



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA
EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
UNIDAD DURANGO**

**ANÁLISIS ESPACIAL DE LOS INCENDIOS Y LA
RECUPERACIÓN DE LA NUEVA MASA FORESTAL EN
BOSQUES DE CLIMA TEMPLADO-FRÍO**

T E S I S

**QUE PRESENTA:
MARISELA SALMERÓN MACÍAS**

**PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN
CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**DIRECTOR: DR. GUSTAVO PÉREZ VERDÍN
CODIRECTOR: DR. ARMANDO CORTÉS ORTÍZ**

DURANGO, DGO., NOVIEMBRE-2012





SIP-14-BIS

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Durango, Dgo. siendo las 16:00 horas del día 23 del mes de Noviembre del 2012 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIIDIR-IPN DGO para examinar la tesis titulada:

Análisis espacial de los incendios y la recuperación de la nueva masa forestal en bosques de clima templado-frío

Presentada por la alumna:

SALMERÓN

MACÍAS

MARISELA

Apellido paterno

Apellido materno

Nombre(s)

Con registro:

B	1	0	1	0	8	5
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis

Dr. Gustavo Pérez Verdín

Dr. Armando Cortés Ortiz

Dr. Marco Aurelio González Tagle

Dra. Martha González Elizondo

Dr. Isaiás Cháirez Hernández



PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES
 CENTRO INTERDISCIPLINARIO
 DE INVESTIGACIÓN PARA EL
 DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
 C.I.I.D.I.R.
 UNIDAD DURANGO
 I.P.N.

Dr. José Antonio Ávila Reyes



SIP-13-BIS

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS Y DESIGNACIÓN DE DIRECTORES DE TESIS

México, D.F. a 06 de Marzo del 2012

El Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIIDIR Durango en su sesión ordinaria No. 3 celebrada el día 06 del mes de Marzo conoció la solicitud presentada por el(la) alumno(a):

SALMERÓN

MACÍAS

MARISELA

Apellido paterno

Apellido materno

Nombre (s)

Con registro:

B	1	0	1	0	8	5
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de: Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental

1.- Se designa al aspirante el tema de tesis titulado:
"Análisis espacial de los incendios y la recuperación de la nueva masa forestal en bosques de clima templado-frío"

De manera general el tema abarcará los siguientes aspectos:

2.- Se designan como Directores de Tesis a los Profesores:
Dr. Gustavo Pérez Verdín y Dr. Armando Cortés Ortiz

3.- El trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesis será elaborado por el alumno en:
CIIDIR-IPN Unidad Durango
que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

4.- El interesado deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente hasta la aceptación de la tesis por la Comisión Revisora correspondiente:

Directores de Tesis

Dr. Gustavo Pérez Verdín

Aspirante

Dr. Armando Cortés Ortiz

Presidente del Colegio

Ing. Marisela Salmerón Macías

Dr. José Antonio Avila Reyes

CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
C.I.I.D.I.R.
UNIDAD DURANGO
I.P.N.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de **DURANGO, DGO.**, el día **23** del mes de **NOVIEMBRE** del año **2012**, la que suscribe **MARISELA SALMERÓN MACÍAS** alumna del Programa de **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL** con número de registro **B101085** adscrita a **CIIDIR-IPN UNIDAD DURANGO**, manifiesta que es autora intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del **DR. GUSTAVO PÉREZ VERDÍN** y del **DR. ARMANDO CORTÉS ORTIZ** y cede los derechos del trabajo intitulado **ANÁLISIS ESPACIAL DE LOS INCENDIOS Y LA RECUPERACIÓN DE LA NUEVA MASA FORESTAL EN BOSQUES DE CLIMA TEMPLADO-FRÍO**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección marsmdgo@hotmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.


MARISELA SALMERÓN MACÍAS
Nombre y firma

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres Flor y Rosalio por la oportunidad, paciencia, comprensión y su gran apoyo en el transcurso de mis estudios y en el caminar de día a día.

Agradezco a mis hermanos Moisés y Miguel Salmerón, tíos, primos y vecinos

Dedico este trabajo muy especialmente a mis padres, a mi esposo Ángel E. Ortiz y a mi hija Martha Isabel que son mi presente y mi futuro.

Al Instituto Politécnico Nacional y al CIIDIR-DGO.

A Noelia, Mayra y Lili, a todo el cuerpo administrativo y docente por sus consejos, paciencia y los conocimientos que me transmitieron durante mi formación.

Agradezco al Dr. Gustavo Pérez Verdín y el Dr. Armando Cortes quienes fueron guía y amigos en cada momento en la realización de dicho trabajo así como a cada uno de los

miembros de mi comité: Dra. Martha González Elizondo

Dr. Isaías Chaires Hernández

Dr. Marco Aurelio Tagle

Agradezco también a mis amigos Frantza e Inocencia y Ricardo mi primo

*Pero principalmente a mi Dios por la vida y cada uno de los regalos que día a día me
da*

El pasado ha huido, lo que esperas esta ausente

Pero el presente es tuyo

Tabla de contenido	
Relación de Cuadros	iii
Relación de Figuras	iv
Lista de acrónimos	vi
Glosario	vi
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN	1
I.-ANTECEDENTES	3
III.- JUSTIFICACIÓN	7
IV.-OBJETIVOS.....	8
1.- Objetivo General.....	8
2. Objetivos específicos	8
V.- HIPÓTESIS.....	9
VI.- MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
6.1.- Efecto de la población y caminos en la ocurrencia de los incendios	10
6.2.- Análisis de supervivencia de áreas afectadas por incendios forestales	14
Generalidades de los predios estudiados	15
6.3 Densidad y distribución de la regeneración	22
VII.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
7.1 Efecto de la población y caminos en la ocurrencia de los incendios	25
7.2 Análisis de supervivencia de áreas afectadas por incendios forestales	29
7.3 Densidad y distribución de la regeneración	44
VIII.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	46

Bibliografía	48
ANEXO 1.- Modelo cartográfico para estimar la distancia de los caminos a los incendios	53
ANEXO 2.-Modelo cartografico para estimar la distancia de los incendios a poblados.....	54
Anexo 3.- Ficha Técnica.....	55
Anexo 4. Formato de captura de Regeneración.....	59

Relación de Cuadros

Cuadro 1.- Predios con áreas afectadas por incendios forestales	14
Cuadro 2.- Variables utilizadas en el análisis de supervivencia	20
Cuadro 3.- Estimador para índice de distancia a localidades, caminos e índice de gravedad poblacional	26
Cuadro 4.- Estadísticos del análisis de varianza y Kolmogorov Smirnov para determinar el tipo de distribución que presentan los incendios forestales.....	28
Cuadro 5.- Tiempo de supervivencia para cada variable	30
Cuadro 6.- Variables significativas en el análisis de supervivencia	42
Cuadro 7.- Características generales de los incendios registrados y actividades económicas de los cuatro predios bajo estudio.....	43
Cuadro 8.-Densidad y distribución de la regeneración.....	44

Relación de Figuras

Figura 1.- Ubicación del estado de Durango e incendios en bosque templado-frio...	10
Figura 2.- Procesamiento en ArcGis® de las localidades respecto al incendio.....	12
Figura 3.- Tipos de distribución	14
Figura 4.- Localización geodésica de los predios “Santiago Bayacora”, “El Tecúan”, “Potrerros de Concepción” y “La Vaca y el Embudo” Lotes B 2 y 3.....	15
Figura 5.- Ejemplo de la estimación de la edad de la regeneración utilizando los verticilos de la planta. Cada verticilo corresponde aproximadamente a un año, que separa la temporada de lluvias de un año con el siguiente.....	19
Figura 6.- Método de la parcela T2. El método requiere que el ángulo formado por los individuos X y Z sea mayor a 90° (Krebs, 1999)	23
Figura 7.- Incendios forestales 2000-2011	25
Figura 8.- Distancia de vías de acceso respecto al incendio forestal	27
Figura 9.- Probabilidad y tiempo de supervivencia de la regeneración respecto a la altitud.....	31
Figura 10.- Probabilidad y tiempo de supervivencia de la regeneración respecto a la exposición.	32
Figura 11.- Probabilidad y tiempo de supervivencia de la regeneración respecto a la pendiente.....	33
Figura 12.- Probabilidad y tiempo de supervivencia de la regeneración respecto al tipo de suelo.	34
Figura 13.- Probabilidad y tiempo de supervivencia de la regeneración respecto a la precipitación.	35
Figura 14.- Probabilidad y tiempo de supervivencia de la regeneración respecto a la temperatura.	36
Figura 15.- Probabilidad y tiempo de supervivencia de la regeneración respecto al género.	37
Figura 16.- Probabilidad y tiempo de supervivencia de la regeneración respecto al método.	38
Figura 17.- Probabilidad y tiempo de supervivencia de la regeneración respecto a cada predio.....	39

Figura 18.-Probabilidad y tiempo de supervivencia de la regeneración respecto a actividades de aprovechamiento.	40
Figura 19.- Probabilidad y tiempo de supervivencia de la regeneración respecto a programa de manejo forestal vigente.	41
Figura 20.- Distribución agregada de la regeneración natural.....	45

Lista de acrónimos

CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
SEMARNAT	Secretaría de Recursos Naturales
Msnm	Metros sobre el nivel del mar
pH	potencial de hidrogeno
SIG	Sistemas de información geográfica
SMO	Sierra Madre Occidental
PMF	Programa de manejo forestal

Glosario

Brinzal	Pequeño árbol silvestre o cultivado de muy poca edad.
Pirófilas	Vegetación o flora adaptada al fuego
CLIMAS	
C (E) (W ₂)	Tipo semifrío subhúmedo con lluvias en verano con precipitación invernal entre el 5 y 10.2%
C (W ₁)	Tipo templado subhúmedo con lluvias en verano
BS ₁ kw(w)	Subtipos semisecos templados con lluvias en verano con una precipitación invernal del 5% en verano cálido).
TIPOS DE SUELO	
Acrisol (A)	Suelos ácidos de climas húmedos, con un subsuelo arcilloso y pobres en general
Luvisol Háptico (Ln)	Predominan en zonas llanas o con suaves pendientes de climas templados fríos. Suelos con mucha arcilla acumulada en el subsuelo.
Litosol eútrico (Ie)	El Litosol eutrítico es un suelo de poca profundidad. Estos suelos se producen por la escasez de cubierta

	vegetal y consecuentemente un desarrollo menor de suelo.
Regosol eútrico (Re)	Con subsuelo rico o muy rico en nutrientes, ácidos a alcalinos y fértiles.
Regosol dístrico (Rd)*	Se pueden presentar en muy diferentes climas y con diversos tipos de vegetación, son de susceptibilidad variable a la erosión y subsuelo pobre o muy pobre en nutrientes.
Cambisol dístrico (Bd)	Es un suelo joven, poco desarrollado, de cualquier clima, menos de zonas áridas, con cualquier tipo de vegetación, Susceptibilidad de moderada a alta a la erosión y subsuelo pobre o muy pobre en nutrientes.
Cambisol eútrico (Be)	Subsuelo rico o muy rico en nutrientes.
Feozem Háptico (Hh)	Tiene una capa superficial oscura, suave y rica en materia orgánica y nutriente, se encuentran en terrenos desde planos hasta montañosos y susceptibilidad a la erosión
Xerosol (X)	Suelos de regiones secas generalmente con una capa superficial clara y delgada, con cantidades muy variables de materia orgánica según el tipo de textura que tengan.

RESUMEN

Los incendios forestales en bosques de clima templado-frio ocasionan impactos negativos y positivos que pueden incidir en la destrucción total de un área o el establecimiento de la nueva masa forestal. La presencia del fuego esta influenciada por diversos factores ecológicos, climáticos y sociales como la densidad arbórea, temperatura, precipitación, presencia actividades agrícolas y ganaderas, entre otros. En este estudio se realizó una evaluación de la distribución espacial de los incendios y el tiempo que tarda en establecerse la regeneración en áreas afectadas por el fuego, de los factores más importantes que influyen en su establecimiento y la distribución espacial de la nueva regeneración. Se usaron datos de la CONAFOR para el periodo 2000-2011 de los incendios forestales ocurridos en el estado de Durango y muestreos de campo para evaluar la distribución y tiempo de recuperación de la nueva masa forestal después de ser afectada por un incendio forestal. Los resultados muestran que la presencia y superficie de los incendios está influenciada por las vías de acceso, localidades y número de habitantes en un área determinada, esto contribuye a que la distribución de los incendios se presente de forma agregada. Por otra parte, el tiempo de establecimiento de la regeneración fue mas largo que el que se especifica en la Ley y esta en función de las variables altitud, precipitación, presencia de actividades silvícolas y si el predio cuenta con programa de manejo forestal. Así mismo, la densidad de regeneración se estimó entre dos y cuatro individuos por ha y su distribución espacial es de manera agregada. Los resultados sugieren la rápida intervención tanto de los propietarios del terreno como de las instituciones afines para mitigar el impacto de los incendios forestales sobre la regeneración y la recuperación inmediata de los ecosistemas afectados.

ABSTRACT

Wildfires fires in temperate-cold forests cause both negative and positive impacts that may destroy and replace a complete forest stand or help regenerate a new one. The occurrence of fire is due to various ecological, climatic, and social factors including the amount of trees in the area, temperature, precipitation, and diverse human activities such as agriculture, cattle ranching, among others. An evaluation of fire distribution was conducted in the state of Durango using a CONAFOR'S database for the 2000-2011 period, which included the statistics of wildfires and their spatial location. A field sampling was also made to evaluate the time taken to establish a post-fire regeneration as well as the spatial distribution of the new trees. Results showed that the occurrence of fires is influenced by the proximity to roads, proximity to communities, and the number of people living in the area. The distribution of fires was found to be aggregated, particularly close to roads and communities. The time taken to regenerate an affected area was longer than the stated by law and depends on elevation, precipitation, silvicultural activities, and if the land counts with a forest program. The density of regeneration was estimated between two and four individuals per hectare and these individuals exhibited a cluster distribution. The results suggest the prompt participation of landowners and public agencies to mitigate the effect of frequent and large fires and the immediate restoration of the damaged ecosystems.

INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales afectan positiva o negativamente a los ecosistemas y su impacto varía de acuerdo a la intensidad, frecuencia, forma de propagación, a la cantidad de combustible, así como a la respuesta de la especie al fuego (Rodríguez, 2008). Por un lado, el fuego puede ser uno de los factores que contribuyen al establecimiento y desarrollo de la vegetación forestal en bosques de clima templado frío (Rodríguez y Fulé 2003). Pero por otro lado, influyen negativamente en la disminución de áreas boscosas y la reducción en la capacidad de regeneración del bosque. Ante los eventos adversos y/o negativos, es necesario minimizar las consecuencias y restablecer el ecosistema en el menor tiempo posible. Una forma de lograr esto es a través del establecimiento de la regeneración del bosque ya sea de manera natural o artificial y estimulando las condiciones que se tenían antes del siniestro (Alanís *et al*, 2008).

El establecimiento de la regeneración depende de muchos factores ambientales, físicos y silviculturales. Entre ellos se encuentran las condiciones de temperatura, humedad, precipitación, características del suelo y la forma que se protege la semilla debido a la depredación por aves y roedores. Entre los factores físicos están la pendiente, altitud, exposición, tipo de suelo, etc. Mientras que en los culturales se encuentran la aplicación de cortas para incrementar la cantidad de luz solar en el piso bajo del bosque, tratamientos al suelo, limpia de malezas, y cercados protectores. La cercanía a los caminos, poblaciones o a las áreas de cultivo son también algunos factores que influyen en la incidencia y distribución de los incendios forestales.

La combinación de estos factores afecta tanto la disponibilidad de la semilla y la supervivencia del nuevo individuo. Por ejemplo, si la cantidad de ceniza depositada en el suelo es muy abundante se afecta de manera negativa a la plántula debido a su toxicidad. Pero también la ceniza puede aumentar la cantidad de nutrientes o mejorar el pH que facilite los primeros estadios del brote. Incendios recurrentes, como aquellos que ocurren en áreas cercanas a caminos,

pueden eliminar la regeneración en sus etapas tempranas. En general, la acción del fuego explica muchos atributos que determinan la supervivencia, fecundidad, el tiempo y el lugar en que la especie puede tener éxito después de la ocurrencia del incendio (Vega, 2003). Por lo tanto, el tiempo que tarda en establecerse un nuevo individuo va desde algunos meses hasta varios años y en varias etapas después del incendio.

En este estudio, se trató de identificar la relación entre la cercanía a caminos y localidades respecto a las áreas donde ocurren los incendios forestales y la influencia del número de habitantes en una determinada área. También se estimó el tiempo y las variables que influyen en el establecimiento de la regeneración, su densidad y distribución después de la ocurrencia de los incendios forestales. Para ello, se utilizaron modelos de simulación de distribución espacial y modelos de duración, basados en técnicas paramétricas y no paramétricas.

I.-ANTECEDENTES

Los bosques de clima templado frío cuentan con una gran diversidad florística y ecológica, como es el caso de los bosques de coníferas que junto con el bosque de encino representan uno de los recursos forestales económicos más importantes de nuestro país. Cerca del 80 % del volumen total anual de madera producida en México proviene de los pinos de la Sierra Madre Occidental y del eje Neo Volcánico; principalmente de los estados de Chihuahua, Michoacán y Durango (SEMARNAT, 2011). Una de las causas más importantes en la pérdida de los bosques en México se debe a los incendios forestales y, aunque estos constituyen un elemento importante en la dinámica natural de los ecosistemas, en ocasiones su severidad provoca también la disminución de beneficios ecológicos y económicos del área (SEMARNAT, 2005).

Para efectos de este estudio, los incendios forestales se interpretan como el fuego que se propaga sin control en un sistema forestal y como un proceso no deseado con daños y consecuencias económicas y ecológicas (Chuvienco, 2004). Para que dichos eventos ocurran es necesario la presencia de calor, oxígeno y combustible, mejor llamado como el triángulo del fuego (Chuvienco y Salas, 1995).

El grado de afectación de los incendios sobre los ecosistemas puede variar de acuerdo a la intensidad, frecuencia y forma de propagación. La intensidad (longitud de llama) puede ser baja, media y alta con base en el nivel de combustión de los materiales orgánicos sobre la superficie del suelo. En cuanto a la frecuencia se considera que los incendios son frecuentes cuando se presentan cada dos a 10 años, los eventos relativamente frecuentes cada 50 a 100 años y los muy poco frecuentes tienen incidencia hasta varios siglos. Por último, la forma de propagación está determinada por la cantidad y disposición del combustible pueden originar incendios subterráneos, superficiales o aéreos (Martínez, 2004, y Rodríguez, *et al*, 2008).

Los incendios forestales de baja intensidad y frecuentes pueden tener un impacto positivo sobre la cubierta vegetal debido a que algunas especies de pino han

desarrollado adaptaciones para sobrevivir y regenerarse después de la ocurrencia del fuego, esto les ha permitido mantener un curso en su evolución. Por ejemplo algunas especies del genero *Quercus* y *Juniperus* tienen la capacidad de rebrotar, aún cuando la porción aérea sea destruida (Perry, 1991). Además, este tipo de incendios permiten eliminar competencia entre individuos, proporciona nutrientes y saneamiento al bosque. Por lo tanto, el fuego con estas características es un importante factor para la repoblación de las especies y reductor de los impactos ecológicos y económicos (Martínez y Márquez, 2004., Rodríguez y Myers, 2010).

Por otra parte, los incendios también ocasionan impactos negativos, como la disminución del aprovechamiento maderable y otros productos, en el desajuste de los ciclos del recurso forestal, la muerte del arbolado adulto o la afectación en su vigor y crecimiento y como consecuencia una reducción en la capacidad de germinación del bosque (Martínez, 2004). Esto ocasiona dejar al suelo sin cubierta vegetal, provocando la erosión del suelo por el efecto de la exposición directa de la lluvia y el viento (Fernández y Vega, 2011), sin dejar de considerar la pérdida y destrucción del hábitat de la fauna silvestre (Aguilar, 2006).

Así mismo, la acción combinada de distintos factores ambientales y socio-económicos ha incrementado las condiciones que pueden provocar los incendios al ecosistema afectando eventualmente la economía de los propietarios y del país. Los factores ambientales incluyen el cambio climático y los fenómenos periódicos recurrentes (ejemplo El Niño y La Niña). En México con el fenómeno El Niño se presentan sequías durante el verano, lo que incrementa las posibilidades de incendios forestales (Villers, 2004). La presencia de los incendios forestales por tanto, esta fuertemente influenciada por la acción del hombre y sus hábitos, en donde la accesibilidad a las áreas rurales, urbanas, agrícolas y ganaderas representa un factor que facilita la ignición en el área forestal (Rodríguez y Fulé, 2003).

Revisión de estudios realizados

En el caso de la distribución de incendios forestales se encuentra el estudio realizado por Ávila (2010) que a través del coeficiente de Moran y el diagrama de dispersión de Moran encontró que los incendios se presentan en forma concentrada en las áreas boscosas. Así mismo, Hermann y colaboradores (2000) encuentran que la presencia de los incendios forestales esta fuertemente influenciada a la cercanía de los caminos.

Es conveniente dar una interpretación a la palabra regeneración. Para el caso de este estudio se considera a la regeneración como el origen del nuevo individuo (brinjal) ya sea de manera natural o artificial en un área forestal y que además el área la ha poseído con anterioridad. Que además, cuenta con una altura mayor a 10 cm y un diámetro menor de 7.5 cm.

La respuesta de la regeneración a los incendios forestales se puede estimar mediante técnicas de supervivencia. Este tipo de técnicas son utilizadas para estudiar la ocurrencia de eventos probabilísticos que involucran un tiempo de éxito o fracaso. Las técnicas de supervivencia permite también conocer el tiempo necesario desde que ocurre el incendio hasta que se establece la nueva regeneración (Allison, 1995). Uno de los primeros estudios que utilizó modelos de duración paramétrica y no paramétrica para evaluar el tiempo para el establecimiento de la regeneración en bosques de pino fue desarrollado en Mississippi, Estados Unidos de América (EUA) por Sun y colaboradores (2008). En ese trabajo, se evaluó el tiempo que los propietarios forestales tardan para realizar las actividades de reforestación después de realizar un aprovechamiento forestal. Los autores encontraron que el 40% de los productores forestales no llevó a cabo actividades de reforestación durante el plazo estudiado (10 años). Además, la probabilidad de establecimiento de la regeneración se estimó en promedio en 11 meses, alcanzándose la máxima al término del 16avo. mes, después del cual dicha probabilidad empezó a disminuir hasta el 28avo mes.

Así mismo, Alanís y colaboradores (2008) realizaron un estudio en el parque ecológico Chipinque, N.L., para conocer el tiempo de recuperación de áreas

incendiadas con y sin restauración ecológica después de nueve años ocurrido el evento. Ellos encontraron que dichas áreas tuvieron diferencias estadísticas en su composición florística. Sin embargo, el ecosistema con restauración ecológica se asemeja al ecosistema de referencia utilizado como base.

Otro estudio sobre regeneración de *Pinus oocarpa* se realizó en el municipio Sola de Vega, Oaxaca, encontrando mediante una aproximación sincrónica mayor densidad de regeneración a los dos y cuatro años en las áreas incendiadas. Los autores sugieren que los incendios con alta intensidad y propagación superficial favorecen el establecimiento de especies serótinas (Juárez y Rodríguez, 2004).

En relación a trabajos sobre la densidad y distribución de la regeneración, Benítez (2002) utilizó el método de parcela T^2 para evaluar la regeneración natural, encontrando que ésta tiene una tendencia de forma agregada y su densidad depende de las actividades realizadas.

III.- JUSTIFICACIÓN

El Art. 125 de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS, 2003) manifiesta que los propietarios, poseedores y usufructuarios de terrenos forestales están obligados a llevar a cabo la reforestación de la superficie afectada por incendios en un plazo no mayor de 2 años. Así mismo, el Art. 131 para los fines de reforestación y forestación se consideran prioritarias las áreas incendiadas especialmente las que hayan sufrido incendios reiterados. Sin embargo, aun cuando se cuentan con apoyos federales para realizar las actividades de reforestación en áreas incendiadas, no todas son reforestadas. Los programas de reforestación no han tenido el impacto esperado dando como resultado un aumento de las áreas deforestadas (SEMARNAT, 2011).

En la medida en que los bosques son rápidamente recuperados, se incrementa la biodiversidad, el valor estético, la capacidad productiva de los suelos y el valor comercial de los terrenos forestales. El conocimiento del tiempo que tarda la nueva regeneración en establecerse y la influencia de los factores que influyen en su establecimiento, propicia una más efectiva restauración de los bosques a condiciones previas a los incendios forestales. Eventualmente, esto asegurará la producción de madera y la provisión de otros servicios ambientales como biodiversidad, reducción de erosión, filtración de agua, etc. Una recuperación lenta o ineficiente demerita el valor ecológico y económico de estos servicios ambientales.

IV.-OBJETIVOS

1.- Objetivo General

Analizar la distribución espacial de los incendios forestales y el impacto de los incendios en la regeneración y los factores físicos, sociales y económicos más importantes que influyen en el establecimiento de la nueva masa forestal.

2. Objetivos específicos

- ✚ Analizar la distribución espacial de los incendios forestales registrados en los últimos 12 años en bosques templados fríos en el estado de Durango.
- ✚ Estimar, mediante análisis de supervivencia, el tiempo que tardan en regenerarse las áreas siniestradas y los factores más importantes que inciden en su establecimiento.
- ✚ Evaluar la densidad y distribución espacial de la regeneración en áreas afectadas por los incendios forestales.

V.- HIPÓTESIS

- a) Los incendios forestales se distribuyen espacialmente de manera aleatoria en las áreas forestales del estado de Durango.
- b) Las áreas afectadas por incendios forestales no tienen una regeneración de sus bosques en tiempos menores de dos años.
- c) La regeneración se distribuye de manera aleatoria después de la ocurrencia de incendios forestales.

VI.- MATERIALES Y MÉTODOS

6.1.- Efecto de la población y caminos en la ocurrencia de los incendios

Área de estudio

El estudio consideró las áreas quemadas durante los años 2000-2011 en bosques de clima templado-frío del estado de Durango e incluye únicamente aquellos con referencia geográfica para facilitar el uso de las herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). El área cuenta con una temperatura promedio de 11.5°C para El Salto, Pueblo Nuevo, una precipitación total anual de 1500 mm en las partes altas de la Sierra Madre. Así mismo, los tipos de vegetación incluyen bosque de coníferas y bosque de encino (González, *et al* 2007) (Figura 1).

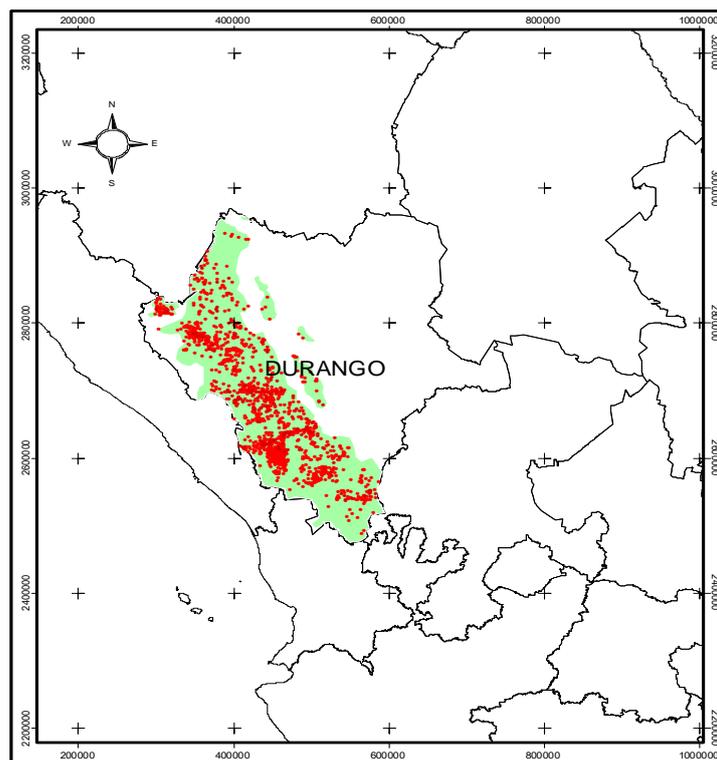


Figura 1.- Ubicación del estado de Durango e incendios en bosque templado-frío

Para los incendios se estimó un índice de distancias a caminos y poblaciones y un índice de gravedad poblacional. También se determinó el tipo de distribución espacial mediante el método de cuadrantes (prueba de Kolmogorov-Smirnov (KS) y el coeficiente varianza-media). Para llevar a cabo dichos análisis se utilizó el software de Arcview 3.2® y ArcGis 9.0®, mapas con proyección cartográfica Universal Transversal de Mercator (UTM), zona 13 N y un sistema geodésico de

referencia WGS84. Así mismo, se requirió de la siguiente información en formato *shapefile*:

1. Incendios forestales de los años 2000-2011 (CONAFOR)
2. Vías de acceso caminos y carreteras/Conjunto de datos topográficos vectoriales escala 1:250 000 (INEGI)
3. Localidades / Datos del II Censo Nacional de 2005 (INEGI)
4. Limite geoestadístico del estado de Durango (INEGI)
5. Limite geoestadístico SMO /Inventario Nacional Forestal

Índice de distancias a caminos

Se estimó la distancia euclidiana de cada incendio al camino más cercano. La cartografía que se utilizó fueron las capas vectoriales de carreteras y caminos (1:250 000), que posteriormente se unen para formar una capa de accesos y la capa vectorial de los incendios presentes en el periodo 2000-2011. Ambos se convirtieron a capas raster en el programa ArcGis® donde se estimaron las distancias (Anexo 1).

Índice de distancias a poblaciones

Se estimó la distancia entre el incendio registrado y el poblado más cercano. De la misma manera que la estimación de distancias a los caminos, fue necesario contar con un modelo cartográfico de la capa vectorial de localidades (INEGI, 1:250 000) e incendios del periodo antes mencionado. Estas se convirtieron a capa raster para obtener las distancias mas cortas de los incendios a poblados (Anexo 2).

Índice de gravedad poblacional

El índice de gravedad poblacional (IGP) se utilizó para conocer la influencia del número de habitantes encontrados en un radio de 20 km respecto de cada incendio. Un radio de 20 km aseguraría la incorporación de al menos una localidad (Majumbar *et al*, 2010) (Figura 2).

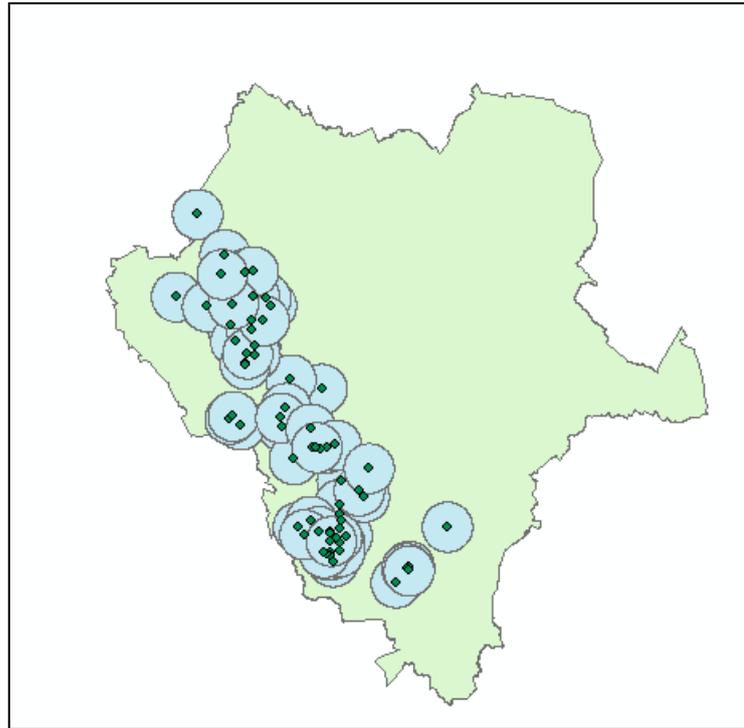


Figura 2.- Procesamiento en ArcGis® de las localidades respecto al incendio

El IGP se obtiene de la suma del número de habitantes por cada buffer generado según la siguiente ecuación:

$$IGP = \sum_{i=1}^n \frac{\sqrt{Poblacion}}{distancia} \quad [1]$$

Donde n es el número de poblados encontrados en un radio (distancia) de 20 kilómetros (Km).

Distribución espacial de los incendios

El método de cuadrantes permitió evaluar la distribución espacial de los incendios registrados a través del tiempo (Wong y Lee, 2005). Es importante mencionar que los incendios no son en la realidad un punto, sino polígonos con distintas superficies sin embargo, la información con la que se cuenta de los eventos es en forma puntual y se asume que corresponde al centro del polígono incendiado. A través de este método se comparó la densidad de puntos sobre una cuadrícula

para conocer si los datos se distribuyen de manera dispersa, regular o agrupada (Figura 3).

Para conocer el número de cuadros necesarios se utilizó la expresión utilizada por Wong y Lee (2005) y Smith (1952).

$$n = K/2 \quad [2]$$

Donde:

n número de cuadros en la malla

K número total de puntos (incendios en cada año)

El método de cuadrantes se basa principalmente en dos estadísticos: la prueba de Kolmogorov-Smirnov (KS) y el coeficiente varianza-media. Estos estadísticos prueban la hipótesis si la distribución observada y la ajustada a partir de una distribución teórica son significativamente iguales o no. En particular, el coeficiente de varianza (estadístico T>coeficiente de varianza) prueba las hipótesis que:

Ho.- La distribución observada viene de una distribución sistemática

Ha.- La distribución observada no viene de una distribución aleatoria

Por su parte, el estadístico Kolmogorov Smirnov (D K-S>nivel crítico) prueba las hipótesis:

Ho.- La distribución observada viene de una distribución uniforme

Ha.- La distribución observada no viene de una distribución uniforme

Para este análisis se utilizó la herramienta de CH6 en el programa de ArcView®, misma que permite el cálculo de las operaciones mediante el coeficiente varianza-media y el estadístico K-S.

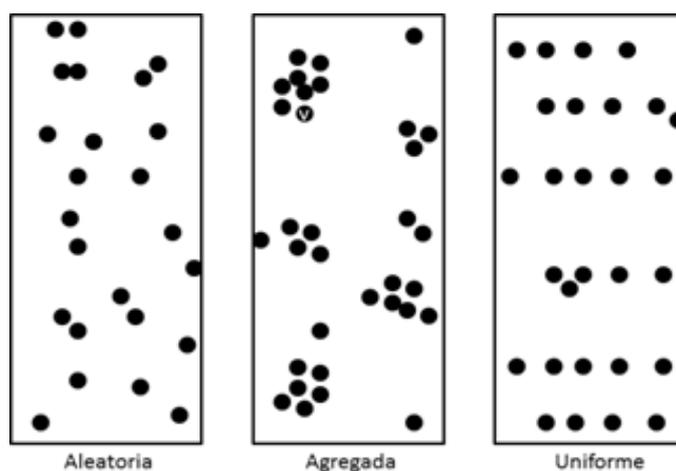


Figura 3.- Tipos de distribución espacial.

6.2.- Análisis de supervivencia de áreas afectadas por incendios forestales

El análisis de supervivencia y el análisis de densidad y distribución de la regeneración consideró las áreas quemadas de los predios “Santiago Bayacora”, “El Tecuán”, Propiedad privada (P.p) “La Vaca y el Embudo” Lote B 2 y 3 y Pp., “Potreros de Concepción”. La selección de estos casos de estudio se debió a limitaciones en el muestro y la posibilidad de evaluar la regeneración en diferentes condiciones de propiedad, tal y como se describe en el cuadro 1.

Cuadro 1.- Predios con áreas afectadas por incendios forestales

Predio	Tipo de propiedad	Municipio	Año del incendio	Sitios de muestreo	Coordenadas X	Coordenadas Y
La Vaca y el Embudo Lote B 2 y 3	PP	Durango	2002	8	490316	2653629
El Tecuán	Gob. estatal	Durango	2000	4	498067	2641813
El Tecuán	Gob. estatal	Durango	2006	19	497252	2642750
El Tecuán	Gob. estatal	Durango	2009	40	496433	2643500
Santiago Bayacora	Comunal	Durango	2002	25	537290	2618089
Potrero de Concepción	PP	Canatlán	2008	16	502884	2694799

Generalidades de los predios estudiados

Comunidad Santiago Bayacora

La comunidad Santiago Bayacora tiene una superficie de 52 938 ha y se ubica al sur de la ciudad de Durango colindando al norte con el ejido “Sebastián Lerdo de Tejada” y ejido “Ferrería de Flores”, al sur con P.p “Bajíos de Don Víctor” Lote (L) 8, L 9, L10 y L 11; colonia “Ganadera Venustiano Carranza” L 2, L 7 y L 15. Sus colindantes al este son: el ejido “Valle Florido”, ejido “Refugio Salcido”, P.p. “La Ciénega”, ejido “Nicolás Romero”, P.p. “San Juan”, P.p. “San Antonio” y por ultimo al oeste se encuentran los predios P.p. “San José de la Casita”, P.p. “San Pedro”, P.p. “Ríos del Arco” y P.p. “San Juan” y ejido “Bajíos de Don Víctor” (Figura 4).

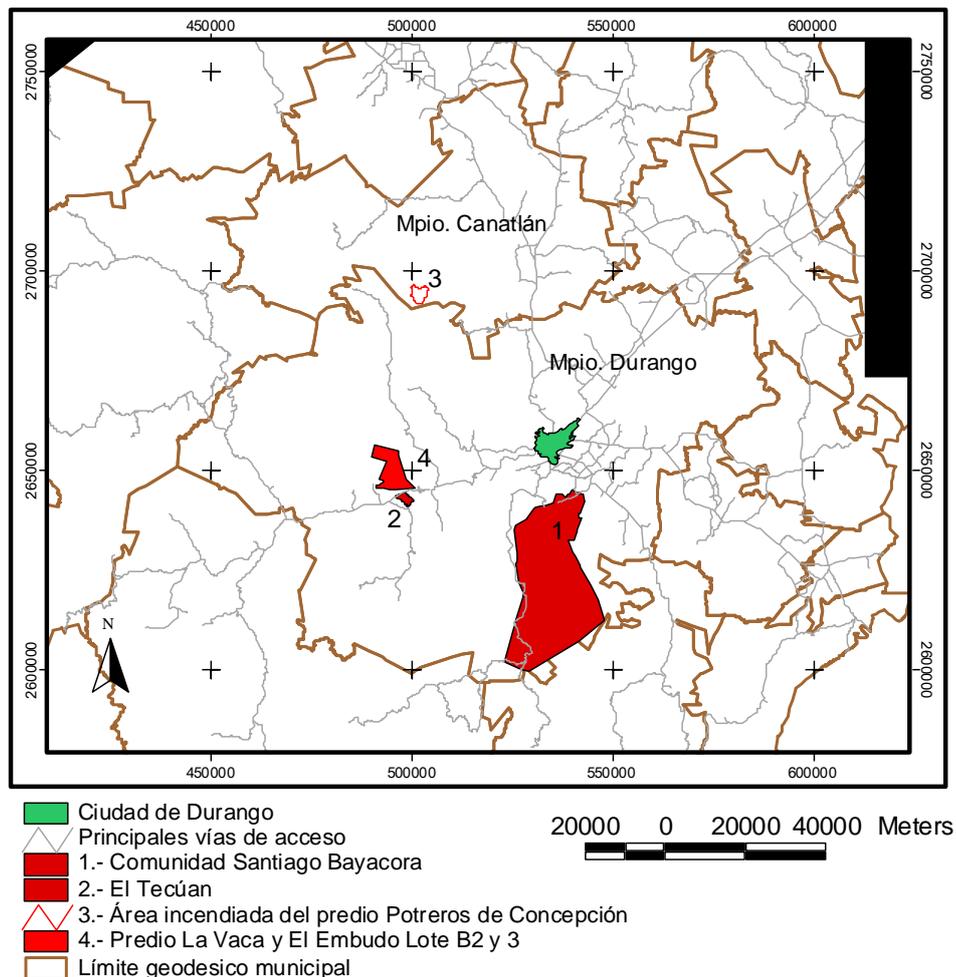


Figura 4.- Localización geodésica de los predios “Santiago Bayacora”, “El Tecúan”, “Potreros de Concepción” y “La Vaca y el Embudo” Lotes B 2 y 3

La comunidad forma parte de la cuenca Santiago Bayacora encontrando aguas abajo la Presa Santiago Bayacora, una de las presas más importantes del estado

de Durango. La altitud promedio es de 2600 msnm con una mínima de 2200 msnm y una máxima de 3000 msnm. Las mayores elevaciones se encuentran al sur del predio y las menores en la parte norte. De acuerdo a la carta edafológica F13B22 a escala 1:50 000 (INEGI, 1983) las unidades de suelo encontrados en el predio son: Luvisol háplico (Ln), Litosol eútrico (Ie), Regosol eútrico (Re), Cambisol eútrico (Be) en su mayoría con subsuelo rico o muy rico en nutrientes, ácidos a alcalinos y fértiles.

El clima que se encuentra en el predio es tipo semifrío subhúmedo (C (E) (W₂)), templado subhúmedo (C (W₁)) y semiseco templado BS₁kw (w). La temperatura media anual fluctúa alrededor de los 13° C y la precipitación anual del año 2000 al 2011 se estima en promedio en 575 mm de acuerdo a los datos de la estación meteorológica Santiago Bayacora.

La vegetación característica del clima semifrío subhúmedo y de importancia comercial en el predio son las especies del género *Pinus* como: *Pinus teocote*, *P. duranguensis*, *P.cooperii*, *P. ayacahuite*, *P. herrerae*. En relación a la productividad mencionada en el programa de manejo forestal (PMF), la comunidad Santiago Bayacora inició sus aprovechamientos forestales en 1959. Posteriormente, dichos aprovechamientos continúan en los años 1964, 1982, 1992, 1997, 2000 y 2012. Lo anterior es importante debido a que esta comunidad tiene una alta dependencia de la actividad forestal (Programa de manejo forestal, PRODEFOR, 2000).

Parque Nacional El Tecuán

El Parque tiene una superficie total de 778.75 ha y se localiza al oeste de la Ciudad de Durango, Dgo. Siendo su acceso por la carretera Inter - oceánica Matamoros - Mazatlán, en su tramo Durango – Mazatlán. Colinda al norte con p.p. “Tepalcates”, al sur con p.p. “Cia. Ganadera el Carmen”, al este se encuentra P.p. “Parque Rustico Tepalcates” y al oeste “Colonia Navíos” (Figura 4). El predio se encuentra a cargo de La Secretaria de Recursos Naturales y Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Durango.

Los suelos que se encuentran en el predio El Tecuán son: Feozem háplico (Hh), Regosol dístico (Rd), Litosol (I) Cambisol dístico (Bd) Cambisol eútrico (Be) y finalmente Acrisol (A) (Carta edafológica F13A19 A escala 1:50 000) predominando la subunidad dístico subsuelo pobre o muy pobre en nutrientes.

De acuerdo a INEGI (2011) el parque presenta un clima semifrío subhúmedo (C (E) (w_2)) y la precipitación anual oscila en los 790 mm y una temperatura media anual de 12.9 C° según la región hidrológica N° 11 estación Navíos. En donde el terreno por lo regular es plano y ondulado con altitud media de 2400 msnm. La vegetación boscosa esta compuesta por asociaciones de coníferas y latifoliadas donde predominan las especies: *Pinus cooperii*, *P. teocote*, *P. leiophylla*, *P. engelmannii*, *Quercus sideroxyla* *Q. sideroxyla*, *Q. durifolia* *Q. spp.* También se encuentran especies como *Juniperus* spp. El Parque se considera una área destinada a recreación turística, por lo tanto, no se encuentra dentro del él ningún asentamiento, únicamente se ubican cabañas de descanso que son utilizadas en temporadas por algunos paseantes (González, 1999).

Predio Potrero de Concepción

La propiedad privada “Rancho Potrero de Concepción” tiene una superficie de 11 463.19 ha y se ubica en el municipio de Canatlán de este mismo estado a una distancia de 84 Km (Figura 4). Dicho predio colinda al norte con P.p. “Fracción sur del Potrero de Nogales”, al sur se encuentra el ejido “El Carmen y Anexos” y ejido “Vanguardia”, al este el ejido “Nicolás Bravo” y por ultimo al oeste se localiza el “Rancho Maqueycitos”, ejido “Rodríguez Puebla” y ejido “Benito Juárez”.

Las partes más altas se encuentran en el “Cerro de Cristo” con 2940 msnm y “Magueycitos” con 2820 msnm. Los suelos presentes en el predio son: Feozem háplico, Litosol (I), Regosoles (Re) y Xerosol (X) (Carta edafológica G13D71 escala 1:50 000) De acuerdo con INEGI (2011) el clima presente en el predio es C(E) (w_2) del tipo semifrío subhúmedo. La Precipitación media anual es de 564.8 mm y una temperatura media anual de 15.79 °C según los últimos 11 años (estación meteorológica Canatlán).

El PMF indica que la propiedad cuenta con una gran diversidad de especies predominando las del género *Pinus* y *Quercus*. Tales como: *Pinus teocote*, *Pinus cooperi*, *Pinus durangensis*, *Pinus leiophylla*, *Pinus engelmannii*, *Quercus sp.* *Arbutus sp.*, y *Juniperus sp.* Dichas especies se encuentran en tres diferentes asociaciones: Bosque de pino, Bosque de pino-encino y Bosques de encino.

P.p. “Lote 2,3 y B del Conjunto Predial La Vaca y El Embudo”

El conjunto predial se encuentra ubicado en el municipio de Durango y cuenta con una superficie de 6089.81 ha. Su colindante al norte es rancho ganadero “El Pitorreal”, al sur se encuentra con “Terrenos del Soldado”, al este con el ejido “Mimbres” y ejido “Otinapa” y finalmente al oeste colinda con ejido “Empalme Purísima”, y “Lote 4 del Hueco”(Figura 4).

De acuerdo a de la carta edafológica F13A19 (escala 1:50 000), el suelo predominante es el tipo Regosol. Los arroyos que existen dentro del predio se clasifican como permanentes y temporales, entre los que destaca Arroyo “El Jaral” y Arroyo “Mimbres”. Según la clasificación de INEGI (2011) el clima presente es de tipo semifrío subhúmedo (C (E) (W2)) con una precipitación anual de 790 mm referente a los últimos 11 años y una temperatura media anual de 12.9 C° desde el año 2000 al 2010 (región hidrológica N° 11 estación Navíos) y una altitud que varía entre 2356 y 2755 msnm con un promedio ponderado 2620 m de altura.

Las comunidades vegetales más importantes del Predio están compuestas por bosques mezclados con especies del género *Pinus* y *Quercus*, además de algunas especies arbustivas, siendo los tipos de vegetación más representativos los siguientes: Bosque de Pino caracterizado por la dominancia del género *Pinus*. En el cuál, las especies arboreas que destacan para el aprovechamiento forestal son: *Pinus teocote*, *Quercus sp* , *Pinus cooperi*, *Pinus leiophylla*, *Arbutus sp*, *Pinus durangensis*, *Quercus sp*, *Juniperus sp*, *Pinus ayacahuite* y *Pinus engelmannii*

Información de campo

En los predios se utilizó una intensidad de muestreo del 3% para evaluar la regeneración cuando la superficie afectada fue menor a 50 ha y 5% si la superficie fue mayor a 50 ha (Cuadro 5). Para ello, se recurrió a un muestreo sistemático o al azar de acuerdo al terreno. Así mismo, la toma de datos se hizo a través de la técnica del método de parcela T^2 para medir la densidad y distribución de regeneración.

El tiempo de establecimiento de la regeneración se evaluó con modelos de duración donde la variable de interés fue tiempo de sobrevivencia (T), o el tiempo comprendido entre la aparición del incendio y el establecimiento de la regeneración (natural o artificial). La edad del individuo se consideró de acuerdo al número de verticilos o ramillas en los diferentes niveles del individuo (Figura 5). El procesamiento de la información se hizo a través del software comercial SPSS® y SAS®.

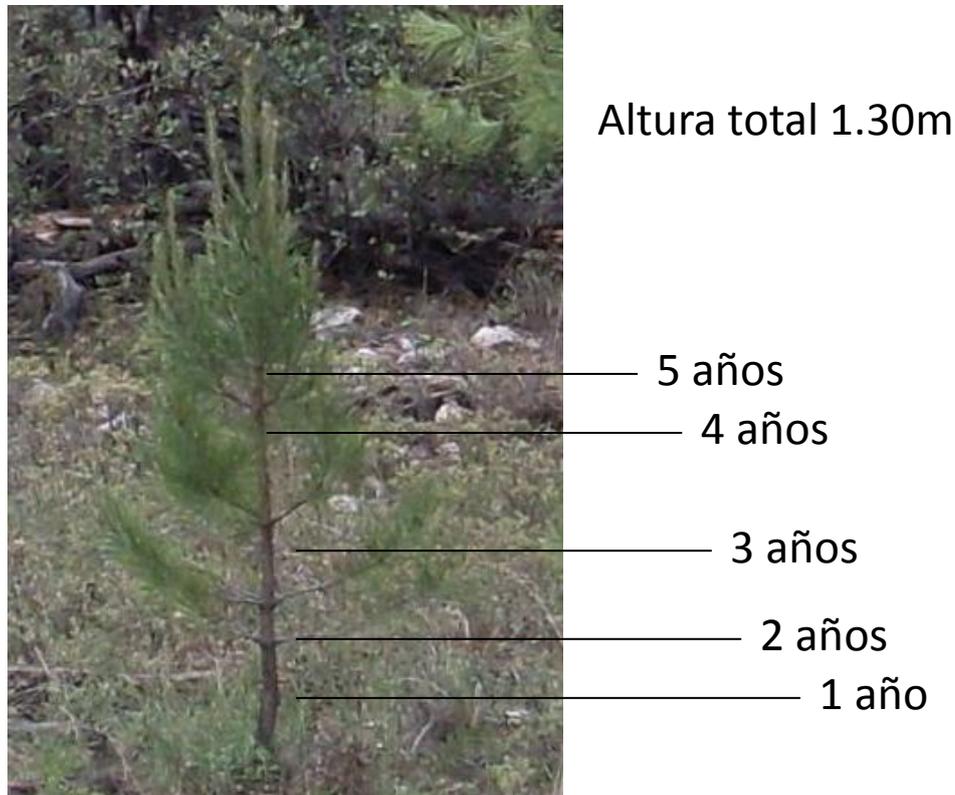


Figura 5.- Ejemplo de la estimación de la edad de la regeneración utilizando los verticilos de la planta. Cada verticilo corresponde aproximadamente a un año, que separa la temporada de lluvias de un año con el siguiente.

El análisis de supervivencia se realizó de dos maneras: análisis estadístico paramétrico y no paramétrico (Kaplan Meier, 1958). Las variables que se consideraron fueron: altitud, exposición, pendiente, suelo, Precipitación, temperatura, género, método, predio, actividades de aprovechamiento, programa de manejo forestal vigente (PMFV) (Cuadro 2).

Cuadro 2.- Variables utilizadas en el análisis de supervivencia

Variable	Característica
Sitio (S)	Altura sobre el nivel del mar (metros sobre el nivel medio del mar). Exposición (Orientación respecto a la configuración del terreno). Pendiente, referente a la inclinación del terreno. Tipo de suelo. Precipitación del año en que se estableció el nuevo individuo. Temperatura media del año en que se estableció el nuevo individuo.
Manejo (M)	¿Se realizan actividades de aprovechamiento forestal en el área incendiada? ¿Cuenta el predio con programa de manejo forestal vigente?.
Regeneración (R)	Género del nuevo individuo. Tiempo que tardo en establecerse la nueva regeneración. Predio. Datos de la regeneración (presencia o ausencia de la regeneración).

El tiempo de supervivencia (T) se expresa como

$$T = f(x), \quad T = f(S, M, R) \quad [3]$$

Donde T se trató como una variable aleatoria. Las variables explicativas consisten en características del sitio (S), características manejo (M) y características de la regeneración (R).

El método no paramétrico de Kaplan-Meier no muestra la influencia combinada de las variables independientes sobre la dependiente (tiempo de establecimiento). Por lo tanto el análisis de supervivencia no paramétrico es una técnica general

que se complementó con la técnica paramétrica. En esta última, se analiza la relación entre el tiempo y las variables que influyen en el establecimiento de la regeneración. La función de sobrevivencia $S(t)$ del modelo paramétrico se define como la distribución probabilística con respecto al tiempo entre el incendio y el establecimiento de la regeneración, la cual debe ser mayor que t (Ecuación 4).

$$S(t) = Pr(T > t) = 1 - F(t) = \int_t^{\infty} f(x) \partial x \quad [4]$$

Donde $F(t)$ es la función de probabilidad acumulada o

. La función de sobrevivencia estimó la probabilidad de la no recuperación de las áreas afectadas por los incendios a cualquier tiempo t . La función de sobrevivencia alcanza la máxima probabilidad cuando $t = 0$.

El análisis paramétrico utilizó un modelo de regresión log-lineal ordinario. Este se realizó para 112 sitios donde la variable dependiente Evento (E) se definirá como $E=1$ si el establecimiento de la regeneración se llevó a cabo durante el periodo de tiempo 2000-2012 y $E=0$, si sucede lo contrario. En los casos donde la recuperación no se llevó a cabo durante el periodo comprendido, se utilizó una modificación a la técnica usando parámetros de censuramiento, considerando que el establecimiento de la regeneración fue el tiempo real observado (Allison, 1995).

$$\widehat{S}(T > t) = e^{-\lambda t} \quad [5]$$

En este caso λ significa la tasa de cambio donde un valor grande significa un fracaso más rápido mientras que los valores más bajos significan que el fracaso se presenta con mayor lentitud.

El modelo utilizado para conocer el tiempo de un intervalo de tiempo para el individuo i -ésimo, y, ..., 112 de las variables explicativas utilizadas en este estudio se muestran en la ecuación 6 (Allison, 2009).

$$\log T_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_k x_{ik} + \sigma \varepsilon_i, \quad \text{o también}$$

$$T_i = \exp(\beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_k x_{ik} + \sigma \varepsilon_i) \quad [6]$$

Donde β_0, \dots, β_k y σ son parámetros a estimar; ε_i es un término de perturbación aleatoria. La transformación logarítmica de T es para asegurar que los valores pronosticados de T sean positivos, independientemente de los valores de X y β . El ajuste de la ecuación 6 se hizo mediante el método de máxima verosimilitud usando el paquete estadístico SAS® (Allison, 1995).

Por otra parte, se levantó una ficha técnica para conocer las condiciones del predio, así como las condiciones en que se presentaron los incendios, recuperación de las áreas afectadas y actividades económicas que permitieron comprender sobre los incendios y la regeneración en dichos predios (Anexo 3).

6.3 Densidad y distribución de la regeneración

El método de parcela T^2 (Byth, 1982) se utilizó para evaluar la densidad y distribución espacial de la regeneración. La densidad básicamente se expresa como el número de plantas por superficie (Individuos/ha) mientras que la distribución espacial se evalúa en la forma en que la regeneración se distribuye en el sitio (Figura 3).

Las parcelas T^2 son sitios circulares de tamaño desigual donde la distancia al individuo más cercano determina el área del círculo. Los círculos se convierten en sitios de muestreo al tomar la distancia radial desde el centro hasta el renuevo más cercano y de este al segundo individuo más cercano. Los puntos de muestreo se ubican de forma aleatoria o sistemática con intensidades que varían en función del polígono que limita el área quemada. Una categoría de parcela cero de menor superficie significa una mayor cantidad de estos círculos por hectárea y una densidad superior de la regeneración (Krebs, 1999). El procedimiento consiste en ubicar aleatoriamente un punto (i) en el área afectada y medir la distancia al individuo (regeneración) más cercano (X). Después se mide la distancia al siguiente individuo más cercano (Z) (Figura 6).

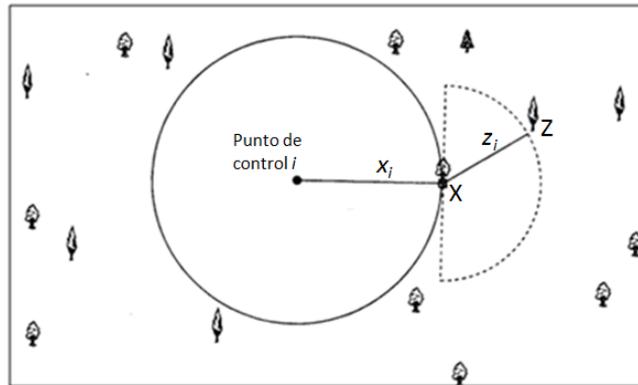


Figura 6.- Método de la parcela T2. El método requiere que el ángulo formado por los individuos X y Z sea mayor a 90° (Krebs, 1999)

La Densidad (numero de individuos/m2) se estimó con la expresión:

$$D = \frac{n^2}{2 \sum x_i [\sqrt{2} \sum z_i]} \quad [7]$$

Donde n es número de puntos de control, x_i es la distancia al renuevo más cercano y z_i representa la distancia T2 asociada con el punto i. Con los resultados de la ecuación anterior, se probó la hipótesis de que si la regeneración se distribuye de manera aleatoria en el área afectada o tiene otra forma de distribución. Se usó el estadístico de Hines (H_d) para evaluar tal hipótesis (Hines and Hines 1979).

$$H_d = \frac{2n[2 \sum x_i^2 + \sum z_i^2]}{[(\sqrt{2} \sum x_i + \sum z_i)]^2} \quad [8]$$

Donde los componentes de las variables ya fueron descritos arriba. En este caso, valores bajos del estadístico indican un patrón de distribución uniforme mientras que valores altos sugieren una distribución agregada o agrupada. El valor encontrado se comparó con valores críticos para determinar si la hipótesis nula de que la regeneración se distribuye aleatoriamente es verdadera o no (Krebs, 1999) (Anexo 5).

En análisis de densidad y distribución de la regeneración se realizó para el total de los sitios (112). Se hizo una subdivisión de la muestra considerando varios aspectos: a) aquellos sitios que registraron distancias menores de 25m del punto de muestro al renuevo, b) tipo de predio y c) tipo de regeneración (natural o artificial).

Los incendios registrados en áreas de agostadero, pastizales u otros tipos de vegetación (distintos a bosques de clima templado frio) fueron desechados. El número de los puntos de control (x) se determinaron de acuerdo a la posible superficie afectada en hectáreas.

VII.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Efecto de la población y caminos en la ocurrencia de los incendios

En la Figura 7 se muestran los 1556 incendios analizados que permitieron determinar el Índice de distancias de incendios a vías de acceso y localidades así como, el índice de gravedad poblacional.

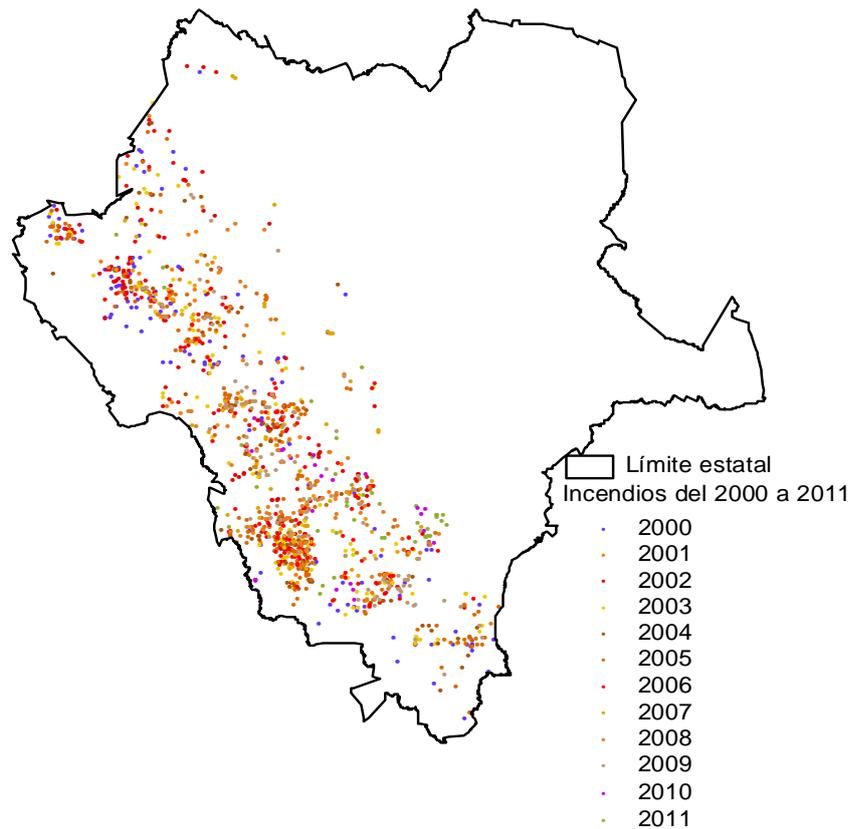


Figura 7.- Incendios forestales 2000-2011

Para el análisis de índice de distancia a localidades, caminos e índice de gravedad poblacional se utilizó el paquete *statistica*®, en el cuál mediante una regresión lineal se aplicó el logaritmo natural (\ln) para la variable superficie (variable dependiente) de tal manera de normalizar los datos. Es importante mencionar que para realizar dichos cálculos y tener un mayor ajuste se omitió un incendio cuya superficie afectada fue de 5000 ha por lo que se consideró a este como un dato aberrante.

El modelo que se ajustó es de la siguiente manera:

$$\ln(\text{sup}) = 2.62102(-0.00858 * \text{IGP}) + (0.00005 * \text{Dist_caminos}) + (0.00015 * \text{Dist_local}) \quad [9]$$

Las pruebas realizadas a los datos presentaron normalidad en los residuales, independencia en los errores, cumplen con los supuestos de normalidad (Kolmogorov smirnov) y homogeneidad y por último, los resultados muestran que el modelo es significativo (Cuadro 3). Los resultados sugieren que la mayoría de los incendios de poca superficie se encuentran a una distancia menor de los caminos o vías de acceso y a la inversa, a mayor superficie afectada por los incendios forestales mayor es la distancia de los caminos al lugar donde ocurre dicho evento. Si bien, los caminos permiten la pronta supresión del fuego también influyen en la presencia de los mismos. Sowmya y Somashekar (2010) encontraron que el riesgo de incendio es mayor a una distancia menor de 100 m y un menor riesgo a una distancia de 200-300 m (Figura 8).

Cuadro 3.- Estimador para índice de distancia a localidades, caminos e índice de gravedad poblacional

Estimadores (1565_incendios) Distribución :	Estimador	T	p
Regresión Lineal : LOG			
Intercepción	2.62102	32.0780	0.00000
Índice de gravedad poblacional (IGP)	-0.00858	-3.6100	0.00031
Índice de distancia a caminos (DIS_CAM)	0.00005	2.3600	0.01839
Índice de distancia a localidades (DIS_LOC)	0.00015	6.5142	0.00000



Figura 8.- Distancia de vías de acceso respecto al incendio forestal

De la misma manera, la mayoría de los incendios de poca superficie se encuentran a menor distancia de las localidades. Esto puede deberse a que los incendios presentados cerca de las localidades son sofocados con mayor rapidez y estos no tienen la oportunidad de extenderse. Cabe mencionar que la distancia a las localidades es la de mayor importancia en la presencia de los incendios forestales.

Sin embargo, el índice de gravedad poblacional respecto a la superficie presentó un coeficiente negativo, es decir, que a medida que aumenta la superficie afectada el IGP es menor. O bien, a mayor superficie afectada por el incendio menor son los habitantes en un área determinada ya que la población en ocasiones se encarga de controlar el fuego de tal manera de que si no hay personas no habrá quien se encargue de esta actividad o no habrá quien de aviso a la dependencia correspondiente en este caso CONAFOR.

Distribución espacial de los incendios

Se obtuvo una tabla de frecuencias de los incendios registrados en el periodo 2000-2011 que prueba la hipótesis, si la distribución observada y la ajustada partir de una distribución teórica son significativamente iguales o no. El patrón de

distribución espacial presentó una formación agregada en todos los años, por lo tanto se rechaza la H_0 (Cuadro 4).

Cuadro 4.- Estadísticos del análisis de varianza y Kolmogorov Smirnov para determinar el tipo de distribución que presentan los incendios forestales

Año	Nº de incendios	Cociente δ/X	Estadístico T	Decisión	Estadístico K-S	Nivel Crítico K-S	Decisión	Tipo de Distribución
2000	132	11.9779	64.48	Rechaza H_0	0.476851	0.1625	Rechaza H_0	Agregada
2001	66	10.9000	40.8270	Rechaza H_0	0.59114	0.22988	Rechaza H_0	Agregada
2002	170	11.1997	65.7071	Rechaza H_0	0.54642	0.14838	Rechaza H_0	Agregada
2003	163	10.6882	59.7134	Rechaza H_0	0.54193	0.15490	Rechaza H_0	Agregada
2004	116	9.4459	45.8734	Rechaza H_0	0.53867	0.17558	Rechaza H_0	Agregada
2005	230	11.9907	83.7028	Rechaza H_0	0.59500	0.12573	Rechaza H_0	Agregada
2006	140	10.6818	59.6827	Rechaza H_0	0.59093	0.15498	Rechaza H_0	Agregada
2007	88	10.5727	42.2720	Rechaza H_0	0.56420	0.21504	Rechaza H_0	Agregada
2008	116	14.6184	73.9668	Rechaza H_0	0.60534	0.17558	Rechaza H_0	Agregada
2009	124	13.8043	69.5452	Rechaza H_0	0.57393	0.17558	Rechaza H_0	Agregada
2010	29	3.2400	5.2632	Rechaza H_0	0.49850	0.37500	Rechaza H_0	Agregada
2011	53	8.1389	27.1800	Rechaza H_0	0.42900	0.24830	Rechaza H_0	Agregada

El método de cuadrantes (Wong y Lee, 2005) indica que el patrón de distribución espacial de los incendios forestales es agregada en todos los años (2000-2011). O bien, las hipótesis nulas acerca de que los datos se distribuyen de manera aleatoria y de manera uniforme fueron rechazadas. Estos resultados concuerdan también con los entrados por Ávila y colaboradores (2010), donde los incendios forestales tienen una tendencia a presentarse de manera agrupada especialmente en las áreas boscosas.

7.2 Análisis de supervivencia de áreas afectadas por incendios forestales

El análisis de supervivencia se realizó mediante modelos paramétricos y no paramétricos. Los modelos paramétricos consideraron las variables de altitud, exposición, pendiente, suelo, Precipitación, temperatura, género, método, predio, actividades de aprovechamiento, programa de manejo forestal vigente (PMFV). En el caso del modelo no paramétrico, se determinaron dos categorías para las variables altitud, pendiente, precipitación, temperatura utilizando el promedio. En el caso de la exposición se consideraron cuatro grupos principales para compensar los grados de libertad. En el caso del tipo de suelo, la clasificación se hizo a nivel de grupo.

En el cuadro 5 se muestran los datos observados sobre el tiempo de supervivencia (tiempo que tarda en establecerse la nueva regeneración después del incendio) de cada una de las variables. En el caso de la exposición noreste y este el tiempo de establecimiento es de 17 meses, pero donde se encontró la mayor cantidad de individuos fue en la exposición suroeste y oeste en donde el tiempo promedio es de 38 meses.

Se encontraron cinco tipos de suelo y el de mayor relevancia fue el regosol con 47 observaciones y presentó el mayor tiempo para el establecimiento de la regeneración. En relación a las diferencias de los generos, la regeneracion del género *Pinus* requiere más tiempo que los géneros *Quercus*, *Cupresus* y *Arbutus* en ese orden. Los resultados en la diferencias de los predios estudiados indican que el predio “Potrero de concepción” requiere de 12 meses en promedio. Por otro lado, el predio “La Vaca y el Embudo” requirió en promedio 81 meses o bien, 6 años 7 meses para que se establezca la regeneración (Cuadro 5).

Cuadro 5.- Tiempo de supervivencia para cada variable

Variable	Clase	Nº de observaciones	Tiempo de supervivencia Promedio (meses)	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Altitud (msnm)	< 2557	23	31.04	16.42	3	48
	> 2557	57	31.54	33.93	2	120
Exposición	NE+E	19	17.37	24.40	2	96
	SE+S	5	24.80	34.31	2	84
	SW+W	35	38.74	32.76	2	120
	NW+N+Zenital	21	33.43	25.05	2	96
Pendiente (grados)	< 2.39	56	36.00	33.33	2	120
	> 2.39	24	20.67	15.24	2	48
Suelo	Regosol	47	35.45	35.62	2	120
	Litosol	5	22.00	12.33	2	36
	Fozem	4	10.50	17.00	2	36
	Xerosol	3	13.33	19.63	2	36
	Luvisol	21	31.14	17.12	3	48
Precipitación (mm)	< 862.2	40	27.80	20.03	2	60
	> 862.2	40	35.00	37.11	2	120
Temperatura °C	< 15.15	46	36.17	35.65	2	120
	> 15.15	34	24.94	18.02	2	48
Género	<i>Pinus</i>	36	37.83	32.15	2	120
	<i>Quercus</i>	23	36.57	31.09	2	120
	<i>Juniperus</i>	19	16.05	16.06	2	48
	<i>Arbutus</i>	2	2.00	0.00	2	2
Método de regeneración	Artificial (reforestación)	71	32.68	31.17	2	120
	Natural	9	21.33	13.11	12	48
Predio	Potrero de Concepción	11	12.18	14.63	2	36
	Tecúan	38	26.74	30.98	2	120
	La Vaca y el Embudo	8	81.00	17.86	48	96
	Santiago Bayacora	23	31.04	16.42	3	48
Actividades de aprovechamiento	Si	34	24.94	18.02	2	48
	No	46	36.17	35.65	2	120
PMF	Si	42	35.62	28.50	2	96
	No	38	26.74	30.98	2	120

Análisis de los modelos no paramétricos

Es importante mencionar que en los gráficos se encontró una diferencia en la tendencia numérica de las variables como es el caso de la altitud y precipitación. En la Figura 9 se muestra que la probabilidad de tener una regeneración establecida se da en un tiempo mas corto en altitudes menores de 2557 msnm que en las mayores a este nivel. Esto puede deberse a que algunas de las

especies mayormente encontradas son de menor altitud como el *Pinus engelmannii* que se desarrolla mejor en altitudes de 1500 msnm. Por otro lado, *P. Cooperi* se encuentra en altitudes de 2400 msnm y *P. duranguensis* se distribuye desde una altitud mínima de 2000 msnm. Sin embargo, de acuerdo a la prueba de Wilcoxon estadísticamente no se encuentra diferencia entre las curvas.

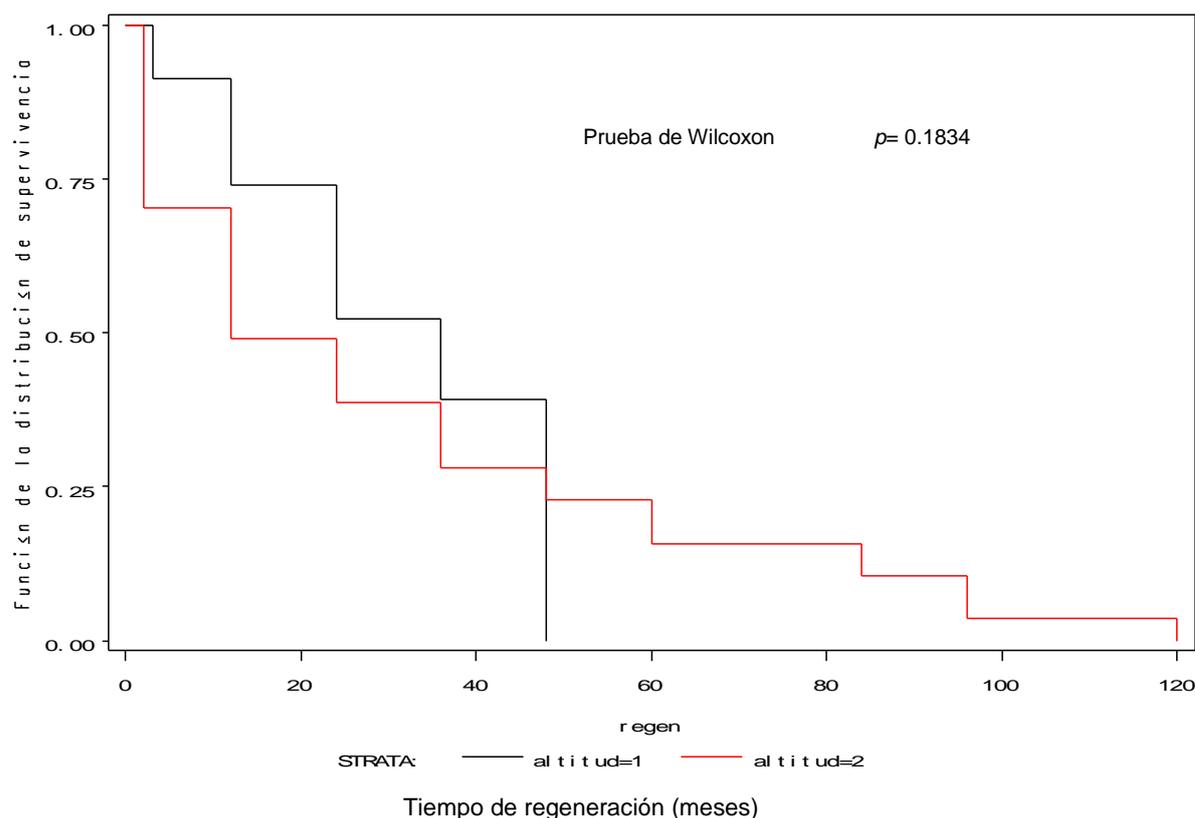


Figura 9.- Probabilidad y tiempo de supervivencia de la regeneración respecto a la altitud.

Altitud=1 (menor, igual de 2557 msnm) y Altitud= 2 (Mayor de 2557 msnm)

En cuanto a la exposición existe diferencia estadística entre las curvas. La probabilidad del establecimiento es mayor en el primer año en las exposiciones Suroeste+oeste y Noroeste+norte+zenital. Así mismo, en exposiciones Noreste+este y Sureste+sur la probabilidad de establecimiento de la regeneración disminuye a los de los cuatro a 8 años después del incendio, después de este tiempo la regeneración es prácticamente nula. (Figura 10).

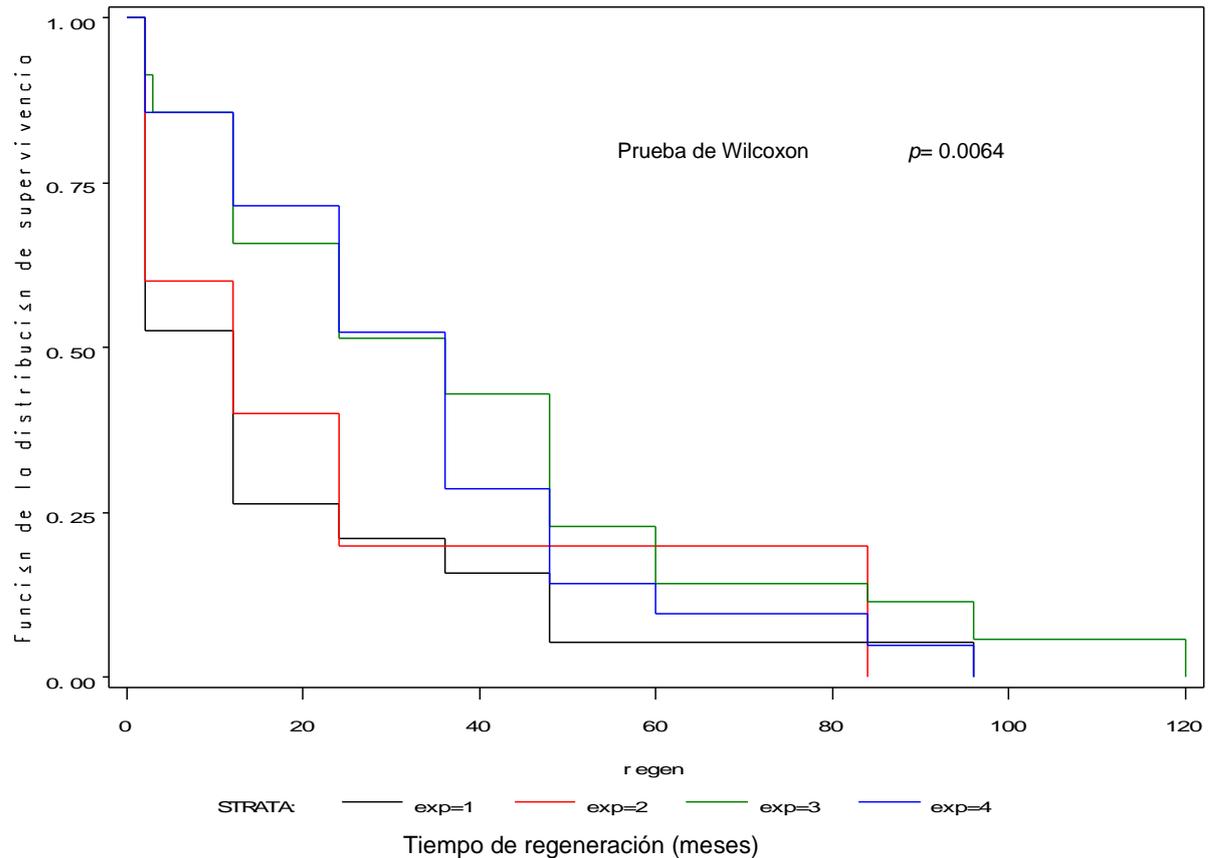


Figura 10.- Probabilidad y tiempo de supervivencia de la regeneración respecto a la exposición.

1:Noreste+este 2:Sureste+sur 3:Suroeste+oeste 4:Noroeste+norte+zenital

Estadísticamente no hay diferencia estadística entre las curvas en cuestión a la pendiente. Sin embargo, se presenta una tendencia numérica, lo que indica que a menor pendiente el tiempo de establecimiento es menor, esto puede deberse a que algunas de las especies encontradas corresponden a una configuración del terreno de poca ondulación a casi plana. Ejemplo: *Pinus engelmannii*, *P. chihuahua*, *Quercus arizonica*, *Q. hartewii* y *Arbutus xalapensis* cuya pendiente oscila en menos de 2.39° . (Figura 11).

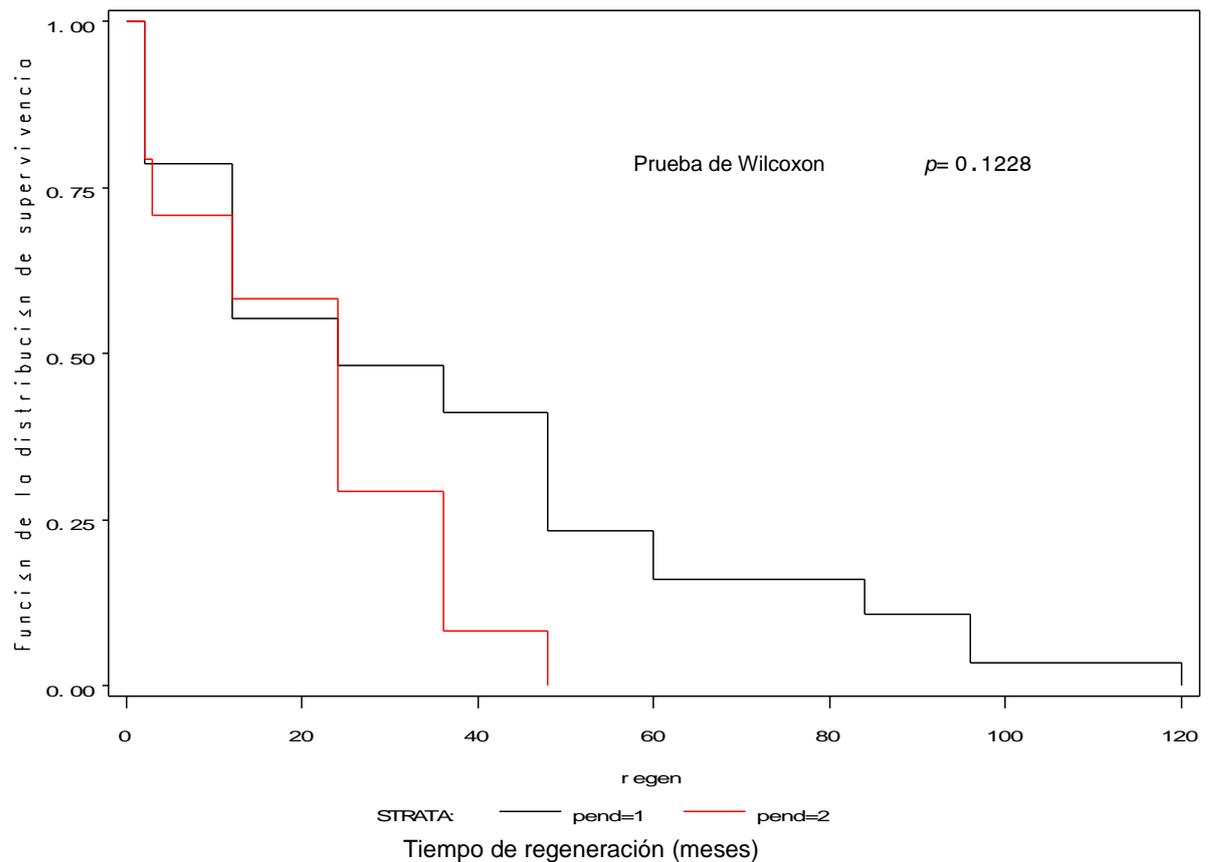


Figura 11.- Probabilidad y tiempo de supervivencia de la regeneración respecto a la pendiente

1: < 2.39 2: > 2.39 medido en grados

De acuerdo al tipo de suelo se encontró diferencia estadística donde, la probabilidad de regeneración es mayor en el primer año después de la ocurrencia del fuego en suelos de tipo Luvisol y su probabilidad disminuye hasta los cuatro años, esto es debido a que son ricos en nutrientes en comparación al Regosol que presenta una estructura parecida a la roca madre y cuya probabilidad de establecimiento de regeneración es menor que el resto de los suelos. Es importante mencionar que el tipo de suelo Xerosol se encontró solo en el predio "Potrero de Concepción". En tipos de suelo Litosol, Foezem, Xerosol al tiempo de 35 meses, los individuos considerados quedan en el estudio es decir, que fuera de este tiempo y en estos tipos de suelo ya no es posible que se presente la regeneración (Figura 12).

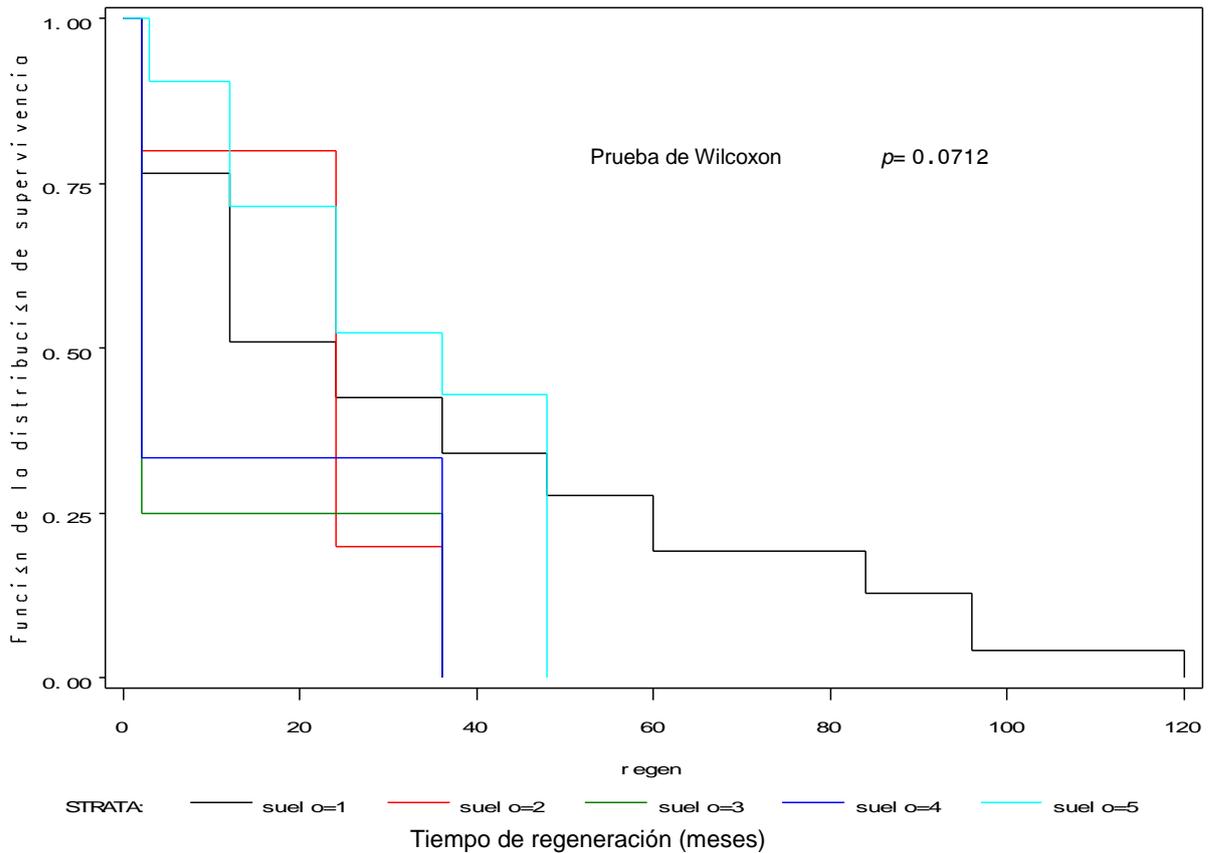


Figura 12.- Probabilidad y tiempo de supervivencia de la regeneración respecto al tipo de suelo.

1:Regosol

2:Litosol

3:Foezem

4:Xerosol 5:Luisol

En cuestión de la precipitación no hay diferencias estadísticas si esta es mayor o menor. La probabilidad de establecimiento de la regeneración es mayor en el primer año sin embargo, la tendencia numérica nos indica que a una mayor cantidad de lluvia, la probabilidad de establecimiento de la regeneración es mayor que en áreas con menor precipitación, ya que la humedad es un factor muy importante en el establecimiento y desarrollo de las plantas (Figura 13).

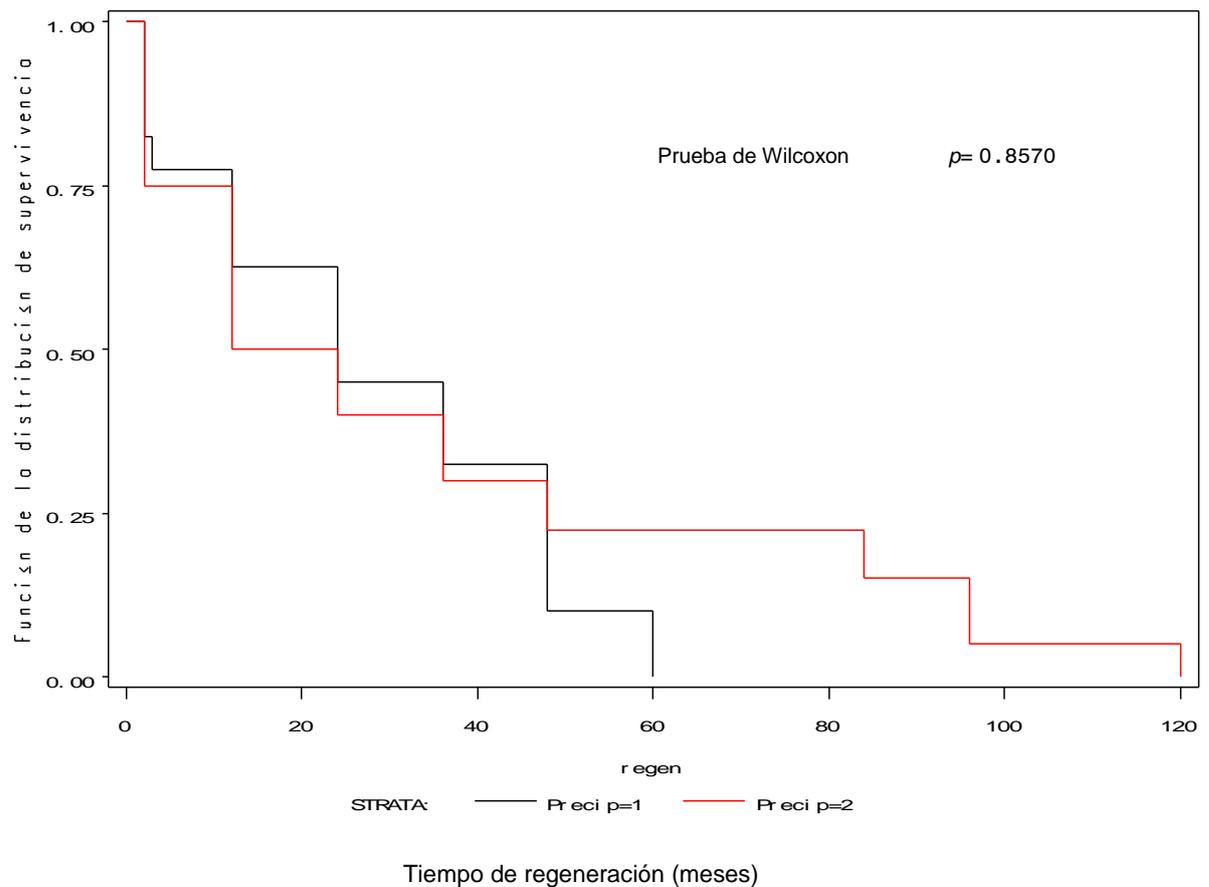


Figura 13.- Probabilidad y tiempo de supervivencia de la regeneración respecto a la precipitación.

1: < 862 2: > 862 medido en mm

Estadísticamente no existe diferencia a mayor o menor temperatura. Con una probabilidad de .75 a .80 el establecimiento de la regeneración es de un año. A pesar de ello, la probabilidad del establecimiento de la regeneración a partir de los cuatro años con temperaturas menores de 15.15°C es prácticamente nula de acuerdo a una diferencia numérica. Así mismo, a mayor temperatura la probabilidad de establecimiento es menor, esto se debe a que muchas semillas requieren del calor para su germinación. En el caso de algunas de las especies del género *Pinus* la temperatura necesaria para que germine la semilla es de 18°C (Figura 14).

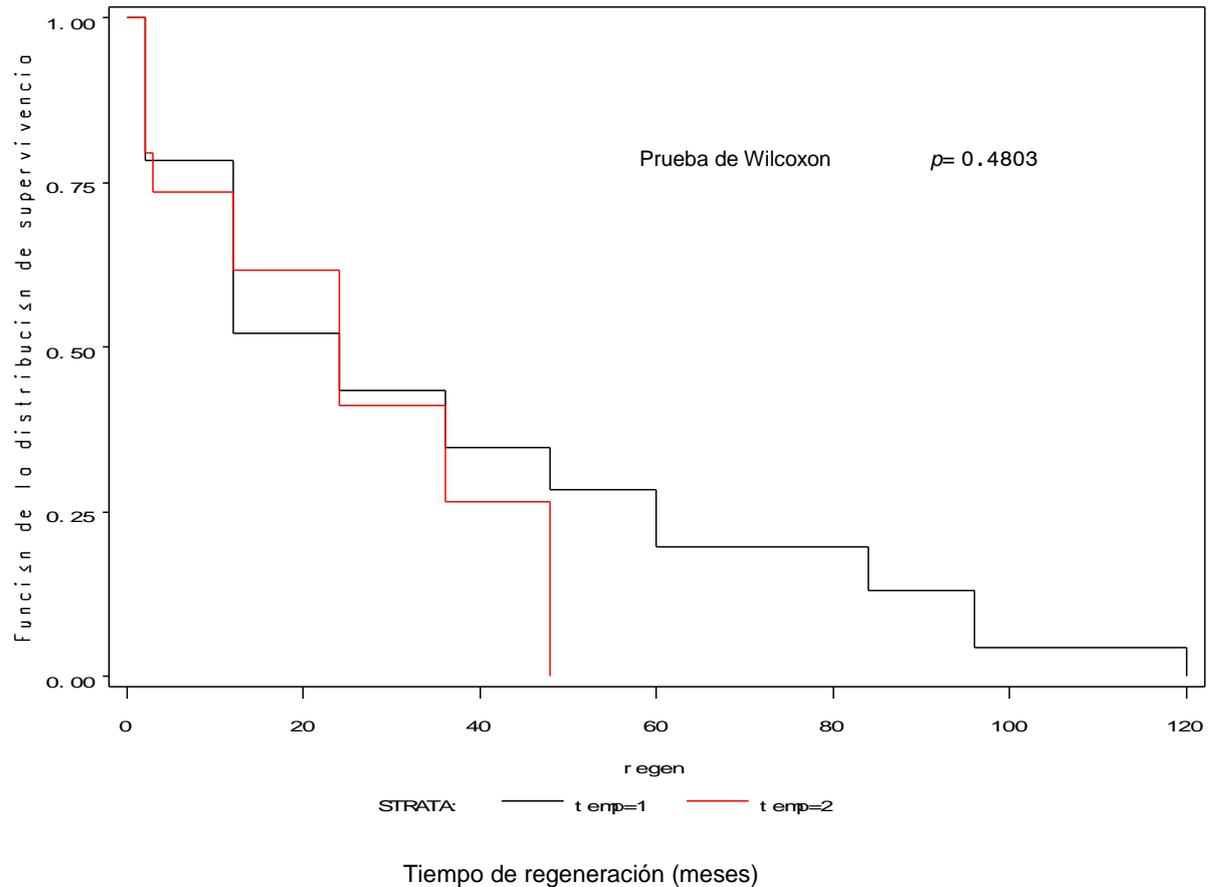


Figura 14.- Probabilidad y tiempo de supervivencia de la regeneración respecto a la temperatura.

1: < 15.15 2: > 15.15 medido en grados centígrados

De acuerdo con los resultados de la simulación no paramétrica existe diferencias estadísticas entre los géneros en estudio. El género que toma más tiempo en regenerarse ante la influencia de los incendios forestales corresponde al género *Cupressus* y el de menor tiempo fue el *Pinus*. En el caso del género *Cupressus* y *Quercus* presentan una mayor ventaja en cuestión a la respuesta al fuego, ya que almacenan reservas que posteriormente le permiten propagarse vegetativamente. (Figura 15).

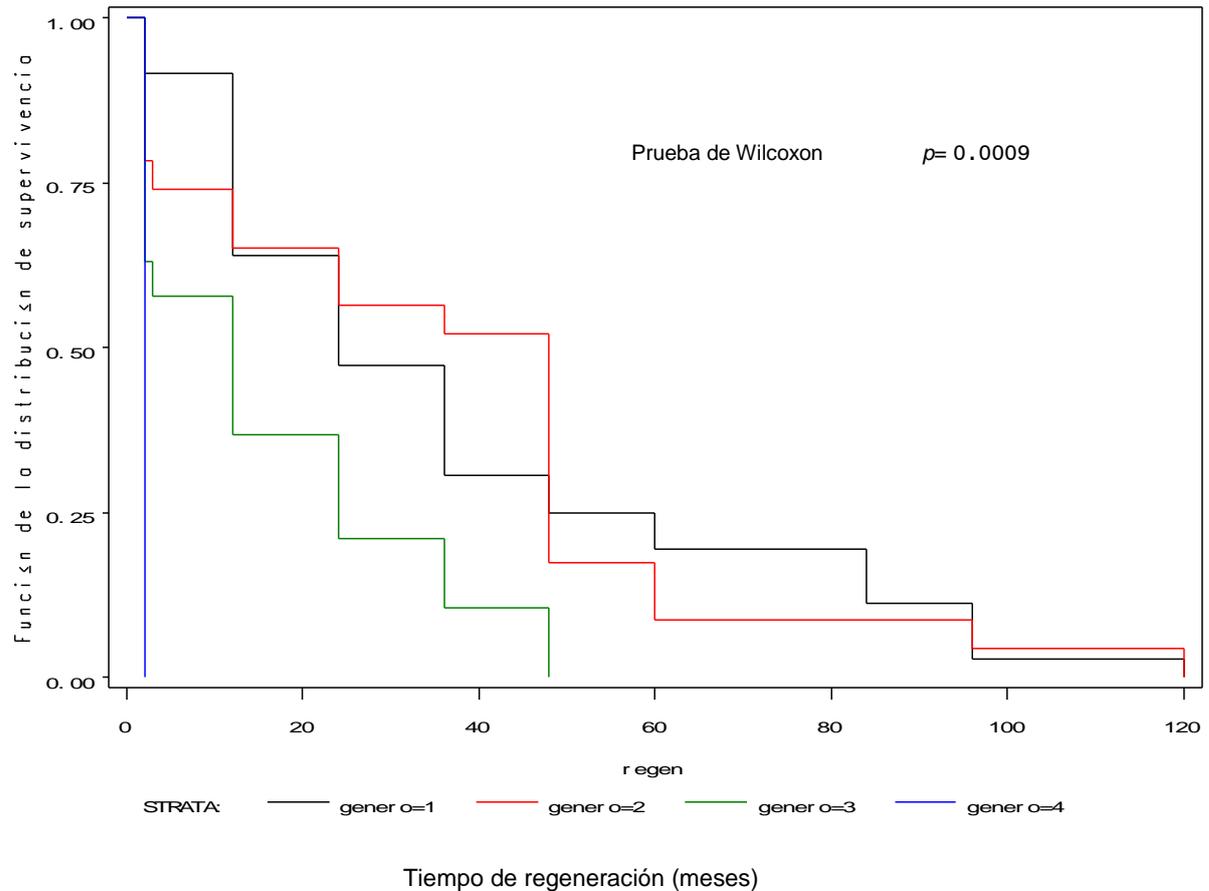
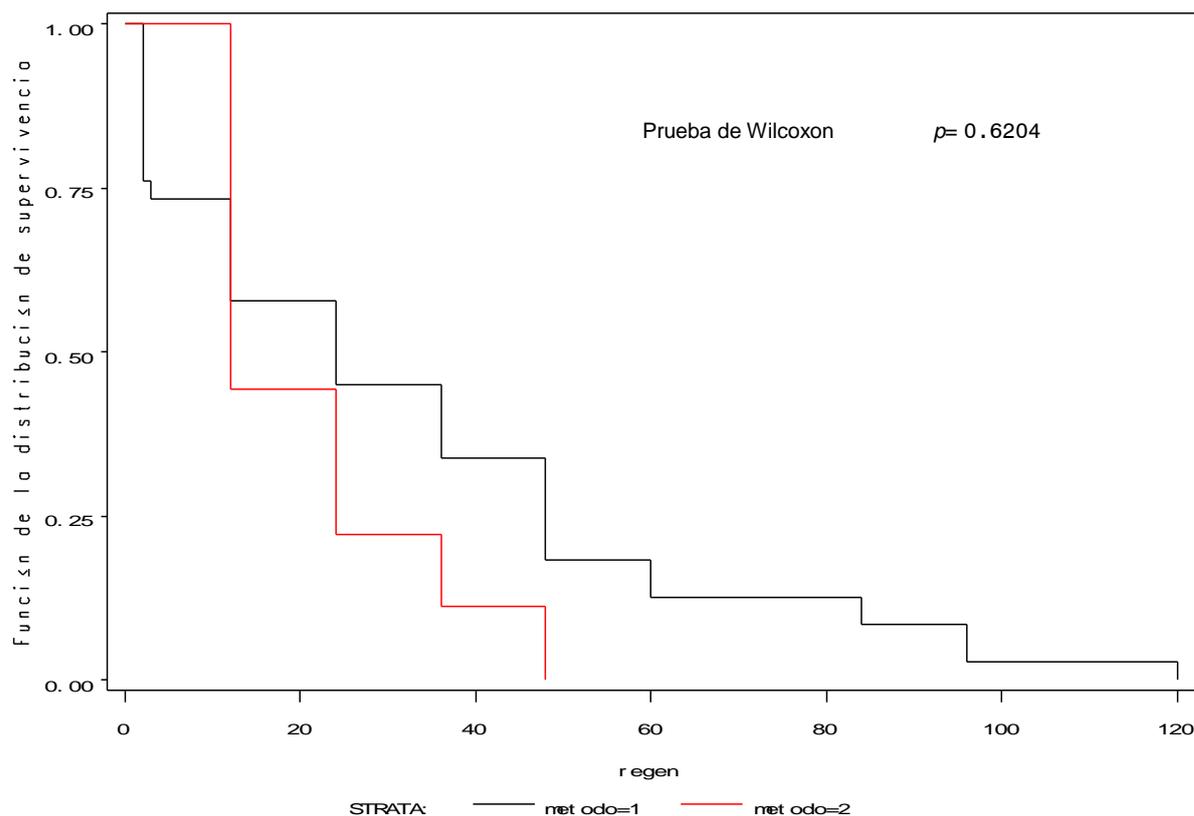


Figura 15.- Probabilidad y tiempo de supervivencia de la regeneración respecto al género.

1:Pinus 2:Quercus 3:Juniperus 4:Arbutus

En referencia al método estadísticamente no hay diferencias. Sin embargo la tendencia numérica indica que el método de establecimiento de la regeneración artificial (reforestación) representa una buena forma de recuperar rápidamente la regeneración. En este caso, las actividades de reforestación tienen mayor probabilidad de establecimiento a los 10 o 12 meses, después de cuatro años de la fecha en que ocurre el incendio el establecimiento de la reforestación es prácticamente nula. Por otro lado, en el establecimiento de la regeneración natural existe la probabilidad se encuentra en los dos primeros años después de la ocurrencia del incendio (Figura 16).

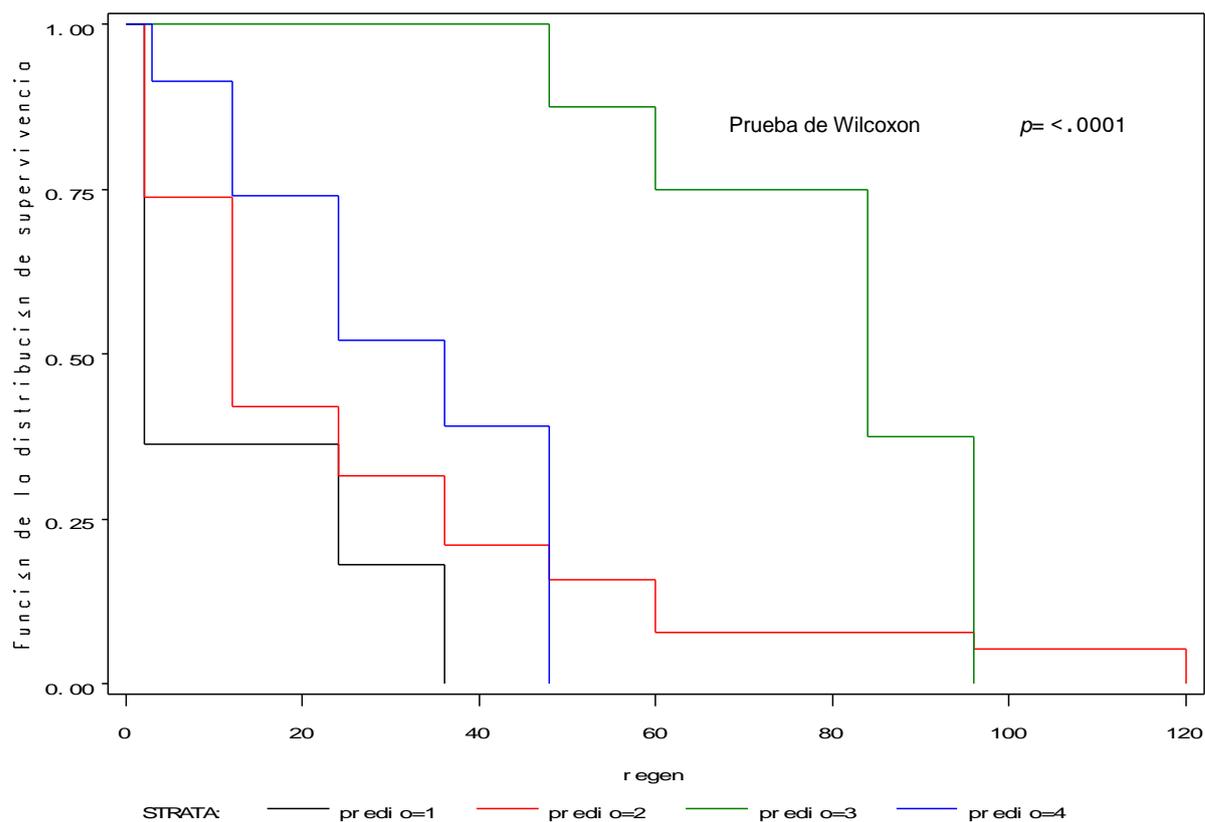


Tiempo de regeneración (meses)

Figura 16.- Probabilidad y tiempo de supervivencia de la regeneración respecto al método.

1: Natural 2: Artificial (reforestación)

En cuanto a las diferencias de los predios estudiados, el predio “La Vaca y el Embudo Lote B 2 y 3” presenta mayor probabilidad de establecimiento de la regeneración hasta los cuatro años en cambio el predio “Potreros de Concepción” con una probabilidad del 40% la regeneración se establece en los primeros dos años, después de los tres años la regeneración no es posible. Las áreas afectadas en la comunidad “Santiago Bayacora” no se están recuperando en un tiempo adecuado y/o oportuno. En el caso del predio “El Tecuán” el tiempo de respuesta de la regeneración es de 1 hasta 10 años y la probabilidad de regeneración es menor del 50%. (Figura 17)

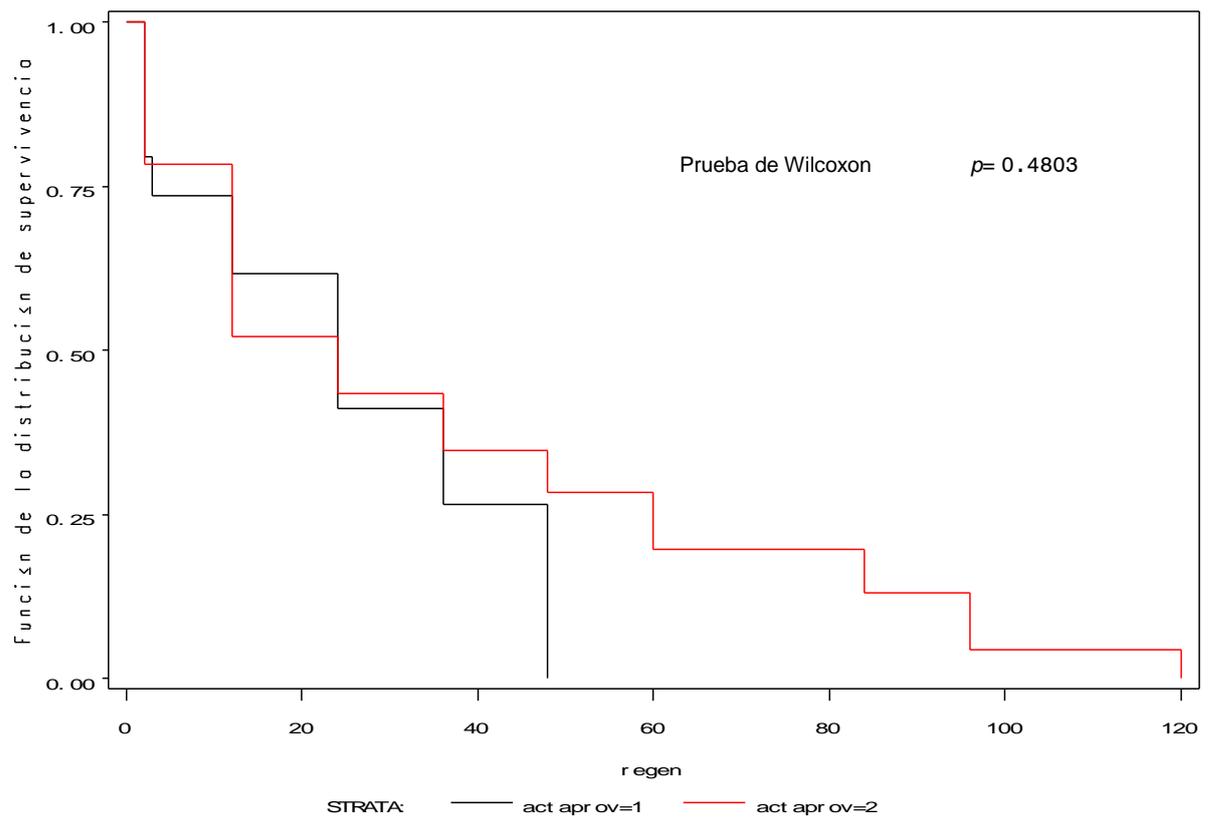


Tiempo de regeneración (meses)

Figura 17.- Probabilidad y tiempo de supervivencia de la regeneración respecto a cada predio.

1:Potrero de Concepción 2:Tecúan 3:La Vaca y el Embudo 4:Santiago Bayacora

Es importante mencionar que cuando se realizan actividades como los aclareos, pre-aclareos, podas, brechas corta fuego, control y acomodo de desperdicios, permiten que la regeneración tenga una pronta respuesta a su establecimiento ya que dicha limpia permite que la semilla se establezca directamente sobre el suelo facilitando su germinación. Sin embargo, de manera estadística no se muestran diferencias entre realizar actividades o no (Figura 18).



Tiempo de regeneración (meses)

Figura 18.-Probabilidad y tiempo de supervivencia de la regeneración respecto a actividades de aprovechamiento.

1:si

2:no

En relación a las diferencias si los predios cuentan con PFM vigente, los resultados sugieren que el tiempo de establecimiento de regeneración es indiferente al hecho de contar o no con los PMF (Figura 19).

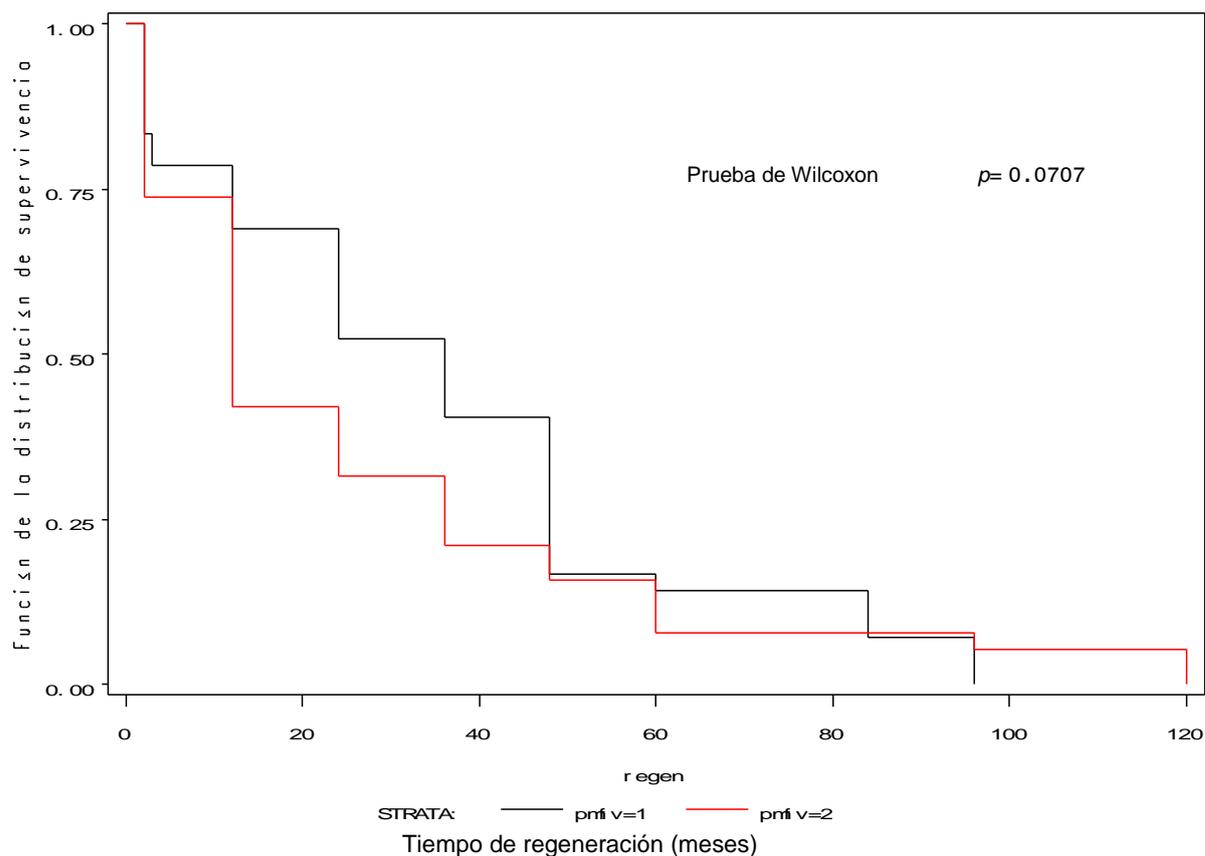


Figura 19.- Probabilidad y tiempo de supervivencia de la regeneración respecto a programa de manejo forestal vigente.

1:si 2:no

Análisis del modelo paramétrico

En el análisis paramétrico de supervivencia se omitieron las variables: tipo de suelo, predio y género. De las 112 observaciones, 32 fueron censurados a la derecha en donde el tiempo de regeneración se asumió igual a 120 meses. De acuerdo al modelo ajustado (Ecuación 10), las variables significativas son altitud, precipitación, actividades de aprovechamiento y programa de manejo forestal (Cuadro6). De acuerdo a los estimadores, el tiempo de supervivencia esta dado por la siguiente ecuación (variables significativas en el establecimiento de la regeneración)

$$(-0.0027 * \text{Precipitación}) + (2.1695 * \text{Actividades de aprovechamiento}) + (-1.8777 * \text{PMF}) \quad [10]$$

Cuadro 6.- Variables significativas en el análisis de supervivencia

Parámetro	Estimador	Valor de p
Intercepción	25.1844	0.0002
Altitud	-0.0069	0.0005
Exposición	0.0619	0.1707
Pendiente	0.0091	0.7626
Precipitación	-0.0027	<.0001
Temperatura	-0.1976	0.0846
Método	0.0700	0.8583
Actividades de aprovechamiento	2.1695	0.0015
Programa de manejo forestal	-1.8777	<.0001

Los resultados indican que a mayor altitud, menor es el tiempo de establecimiento de la regeneración y viceversa. Sin embargo, en el análisis gráfico no paramétrico indicó que a menor altitud menor es el tiempo de regeneración. Así mismo, a mayor precipitación menor es el tiempo de regeneración. Por otro lado, si no realizan actividades de aprovechamiento el tiempo de regeneración es mayor y al no contar con PMF menor es el tiempo que tarda en establecerse la nueva regeneración. En sí, el modelo paramétrico indica que el tiempo de regeneración es menor a mayores altitudes, con una mayor precipitación, cuando se realizan actividades de aprovechamiento y cuando los predios no cuentan con programa de manejo forestal vigente.

Y por ultimo, la información recabada a partir de la ficha técnica para conocer las condiciones del predio arrojó lo siguiente: las causas de los incendios forestales son fogata de paseantes, descargas eléctricas y descuido de fumadores. Los cuatro predios presentaron incendios mixtos con una distancia muy lejana a caminos pavimentados a excepción del parque El Tecuán. En dichas áreas impactadas por el fuego la causa por la que se ve afectada la regeneración es por sequías e incendios reiterados (Cuadro 7).

Cuadro 7.- Características generales de los incendios registrados y actividades económicas de los cuatro predios bajo estudio

Variable	P.P. Potrero de Concepción	Parque El Tecuán	Com. Santiago Bayacora	P.p. La Vaca y el Embudo Lote B 2 y 3
¿Motivo que causo el incendio forestal?	Fogatas de paseantes	Descargas eléctricas	Fumadores	fumadores
La Cercanía a caminos pavimentados	Muy lejano	Muy cercano	Muy lejano	Muy lejano
Superficie afectada por el incendio (hectáreas)	513	745	65	15
¿La regeneración se ha visto afectada por?	Ninguno	Sequias e incendios reiterados	Sequias	Ninguno
¿El área incendiada se ha reforestado	No	Si	No	No
¿La planta para reforestar se obtuvo de?		Vivero del gobierno del estado		
¿Recibió apoyo de la CONAFOR para actividades de reforestación en áreas incendiadas?		Año 2010 se reforesto en 40 ha y un monto de \$140 000.00		
¿En los últimos 3 años comercializo producto Forestal	Si	No	Si	Si

De acuerdo a los informantes, los cuatro predios recuperación natural del bosque en el área incendiada, tampoco se han realizado evaluaciones sobre el efecto del incendio. Las reforestaciones se llevan a cabo en áreas destinadas para dicho fin y no en las áreas impactadas por el fuego y en fechas erróneas para esta actividad. Así mismo, en todos los predios se realizan actividades como pre-aclareos, aclareos, podas, control y acomodo de desperdicios, brechas cortafuego y trabajos complementarios de cercado, sub-soleo, limpia/control maleza).

7.3 Densidad y distribución de la regeneración

La muestra total, incluyendo los cuatro predios, tuvo una densidad promedio de tres individuos por ha distribuidos de forma agregada. De manera general, la densidad de la regeneración es demasiada baja en las áreas impactadas por los incendios forestales. En el análisis por predios, el P.p. “La Vaca y el Embudo Lote B 2 y 3” presentan la mayor densidad de regeneración y además, es el único predio cuya distribución es estadísticamente uniforme ya que las distancias a los nuevos individuos es mas o menos homogénea. Por lo que respecta al parque “El Tecuán” la densidad de regeneración es de 1 a 3 individuos/ha, y es el único predio en el cuál se realizaron actividades de reforestación, con esta actividad se encontraron de 90 a 192 individuos por ha. Sin embargo, de forma práctica la regeneración artificial se ve relegada a pequeños manchones con una distribución agregada y no de forma uniforme como debería de ser (Cuadro 9).

Cuadro 8.-Densidad y distribución de la regeneración

Variable	Clasificación	Densidad Individuos por ha	Intervalo de confianza 95% confiabilidad		Valor de distribución	Tipo de distribución de la regeneración
			Inf.	Sup		
Toda la muestra 112 sitios		2.7	1.99	4.18	2.59	Agregada
Sitios con distancia menor a 25 m /80 sitios		41.4	26.7	91.5	4.93	Agregada
Predio	P.p. Potreros de Concepción 1	2.5	1.1	2.5	2.52	Agregada
	Com. Santiago Bayacora	15.1	9.0	15.1	4.89	Agregada
	Parque El Tecuán ²	1.5	1.0	2.8	2.00	Agregada
	P.p. La Vaca y el Embudo Lote B 2 y 3	343.7	205	994.1	1.25	Uniforme
Tipo de regeneración	Natural	38.4	24.7	86.4	4.84	Agregada
	Artificial ³	192.7	90	192.7	2.89	Agregada

^{1,2,3} Valor del error estándar fue muy alto debido a la variabilidad en la distancia de la regeneración

La regeneración natural presentó una densidad de 25 a 86 individuos por ha lo cual puede deberse a que los incendios superficiales no afectan los arboles residuales permitiendo que la dispersión de semilla sea cercano a ellos. Además, el establecimiento de la regeneración natural presenta ventajas adaptativas al lugar en comparación a la reforestación artificial (Figura 19). De igual manera, la regeneración se presenta en parches o áreas pequeñas con características físicas y biológicas que localmente requiere la especie para su establecimiento (Pérez, 2006)



Figura 20.- Distribución agregada de la regeneración natural

VIII.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Si bien es cierto que los caminos son un medio importante para la extinción de los incendios forestales, estos influyen también en la presencia del fuego. La cercanía de las áreas boscosas donde ocurren los incendios a las vías de acceso presenta una estrecha relación. Es posible que dicho evento ocurra como consecuencia de fogata de paseantes, colillas de cigarrillos y desechos de botellas que son arrojadas en el traslado a los poblados y áreas de trabajo. Por lo que es necesario la conciencia y participación de las personas al no arrojar desechos que puedan provocar un incendio. Así como garantizar la limpieza adecuada de derecho de vía sobre los caminos. Así mismo, la cercanía de poblaciones a las zonas de ocurrencia de los incendios representa tanto un factor de riesgo y un factor que facilita los medios para la supresión del fuego. Además, es importante la participación de los habitantes en la supresión del fuego de tal manera de disminuir las superficies afectadas, o bien, evitar la presencia de los incendios forestales.

Las relaciones que muestran los incendios respecto a la presencia de vías de acceso o los mismos centros poblacionales representan un factor importante en la distribución espacial de los incendios de tal manera que los incendios presentan una tendencia agrupada o bien, tienden a concentrarse en determinadas áreas.

¿Pero que ocurre con la regeneración después de la ocurrencia de los incendios forestales? En el mejor de los escenarios el tiempo que tarda en establecerse la regeneración es de 35 meses o bien, 2 años 9 meses con tipos de suelo Litosol, Fozem y Xerosol, como fue en el caso del predio "Potreros de Concepción". De acuerdo a las observaciones en el 28.6 % de todos los casos no se presentó regeneración. Por lo que, las áreas afectadas por incendios forestales no tienen una regeneración de sus bosques en tiempos cortos o menores de 2 años como lo estipula la ley forestal.

Por otra parte, se presenta ciertas diferencias entre los resultados del análisis paramétrico y no paramétrico dado que con este último se puede observar el tiempo de regeneración de cada variable o bien, su análisis es individual. Y el

análisis paramétrico permite un análisis en conjunto que determina las variables significativas en el establecimiento de la regeneración. El análisis de supervivencia paramétrica resalta que el tiempo de regeneración es menor cuando existen mayores altitudes, mayor precipitación, cuando se realizan actividades de aprovechamiento y cuando los predios no cuentan con programa de manejo forestal vigente.

En relación a la densidad de la regeneración presente de manera general en los cuatro predios es de 3 individuos por ha, lo que indica que los bosques no se están recuperando de manera adecuada y la distribución que presentó la nueva masa forestal fue de manera agregada por lo que se rechaza la hipótesis nula de que la regeneración se distribuye de manera aleatoria después de la ocurrencia de incendios forestales.

En virtud de que las áreas no están presentando una recuperación de su masa forestal después de la presencia de los incendios y las actividades de reforestación no están cumpliendo con los objetivos de recuperar áreas que han sido perturbadas, los resultados de este estudio hacen necesaria la participación tanto de los dueños y representantes de los predios a invertir en un patrimonio económico y ecológico como lo son los bosques. Así mismo, la CONAFOR y autoridades locales, como dependencias encargadas de promover la reforestación y el aseguramiento del éxito de la planta, deben tener también mayor injerencia en el monitoreo de las plantaciones establecidas.

También es importante que se realicen evaluaciones de las condiciones de los predios antes y después de la presencia de disturbios, esto permitirá un mejor manejo en la provisión de recursos y servicios ambientales.

Bibliografía

- Aguilar, O. 2006. Los Incendios Forestales en México 2005. Comisión Nacional Forestal. 1ra Ed., pp 149.
- Alanís R. E., Jiménez P. J., Espinoza V. D., Jurado Y. E., Aguirre C.O.A., González T. M. A. 2008. Evaluación del estrato arbóreo en un área restaurada post-incendio en el parque ecológico Chipinque, México. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 14(2): 113-118
- Allison, P.D., 2009. Survival analysis using SAS: A practical guide. Cary, North Carolina. SAS Publishing./ ISBN 978-1-55544-279-8
- Ávila F. D. Y.; Pompa G. M.; Vargas P. E. 2010. Análisis espacial de la ocurrencia de incendios forestales en el estado de Durango. Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente, vol. 16, núm. 2, México, pp. 253-260 / ISSN (Versión impresa): 0186-3231
- Byth, K. 1982. On robust distance-based intensity estimators. Biometrics, 38: 127-135
- Chuvienco E., M. del P. Martín. 2004. Nuevas Tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales. Colección de estudios ambientales y socioeconómicos. Madrid. CSIC. Pp. 183
- González, M.S.,M. González, M.A. Márquez. 2007. Vegetación y Ecorregiones de Durango. México. 1ra Ed. Instituto Politécnico Nacional. Pp 219
- González E. M. 1999. Florística de áreas protegidas en el estado de Durango. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional-Durango. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. H100. México, D.F.

- González, M.S. y A. García. 2003. Pináceas de Durango. Instituto de Ecología A.C. México. 2da Ed. Pp187
- Hines, W.G.S., Hines, R.J. 1979. The Eberhardt statistic and the detection of nonrandomness of spatial point distributions. *Biometrika*, 66:73-79.
- Hermann G., Furniss M. J., Ziemer R. R., Brookes M. H. 2000. Forest roads: a synthesis of scientific information. United States Department of Agriculture Forest Service. Pp 117.
- INE. Instituto Nacional de Ecología. 2007
<http://www.ine.gob.mx/publicaciones/gacetas/gaceta38/pma27.html>
(Consultado el 18 enero-2011)
- INEGI, 2006. Anuario estadístico del estado de Durango.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. DATOS VECTORIALES 1:1 000 000. 2011.
<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/infoescala.aspx>
(Consultado el 1-septiembre-2012)
- Juárez, A., D. A. Rodríguez. 2004. Efecto de los Incendios Forestales en la Regeneración de *Pinus ocarpa* var. *Ochoterinae*. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 9 (2) 125-130
- Kaplan, E.L. & Meier, P. (1958) Nonparametric estimation from incomplete observations. *Journal of the American Statistical Association*, 53, 457-481.
- Krebs, C.J. 1999. *Ecological methodology*. Second edition. Menlo Park, CA: Addison Wesley Longman, Inc.
- Magaña T. (2007). Evaluación Externa de los Apoyos de Reforestación, Obras y Prácticas de Conservación de Suelos y Sanidad Forestal, ejercicio fiscal

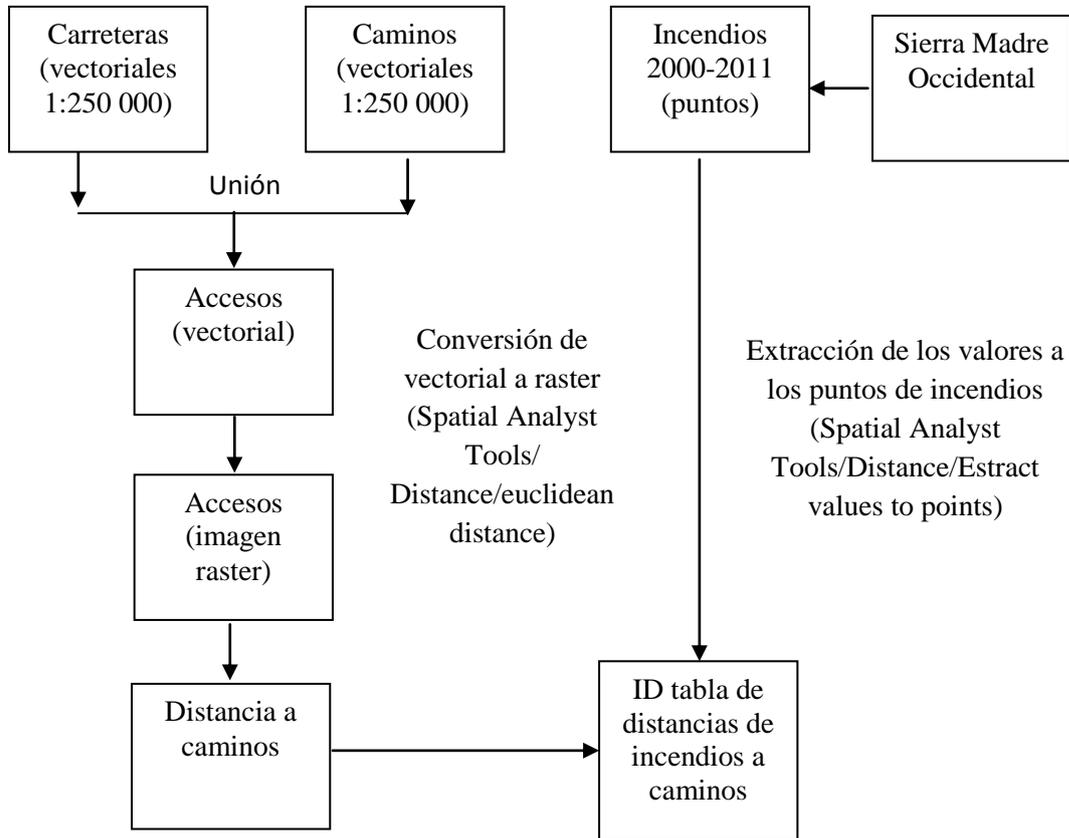
- 2006, informe final. Universidad Autónoma de Chapingo, SERMANT-CONAFOR. México
- Márquez, L.M. 2004. Distribución, germinación y estructura de poblaciones de *Arctostaphylos pungens* HBK, y su relación con el fuego en Durango, México. Tesis Doctoral. FCF.-UANL. México. Pp. 66-83
- Ordoñez, C. y R. Martínez 2003. Sistemas de Información Geográfica, Aplicación práctica con Idrisi 32, Análisis de Riesgos Naturales y problemáticas medioambientales. España. 1ra Ed. Editorial RA-MA. Pp 111 a 128
- Pérez, R. I. M. 2006. Factores que condicionan la regeneración natural de especies leñosas en un bosque mediterráneo del sur de la Península Ibérica. Tesis doctoral. Pp 348.
- Polyakov, M., Zhang, D. 2008. Population Growth and Land Use Dynamics along Urban–Rural Gradient. *Journal of Agricultural and Applied Economics, Southern Agricultural Economics Association* 40,2:649–666
- Rodríguez T. D.A., Fulé P. Z., 2003. Fire ecology of Mexican pine and a fire management proposal. *International Journal of Wildland fire* 12, 23-37
- Rodríguez T. D.A. 2008 Fire regimes, Fire Ecology, and Fire Management in México, *Ambio* Vol. 37, No. 7–8, December 2008
- SARH. *Inventario Nacional Forestal Periódico 1992-1994*. México.1994.
- SEMARNAT. Secretaría Del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2011. http://cruzadabosquesagua.semarnat.gob.mx/ecosistemas.html#bosque_coniferas (Consultado el 14 junio-2011)¹
- SEMARNAT. Secretaría Del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2005. http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen/02_vegetacion/cap2.html#7 (Semarnat, Conafor. México. 2005., Consultado es el 14 junio-2011)

- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2000. Anuario estadístico de la producción forestal 2006. SEMARNAT. México, D. F. 154 p.
- Smith G. P. 1952. Use of random and contiguous quadrats in the study of the structure of plant communities. *Annals of Botany*, 16:293-316
- Sun, X., I.A. Munn, C. Sun, A. Hussain. 2008. How long do NIPF landowners wait to reforest after harvesting? In Proceedings of the Southern Forest Economics Workshop 2007: Global Change and Forestry: Economic and Policy Implications. San Antonio, TX. pp. 87-94.
- Shlisky, A, J. Waugh, P. González, M. González, M. Manta, H. Santoso, E. Alvarado, A. A. Nuruddin, D.A. Rodríguez, R. Swaty, D. Schimidt, M. Kaufmann, R. Myers, A. Alencar, F. Kearns, D. Johnson, J. Smith, D. Zollner. 2007. Fire, Ecosystems and people: Threats and strategies for global biodiversity conservation. *The Nature Conservancy Global Fire Initiative Technical Report 2007-2. Presented at the 2007 Wildfire Convention*. Sevilla España. 17 pp.
- Tchikoué, H. (2007). Evaluación del Programa Nacional de Prevención y Combate de Incendios Forestales, ejercicio fiscal 2006, informe final. Universidad Autónoma de Chapingo, SEMANT-CONAFOR. México.
- Torres-Rojo, J.M. y A. Guevara-Sanginés. 2001. El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico. INE- SEMARNAT.
- Vega Hidalgo J. A. 2003. Regeneración del género *Pinus* tras incendios. España. Cuad. Soc. Esp. Cien. For. 15: 59-68.

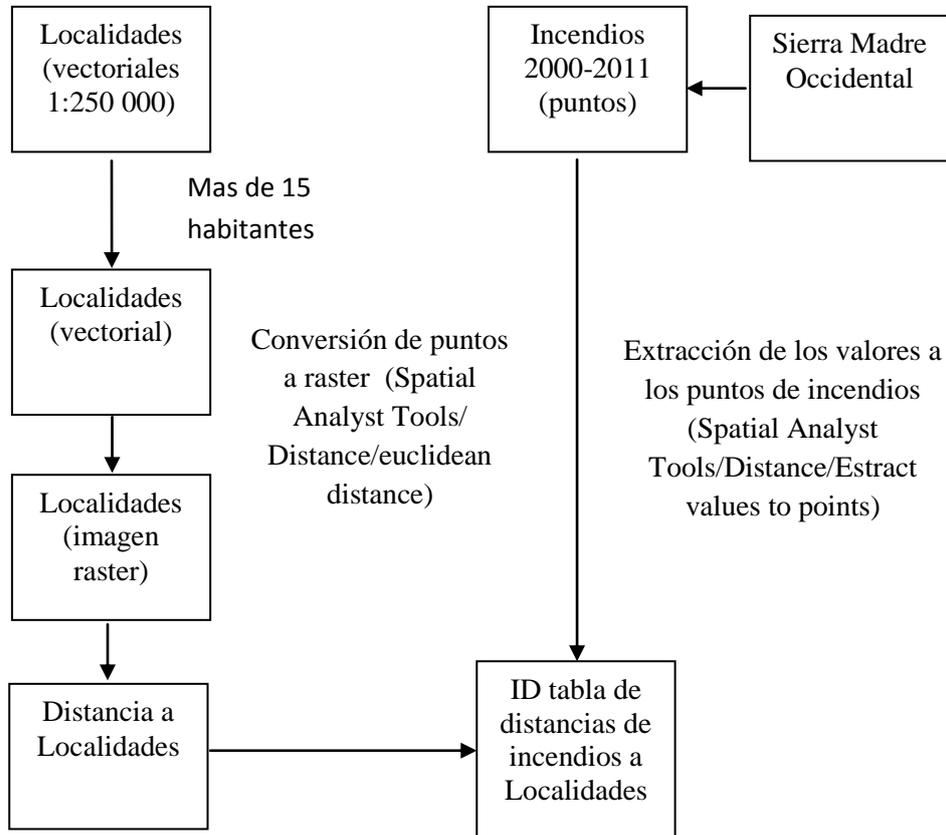
Villers, L.R. y J. López. 2004 Incendios Forestales en México. Métodos de Evaluación. Universidad Nacional Autónoma de México. 1ra Ed. Pp164

Wong, W.S, and J. Lee. 2005. Statiscal Analysis of Geographic Information with Arc View Gis and Arc Gis Ed. Wiley. Pp 218-237

ANEXO 1.- Modelo cartográfico para estimar la distancia de los caminos a los incendios



ANEXO 2.-Modelo cartografico para estimar la distancia de los incendios a poblados



Anexo 3.- Ficha Técnica



-Encuesta a propietarios forestales -



Sigma s/n
Fracc. 20 Noviembre II
34,220 Durango, Dgo
Tel (618) 814-2091

No. Control _____

Realizó _____

Fecha __/__/__

El propósito de este cuestionario es obtener información acerca de la situación económica y de manejo de los predios forestales y será empleada para el desarrollo de un proyecto de tesis de maestría en Ciencias en Gestión Ambiental titulado "Modelo para determinar el tiempo de recuperación de áreas afectadas por incendios forestales en Durango"

Datos generales

1. Seleccionar tipo de propiedad:

- Ejido Comunidad Pequeña propiedad (p.p.)

2. Nombre del predio. _____

3. Superficie total del predio _____

4. Municipio _____

Incendios

5. ¿El predio cuenta con brigada contra incendios?

No _____

Si _____ Número de integrantes _____

6. Indicar la fecha del incendio forestal

Año _____

7. ¿Cuál es el uso actual del área incendiada?

Bosque _____ Cultivos _____ Pastoreo _____ otros _____

8.- ¿Los incendios se han presentado varias ocasiones en la misma área?

Si _____ No _____

Año _____

9.- ¿El arbolado dentro del área incendiada se recuperó?

Si _____ No _____ Se realizó aprovechamiento maderable

10.- El incendio fue de tipo:

Superficial _____ subterráneo _____ aéreo _____ mixto (indicar) _____

11.- ¿Cuánto considera que fue el volumen afectado por el incendio (m³ de madera)?

12.- ¿Cuánto considera que fue la superficie afectada por el incendio (hectáreas)?

13.- ¿cuál fue el motivo que causó el incendio forestal?

- a) Actividad agropecuaria
- b) Actividad forestal
- c) Rencillas
- d) Para obtener autorización de aprovechamiento forestal
- e) Descargas eléctricas
- f) Fumadores
- g) cultivos ilícitos
- h) conflictos grupos armados
- i) fogatas de paseantes

14.- Se ha realizado una evaluación sobre las condiciones después del incendio forestal?

Si _____ No _____
Año _____

15.-Cuál ha sido el motivo por el cuál no se ha realizado una evaluación al área afectada por el incendio forestal?

- a) Únicamente se ha realizado un recorrido de campo
- b) No hay conocimiento por parte del propietario
- c) No hay interés por conocer las pérdidas de madera
- d) Otros _____

Reforestación

16.- ¿El área incendiada se ha reforestado? (si la respuesta es no pasar a la pregunta 22)

Si _____ Año y/o años de la reforestación _____
sobrevivencia% al 2010 _____
No _____

17.- De donde se obtuvo la planta para reforestar?

- a) Vivero conafor
- b) Vivero municipal
- c) Vivero del gobierno del estado
- d) Vivero propio
- e) Otro _____ Indicar _____

18.- ¿Cuánta gente se empleó para las actividades de reforestación?

Indicar número de personas _____

19.- ¿Las áreas reforestadas tienen protección contra pastoreo?

Si _____ No _____ No se realiza pastoreo _____

20.- ¿La regeneración se ha visto afectada por?:

Sequías ____ Incendio ____ Heladas _____ Otros

21.- ¿Recibió algún tipo de apoyo de la conafor para actividades de reforestación en áreas incendiadas?

No _____
Si _____ Año? _____ Cuanta superficie? _____
Monto recibido \$ _____

22.- ¿Cuál es el motivo por el cuál no se ha reforestado?

- a) Han sido incendios superficiales
- b) Ha sobrevivido arbolado adulto que produjo semilla y las áreas se regeneraron por sí solas
- c) Al arbolado muerto no extraído y los residuos del aprovechamiento se picaron y acordonaron a contrapendiente.
- d) Falta de interés de los ejidatarios
- e) Otros _____

Manejo

23.- ¿Cuenta el predio con programa de manejo forestal vigente?

Si ____ No _____

24.- ¿Se han realizado actividades de aprovechamiento forestal en el área incendiada?

Si ____ No _____ Años _____

25.- ¿Se realizan actividades silvícolas en el área incendiada?

Si ____ No _____

¿Cuál?

Preaclareos ____ Aclareos ____ Podas ____ Control y acomodo de desperdicios ____

Brechas cortafuego ____ Otras _____

Económicas

26.- En los últimos 3 años comercializo productos forestales (si la respuesta es no, no contestar el resto de las preguntas)

Si ____ No _____ Años _____

27.- ¿Cómo vendió sus productos forestales? [Seleccionar una opción]

<input type="checkbox"/> En pie	m ³ \$ _____
<input type="checkbox"/> Camión cargado	m ³ \$ _____
<input type="checkbox"/> En el patio de la industria	m ³ \$ _____
<input type="checkbox"/> Como madera aserrada	m ³ \$ _____
<input type="checkbox"/> Como muebles u otro proceso secundario	m ³ \$ _____

28.- ¿Cuál es el volumen aprovechado en cada anualidad?

Anexo 4. Formato de captura de Regeneración

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

CIIDIR DURANGO

EVALUACION DE REGENERACION EN AREAS AFECTADAS POR INCENDIOS FORESTALES

I. DATOS GENERALES

Predio _____	Fecha _____
Año del incendio _____	Superficie afectada _____
Nº puntos de control _____	Tipo de muestreo _____
Tipo de vegetación	
Boque se pino () Bosque de encino () Bosque de pino-encino () Bosque de encino-pino ()	

II. GRADO DE AFECTACION

Superficie afectada (dibujar polígono por separado) ANEXO 1 _____ Arbolado adulto _____ Regeneración _____ Arbustos/matorrales _____ Pastizales _____ Otros	% Vegetación afectada _____ Arbolado adulto _____ Regeneración _____ Arbustos/matorrales _____ Pastizales _____ Otros	Arbolado adyacente (promedio) Sp. Dominante _____ Altura (m) _____ Diámetro _____ Edad (años) _____ NARB/ha _____
---	--	--

III. CARACTERISTICAS DEL MANEJO

2.1 Presión de cambio de uso de suelo				
Muy bajo ()	Bajo ()	Medio ()	Alto ()	Muy alto ()
2.2 Porcentaje de cobertura arbórea				
Menos de 20 % ()	20.40% ()	41-60% ()	61-80 % ()	Mas de 80% ()
2.3 Cercanía a caminos pavimentados				
Muy cercano < de 100 m ()	Cercano 100 a 500m ()	Medio (1-5km)	Lejano más de 5 km ()	
2.3 Cercanía a caminos no pavimentados				
Muy cercano < de 100 m ()	Cercano 100 a 500m ()	Medio (1-5km)	Lejano más de 5 km ()	
2.4 aprovechamiento maderable				
En el área ()	Muy cercano < de 100 m ()	Cercano 100 a 500m ()	Medio (1-5km)	

Incendio # _____

IV. TRABAJOS COMPLEMENTARIOS

Tipo de regeneración _____	Sub-soleo _____
Acomodo material (erosión) _____	Cercado _____
Limpia/Control malezas _____	Otros _____

Nota: 1.- Sitios con individuos a una distancia mayor de 25 metros se indica en las líneas con una sola coordenada bajo la siguiente leyenda: (regeneración a más de 25 m).

2.- Se entiende como regeneración: individuos con altura mayor de 10 cm y un diámetro menor de 7.5 cm

*5.-Muy bueno, 4.-Bueno, 3.- Regular, 2.- Malo, 1.- Muy malo

V. DATOS DE LOS SITIOS

Sitio # _____	
Coordenada X _____ Y _____ Error _____	
Exposición _____ Pendiente _____ Altitud _____ Distancia (m) _____ (punto de control a individuo 2)	
<p><i>Individuo 1</i></p> <p>Distancia (m) _____ (punto de control a individuo 1)</p> <p>Altura total (m) _____ Diámetro _____ cm</p> <p>Edad (años) _____</p> <p>Vigor* _____</p> <p>Especie _____</p> <p>Regeneración Natural _____</p> <p>Artificial _____ # de verticilos _____</p>	<p><i>Individuo 2</i></p> <p>Distancia (m) _____ (individuo 1 a individuo 2)</p> <p>Altura total (m) _____ Diámetro _____</p> <p>Edad (años) _____</p> <p>Vigor* _____</p> <p>Especie _____</p> <p>Angulo _____</p> <p>Regeneración Natural _____</p> <p>Artificial _____ # de verticilos _____</p>