forestal. El cual está representado por toda aquella biomasa que potencialmente puede arder al ser expuesta a una fuente de calor; estos combustibles abarcan árboles en pié, ramas,



troncos, arbustos, pastos, hierbas, hojarasca y humus (Villers, 2006). Los combustibles muertos, se clasifican por su peso en ligeros, medianos y pesados, por su tiempo de retardo en combustibles de 1, 10, 100 y 1000 horas (Flores, 2007). Estas categorías deben ser consideradas al pretender estimar su distribución espacial, ya que la cantidad y proporción de estos está asociada al potencial comportamiento del fuego. Es precisamente la estimación de esta distribución espacial uno de los mayores retos a los que se han enfrentado los investigadores forestales relacionados con el tema (Flores, 2001).

Dado que la evaluación directa de los combustibles forestales es costosa, e implica mucho tiempo, se han diseñado varias estrategias para llevarla a cabo. A partir de los primeros trabajos realizados por Kourtz, (1977), encaminados hacia las principales técnicas de clasificación digital, se sentaron las bases teóricas y prácticas que permitieron realizar la evaluación de los combustibles vivos. Dentro de estos trabajos se han usado técnicas como las clasificaciones no supervisadas en imágenes Landsat (Rabii, 1979; Crist y Cicone, 1984). Otros se han orientado a la determinación de los índices de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) sobre imágenes satelitales (Miller *et al.*, 1986; Burgan *et al.*, 1998; Wijaya *et al.*, 2010), al uso de información auxiliar, utilizando datos vectoriales de precipitación y topográficos (Root *et al.*, 1986), información de altura, pendiente, iluminación, y textura (Salas y Chuvieco, 1995), redes neuronales (Vasconcelos *et al.*, 1998; Matthew *et al.*, 2004); así como a la caracterización numérica de las cargas de combustibles, la cual consiste en la extracción de los componentes de brillo, verdor y humedad para explicar las características espectrales de los modelos de combustible

(Flores, 2001), y a través de procesos de estimaciones indirectas de la biomasa, basadas en la obtención de variables, como la altura, mediante lecturas de radar y de tecnología lidar (Riaño *et al.*, 2004; Lu, 2005; Sales *et al.*, 2007).

A diferencia de los combustibles vivos, los combustibles muertos se deben evaluar *in situ*, mediante muestreos directos. Esto es debido a que tales combustibles no pueden ser detectados por sensores remotos, ya que se encuentran debajo de las copas de los árboles. La técnica de medición directa de estos combustibles muertos se basa en el uso de intersecciones planares descrita por Brown (1974), McRae *et al.*, (1979), Sánchez y Zerecero (1983), y Flores (2007). Sin embargo, para realizar estos muestreos es necesario cubrir superficies extensas, por lo mismo los tiempos de muestreo son largos, lo que hace de esta actividad costosa (Keane *et al.*, 2001). Debido a esto se han planteado estrategias alternativas, como lo son el uso de correlaciones espaciales de variables medibles (altitud, exposición, temperatura, tipo de vegetación) con los diferentes tipos de combustibles. Sin embargo, estas estimaciones deben estar soportadas por evaluaciones de combustibles directas de campo, cuya operatividad y precisión deben estar lo suficientemente definidas para tender a minimizar el grado de error. Para esto existen varias estrategias para definir el diseño de muestro más apropiado, siendo el criterio de selección aquél que tienda a minimizar la varianza de las muestras. Por lo que, en general, se considera que la distribución de combustibles debe basarse en la ubicación y delimitación de áreas con cierta homogeneidad en sus combustibles. Así al conocer que la calidad y cantidad de combustibles están asociadas a variables tales como tipo de vegetación, densidad y altitud, se pueden ubicar áreas o estratos homogéneos. Dichas áreas

homogéneas se basan en la teoría del diseño estratificado. Sin embargo, la cuestión básica de esta estrategia puede definirse en dos aspectos principales: a) el criterio, o criterios, de estratificación, y b) las metodologías para implementarlos espacialmente. La estrategia de estratificación a través de la definición de áreas homogéneas se ha usado en otros campos, bajo el nombre de áreas de respuestas homogéneas (ARH). El uso de ARH tiende a agilizar los tiempos de muestreo, por ejemplo; Cantu (1981) aplicó ARH para la selección de áreas homogéneas de investigación en ocho centros del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en México. Palacios *et al.*, (2007) realizaron un diagnóstico técnico basado en el concepto de ARH, para el cambio tecnológico en el cultivo del maíz, en el estado de Jalisco. Respecto a los criterios de estratificación, la aplicación de técnicas de Geomática ha mostrado ser una alternativa práctica para la definición de áreas homogéneas. Específicamente se ha trabajado con información generada por sensores remotos (imágenes de satélite), utilizando el criterio de reflectancia espectral para la diferenciación de estratos. Algunos ejemplos de ello se presentan en el campo de la agricultura. García *et al.*, (1999), utilizaron las áreas de respuestas espectrales homogéneas (AREH) para identificación del patrón espacial del cultivo de maíz, en las provincias de Albacete y Cuenca, España. Además, se han usado criterios para la definición de estratos (ARH), como lo es la tipología ecológica, que consiste en la sobreposición de mapas edafológicos y de vegetación, para determinar áreas ecológicas similares (Vela y Boyas, 1984; Estrada y Ángeles, 2007).

Sin embargo el uso de las ARH en la evaluación de combustibles forestales es reciente. Uno de los primeros trabajos es el reportado por Flores *et al.*, (2008), quienes lo utilizaron para apoyar el diseño de muestreo y evaluación de la respuesta de diferentes ecosistemas a los incendios en seis estados de la república mexicana. No obstante lo anterior, hoy en día no se cuenta con un trabajo integral para la evaluación de cargas de combustibles forestales, donde el diseño de muestreo se base en el concepto de ARH y donde la implementación espacial de los criterios de estratificación, para ubicar y dimensionar las ARH, se realice con base a estrategias de Geomática. Por lo que el objetivo de este trabajo fue desarrollar un proceso integral de selección como herramienta para la generación de cartografía temática sobre los diferentes tipos de combustibles forestales. Dicho proyecto se llevó a cabo en la Reserva de la Biosfera Selva el Ocote (REBISO), la cual cuenta con paisajes complejos y diversos (Flamenco *et al.*, 2007) y uno de los macizos forestales más sobresalientes de Mesoamérica (PEOT, 2000).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Descripción del área de estudio**

La Reserva de la Biosfera Selva el Ocote, se localiza al Oeste del estado de Chiapas, México (Figura 1), en los municipios de Ocozocoautla, Cintalapa, Tecpatán y Jiquipilas. Sus coordenadas extremas son 16°45'42" y 17°09'00" latitud Norte, 93°54'19" y 93°21'20" longitud Oeste. Con una superficie aproximada de 101,288 hectáreas y un nivel altitudinal que llega hasta los 1500 msnm. Las menores altitudes se localizan al Norte y Noroeste, y las mayores al Sureste. Al Sur se encuentra el

Cañón del río la Venta. La región más montañosa la conforma la pared del Río Negro y la constituye el denominado Cordón del Pájaro, con altitudes de 1200 msnm. (Müllerried, 1957).

### **Criterios de estratificación**

Bajo el concepto de áreas de respuestas homogéneas se sigue un diseño de muestreo estratificado, donde posteriormente se podrán ubicar los sitios de muestro en cada estrato. Lo cual puede ser en forma sistemática o aleatoria. Siendo una de las principales ventajas de este proceso el que se pueda definir en qué estratos se requiere un mayor número de sitios. Esto en relación al grado de homogeneidad (o variabilidad) de cada estrato. El criterio de estratificación que se usó en este trabajo está basado en los siguientes aspectos: Modelo de elevación digital y Coberturas de Vegetación.

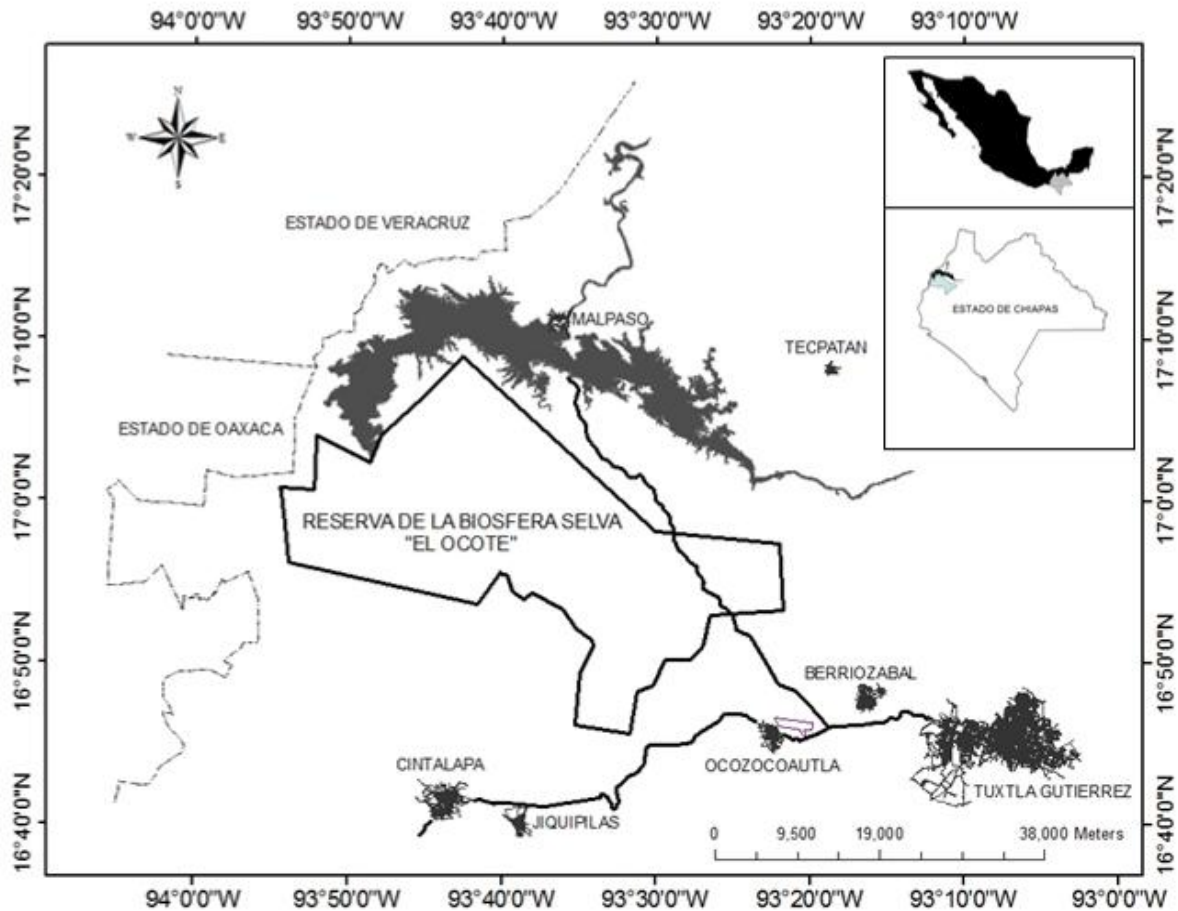


Figura 1. Localización geográfica de la Reserva de la Biosfera Selva el Ocote.

### Modelo de elevación digital

Se utilizaron cuatro modelos digitales de elevaciones (E15c47, E15c48, E15c57, E15c58) con resolución espacial de 50 metros (Figura 2), cuya información es “rasterizada” de las cartas topográficas escala 1:50,000 por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática de México (Padilla, 2005). Estos modelos digitales de elevaciones se convirtieron a formato GRID. Las alturas se agruparon en tres intervalos altitudinales. El criterio de esto fue la división de intervalos en los cuales las temperaturas no fueran significativas. Para ello se consideraron los trabajos de clasificación climática de Köppen y la modificada realizada por García,

(2004), quien consideró que la temperatura en la república mexicana sufre cambios de  $0.65^{\circ}\text{C}$  por cada 100 metros de altura.

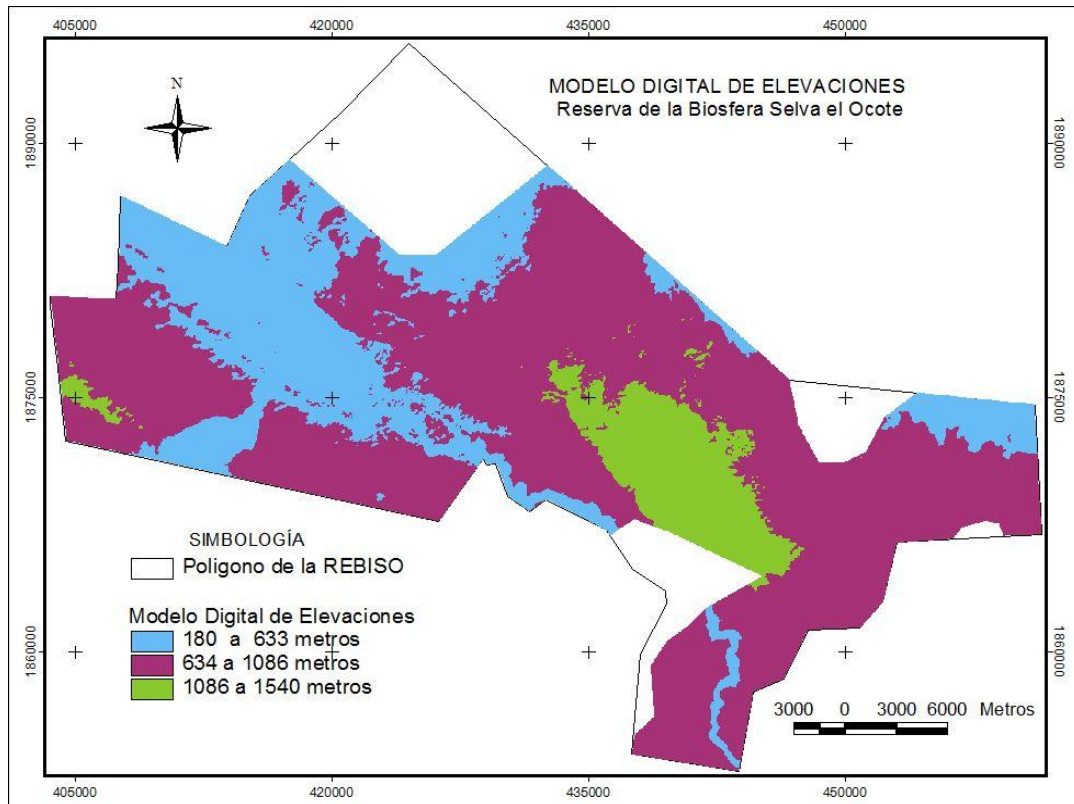


Figura 2. Modelo Digital de Elevaciones (MDE), a partir del cual se derivaron las altitudes que corresponden a la Reserva de la Biosfera Selva el Ocote.

### Coberturas de Vegetación

La información sobre los tipos de vegetación que se ubican en la Reserva de la Biosfera Selva el Ocote, se obtuvieron de datos vectoriales provenientes del Inventario Nacional Forestal correspondiente al año 2000. En este caso el criterio de estratificación usado, fue cada tipo de vegetación que se encontraba en la Reserva (Figura 3). Los cuerpos de agua y los lugares con agricultura de temporal, fueron excluidos del análisis toda vez que en el primer caso no existe material combustible y en el segundo los combustibles son removidos constantemente por los campesinos.

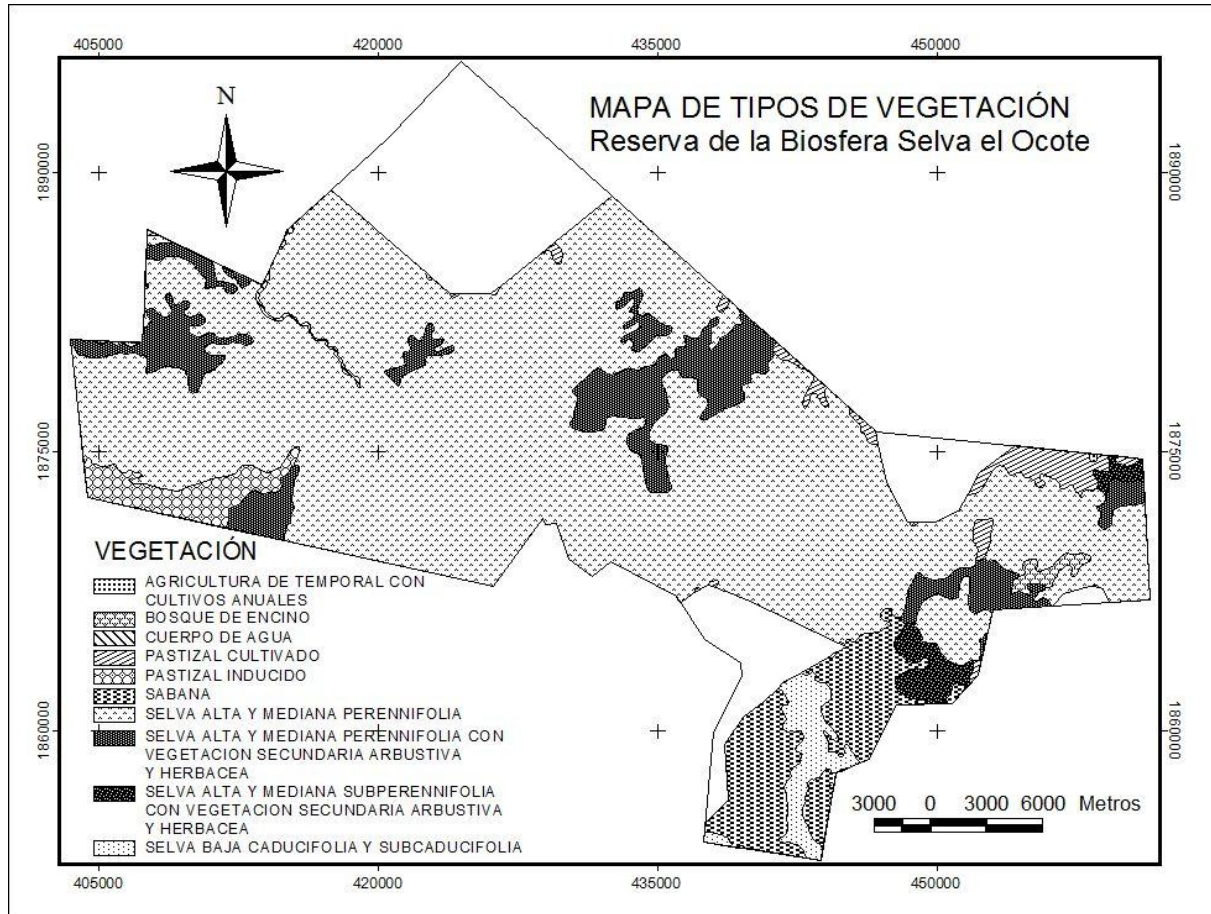


Figura 3. Vectorial de coberturas de vegetación que corresponden a la Reserva de la Biosfera Selva el Ocote.

### Implementación espacial de criterios de estratificación

Para poder definir las áreas de respuesta homogénea se usó la estrategia de álgebra de mapas en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Para lo cual se integraron los diferentes niveles de altitud dentro de cada uno de los tipos de vegetación seleccionados. A continuación se muestran algunos de los algoritmos resultantes:

- ( [vegetacion] = 1.AsGrid ) and ( [alturas] = 1.AsGrid ) -----1
- ( [vegetacion] = 1.AsGrid ) and ( [alturas] = 2.AsGrid ) -----2
- ( [vegetacion] = 1.AsGrid ) and ( [alturas] = 3.AsGrid ) -----3
- ( [vegetacion] = 2.AsGrid ) and ( [alturas] = 1.AsGrid ) -----4



( [vegetacion] = 2.AsGrid) and ([alturas] = 2.AsGrid) -----5  
 ( [vegetacion] = 2.AsGrid) and ([alturas] = 3.AsGrid) -----6  
 .  
 .  
 .  
 ( [vegetacion] = n.AsGrid) and ([alturas] = n.AsGrid) -----8

El algoritmo 1, modela todos aquellos pixeles relacionados con la vegetación tipo (1) correspondiente a pastizal cultivado y que se encuentran en el intervalo altitudinal (1), es decir entre 180 y 633 msnm, (Figura 4). El algoritmo 2, busca aquellos pixeles que corresponden a vegetación tipo (1) pero en un intervalo altitudinal superior (2), es decir entre 634 y 1086 msnm. Finalmente el algoritmo 3, localiza los pixeles de la vegetación tipo (1) en el intervalo altitudinal (3), es decir entre 1087 y 1540 msnm. De esta forma se continuó con la vegetación tipo (2) e intervalo altitudinal (1) ecuación 4, vegetación (2) con el intervalo altitudinal (2) ecuación 5, vegetación (2) con el intervalo altitudinal (3) ecuación 6. El proceso se repitió para los tipos de vegetación (3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10) y los intervalos altitudinales (1, 2, 3). En algunos casos al correr el algoritmo no presentó valores, lo que se interpretó como ausencia de pixeles con la condición buscada. En otros casos el resultado del algoritmo presentó información de pixeles con las características buscadas, a lo que se le denominó área de respuesta homogénea (ARH). Una vez que se concluyó el proceso se calcularon las superficies de cada una de las ARH, mismas que se presentan en la Figura 5.

En la Figura 4, los cuadros en blanco representan una combinación donde no se definió un ARH. Intervalos de altura: 1) 180 a 633 metros, 2) 634 a 1086 metros, 3) 1087 a 1540 metros. Tipos de Vegetación: 1) Pastizal cultivado, 2) Selva alta y

mediana perennifolia con vegetación secundaria arbustiva y herbácea, 3) Selva alta y mediana sub-perennifolia con vegetación secundaria arbustiva y herbácea, 4) Cuerpos de agua (no se consideraron), 5) Pastizal inducido, 6) Agricultura de temporal con cultivos anuales (no se consideraron), 7) Bosque de encino, 8) Selva alta y mediana perennifolia, 9) Selva baja caducifolia y sub-caducifolia, 10) Sabana.

Cálculo de ARH		Intervalos de Alturas		
		1	2	3
Tipos de Vegetación	1			
	2			
	3			
	4	Cuerpos de agua		
	5			
	6	Agricultura de Temporal		
	7			
	8			
	9			
	10			

Figura 4. Combinación de tipos de vegetación e intervalos altitudinales, para definir áreas de respuesta homogénea (ARH), a través del proceso de álgebra de mapas.

## RESULTADOS

El proceso ilustrado generó finalmente un mapa temático en el que se ubican una serie de polígonos que corresponden a las combinaciones de los criterios de tipo de vegetación y alturas. Es importante decir que pueden agregarse tantos criterios (variables) con los que se cuente, y que se consideren pertinentes, en la actualidad

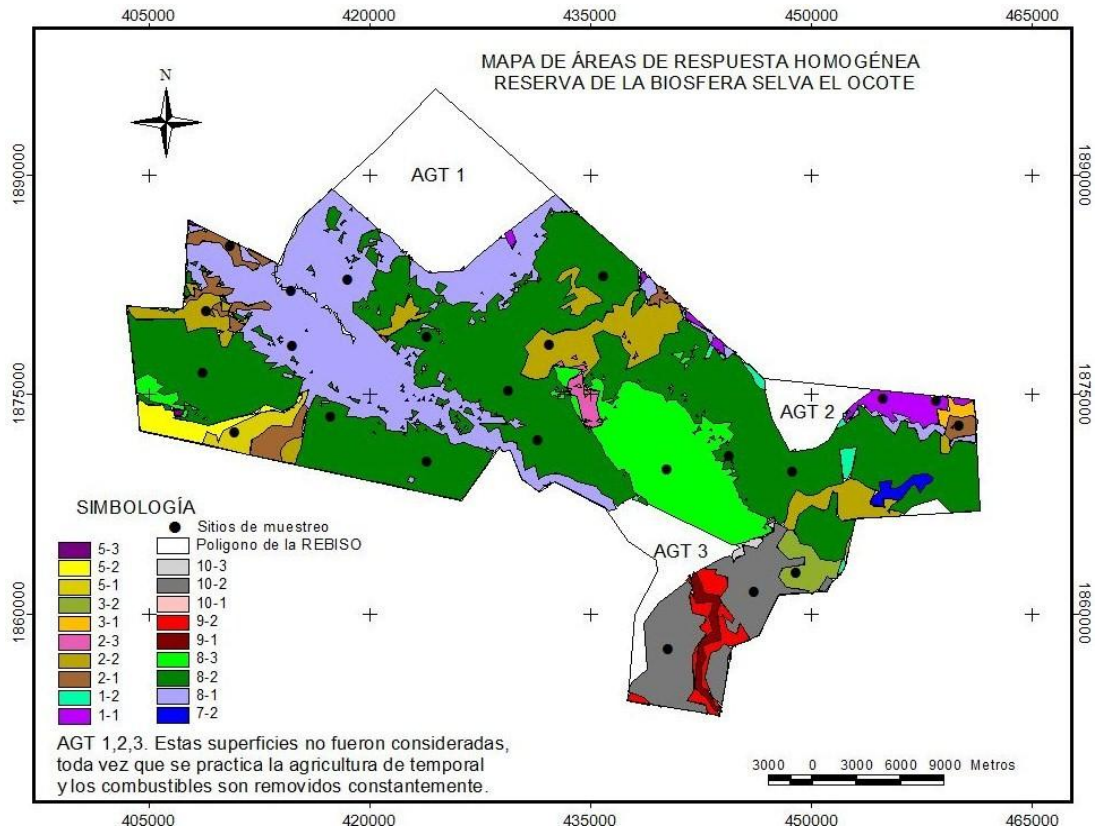
mediante el uso de los sistemas de información geográfica el proceso puede resultar relativamente rápido y sencillo de realizarse, cosa contraria tiempo atrás cuando no se contaba con estas herramientas. De esta forma, se obtuvo un mapa de en el cual están representadas 19 áreas de respuestas homogéneas. Estas ARH presentan características similares, por lo que el muestreo que se haga en una, o varias de éstas, arrojará resultados que se podrían extrapolarse a otras ARH similares que no fueron muestreadas. Lo cual, en sí, representa una enorme ventaja en relación al muestreo tradicional.

La suma total de la superficie, de los polígonos que componen el mapa resultante de las áreas de respuestas homogéneas, correspondió a 851,827,171.77 metros cuadrados (85,182 hectáreas) Figura 6. De estas la que mayor extensión ocupó es el área de respuesta homogénea 8\_2 la cual corresponde a selva alta y mediana perennifolia localizada entre los 634 y 1086 msnm, con una superficie igual a 388,086,036.18 metros cuadrados (38,808 hectáreas), el área de respuesta homogénea con menor superficie correspondió a la 10\_1, con 34,411.50 metros cuadrados (3 hectáreas). Una vez que se conoció la ubicación y extensión de cada área de respuesta homogénea se planeó la cantidad y lugar donde se realizó el muestreo (aleatorio-estratificado), para ello se consideraron los caminos, brechas y veredas que permitieran facilitar el acceso al sitio muestreado. De 19 áreas de respuestas homogéneas se determinó que las, 3\_1 (1); 3\_2 (1); 5\_1 (1); 7\_2 (1); 9\_1 (1); 10\_1 (1); están integradas por un solo polígono (Figura 7) y superficie diferente (Figura 6). Estas ARH, corresponden a Selva alta y mediana sub-perennifolia con vegetación secundaria arbustiva y herbácea y una altitud de 180 a 633 metros, Selva

alta y mediana sub-perennifolia con vegetación secundaria arbustiva y herbácea y una altitud de 634 a 1086 metros, Pastizal inducido y una altitud de 180 a 633 metros, Bosque de encino y una altitud de 634 a 1086 metros, Selva baja caducifolia y sub-caducifolia y una altitud de 180 a 633 metros, sabana y una altitud de 180 a 633 metros, respectivamente cada una de ellas.

El ARH 1\_1, tiene 16 polígonos y una superficie de 1260 hectáreas, corresponde a Pastizal cultivado y alturas entre 180 y 633 metros; 1\_2 tiene 19 polígonos y una superficie de 418 hectáreas, corresponde a Pastizal cultivado y alturas entre 634 y 1086 metros; 2\_1 tiene 20 polígonos y una superficie de 1991 hectáreas, corresponde a Selva alta y mediana perennifolia con vegetación secundaria arbustiva y herbácea y alturas entre 180 y 633 metros; 2\_2 tiene 23 polígonos y una superficie de 6133 hectáreas, corresponde a Selva alta y mediana perennifolia con vegetación secundaria arbustiva y herbácea y alturas entre 634 y 1086 metros; 2\_3 tiene 9 polígonos y una superficie de 466 hectáreas, corresponde a Selva alta y mediana perennifolia con vegetación secundaria arbustiva y herbácea y alturas entre 1087 y 1540 metros; 5\_2 tiene 8 polígonos y una superficie de 1012 hectáreas, corresponde a Pastizal inducido y alturas entre 634 y 1086 metros; 5\_3 tiene 2 polígonos y una superficie de 21 hectáreas; 8\_1 tiene 70 polígonos y una superficie de 17538 hectáreas, corresponde a Pastizal inducido y alturas entre 1087 y 1540 metros; 8\_2 tiene 12 polígonos y una superficie de 38808 hectáreas, corresponde a Selva alta y mediana perennifolia y alturas entre 634 a 1086 metros; 8\_3 tiene 41 polígonos y una superficie de 7578 hectáreas, corresponde a Selva alta y mediana perennifolia y alturas entre 1087 y 1540 metros; 9\_2 tiene 11 polígonos y una superficie de 1194

hectáreas, corresponde a Selva baja caducifolia y sub-caducifolia y alturas entre 634 y 1086 metros; 10\_2 tiene 7 polígonos y una superficie de 5556 hectáreas, corresponde a sabana y alturas entre 634 y 1086 metros; 10\_3 tiene 3 polígonos y una superficie de 123 hectáreas, corresponde a sabana y alturas entre 1087 y 1540 metros.



**Figura 5. Mapa de áreas de respuestas homogéneas, para el muestreo de combustibles forestales construidas a partir de las variables de vegetación y altura.**

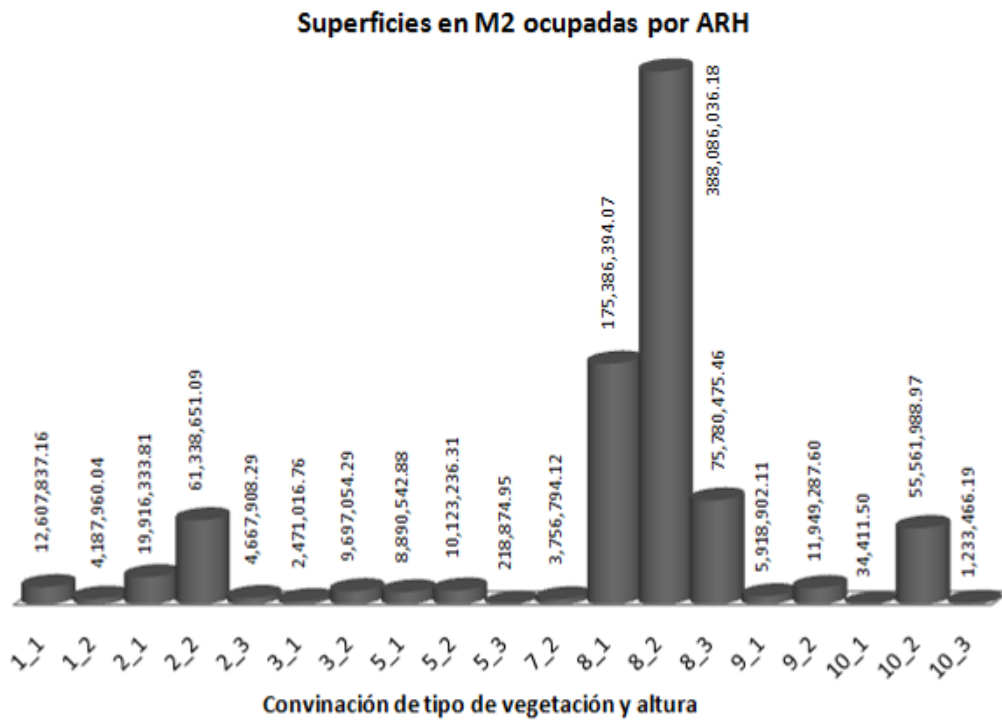


Figura 6. Superficie ocupada por las áreas de respuesta homogénea, de la Reserva de la Biosfera Selva el Ocote.

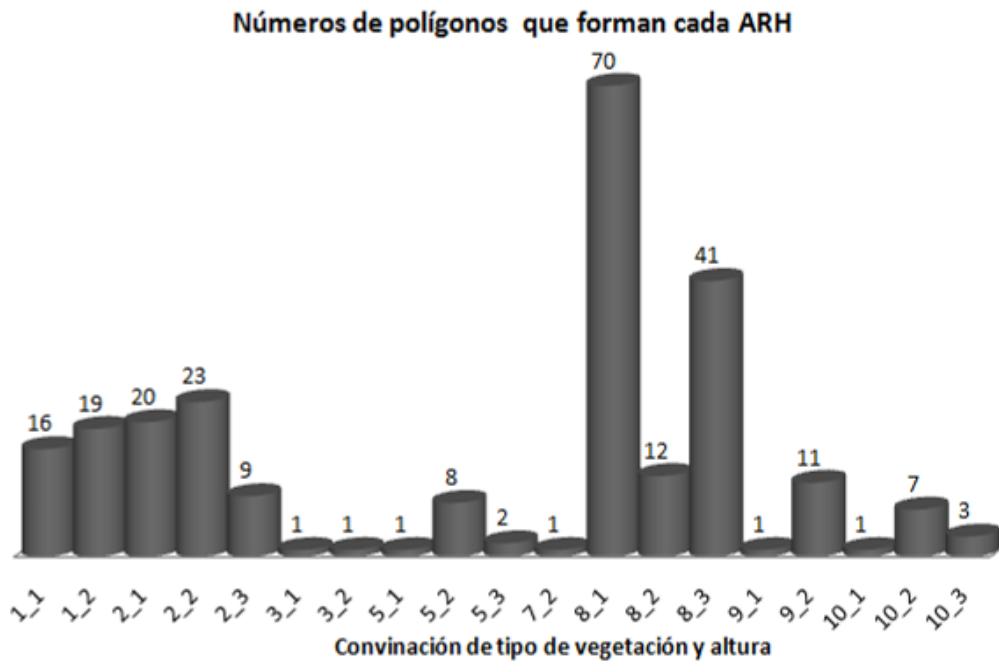


Figura 7. Números de polígonos que integran cada área de respuesta homogénea, de la reserva de la biosfera selva el Ocote.

## DISCUSIÓN

La selección de sitios de muestreo para la estimación de los combustibles forestales, generalmente se ha realizado mediante muestreos: a) probabilístico aleatorio simple (Flores *et al.*, 2005); b) sistemáticos con sobreposición de mapas topográficos (Flores y Moreno, 2005; Root *et al.*, 1986); c) estratificados al azar y rodales (Bautista *et al.*, 2005). Sin embargo estos métodos tradicionales se caracterizan por el gran número de muestras que se requieren para representar la variabilidad de una zona de estudio, (Guimarães, 1993). De aquí la preocupación por desarrollar técnicas y estimadores más eficientes que permitan determinar las características de una zona, o una porción de la superficie terrestre, han sido los objetivos de varios estudios no sólo en la ciencia del suelo, sino también en otras áreas de conocimiento (Wojciechowski *et al.*, 2009). La importancia de la metodología que se presenta, sobre la generación de mapas de áreas de respuesta homogénea, es que disminuyen el trabajo de campo. Esto es debido a que los sitios de muestreo se reparten en cada ARH, lo cual permiten seleccionar los puntos de muestreo de manera directa. Además, las ARH cumplen adecuadamente con una de las condiciones del muestreo en inventarios forestales, la cual consiste en disminuir la varianza. Esto es si se compara con el uso de un muestreo al azar, donde la muestra se distribuye en forma aleatoria en toda la zona de estudio, lo cual muy probablemente implica que se obtiene una varianza muy alta. Por otro lado, se tiene la opción del muestreo a través de estratos, donde se espera que exista cierta homogeneidad que permita disminuir la varianza. Para lograr esta homogeneidad en las ARH, se utilizan las variables con mayor injerencia tales como vegetación, altura

y clima (Flores y Benavides, 2004), sin embargo es importante estudiar otros parámetros tales como, pendiente, exposición, humedad, temperatura, suelo. Toda vez que guardan una relación estrecha con la vegetación del lugar, así como la acumulación y disposición de los combustibles forestales. De acuerdo con lo anterior, la definición de áreas de respuesta homogénea implica dos ventajas básicas:

1) Desde la perspectiva de la estadística tradicional, se disminuye la varianza con lo cual se tiende a aumentar la precisión de los resultados. Lo cual se debe a la estrategia de estratificación, donde se espera que las cargas de combustibles dentro de cada estrato estén distribuidas espacialmente en forma homogénea.

2) Desde la perspectiva de la estadística espacial, se tiene la gran ventaja de que se pueden extrapolar las estimaciones de cargas de combustibles entre ARH similares. De esta forma se ahorra una considerable cantidad de tiempo. En resumen, estadísticamente se tiende a una mayor precisión, mientras que geoestadísticamente se puede ahorrar trabajo y tiempo de muestreo.

La siguiente etapa de este proyecto, consistirá en la validación de los resultados a partir del muestreo de sitios localizados en el interior de la Reserva de la Biosfera Selva el Ocote; se extraerán muestras de los diferentes tipos de combustibles de acuerdo a la metodología descrita por Brown (1974), con la finalidad de construir mapas de combustibles forestales de 1, 10, 100, y 1000 horas, aplicando métodos geoestadísticos de interpolación para encontrar los datos de sitios no muestreados, con ello se pretende determinar la precisión de los mapas de ARH, generado con la metodología descrita en este documento.



## CONCLUSIONES

Los sistemas de información geográfica (SIG), constituyen una revolución tecnológica y metodológica para efectuar la adquisición, manejo y análisis de información geográfica, integran el eje que sustenta los sistemas de consulta y análisis utilizados en aplicaciones forestales, y permiten el manejo de volúmenes de información cartográfica relevante para el proceso de toma de decisiones (Mena *et al.*, 2006). Además, son una alternativa más precisa para realizar clasificaciones edafo-climáticas y fisiográficas con la ventaja de que se pueden estimar los valores para cada píxel (imagen raster, matrices de valores), permiten cuantificar superficies, sobreponer localidades, ríos, y otros vectores, derivado de esto los mapas resultantes tienen un carácter más objetivo (Díaz 2006). Utilizando estas ventajas de los SIG, es posible la construcción de mapas de áreas de respuestas homogéneas en los cuales se agrupan píxeles similares, para apoyar el muestreo encaminado a la evaluación de los combustibles forestales.

Aunque este trabajo está orientado originalmente para facilitar la selección de sitios de muestreo de combustibles forestales en la reserva de la biosfera Selva el Ocote, el concepto de ARH puede tener aplicaciones en otros campos disciplinarios, ya que permite compartir criterios básicos predeterminados en los que mediante la combinación de variables incidentes en el problema estudiado, se generen mapas específicos, permitiendo eficientar los recursos económicos, materiales y optimizar con ello el factor tiempo dedicado a la selección y muestreo de los sitios.

## **AGRADECIMIENTOS**

A las autoridades de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH), al Consejo de Ciencia y Tecnología del estado de Chiapas (COCyTECH), y Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la beca otorgada para cubrir los gastos de campo, a la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), por las facilidades otorgadas para el ingreso a la Reserva de la Biosfera Selva el Ocote, a la Dra. Tamara Rioja Paradela, por sus valiosos comentarios.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Bautista, R. A., Treviño, G., Navar, C., Aguirre, C., y Cantú, S. 2005. Caracterización de combustibles leñosos en el ejido pueblo nuevo, Durango. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 11 (1): 51-56.

Brown, J. K. 1974. Handbook for inventorying downed woody material. USDA Forest Service. Utah, USA. pp. 1-24.

Burgan, R. E., Klaver, R.W., and Klaver, J. M.1998. Fuel models and fire potential from satellite and surface observations. International Journal of Wildland Fire 8 (3):159-170.

Cantu, V. J. 1981. Estructura, objetivos, políticas y programas pecuarios actuales del INIFAP.

Crist, E. P., and Cicone, R. C. 1984. Application of the tasseled cap concept to simulated Thematic Mapper data. *Photogrammetric Engineering of Remote Sensing* 50: 343-352.

Diaz, P. G. 2006. Regionalización edafoclimática y fisiográfica del trópico Subhúmedo de Veracruz. Estrategias para el Manejo Sustentable del Trópico Subhúmedo en Veracruz. Veracruz, México.

Estrada, C. I., y Angeles, C. 2007. Evaluación de combustibles forestales en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo. *Ecología y biodiversidad, claves de la prevención. Evaluación de combustibles Forestales. Wildland Fire.*

Flamenco, S. A., Martínez, R. M., and Masera, O. R. 2007. Assessing implications of land-use and land-cover change dynamics for conservation of a highly diverse tropical rain forest. *Biological conservation* 138: 131-145.

Flores, G. J. G., Chávez, D. A. A., Xelhuantzi, C. J., y Villela, G. S. A. 2008. Establecimiento de áreas de respuesta homogénea en el proyecto "evaluación de la respuesta de diferentes ecosistemas forestales a los incendios forestales". *II coloquio internacional de medio ambiente y desarrollo. México, D.F.*

Flores, G. J. G., y Benavides, S. J. D. 2004. Avances de la Investigación en incendios forestales en México. Grupo Mundi-Prensa. México.

Flores, G. J. G., y Moreno, G. A. 2005. Modelaje espacial de la influencia de combustibles sobre la regeneración natural de un bosque perturbado. *Agrociencia* 3(39): 339-349.

Flores, G., J. 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, J. G. 2001. Modeling the spatial variability of forest fuel arrays. PhD Dissertation. Department of Forest Sciences, Colorado State University. 201 p.

García, C. J., Cisneros, G., y Navarro, E. 1999. Alternativas a la determinación de las zonas espectrales homogéneas. VIII congreso nacional de teledetección. Albacete España. pp. 191-194.

García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana. Instituto de Geografía Universidad Nacional Autónoma de México.

Guimarães, E. C. 1993. Variabilidade espacial da umidade e da densidade do solo em um Latossolo Roxo. Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

- Keane, R. E., Burgan, R., and Van Wagtendonk, J. 2001. Mapping wildland fuels for fire management across multiple scales: Integrating remote sensing, GIS, and biophysical modeling. *International Journal of Wildland Fire* 10:301-319.
- Kourtz, P. H. 1997. An application of Landsat digital technology to forest fire fuel type mapping. 11th International Symposium on Remote Sensing of Environment. pp. 1111-1115.
- Lu D. 2005. Aboveground biomass estimation using Landsat TM data in Brazilian amazon. *International Journal of Remote Sensing* 26(12):2509-2525.
- Matthew, G. R., Robert, E. K., and Russel, A. P. 2004. Mapping fuels and fire regimes using remote sensing, ecosystem simulation, and gradient modeling. *Ecological Applications* 14(1):75-95
- McRae, D. J., Alexander M. E. and Stocks B. J. 1979. Measurement and description of fuels and fire behavior on prescribed burns: a handbook. Canadian Forestry Service, Department of the Environment. 44 p.
- Mena, F.C., Gajardo, V. J., Ormazábal, Y. R., Morales, H. Y., and Montecinos, G. R. 2006. Remote Sensing and GIS in Forestry: Experiences in Chile. *Ambiência Guarapuava* PR 2(1):171-185.
- Miller, W.A., Howard, S.M. and Moore, D.G. 1986. Use of AVHRR data in an information system for fire management in the Western United States. 20th

International Symposium on Remote Sensing of Environment. Nairobi, Kenya.  
pp. 67-79.

Mulleried, F. K. G. 1957. La geología de Chiapas, México, Gobierno Constitucional  
del Estado de Chiapas. 180 p.

Padilla, N. J. 2005. Subdirector de Fotogrametría y Vectorización del INEGI. Proyecto  
de Norma Técnica para la generación de Modelos digitales de elevación.  
Convención Nacional de Geografía. Manzanillo, Colima. México.

Palacios, C. V., Vázquez, G. M., González, E. D. R., Villareal, F. E., and Byerly, M. K.  
F. 2007. Technical Diagnosis for Technology Change in the Corn Crop. *TERRA  
Latino Americana* 25(3):321-332.

PEOT. 2000. Programa de Ordenamiento Territorial de Chiapas. Colegio de la  
Frontera Sur. 291 p.

Rabii, H.A. 1979. An investigation of the utility of Landsat-2 MSS data to the fire-  
danger rating area, and forest fuel analysis within Crater Lake National Park.  
Oregon State University.

Riaño, D., Chuvieco, E., Condés, S., González-Matesanz, J., and Ustin, S.L. 2004.  
Generation of crown bulk density for *Pinus sylvestris* L. from Lidar. *Remote  
Sensing of Environment* 92: 345-352.

Root, R. R., Stitt, S. C. F., Nyquist, M. O., G. S., W. and Agee, J. K. 1986. Vegetation and fire fuel models mapping of North Cascades National Park. ACSM-ASPRS Annual Convention. Washington, D.C. pp. 75-85.

Salas, F. J. y Chuvieco, E. 1995. Aplicación de imágenes Landsat-TM a la cartografía de modelos combustibles. Revista de Teledetección 5:18-28.

Sales, M. H., Souza, C. M., Kyriakidis, P. C., Roberts, D. A. and Vidal, E. 2007. Improving spatial distribution estimation of forest biomass with geostatistics. A case study for Rondonia, Brazil. Ecological Modelling 205(1-2): 221-230.

Sánchez, C. J. y Zerecero, L. G. 1983. Método práctico para calcular la cantidad de combustibles leñosos y hojarasca. Nota Divulgativa No 9 CIFONOR – INIF. SFF. SARH. México. 14 p.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2007. Programa de Manejo Integrado del Fuego de la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote. Chiapas, México.

Vasconcelos, M.J.P., Paul, J. C. U., Silava, S., Pereira, J. M. C., Caetano, M. S., Catry, F. X., and Oliveira, T. M. 1998. Regional fuel mapping using a knowledge based system approach. III International Conference on Forest Fire Research. 14th Conference on Fire and Forest Meteorology. Vol II. pp. 2111-2123.

Vela, L. G. y Boyás, J. D. 1984. La tipología ecológica como base de la planeación agropecuaria y forestal. SARH-INIF. Ciencia Forestal 9 (47): 3-20.

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

Wijaya, A., Kusnadi, S., Gloaguen, R., and Heilmeyer, H. 2010. Improved strategy for estimating stem volume and forest biomass using moderate resolution remote sensing data and GIS. Journal of Forestry Research 21(1):1-12.

Wojciechowski, J. C., Valdir, S. M., da Fonseca, P. C. A., de A. Madruga, P. R., de V. Kilca, R., Brun, E. J., da Silva, C. R. S., Vaccaro, S., and Rondon, N. M. R. 2009. Geostatistics applied to the study of soil physiochemical characteristics in seasonal deciduous forest areas. Ciência Florestal 19(4):383-391.



## 5.2. Construcción de árboles de regresión.

En este proceso se presentan los resultados de cada una de las modelaciones, utilizando las variables numéricas y posteriormente *dummy*. Con la finalidad de establecer cuál de los dos métodos proporciona los valores más cercanos a la realidad.

### 5.2.1. Combustibles de 1 hora.

El modelo de regresión, con el que se definió el árbol correspondiente, para la variable dependiente de combustibles de 1 hora tomó en cuenta las siguientes variables independientes numéricas.

*tree(formula = Z.H ~ V8+V9 + V10 + V11 + V12 + V13 + V14 + V15 + V16 + V17 + V18 +V19 + V20 + V21 + V22 + V23 + V24 + V25 + V26.*

Así mismo el modelo de regresión definió que las variables numéricas independientes más significativas para la estimación de las cargas de combustibles de 1 hora fueron: "V14" "V19", correspondientes a la Banda 4 de la imagen Spot y la banda 8 de la imagen Landsat TM.

*Variables actually used in tree construction:*

*[1] "V14" "V19"*

Estas resultaron en una desviación media de los residuales de 0.06598.

*Number of terminal nodes: 3*

*Residual mean deviance: 0.06598 = 0.9897 / 15*

Mientras que la distribución de los mismos fue de acuerdo a la tabla siguiente:

*Distribution of residuals:*

<i>Mínimo</i>	<i>1er Cuartil</i>	<i>Mediana</i>	<i>Media</i>	<i>3r Cuartil</i>	<i>Máximo</i>
-0.3106	-0.1979	-0.03089	-1.234e-017	0.1318	0.5786

**Tabla 7. Valores de la distribución de los residuales resultantes del árbol de regresión que estima las cargas de combustibles de 1 Hora.**

La estructura del árbol de regresión se presenta a continuación, misma que define la gráfica que se presenta en la Figura 33.

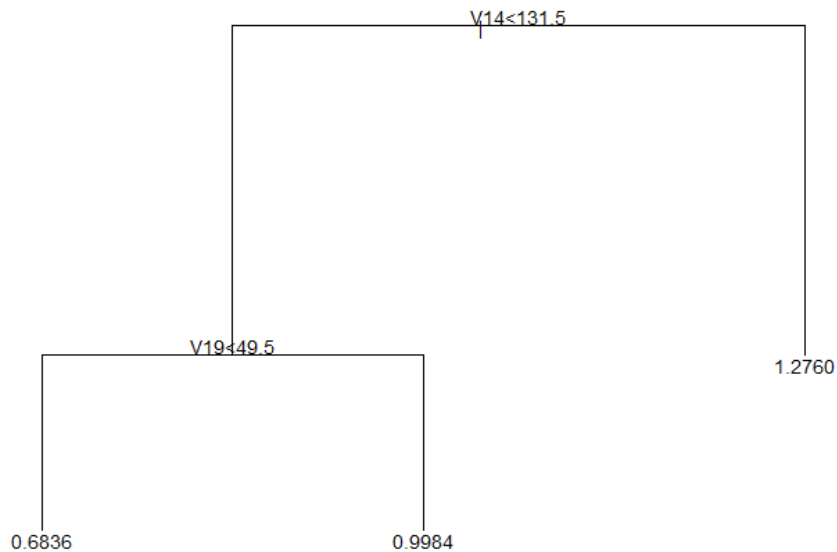
1) *root 18 1.8700 0.9882*

2) *V14<131.5 13 0.7997 0.8773*

4) *V19<49.5 5 0.2896 0.6836 \**

5) *V19>49.5 8 0.2052 0.9984 \**

3) *V14>131.5 5 0.4949 1.2760 \**



**Figura 33. Representación gráfica del árbol de regresión utilizado para la estimación de combustibles de 1 HORA.**

## 5.2.2. Combustibles de 10 horas.

El modelo de regresión, con el que se definió el árbol correspondiente, para la variable dependiente de combustibles de 10 horas tomó en cuenta las siguientes variables independientes numéricas.

*tree(formula = Z0.H~ V8+V9 + V10 + V11 + V12 + V13 + V14 + V15 + V16 + V17 + V18 +V19 + V20 + V21 + V22 + V23 + V24 + V25 + V26.*

Así mismo el modelo de regresión definió que las variables numéricas independientes más significativas para la estimación de las cargas de combustibles de 10 horas fueron: "V16" "V22", correspondientes a la Banda 2 de la imagen Spot y la Banda 5 de la Imagen Landsat TM.

*Variables actually used in tree construction:*

*[1] "V16" "V22"*

Estas resultaron en una desviación media de los residuales de 1.575

*Number of terminal nodes: 3*

*Residual mean deviance: 1.575 = 23.62 / 15*

Mientras que la distribución de los mismos fue de acuerdo a la tabla siguiente:

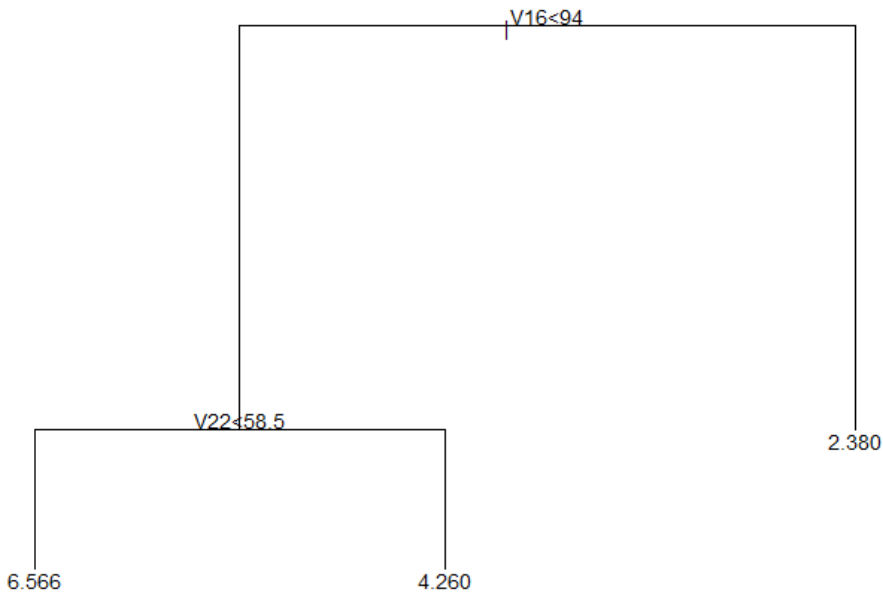
*Distribution of residuals:*

<i>Mínimo</i>	<i>1er Cuartil</i>	<i>Mediana</i>	<i>Media</i>	<i>3r Cuartil</i>	<i>Máximo</i>
-2.334	-0.8599	-0.04214	-4.934e-017	1.049	1.992

**Tabla 8. Valores de la distribución de los residuales resultantes del árbol de regresión que estima las cargas de combustibles de 10 Horas.**

La estructura del árbol de regresión se presenta a continuación, misma que define la gráfica que se presenta en la Figura 34.

- 1) *root* 18 80.240 4.298
- 2)  $V16 < 94$  11 32.540 5.518
- 4)  $V22 < 58.5$  6 11.450 6.566 \*
- 5)  $V22 > 58.5$  5 6.586 4.260 \*
- 3)  $V16 > 94$  7 5.583 2.380 \*



**Figura 34. Representación gráfica del árbol de regresión utilizado, para la estimación de combustibles de 10 HORAS.**

### 5.2.3. Combustibles de 100 horas.

El modelo de regresión, con el que se definió el árbol correspondiente, para la variable dependiente de combustibles de 100 horas tomó en cuenta las siguientes variables independientes numéricas.

*tree(formula = Z00.H~ V8+V9 + V10 + V11 + V12 + V13 + V14 + V15 + V16 + V17 + V18 +V19 + V20 + V21 + V22 + V23 + V24 + V25 + V26.*

Así mismo el modelo de regresión definió que la variable numérica independiente más significativa para la estimación de las cargas de combustibles de 100 horas fue: "V25", misma que corresponde a la Banda 2 de la Imagen Landsat Thematic Mapper.

*Variables actually used in tree construction:*

[1] "V25"

Esta resultó en una desviación media de los residuales de 0.9949

*Number of terminal nodes: 3*

*Residual mean deviance: 0.9949 = 14.92 / 15*

Mientras que la distribución de los mismos fue de acuerdo a la tabla siguiente:

*Distribution of residuals:*

<i>Mínimo</i>	<i>1er Cuartil</i>	<i>Mediana</i>	<i>Media</i>	<i>3r Cuartil</i>	<i>Máximo</i>
-2.037	-0.2869	-0.05149	-1.234e-017	0.6073	1.772

**Tabla 9. Valores de la distribución de los residuales resultantes del árbol de regresión que estima las cargas de combustibles de 100 Horas.**

La estructura del árbol de regresión se presenta a continuación, misma que define la gráfica que se presenta en la figura 35.

1) root 18 40.4700 3.350

2) V25<26.5 5 7.8010 5.046 \*

3) V25>26.5 13 12.7400 2.697

6)  $V_{25} < 28.5$  7 6.1690 3.306 \*

7)  $V_{25} > 28.5$  6 0.9538 1.987 \*

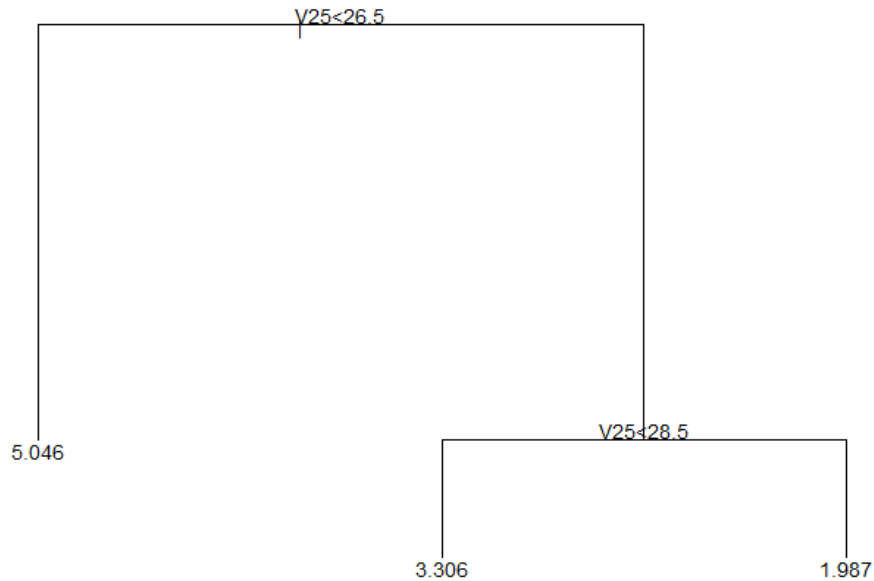


Figura 35. Representación gráfica del árbol de regresión utilizado, para la estimación de combustibles de 100 Horas.

#### 5.2.4. Combustibles de 1000 horas (firmes).

El modelo de regresión, con el que se definió el árbol correspondiente, para la variable dependiente de combustibles de 1000 horas (Firmes) tomó en cuenta las siguientes variables numéricas independientes.

$tree(formula = FIRMES \sim V8 + V9 + V10 + V11 + V12 + V13 + V14 + V15 + V16 + V17 + V18 + V19 + V20 + V21 + V22 + V23 + V24 + V25 + V26.$

Así mismo el modelo de regresión definió que las variables numéricas independientes más significativas para la estimación de las cargas de combustibles

de 1000 horas (Firmes) fue: "V21", correspondiente a la Banda 6 de la Imagen Landsat TM.

*Variables actually used in tree construction:*

[1] "V21"

Esta resultó en una desviación media de los residuales de 108

*Number of terminal nodes: 2*

*Residual mean deviance: 108 = 1728 / 16*

Mientras que la distribución de los mismos fue de acuerdo a la tabla siguiente:

*Distribution of residuals:*

<i>Mínimo</i>	<i>1er Cuartil</i>	<i>Mediana</i>	<i>Media</i>	<i>3r Cuartil</i>	<i>Máximo</i>
-15.03	-8.585	0.2257	-3.947e-016	6.211	20.62

**Tabla 10. Valores de la distribución de los residuales resultantes del árbol de regresión que estima las cargas de combustibles de 1000 Horas (Firmes).**

La estructura del árbol de regresión se presenta a continuación, misma que define la gráfica que se presenta en la figura 36.

1) root 18 3831.0 19.390

2) V21<137 9 1244.0 30.200 \*

3) V21>137 9 483.8 8.585 \*



Figura 36. Representación gráfica del árbol de regresión utilizado, para la estimación de combustibles de 1000 HORAS (Firmes).

### 5.2.5. Combustibles de 1000 horas (podridos).

El modelo de regresión, con el que se definió el árbol correspondiente, para la variable dependiente de combustibles de 1000 horas (podridos) tomó en cuenta las siguientes variables numéricas independientes.

$tree(formula = PODR \sim V8 + V9 + V10 + V11 + V12 + V13 + V14 + V15 + V16 + V17 + V18 + V19 + V20 + V21 + V22 + V23 + V24 + V25 + V26.$

Así mismo el modelo de regresión definió que las variables numéricas independientes más significativas para la estimación de las cargas de combustibles de 1000 horas (Podridos) fueron: "V26" "V16", correspondientes a la Banda 1 de la Imagen Landsat TM y la Banda 2 de la Imagen Spot.



*Variables actually used in tree construction:*

[1] "V26" "V16"

Estas resultaron en una desviación media de los residuales de 316

*Number of terminal nodes: 3*

*Residual mean deviance: 316 = 4741 / 15*

Mientras que la distribución de los mismos fue de acuerdo a la tabla siguiente:

*Distribution of residuals:*

<i>Mínimo</i>	<i>1er Cuartil</i>	<i>Mediana</i>	<i>Media</i>	<i>3r Cuartil</i>	<i>Máximo</i>
-19.57	-9.969	0	1.579e-015	0.3572	57.73

**Tabla 11. Valores de la distribución de los residuales resultantes del árbol de regresión que estima las cargas de combustibles de 1000 Horas (podridos).**

La estructura del árbol de regresión se presenta a continuación, misma que define la gráfica que se presenta en la Figura 37.

1) root 18 6572.0 12.370

2) V26<72.5 5 4255.0 26.880 \*

3) V26>72.5 13 860.3 6.792

6) V16<97.5 8 485.4 11.040 \*

7) V16>97.5 5 0.0 0.000 \*

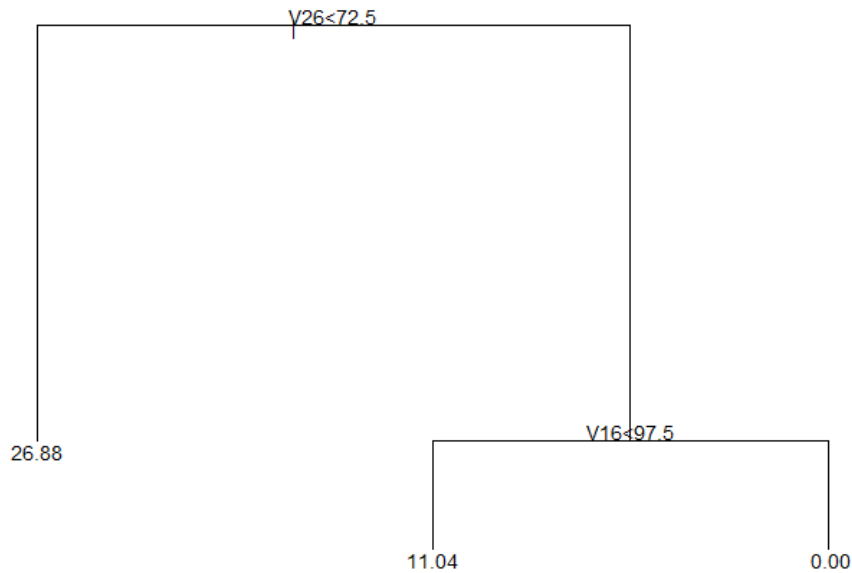


Figura 37. Representación gráfica del árbol de regresión utilizado, para la estimación de combustibles de 1000 HORAS (Podridos).

### 5.2.6. Combustible forestal hojarasca.

El modelo de regresión, con el que se definió el árbol correspondiente, para la variable dependiente del combustible forestal Hojarasca, tomo en cuenta las siguientes variables numéricas independientes.

*tree(formula = HOJAR ~ V8+V9 + V10 + V11 + V12 + V13 + V14 + V15 + V16 + V17 + V18 +V19 + V20 + V21 + V22 + V23 + V24 + V25 + V26.*

Así mismo el modelo de regresión definió que las variables numéricas independientes más significativas para la estimación de las cargas de combustible de Hojarasca fueron: "V12" "V9", correspondientes a valores de Temperaturas Mínimas y valores de Precipitación anuales de lluvias.

*Variables actually used in tree construction:*

[1] "V12" "V9"

Estas resultaron en una desviación media de los residuales de 1.889

*Number of terminal nodes: 3*

*Residual mean deviance: 1.889 = 28.33 / 15*

Mientras que la distribución de los mismos fue de acuerdo a la tabla siguiente:

*Distribution of residuals:*

<i>Mínimo</i>	<i>1er Cuartil</i>	<i>Mediana</i>	<i>Media</i>	<i>3r Cuartil</i>	<i>Máximo</i>
-2.06	-0.7333	-0.09767	-9.869e-017	0.5294	2.5709

**Cuadro 12. Valores de la distribución de los residuales resultantes del árbol de regresión que estima las cargas de combustibles de Hojarasca.**

La estructura del árbol de regresión se presenta a continuación, misma que define la gráfica que se presenta en la Figura 38.

1) root 18 69.970 3.086

2) V12<688.5 7 1.823 1.481 \*

3) V12>688.5 11 38.640 4.107

6) V9<2.5 5 14.790 5.258 \*

7) V9>2.5 6 11.710 3.149 \*

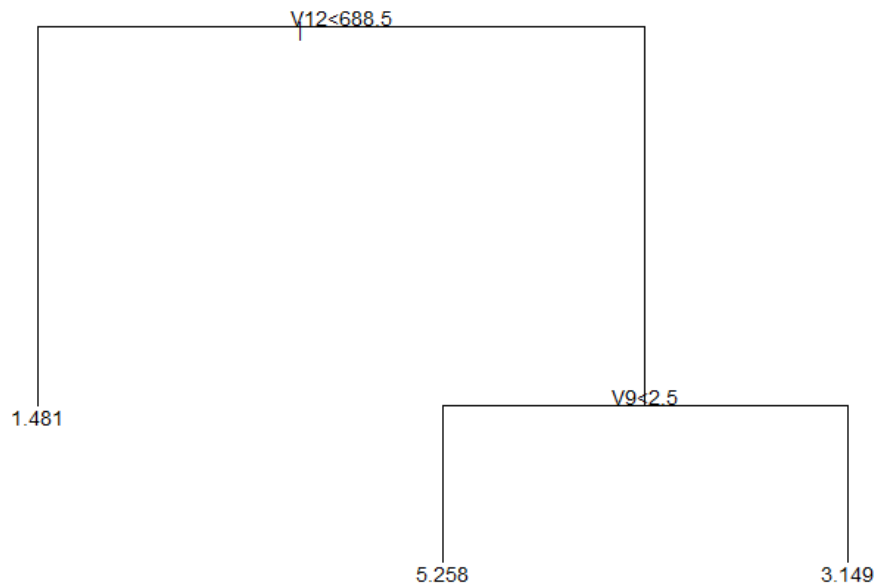


Figura 38. Representación gráfica del árbol de regresión utilizado, para la estimación de combustibles de Hojarasca.

### 5.3. Variables cualitativas (*dummy*) independientes más utilizadas en la construcción de los árboles de regresión.

A continuación se presenta los resultados obtenidos en cuanto al número de variables cualitativas independientes que más se usaron en la construcción de los árboles de regresión, el número de nodos terminales en cada caso y los estadísticos resultantes de cada uno de los árboles que se definieron para los tipos de combustibles.

#### 5.3.1. Combustibles de 1 hora.

El modelo de regresión, con el que se definió el árbol correspondiente, para la variable dependiente de combustibles de 1 hora tomó en cuenta las siguientes variables independientes *dummy*.

*tree(formula = C.1h ~ V1 + V2 + V3 + V4 + V5 + V6 + V7*

Así mismo el modelo de regresión definió que las variables cualitativas independientes más significativas para la estimación de las cargas de combustibles de 1 hora fueron: "V3" "V1", correspondientes a la Hipsometría del Lugar y el Clima.

*Variables actually used in tree construction:*

[1] "V3" "V1"

Estas resultaron en una desviación media de los residuales de 0.1058.

*Number of terminal nodes: 3*

*Residual mean deviance: 0.1058 = 1.587 / 15*

Mientras que la distribución de los mismos fue de acuerdo a la tabla siguiente:

*Distribution of residuals:*

<i>Mínimo</i>	<i>1er Cuartil</i>	<i>Mediana</i>	<i>Media</i>	<i>3r Cuartil</i>	<i>Máximo</i>
-0.5721	-0.111	0.04886	1.295e-016	0.1631	0.7099

**Tabla 13. Valores de la distribución de los residuales resultantes del árbol de regresión que estima las cargas de combustibles de 1 Hora.**

La estructura del árbol de regresión se presenta a continuación, misma que define la gráfica que se presenta en la Figura 39.

1) root 18 1.8700 0.9882

2) V3<1.5 7 0.9924 1.1450 \*

3) V3>1.5 11 0.5951 0.8883

6) V1<1.5 6 0.2048 0.8830 \*

7)  $V1 > 1.5$  5 0.3899 0.8946 \*

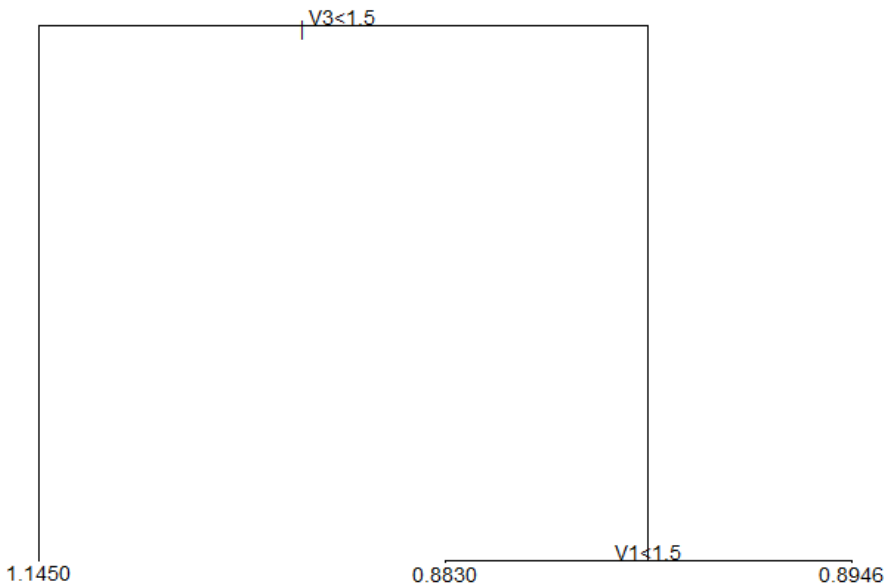


Figura 39. Representación gráfica del árbol de regresión utilizado para la estimación de combustibles de 1 HORA.

### 5.3.2. Combustibles de 10 horas.

El modelo de regresión, con el que se definió el árbol correspondiente, para la variable dependiente de combustibles de 10 horas tomó en cuenta las siguientes variables independientes *dummy*.

$tree(formula = C.10h \sim V1 + V2 + V3 + V4 + V5 + V6 + V7$

Así mismo el modelo de regresión definió que las variables cualitativas independientes más significativas para la estimación de las cargas de combustibles de 10 horas fue: "V5", correspondientes a las condiciones del Relieve del lugar.

*Variables actually used in tree construction:*

[1] "V5"

Esta resultó en una desviación media de los residuales de 4.028

*Number of terminal nodes: 2*

*Residual mean deviance: 4.028 = 64.45 / 16*

Mientras que la distribución de los mismos fue de acuerdo a la tabla siguiente

*Distribution of residuals:*

<i>Mínimo</i>	<i>1er Cuartil</i>	<i>Mediana</i>	<i>Media</i>	<i>3r Cuartil</i>	<i>Máximo</i>
-3.12	-1.394	-0.1877	-2.714e-016	1.84	3.154

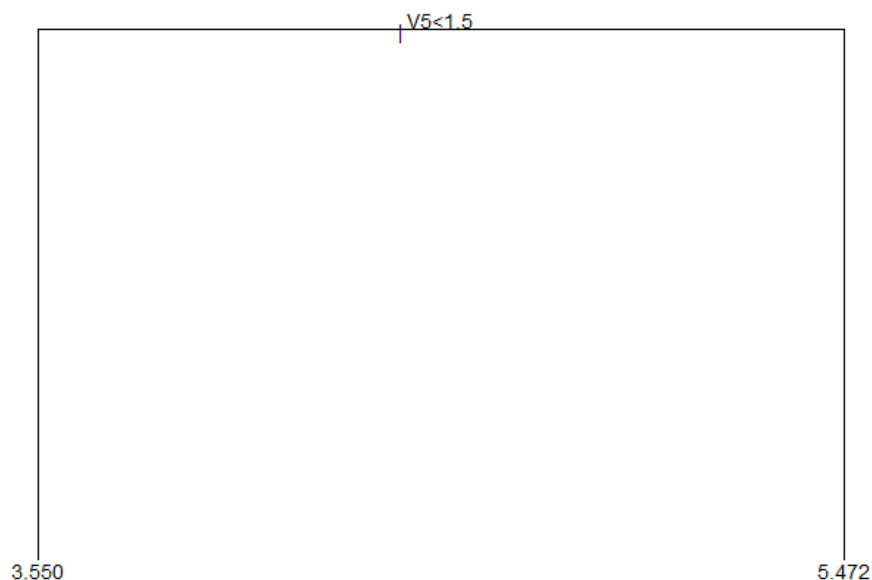
**Tabla 14. Valores de la distribución de los residuales resultantes del árbol de regresión que estima las cargas de combustibles de 10 Horas.**

La estructura del árbol de regresión se presenta a continuación, misma que define la gráfica que se presenta en la Figura 40.

1) root 18 80.24 4.298

2)  $V5 < 1.5$  11 33.51 3.550 \*

3)  $V5 > 1.5$  7 30.94 5.472 \*



**Figura 40. Representación gráfica del árbol de regresión utilizado para la estimación de combustibles de 10 HORAS.**

### **5.3.3. Combustibles de 100 horas.**

El modelo de regresión, con el que se definió el árbol correspondiente, para la variable dependiente de combustibles de 100 horas tomó en cuenta las siguientes variables *dummy* (cualitativas) independientes.

$$tree(formula = C.100h \sim V1 + V2 + V3 + V4 + V5 + V6 + V7$$

Así mismo el modelo de regresión definió que las variables cualitativas independientes más significativas para la estimación de las cargas de combustibles de 100 horas fueron: "V1" "V3", mismas que corresponde características del clima del lugar y la Topografía (Hipsometría) de la zona de estudio.

*Variables actually used in tree construction:*

[1] "V1" "V3"



Esta resultó en una desviación media de los residuales de 1.969

*Number of terminal nodes: 3*

*Residual mean deviance: 1.969 = 29.54 / 15*

Mientras que la distribución de los mismos fue de acuerdo a la tabla siguiente:

*Distribution of residuals:*

<i>Mínimo</i>	<i>1er Cuartil</i>	<i>Mediana</i>	<i>Media</i>	<i>3r Cuartil</i>	<i>Máximo</i>
-1.456	-0.8628	-0.3157	1.234e-016	0.5705	3.932

**Tabla 15. Valores de la distribución de los residuales resultantes del árbol de regresión que estima las cargas de combustibles de 100 Horas.**

La estructura del árbol de regresión se presenta a continuación, misma que define la gráfica que se presenta en la Figura 41.

1) *root 18 40.470 3.350*

2) *V1<1.5 13 34.860 3.606*

4) *V3<1.5 7 22.620 2.886 \**

5) *V3>1.5 6 4.378 4.446 \**

3) *V1>1.5 5 2.545 2.684 \**

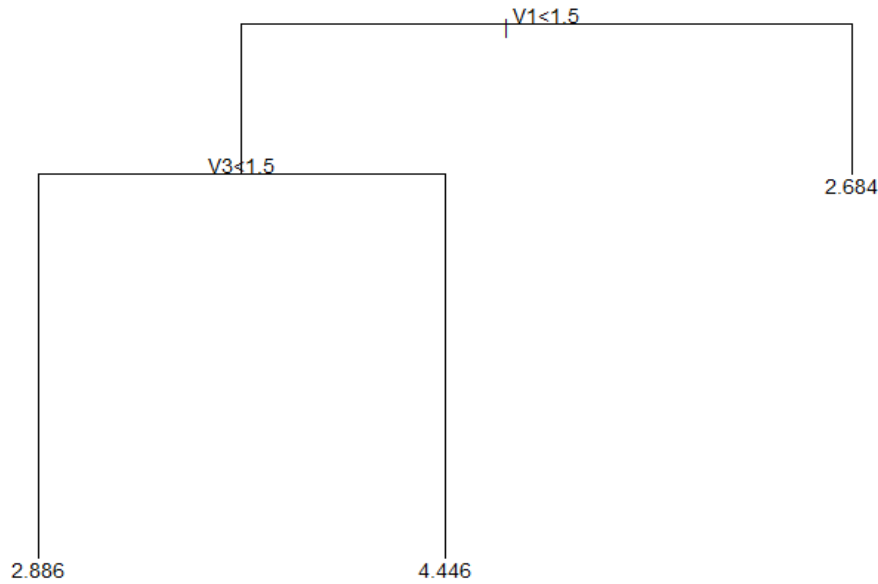


Figura 41. Representación gráfica del árbol de regresión utilizado para la estimación de combustibles de 100 Horas.

#### 5.3.4. Combustibles de 1000 horas (firmes).

El modelo de regresión, con el que se definió el árbol correspondiente, para la variable dependiente de combustibles de 1000 horas (Firmes) tomó en cuenta las siguientes variables cualitativas independientes.

$$tree(formula = C.firmes \sim V1 + V2 + V3 + V4 + V5 + V6 + V7$$

Así mismo el modelo de regresión definió que las variables cualitativas independientes más significativas para la estimación de las cargas de combustibles de 1000 horas (Firmes) fueron: "V1" "V3", mismas que corresponde a las características del clima del lugar y la Topografía (Hipsometría) de la zona de estudio.

*Variables actually used in tree construction:*

[1] "V1" "V3"

Esta resultó en una desviación media de los residuales de 190.7

*Number of terminal nodes: 3*

*Residual mean deviance: 190.7 = 2860 / 15*

Mientras que la distribución de los mismos fue de acuerdo a la tabla siguiente:

*Distribution of residuals:*

<i>Mínimo</i>	<i>1er Cuartil</i>	<i>Mediana</i>	<i>Media</i>	<i>3r Cuartil</i>	<i>Máximo</i>
-15.33	-8.715	-1.89	-3.947e-016	6.373	30.86

**Tabla 16. Valores de la distribución de los residuales resultantes del árbol de regresión que estima las cargas de combustibles de 1000 Horas (Firmes).**

La estructura del árbol de regresión se presenta a continuación, misma que define la gráfica que se presenta en la Figura 42.

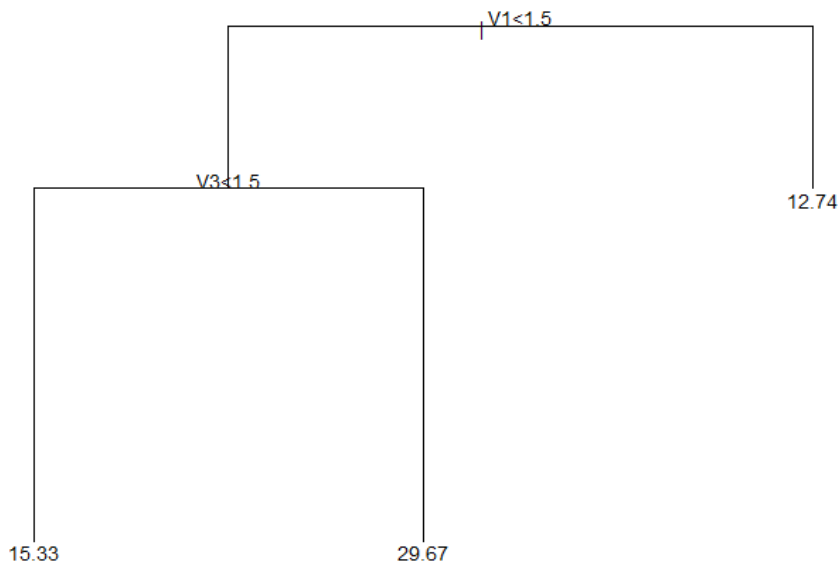
1) root 18 3831.0 19.39

2) V1<1.5 13 3007.0 21.95

4) V3<1.5 7 1495.0 15.33 \*

5) V3>1.5 6 848.7 29.67 \*

3) V1>1.5 5 516.8 12.74 \*



**Figura 42. Representación gráfica del árbol de regresión utilizado para la estimación de combustibles de 1000 HORAS (Firmes).**

### **5.3.5. Combustibles de 1000 horas (podridos).**

El modelo de regresión, con el que se definió el árbol correspondiente, para la variable dependiente de combustibles de 1000 horas (podridos) tomó en cuenta las siguientes variables cualitativas independientes.

*tree(formula = C.podridos ~ V1 + V2 + V3 + V4 + V5 + V6 + V7*

Así mismo el modelo de regresión definió que las variables cualitativas independientes más significativas para la estimación de las cargas de combustibles de 1000 horas (Podridos) fueron: "V3" "V1", mismas que corresponde a la Topografía (Hipsometría) de la zona de estudio y características del clima del lugar.

*Variables actually used in tree construction:*

[1] "V3" "V1"

Estas resultaron en una desviación media de los residuales de 371.5

*Number of terminal nodes: 3*

*Residual mean deviance: 371.5 = 5573 / 15*

Mientras que la distribución de los mismos fue de acuerdo a la tabla siguiente:

*Distribution of residuals:*

<i>Mínimo</i>	<i>1er Cuartil</i>	<i>Mediana</i>	<i>Media</i>	<i>3r Cuartil</i>	<i>Máximo</i>
-15.06	-10.77	-4.942	-7.895e-016	6.308	62.23

**Tabla 17. Valores de la distribución de los residuales resultantes del árbol de regresión que estima las cargas de combustibles de 1000 Horas (podridos).**

La estructura del árbol de regresión se presenta a continuación, misma que define la gráfica que se presenta en la Figura 43.

1) root 18 6572.0 12.370

2) V3<1.5 7 462.6 4.942 \*

3) V3>1.5 11 5477.0 17.100

6) V1<1.5 6 4659.0 22.370 \*

7) V1>1.5 5 451.5 10.770 \*

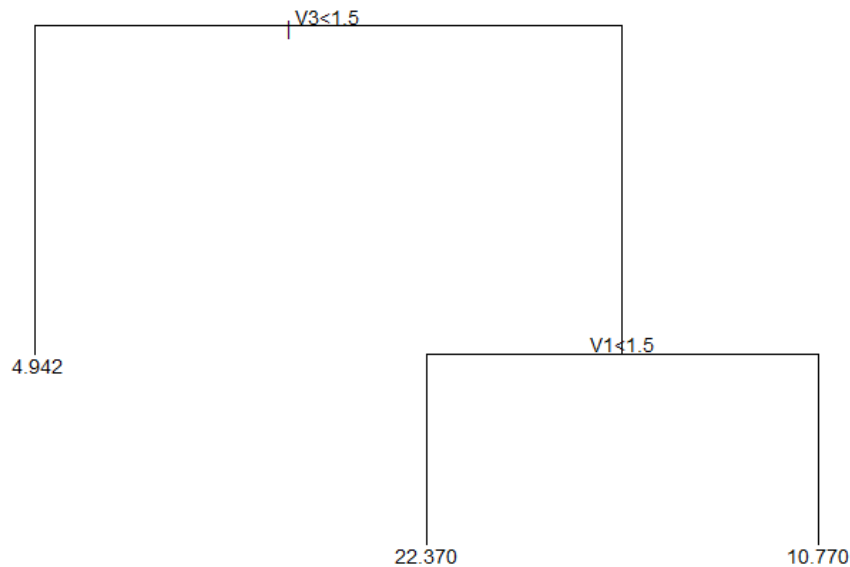


Figura 43. Representación gráfica del árbol de regresión utilizado para la estimación de combustibles de 1000 HORAS (Podridos).

### 5.3.6. Combustible forestal hojarasca.

El modelo de regresión, con el que se definió el árbol correspondiente, para la variable dependiente del combustible forestal Hojarasca, tomo en cuenta las siguientes variables cualitativas independientes.

*tree(formula = Hojarasca ~ V1 + V2 + V3 + V4 + V5 + V6 + V7*

Así mismo el modelo de regresión definió que las variables cualitativas independientes más significativas para la estimación de las cargas de combustible Hojarasca fueron: "V3" "V1", mismas que corresponde a la Topografía (Hipsometría) de la zona de estudio y características del clima del lugar.

*Variables actually used in tree construction:*

[1] "V3" "V1"

Estas resultaron en una desviación media de los residuales de 3.912

*Number of terminal nodes: 3*

*Residual mean deviance: 3.912 = 58.68 / 15*

Mientras que la distribución de los mismos fue de acuerdo a la tabla siguiente:

*Distribution of residuals:*

<i>Mínimo</i>	<i>1er Cuartil</i>	<i>Mediana</i>	<i>Media</i>	<i>3r Cuartil</i>	<i>Máximo</i>
-2.648	-1.05	-0.262	-1.974e-016	0.615	5.148

**Tabla 18. Valores de la distribución de los residuales resultantes del árbol de regresión que estima las cargas de combustibles de Hojarasca.**

La estructura del árbol de regresión se presenta a continuación, misma que define la gráfica que se presenta en la Figura 44.

1) root 18 69.970 3.086

2) V3<1.5 7 32.410 2.250 \*

3) V3>1.5 11 29.560 3.618

6) V1<1.5 6 24.600 4.117 \*

7) V1>1.5 5 1.667 3.018 \*

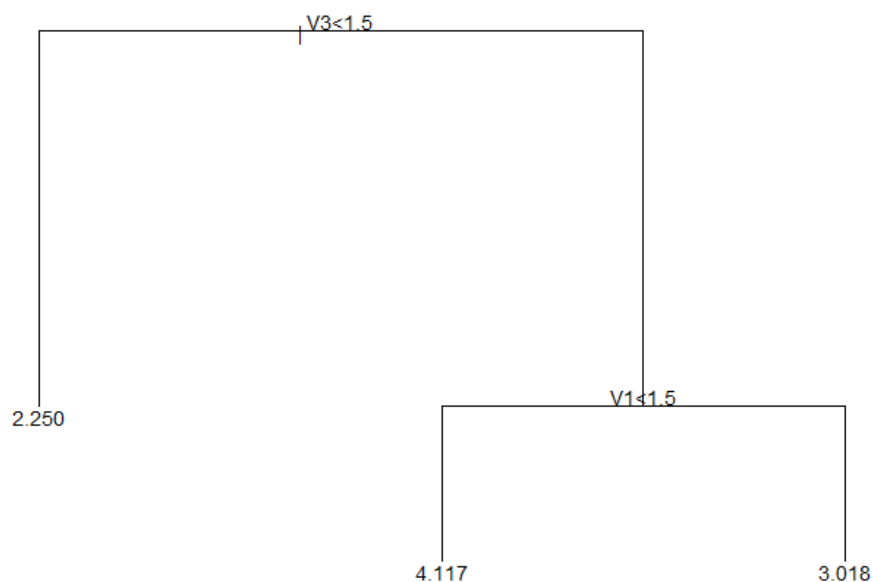


Figura 44. Representación gráfica del árbol de regresión utilizado para la estimación de combustibles de Hojarasca.

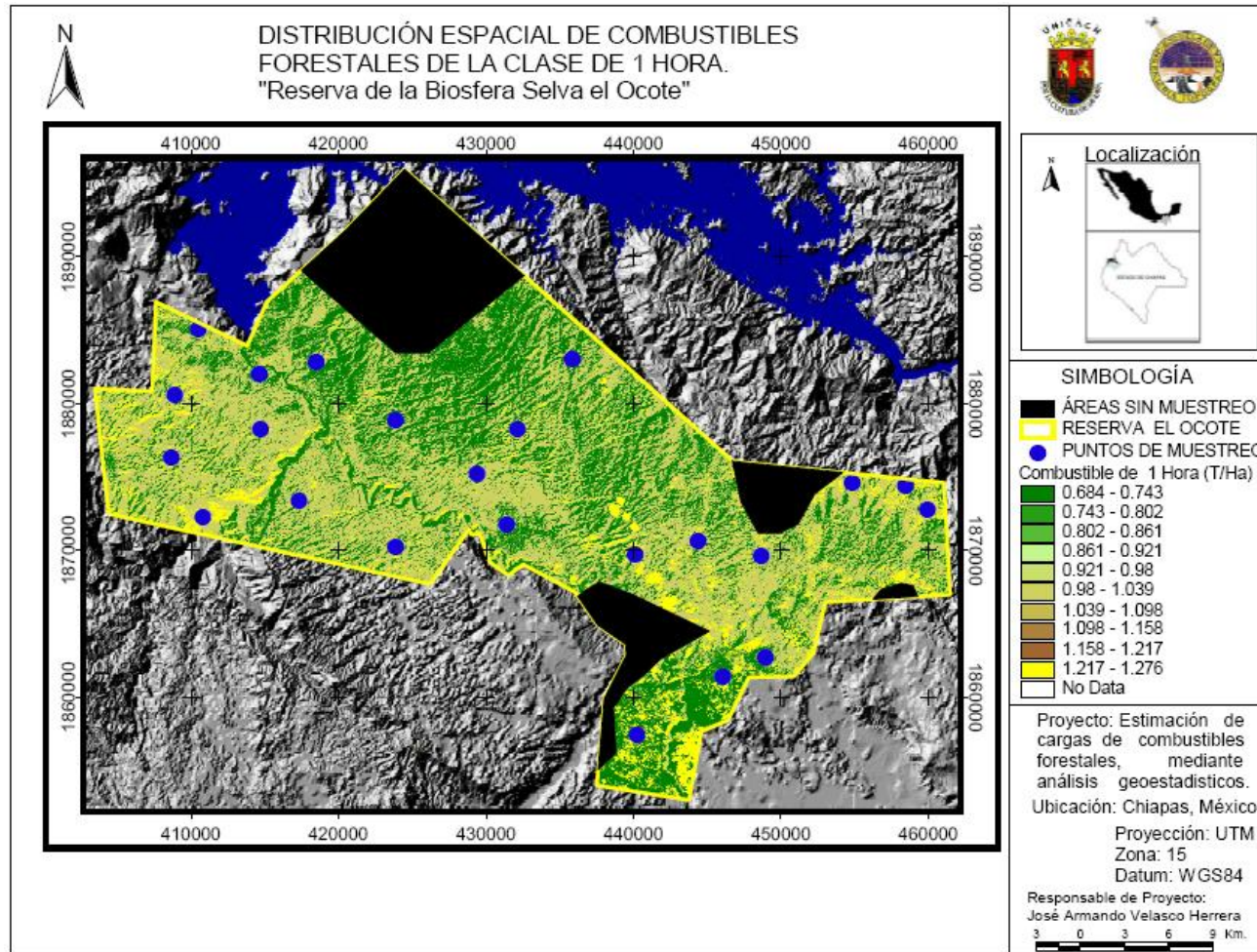
#### 5.4. Mapas temáticos de la distribución de combustibles forestales generados mediante arboles de clasificación y regresión a partir de variables numéricas.

Una vez generados los estadísticos mediante los árboles de regresión se procedió a realizar la metodología descrita en el capítulo 4.3.13, con la finalidad de obtener la representación gráfica de cada uno de estos resultados. Para ello se utilizó el SIG ArcView. El objetivo que se buscó es que toda la información estadística obtenida en el capítulo anterior pueda ser visualizada de manera fácil, rápida y en su mayoría por todo público, esto se logró mediante la asignación de colores a cada uno de los píxeles de acuerdo al valor de la predicción de las cargas de combustibles. Las superficies continuas pueden considerarse como la base para

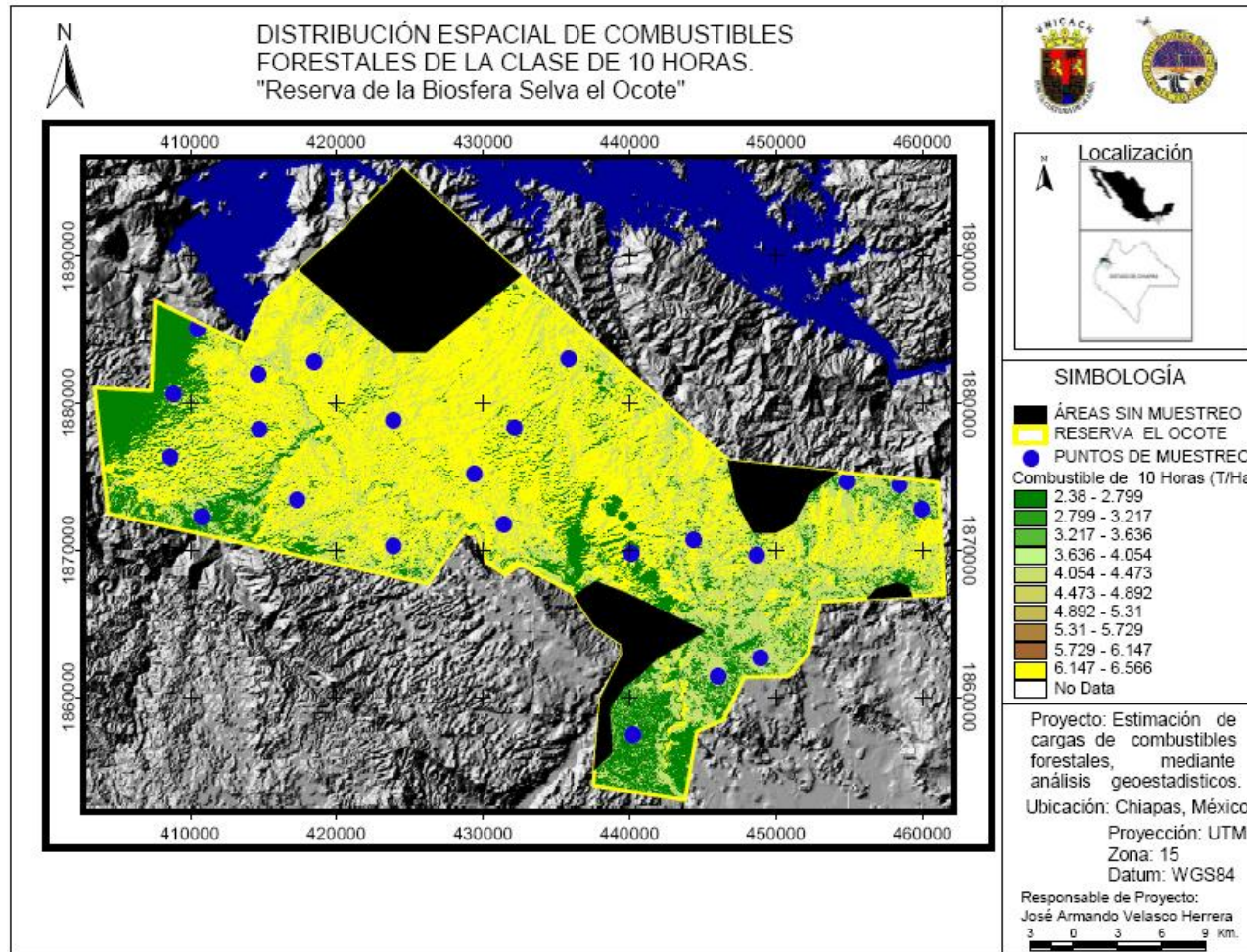


la definición de los mapas temáticos finales correspondientes a cada tipo de combustible, es importante señalar que los rangos de valores que se presentan como leyenda en cada uno de los mapas, corresponden a las clases de cargas de combustibles (Tn/Ha), y no representan un rango específico. Estos rangos pueden manipularse de acuerdo a los objetivos específicos que se persigan.

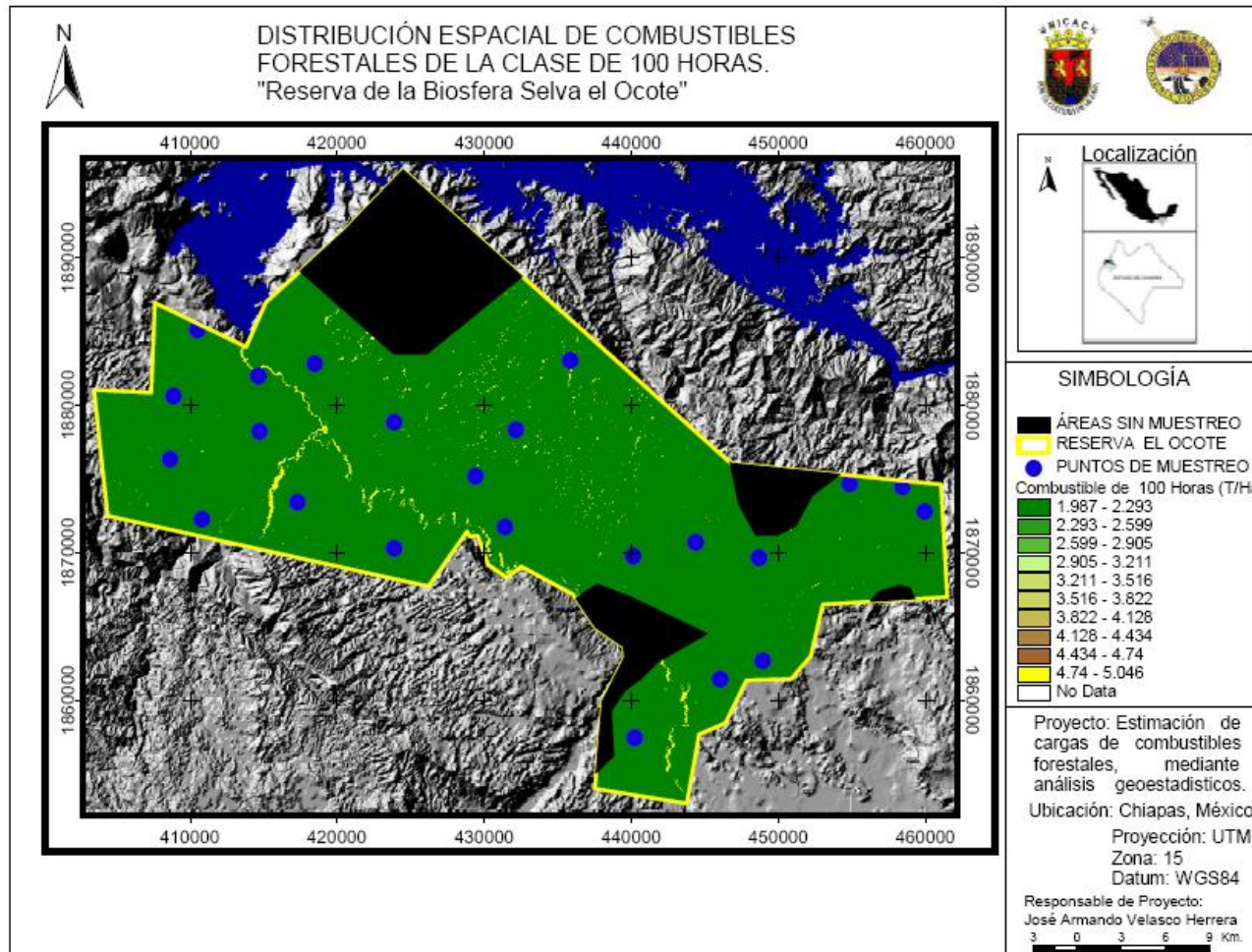
5.4.1. Figura 45. Distribución de combustibles de la clase de 1 hora.



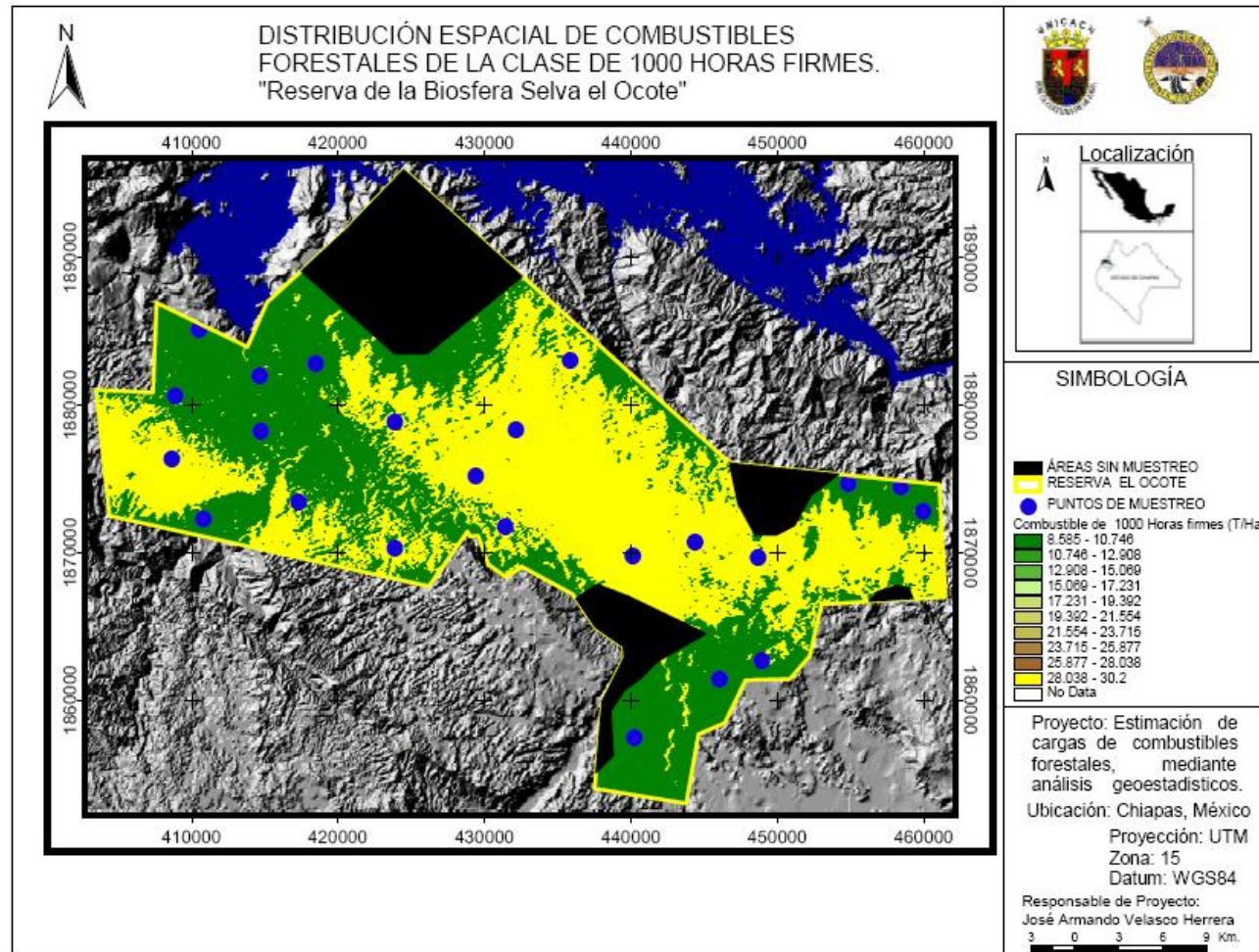
5.4.2. Figura 46. Distribución de combustibles de la clase de 10 horas.



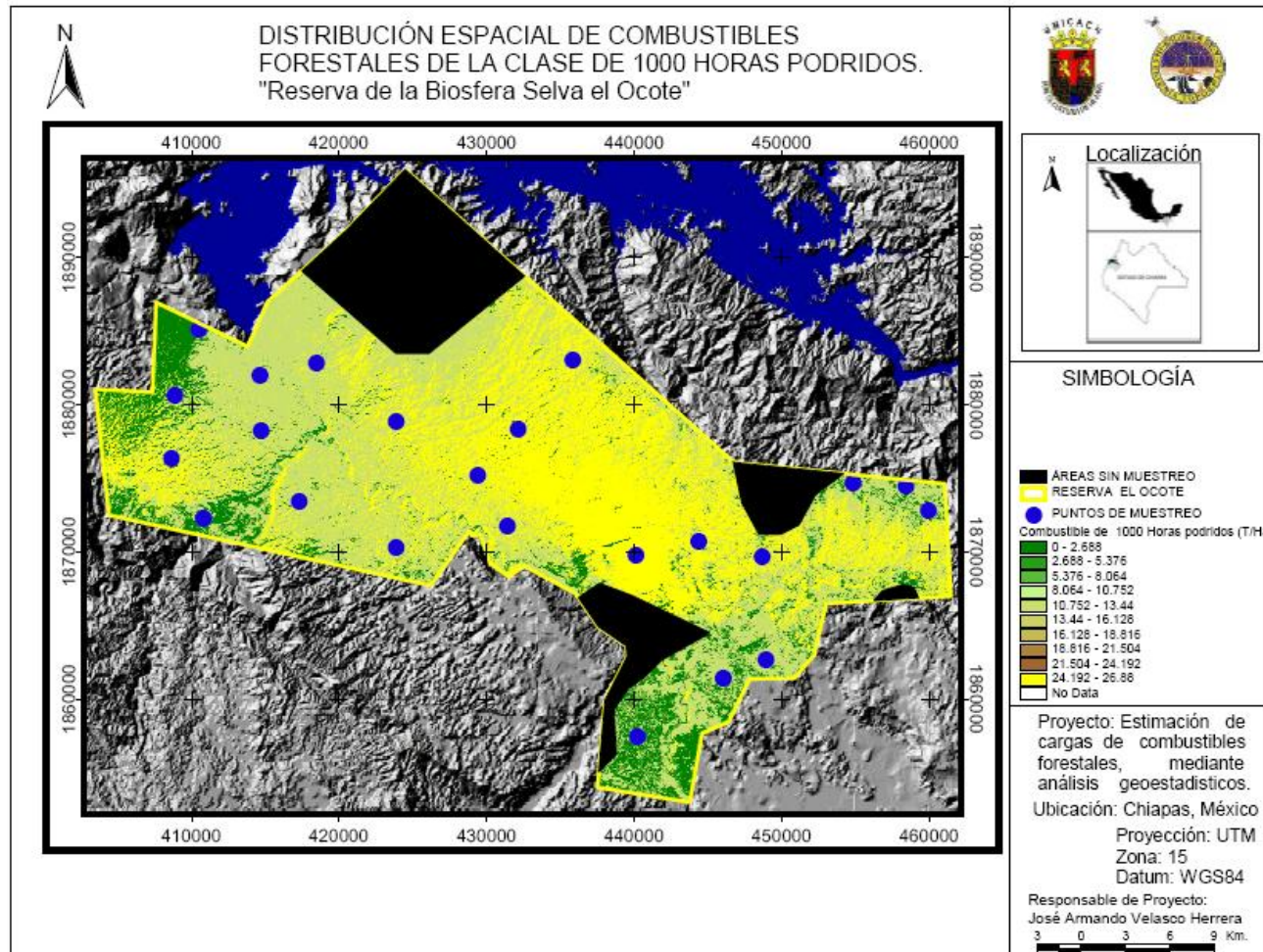
5.4.3. Figura 47. Distribución de combustibles de la clase de 100 horas.



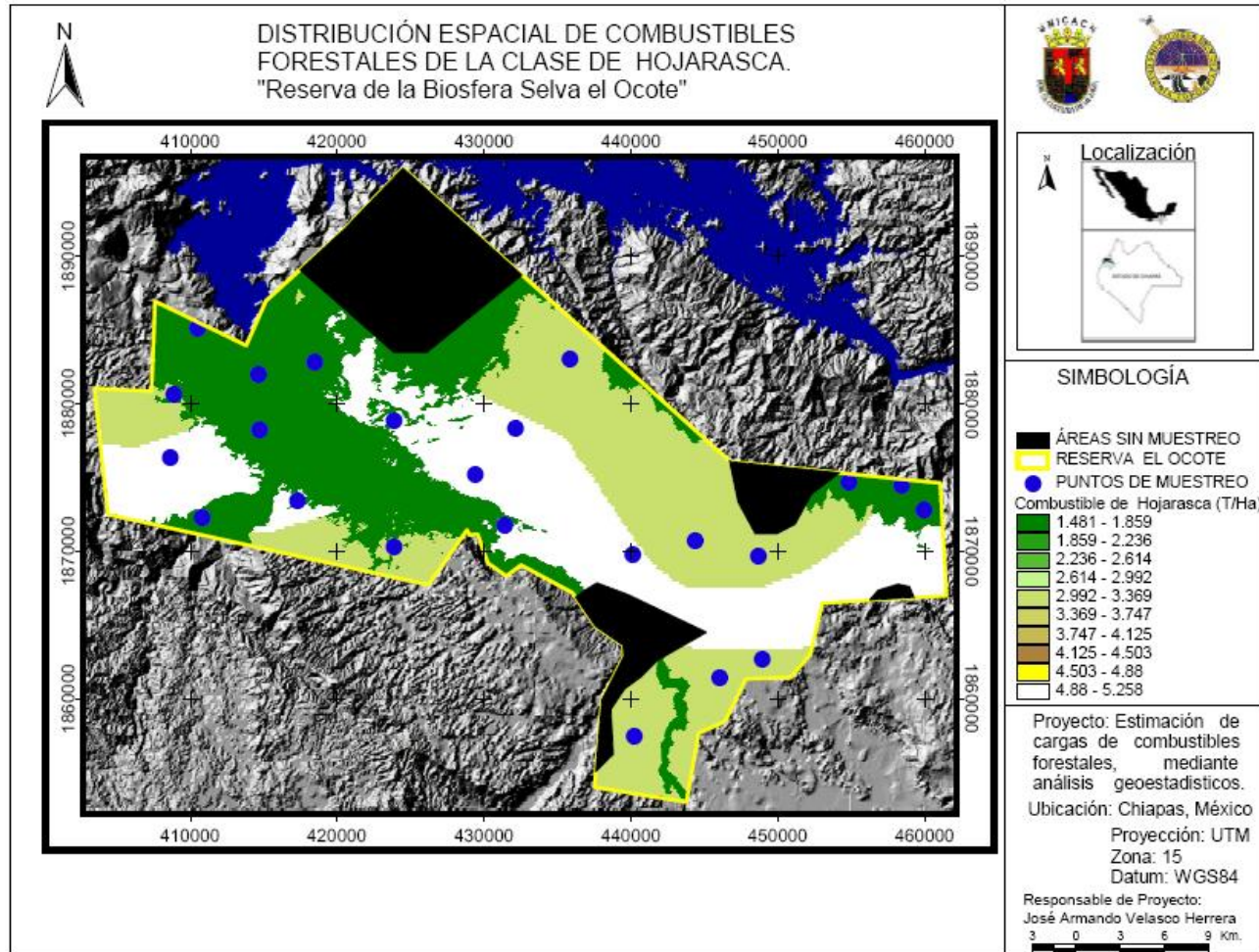
5.4.4. Figura 48. Distribución de combustibles de la clase de 1000 horas firmes.



5.4.5. Figura 49. Distribución de combustibles de la clase de 1000 horas podridos.



5.4.6. Figura 50. Distribución de combustibles de la clase de hojarasca.



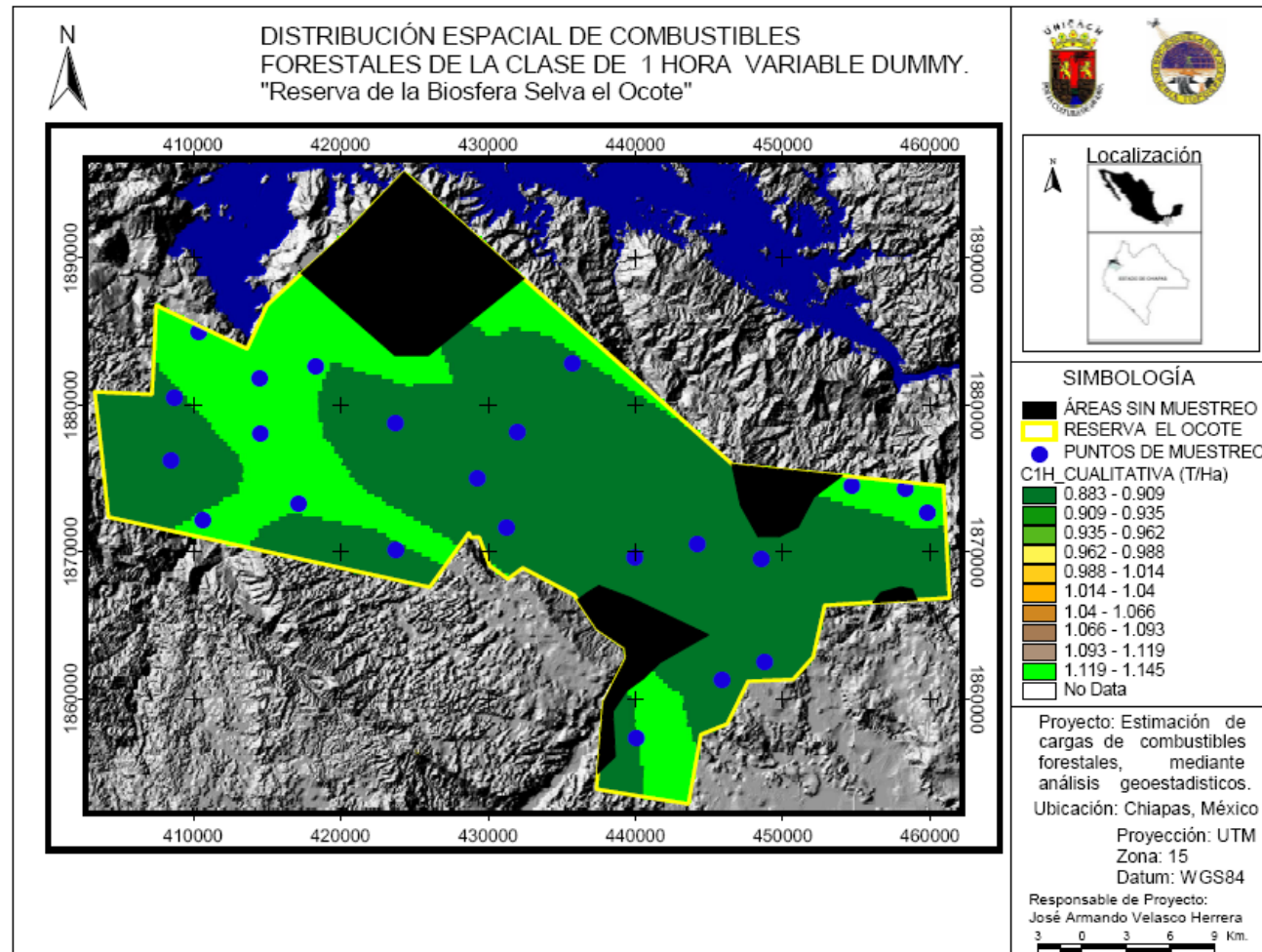
### **5.5. Mapas temáticos de la distribución de combustibles forestales generados mediante arboles de clasificación y regresión a partir de variables cualitativas (*dummy*).**

Los valores estadísticos generados mediante los árboles de regresión, permitió generar mapas mediante el procedimiento descrito en el capítulo **4.3.13**, lo que se busca con ello es obtener una representación de la información numérica, transformada a visualizaciones gráficas, lo que permite una interpretación de los resultados por una gran mayoría de usuarios que no necesariamente necesitan ser expertos en cuestiones estadísticas.

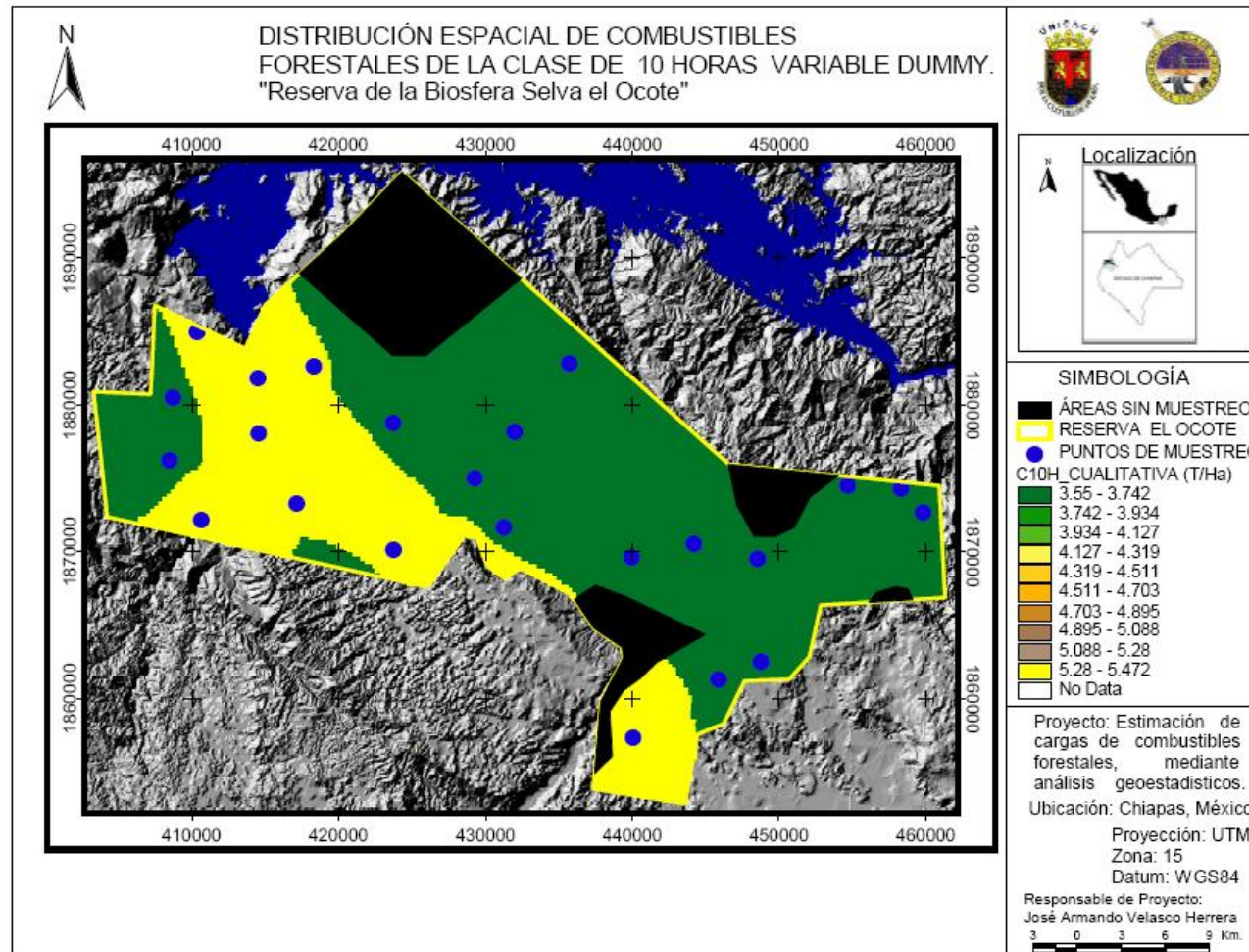
Al igual que los mapas generados mediante la información contenida en las variables numéricas, los mapas producto de la información de variables *dummy*, los cuales se representan en rangos de valores en cada uno de los mapas, corresponden a las clases de cargas de combustibles (Tn/Ha), y no representan un rango específico, pueden ser manipulables de acuerdo a objetivos específicos, lo que debe entenderse como una ventaja el ser generados mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG).



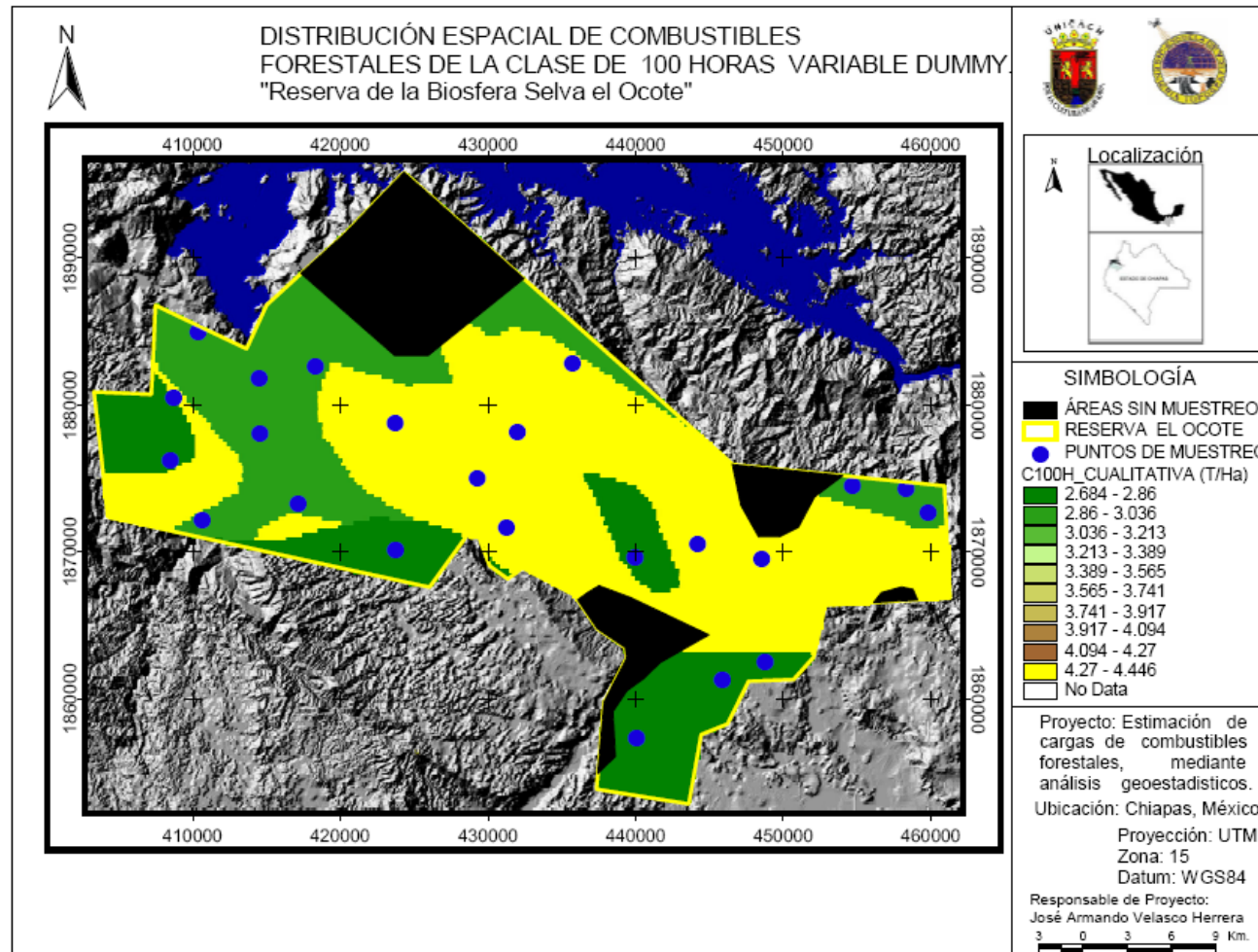
5.5.1. Figura 51. Distribución de combustibles de la clase de 1 hora.



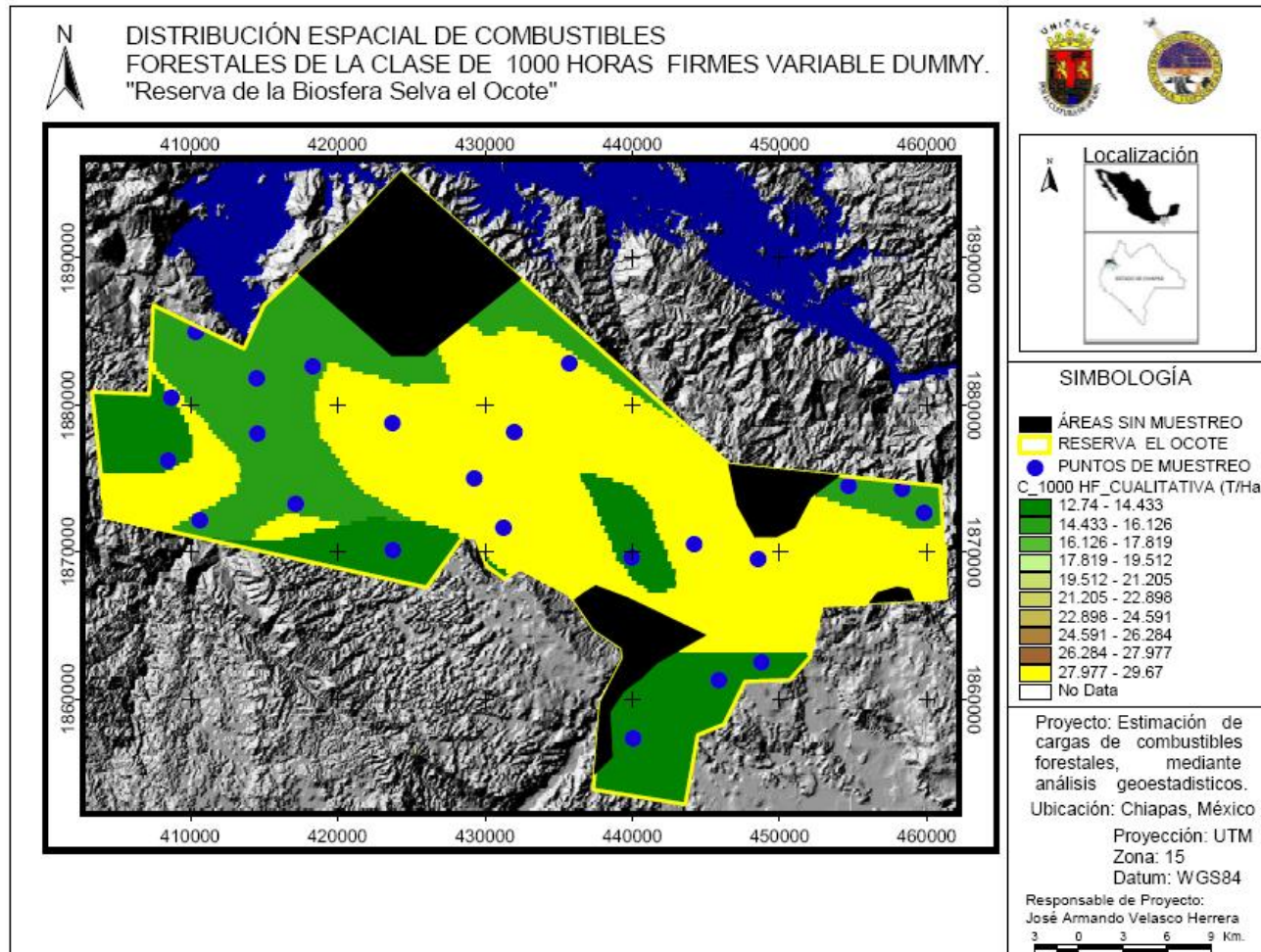
5.5.2. Figura 52. Distribución de combustibles de la clase de 10 horas.



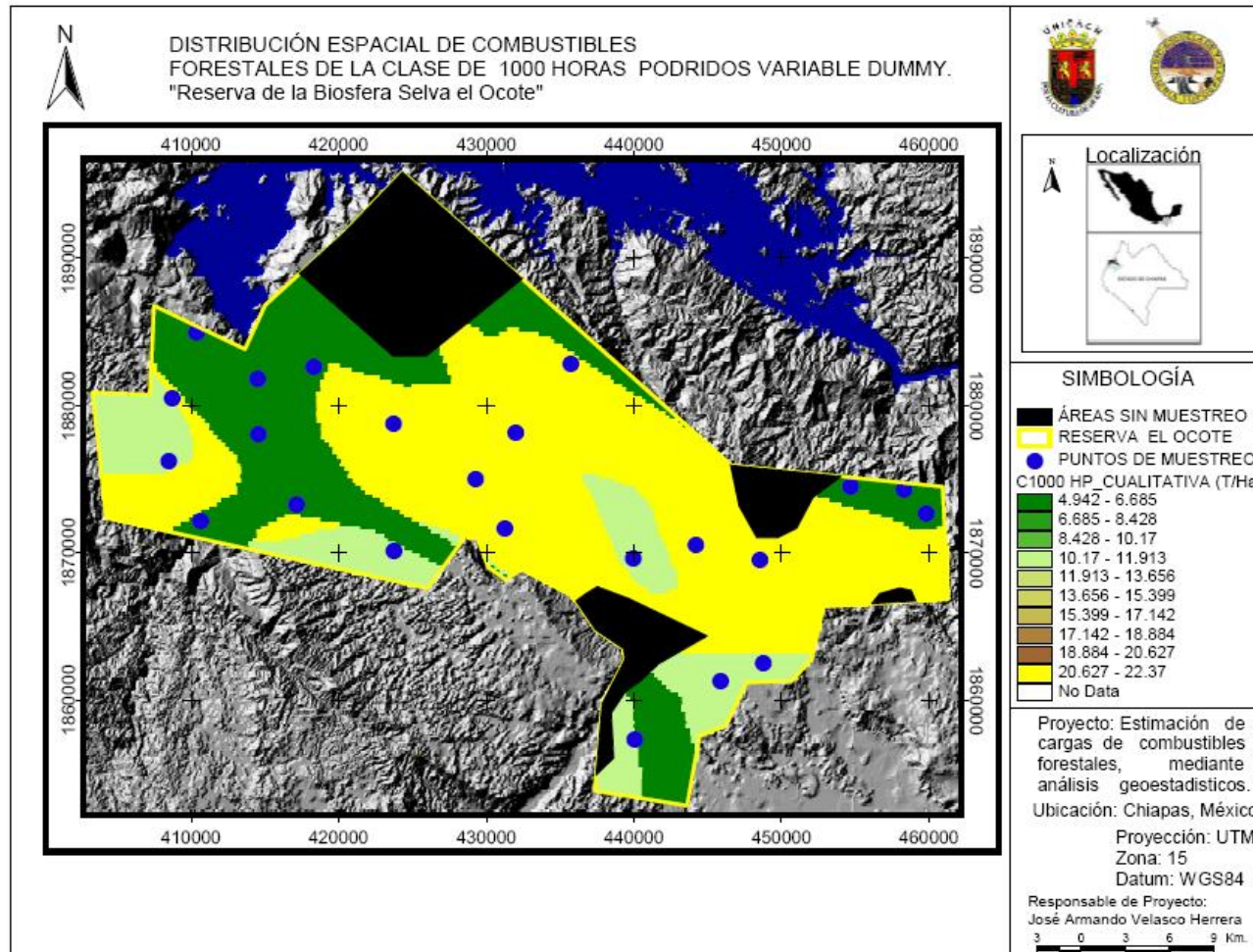
5.5.3. Figura 53. Distribución de combustibles de la clase de 100 horas.



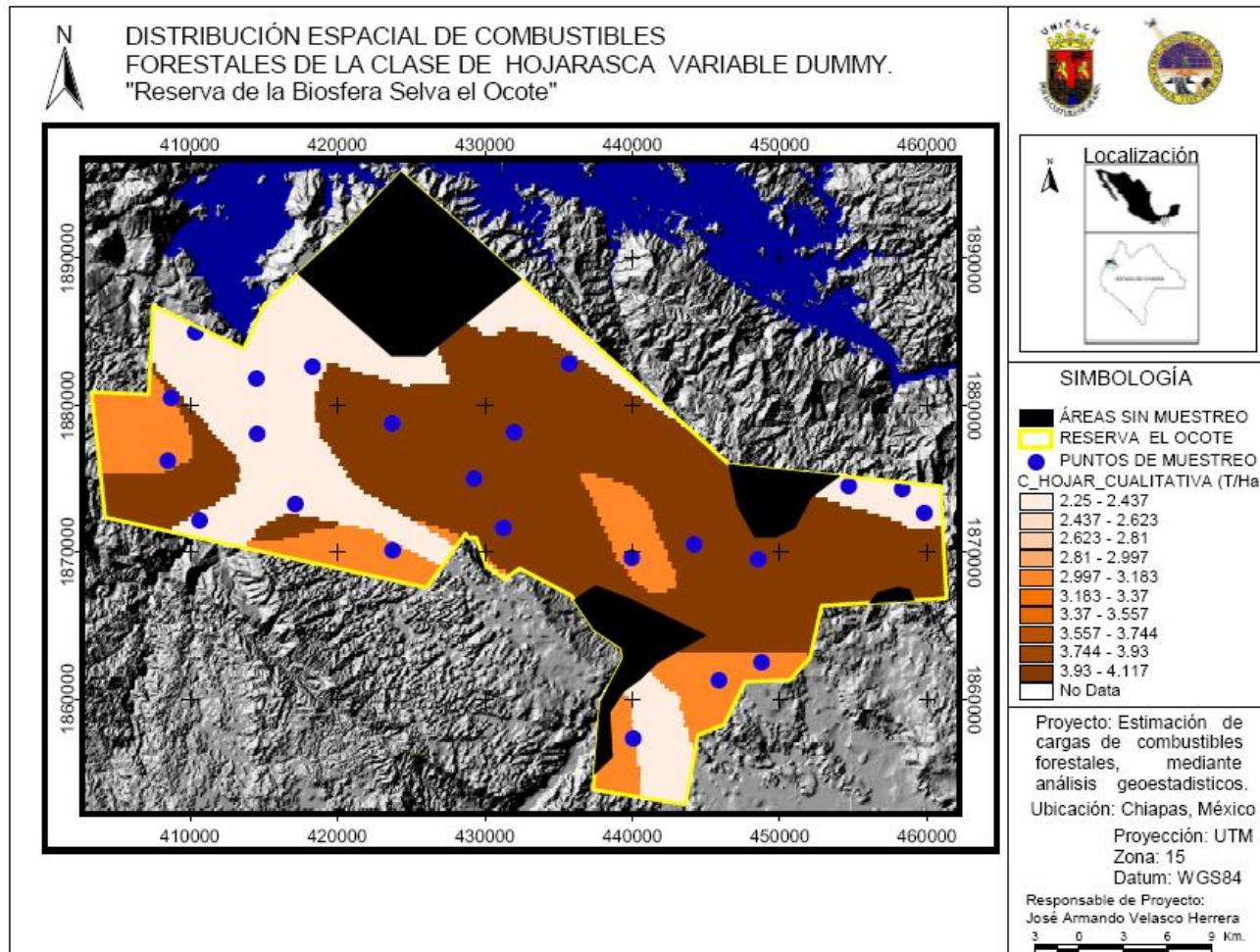
5.5.4. Figura 54. de combustibles de la clase de 1000 horas firmes.



5.5.5. Figura 55. Distribución de combustibles de la clase de 1000 horas podridos.



5.5.6. Figura 56. Distribución de combustibles de la clase de hojarasca.



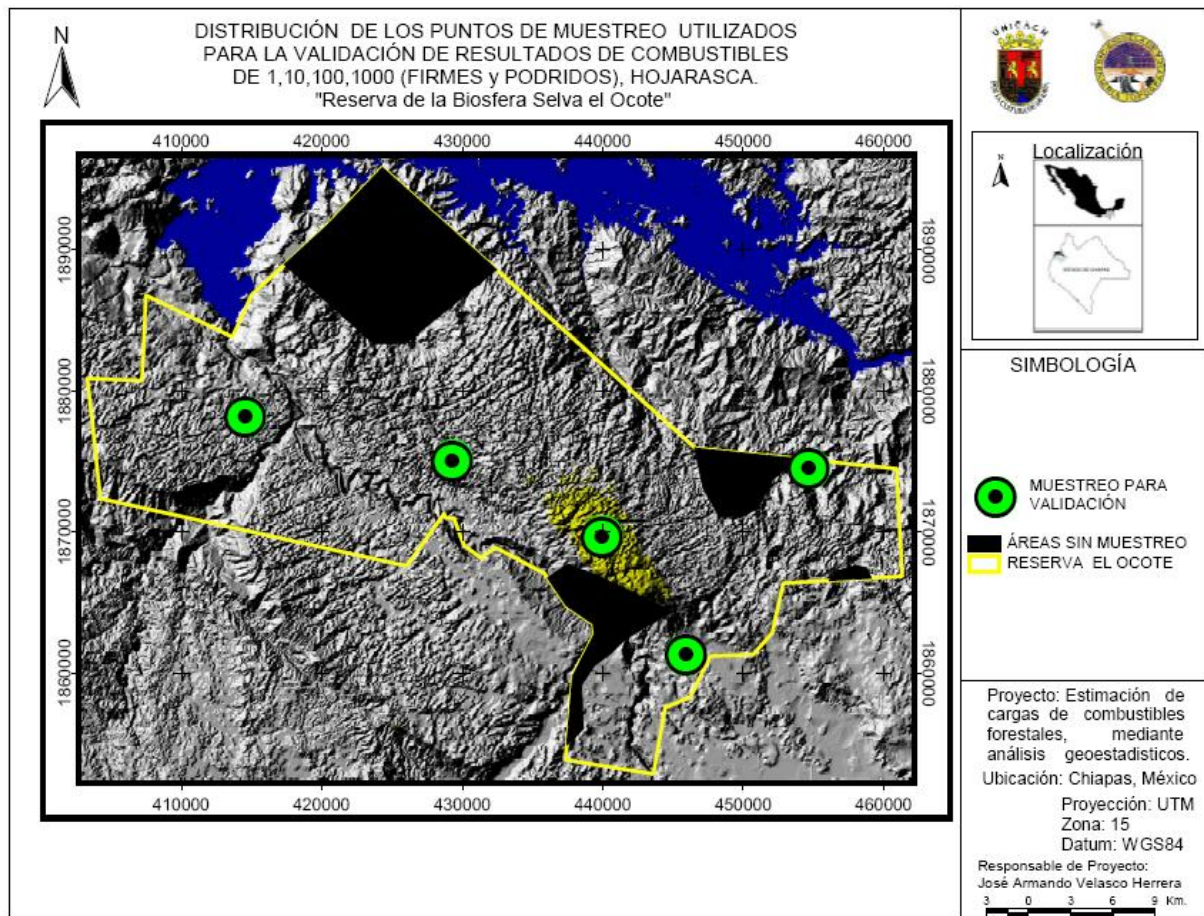
## 5.6. Validación de resultados.

La validación de resultados obtenidos mediante los procesos con árboles de regresión tanto para las variables Numéricas como para las variables Cualitativas se realizó obteniendo el Cuadrado Medio del Error de cinco puntos de muestreo, mismos que tienen el identificador 26, 27, 101, 61, 1; y cuyos pesos de combustibles muestreados y procesados en laboratorio se muestran en la Figura siguiente

X_COORD	Y_COORD	NUM_PUNT	ELEV	C_1H	C_10H	C_100H	C_FIRMES	C_PODRIDO	HOJARASCA
454803.00000	1874612.00000	26	412	0.537	2.6410	2.6600	10.2530	11.5880	1.8050
414693.00000	1878225.00000	27	599	0.895	4.1360	3.9550	10.2190	12.4020	4.4690
429396.00000	1875176.00000	101	839	0.610	3.1880	3.6520	76.0990	17.9390	4.8400
440104.00000	1869785.00000	61	1382	0.891	1.0020	2.8770	40.5100	6.5380	0.3980
446018.00000	1861403.00000	1	878	1.205	1.5040	2.1250	15.8440	7.6050	1.9840

**Figura 57. Puntos de muestreo utilizados para la validación de los resultados obtenidos mediante árboles de regresión, utilizando variables Numéricas y Cualitativas (*dummy*).**

La distribución de estos puntos de muestreo, fueron escogidas de manera aleatoria buscando que quedaran distribuidas con la mayor cobertura de la zona de estudio, es pertinente aclarar que estos puntos fueron excluidos de las muestras utilizadas para modelar los arboles de regresión y generar los mapas de superficies continuas, toda vez que se había contemplado desde el inicio realizar una validación de los resultados a partir de puntos muestreados, la distribución final de estos puntos utilizados para la validación de resultados se muestran en la Figura siguiente.



**Figura 58. Distribución espacial de los Puntos de muestreo utilizados para la validación de los resultados obtenidos mediante los árboles de regresión, utilizando variables Numéricas y Cualitativas (*dummy*).**

El procesamiento de la información para la validación de los resultados se realizó siguiendo los procedimientos que a continuación se describen. A partir del valor estimado modelando las **variables numéricas y cualitativas** con los árboles de regresión (grid tree), extraído del mapa mediante la extensión GredGridValue, cuya metodología para la extracción de valores de una capa raster mediante un SIG se describe el Capítulo 4.3.12, y el valor estimado físicamente en campo de cada uno de estos puntos elegidos para la validación, se determinó la diferencia entre estos valores en cada uno de los puntos muestreados en campo y procesados en



laboratorio, el resultado de cada punto fue elevado al cuadrado, el promedio de las sumas de estas diferencias determinó el cuadrado medio del error. El procedimiento descrito fue repetido para cada tipo de combustible y para las variables numéricas y cualitativas, obteniéndose los siguientes valores que a continuación se muestran:

		GRID TREE		
num-punto	C_1H	C_ESTIMADO	DIFERENCIA	CUADRADO
26	0.537	0.998	-0.461	0.212521
27	0.895	0.684	0.211	0.044521
101	0.610	0.998	-0.388	0.150544
61	0.891	0.998	-0.107	0.011449
1	1.205	0.684	0.521	0.271441
			CME	0.14

**Figura 59. Cuadrado medio del error para combustibles de 1 hora (variables numéricas).**

		GRID TREE		
num-punto	C_10H	C_ESTIMADO	DIFERENCIA	CUADRADO
26	2.6410	4.260	-1.619	2.621161
27	4.1360	2.380	1.756	3.083536
101	3.1880	6.556	-3.368	11.343424
61	1.0020	2.380	-1.378	1.898884
1	1.5040	4.260	-2.756	7.595536
			CME	5.31

**Figura 60. Cuadrado medio del error para combustibles de 10 horas (variables numéricas).**

		GRID TREE		
num-punto	C_100H	C_ESTIMADO	DIFERENCIA	CUADRADO
26	2.6600	1.987	0.673	0.452929
27	3.9550	1.987	1.968	3.873024
101	3.6520	1.987	1.665	2.772225
61	2.8770	1.987	0.89	0.7921
1	2.1250	1.987	0.138	0.019044
			CME	1.58

**Figura 61. Cuadrado medio del error para combustibles de 100 horas (variables numéricas).**

		GRID TREE		
num-punto	C_1000_F	C_ESTIMADO	DIFERENCIA	CUADRADO
26	10.2530	8.585	1.668	2.782224
27	10.2190	8.585	1.634	2.669956
101	76.0990	30.200	45.899	2106.718201
61	40.5100	30.200	10.31	106.2961
1	15.8440	8.585	7.259	52.693081
			CME	454.23

**Figura 62. Cuadrado medio del error para combustibles de 1000 horas Firmes (variables numéricas).**

		GRID TREE		
num-punto	C_1000_P	C_ESTIMADO	DIFERENCIA	CUADRADO
26	11.5880	11.0400	0.548	0.300304
27	12.4020	26.8800	-14.478	209.612484
101	17.9390	26.8800	-8.941	79.941481
61	6.5380	26.8800	-20.342	413.796964
1	7.6050	11.0400	-3.435	11.799225
			CME	143.09

**Figura 63. Cuadrado medio del error para combustibles de 1000 horas Podridos (variables numéricas).**

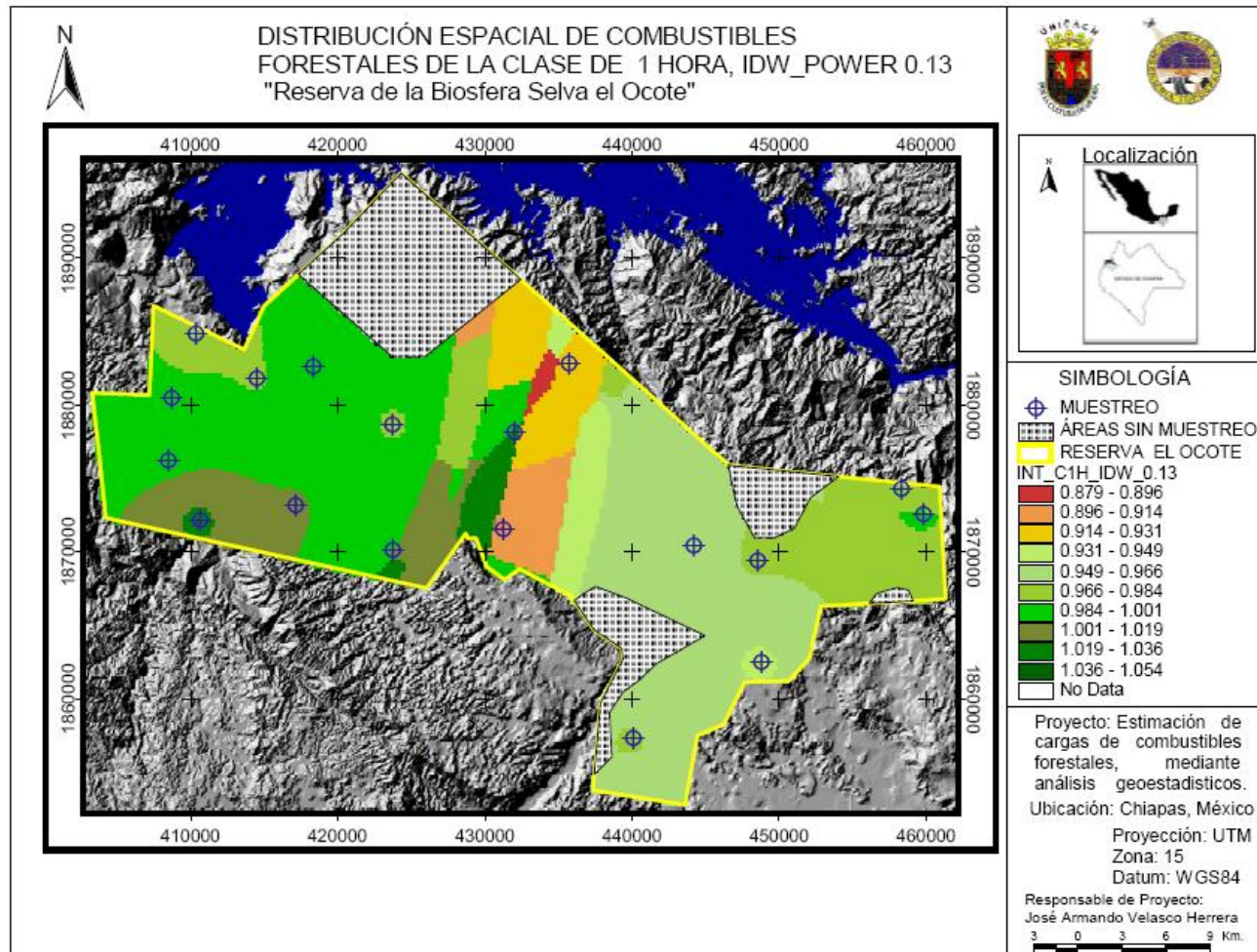
		GRID TREE		
num-punto	C_HOJAR	C_ESTIMADO	DIFERENCIA	CUADRADO
26	1.8050	1.4810	0.324	0.104976
27	4.4690	1.4810	2.988	8.928144
101	4.8400	5.2580	-0.418	0.174724
61	0.3980	5.2580	-4.86	23.6196
1	1.9840	3.1490	-1.165	1.357225
			CME	6.84

**Figura 64. Cuadrado medio del error para combustibles hojarasca (variables numéricas).**

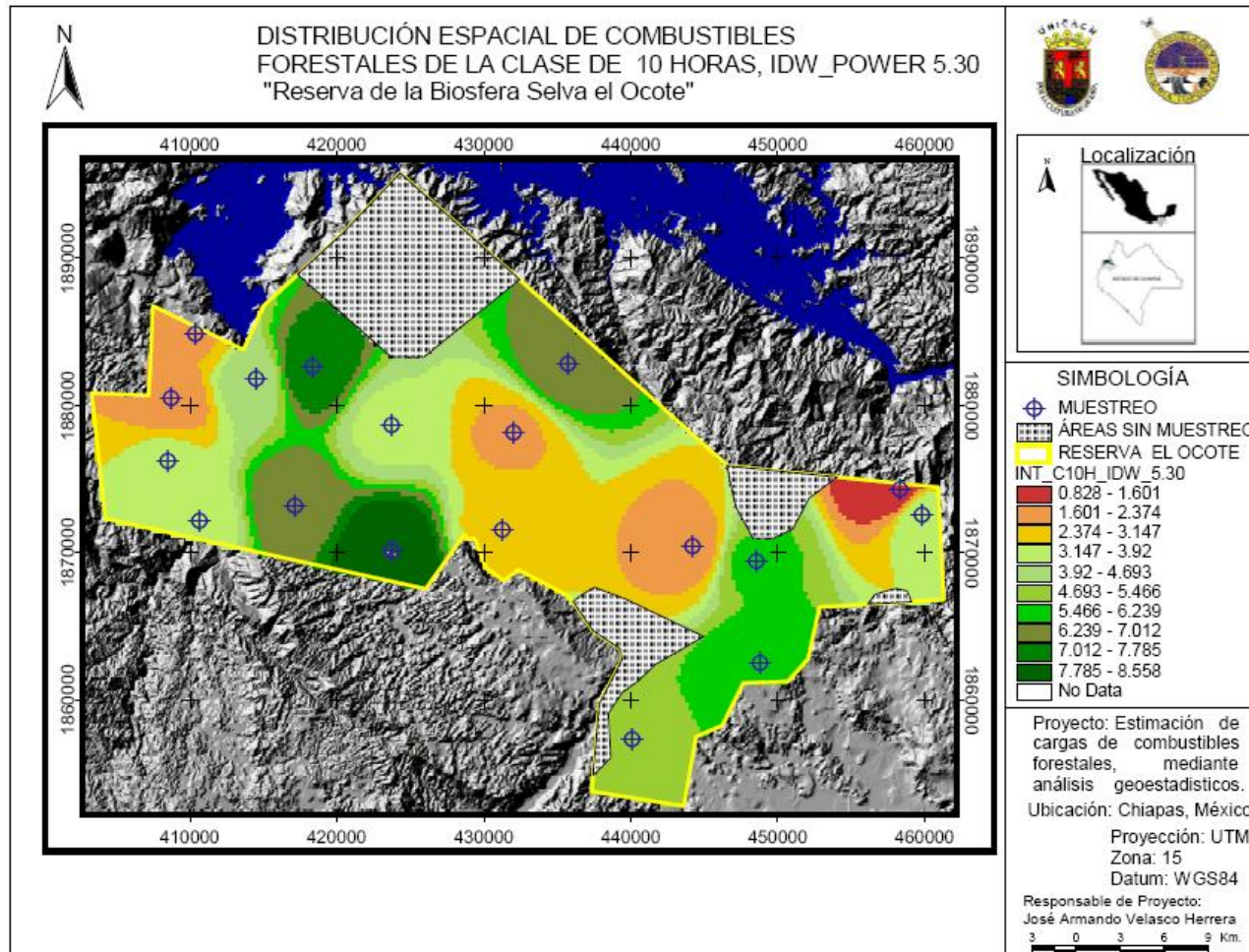
Los puntos de muestreo utilizados en los arboles de regresión para la generación de los mapas de superficies continuas, fueron sometidos a procesos de interpolación utilizando el inverso de la distancia al cuadrado (IDW) y a cada proceso de interpolación utilizando diversas potencias se extrajeron los valores generados por la interpolación misma, con estos valores resultantes se calcularon Cuadrados Medios de Error, hasta encontrar una potencia que permitiera igualar el CME obtenido con los arboles de regresión y las obtenidas con el IDW. Finalmente obtenidos los CME de las interpolaciones IDW, con las de los árboles de regresión y una vez que estos se igualaron o se aproximaron unos con otros, se construyeron mapas de la distribución espacial de los combustibles mediante métodos de interpolación, encontrándose las potencias idóneas para cada tipo de combustible.

### **5.7. Mapas temáticos de la distribución de combustibles forestales generados mediante el método del inverso de la distancia al cuadrado (IDW), variables numéricas.**

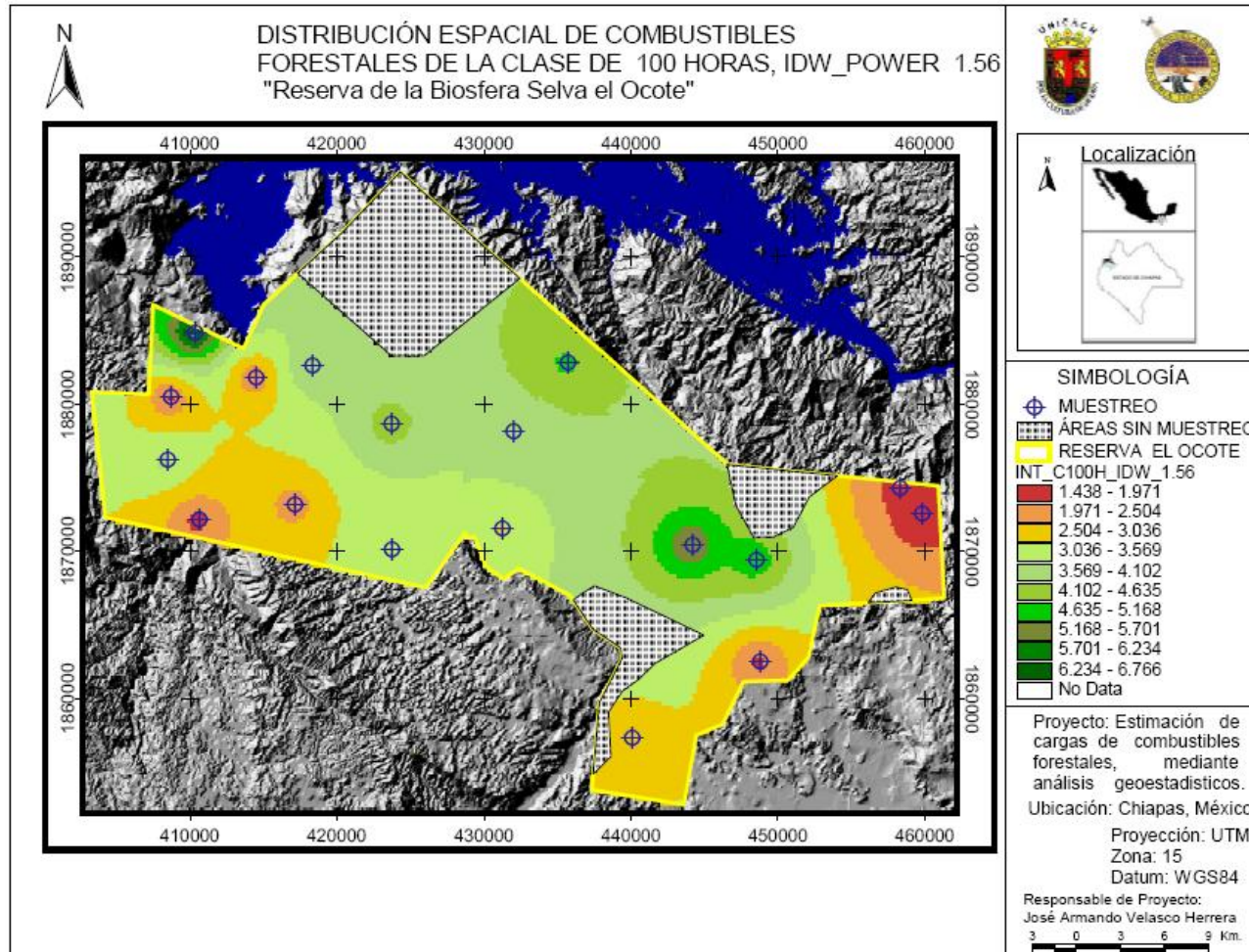
5.7.1. Figura 65. Distribución de combustibles de la clase de 1 hora.



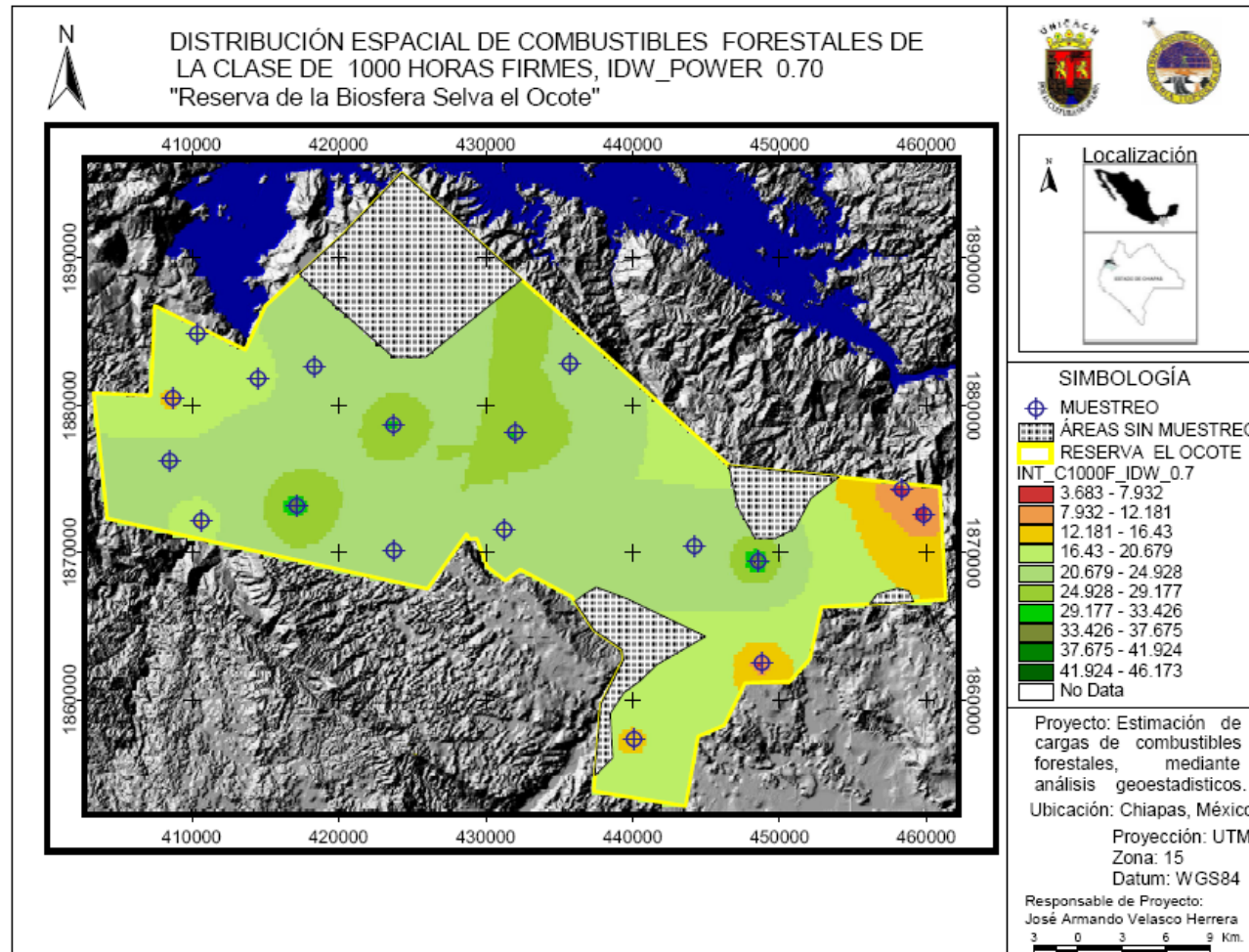
5.7.2. Figura 66. Distribución de combustibles de la clase de 10 horas.



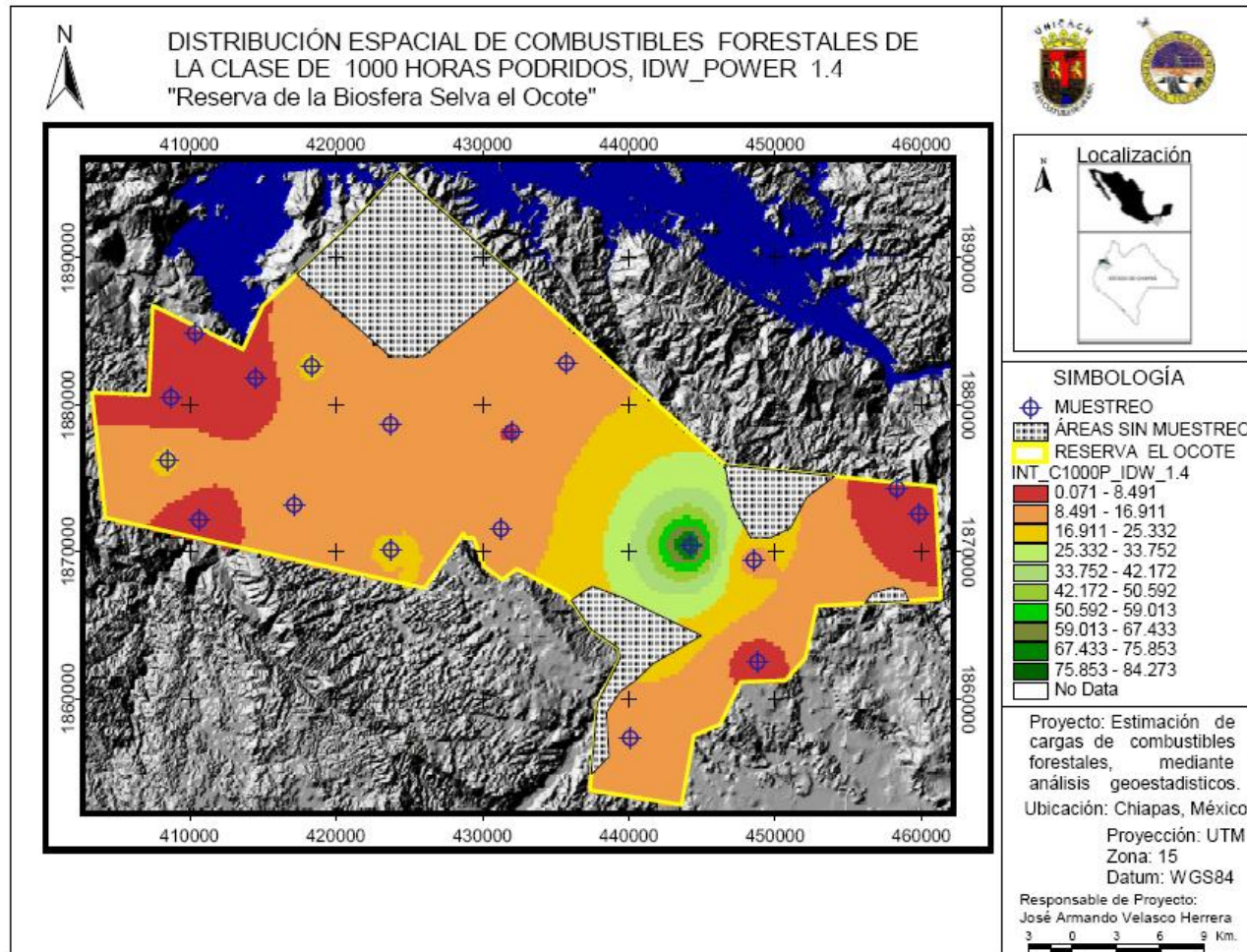
5.7.3. Figura 67. Distribución de combustibles de la clase de 100 horas.



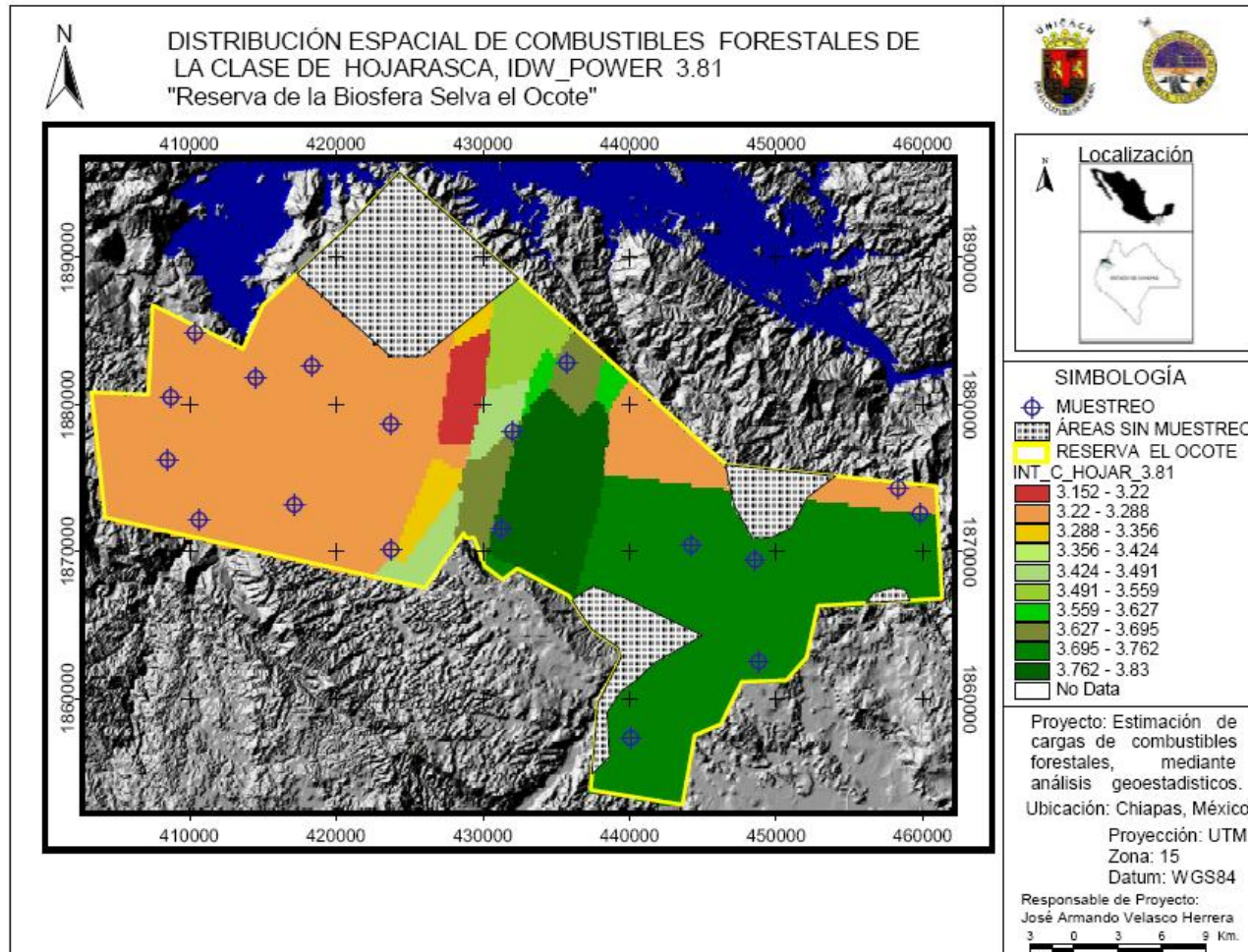
5.7.4. Figura 68. Distribución de combustibles de la clase de 1000 horas Firmes.



5.7.5. Figura 69. Distribución de combustibles de la clase 1000 horas Podridos.



5.7.6. Figura 70. Distribución de combustibles de la clase de Hojarasca.





**5.8. Mapas temáticos de la distribución de combustibles forestales generados mediante el método del inverso de la distancia al cuadrado (IDW), variables cualitativas (variables *dummy*).**

		GRED_DUMMY			
Num_punto	C-1h	1H_D	DIFERENCIA	CUADRADO	
26	0.537	1.145	-0.608	0.369664	
27	0.895	1.145	-0.25	0.0625	
101	0.61	0.883	-0.273	0.074529	
61	0.891	0.895	-0.004	0.000016	
1	1.205	0.895	0.31	0.0961	
					0.1205618

**Figura 71. Cuadrado medio del error para combustibles de 1 hora (variables *dummy*).**

		GRED_DUMMY			
Num_punto	C-10h	10H_D	DIFERENCIA	CUADRADO	
26	2.641	3.55	-0.909	0.826281	
27	4.136	5.472	-1.336	1.784896	
101	3.188	4.446	-1.258	1.582564	
61	1.002	4.564	-3.562	12.687844	
1	1.504	3.684	-2.18	4.7524	
					4.326797

**Figura 72. Cuadrado medio del error para combustibles de 10 horas (variables *dummy*).**

		GRED_DUMMY			
Num_punto	C-100h	100H_D	DIFERENCIA	CUADRADO	
26	2.66	2.886	-0.226	0.051076	
27	3.955	2.886	1.069	1.142761	
101	3.652	4.446	-0.794	0.630436	
61	2.877	2.684	0.193	0.037249	
1	2.125	2.684	-0.559	0.312481	
					0.4348006

**Figura 73. Cuadrado medio del error para combustibles de 100 horas (variables *dummy*).**

		GRED_DUMMY			
Num_punto	C-firmes	1000F_D	DIFERENCIA	CUADRADO	
26	10.253	4.942	5.311	28.206721	
27	10.219	4.942	5.277	27.846729	
101	76.099	22.37	53.729	2886.80544	
61	40.51	10.77	29.74	884.4676	
1	15.844	10.77	5.074	25.745476	
					770.614393

**Figura 74. Cuadrado medio del error para combustibles de 1000 horas Firmes (variables *dummy*).**

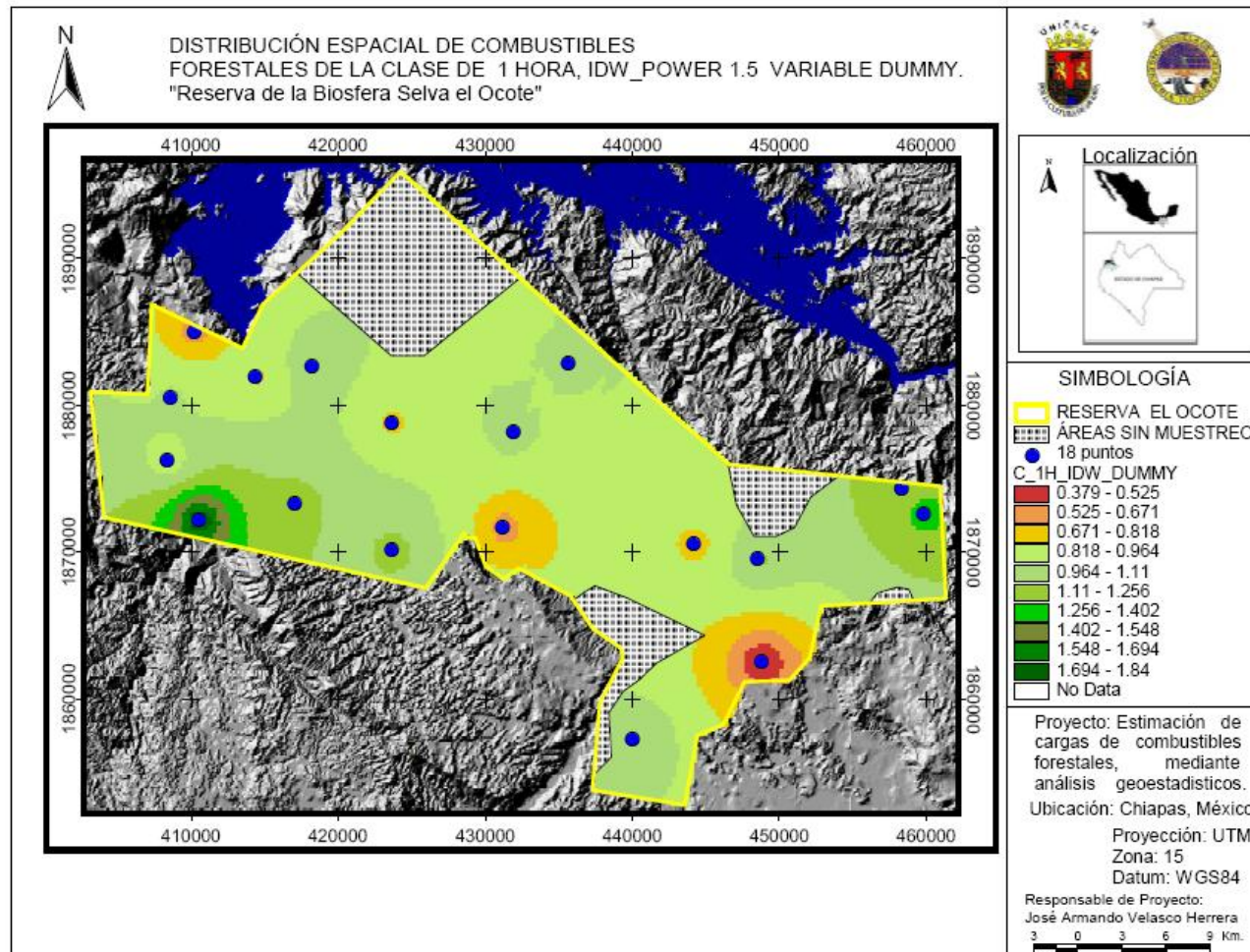
Num_punto	C-podridos	GRED_DUMMY		CUADRADO
		1000P_D	DIFERENCIA	
26	11.588	15.33	-3.742	14.002564
27	12.402	15.33	-2.928	8.573184
101	17.939	29.67	-11.731	137.616361
61	6.538	12.74	-6.202	38.464804
1	7.605	12.74	-5.135	26.368225
				45.0050276

**Figura 75. Cuadrado medio del error para combustibles de 1000 horas Podridos (variables *dummy*).**

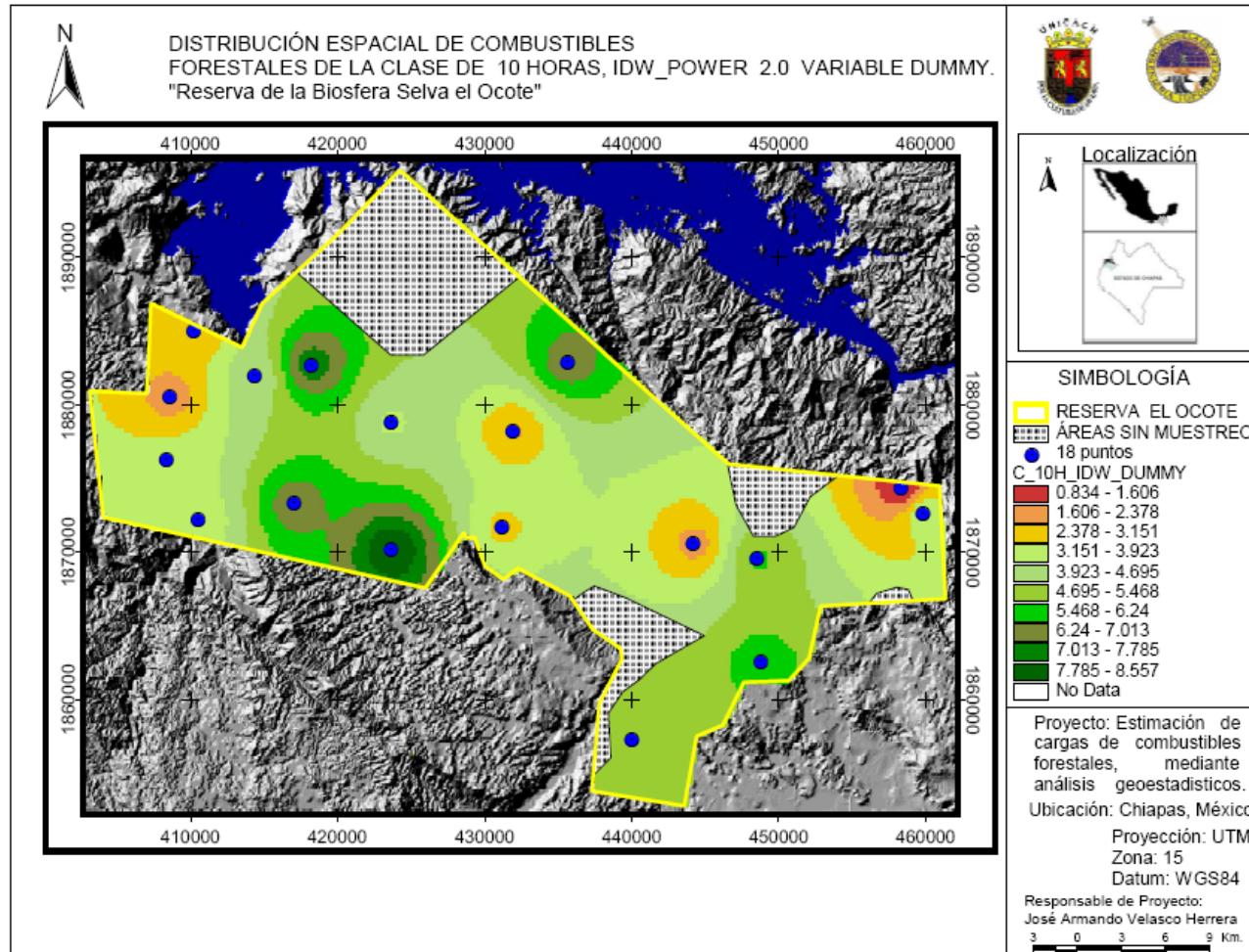
Num_punto	Hojarasca	GRED_DUMMY		CUADRADO
		C_HOJ_D	DIFERENCIA	
26	1.805	2.25	-0.445	0.198025
27	4.469	2.25	2.219	4.923961
101	4.84	4.117	0.723	0.522729
61	0.398	3.018	-2.62	6.8644
1	1.984	3.018	-1.034	1.069156
				2.7156542

**Figura 76. Cuadrado medio del error para combustibles hojarasca (variables *dummy*).**

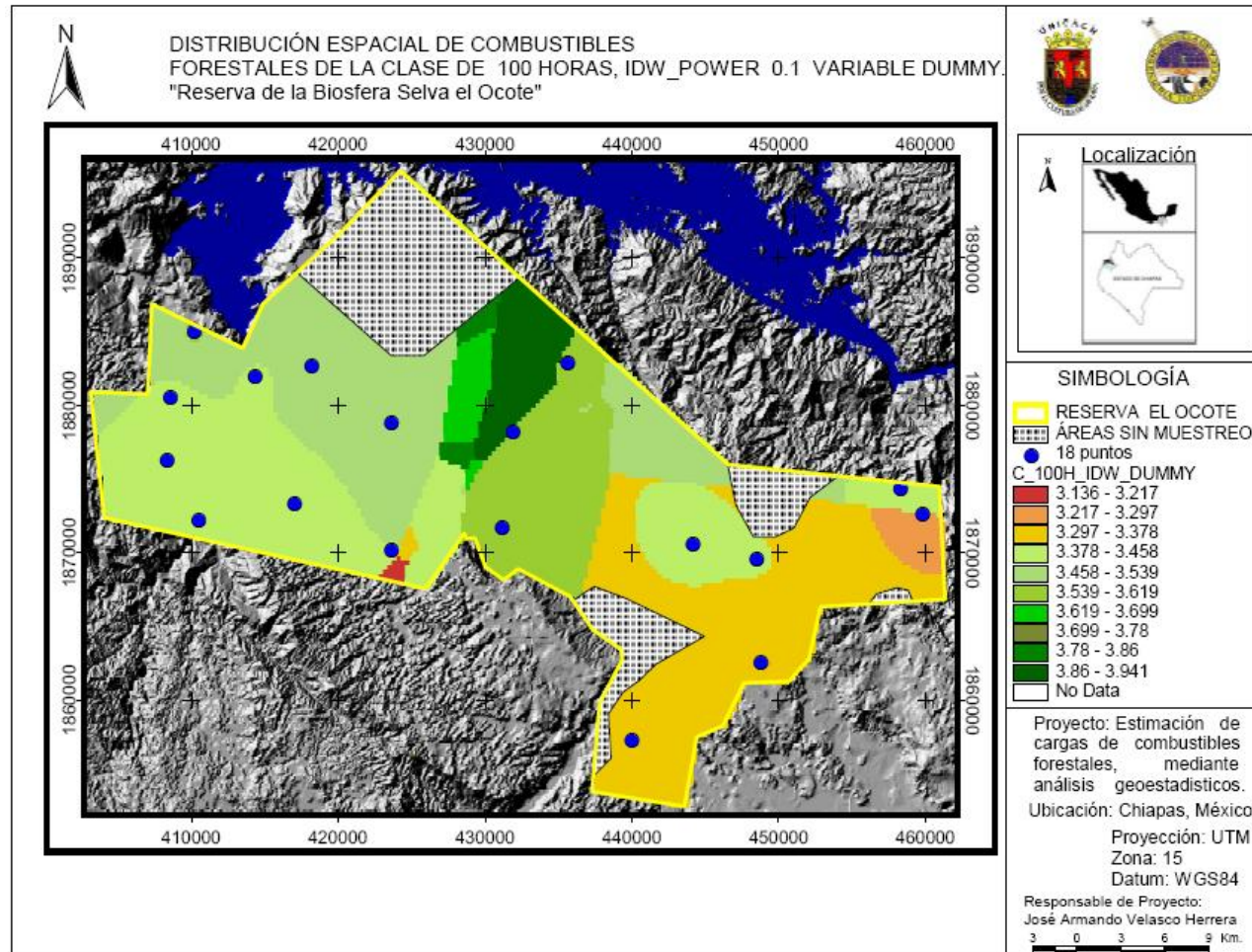
5.8.1. Figura 77. Distribución de combustibles de la clase de 1 hora.



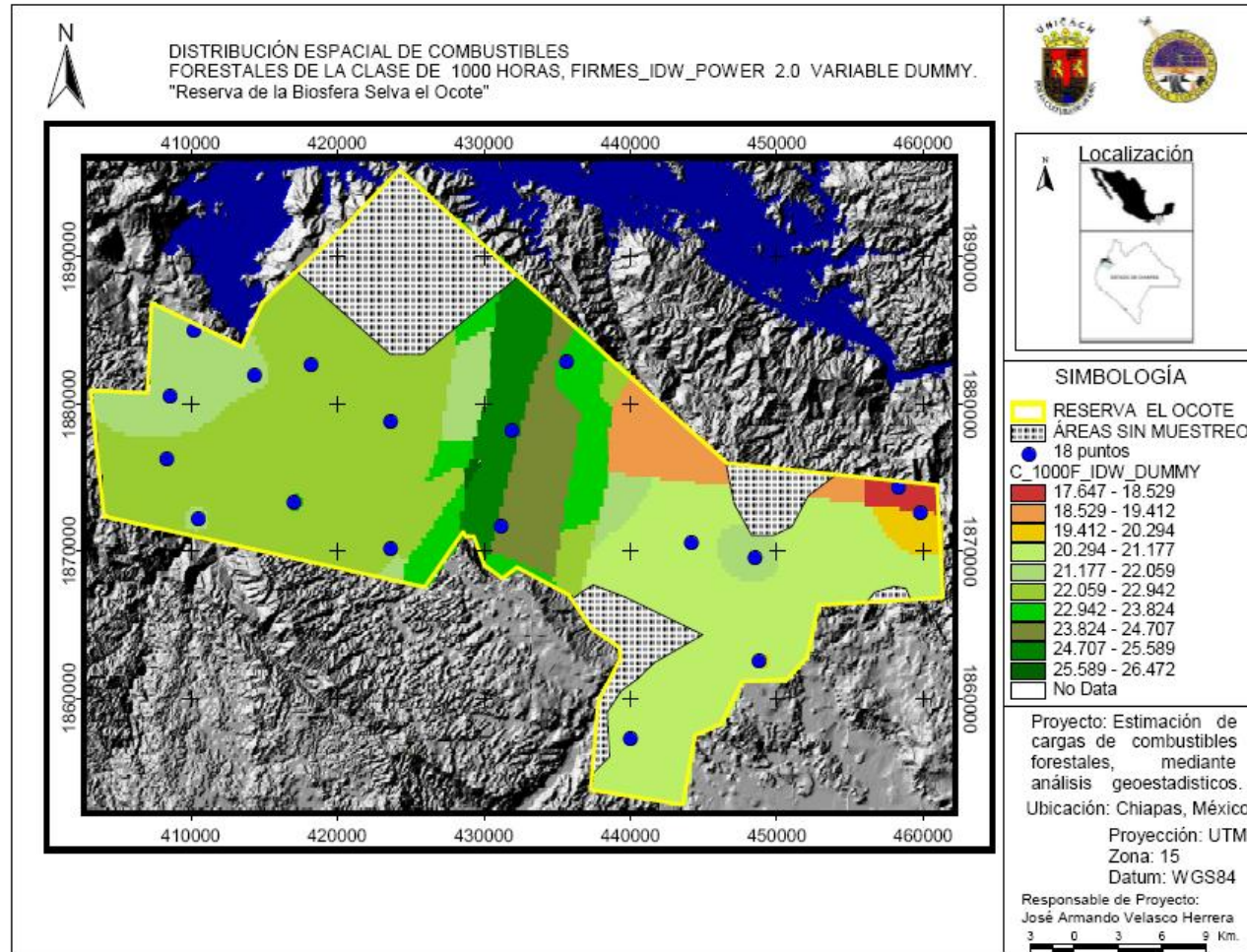
5.8.2. Figura 78. Distribución de combustibles de la clase de 10 horas.



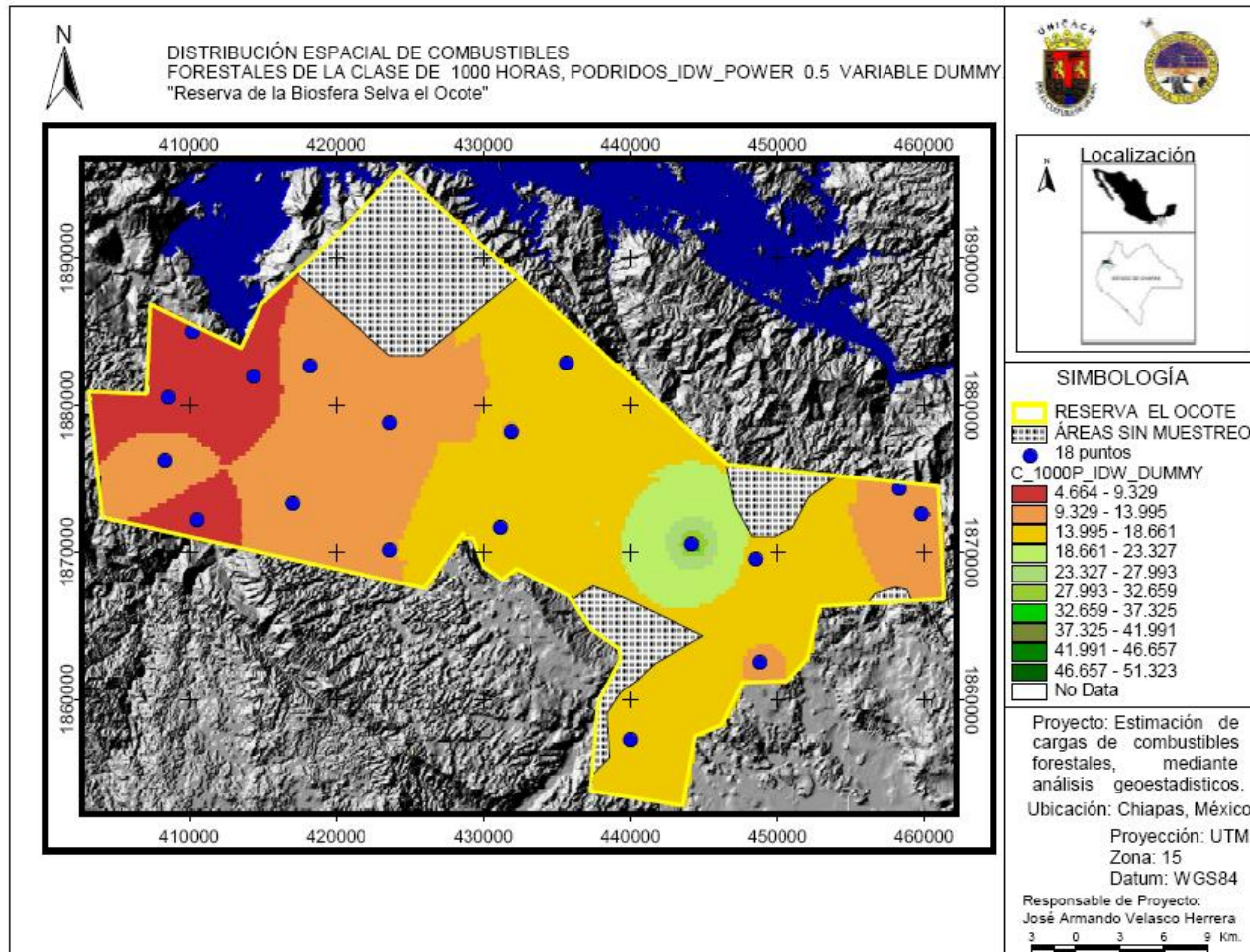
5.8.3. Figura 79. Distribución de combustibles de la clase de 100 horas.



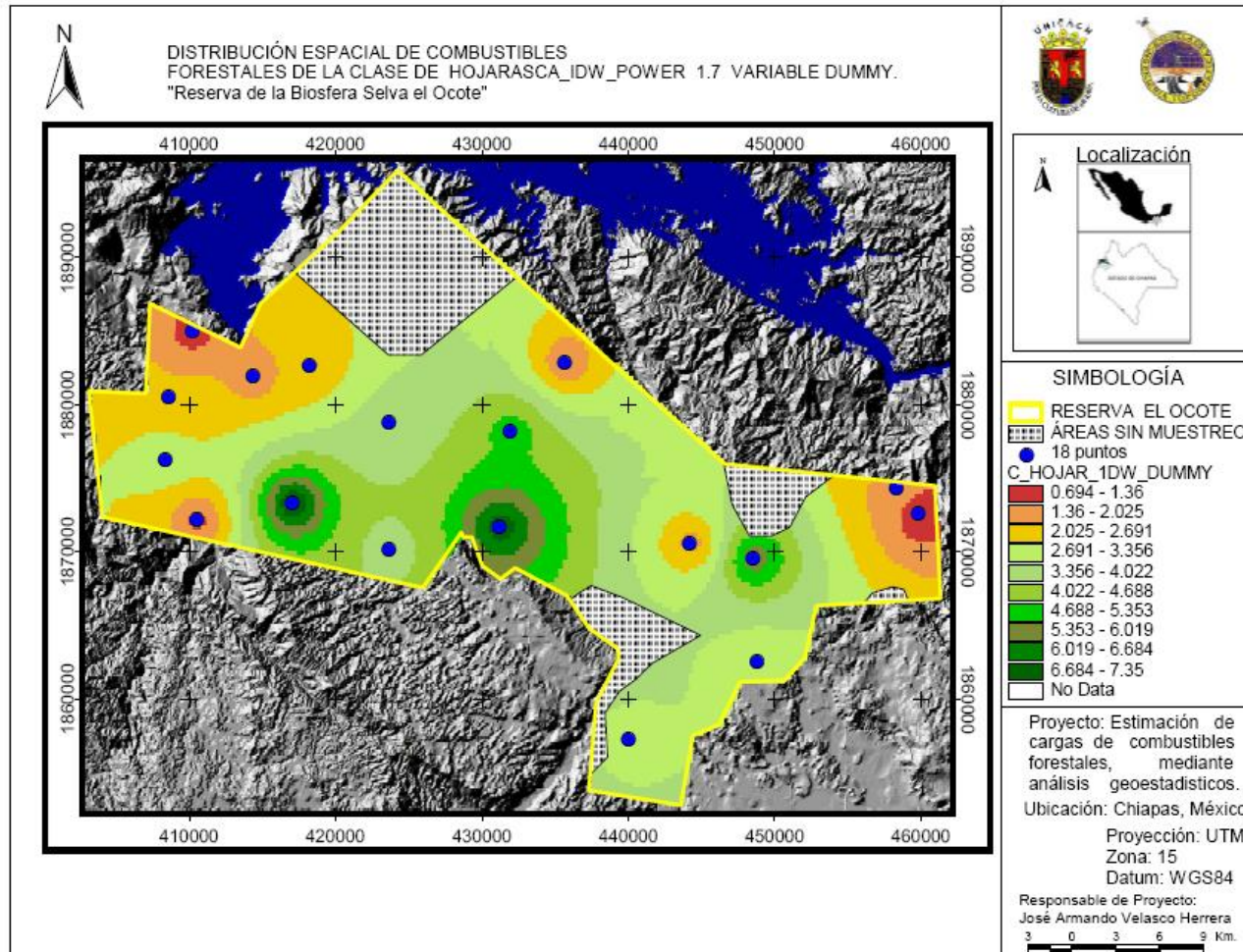
5.8.4. Figura 80. Distribución de combustibles de la clase de 1000 horas firmes.



5.8.5. Figura 81. Distribución de combustibles de la clase de 1000 horas podridos.



5.8.6. Figura 82. Distribución de combustibles de la clase de hojarasca.





### 5.9. Variables numéricas y dummy, independientes más utilizadas en la construcción de los árboles de regresión.

A continuación se presenta los resultados obtenidos en cuanto al número de variables numéricas independientes más utilizadas en la construcción de los árboles de regresión, el número de nodos terminales en cada caso así como los estadísticos resultantes de cada uno de los árboles que se definieron para los tipos de combustibles.

TIPO_VARIABLE	VARIABLES DUMMY							VARIABLES NUMÉRICAS																		
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
VARIABLE_AUX	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16	V17	V18	V19	V20	V21	V22	V23	V24	V25	V26
<b>COMBUSTIBLE</b>																										
1-HORA	X		X											X					X							
10-HORAS					X											X						X				
100-HORAS	X		X																						X	
FIRMES	X		X																		X					
PODRIDOS	X		X														X									X
HOJARASCA	X		X						X			X														

Tabla 19. Variables auxiliares más utilizadas para la estimación de cargas de combustibles forestales en la reserva de la biosfera selva el Ocote.

V1= CLIMAS (cálido, húmedo)

V2= EVAPORACIÓN (bajo, alto)

V3= HIPSOMETRÍA (alta, baja, media)

V4= ISOTERMAS ANUALES (cálido, semi cálido)

V5= RELIEVE (Montañas, valles)

V6= USO DE SUELO (selva alta...)

V7= VEGETACIÓN (bosque coníferas..)

V8= EDAFOLOGÍA

V9=PRECIPITACIÓN

V10= TEMPERATURA MÍNIMA

V11= TEMPERATURA MÁXIMA

V12= MODELO DIGITAL DE

ELEVACIONES

V13= LANDSAT (CLASIFICACIÓN NO SUPERVISADA)

V14= SPOT (B4)

V15= SPOT (B3)

V16= SPOT (B2)

V17 = SPOT (B1)

V18= ORTOFOTO

V19= LANDSAT (B8)

V20= LANDSAT (B7)

V21= LANDSAT (B6)

V22= LANDSAT (B5)

V23= LANDSAT (B4)

V24= LANDSAT (B3)

V25= LANDSAT (B2)

V26= LANDSAT (B1)

### 5.10. Pruebas de $\chi^2$ de Pearson.

Una vez obtenidos los mapas temáticos generados por árboles de regresión e interpolación inverso de la distancia al cuadrado (IDW). Se determinó  $\chi^2$  chi-cuadrada. Con la finalidad de conocer si los modelos teóricos propuestos se ajustan bien o no a los datos obtenidos. Es decir si los datos del muestreo realizado en campo están o no en concordancia con los datos obtenidos por las predicciones de los árboles de regresión y los recuperados por las interpolaciones realizadas mediante el inverso de la distancia al cuadrado.

La prueba  $\chi^2$  de Pearson es considerada como una prueba que mide la discrepancia entre una distribución observada (datos de campo) y la teórica (predicción de árboles e IDW), indicando las diferencias existentes entre ambas, si así fuera el caso. La fórmula del estadístico es la siguiente:

$$\chi^2 = \sum_i \frac{(\text{observada}_i - \text{teórica}_i)^2}{\text{teórica}_i}$$

Cuanto mayor sea el valor de  $\chi^2$ , menos verosímil es que la hipótesis sea correcta. De la misma forma, cuanto más se aproxima a cero el valor de  $\chi^2$ , más ajustadas están ambas distribuciones. De aquí se tiene que: Los grados de libertad vienen dados por:  $GL = (r-1)$ , donde  $r$  es el número de muestra. Se acepta  $H_0$  cuando  $\chi^2 < \chi^2_t(r-1)$ . En caso contrario se rechaza,  $t$  representa el valor proporcionado por las tablas, según el nivel de significancia elegido.

Para el caso se utilizaron los siguientes parámetros: Un grado de libertad de 4, ya que los puntos elegidos para la validación de resultados fueron cinco ( $k-1$ ). Un

nivel de significancia 95%, Alfa 0.05%. Por lo que el valor de  $\chi^2$ , de acuerdo a las tablas definidas fue de 9.488. Los datos obtenidos en cada uno de los mapas que muestran la distribución espacial de los combustibles forestales, construidos a partir del modelaje con árboles de regresión y el inverso de la distancia al cuadrado, tanto para variables numéricas como *dummy*, se expresan en la tabla siguiente (ver cálculos en anexos).

Combustible	$\chi^2_{\text{arboles}}$ De regresión Variables numéricas	$\chi^2_{\text{arboles}}$ De regresion Variables <i>Dummy</i>	$\chi^2_{\text{IDW}}$ Variables numérica	Potencia	$\chi^2_{\text{IDW}}$ Variable <i>Dummy</i>	Potencia
1_hora	0.84	0.71	0.57	1.5	0.71	1.5
10_horas	6.22	5.89	4.98	0.4	4.74	2.0
100_horas	3.98	2.04	0.69	3.6	0.77	0.1
1000h_firmes	80.05**	120.98**	224.90**	0.7	134.47**	2.0
1000h_podridos	27.26**	26.06**	11.20**	1.4	14.21**	0.5
C_Hojarasca	11.06**	5.26	5.03	0.009	4.16	1.7

Tabla 20. Valores de  $\chi^2$ , para variables numéricas y *dummy*.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. CONCLUSIONES.

Los resultados obtenidos a partir de la construcción de las áreas de respuestas homogéneas (ARH), permiten establecer las siguientes conclusiones:

Las ARH, sirven de base para la estructuración de un diseño de muestreo estratificado, tendiendo a reducir la varianza dentro de cada ARH. Las ARH, pueden ser aplicadas en diversos campos de la investigación, permiten eficientar los recursos económicos, materiales y optimizar con ello el factor tiempo dedicado a la selección y muestreo de sitios.

Las operaciones de álgebras de mapas realizadas mediante sistemas de información geográfica permiten definir satisfactoriamente píxeles con similares características, dando como resultado la construcción de áreas de respuesta homogéneas.

Los procesos para la construcción de estas ARH, resultan relativamente rápidos de realizarse, mediante el uso de sistemas de información geográfica, cosa contraria tiempo atrás cuando no se contaba con estas herramientas.

Las ARH se forman por polígonos, de tal forma que permite que el muestreo que se haga en uno de éstos, arroje resultados que pueden extrapolarse al resto de

los polígonos que conforman dicha ARH. Lo cual en sí, representa una ventaja en relación al muestreo tradicional.

Las ARH permiten establecer diseños de sitios de muestreos estratificados, lo cual puede ser en forma sistemática o aleatoria. Siendo una de las principales ventajas de este proceso el que se pueda definir en qué estratos se requiere un mayor número de muestreo. Esto en relación al grado de homogeneidad (o variabilidad) del estrato.

Las pruebas de  $X^2$ , (chi\_cuadrada), realizadas a los valores predictivos finales. Obtenidos con árboles de regresión, variables independientes numéricas y *dummy* (cualitativas), e interpolaciones utilizando el inverso de la distancia al cuadrado, para determinar la correspondiente distribución espacial de las cargas de los combustibles forestales en la reserva de la biosfera selva el Ocote, permiten concluir en lo siguiente:

La distribución espacial de las cargas de combustibles forestales de **1 hora**, en la reserva de la biosfera selva el Ocote. Generados mediante los arboles de regresión y la interpolación por el inverso de la distancia al cuadrado (IDW), tanto para variables numéricas como cualitativas (*dummy*). Presentan una concordancia con valores muy semejantes entre sí. Existiendo una mayor definición con el IDW, utilizando una potencia de 1.5 para la interpolación. Tanto para variables numéricas como *dummy*. Las variables independientes numéricas que mejor respuesta tienen

para modelarlas con árboles de regresión se encuentran en la banda 4 de imágenes Spot y la banda 8 de imágenes Landsat TM. Por otro lado las variables independientes *dummy* que mejor respondieron a los arboles de regresión fueron V1 y V3, correspondiente al clima y la hipsometría del área de estudio respectivamente.

La distribución espacial de las cargas de combustibles forestales de **10 horas**, en la REBISO. Generados mediante los arboles de regresión y la interpolación por el inverso de la distancia al cuadrado (IDW), tanto para variables numéricas como cualitativas (*dummy*), nos dice 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 0.4 para variables independientes numéricas y potencia de 2.0 para variables independientes *dummy*. Las variables independientes numéricas que mejor respuesta tienen para modelarlas con árboles de regresión se encuentran en la banda 2 de imágenes Spot y la banda 5 de imágenes Landsat TM. Por otro lado la variable independiente *dummy* que mejor respondió a los arboles de regresión fue V5 que corresponde al relieve del área de estudio.

La distribución espacial de las cargas de combustibles forestales de **100 horas**, en la REBISO. Generados mediante los arboles 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 V1 y V3, correspondiente al clima y la hipsometría del área de estudio respectivamente.

La distribución espacial de las cargas de combustibles forestales de **1000 horas firmes**, 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 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 V1 y V3, 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. 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 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 fueron V1 y V3, correspondiente al clima y la hipsometría del lugar respectivamente.

La distribución espacial de las cargas de combustibles forestales de la clase de **hojarasca**, 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*). 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 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 V9 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 V1 y V3, correspondiente al clima y la hipsometría del lugar respectivamente.

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  $\mu\text{m}$ ), de imágenes Spot y longitudes de onda del visible



(0.52 – 0.90  $\mu\text{m}$ ), de imágenes Landsat. Así mismo para los combustibles de 10 horas, la información del visible (0,61 – 0,68  $\mu\text{m}$ ) de imágenes Spot e infrarrojo lejano (1.55 – 1.75  $\mu\text{m}$ ), para imágenes Landsat. Para los combustibles de 100 horas, los arboles trabajaron con información del visible de imágenes Landsat. Para los combustibles de 1000 horas, los arboles 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 digitales de elevaciones.

## **6.2. RECOMENDACIONES**

Es importante continuar con trabajos posteriores de modelación que permitan definir áreas de respuestas homogéneas, utilizando para ello información raster con resoluciones espaciales menores a cincuenta metros por pixel. Lo anterior permitirá obtener ARH, mejor definidas, esto a su vez aumentará la precisión en la ubicación de los sitios de muestreo. Es importante modelar en la generación de ARH, utilizando otras variables que no sean necesariamente vegetación y altura. Se pueden modelar variables, tales como pendiente, exposición, suelo, clima, precipitación. Incluso se puede incrementar el número de variables para encontrar ARH, mejor definidas.

Así mismo se recomienda modelar sobre coberturas de vegetación del lugar más actuales. Estas pueden ser generadas mediante técnicas de geomática, como la

percepción remota, mediante clasificaciones supervisadas, utilizando para ello imágenes satelitales con resoluciones espaciales menores a un metro proveniente del satélite GeoEye.

La actualización de la cartografía referente a la construcción de los mapas que permitan determinar la distribución espacial de las cargas de combustibles forestales de una hora, diez horas, cien horas y hojarasca, podrán realizarse de acuerdo a la capacidad del personal asignado a estas tareas. Es decir si se cuenta con personal con conocimientos avanzados en sistemas de información geográfica, percepción remota y Geoestadística. Los mapas se podrán construir mediante árboles de regresión. De lo contrario bastará construir mapas, que presenten la distribución espacial de las cargas de combustibles forestales, a través de métodos no complicados de realizarse. Estas pueden ser interpolaciones del inverso de la distancia al cuadrado y las potencias aquí señaladas para cada tipo de combustible como las idóneas.

Es importante realizar la modelación de las cargas de combustibles finos como el humus y la capa de fermentación.

Es importante continuar con trabajos que permitan encontrar la distribución espacial de las cargas de combustibles forestales, utilizando otros métodos de interpolación. Se deberá capacitar a los guardabosques de la reserva de la biosfera selva el Ocote. En el dominio de la técnica de muestreo con la finalidad de actualizar cada año la distribución espacial de las cargas de combustibles forestales, para ser utilizadas en la prevención y combate de los incendios forestales de la REBISO.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, B., C. 1978. Efecto del fuego en algunas características y propiedades de suelos forestales. Tesis profesional, Chapingo, México. 287 pag.
- Albini, F. 1976. Estimating Wildfires Behavior and Effects. USDA Forest Service, Gen. Techn. Rep INT-30, Missoula, 92 pag.
- Alvarado, E., C. 1986. Comportamiento del fuego en rodales poco perturbados de pinus montezumae Lamb. Tesis de maestría. Colegio de Posgraduados, México. 113 pag.
- Alvise, B. Tullio, B. De Vivo, A. Domenici, D. Giulivo, I. 1999. Río La Venta Tesoro de Chiapas. Ed. Giovanni Badino. Tipolitografía Turra, Italia.
- Anderson H, E. 1990. Relationship of fuel size and spacing to combustion characteristics of Laboratory fuel cribs. Forest Service, Intermountain Research Station.
- Anderson, H. E. 1982. Aids to Determining Fuel Models for Estimating Fire Behavior. USDA Forest Service. Gen. Techn. Rep INT-122, Ogden 22 pag.
- Arufat, M., M. 2000. Introducción al Sistema de Posicionamiento Global. Universidad Politécnica de Valencia. 171 pag.
- Becerra, L., F. 1995. Establishment of Pinus montezumae Lamb., in the presence of fire, grass and grazing in the highlands of central México. Doctor of Forestry, Yale University, 124 pag.
- Brown, James K.; Oberheu, Rick D.; Johnston, Cameron M. 1982. Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the Interior West. Gen. Tech. Rep. INT-129. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experimental Station. 48 p.
- Burgan R, E. Rothermel R, C. 1984. BEHAVE. Fire Behavior prediction and fuel modeling system. Fuel subsystem. General Technical report INT-167- USDA- Forest Service, 127 pag.
- Burroughs, P.A., y McDonnell, R.A. 1998. Principles of Geographical Information Systems. Oxford Univ. Press, New York, USA.

- Carvajal Ch. F. 1996. Posibles mejoras en la prevención y combate de incendios en los bosques mexicanos de la región templada. Tesis profesional. Chapingo, México.
- Castillo S., M.A. García-Gil, G. March, I.J. Fernández, J.C. Valencia, E. Osorio, M. y A. Flamenco. 1998. Diagnóstico geográfico y cambios de uso del suelo en la Selva El Ocote, Chiapas. Informe Final. El Colegio de la Frontera Sur-Fondo Mundial para la Naturaleza WWF México, Biodiversity Support Program, U.S. AID. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México, 121 pp. + anexo cartográfico.
- Centro de Formación Forestal, CEFOFOR. 2008. Curso Internacional de Protección contra Incendios Forestales. Ciudad Guzmán, Jalisco México.
- Chandler, C., P. Cheney, P. Thomas, L. Trabaud, y D. Williams. 1983. Fire in Forestry, Volume I: Forest Fire Behavior and Effects. Johan Wiley & Sons. New York., USA. 450 p.
- Comisión para la Cooperación Ambiental. CCA. 2001. Prioridades en el Reforzamiento de la Capacidad de Gestión Ambiental en México. Informe de Actividades 27 Pag.
- CONANP y TNC. 2009. Programa de manejo integral del fuego, Reserva de la Biosfera Selva El Ocote Chiapas, México 2009-2012. 43 p.
- Cressie, N.1985. Fitting variogram models by weighted least squares. *Matemática Geology* 17:563-586.
- Cabán, A. 2008. Memorias del segundo simposio internacional sobre políticas, planificación y economía de los programas de protección contra incendios forestales: una visión global; 2004 Abril 19–22; Córdoba, España. 779 p.
- Deeming J. E. Burgan, R. E. y Cohen, J. D. 1977. The National Fire Danger Rating System 1978. USDA, Forest Service. Gen Tech. Rep. INT-39. 66 pag.
- Deeming, J., E. Brown, J., K. 1975. Fuel Model in the National Fire Danger Rating System 1978. USDA, Forest Service. *Jorn. For.* 73: 347-350.
- Dwyer, E., J.M.C. Pereira, J.P. Gregoire, and 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.

- Echenique, R. y F. Robles. 1993. La madera y la humedad. Ciencia y Tecnología de la Madera I. Universidad Veracruzana. Textos universitarios, México, pp. 61-77.
- Erxleben, J. Elder, K. Davis, R. (2002). Comparison of spatial interpolation methods for estimating snow distribution in the Colorado Rocky Mountains. Hydrological Processes 16: 3627-3649.
- Fahnestock, G.,R. 1970. Two Keys for Appraising Forst Fuel. USDA Forest Service. Portland. 26 pag.
- Fernández, R. J.A. G.Seco Granados. 1997. Sistemas de posicionamiento: de GPS a GNSS. Mundo Electrónico. pag.46- 52.
- Fischer, F. 1981. Photo Guide for Appraising Downed Woody Fuels in Montana Forests. USDA Forest Service; Gen. Techn. Rep. INT-98, Ogden. 143 p.
- Flores G, J.,G. Cabrera O, R.,G. Melendez G, M. 2007. Caracterización de combustibles Forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro-Altos de Jalisco, México.
- Flores J, G. y Benavides J, D. 1993. Quemadas controladas y su efecto en los nutrimentos del suelo en un rodal de pino. Amatl 24-25. Vol VII, Num 12. Boletín de difusión del instituto de Madera, celulosa y papel. U de Guadalajara. México.
- Flores, G., J. G. 2001. Modeling the spatial variability of forest fuel arrays. Ph.D. Dissertation. Department of Forest Sciences. Colorado State University. 184 pp.
- Flores, G., J. G. 2007. Plan de protección contra incendios forestales en el estado de Chiapas, basado en la ubicación de áreas de mayor riesgo.
- Flores, G., J. G. Alfonso M, Aguirre C. 2007. Monitoreo de Ecosistemas con estrategias de geoestadísticas, una aplicación de gran escala en Jalisco México. Madera y Bosques, vol. 13 num 002, pp. 97-104.
- Flores, G., J. G. Benavides S. 2004. Avances de la Investigación en incendios forestales en México. Grupo Mundi-Prensa. México.
- Flores, G., J. G. Rodríguez T, Estrada M, Sánchez Z. 2004. Incendios Forestales. Grupo Mundi-Prensa. México.

- Flores, G., J. G. Rodríguez, C., G.O. Meléndez, G., M. Rosas, A., G. O. 2008. Sitios de muestreo para el monitoreo de combustibles forestales. SIMMCOF. Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán, Jalisco., México.
- Flores, G., J.G. Chávez, D., A. A. Xelhuantzi, J.,C. Villela, G., S.A. 2008. Establecimiento de áreas de respuesta homogénea en el proyecto "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.
- Forberg, M, A. 1972 Theory of precipitation effects on dead cylindrical fuel. Forest Science 16. 121-128.
- Fosberg, M, A. 1977. Forecasting the 10-Hour timelag fuel moisture, USDA, Forest Service, Research paper RM-187, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Fort Collins, Colorado, pp. 1-10.
- García, L., E. 1985. Efecto del fuego en el comportamiento de la regeneración natural de pinus hatwegii, Lindl. Zoquiapan, México. Revista Chapingo.
- Giraldo, H. R. 2002. Introducción a la Geoestadística. Departamento de Estadística Universidad Nacional de Colombia. 94 Pag.
- Goovaerts, P. 1997. Geostatistics for Natural Resources Evaluation. Oxford Univ. Press, New York, USA.
- Harrinton, S. 2005. Measuring Forest Fuels: An Overview of Methodologies. Forest Guild Research Center. Working Paper. 18 pag.
- Herring, T. A. 1996. The Global Positioning System, Scientific American. pág. 32-38.
- Hornby. L., G. 1936. Fire Control Planning in the Northern Rocky Mountain Region. USDA Forest Service. Progress Report 1. Missoula. 179 Pag.
- Hunner, G. 2000. Modeling forest stand structure using geostatistics, geographic information systems, and remote sensing. Ph.D. Dissertation. Colorado State University. 217 p.
- Instituto de Historia Natural. IHN (1997). Estudio de tenencia de la tierra en la Zona de Protección Forestal y Faúnica Selva El Ocote.

- Iraola, P., y Resnichenko, Y. (2008). Proyecto: PNUD URU 06/016 conectando el conocimiento con la acción, para la gestión integrada de la zona costera uruguaya del río de la plata
- Isaaks, E.H., y Srivastava, R.M. (1989). An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford Univ. Press, New York, USA.
- Julio, G. 1992. Estudio de las propiedades Físicas de combustibles Forestales. IX jornadas de Manejo del Fuego, Consejo técnico CONAF- Empresas, Concepción, Chile, Pag 86-105.
- Keane R. E., Burgan, R. y 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.
- Koller, R. 1982. Análisis y Zonificación del Peligro de Incendios Forestales en la X Región. Tesis. Ing.Forestal, U.Austral. 87 p.
- Laslett, G. M.; McBratney, A. B.; Pahl, P. J., y Hutchinson, M. F. 1987. Comparison of several, spatial prediction methods for soil pH. J. Soil Science 38:325-341.
- Lee, Sun young; Cho, Sung zoon, y Wong, Patrick M. 1997. Rainfall prediction using artificial neural networks. J. Geographic Information and Decision Analysis 2(2):253-264.
- Magaña T, O., S. 1983. Determinación de un índice de peligro de incendios forestales para el municipio de Tlahuapan, Puebla. Tesis profesional. Chapingo, México.
- Maín J. Borja G, L. 1984. Los incendios forestales en el estado de México. Revista 43-44, 202-207.
- Maxwell, W.,G. Ward, F.,R. 1981. Fuel and Fire Land Management Planning. Part 1: Fuel Classification. USDA Forest Service, Gen. Techn. Rep. PNW- 131, Portland. 12 pag.
- Mc Kinley, R., A. Chine, E.,P. Werth. L., F. 1985 Operational rice fuels mapping with NOAA-AVHRR data. Pecora X Symposium Fort Collins. Pag 295-304.
- Metzger, K. L. 1997. Modeling forest structures to ten meter resolution using Landsat data. Master of Science Thesis. Colorado State University. 123 pag.

- Miller, W. Johnston, D. 1985. Comparison of rice fuel maps produced using MSS and AVHRR data. Pecora X Symposium Fort Collins. Pag 305-314.
- Moral, G.,F. J. 2004. Aplicación de la Geoestadística en ciencias ambientales. Ecosistemas. 13(1): 78-86. Dpto. de Expresión Gráfica, Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Extremadura. España.
- Morfín R, J.,E. Jardel P, E.,J. Michel F, J.,M. Alvarado, C., E. Vihnanek, E.,R. 2008. Manual para la evaluación y cuantificación de combustibles forestales. Universidad de Guadalajara. México. Centro Universitario de la Costa Sur. Departamento de Ecología y Recursos Naturales- IMECBIO.
- Morfín, R., J. E. Alvarado E. Jardel P, E., J. Vihnanek R, E. Wright D. K.W. Sandberg, D.,V. Nájera D. A. 2005. Photo Series for Quantifying Forest Fuels in Mexico. Volume I: Montane Subtropical Forests of the Sierra Madre del Sur and Temperate Forests from the Northern Sierra Madre Oriental. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-XXX. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- Morfín, R., J. E. Jardel, P., E.J. Micel, Fuentes., J.M. Alvarado, C., E. Vihnanek, R.E. 2008. Manual para la evaluación y cuantificación de combustibles Forestales. 30. P.
- Mulleried F.K.G. 1957. La geología de Chiapas. Gobierno Constitucional del estado de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 180 pp.
- Nájera, D. A. Cal y Mayor, T. J.C. Ramos, R. M.P. 2006. Uso del fuego en el manejo de combustibles forestales en la sierra de Zapalinamé, Coah. México.
- Nepstad, D., G. Carvalho, A.C Barros, A. Alencar, J.P. Capobianco, J. Bishop, P. Moutinho, P. Lefebvre, U. Lopes da Silva, Jr. 2001. Road paving, fire regime feedbacks and the future of Amazon forests. For. Ecol. Manage. 154:395-407.
- Olea, R.A., 1988, Geostatistical Semantics, Geostatistics, Vol.2, No. 2, p.4-7.
- Olvera R, J. 1967. Condiciones actuales en bisques afectados por el ciclón Janet e Incendios forestales en la parte del territorio de Quintana Roo. Tesis Profesional. Chapingo México 85 pag.



- Ottmar, R., D. Hardy, C.,C. Vihnanek, R.,R. 1990. Stereo Photo for Quantifying Forest Residues in the Douglas Fir-Hemlock Type of the Willamette National Forest. USDA Forest Service. Gen. Techn. Rep. PNW –GTR-258. Portland. 63 pag.
- Phillips, D. L, Dolph, J. Marks, D. 1992. A comparison of geostatistical procedures for spatial analysis of precipitation in mountainous terrain. Agricultural and Forest Meteorology 58: 119-141.
- Pyne, S., J. P.L, Andrews y R.D. Lacen. 1996. Introduction to Wildland Fire. John Wiley & Sons. New York, EUA. 769 pag.
- SEMARNAT. 2001. Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Selva el Ocote. Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas.
- Viger A. 2004. Manual de ingeniería básica para la prevención y extinción de incendios forestales. Mundi Prensa Libros S.A. 414 Pag.

# ANEXOS

## Formato de muestreo uno.

"ESTIMACION DE CARGAS DE COMBUSTIBLES FORESTALES BASADA EN ANALISIS GEOESTADISTICOS"



### INFORMACIÓN DEL SITIO DE MUESTREO

A) DATOS DE CONTROL		
1. Número de sitio: <i>58</i>	2. Estado: CHIAPAS	3. Municipio: <i>CINTALAPA</i>
4. Predio: EL OCOTE	5. Tenencia: <i>EJIDO</i>	6. Asociación Vegetación: <i>F-30</i>
7. Fecha: <i>09/06/09</i>	8. Institución: UNICACH	9. Brigada / Responsable: <i>ARMANDO</i>

B) DATOS DE UBICACIÓN			
10. Coordenadas UTM del sitio de muestreo			
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS
LATITUD			
LONGITUD			
ALTITUD.	<i>467 msnm.</i>		
X-UTM:	<i>418466</i>		
Y-UTM:	<i>1862783</i>		
DATUM: WGS84			
ERROR DE PRECISIÓN EN METROS:	<i>± 10 m/s</i>	NAVEGADOR: MAGELLAN	MODELO: Explorer 210

11. Croquis de localización:



12. Observaciones

*Foro Panorámica de Vegetación # 30*

Formato uno

## Formato de muestreo dos.

"ESTIMACION DE CARGAS DE COMBUSTIBLES FORESTALES BASADA EN ANALISIS GEOSTADISTICOS"

INFORMACIÓN DEL COMBUSTIBLE FORESTAL					
1. Número de sitio: 58	2. Orientación: 120° SE	3. Perturbación ambiental: -			
4. Grado de perturbación: -	5. Tipo de erosión: -	6. Grado de erosión: -			
7. Exposición: SUP					
A) Datos del cuadro de 30x30					
9. Profundidad de mantillo orgánico	8. Pendiente: 20%				
	Capa de hojarasca (cm.): 4	10. Cobertura de capa de hojarasca: 100%			
	Capa de fermentación (cm.): 3	11. Cobertura de capa de fermentación: 100%			
12. Cobertura de capa de hierbas: -	13. Cobertura de capa de pastos: -	14. Cobertura de Suelo mineral: -			
B) Datos de la línea de intersecciones					
15. Número de intersecciones < 7.5 cm.					
1 hora: 82	10 horas: 21	100 horas: -			
16. Diámetro de intersecciones de 1000 horas					
Firmas			Podridos		
			15 cm		

INFORMACIÓN DEL COMBUSTIBLE FORESTAL					
1. Número de sitio: 58	2. Orientación: 120	3. Perturbación ambiental: -			
4. Grado de perturbación: -	5. Tipo de erosión: -	6. Grado de erosión: -			
7. Exposición: SUP					
A) Datos del cuadro de 30x30					
9. Profundidad de mantillo orgánico	8. Pendiente:				
	Capa de hojarasca (cm.): 4	10. Cobertura de capa de hojarasca: 100%			
	Capa de fermentación (cm.): 3	11. Cobertura de capa de fermentación: 100%			
12. Cobertura de capa de hierbas: 40	13. Cobertura de capa de pastos: -	14. Cobertura de Suelo mineral: -			
B) Datos de la línea de intersecciones					
15. Número de intersecciones < 7.5 cm.					
1 hora: 59	10 horas: 24	100 horas: 3			
16. Diámetro de intersecciones de 1000 horas					
Firmas			Podridos		
28 cm			15 cm		

INFORMACIÓN DEL COMBUSTIBLE FORESTAL					
1. Número de sitio: 58	2. Orientación: 120	3. Perturbación ambiental: -			
4. Grado de perturbación: -	5. Tipo de erosión: -	6. Grado de erosión: -			
7. Exposición: SUP					
A) Datos del cuadro de 30x30					
9. Profundidad de mantillo orgánico	8. Pendiente:				
	Capa de hojarasca (cm.): 4	10. Cobertura de capa de hojarasca: 100%			
	Capa de fermentación (cm.): 3	11. Cobertura de capa de fermentación: 100%			
12. Cobertura de capa de hierbas:	13. Cobertura de capa de pastos: -	14. Cobertura de Suelo mineral: -			
B) Datos de la línea de intersecciones					
15. Número de intersecciones < 7.5 cm.					
1 hora: 56	10 horas: 21	100 horas: 1			
16. Diámetro de intersecciones de 1000 horas					
Firmas			Podridos		
35 cm			30 cm, 22 cm		

## Concentrado de pesos iniciales y finales de combustibles.

FORMATO DE CAPTURA PARA COMBUSTIBLES																																							
DATOS DEL SITIO					PESO A LAS 0 HORAS										PESO A LAS 24 HORAS										PESO A LAS 48 HORAS										PESOS FINALES				
NUMERO	CLAVE	SITIO	RUMBO	RANSECT	C-F	C-H	M-O	otros	C-F	C-H	M-O	otros	C-F	C-H	M-O	otros	SITIO	RUMBO	RANSECT	C-F	C-H	M-O	otros																
					Capa de fermentación	Capa de hojarasca	Materias Horgánicas	Conos, cortezas frutos, etc..	Capa de fermentación	Capa de hojarasca	Materias Horgánicas	Conos, cortezas frutos, etc..	Capa de fermentación	Capa de hojarasca	Materias Horgánicas	Conos, cortezas frutos, etc..				Capa de fermentación	Capa de hojarasca	Materias Horgánicas	Conos, cortezas frutos, etc..																
1	CHIS-OCOT	1	NF	TA	0.013	0.067	0.013	0.027	0.013	0.021			0.065	0.24	0.02		1	NF	TA	0.052	0.227	0.007	0																
2	CHIS-OCOT	1	NF	TB	0.01	0.104	0.011	0.032	0.0058	0.048	0.0058	0.013	0.102	0.032	0.047	0.012	1	NF	TB	0.032	0.021	0.0412	0.0062																
3	CHIS-OCOT	1	NF	TC	0.01	0.176	0.011	0.024	0.0058	0.024			0.171	0.024	0.023		1	NF	TC	0.161	0.013	0.0112	0																
4	CHIS-OCOT	1	120	TA	0.013	0.064	0.013	0.017	0.013	0.031			0.062	0.017	0.023		1	120	TA	0.043	0.004	0.016	0																
5	CHIS-OCOT	1	120	TB	0.013	0.096	0.013	0.024	0.013	0.027			0.034	0.023	0.027		1	120	TB	0.081	0.01	0.014	0																
6	CHIS-OCOT	1	120	TC	0.013	0.02	0.013	0.028	0.013	0.023			0.02	0.027	0.023		1	120	TC	0.007	0.014	0.01	0																
7	CHIS-OCOT	1	240	TA			0.013	0.016	0.013	0.021				0.016	0.024		1	240	TA	0	0.003	0.011	0																
8	CHIS-OCOT	1	240	TB	0.011	0.096	0.013	0.073	0.011	0.075			0.034	0.071	0.072		1	240	TB	0.083	0.058	0.061	0																
9	CHIS-OCOT	1	240	TC	0.0058	0.031	0.01	0.026	0.0058	0.014			0.031	0.025	0.014		1	240	TC	0.0252	0.015	0.0082	0																
10	CHIS-OCOT	10	NF	TA	0.013	0.061	0.013	0.075	0.013	0.042			0.059	0.074	0.04		10	NF	TA	0.046	0.061	0.027	0																
11	CHIS-OCOT	10	NF	TB	0.011	0.093	0.013	0.038	0.01	0.044	0.01	0.024	0.09	0.036	0.043	0.023	10	NF	TB	0.079	0.083	0.033	0.013																
12	CHIS-OCOT	10	NF	TC	0.013	0.102	0.013	0.078	0.013	0.033			0.038	0.074	0.032		10	NF	TC	0.085	0.061	0.019	0																
13	CHIS-OCOT	10	120	TA	0.01	0.082	0.013	0.131	0.0058	0.015			0.079	0.127	0.015		10	120	TA	0.063	0.114	0.0092	0																
14	CHIS-OCOT	10	120	TB	0.01	0.074	0.013	0.073	0.01	0.07			0.071	0.071	0.067		10	120	TB	0.061	0.058	0.057	0																
15	CHIS-OCOT	10	120	TC	0.013	0.167	0.013	0.084	0.013	0.028	0.013	0.055	0.157	0.08	0.028	0.053	10	120	TC	0.144	0.067	0.015	0.04																
16	CHIS-OCOT	10	240	TA	0.01	0.085	0.011	0.04	0.01	0.061	0.01	0.065	0.082	0.038	0.06	0.063	10	240	TA	0.072	0.027	0.05	0.053																
17	CHIS-OCOT	10	240	TB	0.01	0.07	0.011	0.053	0.01	0.082			0.066	0.052	0.073		10	240	TB	0.056	0.041	0.063	0																
18	CHIS-OCOT	10	240	TC	0.01	0.081	0.013	0.075	0.01	0.067			0.077	0.073	0.064		10	240	TC	0.067	0.06	0.054	0																
19	CHIS-OCOT	12	NF	TA	0.01	0.123	0.011	0.028	0.0058	0.032			0.12	0.028	0.032		12	NF	TA	0.11	0.017	0.0262	0																
20	CHIS-OCOT	12	NF	TB	0.0058	0.043	0.01	0.027	0.0058	0.016			0.041	0.026	0.016		12	NF	TB	0.0352	0.016	0.0102	0																
21	CHIS-OCOT	12	NF	TC	0.013	0.095	0.013	0.03	0.013	0.024			0.035	0.03	0.023		12	NF	TC	0.082	0.017	0.01	0																
22	CHIS-OCOT	12	120	TA	0.013	0.134	0.013	0.032	0.013	0.035			0.134	0.032	0.034		12	120	TA	0.121	0.019	0.021	0																
23	CHIS-OCOT	12	120	TB	0.01	0.082	0.011	0.026	0.01	0.075			0.81	0.026	0.074		12	120	TB	0.8	0.015	0.064	0																
24	CHIS-OCOT	12	120	TC	0.013	0.141	0.013	0.02	0.013	0.037			0.141	0.02	0.037		12	120	TC	0.128	0.007	0.024	0																
25	CHIS-OCOT	12	240	TA	0.01	0.129	0.011	0.022	0.01	0.117	0.011	0.053	0.126	0.021	0.113	0.053	12	240	TA	0.116	0.01	0.103	0.042																
26	CHIS-OCOT	12	240	TB	0.01	0.13	0.013	0.025	0.0058	0.022			0.129	0.025	0.022		12	240	TB	0.119	0.012	0.102	0																
27	CHIS-OCOT	12	240	TC	0.01	0.08	0.01	0.016	0.01	0.09	0.01	0.011	0.079	0.016	0.089	0.01	12	240	TC	0.069	0.006	0.079	0																
28	CHIS-OCOT	19	NF	TA	0.013	0.114	0.013	0.029	0.013	0.026			0.112	0.029	0.026		19	NF	TA	0.039	0.016	0.013	0																
29	CHIS-OCOT	19	NF	TB	0.0058	0.057	0.01	0.024	0.0058	0.048			0.056	0.024	0.048		19	NF	TB	0.0502	0.014	0.0422	0																
30	CHIS-OCOT	19	NF	TC	0.013	0.028	0.013	0.014	0.013	0.065			0.028	0.014	0.064		19	NF	TC	0.015	0.001	0.051	0																
31	CHIS-OCOT	19	120	TA	0.013	0.043	0.013	0.028	0.013	0.048			0.043	0.027	0.045		19	120	TA	0.03	0.014	0.032	0																
32	CHIS-OCOT	19	120	TB	0.013	0.102	0.013	0.024	0.013	0.036	0.013	0.017	0.102	0.024	0.036	0.016	19	120	TB	0.089	0.011	0.023	0.003																
33	CHIS-OCOT	19	120	TC	0.013	0.04	0.013	0.017	0.013	0.051			0.04	0.016	0.03		19	120	TC	0.027	0.003	0.017	0																
34	CHIS-OCOT	19	240	TA	0.011	0.131	0.011	0.032	0.01	0.188			0.13	0.032	0.186		19	240	TA	0.119	0.021	0.176	0																
35	CHIS-OCOT	19	240	TB	0.013	0.078	0.013	0.018	0.013	0.066			0.076	0.018	0.065		19	240	TB	0.063	0.005	0.052	0																
36	CHIS-OCOT	19	240	TC	0.013	0.118	0.013	0.026	0.013	0.052			0.117	0.024	0.051		19	240	TC	0.104	0.011	0.038	0																

46	1	CHIS-OCOT	26	NF	TA	0.011	0.023	0.011	0.022	0.011	0.031					0.023	0.022	0.031			26	NF	TA	0.012	0.011	0.02	0
47	2	CHIS-OCOT	26	NF	TB	0.01	0.061	0.011	0.03	0.0058	0.025					0.06	0.03	0.026			26	NF	TB	0.05	0.019	0.0202	0
48	3	CHIS-OCOT	26	NF	TC	0.011	0.031	0.01	0.015	0.011	0.062					0.032	0.015	0.062			26	NF	TC	0.021	0.005	0.051	0
49	4	CHIS-OCOT	26	120	TA	0.013	0.067	0.013	0.03	0.013	0.032					0.066	0.029	0.032			26	120	TA	0.053	0.016	0.019	0
50	5	CHIS-OCOT	26	120	TB	0.01	0.031	0.01	0.016	0.01	0.013	0.01	0.012			0.031	0.015	0.014	0.011		26	120	TB	0.021	0.005	0.004	0.001
51	6	CHIS-OCOT	26	120	TC	0.0058	0.046	0.0058	0.02	0.0058	0.021					0.046	0.02	0.021			26	120	TC	0.0402	0.0142	0.0152	0
52	7	CHIS-OCOT	26	240	TA	0.0058	0.044	0.01	0.027	0.0058	0.021					0.043	0.028	0.021			26	240	TA	0.0372	0.018	0.0152	0
53	8	CHIS-OCOT	26	240	TB	0.01	0.055	0.013	0.043	0.0058	0.028	0.0058	0.01			0.055	0.048	0.028	0.012		26	240	TB	0.045	0.035	0.0222	0.0062
54	9	CHIS-OCOT	26	240	TC	0.01	0.057	0.011	0.036	0.0058	0.03					0.056	0.034	0.03			26	240	TC	0.046	0.023	0.0242	0
55																											
56	1	CHIS-OCOT	27	NF	TA	0.01	0.077	0.013	0.059	0.01	0.051					0.076	0.055	0.049			27	NF	TA	0.066	0.042	0.039	0
57	2	CHIS-OCOT	27	NF	TB	0.011	0.044	0.013	0.061	0.011	0.038					0.044	0.06	0.037			27	NF	TB	0.033	0.047	0.026	0
58	3	CHIS-OCOT	27	NF	TC	0.013	0.119	0.013	0.05	0.013	0.05					0.117	0.05	0.05			27	NF	TC	0.104	0.037	0.037	0
59	4	CHIS-OCOT	27	120	TA	0.011	0.071	0.013	0.064	0.01	0.045					0.069	0.063	0.045			27	120	TA	0.058	0.05	0.035	0
60	5	CHIS-OCOT	27	120	TB	0.013	0.115	0.013	0.05	0.013	0.032					0.117	0.05	0.032			27	120	TB	0.104	0.037	0.019	0
61	6	CHIS-OCOT	27	120	TC	0.01	0.116	0.011	0.044	0.0058	0.023	0.0058	0.016			0.114	0.044	0.024	0.016		27	120	TC	0.104	0.033	0.0182	0.0102
62	7	CHIS-OCOT	27	240	TA	0.011	0.057	0.013	0.059	0.01	0.054	0.01	0.011			0.056	0.059	0.054	0.01		27	240	TA	0.045	0.046	0.044	0
63	8	CHIS-OCOT	27	240	TB	0.01	0.07	0.013	0.047	0.01	0.022					0.069	0.045	0.021			27	240	TB	0.059	0.032	0.011	0
64	9	CHIS-OCOT	27	240	TC	0.011	0.05	0.013	0.051	0.01	0.057					0.049	0.051	0.055			27	240	TC	0.038	0.038	0.045	0
65																											
66	1	CHIS-OCOT	45	NF	TA	0.01	0.201	0.011	0.04	0.0058	0.059					0.191	0.04	0.056			45	NF	TA	0.181	0.029	0.0502	0
67	2	CHIS-OCOT	45	NF	TB	0.01	0.256	0.013	0.05	0.0058	0.046	0.0058	0.012			0.249	0.048	0.044	0.011		45	NF	TB	0.239	0.035	0.0382	0.0052
68	3	CHIS-OCOT	45	NF	TC	0.013	0.149	0.013	0.048	0.013	0.042					0.142	0.043	0.04			45	NF	TC	0.129	0.03	0.027	0
69	4	CHIS-OCOT	45	120	TA	0.011	0.123	0.013	0.039	0.013	0.035					0.118	0.037	0.033			45	120	TA	0.107	0.084	0.02	0
70	5	CHIS-OCOT	45	120	TB	0.01	0.166	0.013	0.03	0.0058	0.025					0.161	0.088	0.024			45	120	TB	0.151	0.075	0.0182	0
71	6	CHIS-OCOT	45	120	TC	0.013	0.148	0.013	0.053	0.013	0.033					0.143	0.051	0.03			45	120	TC	0.13	0.038	0.017	0
72	7	CHIS-OCOT	45	240	TA	0.013	0.064	0.013	0.051	0.013	0.035					0.062	0.05	0.034			45	240	TA	0.049	0.037	0.021	0
73	8	CHIS-OCOT	45	240	TB	0.01	0.214	0.013	0.051	0.0058	0.051					0.207	0.051	0.049			45	240	TB	0.197	0.038	0.0432	0
74	9	CHIS-OCOT	45	240	TC	0.01	0.056	0.013	0.073	0.01	0.05					0.053	0.072	0.048			45	240	TC	0.043	0.059	0.038	0
75																											
76	1	CHIS-OCOT	52	NF	TA	0.013	0.073	0.013	0.029	0.013	0.038	0.0058	0.011			0.07	0.029	0.037	0.011		52	NF	TA	0.057	0.016	0.024	0.0052
77	2	CHIS-OCOT	52	NF	TB	0.01	0.119	0.01	0.023	0.0058	0.043					0.115	0.023	0.043			52	NF	TB	0.105	0.013	0.0432	0
78	3	CHIS-OCOT	52	NF	TC	0.013	0.078	0.013	0.038	0.013	0.027	0.013	0.016			0.074	0.035	0.026	0.016		52	NF	TC	0.061	0.022	0.013	0.003
79	4	CHIS-OCOT	52	120	TA	0.01	0.105	0.011	0.03	0.01	0.079	0.01	0.016			0.101	0.03	0.076	0.016		52	120	TA	0.091	0.019	0.066	0.006
80	5	CHIS-OCOT	52	120	TB	0.01	0.058	0.013	0.23	0.01	0.054	0.0058	0.016			0.057	0.029	0.053	0.016		52	120	TB	0.047	0.016	0.043	0.0102
81	6	CHIS-OCOT	52	120	TC	0.01	0.097	0.011	0.042	0.0058	0.034	0.0058	0.01			0.093	0.04	0.033	0.01		52	120	TC	0.083	0.029	0.0272	0.0042
82	7	CHIS-OCOT	52	240	TA	0.011	0.058	0.013	0.05	0.011	0.077	0.011	0.013			0.056	0.049	0.074	0.013		52	240	TA	0.045	0.036	0.063	0.002
83	8	CHIS-OCOT	52	240	TB	0.01	0.036	0.013	0.034	0.01	0.032	0.01	0.017			0.036	0.034	0.031	0.016		52	240	TB	0.026	0.021	0.021	0.006
84	9	CHIS-OCOT	52	240	TC	0.0058	0.09	0.013	0.054	0.0058	0.035	0.0058	0.009			0.09	0.054	0.034	0.009		52	240	TC	0.0842	0.041	0.0282	0.0032
85																											
86	1	CHIS-OCOT	53	NF	TA	0.01	0.013	0.01	0.012	0.01	0.013					0.012	0.012	0.012			53	NF	TA	0.002	0.002	0.002	0
87	2	CHIS-OCOT	53	NF	TB			0.013	0.013							0.013					53	NF	TB	0	0	0	0
88	3	CHIS-OCOT	53	NF	TC																53	NF	TC	0	0	0	0
89	4	CHIS-OCOT	53	120	TA				0.01	0.01						0.01					53	120	TA	0	0	0	0
90	5	CHIS-OCOT	53	120	TB				0.0058	0.013						0.013					53	120	TB	0	0.0072	0	0
91	6	CHIS-OCOT	53	120	TC	0.013	0.032	0.013	0.045	0.013	0.031					0.032	0.045	0.031			53	120	TC	0.019	0.032	0.018	0
92	7	CHIS-OCOT	53	240	TA			0.013	0.024	0.013	0.016					0.024	0.016				53	240	TA	0	0.011	0.003	0
93	8	CHIS-OCOT	53	240	TB			0.013	0.047							0.047					53	240	TB	0	0.034	0	0
94	9	CHIS-OCOT	53	240	TC			0.013	0.037							0.035					53	240	TC	0	0.022	0	0





196	1	CHIS-OCOT	87	NF	TA	0.0058	0.12	0.01	0.043	0.0058	0.037			0.115	0.041	0.036			0.115	0.041	0.036			87	NF	TA	0.1092	0.031	0.0302	0			
197	2	CHIS-OCOT	87	NF	TB	0.011	0.152	0.013	0.047	0.01	0.056			0.147	0.047	0.054			0.147	0.047	0.054			87	NF	TB	0.136	0.034	0.044	0.01			
198	3	CHIS-OCOT	87	NF	TC	0.013	0.223	0.013	0.046	0.013	0.09	0.013	0.024	0.213	0.045	0.087	0.023		0.213	0.045	0.087	0.023		87	NF	TC	0.2	0.032	0.074	0.01			
199	4	CHIS-OCOT	87	120	TA	0.011	0.193	0.011	0.029	0.011	0.078			0.185	0.028	0.076			0.185	0.028	0.076			87	120	TA	0.174	0.017	0.065	0			
200	5	CHIS-OCOT	87	120	TB	0.013	0.072	0.013	0.02	0.013	0.042			0.072	0.016	0.042			0.072	0.016	0.042			87	120	TB	0.059	0.003	0.029	0			
201	6	CHIS-OCOT	87	120	TC	0.011	0.104	0.013	0.056	0.01	0.135			0.101	0.055	0.13			0.101	0.055	0.13			87	120	TC	0.09	0.042	0.12	0			
202	7	CHIS-OCOT	87	240	TA	0.011	0.071	0.013	0.055	0.011	0.118			0.068	0.055	0.114			0.068	0.055	0.114			87	240	TA	0.057	0.042	0.103	0			
203	8	CHIS-OCOT	87	240	TB	0.0058	0.019	0.0058	0.028					0.019	0.027				0.019	0.027				87	240	TB	0.0132	0.0212	0	0			
204	9	CHIS-OCOT	87	240	TC	0.011	0.051	0.011	0.024	0.011	0.113	0.011	0.044	0.049	0.024	0.107	0.042		0.049	0.024	0.107	0.042		87	240	TC	0.038	0.013	0.036	0.031			
205																																	
206	1	CHIS-OCOT	31	NF	TA	0.01	0.128	0.011	0.047					0.127	0.046				0.127	0.046				31	NF	TA	0.117	0.035	0	0			
207	2	CHIS-OCOT	31	NF	TB	0.0058	0.156	0.0058	0.014	0.0058	0.071	0.0058	0.007	0.153	0.012	0.07	0.007		0.153	0.012	0.07	0.007		31	NF	TB	0.1472	0.0062	0.0642	0.0012			
208	3	CHIS-OCOT	31	NF	TC	0.01	0.136	0.01	0.021	0.01	0.063		0.012	0.135	0.021	0.063			0.135	0.021	0.063			31	NF	TC	0.125	0.011	0.053	0			
209	4	CHIS-OCOT	31	120	TA	0.0058	0.169	0.01	0.017	0.0058	0.068	0.0058		0.167	0.016	0.068	0.011		0.167	0.016	0.068	0.011		31	120	TA	0.1612	0.006	0.0622	0.0052			
210	5	CHIS-OCOT	31	120	TB	0.013	0.203	0.013	0.021	0.013	0.113			0.2	0.02	0.113			0.2	0.02	0.113			31	120	TB	0.187	0.007	0.1	0			
211	6	CHIS-OCOT	31	120	TC	0.01	0.128			0.01	0.138	0.01	0.011	0.127		0.136	0.01		0.127		0.136	0.01		31	120	TC	0.117	0	0.126	0			
212	7	CHIS-OCOT	31	240	TA	0.01	0.129	0.013	0.033	0.0058	0.05			0.127	0.029	0.05			0.127	0.029	0.05			31	240	TA	0.117	0.016	0.0442	0			
213	8	CHIS-OCOT	31	240	TB	0.013	0.115	0.013	0.04	0.013	0.054			0.113	0.04	0.083			0.113	0.04	0.083			31	240	TB	0.1	0.027	0.07	0			
214	9	CHIS-OCOT	31	240	TC	0.013	0.151	0.013	0.038	0.013	0.076			0.148	0.032	0.075			0.148	0.032	0.075			31	240	TC	0.135	0.019	0.062	0			
215																																	
216	1	CHIS-OCOT	35	NF	TA	0.011	0.051	0.011	0.027	0.011	0.09			0.049	0.027	0.087			0.049	0.027	0.087			35	NF	TA	0.038	0.016	0.076	0			
217	2	CHIS-OCOT	35	NF	TB	0.011	0.061	0.011	0.029	0.011	0.072			0.053	0.029	0.072			0.053	0.029	0.072			35	NF	TB	0.048	0.018	0.061	0			
218	3	CHIS-OCOT	35	NF	TC	0.01	0.037	0.01	0.024	0.01	0.059			0.035	0.024	0.057			0.035	0.024	0.057			35	NF	TC	0.025	0.014	0.047	0			
219	4	CHIS-OCOT	35	120	TA	0.01	0.035	0.011	0.02	0.01	0.037			0.034	0.02	0.037			0.034	0.02	0.037			35	120	TA	0.024	0.009	0.027	0			
220	5	CHIS-OCOT	35	120	TB	0.01	0.071	0.011	0.045	0.0058	0.024			0.068	0.045	0.024			0.068	0.045	0.024			35	120	TB	0.058	0.034	0.0182	0			
221	6	CHIS-OCOT	35	120	TC	0.01	0.077	0.011	0.043	0.0058	0.02			0.075	0.048	0.02			0.075	0.048	0.02			35	120	TC	0.065	0.037	0.0142	0			
222	7	CHIS-OCOT	35	240	TA	0.01	0.07	0.011	0.028	0.0058	0.025			0.068	0.028	0.025			0.068	0.028	0.025			35	240	TA	0.058	0.017	0.0192	0			
223	8	CHIS-OCOT	35	240	TB	0.0058	0.059	0.01	0.028	0.0058	0.02			0.058	0.019	0.02			0.058	0.019	0.02			35	240	TB	0.0522	0.009	0.0142	0			
224	9	CHIS-OCOT	35	240	TC	0.01	0.06	0.01	0.029	0.0058	0.022			0.058	0.019	0.02			0.058	0.019	0.02			35	240	TC	0.048	0.009	0.0142	0			
225																																	
226	1	CHIS-OCOT	101	NF	TA	0.01	0.026	0.013	0.061	0.0058	0.014			0.024	0.061	0.014			0.024	0.061	0.014			101	NF	TA	0.014	0.048	0.0082	0			
227	2	CHIS-OCOT	101	NF	TB	0.01	0.056	0.011	0.046	0.01	0.018			0.054	0.044	0.018			0.054	0.044	0.018			101	NF	TB	0.044	0.033	0.008	0			
228	3	CHIS-OCOT	101	NF	TC	0.01	0.016	0.011	0.055	0.01	0.016	0.01	0.014	0.016	0.055	0.015	0.014		0.016	0.055	0.015	0.014		101	NF	TC	0.006	0.044	0.005	0.004			
229	4	CHIS-OCOT	101	120	TA	0.013	0.06	0.013	0.055	0.013	0.022			0.058	0.054	0.021			0.058	0.054	0.021			101	120	TA	0.045	0.041	0.008	0			
230	5	CHIS-OCOT	101	120	TB	0.011	0.076	0.013	0.057	0.01	0.062	0.01	0.01	0.072	0.054	0.06	0.01		0.072	0.054	0.06	0.01		101	120	TB	0.061	0.041	0.05	0			
231	6	CHIS-OCOT	101	120	TC	0.01	0.092	0.013	0.07	0.0058	0.031			0.089	0.068	0.03			0.089	0.068	0.03			101	120	TC	0.079	0.055	0.0242	0			
232	7	CHIS-OCOT	101	240	TA	0.0058	0.025	0.013	0.043	0.0058	0.01			0.022	0.047	0.01			0.022	0.047	0.01			101	240	TA	0.0162	0.034	0.0042	0			
233	8	CHIS-OCOT	101	240	TB	0.013	0.023	0.013	0.046	0.013	0.022			0.023	0.042	0.022			0.023	0.042	0.022			101	240	TB	0.01	0.029	0.009	0			
234	9	CHIS-OCOT	101	240	TC	0.013	0.029	0.013	0.082	0.01	0.019			0.028	0.08	0.015			0.028	0.08	0.015			101	240	TC	0.015	0.067	0.005	0			



**Archivo fotográfico. Tipos de vegetación de sitios muestreados.**



**Sitio 01. La vegetación encontrada en este sitio se clasifica como, Acahual.**



**Sitio 10. La vegetación encontrada en este sitio se clasifica como, Bosque tropical perennifolio.**



**Sitio 12. La vegetación encontrada en este sitio se clasifica como, Bosque tropical subcaducifolio.**



**Sitio 19. La vegetación encontrada en este sitio se clasifica como, Bosque tropical caducifolio.**



**Sitio 26. La vegetación encontrada en este sitio se clasifica como, Bosque tropical perennifolio.**



**Sitio 27. La vegetación encontrada en este sitio se clasifica como, Acahual.**



Sitio 45. La vegetación encontrada en este sitio se clasifica como, Bosque tropical perennifolio.



Sitio 52. La vegetación encontrada en este sitio se clasifica como, Bosque tropical perennifolio.



**Sitio 53. La vegetación encontrada en este sitio se clasifica como, Cultivo.**



**Sitio 54. La vegetación encontrada en este sitio se clasifica como, Bosque tropical perennifolio.**



**Sitio 55. La vegetación encontrada en este sitio se clasifica como, Bosque tropical perennifolio.**



**Sitio 58. La vegetación encontrada en este sitio se clasifica como, Bosque tropical subcaducifolio.**



**Sitio 61. La vegetación encontrada en este sitio se clasifica como, Acahual.**



**Sitio 64. La vegetación encontrada en este sitio se clasifica como, Bosque tropical subcaducifolio.**



**Sitio 66. La vegetación encontrada en este sitio se clasifica como, Acahual.**



**Sitio 70. La vegetación encontrada en este sitio se clasifica como, Bosque tropical perennifolio.**





**Sitio 75. La vegetación encontrada en este sitio se clasifica como, Acahual.**



**Sitio 82. La vegetación encontrada en este sitio se clasifica como, Bosque tropical perennifolio.**



**Sitio 83. La vegetación encontrada en este sitio se clasifica como, Acahual.**



**Sitio 87. La vegetación encontrada en este sitio se clasifica como, Acahual.**



**Sitio 91. La vegetación encontrada en este sitio se clasifica como, Bosque tropical caducifolio.**



**Sitio 95. La vegetación encontrada en este sitio se clasifica como, Acahual.**



**Sitio 101. La vegetación encontrada en este sitio se clasifica como, Bosque tropical subcaducifolio.**

**Tablas de valores de cargas de combustibles forestales, muestreados y estimados.**

	C 1H	TREE				IDW 1.5			
NUM-PUNTO	MUESTREO	C ESTIMADO	DIFERENCIA	CUADRADO	CHI CUAD	ESTIMADO	DIFERENCIA	CUADRADO	CHI CUAD
26	0.537	0.998	-0.461	0.213	0.213	1.100	-0.563	0.317	0.288
27	0.895	0.684	0.211	0.045	0.065	1.000	-0.105	0.011	0.011
101	0.610	0.998	-0.388	0.151	0.151	0.910	-0.300	0.090	0.099
61	0.891	0.998	-0.107	0.011	0.011	0.880	0.011	0.000	0.000
1	1.205	0.684	0.521	0.271	0.397	0.730	0.475	0.226	0.309
			CME	0.14	0.84			0.13	0.71
	C 10H	TREE				IDW .4			
NUM-PUNTO	MUESTREO	C ESTIMADO	DIFERENCIA	CUADRADO	CHI CUAD	ESTIMADO	DIFERENCIA	CUADRADO	CHI CUAD
26	2.641	4.260	-1.619	2.621	0.615	4.212	-1.571	2.469	0.586
27	4.136	2.380	1.756	3.084	1.296	4.482	-0.346	0.120	0.027
101	3.188	6.556	-3.368	11.343	1.730	4.821	-1.633	2.665	0.553
61	1.002	2.380	-1.378	1.899	0.798	4.426	-3.424	11.726	2.649
1	1.504	4.260	-2.756	7.596	1.783	4.587	-3.083	9.502	2.072
			CME	5.31	6.22			5.30	5.89
	C 100H	TREE				IDW 3.6			
NUM-PUNTO	MUESTREO	C ESTIMADO	DIFERENCIA	CUADRADO	CHI CUAD	ESTIMADO	DIFERENCIA	CUADRADO	CHI CUAD
26	2.660	1.987	0.673	0.453	0.228	1.932	0.728	0.530	0.274
27	3.955	1.987	1.968	3.873	1.949	2.590	1.365	1.863	0.719
101	3.652	1.987	1.665	2.772	1.395	3.460	0.192	0.037	0.011
61	2.877	1.987	0.890	0.792	0.399	5.189	-2.312	5.344	1.030
1	2.125	1.987	0.138	0.019	0.010	2.070	0.055	0.003	0.001
			CME	1.58	3.98			1.56	2.04

Tabla de valores de la distribución espacial de combustibles forestales, generada mediante árboles de regresión (variables numéricas) y el inverso de la distancia al cuadrado.

	C_1000_F	TREE				IDW .7			
NUM-PUNTO	MUESTREO	C ESTIMADO	DIFERENCIA	CUADRADO	CHI CUAD	ESTIMADO	DIFERENCIA	CUADRADO	CHI CUAD
26	10.253	8.585	1.668	2.782	0.324	15.860	-5.607	31.441	1.982
27	10.219	8.585	1.634	2.670	0.311	22.097	-11.878	141.094	6.385
101	76.099	30.200	45.899	2106.718	69.759	26.133	49.966	2496.571	95.532
61	40.510	30.200	10.310	106.296	3.520	21.464	19.047	362.769	16.902
1	15.844	8.585	7.259	52.693	6.138	17.616	-1.772	3.139	0.178
			CME	454.23	80.05			607.00	120.98
	C_1000_P	TREE				IDW 1.4			
NUM-PUNTO	MUESTREO	C ESTIMADO	DIFERENCIA	CUADRADO	CHI CUAD	ESTIMADO	DIFERENCIA	CUADRADO	CHI CUAD
26	11.588	11.040	0.548	0.300	0.027	9.646	1.942	3.770	0.391
27	12.402	26.880	-14.478	209.612	7.798	8.554	3.848	14.809	1.731
101	17.939	26.880	-8.941	79.941	2.974	13.191	4.748	22.544	1.709
61	6.538	26.880	-20.342	413.797	15.394	31.889	-25.351	642.673	20.153
1	7.605	11.040	-3.435	11.799	1.069	12.755	-5.150	26.517	2.079
			CME	143.09	27.26			142.06	26.06
	C HOJAR	TREE				IDW 0.009			
NUM-PUNTO	MUESTREO	C ESTIMADO	DIFERENCIA	CUADRADO	CHI CUAD	ESTIMADO	DIFERENCIA	CUADRADO	CHI CUAD
26	1.805	1.481	0.324	0.105	0.071	3.267	-1.462	2.137	0.654
27	4.469	1.481	2.988	8.928	6.028	3.265	1.204	1.450	0.444
101	4.840	5.258	-0.418	0.175	0.033	3.655	1.185	1.403	0.384
61	0.398	5.258	-4.860	23.620	4.492	3.723	-3.325	11.052	2.969
1	1.984	3.149	-1.165	1.357	0.431	3.720	-1.736	3.014	0.810
			CME	6.84	11.06			3.81	5.26

Tabla de valores de la distribución espacial de combustibles forestales, generada mediante árboles de regresión (variables numéricas) y el inverso de la distancia al cuadrado.

	C 1H	TREE (VAR DUMMY)				IDW 1.5			
NUM-PUNTO	MUESTREO	ESTIMADO	DIFERENCIA	CUADRADO	CHI CUAD	ESTIMADO	DIFERENCIA	CUADRADO	CHI CUAD
26	0.537	1.145	-0.608	0.370	0.323	1.100	-0.563	0.317	0.288
27	0.895	1.145	-0.250	0.063	0.055	1.000	-0.105	0.011	0.011
101	0.610	0.883	-0.273	0.075	0.084	0.910	-0.300	0.090	0.099
61	0.891	0.895	-0.004	0.000	0.000	0.880	0.011	0.000	0.000
1	1.205	0.895	0.310	0.096	0.107	0.730	0.475	0.226	0.309
				0.12	0.57			0.13	0.71
	C 10H	TREE (VAR DUMMY)				IDW 2.0			
NUM-PUNTO	MUESTREO	ESTIMADO	DIFERENCIA	CUADRADO	CHI CUAD	ESTIMADO	DIFERENCIA	CUADRADO	CHI CUAD
26	2.641	3.550	-0.909	0.826	0.233	2.445	0.196	0.038	0.016
27	4.136	5.472	-1.336	1.785	0.326	4.581	-0.445	0.198	0.043
101	3.188	4.446	-1.258	1.583	0.356	3.924	-0.736	0.542	0.138
61	1.002	4.564	-3.562	12.688	2.780	3.545	-2.543	6.465	1.824
1	1.504	3.684	-2.180	4.752	1.290	5.300	-3.796	14.408	2.719
				4.33	4.98			4.33	4.74
	C 100H	TREE (VAR DUMMY)				IDW 0.1			
NUM-PUNTO	MUESTREO	ESTIMADO	DIFERENCIA	CUADRADO	CHI CUAD	ESTIMADO	DIFERENCIA	CUADRADO	CHI CUAD
26	2.66	2.886	-0.226	0.051	0.018	3.459	-0.7992	0.639	0.185
27	3.955	2.886	1.069	1.143	0.396	3.453	0.5019	0.252	0.073
101	3.652	4.446	-0.794	0.630	0.142	3.568	0.0837	0.007	0.002
61	2.877	2.684	0.193	0.037	0.014	3.375	-0.4983	0.248	0.074
1	2.125	2.684	-0.559	0.312	0.116	3.329	-1.2041	1.450	0.436
				0.43	0.69			0.52	0.77

Tabla de valores de la distribución espacial de combustibles forestales, generada mediante arboles de regresión (variables dummy) y el inverso de la distancia al cuadrado.

	C FIRMES	TREE (VAR_DUMMY)				IDW 2.0			
NUM-PUNTO	MUESTREO	ESTIMADO	DIFERENCIA	CUADRADO	CHI CUAD	ESTIMADO	DIFERENCIA	CUADRADO	CHI CUAD
26	10.253	4.942	5.311	28.207	5.708	7.348	2.905	8.437	1.148
27	10.219	4.942	5.277	27.847	5.635	21.630	-11.411	130.220	6.020
101	76.099	22.37	53.729	2886.805	129.048	24.823	51.276	2629.249	105.921
61	40.510	10.77	29.740	884.468	82.123	22.063	18.447	340.292	15.424
1	15.844	10.77	5.074	25.745	2.390	8.659	7.185	51.621	5.961
				770.61	224.90			631.96	134.47
	C PODRIDOS	TREE (VAR_DUMMY)				IDW 0.5			
NUM-PUNTO	MUESTREO	ESTIMADO	DIFERENCIA	CUADRADO	CHI CUAD	ESTIMADO	DIFERENCIA	CUADRADO	CHI CUAD
26	11.588	15.330	-3.742	14.003	0.913	14.323	-2.735	7.477	0.522
27	12.402	15.330	-2.928	8.573	0.559	9.258	3.144	9.886	1.068
101	17.939	29.670	-11.731	137.616	4.638	15.639	2.300	5.292	0.338
61	6.538	12.740	-6.202	38.465	3.019	19.300	-12.762	162.874	8.439
1	7.605	12.740	-5.135	26.368	2.070	15.263	-7.658	58.639	3.842
				45.01	11.20			48.83	14.21
	HOJARASCA	TREE (VAR_DUMMY)				IDW 1.7			
NUM-PUNTO	MUESTREO	ESTIMADO	DIFERENCIA	CUADRADO	CHI CUAD	ESTIMADO	DIFERENCIA	CUADRADO	CHI CUAD
26	1.805	2.250	-0.445	0.198	0.088	2.355	-0.550	0.302	0.128
27	4.469	2.250	2.219	4.924	2.188	2.887	1.582	2.502	0.867
101	4.840	4.117	0.723	0.523	0.127	4.875	-0.035	0.001	0.000
61	0.398	3.018	-2.620	6.864	2.274	3.422	-3.024	9.147	2.673
1	1.984	3.018	-1.034	1.069	0.354	3.250	-1.266	1.604	0.493
				2.72	5.03			2.71	4.16

Tabla de valores de la distribución espacial de combustibles forestales, generada mediante arboles de regresión (variables *dummy*) y el inverso de la distancia al cuadrado.