

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES



**DETERMINACION DE ZONAS PRIORITARIAS DE PROTECCION
CONTRA INCENDIOS FORESTALES PARA LA COMUNA DE PUERTO
NATALES (REGION DE MAGALLANES Y ANTARTICA CHILENA)**

Trabajo de Título presentado a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de La Frontera. Como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero Forestal.

PAOLA ANDREA COYOPAE LEIVA

PROFESOR GUIA: ALEJANDRO RAMON ESPINOSA SEPULVEDA

TEMUCO – CHILE

2010

**DETERMINACIÓN DE ZONAS PRIORITARIAS DE PROTECCIÓN
CONTRA INCENDIOS FORESTALES PARA LA COMUNA DE PUERTO
NATALES (REGIÓN DE MAGALLANES Y ANTÁRTICA CHILENA)**

PROFESOR GUIA :

Alejandro Espinosa Sepúlveda
Ingeniero Forestal M.Sc.
Depto. de Ciencias Forestales
Universidad de la Frontera

Nota: _____

PROFESORES CONSEJEROS :

Mauricio Reyes Schencke
Ing. Forestal
Depto. de Ciencias Forestales
Universidad de La Frontera.

Nota: _____

Rodrigo Fernández Medina
Ingeniero Ejecución Agrícola
Depto. Manejo del Fuego
CONAF Región de Magallanes.

Nota: _____

CALIFICACIÓN PROMEDIO TESIS:

Es difícil pensar como redactar esta dedicatoria, son tantos los momentos que viví en esta universidad y en esta ciudad tan extraña para mí, por lo que remontare al momento de mi ingreso a la universidad, primero quiero dedicar este trabajo a mis padres, que con solo 17 años me dejaron partir, para poder realizar un primer sueño, luego quiero dedicar este trabajo a mi nueva familia, a ti Roberto por tu amor, comprensión, apoyo, paciencia, entre otras y a mi gran amor Ignacio que me das la fuerza para seguir siendo mejor persona, mejor profesional.

Por todo esto y mucho más...Con Amor

Paola Andrea Coyopae Leiva.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por protegerme y ayudarme a cumplir una de mis metas.

A mis padres Omar y Cilia, por darme su confianza, apoyo y valores para realizar esta etapa.

A mi pololo Roberto, por brindarme todo su apoyo.

A mis hermanos Alexis y kathy, que a pesar de la distancia siempre me acompañaron.

A los profesores Alejandro Espinosa, Mauricio Reyes, Rodrigo Fernández, por dedicar parte de sus conocimientos y valioso tiempo brindándome su ayuda.

A mis compañeros Gabriel, Caty, Fran y Cote, por su alegría, entusiasmo y amistad en este periodo universitario.

A la CONAF de la Región de Magallanes, por permitir que desarrolle este trabajo.

INDICE DE MATERIAS

CAPÍTULO	PÁGINA
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general	2
1.2. Objetivos específicos	2
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Incendios forestales	3
2.1.1. Fuego	4
2.1.2. Incendio forestal	5
2.2. Aumento de los incendios forestales	9
2.3. Clasificación tipo de incendios forestales	9
2.3.1. Incendios naturales	10
2.3.2. Incendios provocados por el hombre	11
2.4. Impacto de los incendios forestales	12
2.4.1. Efectos generales sobre el ecosistema	14
2.5. Manejo del fuego	15
2.5.1. Control de incendios forestales	15
2.6. Componentes del manejo del fuego	15
2.6.1. Prevención	16
2.6.2. Presupresión	16
2.6.3. Combate	17
2.6.4. Uso del fuego	17
2.7. Zonas prioritarias de protección	18
2.7.1. Análisis de riesgo	18
2.7.2. Análisis de peligro	18
2.7.3. Análisis de daño potencial	19
2.8. Método AHP	19
2.9. Capacidades de los sistemas de información geográfica, en la protección contra incendios forestales.	20
2.10. La Teledetección, como herramienta de modelación	20
3. MATERIALES Y MÉTODO	21
3.1. Materiales	21
3.1.1. Área de estudio	21
3.1.2. Antecedentes generales del área de estudio	22
3.1.2.1. Accesos	22
3.1.2.2. Clima	22
3.1.2.3. Orografía	23
3.1.2.3.4. Hidrología	24
3.2. Material cartográfico e imágenes satelitales	24
3.3. Método	25
3.3.1. Caracterización espacial del área de estudio	25
3.3.2. Proposición de un modelo preliminar para establecer zonas prioritarias contra incendios forestales para la comuna de Puerto Natales.	30

3.3.3.	Establecimiento de un modelo definitivo para determinar dichas zonas	32
3.3.4.	Determinación de zonas prioritarias de protección para la comuna de Puerto Natales.	35
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
4.1.	Caracterización espacial del área de estudio	45
4.2.	Proposición de un modelo preliminar, para establecer zonas prioritarias de protección contra incendios forestales, para la comuna de Puerto Natales	51
4.3.	Establecimiento de un modelo definitivo para determinar dichas zonas prioritarias	53
4.4.	Determinación de zonas prioritarias de protección para la comuna de Puerto Natales	56
4.4.1.	Análisis de riesgo	56
4.4.2.	Análisis de peligro	61
4.4.3.	Análisis de daño potencial	66
4.4.4.	Determinación de zonas prioritarias de protección.	68
5.	CONCLUSIÓN	70
6.	RESUMEN	72
7.	LITERATURA CITADA	74
8.	ANEXOS	81

1. INTRODUCCIÓN

En Chile los incendios forestales ocurren en estaciones de primavera y verano, en su gran mayoría provocados por el descuido del hombre (CONAF *et al.*, 2007), considerando un origen antrópico en un 99% y un origen natural 1% (Haltenhoff, 1999). Según el informe estadístico realizado por el INE, el año 2005, las principales causas de ocurrencias investigadas, en orden de importancia, son faenas agropecuarias, faenas forestales, intencional, tránsito y transporte, juegos y recreación. A éstas se les suman tres factores, que aumentan el inicio de los incendios, escasez de precipitaciones, altas temperaturas y desecamiento de la cobertura vegetal (Julio, 2002).

Los antecedentes señalan que en promedio en Chile, se originan alrededor de 5.200 incendios por temporada, los que afectan unas 52 mil hectáreas. Económicamente hablando, se estima una pérdida por temporada de 50 millones de dólares, a lo que se suma que los daños directos en vegetación quemada, y otros daños indirectos y posteriores a la pérdida de la cubierta vegetal protectora ocasionan aluviones y desertificación (Julio, 2002).

Los daños referidos corresponden a los efectos ambientales y sociales tales como la degradación de suelos y recursos hídricos, alteración del equilibrio ecológico, deterioro de la belleza escénica, salud ambiental, deterioro de la vegetación natural de praderas y matorrales, y superficie arbolada entre otras; a esto se le suma daños sociales, con viviendas destruidas y, lo más significativo, con vidas de residentes y de quienes combaten el fuego (CONAF *et al.*, 2007).

Es indudable que sólo es posible lograr una respuesta eficiente ante los problemas que generan los incendios forestales por medio de un adecuado proceso de planificación. En tal sentido, los planes de manejo del fuego abordan el tema sobre la base de una evaluación de la ocurrencia y de las pérdidas producidas, y mediante la propuesta de medidas de prevención y combate que efectivamente que controlen la iniciación y propagación del fuego.

En este contexto la determinación de zonas prioritarias de protección contra incendios forestales, son antecedentes importantes para la toma de decisiones, en las actividades de prevención y planificación, las que son fundamentales para reducir los incendios. Es por esta razón que en este estudio se determinaran las zonas prioritarias de protección contra incendios forestales en la Comuna de Puerto Natales.

1.1. Objetivo general

Determinar zonas prioritarias de protección contra incendios forestales para la comuna de Puerto Natales.

1.1.1. Objetivos específicos

1. Caracterizar espacialmente el área de estudio.
2. Proponer un modelo preliminar para establecer zonas prioritarias de protección contra incendios forestales para la comuna de Puerto Natales.
3. Establecer un modelo definitivo para determinar dichas zonas prioritarias.
4. Determinar las zonas prioritarias de Protección para la comuna de Puerto Natales.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Incendios forestales

El hombre ha convivido con el fuego prácticamente desde sus orígenes, habiéndose constituido en un factor esencial de la mayoría de las civilizaciones y aún cuando es un elemento de la naturaleza se puede considerar como una herramienta que el hombre ha venido utilizando en numerosas labores domésticas, ganaderas, industriales, agrícolas y forestales como es el caso de las quemas de rastrojos y pastos, eliminación de restos de cortas o podas, etc. (Junta de Andalucía, 2004).

Sin embargo, como todos los elementos de la naturaleza, el fuego también presenta su aspecto negativo, los incendios, es decir la presencia de fuego que no es controlado por el hombre y afecta a la vegetación que cubre, ya sea terrenos agrícolas o forestales (Junta de Andalucía, 2004).

2.1.1. Fuego

El Fuego es el resultado del proceso químico denominado combustión. Para que se produzca, deberá existir presencia de un combustible, una fuente de calor y oxígeno, vale decir el fuego es la rápida oxidación de los materiales combustibles con desprendimiento de calor (Pacheco y Núñez, 2010).



Figura 1. Triángulo de Fuego

2.1.2. Incendio forestal

De acuerdo con la International Standards Organization, (Cox, 1995) un incendio se define como un proceso de combustión, que se propaga de manera incontrolada en el tiempo y en el espacio, combustión caracterizada por la emisión de calor acompañada de humo, llamas o ambos, es decir es una reacción química fuera de control que se caracteriza por la generación de energía. Cuando dicha reacción afecta la superficie vegetal en un espacio abierto se le denomina Incendio Forestal (Zárate, 2004).

Una definición clásica es la propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, (FAO, 1953) define un incendio forestal como cualquier incendio o fuego producido en las tierras forestales y que no se utiliza como medio para la protección u ordenación del bosque, conforme a un plan autorizado. SEMARNAT (2001), coincide y lo define como un siniestro causado intencional, accidental o fortuitamente por el fuego que se presenta en áreas cubiertas de vegetación, árboles, pastizales, malezas, matorrales y en general, cualquiera de los diferentes tipos de asociaciones vegetales. Bosnich (1983), concuerda con SEMARNAT (2001) al definir incendio forestal como la destrucción de vegetación viva o muerta por medio del fuego cualquiera sea su origen, el cual se propaga libremente y no tiene límites establecidos.

De acuerdo a la Corporación Nacional Forestal (CONAF, 2004), organismo encargado del sector forestal en Chile, un incendio forestal es un fuego que, con peligro o daño a las personas, la propiedad o el ambiente, se propaga sin control en terrenos rurales, a través de vegetación leñosa, arbustiva o herbácea, viva o muerta.

Según Julio y Bosnich (2005), se define incendio forestal, al fuego que se propaga libremente y de forma descontrolada, cualquiera sea el origen de su causa. Según la cobertura vegetal afectada se clasifica en: superficiales, subterráneos y aéreos. Los superficiales consumen la

vegetación arbustiva, herbácea y hojarasca sobre el piso del suelo, es el más común y se caracteriza por estar presente en todos los incendios; los subterráneos se propagan por debajo del piso del bosque consumiendo raíces, humus y material orgánico. En Chile son comunes en los Bosques Nativos, con una propagación lenta, y por último están los aéreos que se conocen como incendios de copa debido a su dispersión a través del follaje. En Chile es común localizarlos en plantaciones con una propagación violenta

Sepúlveda *et al.*, (1999) aporta a las anteriores definiciones diciendo que los incendios forestales son el producto de la interacción de las condiciones meteorológicas imperantes, las características de los combustibles vegetales (vivos y muertos) y de un agente de ignición (natural o antropogénico).

2.2. Aumento de los incendios forestales

Desde mediados de los 90 y hasta 2004 se han constatado cambios significativos en la ocurrencia y en el impacto de los incendios forestales en algunas regiones del mundo (GFMC, 2004). Las causas estructurales basadas en factores sociales y culturales difíciles de controlar, como el abandono del hábitat rural, el estrés que crea el turismo sobre el bosque y las prácticas agrícolas inadecuadas, tienden a aumentar cada año el número de focos de ignición. La problemática de los incendios forestales es evidente, puesto que en los últimos años el número de hectáreas afectadas se ha ido incrementando (Reyes *et al*, 2002)

Respecto a la disponibilidad global de datos sobre incendios durante los decenios de 1980 y 1990, se cuenta con estadísticas nacionales, regionales o mundiales (Figura 2), lo cual podría permitir realizar una comparación confiable y precisa de la ocurrencia de incendios.

Sin embargo, es posible hacer algunas observaciones generales. Ambos decenios experimentaron una variabilidad anual muy alta en la insurgencia y efecto de los incendios a escala nacional y regional (FAO, 2006).

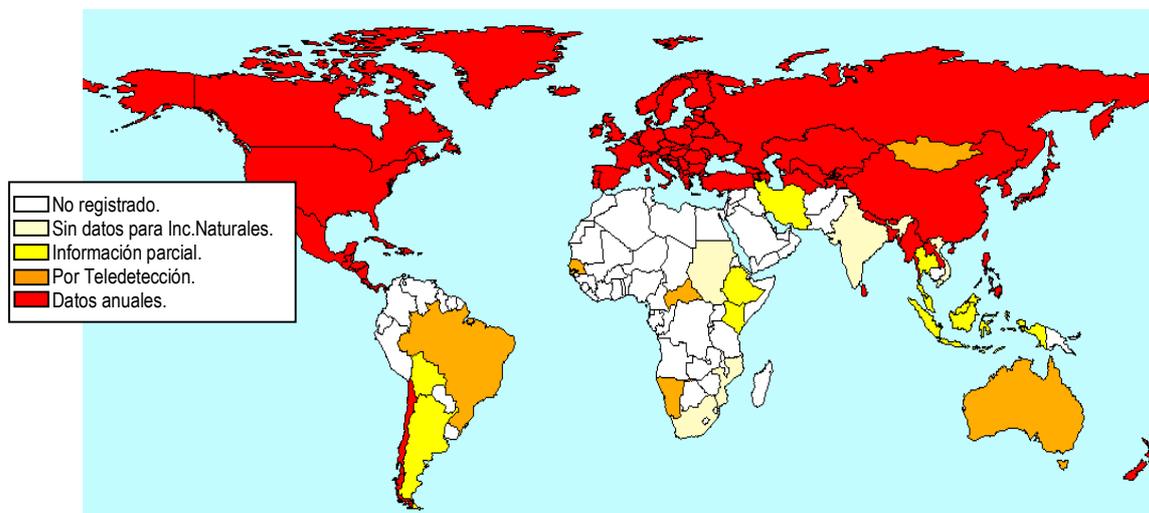


Figura 2. Información disponible de incendios forestales en el mundo.

Fuente: ECE/FAO (2001).

En Chile, los incendios aumentaron en un 13 por ciento durante el decenio de 1990, respecto al decenio anterior de 1980, pasando de un promedio de 4.800 a 5.530 incendios anuales. Sin embargo, el área promedio de los incendios disminuyó, pasando de 11,3 a 9,1 hectáreas como resultado de la aplicación de estrategias mejores, así como métodos organizativos y cooperación entre los socios de lucha contra los incendios (Reyes *et al*, 2002).

El Cuadro 1, muestra para los años 1991 a 2001, el número de incendios y la superficie afectada para las zonas de Europa, USA+Canadá, México y Chile. México experimentó siete años consecutivos de sequía entre 1994 y 2000. En 1998, las condiciones provocadas por el fenómeno de El Niño produjeron la estación de incendios incontrolados más difícil en la historia de ese país. Se calcula que México tuvo 14.445 incendios incontrolados, que afectaron 849.632 ha, la superficie más vasta que jamás haya ardido durante una sola estación.

Cuadro 1. Número de incendios y Superficie afectada (ha). Periodo 1991-2001

Año	Número de Incendios			Superficie afectada (ha)				
	Europa	USA Canadá	México ¹	Chile ²	Europa	USA Canadá	México ¹	Chile ²
1991	56.490	129.063	8.621	4.786	585.774	2.640.794	269.266	24.224
1992	79.058	185.562	2.829	6.114	462.100	2.152.101	44.401	49.981
1993	69.588	159.041	10.251	6.210	488.236	3.671.216	235.020	65.606
1994	77.771	88.834	7.830	5.354	804.814	7.831.455	141.502	26.174
1995	85.107	90.692	7.860	5.886	435.517	7.356.500	309.087	40.082
1996	87.580	102.809	9.256	5.487	296.510	4.330.139	248.765	43.595
1997	92.526	72.364	5.163	5.329	364.824	1.781.310	107.845	90.888
1998	120.742	91.981	14.445	6.830	707.920	5.653.585	849.632	101.691
1999	118.263	182.748	1.979	5.252	362.704	3.997.046	231.061	17.183
2000	140.316	147.187	8.557	5.374	928.416	3.640.388	235.915	10.198
2001	106.692	142.066	6.340	4.786	463.186	2.075.271	136.879	90.069

Fuente: ECE/FAO (2001).

La Figura 3, muestra las superficies afectadas por incendios forestales durante los años 1991 a 2001. Al igual que el número e incendios, se observa un comportamiento cíclico, con un año 1998 con más de 12 millones de hectáreas afectadas, pero con tendencia a la disminución. Como se mencionó anteriormente, esto es debido a que las estrategias de los programas de lucha contra incendios en estas zonas geográficas han ido mejorando. Sin embargo, no se debe olvidar que en otros países existen otras prioridades nacionales, y las condiciones para el control de incendios no son las más adecuadas.

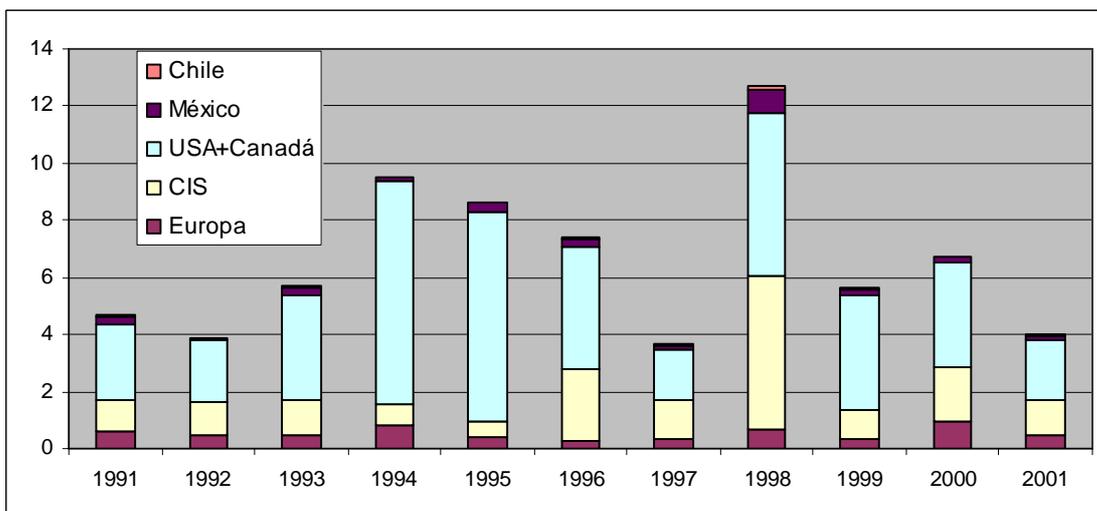


Figura 3. Tendencia de la superficie afectada (millones de hectáreas) por incendios forestales en algunas regiones con estadísticas anuales (Reyes *et al.*, 2002)

Cabe mencionar que existieron dos hechos importantes a nivel nacional. Durante la temporada estival 2001-2002 se presenció uno de los mayores incendios de los últimos 50 años en la Región de La Araucanía. En la cordillera andina de las provincias de Malleco y Cautín, cerca de 20.000 ha de bosques fueron consumidas por el fuego de las cuales un 30 % correspondió a bosques mixtos de *Araucaria-Nothofagus*, incluyendo tanto áreas silvestres protegidas como privadas (CONAF, 2002).

El incendio del Parque Nacional Torres del Paine se inició el día 17 de febrero de 2005, en el sector del desagüe de la Laguna Azul, y se extinguió el 07 de marzo del mismo año. La superficie total del área afectada dentro de los límites administrativos del Parque Nacional Torres del Paine se estimó en 11.700 ha, y 3.800 ha en terrenos particulares, lo que totaliza 15.500 ha (Navarro *et al.*, 2008)

2.3. Clasificación tipos de incendio forestales

Existen varias clasificaciones de incendios forestales, de acuerdo a la morfología, el grado de intensidad o el patrón de comportamiento (Zárate, 2004). Al considerar las causas de los incendios forestales, estos se clasifican en causas naturales, negligencias, intencionados, Otras causas y por último, Causas desconocidas. Desde el punto de vista del origen del foco de calor que genera el fuego, éste puede ser producido en forma natural, accidental o intencional. A continuación, en términos generales, se presenta una revisión de Incendios Naturales e Incendios provocados por el hombre (CONAF, 2007)

2.3.1. Incendios naturales

En algunos ecosistemas, el fuego es considerado como un factor intrínseco. En muchos casos, el factor fuego y los procesos subsiguientes de recuperación dan lugar a los ecosistemas dependientes de las perturbaciones (Vogl, 1980; Naveh, 1990) o al desarrollo de ecosistemas que dependen de su aparición periódica conocidos como ecosistemas dependientes del fuego (Vogl, 1977).

Siendo un fenómeno natural y necesario en muchos ecosistemas forestales, los incendios ayudan a configurar la estructura del paisaje, a mejorar la disponibilidad de los nutrientes del suelo y a iniciar los ciclos naturales de sucesión de plantas, (FAO/CEPE/OIT, 1996). De hecho, muchas especies del reino vegetal no se pueden reproducir sin incendios periódicos (Salvador y Lloret, 1995). En el caso de los ecosistemas mediterráneos, existe una incidencia natural del fuego, del mismo modo que está presente una incidencia antropogénica que actúa desde hace miles de años, que en forma conjunta, han determinado la evolución de estos ecosistemas (De las Heras, 1994).

El fuego además de ser un factor natural, ha condicionado la existencia y distribución de los bosques en el transcurso de miles de años. Los incendios han sido siempre un factor de gran importancia en el desarrollo y la ordenación de muchos bosques del mundo. Algunos ecosistemas forestales han evolucionado a raíz de frecuentes incendios ocasionados tanto por causas naturales como humanas; la totalidad de ellos son vulnerables a los efectos del fuego (FAO, 2004).

2.3.2. Incendios forestales provocados por el hombre

La gran mayoría de los incendios forestales, que se producen hoy en día en los bosques y superficies arboladas, son causados por el hombre y tienen su origen, en la mala utilización del fuego como instrumento de ordenación de la tierra para convertir los bosques en tierras de cultivo, mantener los pastizales o facilitar la extracción de productos forestales no madereros, la caza y el desbroce de la tierra para la explotación minera, para el desarrollo industrial y para crear asentamientos. También los conflictos personales o por la propiedad fomentan los incendios intencionales (FAO, 2004).

El aumento observado en la gravedad de los incendios en muchas regiones es consecuencia de los impactos directos e indirectos de la interferencia del ser humano y del cambio en el medio ambiente (GFMC, 2004). El número de incendios causados por el hombre excede en mucho al de aquellos que ocurren naturalmente (Agrovía, 2004).

Actualmente los incendios causados por el hombre están presentes en todos los ecosistemas vegetales existentes en el mundo. Se estima que anualmente se pierden 10 a 15 millones de hectáreas de bosques en regiones boreales y templadas, mientras que 20 a 40 millones de hectáreas de bosque se pierden en regiones tropicales. La actividad agrícola, reconversión de cultivos y habilitación de grandes extensiones aplicando quemadas han sido los grandes responsables de este daño (Castillo, 2006).

2.4. Impacto de los incendios forestales

Si bien tanto los incendios causados por el hombre como los naturales son un fenómeno importante en todas las zonas de vegetación del mundo, sus efectos no siempre son los mismos (FAO/CEPE/OIT, 1996). Si los incendios forestales, encuentran condiciones apropiadas para su expansión pueden recorrer extensas superficies, produciendo graves daños a la vegetación, a la fauna y al suelo y causando importantes pérdidas ecológicas, económicas y sociales (Junta de Andalucía, 2004). Los sectores que pueden ser afectados de forma directa o indirecta, a corto o largo plazo, el impacto y los costos económicos son difíciles de evaluar, pero es evidente que los recursos de la zona incendiada son afectados muy negativamente, muchos de los efectos son subestimados o ignorados cuando no inciden directamente sobre productos o servicios, ejemplos de ello se encuentran en ámbitos de transporte, comunicación, turismo, diversidad biológica, especies en peligro de extinción, acuíferos, etc. Estos efectos tienen incidencia sobre un período de tiempo considerable, dado el tiempo que tarda el bosque en regenerarse. Por otra parte, la pérdida de la cobertura vegetal en amplias zonas favorece los procesos de erosión y, a gran escala, contribuye a la desertización en las zonas áridas. (FAO, 2004).

Donoso (1993), coincide en que los daños causados por los incendios forestales no son sólo económicos, sino también ambientales, la destrucción de la vegetación por el fuego facilita los procesos erosivos con pérdida de suelo y perturbación del régimen hidrológico. La vegetación es considerada el factor más importante en el control de la escorrentía y la erosión.

La extinción de los incendios en el mundo occidental, ha pretendido eliminar el fuego de los ecosistemas, y el resultado ha sido una distorsión de los regímenes de incendios, es decir, se han suprimido muchos de los incendios pequeños e intermedios en tamaño e incrementado el peso de los grandes, lo cual permite reducir la piro diversidad debido a que se controlan o suprimen los fuegos pequeños pero se genera uno grande y esto ha tendido a reducir la diversidad biológica (Martín y Sapsis, 1992).

Otras regiones han experimentado consecuencias relacionadas con la supresión de incendios o uso reducido de ellos, con consecuencias en la biodiversidad, la capacidad de sustento, los patrones de las áreas verdes, etc (GFMC, 2004).

Para determinar los efectos que va a tener el fuego sobre el ecosistema, la frecuencia de los incendios forestales puede ser tan importante como la estación del año en la que se produce (Glitzenstein *et al.*, 1995). La frecuencia intensiva de los incendios conlleva a que el ecosistema no tenga tiempo suficiente de regenerarse (Mataix, 1999). Esta es la causa de la perpetuación de estados que comprenden comunidades vegetales degradadas.

2.4.1. Efectos generales sobre el ecosistema

En aquellos sectores de grandes superficies de bosques, la falta de discontinuidad entre las masas forestales favorece la propagación del fuego, por lo general tienen efectos ecológicos más negativos, no sólo por la mayor dificultad de restaurar la cubierta arbórea, sino porque la cubierta vegetal inicia una fase regresiva (Martínez Ruiz, 1996), ya que los incendios forestales retrasan la sucesión de las comunidades y las devuelve a los estados iniciales, en los cuales la vegetación empieza a colonizar un sustrato desnudo. Sin embargo, tras el paso del fuego por matorrales y bosques, las especies se establecen mediante semillación y o reproducción vegetativa, de la manera más rápida posible. Otro tipo de adaptaciones es la protección de yemas y órganos vitales, la presencia de follaje y corteza resistente al fuego y la existencia de elementos subterráneos de supervivencia (bulbos, tubérculos, rizomas, cepas, lignotúberes) que permiten el rebrote de algunas especies como robles y eucaliptos (Guardia, 1988). Existen estudios recientes que indican que los incendios en las selvas húmedas tropicales crean circuitos de retroalimentación, que aumentan la susceptibilidad del bosque a incendios posteriores. Los primeros sirven para abrir el dosel, lo que permite que los movimientos del sol y el aire sequen aún más el bosque. Los árboles que han perecido en incendios anteriores aumentan las existencias de leños, mientras que las malezas y pastos invasores contribuyen con combustibles vivos. Los

segundos y terceros incendios avanzan más rápido, son más intensos y su duración es más prolongada. (Cochrane *et al.*, 1999).

Las áreas de bosques limitan las variaciones de temperatura, principalmente en lo que a máximas y mínimas se refiere (Liebana y Ribarrocha, 1981). La eliminación de la cubierta vegetal implica una alteración en el microclima del bosque (Parde, 1978). Considerando que los bosques absorben agua de lluvia y la liberan poco a poco, evitando las inundaciones e incrementando las disponibilidades hídricas de los meses secos, cuando más falta hace (Borrego y Miranda, 1998). Los incendios forestales alteran el régimen hidrológico, (SEMARNAT, 2000), por otra parte los incendios forestales pueden afectar la calidad de las aguas de los lagos y ríos, tanto por el incremento de sedimentos que reciben como por entradas de estos a través de la deposición atmosférica (Bayley *et al.*, 1991).

Otro efecto de los incendios forestales es la contaminación temporal a todos los componentes del ecosistema, (Rodríguez, 1996); produciendo emisiones gaseosas y particuladas de gran impacto sobre la composición y el funcionamiento de la atmósfera global. Estas emisiones interactúan con las de la quema de combustibles fósiles y fuentes tecnológicas (FAO/CEPE/OIT, 1996). En Estados Unidos, en el año 1968, el humo de las quemas prescritas y de los incendios forestales contribuyó al 8% de la contaminación atmosférica y compuestos que contribuyen al calentamiento global del planeta (Pritchett, 1986).

Actualmente se produce una alarmante tendencia de la transferencia de carbono inducida por los incendios desde la esfera terrestre hacia la atmósfera, especialmente desde humedales drenados o climáticamente alterados (GFMC, 2004). Por combustión de sustancias orgánicas nitrogenadas y una mineralización de elementos fertilizantes contenidos en los residuos vegetales (Ortiz, 1990), contribuyendo con esto a la contaminación atmosférica, cualquier proceso que tienda a disminuir el contenido de materia orgánica y humus es francamente peligroso en lo que respecta a la estabilidad de los ecosistemas edáficos. La cubierta vegetal juega un papel muy importante en la estabilización de pendientes y en aumentar la estabilidad de los agregados y

cuando la cubierta vegetal se pierde, se incrementa el riesgo de aceleración de los procesos erosivos (Donoso, 1993)

Los daños que los incendios ocasionan al suelo, suelen ser distintos según afecten a las partes más elevadas de los árboles, al matorral, a las herbáceas y a los incendios de piso, en los que el suelo resulta aún más alterado (Mataix, 1999), dependiendo de la intensidad del fuego, modifica en mayor o menor grado, estas alteraciones repercuten en la fertilidad natural, en la liberación de nutrientes, y puede ser importante a largo plazo en la productividad del suelo (Johnston y Elliott, 1998). Los incendios también alteran la actividad bacteriana y de los hongos, responsables de procesos biológicos de suma importancia en el suelo, la elevación de la temperatura del suelo entre 50 y 60° C mantenida durante 10 minutos supone la muerte de las células vivas y por lo tanto, la destrucción de las comunidades biológicas edáficas (Ros y Tejero, 1987). En algunos experimentos con incendios controlados, se ha medido temperaturas de 400°C en la superficie del suelo (De Luis *et al.*, 1997).

2.5. Manejo del fuego

De manera general, la eficacia en la lucha contra los incendios forestales, se ha hecho potente en los últimos años, a pesar del aumento espectacular de focos, la superficie quemada se ha estabilizado. A este éxito parcial ha contribuido de forma importante la investigación y desarrollo de nuevos métodos preventivos y el uso de nuevos métodos de extinción, fundamentalmente ligados a la detección precoz y a la aproximación rápida al incendio, como los medios aéreos. Sin embargo, no se ha logrado disminuir la superficie total. Los grandes incendios son la causa principal de este estancamiento (López *et al.*, 2005).

2.5.1. Control de incendios forestales

El control de Incendios Forestales, es una disciplina de la Ingeniería Forestal conocida como Manejo del Fuego y puede ser definida como un conjunto de actividades destinadas a evitar daños que son ocasionados por la ocurrencia y propagación de incendios forestales en terrenos rurales (Bosnich, 1983).

2.6. Componentes del manejo del fuego

Cualquiera que sea el nivel de un programa de manejo del fuego (nacional, regional, local o predial), necesariamente debe considerar cuatro aspectos o componentes básicos: prevención, presupresión, combate y el uso del fuego (Julio, 1996), ya que tiene como objetivo primordial, minimizar las pérdidas o daños que provocan los incendios forestales en terrenos rurales (Coronado, 2003).

2.6.1. Prevención

Son todas aquellas acciones, dirigidas a evitar la iniciación o propagación de incendios forestales, la que es enfocada concretamente hacia el control del riesgo y del peligro. Por riesgo, debe entenderse a todo agente que origina o provoca un incendio forestal, lo que en Chile está representado esencialmente por la actividad humana. A su vez, el peligro se refiere a la conflictividad que puede alcanzar la propagación del fuego y por lo tanto dependerán básicamente de factores ambientales tales como la topografía, condición de la vegetación y del estado del tiempo atmosférico (Julio, 1973).

a) Educación y Difusión, se ejecutan a través de campañas de prevención, con el propósito de crear conciencia respecto al valor que representan los recursos naturales renovables y, promover su protección de la acción destructiva de los incendios forestales.

- b) Legislación y Reglamentación, son normas de carácter jurídico o reglamentario, de ámbito público o privado, destinadas a controlar las actividades de las personas, cuando impliquen un riesgo de ocurrencia o un peligro de propagación de incendios forestales.
- c) Manejo de Combustibles, corresponden a todas aquellas intervenciones de la vegetación, ejecutadas previamente a la ocurrencia, a fin de evitar la propagación del fuego. Las intervenciones consisten en reducir, eliminar, reordenar o cortar la continuidad de los combustibles (Julio, 2005).

2.6.2. Presupresión

Aparato organizacional, que permite hacer frente a un incendio forestal, define las funciones y los lineamientos a seguir a modo de lograr una eficaz coordinación en caso que se produzca un incendio forestal. El objetivo es estar preparados y organizados, para sofocar un incendio en el más corto plazo posible, lo que está directamente relacionado con la capacitación, preparación y distribución del personal, los materiales y equipos, la movilización y el apoyo logístico (FAO, 1953).

- b) Detección. Son todas aquellas operaciones llevadas con el propósito de descubrir y localizar oportunamente a los incendios forestales que se inicien.
- c) Movilización. Es el conjunto de actividades que suceden desde el momento que se ha recibido un reporte de incendio forestal y se ha emitido la instrucción de salida de una o varias unidades de combate, hasta que efectivamente se inicia el combate con el reconocimiento el foco en el terreno afectado.
- d) Organización para el Combate. Corresponde a la infraestructura y recursos que deben disponerse para la movilización y extinción de los incendios forestales, incluyendo los diseños operacionales y esquemas organizativos, necesarios para lograr acciones eficientes y oportunas.

e) Seguridad. Incluye las medidas requeridas para velar por un desempeño eficiente del personal en las operaciones de manejo del fuego, particularmente desde el punto de vista de su correcta preparación, equipamiento, prevención del riesgo de accidentes y control de pérdidas.

f) Comando de Operaciones. Corresponde a la evaluación, planificación, programación, coordinación y conducción permanente de las operaciones de manejo del fuego, en orden de asignar adecuadamente los recursos disponibles, especialmente en situaciones coyunturales (Julio *et al.*, 2005).

2.6.3. Combate

Es la extinción o supresión propiamente tal, que se lleva a efecto de acuerdo a los criterios, estrategia y métodos definidos e implementados en la presupresión. Concretamente se realizan actividades secuenciales como: reconocimiento, primer ataque, control, liquidación y guardia de cenizas (Julio *et al.*, 2005). CONAF (1986), define combate como el despliegue, la operación de hombres, bajo estrategias tácticas y métodos apropiados, con el objetivo general de extinguir los incendios forestales.

2.6.4. Uso del fuego

Se realiza en operaciones agrícolas y forestales, estas pueden ser ejecutadas utilizando el fuego como herramienta de trabajo. Debe ser usado de forma cuidadosa, este debe ir respaldado con un plan de quema (Julio *et al.*, 2005)

2.7. Zonas prioritarias de protección

Según Julio (1999), las prioridades de protección se determinan sobre la base de la integración de los resultados de tres análisis: Riesgo, Peligro y Daño Potencial, y cumplen el propósito de establecer las referencias para el mejor aprovechamiento de los medios disponibles para la prevención, presupresión y combate. Este instrumento permite la planificación territorial del manejo del fuego, atendiendo el comportamiento espacial de la ocurrencia y propagación de los incendios forestales y, también, sustentar el diseño e implementación de las operaciones de control.

2.7.1. Análisis de riesgo

Se define como el estudio espacial y cronológico de la ocurrencia, causalidad y daño de incendios forestales, tanto histórico como potencial; considerando para este estudio la ocurrencia histórica, la densidad de tránsito, la densidad poblacional, las faenas agroforestales y las actividades de recreación. Específicamente, este análisis contribuye con información útil para el diseño e implementación de campañas de prevención (Julio, 1999).

2.7.2. Análisis de peligro

Estudio espacial de los factores ambientales que afectan a la susceptibilidad de la vegetación a la ignición y propagación del fuego, basado en la caracterización de los combustibles forestales, la topografía y el clima. Los antecedentes que reporta este análisis pueden ser directamente utilizados en la aplicación de medidas de silvicultura preventiva y en la formulación de planes de preataque en sectores con una alta probabilidad de ocurrencia de incendios (Julio, 1992).

Para el presente se estudiará, la velocidad de propagación, la resistencia al control, la pendiente y el clima.

2.7.3. Análisis de daño potencial

El Análisis de Daño Potencial se refiere a la evaluación de las pérdidas e impactos que presumiblemente pueden generarse con los incendios forestales. En tal sentido, se distinguen dos aspectos: Daños Directos y Daños Indirectos. El primero se refiere a los bienes tangibles o transables en valores monetarios y, el segundo corresponde a pérdidas de carácter intangible, difíciles de identificar y evaluar, y que generalmente se manifiestan en impactos que se perciben con posterioridad al incendio (Julio, 1999). Para este estudio se estudiará el valor de las especies, las construcciones, valor socioeconómico y sitios especiales.

2.8. Método AHP

El método Analytic Hierarchy Process (AHP), o Método Analítico Jerárquico, es un método multicriterio, que tiene la capacidad de incorporar múltiples variables, de aspecto tanto cuantitativos como cualitativos. Esta característica es vital, pues en la mayoría de las decisiones hay elementos cualitativos que suelen tener una participación o peso importante, sobre todo a nivel estratégico; además, cuenta con una sólida base teórica que respalda y valida los resultados, su realización, se basa principalmente en el modelamiento del problema a través de una estructura jerárquica, o de redes en su versión más reciente. El modelo que contiene el objetivo de la decisión, los criterios a través de los cuales se expresa ese objetivo, con sus descomposiciones en mayor detalle, según requerimientos del problema, y las alternativas a evaluar. Existe un segundo proceso para derivar el cálculo de las preferencias entre los componentes, basado en la construcción de matrices de comparaciones de pares, a las que se les aplica el operador vector propio para derivar los pesos de los criterios, y su correspondiente valor propio, para determinar la consistencia de dichas preferencias y por último, un proceso de síntesis multilínea, que entrega el ranking cuantitativo de las alternativas (Saaty, 1980).

2.9. Capacidades de los sistemas de información geográfica en la protección contra incendios forestales

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) desde hace ya unas tres décadas han empezado a jugar un rol preponderante en la caracterización, diagnóstico y planificación de los espacios naturales. Dada la gran variedad y complejidad de los fenómenos involucrados a la ocurrencia y propagación de los incendios, ha sido necesario maximizar los esfuerzos en la búsqueda de herramientas y soluciones eficientes para la protección de los recursos naturales renovables. Por lo antes señalado queda demostrado que los SIGs tienen la capacidad de entregar información estratégica de apoyo a la toma de decisiones en operaciones de prevención y combate (Castillo *et al.*, 2003).

2.10. La teledetección como herramienta de modelación

Las imágenes satelitales registran el comportamiento de la superficie terrestre a través de diferentes regiones del espectro electromagnético (ello depende de la resolución espectral de la imagen, es decir del número de bandas o rangos de longitudes de onda discriminados en ésta), proporcionando una gran cantidad de datos espacialmente contiguos entre sí (éstos se ordenan en una grilla de celdas cuadradas o píxeles, que almacenan un valor de la superficie terrestre del de energía electromagnética en una unidad de medida radiancia) y distribuidos a lo largo de extensas áreas geográficas (Peña, 2007). Por las propiedades señaladas se utilizó esta herramienta para evaluar el catastro de bosque nativo.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

3.1.1. Área de Estudio

El área de estudio comprende a la Comuna de Puerto Natales, ubicada en la Región de Magallanes, en la Provincia de Última Esperanza. Cubre una superficie de 49.924 km.² y 19.116 personas, se encuentra a 3.103 kilómetros de Santiago y a 254 kilómetros de Punta Arenas.

La comuna se caracteriza por abarcar un amplio territorio continental e insular, donde se ubican diferentes asentamientos rurales, siendo el más importante Puerto Edén, ubicado al norte del centro de la ciudad (Ilustre Municipalidad de Puerto Natales, 2008).



Figura 4. Ubicación de la Comuna de Puerto Natales
Fuente: extraído Google Earth (2005).

3.1.2 Antecedentes generales del área en estudio

3.1.2.1 Accesos

Por vía aérea desde Santiago a Punta Arenas (aeropuerto Presidente Ibáñez) 4 horas de viaje. El viaje desde el aeropuerto Pdte. Ibáñez a Puerto Natales demora 3 horas y 30 minutos en transporte público. Puerto Natales cuenta con un aeródromo que permite en la actualidad el arribo de aviones en temporada alta de turismo.

Por tierra, desde Argentina por los Pasos Fronterizos Dorotea y Casas Viejas. Por mar, desde Puerto Montt vía transbordador. El viaje demora 72 horas, la ruta incluye la visita a la villa de Puerto Edén, reducto de los últimos kawésqar (Ilustre Municipalidad de Puerto Natales; 2009).

3.1.2.2 Clima

Puerto Natales, presenta un clima trasandino con degeneración esteparia, condicionado por factores tales como la latitud, el mar, la proximidad a los macizos montañosos y presencia de glaciares. Estos elementos, generan un clima tan variable, que durante un mismo día se pueden sentir las cuatro estaciones del año (Ilustre Municipalidad de Puerto Natales; 2009) En verano las temperaturas fluctúan entre los 16.7°C y los 5°C y en invierno oscilan entre los 5.3°C y los -2.8°C, es en este período donde aparece la nieve, cubriendo con su bello manto todo el paisaje de la zona (World Clim, 2005).

La alta latitud permite disfrutar de los largos días estivales, de hasta 18 horas/luz.

Este clima se localiza al oriente de la Cordillera de la Patagonia, extendiéndose desde la Cordillera del Paine hacia el sur y sureste, cubriendo la Península de Brunswick y el sector sur de Tierra del Fuego (Ilustre Municipalidad de Puerto Natales; 2009).

Los Vientos son otra característica de este clima, con dirección suroeste y oeste, con una intensidad media de 15 a 20 km/hr. Durante la estación estival, son frecuentes los temporales de viento, en los cuales la velocidad promedio es de 120 km/h o incluso más. Los vientos pueden variar considerablemente su velocidad dentro del día, por lo que se transforma en un factor importante a evaluar para predecir el comportamiento del fuego (Arcos, 2002).

Las precipitaciones disminuyen notoriamente en relación a las laderas occidentales de la cordillera patagónica y región de los canales, pues las masas de aire llegan con poco contenido de humedad después de atravesar las cumbres cordilleranas, dando lugar a un paisaje de tipo estepa. Estas ocurren todo el año, pero sus montos anuales son del orden de 250 a 400 mm, o sea un 10% de los registros de la costa occidental. La distribución de las precipitaciones durante el año es aproximadamente homogénea, pero se pueden identificar los meses de otoño (abril y mayo) como los más lluviosos. Un segundo máximo puede presentarse entre noviembre y enero. En el invierno las precipitaciones son casi exclusivamente de nieve (Ilustre Municipalidad de Puerto Natales; 2009).

3.1.2.3. Orografía

Pisano (1974) describe la orografía de la zona en detalle, siendo el trabajo al respecto más completo consultado en la revisión bibliográfica previa a la realización de este estudio. A continuación se expone esto como única fuente citada. Los rasgos orográficos de la zona estudiada difieren marcadamente de los encontrados en el resto de la provincia de Magallanes. Se reconocen 2 regiones orográficas:

Formación montañosa mesetiforme, hacia el este de la anterior que se destaca claramente entre Natales y Cerro Castillo. Se la considera morfológicamente como una subsección occidental de la formación montañosa estratificada.

Formación montañosa estratificada, al este de la precedente y que se prolonga, sobrepasando el límite argentino, hasta más allá del centro de la meseta patagónica.

3.1.2.4. Hidrología

El Campo de Hielo Sur, tiene una longitud de 430 km. Entre el canal Baker y el cabo Earnest en el canal de las montañas, y un ancho variable de 90 Km., frente al lago O'Higgins y 30 Km., frente al lago Toro (IGM, 1984).

La presencia del Campo de Hielo Patagónico Sur, origina gran cantidad de lagos y lagunas con aguas cristalinas y profundas, sin embargo los hielos han impedido la formación de grandes ríos, por lo que no existen cursos importantes de agua. Los ríos más importantes son el Hollemberg, Rubens, Tranquilo, Tres Pasos, los lagos Balmaceda, Pinto y Azul. Entre las lagunas se menciona Sofía, Diana, Laguna Escondida y Dos Lagunas (Ilustre Municipalidad de Puerto Natales; 2009).

3.2. Material Cartográfico e imágenes satelitales

La información requerida, fue obtenida y preparada a partir de los siguientes antecedentes y materiales cartográficos.

- Cartografía digital, generada por el estudio “Catastro de Uso del Suelo y Vegetación, Región de Magallanes y Antártica Chilena (CONAF-CONAMA 2006).
- Modelo Digital de Elevación (Imagen ASTGDEM_S52W074).
- Hidrografía (CONAF- CONAMA 2006).
- Red Vial (CONAF 2006).
- Imagen Satelital ETM+ (LE72320952002137EDC00 , LE72310962010047EDC00 y LE72300962010047EDC00).
- Imagen Google Earth de fecha: 29 de noviembre de 2010.

- Registro estadísticos de incendios forestales desde el año 1980 al 2008, del Departamento de Protección contra Incendios Forestales, CONAF región de Magallanes y Antártica Chilena.
- Modelo digital de precipitación (World Clim, 2005).
- Modelo de digital de temperaturas máximas (World Clim, 2005).

Los programas y equipos computacionales, utilizados para el ingreso, manejo y análisis de la información fueron los siguientes.

- Computador personal, Acer, Intel Celaron inside 2,13 Ghz.
- Computador LG. AMD 4.52 Ghz.
- Programa ARC-VIEW, versión 3.2
- Programa ARC-GIS, versión 9.2
- Programa ENVI, versión 4.5

3.3. Método

3.3.1. Caracterización espacial del área de estudio

Para caracterizar espacialmente el área de estudio, se revisó y rectificó la información alfanumérica digital y no digital, otorgada por la Corporación Nacional Forestal mediante las siguientes etapas.

- Definición y corroboración de sistemas de coordenadas.
- Validación de información.
- Conversión de información tabulada a shape.

Definición y corroboración de sistemas de coordenadas.

Para analizar los factores y las variables que forman parte de la determinación de zonas prioritarias de protección, se contó con el apoyo del SIG ArcView, versión 3.2, y ArcGis, versión 9.2, con los cual fue posible desplegar información en formato digital, ya sea gráfico y alfanumérica relacionada con cada uno de los factores a analizar.

Para el presente estudio se utilizó como base la información digital del Catastro del Bosque Nativo, actualizada al año 2006. Con la información contenida en la fuente informativa indicada precedentemente, a la cual hubo que realizarle algunas transformaciones cartográficas, con el fin de homogeneizarla al DATUM WGS 1984 y el HUSO 18, mediante el uso del SIG ArcGis 9.2, la herramienta Projection Utility.

Validación de Información.

Luego de la Estandarización de los sistemas de coordenadas, se revisó cada shape, encontrando irregularidades significativas en el límite, vegetación y cotas según el catastro de Bosque nativo, para ello se descargó imágenes ETM+.

Cuadro 2. Imágenes del sensor ETM+ de LANDSAT

ID	Fecha – Track	Archivo Tiff
LE72320952002137EDC00	13/08/2010 232/095	232095_211209
LE72300962001216EDC00	06/01/2010 230/096	230096_060110
LE72310962001127EDC00	21/12/2010 231/096	231096_211209

Las imágenes originales se pueden descargar en forma gratuita en el sitio de Internet www.glovis.usgs.gov, comenzando la búsqueda en la colección Landsat archive L7 slc-off (2003->).

Después de descargar y descomprimir las imágenes se les realizó un preprocesamiento de imágenes, el cual consistió en una conversión a radiancia y una conversión a reflectancia.

Conversión a radiancia espectral (Q_{cal} a L_{λ})

Las calibraciones radiométricas del sensor ETM+ incluyeron reescalar los números digitales crudos transmitidos desde el satélite a números digitales calibrados, que tienen la misma escala radiométrica para todas las escenas procesadas de una zona geográfica para una fecha específica.

Calibración Radiométrica.

Durante la calibración radiométrica, los valores de los píxeles de las imágenes son convertidos a unidades de radiancia espectral absoluta, utilizando cálculos de punto flotante de 32 bit. Los valores de radiancia absoluta son escalados a 8 bit (ETM+, $Q_{calmax}=255$). La conversión de Q_{cal} en imágenes Level 1 en radiancia espectral del sensor, requiere conocer los límites inferior y superior de factores escalados originales. Las siguientes ecuaciones se utilizan para convertir Q_{cal} a L_{λ} .

$$L_{\lambda} = \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Q_{cal\ max} - Q_{cal\ min}} \right) (Q_{cal} - Q_{cal\ min}) + LMIN_{\lambda} \quad (3.1)$$

$$L_{\lambda} = G_{rescalado} \times Q_{cal} + B_{rescalado}$$

Donde:

$$G_{rescalado} = \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Q_{cal\ max} - Q_{cal\ min}} \right) \quad (3.2)$$

$$B_{rescalado} = LMIN_{\lambda} - \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Q_{cal\ max} - Q_{cal\ min}} \right) Q_{cal\ min}$$

Donde:

- L_λ = radiancia espectral en la apertura del sensor [W/(m² sr μm)]
- Q_{cal} = valor de pixel calibrado cuantificado [DN]
- Q_{calmin} = mínimo valor de pixel calibrado cuantificado correspondiente a L_{MIN_λ} [DN]
- Q_{calmax} = máximo valor de pixel calibrado cuantificado correspondiente a L_{MAX_λ} [DN]
- L_{MIN_λ} = radiancia espectral en el sensor que es escalada para Q_{calmin} [W/(m² sr μm)]
- L_{MAX_λ} = radiancia espectral en el sensor que es escalada para Q_{calmax} [W/(m² sr μm)]
- $G_{rescalado}$ = Factor de ganancia reescalado para una banda específica [(W/(m² sr μm))/DN]
- $B_{rescalado}$ = Factor de sesgo reescalado para una banda específica [(W/(m² sr μm))/DN]

Conversión a reflectancia TOA (L_λ a ρ_λ)

Para una reducción en la variabilidad de escena a escena, se convirtió la radiancia espectral a reflectancia TOA exoatmosférica, también conocida como albedo planetario, para cada una de las bandas utilizadas. La reflectancia TOA de la Tierra se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\rho_\lambda^n = L_\lambda^n \frac{\pi d^2}{E_\lambda^n \cos \theta_s} \quad (3.3)$$

Donde:

- n= Banda de la escena
- ρ_λ = Reflectancia Planetaria TOA [sin unidades]
- π = Constante matemática aproximadamente igual a 3.14159 [sin unidades]
- L_λ = Radiancia espectral en la apertura del sensor [W/(m² sr μm)]
- d= Distancia Tierra-Sol [unidades astronómicas]
- E_λ = Irradiancia solar exoatmosférica media [W/(m² μm)]
- θ_s = ángulo zenith solar (grados)

El cálculo de la reflectancia requiere la distancia Tierra-Sol en unidades astronómicas, obtenida directamente desde tablas o ecuaciones polinomiales de acuerdo al día Juliano de la escena (Peña, 2007).

A continuación se muestra en el cuadro 3, los valores utilizados y el resumen las ecuaciones finales para convertir a reflectancia las imágenes ETM+ utilizadas para el análisis de vegetación.

Cuadro 3. Valores de variables utilizados y resumen de ecuaciones para obtener reflectancia TOA exoatmosférica.

TRACK		232-095	231-096	230-096
FECHA		27-06-1905	07-05-2001	07-05-2001
Día Juliano		137	127	216
gamma		2,28786	2,11584	3,64682
1/d ²		0,97837	0,98288	0,97135
Distancia Sol-Tierra UA		1,022110	1,017423	1,029494
Sun elevation		12,388653	13,414331	12,263799
ANGULO CENITAL		77,611348	76,585669	77,736201
COS ANGULO CENITAL		0,214542	0,231991	0,212413
d ²		1,022110	1,017423	1,029494
Banda	CTE	Cálculo	Cálculo	Cálculo
1	1997	0,007495	0,006899	0,007624
2	1812	0,008260	0,007603	0,008403
3	1533	0,009763	0,008987	0,009932
4	1039	0,014405	0,013260	0,014654
5	230,8	0,064847	0,059694	0,065970
6	84,9	0,176285	0,162278	0,179338
7	1362	0,010989	0,010116	0,011179

Fuente: Generado en estudio.

Análisis de Imágenes

Con las imágenes obtenidas, se elaboró una composición RGB (432) en infrarrojo. Adicionalmente, se efectuó un análisis de delimitación de vegetación mediante el índice de vegetación.

No es vegetación : <0,25

Escasa vegetación : 0,25 a 0,50

Abundante vegetación: 0,50 a 0,75

Vegetación Densa : > 0,75

Árbol de Decisiones (Decision tree).

Con estos valores y las firmas espectrales se clasificó cada píxel según la variación de la firma espectral de cada categoría, presentes en las seis bandas de la imagen, con la información obtenida a partir de esta herramienta, se comparó, complementó y se validó las coberturas del Catastro de Bosque Nativo, para poder mejorar los modelos de propagación y resistencia.

Conversión de Información Tabulada a Shape

La información tabulada, de carácter estadístico, proporcionado por el Departamento de Protección contra Incendios Forestales, de la Corporación Nacional Forestal, de la Región de Magallanes y Antártica Chilena, fue convertida a un plano shape, mediante el programa ArcView 3.2, anexando en la tabla variables de ubicación geográfica, causa del incendio y temporada.

3.3.2. Proposición de un modelo preliminar para establecer zonas prioritarias de protección contra incendios forestales.

Para proponer un modelo preliminar que permita establecer zonas prioritarias de incendios forestales en la comuna de Puerto Natales, se realizaron las siguientes etapas.

- Se analizó el modelo propuesto por Julio (1973) que establece zonas prioritarias de incendios forestales.
- Se recopilaron y analizaron los antecedentes biofísicos y socioeconómicos de la comuna de Puerto Natales.
- Se generó un modelo preliminar a partir de la modificación del modelo de Julio (1973).

Análisis del modelo propuesto por Julio (1973, 1987).

En esta etapa, se realizó un análisis del modelo propuesto por Julio (1973, 1987), con el fin de definir cuáles variables y factores son los más adecuados para identificar las zonas prioritarias de protección contra incendios forestales para la realidad biofísica y socioeconómica de la comuna de Puerto Natales. Para ello, se utilizó como base lo planteado por Julio (1973, 1987), quien precisó los factores biofísicos incidentes para el inicio, propagación, distribución espacial y pérdidas originadas por los incendios forestales.

Recopilación y análisis de antecedentes biofísicos y socioeconómicos de la comuna de Puerto Natales

La recopilación de la información, ya sea alfanumérica o gráfica, en formato digital o no digital y sistematización se desarrolló en base a visitas a bibliotecas y el acopio de información disponible en Internet, para lo cual se efectuó una búsqueda exhaustiva desde:

- a) base de datos especializada y otras fuentes similares
- b) literatura tradicional
- c) literatura científica

Lo anterior fue complementado con:

- a) Búsqueda de información contenida en documentos técnicos emitidos por instituciones públicas; y
- b) Entrevistas a informantes clave, para lo cual se visitó el mayor número posible de instituciones cuyas competencias tienen que ver directa o indirectamente con el combate de incendios forestales.

Generación de un modelo preliminar a partir del modelo de Julio (1973)

La información alfanumérica y gráfica recopilada, ya sea que se encuentre en formato digital o no digital, fue sistematizada con el fin de generar un modelo preliminar basado en el modelo original propuesto por Julio (1973, 1987), considerando la realidad biofísica y socioeconómica de la comuna de Puerto Natales.

Se Introdujo modificaciones al modelo de Julio (1973) con el fin de aplicarlo como un modelo preliminar para establecer zonas prioritarias de incendios forestales en los principales centros poblados de la comuna de Puerto Natales.

Fue necesario ajustar el modelo propuesto por julio (1973) para el caso específico de la comuna de Puerto Natales, debido a que este es general y no representa la realidad de la comuna, por lo que era vital la inclusión de estos elementos faltantes, por cuanto forman parte el viento, y los brotes. Para el logro de este objetivo, fue necesario desarrollar un panel de expertos, consultando a una serie de especialistas en el ámbito del Manejo del Fuego y otros de la comuna en particular (Anexo 1), con el fin de que cada uno de ellos, en forma independiente, realizara la inclusiones correspondientes al modelo a aplicar en la comuna de Puerto Natales.

3.3.3. Establecimiento de un modelo definitivo

Con el fin de establecer un modelo definitivo para determinar zonas prioritarias de incendios forestales para la comuna de Puerto Natales, se desarrollaron las siguientes etapas metodológicas:

- Generación de un modelo definitivo.
- Jerarquización del modelo definitivo

Generación de un modelo definitivo

La generación de un modelo definitivo se realizó mediante la inclusión de las observaciones de los expertos, en el sentido de quitar y/o agregar variables y factores al modelo preliminar propuesto, por lo que se analizó con detalle las definiciones y observaciones propuestas por los Expertos.

Jerarquización del modelo definitivo

El modelo definitivo se sometió a consulta por parte de los expertos en la temática, la que tuvo como finalidad la jerarquización del mismo, proceso que se desarrolló mediante la aplicación del método AHP ó Método de las Jerarquías Analíticas que al ser un método multicriterio, tiene la capacidad de incorporar múltiples variables, de aspecto tanto cuantitativos como cualitativos. Esta característica es vital, pues en la mayoría de las decisiones hay elementos cualitativos que suelen tener una participación o peso importante, sobre todo a nivel estratégico; además, cuenta con una sólida base teórica que respalda y valida los resultados (Saaty, 1980, 2000).

Para ello, el experto debió establecer “juicios de valores” a través de la escala numérica propuesta por Saaty (1977) (Anexo 2), la cual permite hacer comparaciones pareadas, tanto para los factores como para las variables. Para la aplicación de este método, es necesario que, tanto los factores como las variables, se puedan estructurar de forma jerárquica (Beltrán, 2004).

A=

		Criterios					
		A1	A2	A3	.	.	An
Criterios	A1	w1/w1	w1/w2	w1/w3	.	.	w1/wn
	A2	w2/w1	w2/w2	w2/w3	.	.	w2/wn
	A3	w3/w1	w3/w2	w3/w3	.	.	w3/wn

	An	wn/w1	wn/w2	wn/w3	.	.	wn/wn

En una primera instancia, se aplicó el método AHP a todos aquellos factores que incidieran en el análisis de riesgo, peligro y daño potencial contra incendios forestales en la Comuna de Puerto Natales, para lo cual se contó con la participación de un panel constituido por seis expertos en manejo del fuego y características de la región.

Durante la aplicación del método, los expertos debieron completar la planilla AHP, a través de la cual pudieron determinar la importancia relativa de cada variable y factor, respecto de los otros, desde una perspectiva propia y según sus conocimientos sobre el área en evaluación (Anexo 2).

Luego de que cada experto realizó su evaluación por separado y en forma totalmente independiente, se procedió a desarrollar un análisis estadístico-matemático y la síntesis de los resultados obtenidos.

La matriz generada por los expertos es recíproca, vale decir que en el lado derecho (sobre la diagonal principal) adopta valores inversos a los aplicados por el evaluador en la parte izquierda (bajo la diagonal principal), dado que allí se detalla las mismas comparaciones pero en sentido contrapuesto. Además, en la diagonal principal que se forma en donde cada categoría se compara consigo misma, se produce una serie de 1, que obviamente, indica igualdad de importancia (Beltrán 2004).

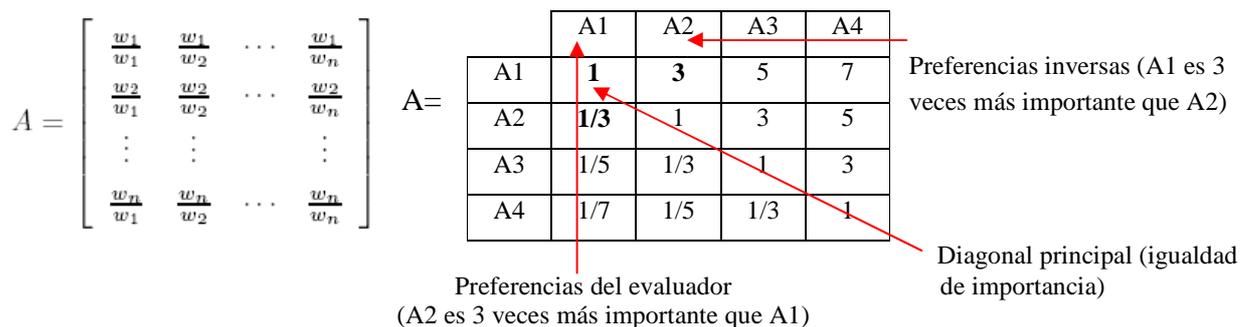


Figura 5: Matriz de doble entrada, AHP.

Luego se debe elevar a potencias sucesivas la matriz de comparaciones; en este caso equivale a elevar la matriz al cuadrado, obteniendo una nueva matriz, con la que se continúa trabajando.

De la matriz A, se obtiene la matriz A, que corresponde a la misma matriz, pero normalizada, para lo cual cada valor de ella se divide por la suma de cada columna o categoría. En esta matriz normalizada se efectúa una suma por filas, con el fin de obtener el “vector propio”, el que dividido por el número de categorías a comparar, genera el valor normalizado que corresponde a la puntuación o prioridad buscada (W_j).

	A1	A2	A2	A4	Vector Propio
A1	$1/\sum A1$	$3/\sum A2$	$5/\sum A3$	$7/\sum A4$	$=\sum A1_i$
A2	$(1/3)/\sum A1$	$1/\sum A2$	$3/\sum A3$	$5/\sum A4$	$=\sum A2_i$
A3	$(1/5)/\sum A1$	$(1/3)/\sum A2$	$1/\sum A3$	$3/\sum A4$	$=\sum A3_i$
A4	$(1/7)/\sum A1$	$(1/5)/\sum A2$	$(1/3)/\sum A3$	$1/\sum A4$	$=\sum A4_i$
	$\sum A1_j$	$\sum A2_j$	$\sum A3_j$	$\sum A4_j$	

$W =$

Vector propio. Normalizado (W_j)
$=\sum A1/n$
$=\sum A2/n$
$=\sum A3/n$
$=\sum A4/n$

Figura 6: Matriz Normalizada

De esta forma, fue posible determinar el porcentaje de importancia que presenta cada variable y cada factor respecto de sus pares, en lo que se refiere a la determinación de zonas prioritarias.

3.3.4. Determinación de Zonas Prioritarias de Protección

Para determinar las zonas prioritarias de Protección para los sectores que posean registros históricos de ocurrencia de incendios forestales de la comuna de Puerto Natales, se desarrolló la siguiente metodología:

Generación de un mapa de zonas prioritarias de protección contra incendios forestales para la comuna de Puerto Natales

Para generar el mapa de zonas prioritarias de protección contra incendios forestales para los principales centros poblados de la comuna de Puerto Natales, se consideró las siguientes variables y factores, los que fueron analizados de la siguiente manera.

Análisis de Riesgo

Se define como el estudio espacial y cronológico de la ocurrencia, causalidad y daño de incendios forestales, tanto histórico como potencial. Específicamente, este análisis contribuye con información útil para el diseño e implementación de campañas de prevención (Julio, 1999).

- a) Ocurrencia de Incendios: se refiere a los antecedentes sobre cantidad, causalidad y superficie afectada por los incendios forestales en la comuna de Puerto Natales (Haltenhoff, 1996). Para el presente estudio, se utilizarán los datos de las temporadas 1980-2008, las cuales serán recolectadas desde los registros del Sistema Estadístico de Manejo del Fuego de CONAF Región de Magallanes y Antártica Chilena.
- b) Densidad de Tránsito: la red vial se clasifica en: carretera, camino principal, camino secundario. Se sistematiza conforme a la densidad de tránsito, a mayor uso, mayor riesgo.
- c) Densidad Poblacional: corresponde al riesgo derivado de los centros poblados, donde existe una mayor probabilidad de actividades antrópicas como quema de desechos o juegos de niños.
- d) Faenas Forestales y Agrícolas: En el análisis de riesgo, estas actividades se analizan de acuerdo al uso de fuego que éstas requieran (Baeza, 2000).
- e) Actividades de Recreación: se refiere a las actividades recreativas o de esparcimiento que se realizan en la comuna de Puerto Natales, en sectores tales como: ríos, lagos, zonas de camping, canchas de fútbol habilitadas fuera del límite urbano, pesca; entre otros.

Análisis de Peligro

Estudio espacial de los factores ambientales que afectan a la susceptibilidad de la vegetación a la ignición y propagación del fuego, basado en la caracterización de los combustibles forestales, la topografía y el clima. Los antecedentes que reporta este análisis pueden ser directamente utilizados en la aplicación de medidas de silvicultura preventiva y en la formulación de planes de preataque en sectores con una alta probabilidad de ocurrencia de incendios (Julio, 1992).

- a) Velocidad de propagación: depende del modelo de combustible, la topografía, la velocidad promedio o máxima del viento, la humedad relativa más baja y las temperaturas más altas en las últimas temporadas, con el objeto de establecer el escenario más adverso posible en condiciones extremas (Julio *et al*; 1995).
- b) Resistencia al control: corresponde al esfuerzo requerido para la construcción de líneas de fuego, utilizando para este caso, estudios desarrollados en Chile para la modelación de combustibles forestales, específicamente referida al rendimiento en construcciones de líneas de fuego (Julio, 1992).
- c) Pendiente: se refiere a una variable topográfica (Baeza; 2000).
- d) Clima: se refiere a las condiciones térmicas de la zona en un periodo más o menos extenso.

Análisis de Daño Potencial

El Análisis de Daño Potencial se refiere a la evaluación de las pérdidas e impactos que presumiblemente pueden generarse con los incendios forestales. En tal sentido, se distinguen dos aspectos: Daños Directos y Daños Indirectos. El primero se refiere a los bienes tangibles o transables en valores monetarios y, el segundo corresponde a pérdidas de carácter intangible,

difíciles de identificar y evaluar, y que generalmente se manifiestan en impactos que se perciben con posterioridad al incendio (Julio, 1999).

- a) Valor de las Especies: este factor alude a la valoración cultural, ecológica y económica que puedan presentar especies de flora y/o fauna.
- b) Construcciones: son estructuras antrópicas que pueden presentar una valoración arqueológica-cultural y también económica.
- c) Valor ambiental ecológico: en este factor se consideran asociaciones vegetales, fauna, sectores de importancia para el hábitat de la fauna y otros factores que representen el valor de la biodiversidad y la importancia al equilibrio ecológico.
- d) Valor socioeconómico: corresponde a sectores prioritariamente productivos, que se otorga al ingreso y los empleos que estos sectores ofrecen a la comunidad.
- e) Sitios especiales: se relaciona con aquellos lugares con Muy alto valor arqueológico, cultural, para los habitantes de la comuna de Puerto Natales.

Definida la forma de evaluación de los factores, se efectuó un geoprocesamiento de la información del catastro, con apoyo del SIG ArcGis. Mediante este proceso se generó una nueva cubierta digital, compuesta por la sobreposición de las coberturas temáticas, que corresponden a los factores, cada una de las cuales asocian información gráfica con puntajes normalizados, los cuales al integrarse mediante el comando Single Output Algebra generaron un mapa temático que dio origen a cada variable. En base a los puntajes normalizados que contenía esta nueva cubierta digital generada por sobreposición de la información, fue posible asignar las distintas categorías según corresponda el análisis (riesgo, peligro y daño potencial). A su vez, cada variable tiene un peso específico, y estas conforman tres nuevas cubiertas temáticas, por lo que se debió repetir el Single Output Algebra, para poder generar un mapa final que corresponde a las Zonas Prioritarias de Protección (Figura 7, Figura 8, Figura 9, Figura 10, Figura 11 y Figura 12).

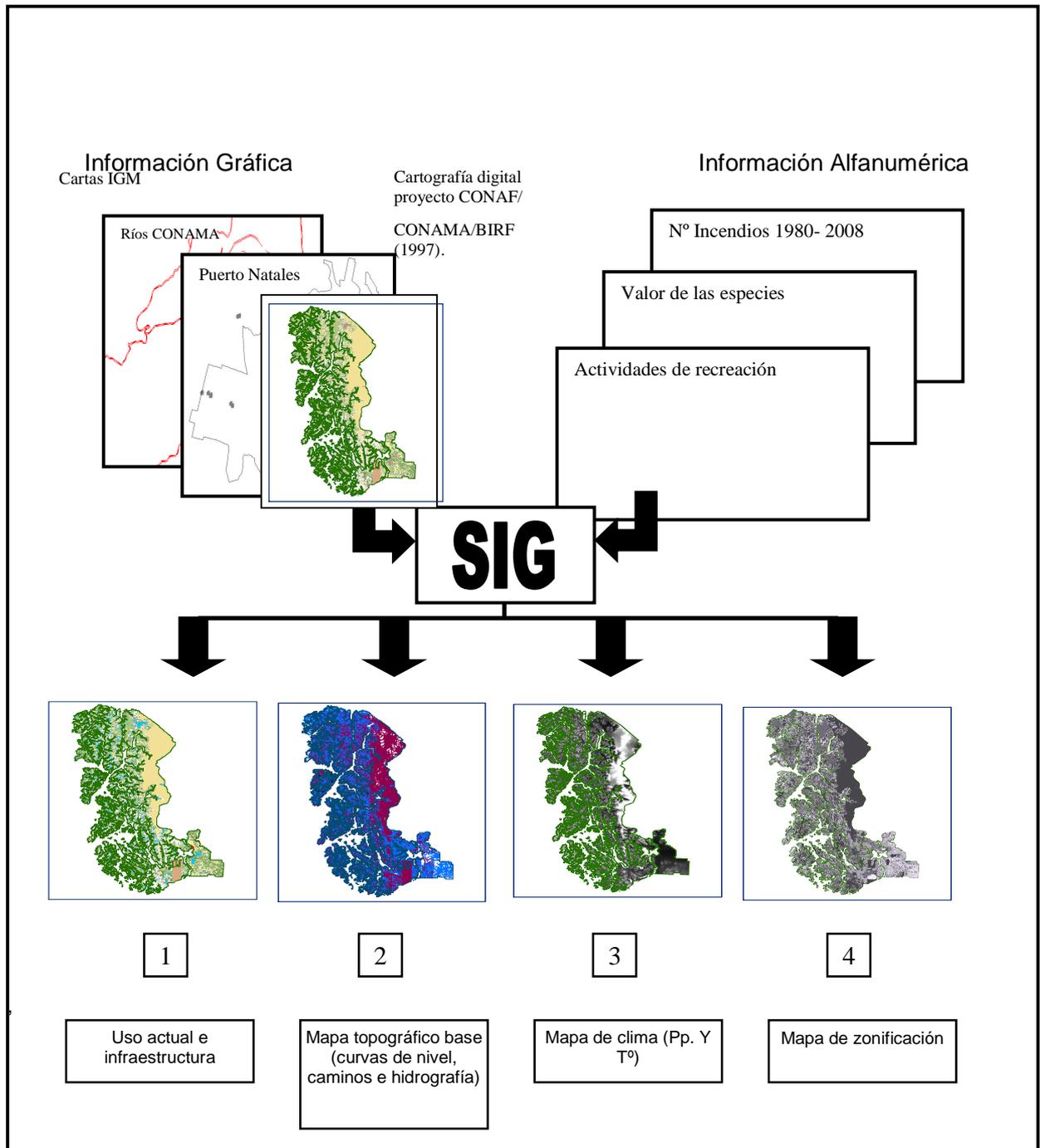


Figura 7. Esquema para la generación de planos bases.

Fuente: Modificado de Pardo (1999).

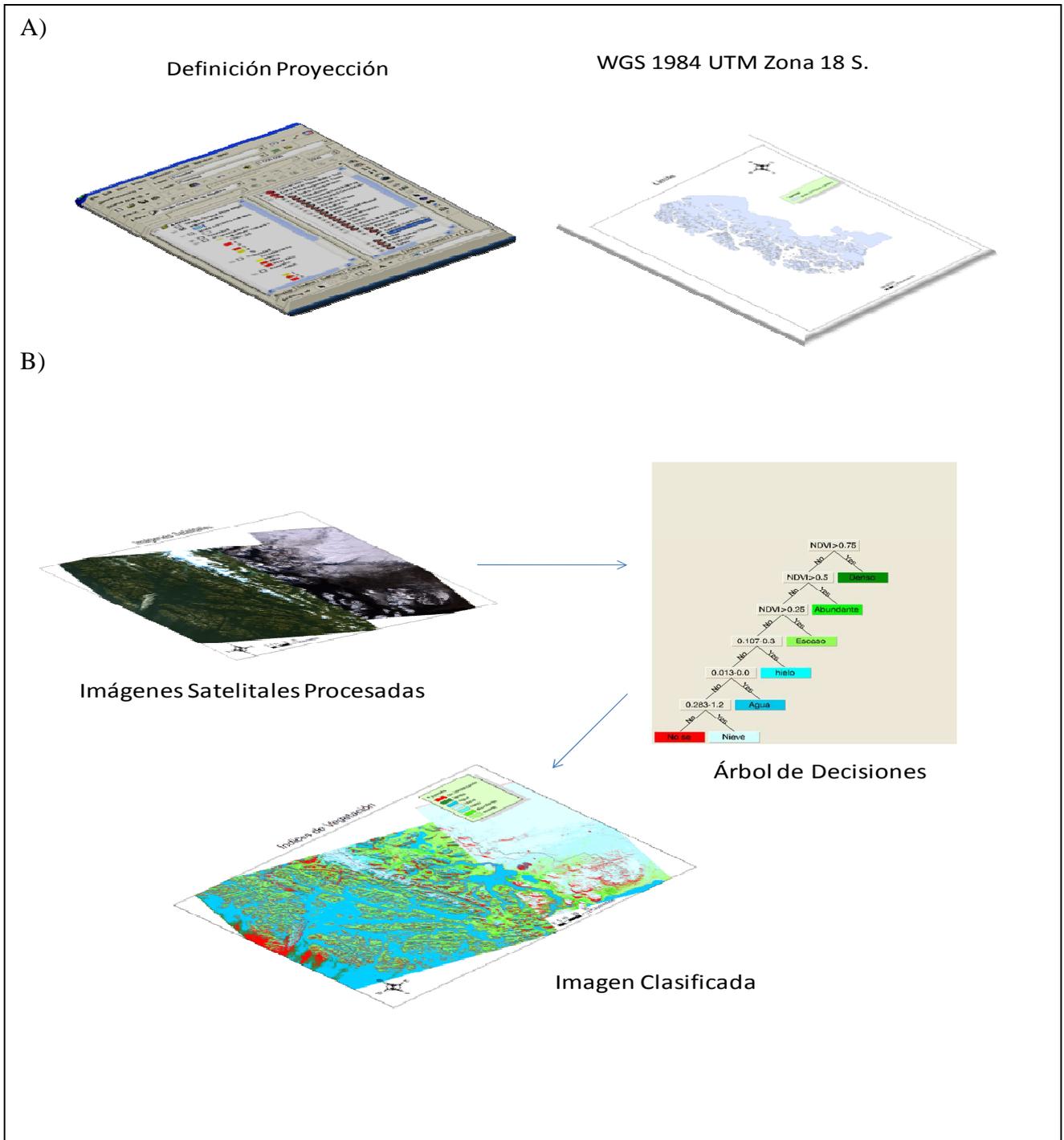


Figura 8: Esquema Caracterización espacial del área de estudio, A) Definición de la proyección de todas las coberturas, B) Árbol de decisiones

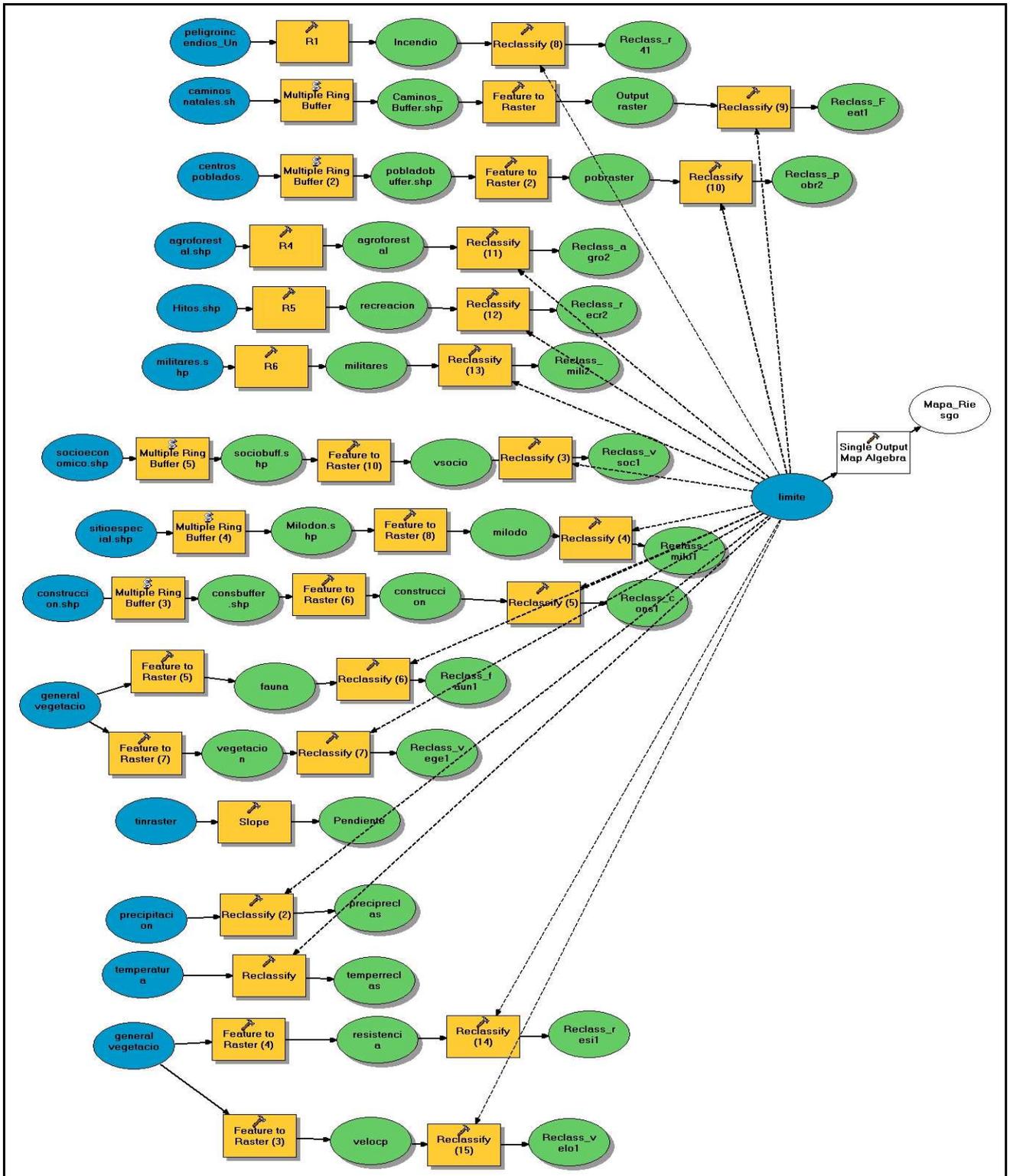


Figura 9: Esquemas de procesos de los análisis de riesgo, peligro y daño potencial

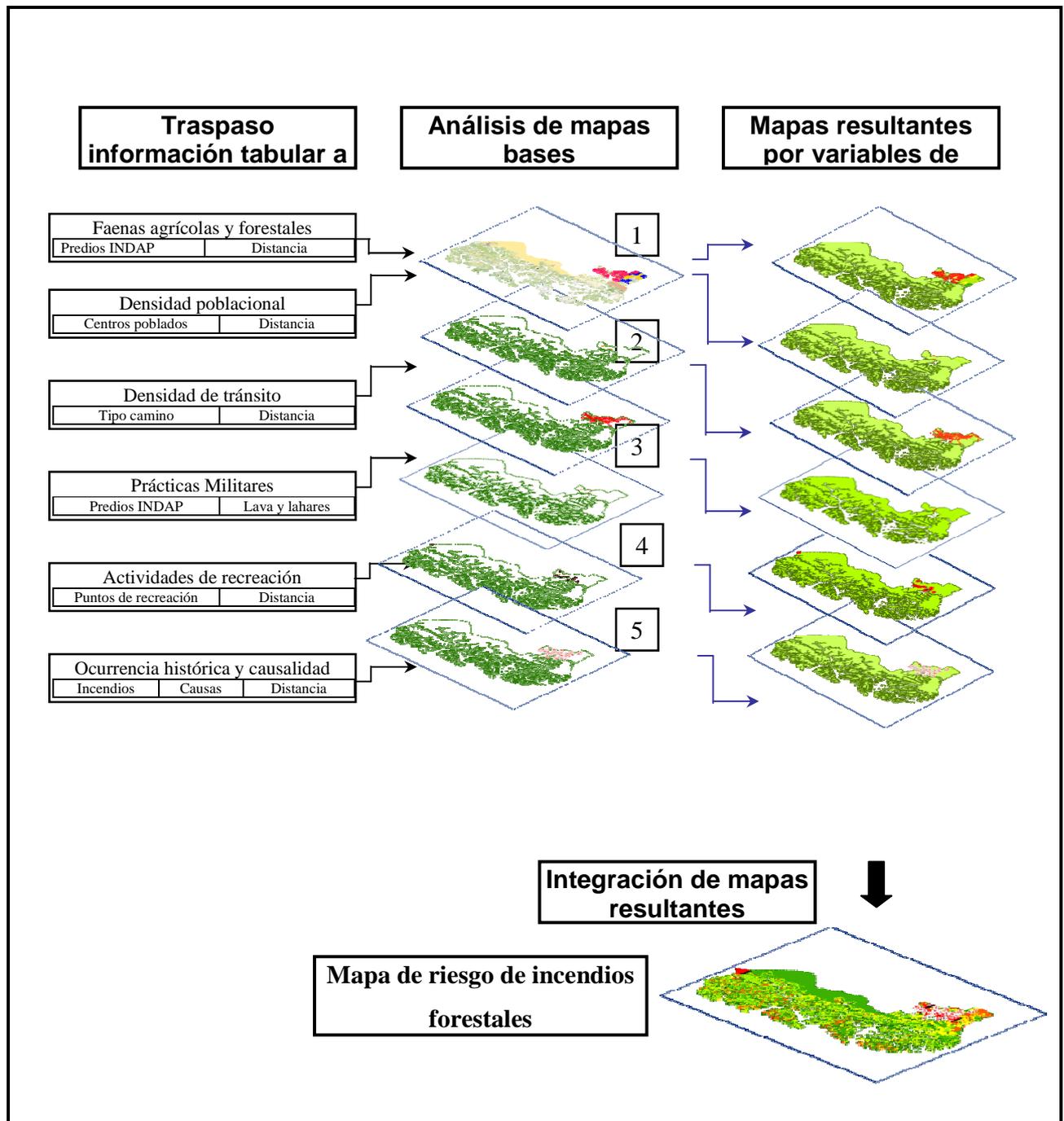


Figura 10. Esquema para la generación de los diferentes mapas temáticos, ejemplo elaboración mapa de de riesgo de incendios forestales.

Fuente: Modificado de Pardo (1999).

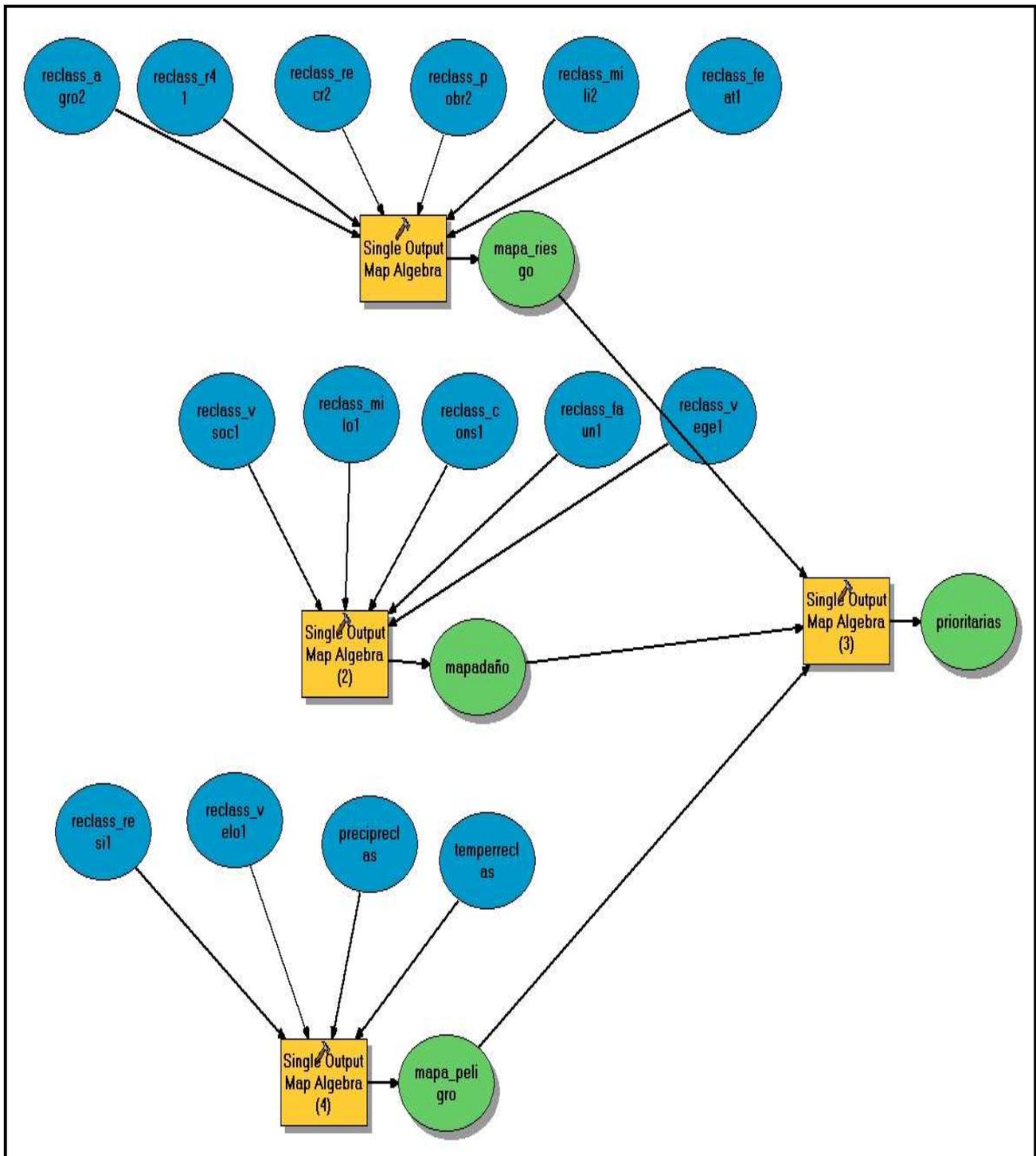


Figura 11: Esquema Determinación de zonas prioritarias de protección contra incendios forestales para la comuna de Puerto Natales.

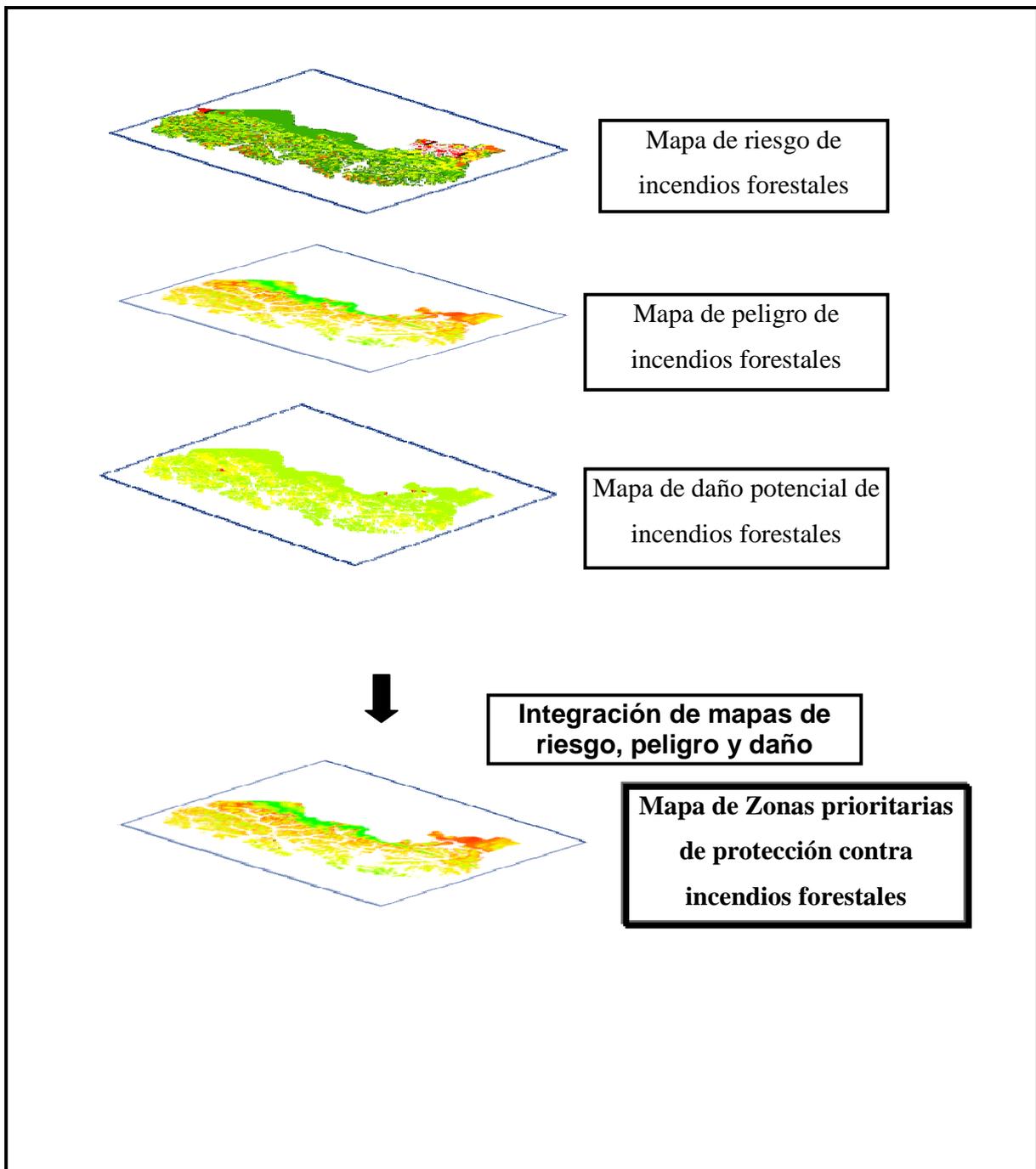


Figura 12: Esquema para la generación del mapa de áreas prioritarias de protección contra incendios forestales.

Fuente: Modificado de Pardo (1999)

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para entender de mejor forma los resultados del presente estudio, a continuación se muestran los contenidos en la misma secuencia que se presentó en la metodología.

4.1. Caracterización espacial del área de estudio

Producto de la digitalización y composición de coberturas gráficas y digitales, se obtuvieron mapas temáticos con información base, para el área de estudio. La Figura 13 muestra la información de uso actual de la comuna de Puerto Natales, la que abarca una superficie total de 49.924 km.². Dentro de la categoría bosque, los tipos forestales que se encuentran son tipo forestal Ciprés de la Guaitecas (*Pilgerodendron uviferum*), Lengua (*Nothofagus pumilio*), Coihue de Magallanes (*Nothofagus betuloides*).

En la Figura 14 se presentan las curvas de nivel, con equidistancia de 100 m, la red hidrográfica y la red vial.

En la figura 15 se representan la ocurrencia de Incendios Forestales desde el año 1980 hasta el año 2008.

Finalmente, en las figuras 16 y 17 se presentan la temperaturas y las precipitaciones promedio del mes de febrero, observándose que la temperatura más alta en promedio es de 16,7° C. y que las precipitaciones promedio son de 500 mm.

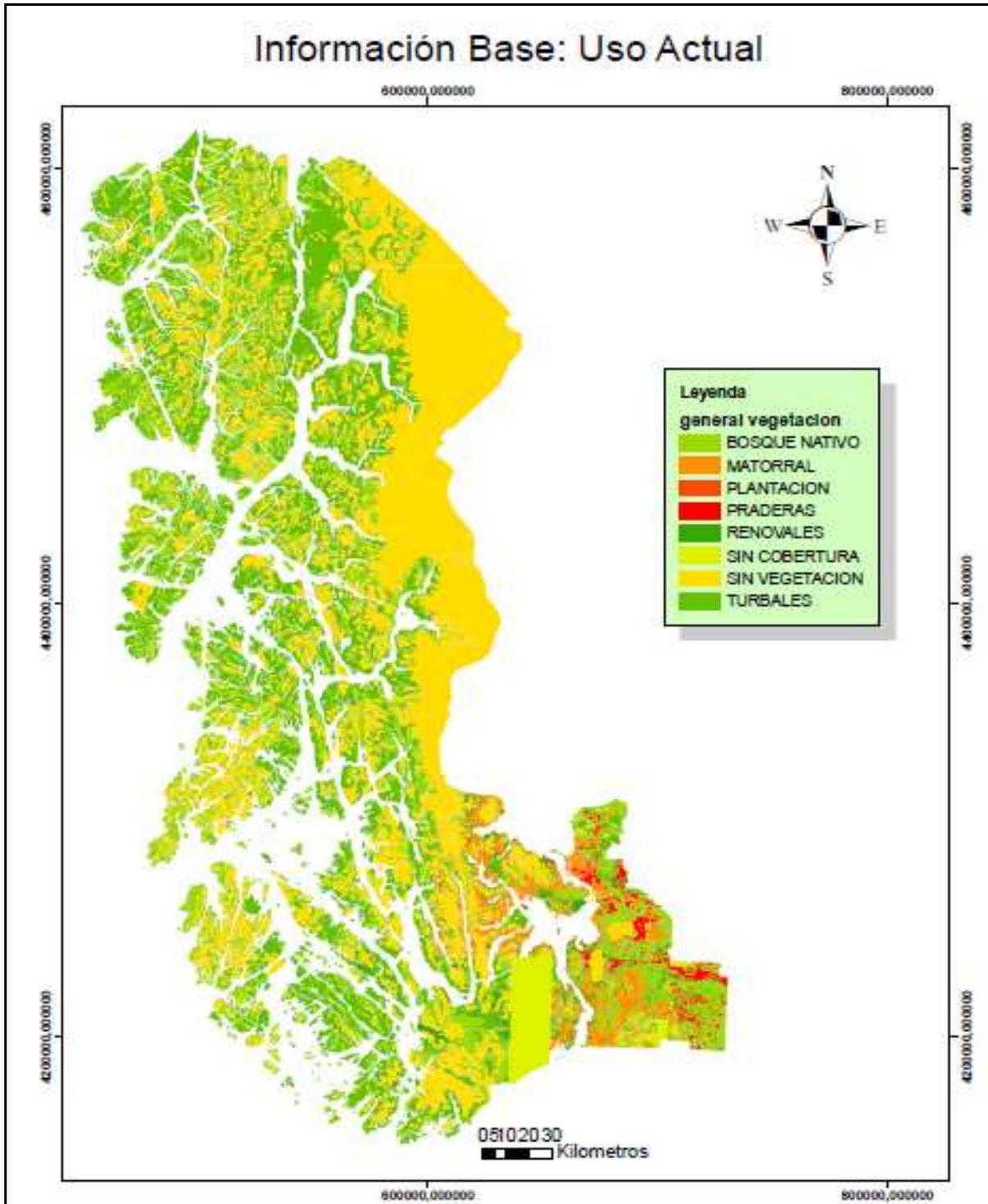


Figura 13: Información base, Catastro de bosque nativo

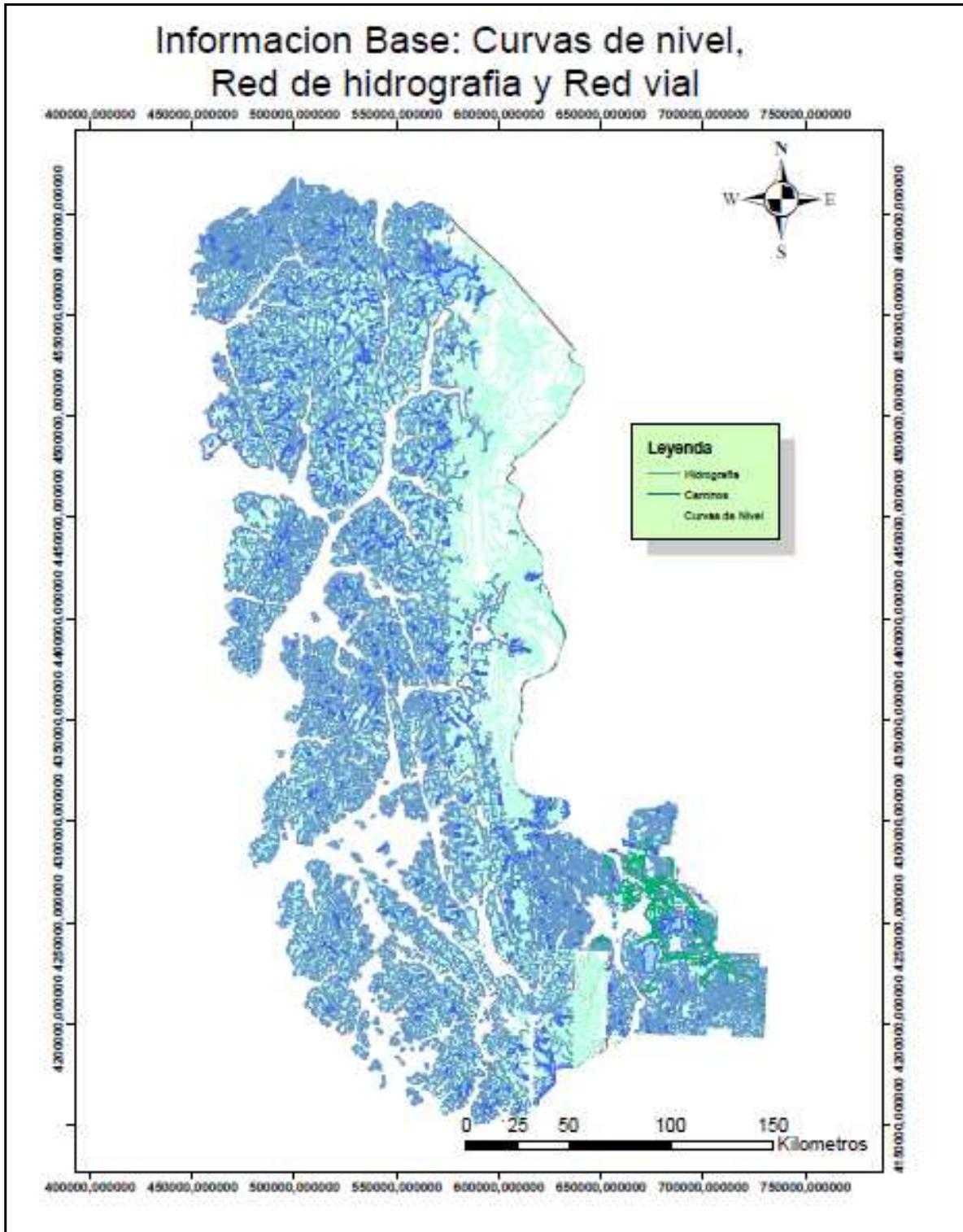


Figura 14: Información curvas de nivel red hidrográfica y caminos.

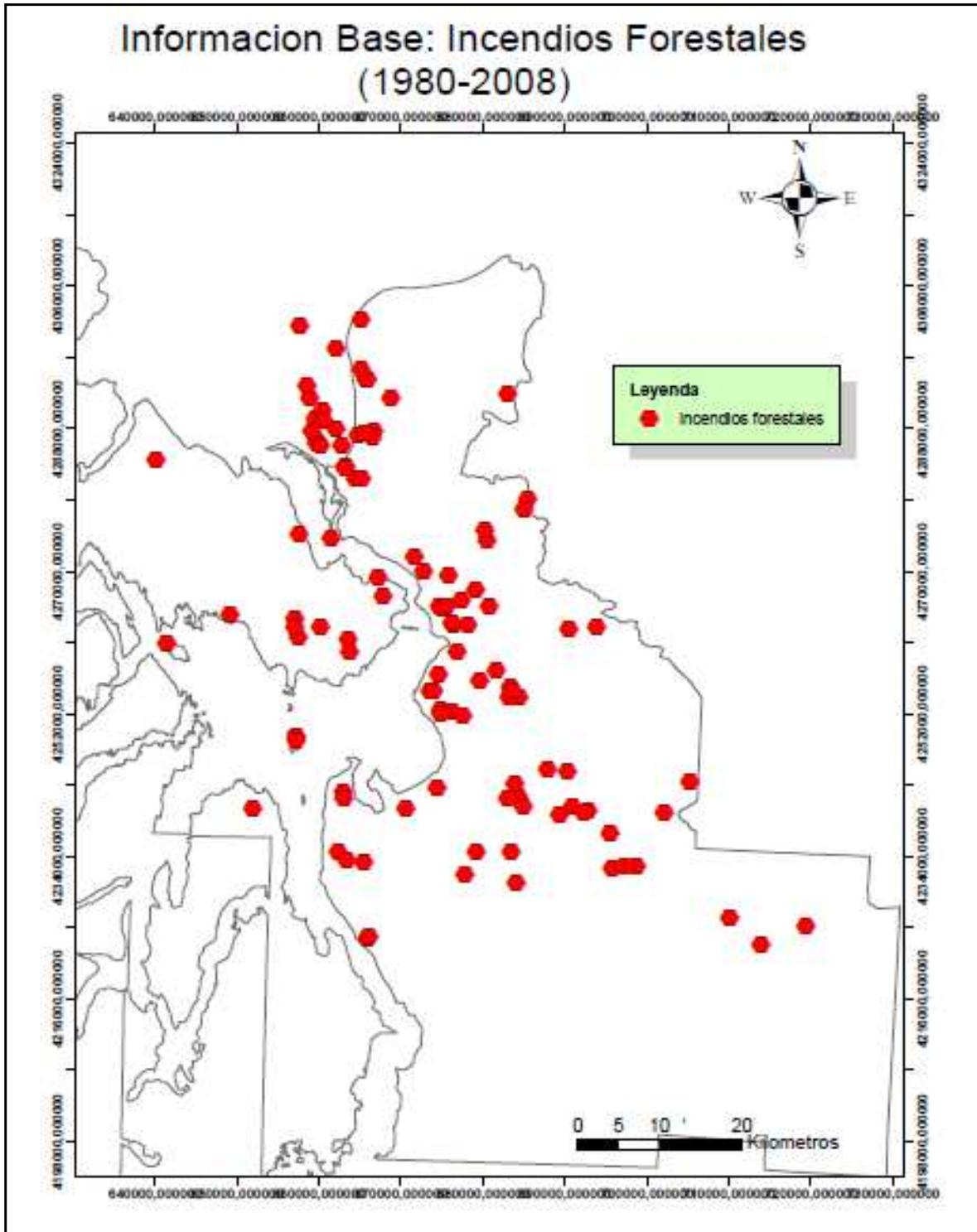


Figura 15: Información base ocurrencia histórica de Incendios Forestales.

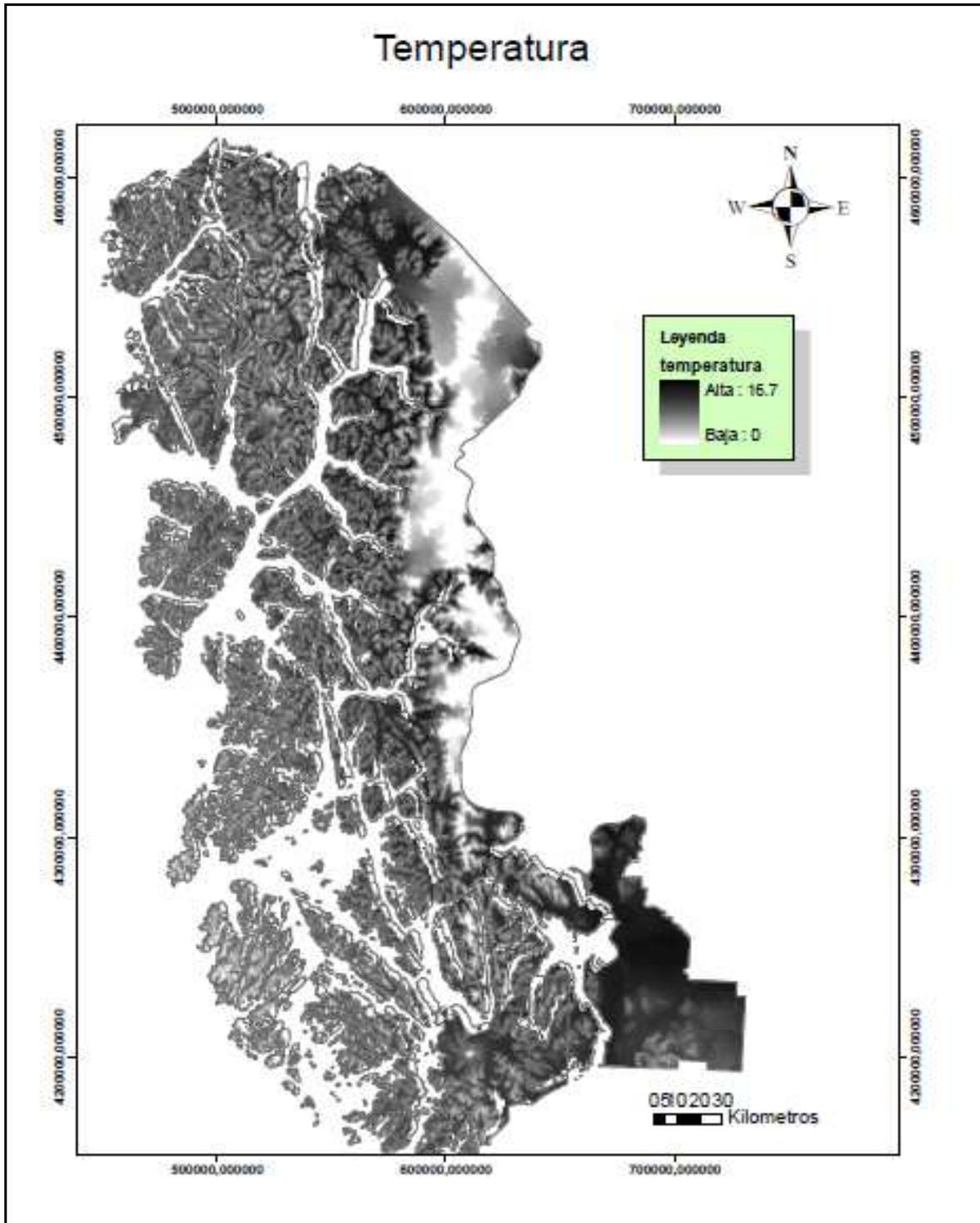


Figura 16: Información base, temperaturas registradas en el mes de febrero

Fuente. Modificado World Clim (2005)

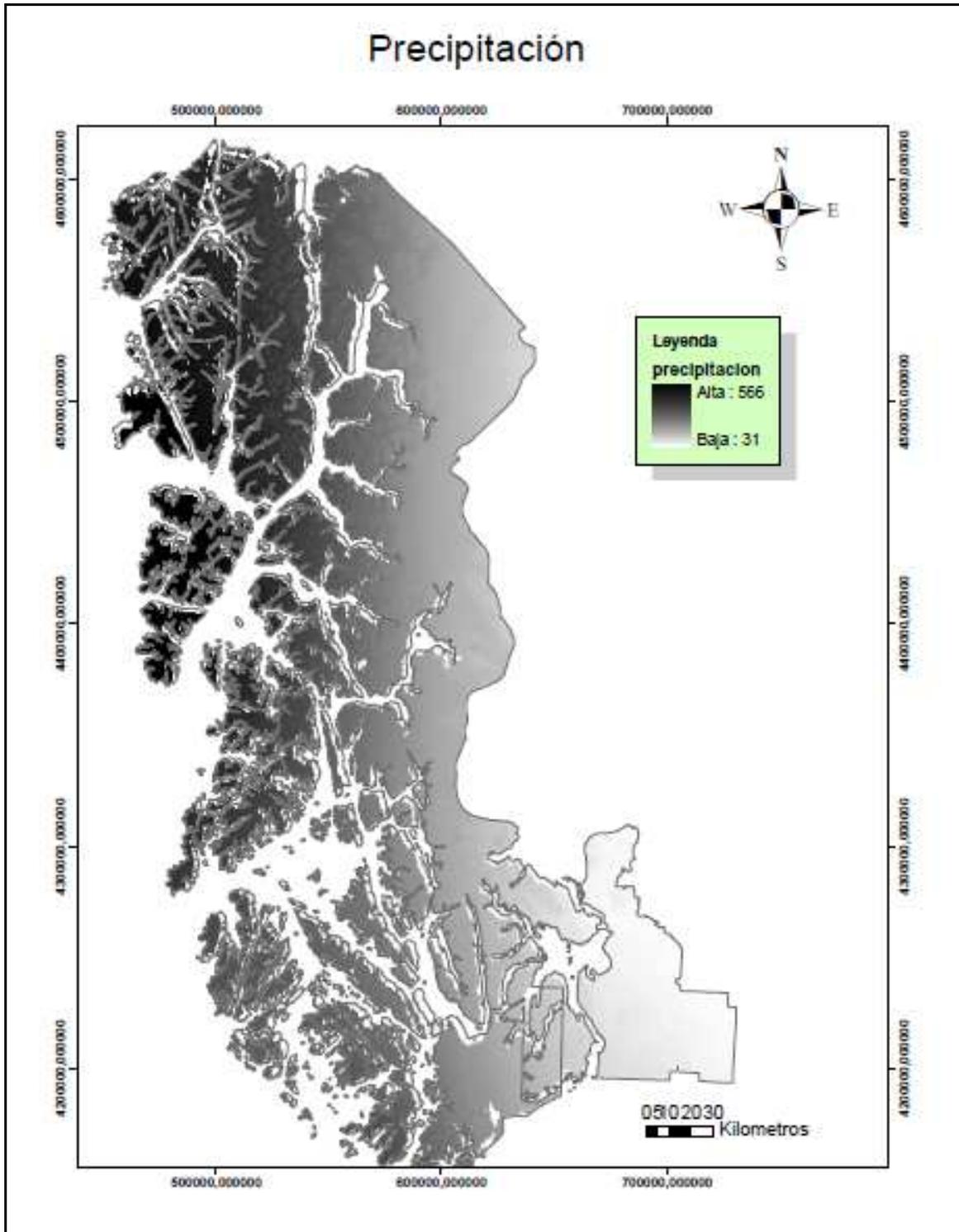


Figura 17: Información Base, precipitaciones registradas en el mes de febrero

Fuente: Modificado World Clim (2005)

4.2. Proposición de un modelo preliminar, para establecer zonas prioritarias contra incendios forestales para la comuna de Puerto Natales

El resultado del objetivo específico N° 1, el cual señala proponer un modelo preliminar, para establecer zonas prioritarias contra incendios forestales, en los sectores de la comuna de Puerto Natales que posean registros históricos de ocurrencia, mediante el análisis del modelo propuesto por Julio (1973) y revisión bibliográfica, donde los factores preseleccionados fueron los siguientes.

Cuadro 4. Modelo Preliminar

Variable 1: Riesgo	Variable 2: Peligro	Variable 3: Daño Potencial
Ocurrencia Histórica	Velocidad de Propagación	Valor de las Especies
Densidad de Tránsito	Resistencia al control	Construcciones
Densidad Poblacional	Pendiente	Valor Socioeconómico
Faenas Agroforestales	Clima	Sitios especiales
Actividades de Recreación		

Fuente. Generado en el estudio

Las Variables que se consideraron dentro del modelo preliminar, son aquellas que tienen mejor relación con la Comuna, si se revisa la información de Muñoz (2009) y de Arcos (2002), se puede observar que para una misma región, se utilizaron factores distintos.

Cuadro 5. Determinación de zonas prioritarias Parque Nacional Torres del Paine

Análisis de Riesgo	Análisis de Peligro	Evaluación de Daño potencial
Ocurrencia histórica	Potencial de propagación	Valor Socio-económico
Densidad poblacional	Resistencia al control	Valor ecológico
Densidad de tránsito	Pendiente	
Centros de recreación	Exposición	
	Inaccesibilidad	
	Clima	

Fuente. Arcos (2002).

Cuadro 6. Definición de zonas prioritarias para la comuna de Punta Arenas, región de Magallanes y Antártica Chilena

Análisis de Riesgo	Análisis de Peligro	Análisis de Daño Potencial
Incendios históricos	Potencial de propagación	Valor económico
Sectores de actividad humana	Resistencia al control	Valor ecológico
Densidad de caminos	Pendiente	
	Exposición	
	Posibilidad de acceso	
	Clima	

Fuente. Muñoz (2009).

Al analizar los modelos de Muñoz (2009) y Arcos (2002), se puede observar que ambos consideraron un factor determinante a la hora de mitigar un incendio, la inaccesibilidad y /o las posibilidades de acceso. En el caso de la comuna de Puerto Natales no fue considerado por que los expertos no consideraron este factor para realizar el modelo de la Comuna.

En otras regiones, por ejemplo en la región de la Araucanía, en el Parque Nacional Conguillío, Pardo (1999), consideró los siguientes factores.

Cuadro 7. Determinación de áreas prioritarias de protección como base para la elaboración del plan de protección contra incendios forestales para el parque nacional Conguillío.

Análisis de Riesgo	Análisis de Peligro	Análisis del daño potencial
Ocurrencia Histórica	Potencial de propagación	valor socioeconómico
Densidad Poblacional	resistencia al control	valor ecológico
Densidad de Transito	pendiente	
Centros de Recreación	exposición	
Fuentes de Energía	inaccesibilidad	
Faena Agrícolas y Forestales		

Fuente. Pardo (1999).

Al comparar el modelo de Pardo (1999), con el modelo sugerido, se puede observar las diferencias entre los modelos, esto debido a las diferencias sociales, culturales y biofísicas de ambos sectores.

4.3. Establecimiento de un modelo definitivo para determinar dichas zonas prioritarias

El resultado del objetivo específico N° 2, que propone establecer un modelo definitivo para establecer zonas prioritarias contra incendios forestales, se realizó partir del modelo preliminar.

Cuadro 8. Modelo definitivo

Variable 1: Riesgo	Variable 2: Peligro	Variable 3: Daño Potencial
Ocurrencia Histórica	Velocidad de Propagación	Valor de las Especies
Densidad de Tránsito	Resistencia al control	Construcciones
Densidad Poblacional	Pendiente	Valor Socioeconómico
Faenas Agroforestales	Clima	Sitios especiales
Actividades de Recreación		
Prácticas Militares		

Este modelo se realizó a partir del modelo preliminar, el que fue evaluado en primera instancia por un panel de expertos (Anexo 1), y en esa oportunidad se incluyó las prácticas militares, que se explica por los constantes ejercicios que se realizan en esta zona, y aunque se han registrado sólo dos incendios por prácticas militares desde el año 1980 hasta el año 2008, este es un potencial riesgo de Incendio Forestal.

En una segunda etapa se jerarquizó el modelo realizando la siguiente normalización.

Cuadro 9. Normalización análisis de riesgo

Análisis de Riesgo	Normalizado
Ocurrencia Histórica	31,4
Densidad de Transito	27,7
Densidad Poblacional	21,3
Faenas Agroforestales	11,5
Actividades de Recreación	7,5
Prácticas Militares	0,7
	100,0

Fuente. Generado en el estudio

Según los expertos, la ocurrencia histórica es el factor más relevante dentro del análisis de riesgo, debido a que los incendios que se producen en la comuna de Puerto Natales son repetitivos, como es el caso de los alrededores de la Cueva del Milodón, donde se han registrado a la fecha 14 Incendios. Además, cabe mencionar que la distribución de la población es muy sectorizada, debido a las proporciones de la comuna.

La Densidad de Tránsito es el segundo factor de relevancia, con un 27.7%; a este factor se le da relevancia por la cantidad de turistas que circulan en los meses estivales. Las prácticas militares solo tiene una relevancia del 0.7 % por sobre los otros factores.

Cuadro 10. Normalización de análisis de peligro

Análisis de Peligro	Normalizado
Velocidad propagación	55,63
Resistencia al control	18,98
Pendiente	18,39
Clima	7,00
	100,00

Fuente. Generado en el estudio.

El Factor más importante según los expertos es la velocidad de propagación, vale decir es el tiempo en que el fuego se demora en quemar el combustible. Para el caso de Puerto Natales, este factor se potencia con los vientos que se registran en los meses de verano, los que pueden superar los 120 km/ hora, lo que hace que disminuya el contenido de humedad y aumente el oxígeno, haciendo que el fuego dure más tiempo. Si a esto se le suma la pendiente, la velocidad de propagación es aún mayor.

Cuadro 11. Normalización análisis de daño potencial.

Análisis daño potencial	Normalizado
Valor especies	49,13
Construcción	27,04
Valor socio-económico	11,10
Sitios especiales	12,73
	100,00

Fuente. Generado en el estudio

Respecto de la normalización de los puntajes para el daño potencial, los expertos consideraron que el valor de las especies, es el factor más importante, debido al gran número de especies de fauna que se encuentran en estado de vulnerabilidad y en peligro de extinción, según el Libro Rojo de CONAF (1987), las que son representadas en este modelo por sus hábitats potenciales.

Cuadro 12. Normalización de zonas prioritarias de protección contra incendios forestales para la comuna de Puerto Natales.

Zonas prioritarias	Normalizado
Riesgo	62,10
Peligro	26,28
Daño	11,63
	100

Fuente. Generado en el estudio.

El riesgo dentro de la determinación de zonas prioritarias de protección, es una variable determinante, debido a que en la comuna de Puerto Natales no existen los incendios de características naturales, si no mas bien aquellos incendios de carácter antrópico, los que pueden ser accidentales o intencionales; dentro de los riesgos accidentales, los que se producen en actividades de recreación son los de mayor recurrencia, principalmente en las zonas aledañas al Monumento Natural Cueva del Milodón, los sectores de camping y la ruta histórica de Puerto Natales.

Siguiendo en la jerarquización, el peligro es la segunda variable de importancia, debido al tipo de combustible, que en combinación a los fuertes vientos y a un bajo porcentaje de humedad relativa del aire, se transforman en peligro potencial, que en condiciones óptimas puede devastar grandes extensiones de vegetación. Finalmente el daño potencial es la variable con menos ponderación, por que existe solo un sitio que reúne características de protección para daño potencial.

4.4. Determinación de las zonas prioritarias de Protección para la comuna de Puerto Natales

4.4.1 Análisis de Riesgo

Ocurrencia de incendios forestales

Según la información registrada por el Departamento de Protección contra Incendios Forestales (DEPRIF) de la región de Magallanes y Antártica Chilena, en la comuna de Puerto Natales han ocurrido 106 incendios forestales entre las temporadas 1980-1981 y 2007-2008, observando que del total de los incendios, un 49% del combustible corresponde a pastizal, un 34% a matorral, un 7% a combustible arbolado, un 7% a desechos y otras categorías sólo representan un 3% del total de incendios producidos en la comuna (figura 18).

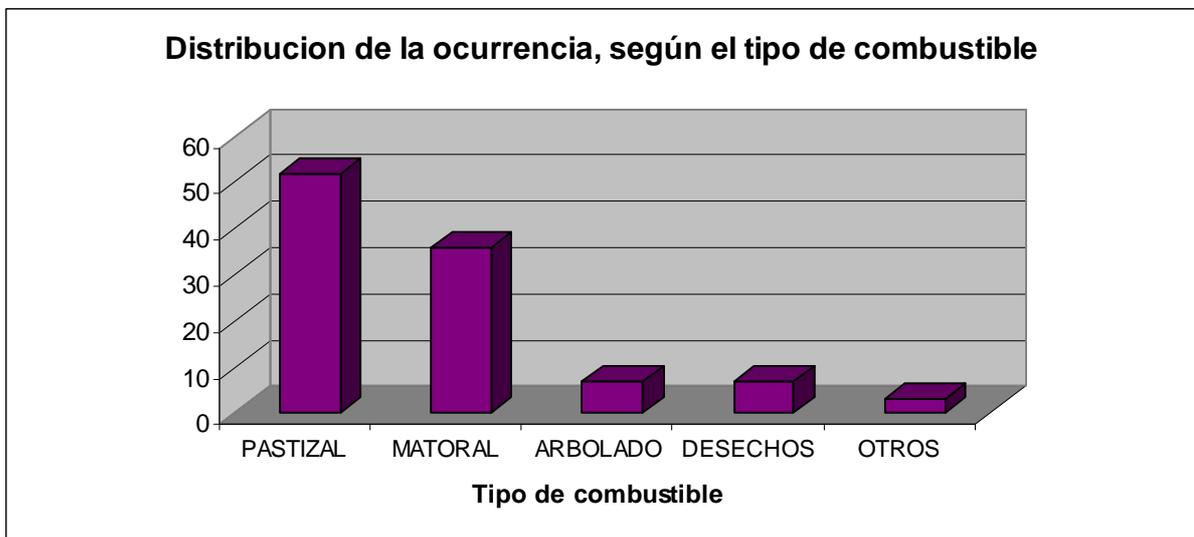


Figura 18: Ocurrencia histórica (1980-2008).

Por otro lado, en la figura 19 se muestra la distribución de los incendios forestales por causas, siendo las faenas agroforestales las actividades en que se ha producido la mayor ocurrencia en la comuna.

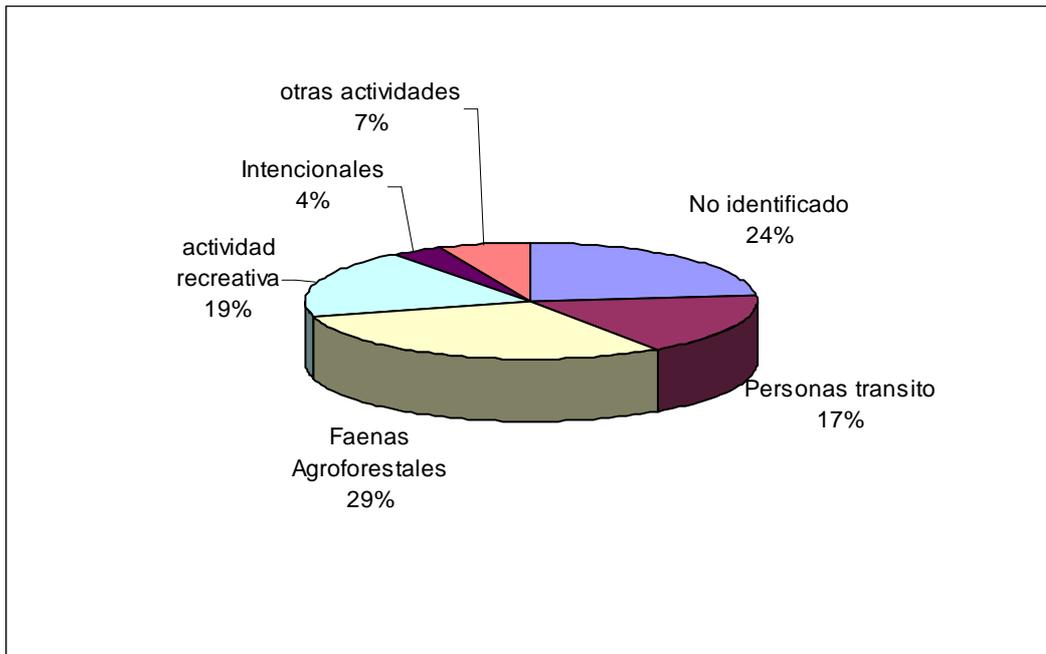


Figura 19. Ocurrencia histórica, según las causas.

Fuente. Generado en el estudio

Variable densidad de tránsito

Está representada por la red vial, que consta de caminos principales, caminos secundarios y caminos de ripio; la regla que se utilizó fue asignar un valor Muy alto a los caminos principales, una valor Alto a los caminos secundarios y un valor medio a los caminos de ripio, por que a mayor importancia del tipo de camino mayor tráfico, lo que aumenta la probabilidad de producirse un incendio. A cada camino se le asignó una zona buffer con la prioridad de riesgo menor siguiente.

Variable densidad poblacional

Considera las zonas donde se presentan asentamientos humanos; para este estudio los principales centros poblados de la comuna de Puerto Natales, debido a que en las zonas rurales aledañas existe un riesgo alto de incendios forestales.

La ciudad más influyente es Puerto Natales, por el número de personas existentes y porque es una ciudad turística ya que es el ingreso a la Cueva del Milodón y al Parque Nacional Torres del Paine; otra característica que hace que presente un riesgo potencial en las zonas periféricas, son las actividades de pesca y caza que se originan en las lagunas aledañas a la ciudad.

Faenas Agroforestales

Otros estudios determinan el riesgo en las faenas agroforestales identificando las actividades que se realizan dentro de los límites (Hernández, 2004).

En el análisis de riesgo de faenas agroforestales del presente estudio se utilizó la información digital de división de predios del Servicio Agrícola Ganadero, información base del rol de predios y las actividades agropecuarias, las que fueron combinadas con la ocurrencia de incendios históricos.

El resultado de la combinación de información fue que aquellos predios con actividad ganadera son en los que se han producido mayor número de incendios, esto debido a que existe un mal uso de la herramienta del fuego, para realizar ordenación predial, la que a su vez produce incendios de faenas agrícolas.

Actividades de Recreación

Para éste estudio se utilizó la información en formato digital de los atractivos turísticos de Chile, por el servicio Nacional del Turismo, el que fue recortado con el límite de la comuna de Puerto Natales y son sectores con relevancia turística y se consideraron los siguientes atractivos.

Cuadro 13. Sectores con relevancia turística.

NOMBRE
FIORDO TÉMPANO
LAGUNA SOFIA
PUERTO CONSUELO
PUERTO PRAT
PUERTO BORIES
SENO ULTIMA ESPERANZA
SIERRA DOROTEA
PUERTO NATALES
LAGO BALMACEDA
RIO HOLLEMBERG
GOLFO ALMIRANTE MONTT
LAGO PINTO

Fuente: Sernatur (2002).

Actividades Militares

Para estudio se consideró las actividades militares por inclusión de un experto; geográficamente se ubicó en el predio perteneciente al Ejército de Chile, lugar donde se realizan campañas y que según el registro estadístico de ocurrencia han provocado dos incendios desde 1980 hasta el 2008.

A este predio se le consideró como riesgo Muy alto, y luego un buffer de 1000 m. de riesgo Alto, 500 m. de riesgo medio.

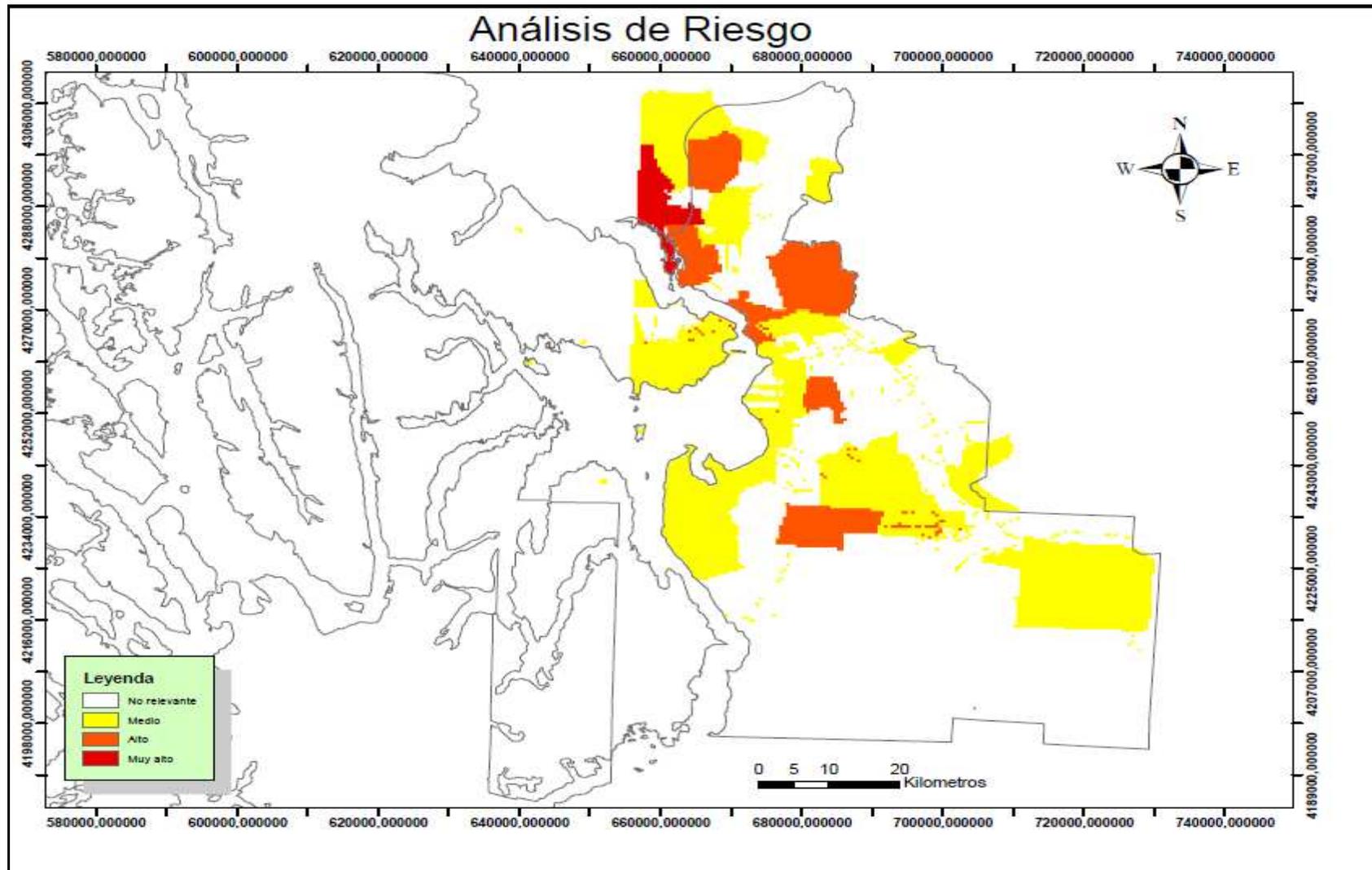


Figura 20: Análisis de Riesgo

Análisis de Riesgo

Las zonas que presentan mayor riesgo son principalmente los sectores donde se han producido incendios, en los sectores aledaños a los centros poblados de Puerto Natales, Cerro Dorotea y Villa Renovales, los que poseen una alta densidad de tránsito. También se observa que en el resto del territorio, el riesgo es no relevante o hay un riesgo bajo, debido a la baja tasa de población y a la gran superficie de la región de Magallanes. (figura 20)

Cuadro 15: Porcentaje de la superficie total de la comuna según categoría de riesgo.

No relevante	98.6 %
Medio	1.04 %
Alto	0.29 %
Muy alto	0.07 %

4.4.2. Análisis de Peligro

Pendiente

Para estudiar el peligro en el factor pendiente se recopiló información de cotas a 100 m. Esta información se descartó por presentar incongruencias gráficas, por lo que se utilizó una imagen ASTER GDEM, de Chile, que fue acotada a la comuna de Puerto Natales.

Con esta información se clasificó pendientes mayores a 36 %, categorizando esta como alta; para aquellas pendientes entre 18 % y 36%, se clasificó como peligro medio; y menor a 18 % de pendiente, se categorizó como peligro bajo o sin relevancia.

Clima:

Para el Análisis del factor clima se utilizó un modelo digital de temperatura y precipitación de World Clim (2005). Se puede mencionar que las temperaturas en el mes de febrero fluctúan entre 0°C y 16,7°C, y que se registran en el sur este de la comuna, donde se ubican, además los asentamientos humanos. Respecto de las precipitaciones registradas en el mes de febrero, estas alcanzan los 566 mm. Lo que significa que en la zona costera de Puerto Natales llueve casi los 365 días del año, reduciendo la superficie de peligro.

Resistencia al control y Velocidad de Propagación.

Debido a que ambos estudios están relacionados a la información de la vegetación comprendida en el Catastro de Bosque Nativo de la región de Magallanes y a que estas cubiertas no están en las mejores condiciones, se utilizaron dos imágenes ETM del sur de la comuna de Puerto Natales (230-96 y 231-96), las que previamente procesadas, fueron clasificadas, para obtener el índice de vegetación NDVI, y se realizó un árbol de decisiones el que clasificó vegetación densa, vegetación abundante, vegetación escasa, agua, hielo, terrenos sin vegetación y no data (Figura 21).

A partir de la base de datos del árbol de decisiones, se compararon los ROIS, que son el número identificación de cada polígono, las que asignó un valor a la estructura de vegetación y se comparó con Google Earth y el Catastro de Bosque Nativo hasta completar aquellas zonas sin cobertura aerofotográfica y además llegar a un consenso para el posterior análisis de propagación y resistencia al control.

Finalizado este proceso, se asignaron los códigos correspondientes al tipo de vegetación de acuerdo a un modelo de combustible previamente establecido.

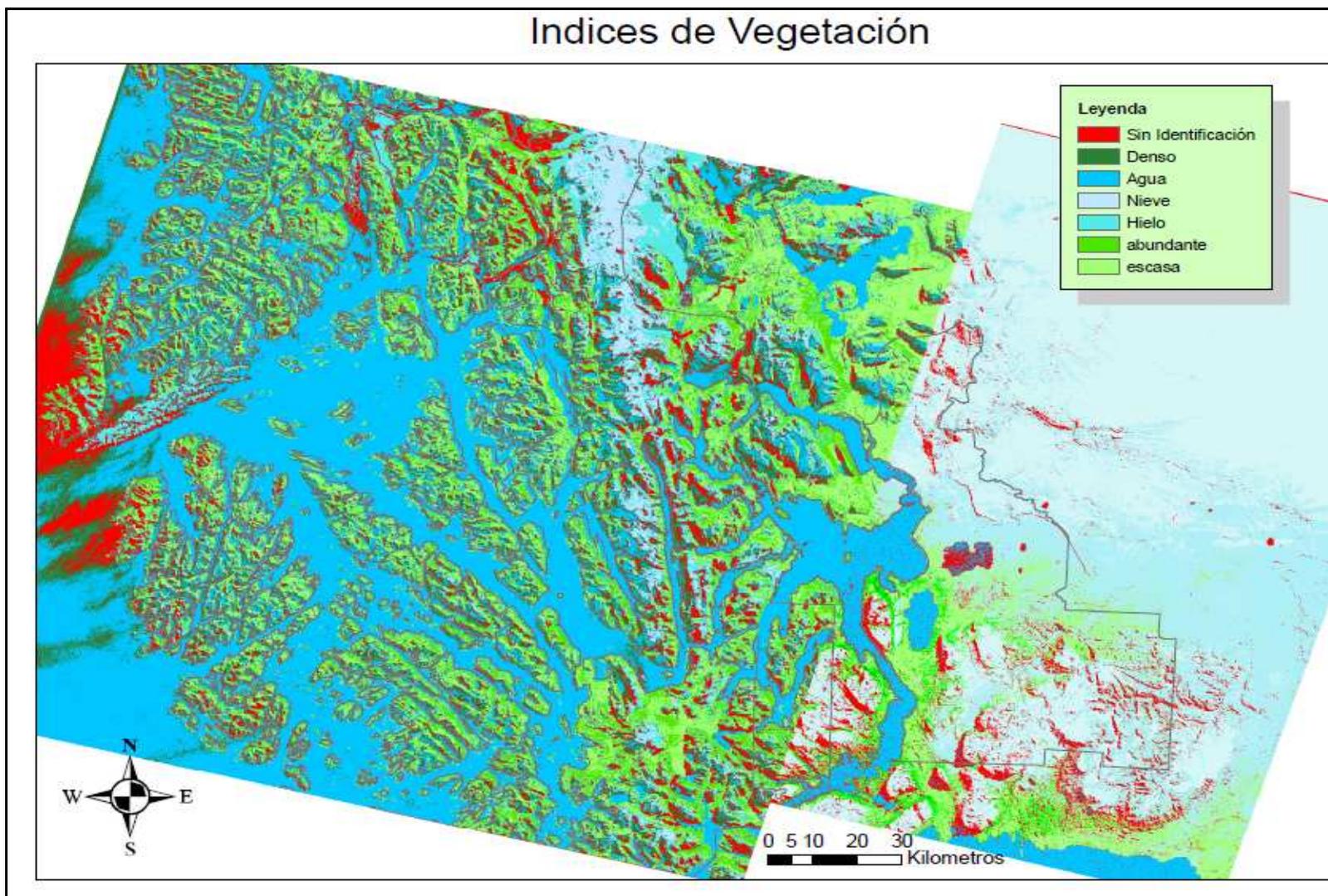


Figura 21: Clasificación según la herramienta árbol de decisión (decision tree)

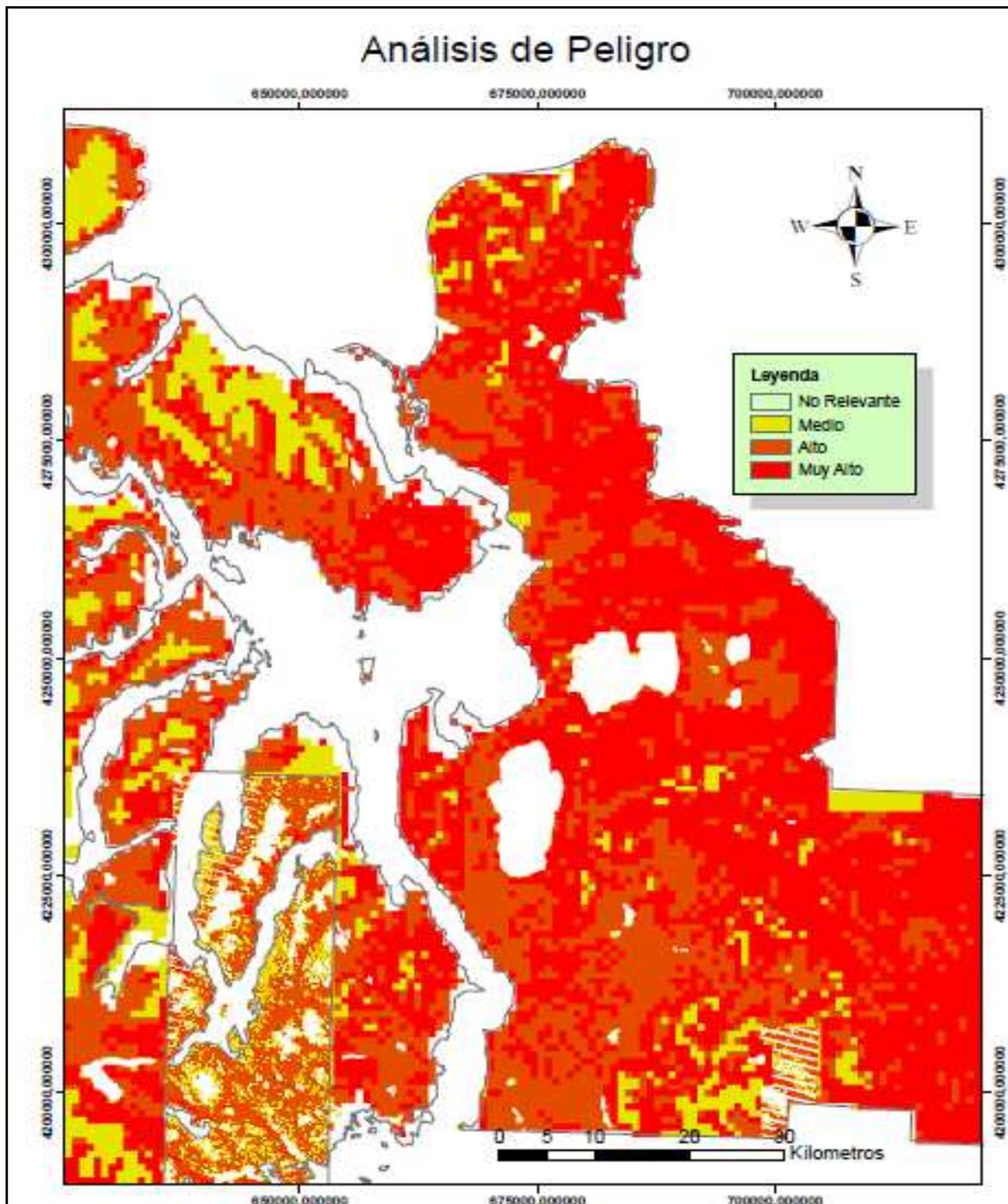


Figura 22: Análisis de Peligro

Figura 16: Clasificación según el NDVI (árbol de decisiones)

Análisis de Peligro

Cabe mencionar que para el análisis de peligro (Ver Figura 22) se emplearon herramientas novedosas de la teledetección, en lo que se refiere al estudio de zonas prioritarias en Chile, observando la gran magnitud de información digital que se adquiere a través de los diversos satélites.

Cuadro 16: Porcentaje de superficie de acuerdo a categorías de peligro.

No relevante	2.92 %
Medio	40.01%
Alto	35.35 %
Muy alto	21.72 %

Los porcentajes en el análisis de peligro demuestran que en la comuna de Puerto Natales se potencian los factores de pendiente y tipo de vegetación, aumentando el peligro. Asignando un 21.72% del territorio a las categorías más altas. Si a estos factores se les asignara el factor antrópico seguro habría un aumento en los incendios forestales de la comuna.

A diferencia del análisis de riesgo, el análisis de peligro en la categoría no relevante, se puede observar que es inversamente proporcional, ya que en el riesgo se observa una superficie no relevante de un 98,6 %, mientras que la superficie no relevante para el estudio de peligro es de menos del 3 %.

Lo que favorece a la no ocurrencia de incendios forestales es el difícil acceso a zonas que presentan factores favorables en cuanto a peligro.

4.4.3. Análisis de Daño Potencial

Construcciones. En este factor se consideraron aquellas construcciones con valor para toda la comunidad y se le dio un radio de protección de 1000 m con daño potencial Muy alto y en los siguientes 500 m., riesgo Alto

Sitios especiales. La Cueva del Milodón, se consideró como un sitio especial, por ser Reserva Nacional, ubicada en la comuna de Puerto Natales. Otro de los factores que la hacen ser un sitio especial son los encuentros arqueológicos, importantes para estudios científicos y para conocer las formas de vida que existieron en épocas pasadas. También es un atractivo turístico y un lugar de importancia para los ciudadanos de Puerto Natales.

Valor socioeconómico. Consideró aquellos sectores con potencial económico, que estén ubicados en zonas rurales, y que causen un impacto a la economía local. También se consideraron los centros poblados. Las protecciones fueron de un radio de 1000 m. como categoría alta y 500 m. como categoría media

Valor de las especies. Por la importancia ecológica, se protegió en primera instancia los bosques de Ciprés de las Guaitecas (*Pilgerodendron uviferum*), como categorías Extrema por ser una especie longeva que crece en condiciones extremas y por la calidad de su madera, que la hace ser una especie apetecida en el rubro de la mueblería, La Lengua (*Nothofagus pumilio*) fue considerada con riesgo medio, por ser hábitat de muchas especies de fauna como el pájaro carpintero (*Campephilus imperiales*), otros hábitats de especies de fauna que se consideraron son los Huemules (*Hippocamelus bisulcus*), protegiendo las zonas de los matorrales que se encuentran en la periferia de los glaciares y los bosques aledaños. Estas especies fueron evaluadas con problemas de Conservación CONAF (1987).

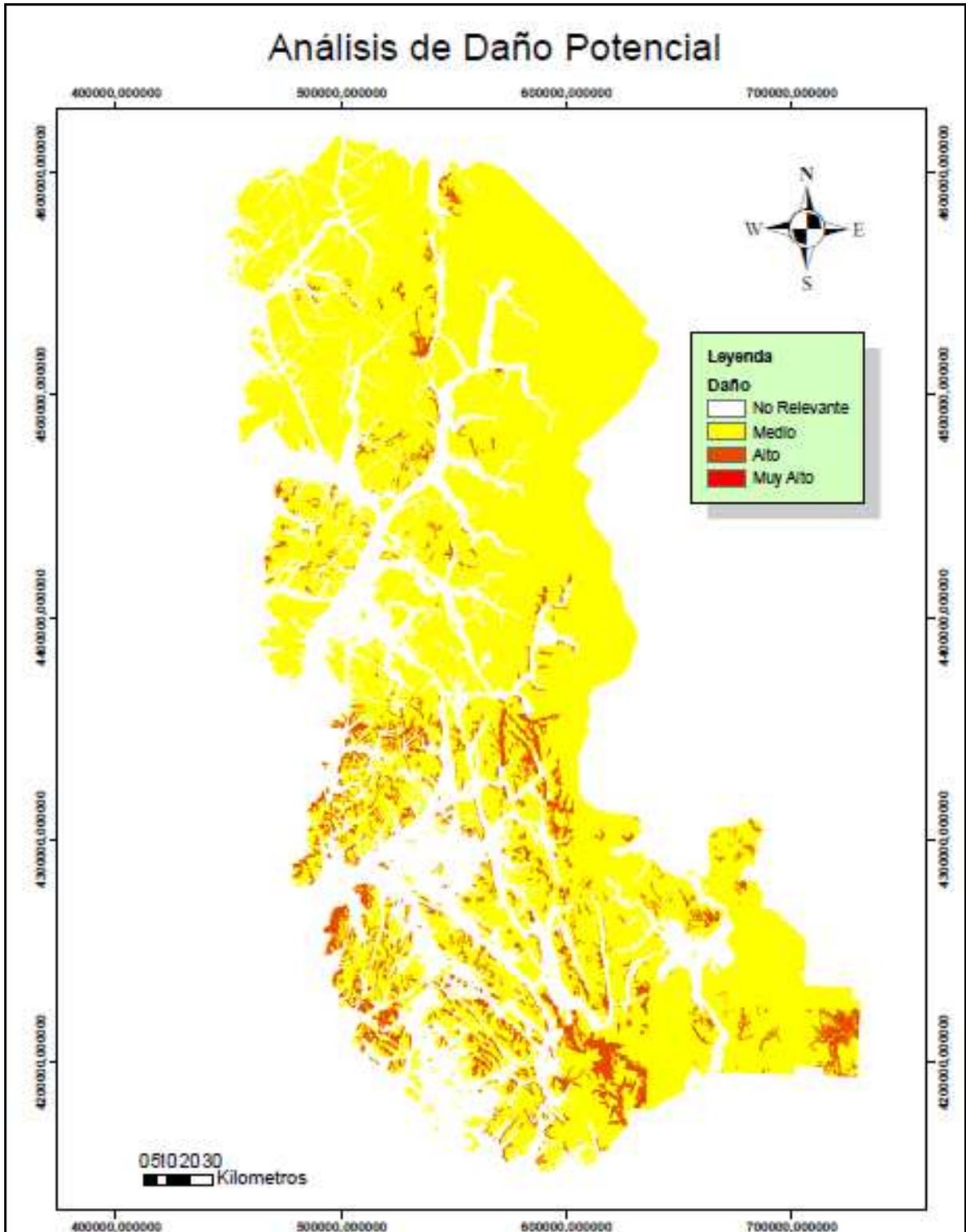


Figura 23: Análisis Daño Potencial

Análisis de Daño Potencial

Cuadro 17: Porcentajes de superficie de acuerdo a categoría de daño potencial

No Relevante	61,83 %
Medio	34,97 %
Alto	3,01 %
Muy Alto	0,19 %

Al observar la tabla de porcentajes se puede observar que el daño potencial en cuanto a la superficie, es bajo, sin embargo las superficies cuya categoría es Muy alto corresponden a las zonas aledañas a la Cueva del Milodón, y la categoría alto corresponden a aquellos sectores con interés turístico. (Ver Figura 23).

4.4.4. Determinación de zonas prioritarias de protección.

Cuadro 18: Porcentajes Determinación de Zonas prioritarias de Protección.

No relevante	91.16 %
Medio	4.05 %
Alto	3.44 %
Muy alto	1.35 %

El sector de la Cueva del Milodón se posicionó como área de protección extrema, al igual que la ruta histórica de Puerto Natales, debido importancia que representan al gran tráfico de personas

En la Figura 19 se muestra la integración de los tres análisis, riesgo, peligro y daño potencial. Observando claramente la influencia antrópica asociada a la ocurrencia histórica, por lo que las evaluaciones de los problemas de ocurrencia, los sitios a proteger se encuentran sectorizados en las cercanías de los centros poblados y donde se concentran actividades agrícolas y agroforestales, categorizadas como altas.

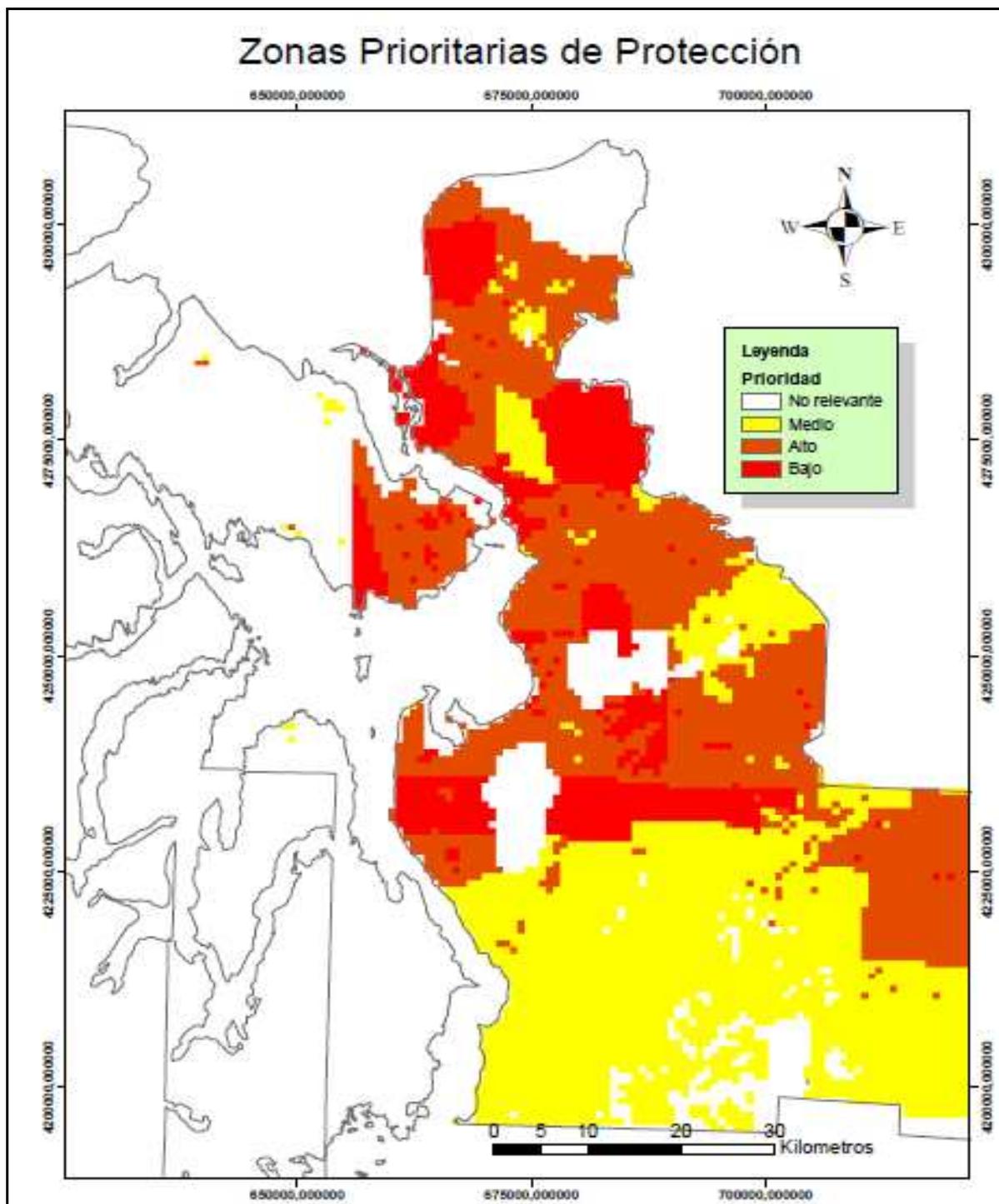


Figura 24. Determinación de Zonas Prioritarias de Protección contra incendios forestales por La Comuna de Puerto Natales

5. CONCLUSIONES

Al Caracterizar espacialmente el área de estudio, con la información digital, se demostró que el área de influencia es el sector de centros poblados, por el factor antrópico, además del área de glaciares y las precipitaciones que anulan el sector de zonas costeras.

El modelo propuesto para determinar las zonas prioritarias de protección contra incendios forestales para la comuna de Puerto Natales, tuvo una buena aceptación por parte de los expertos, existiendo sólo la inclusión de la variable prácticas militares.

El modelo definitivo se elaboró gracias a la entrevista a expertos y a el análisis con el método AHP, el que normalizó al riesgo como la variable mas importante con un 62,1 %, al peligro con un 26,28% y un 11,63 % de daño.

Del análisis de riesgo se deduce que este esta influenciado por las actividades, presencia de poblaciones humanas y la ocurrencia histórica, la que marcó la pauta del sector con mayor riesgo de incendio. De la superficie total, un 0,07% corresponde a categoría muy alta; un 0,29% a categoría alta; un 1,04% a categoría media y un 98,6% a categoría no relevante.

Del análisis de peligro, resultó un plano más homogéneo, variando muy poco los resultados de toda la comuna, se puede destacar que la velocidad de propagación fue el factor más influyente dentro de la valoración. De la superficie total un 2,92 % pertenece a la categoría no relevante, un 40,01% a categoría media, un 35,35 % a categoría alto y un 21,72 % pertenece a categoría muy alto.

Del análisis de daño, se destacó aquellos sectores donde se concentran construcciones, lugares turísticos, La Cueva del Milodón, por ser considerada el único sitio especial, debido a su valor arqueológico, ecológico y cultural, se valoraron especies de fauna y especies arbóreas, dentro de las especies de fauna se protegió el hábitat del huemul (*Hippocamelus bisulcus*), el pajaró

carpintero (*Campephilus magellanicus*). Según la superficie total del área de estudio la un 61, 83% corresponde a la categoría no relevante, un 39,47% a categoría meda, un 3,01% a categoría alta y un 0,19% a categoría muy alta.

La metodología empleada en este estudio, permitió conocer las zonas prioritarias de protección contra incendios forestales, perteneciendo solo 1,35 % a categoría muy alta, dentro de los sectores se destaca el Monumento Natural “Cueva del Milodón” y el sector de Lago Pinto; mientras que un 3,44 % corresponde a la categoría alto, y en ella se encuentran las zonas aledañas a los centros poblados y parte de la península Antonio Varas; por otra parte un 4,05% corresponde prioridad media y finalmente un 91,6 % de la comuna clasifica como no relevante.

Con las imágenes satelitales se complementó y validó el Catastro de Bosque Nativo, a nivel de estructura y, además, se completó la información en áreas no cubiertas con fotografías, debido a que las imágenes satelitales presentan un aporte mayor de superficie de análisis.

A pesar de las adversidades presentes en el estudio, la metodología, las herramientas SIG y las herramientas de teledetección, arrojaron una buena zonificación, destacando la zona del sur este de la comuna como el área crítica a proteger; esto se debe a que los factores de mayor peso específico se encuentran en ese lugar, al igual que las intervenciones antrópicas.

6. RESUMEN

Con el propósito de determinar zonas prioritarias de protección contra incendios forestales, para la comuna de Puerto Natales, se adaptó la metodología de Julio (1973) y se aplicó en una superficie de 49.924 km.² há. En ella se realizó y se validó un modelo, en el cual se realizaron tres análisis; riesgo, peligro y daño potencial.

Los factores de cada variable, fueron procesados, mediante Sistema de Información Geográfico (SIG), obteniendo como resultados los planos georreferenciados. Finalmente, se integraron los tres estudios obteniéndose un plano de zonas prioritarias de protección.

Con prioridad extrema se clasificó la zona de la Reserva Nacional Cueva del Milodón y el centro poblado de Puerto Natales; con prioridad alta los sectores agrícolas, sectores cercanos a Cerro Dorotea y a las lagunas Pinto y Balmaceda; con prioridad media clasificaron los sectores agro-forestales, finalmente los sectores de prioridad baja correspondieron a la mayor parte de la comuna, lo que hace concluir que la influencia humana es muy sectorizada.

SUMMARY

In order to determine priority areas for forest fire protection for the town of Puerto Natales, adapted the methodology of Julio (1973) and was applied in an area of 49,924 km. ² há. It was conducted and validated a model in which three tests were performed, risk, danger and potential damage.

Each variable factors were processed through Geographic Information System (GIS), which resulted in the geo-referenced maps. Finally, all three studies, obtaining a level of priority areas for protection.

With utmost priority was rated the area of the Milodon Cave National Reserve and the town of Puerto Natales, with high priority agricultural areas, areas near Cerro Dorotea and gaps Pinto and Balmaceda, ranked medium priority agro-forestry sectors finally low-priority sectors accounted for most of the commune, which leads us to conclude that human influence is sectioned

7. LITERATURA CITADA

- AGROVÍA. 2004. Medioambiente. Ecosistemas Forestales. Centro de información, servicios y negocios del sector agroalimentario. EFEAGRO S.A. <http://www.agrovia.com/ambiente/pdf/MAB-Forestales.pdf>
- ARCOS, M. 2002. Determinación de áreas prioritarias de protección, como base para una propuesta de plan de protección contra incendios forestales para el parque nacional Torres del Paine, XII región de Magallanes y Antártica Chilena. Tesis Ingeniero Forestal. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. p.102
- BAEZA, R. 2000. Metodología para el Desarrollo de un Plan de Protección contra Incendios Forestales aplicado al predio La Cantera y El Guindo basado en un Análisis de Prioridades de Protección. Tesis Ingeniero Forestal. Universidad de Concepción. Concepción. p. Chile.115p
- BELTRÁN, R. 2004. Asignación de usos potenciales a unidades territoriales rurales, integrando metodologías de ordenamiento territorial y planificación participativa. Estudio de caso: comunidades Matte y Sánchez y las Ñochas, comuna de Carahue, IX Región de la Araucanía. Tesis presentada para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad de La Frontera. Temuco, Chile. 103p.
- BAYLEY, S; SCHNIDDLER, D; PARKER B; STANTON, M AND BEATY, K. 1991. Effects of forest fire and drought on acidity of a base-poor boreal forest stream: similarities between climatic warming and acidic precipitation. Biogeochemistry, vol. 17, p 191-204.
- BOSNICH, J. 1983. Análisis del riesgo de incendios forestales en la Décima Región. Tesis, Ingeniero Forestal. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. p. 85
- BORREGO, C; MIRANDA, A.I. 1998. Forest fire effects in air quality. III International Conference on Forest Fire Research. 14th Conference on Fire and Forest Meteorology. Coimbra, Portugal. Vol. II. Pp. 1621-1624.
- CASTILLO, M. 2006. El cambio del paisaje vegetal afectado por incendios en la zona Mediterránea Costera de la V región. Tesis para optar al grado de Magíster en Geografía. Universidad de Chile. p. 155
- CASTILLO, M., PEDERNERA, P., PEÑA, E. 2003. Incendios forestales y medio ambiente. Revista Ambiente y Desarrollo CIPMA vol. XIX (3) 44-53.

- COCHRANE, M.A., ALENCAR, A., SCHULZE, M.D., SOUZA, C., NEPSTAD, D., LEFEBVRED, P., DAVIDSON, E. 1999. Positive Feedbacks in the Fire Dynamic of Closed Canopy Tropical Forests *Science*, June 11, 1999 vol. 284, no. 5421, p. 1832-1835
- CONAF. 1986. Plan de Manejo del Parque Nacional Lauca. Documento de Trabajo No. 82. Corporación Nacional Forestal. Santiago, Chile.
- CONAF. 1987. Libro Rojo de los Vertebrados Terrestres de Chile. Santiago, Chile. 65 p.
- CONAF. 2002. Antecedentes sobre impacto de incendios forestales en la IX Región. Documento de visita a la zona afectada por Incendios, Temuco, Chile. 16 p.
- CONAF. 2004. Los Incendios Forestales. Corporación Nacional Forestal. Chile. 1 Sep. 2009 www.conaf.cl
- CONAF. 2007. Curso investigación de causas de incendios forestales. Punta Arenas, septiembre de 2007. Punta Arenas, Chile. 54 p.
- CONAF; CONAMA. 2006. Monitoreo y Actualización Catastro de Uso del Suelo y Vegetación, Región de Magallanes y Antártica Chilena. 11 p.
- CONAF, ONEMI, La Tercera, EMOL, La Nación, La Segunda. 2007. Incendios Forestales: Alarma y Pánico en verano. 18 p.
- CORONADO, S. 2003. Propuesta de Zonificación en la IX Región para el Uso del Fuego. Tesis Ingeniero Forestal, Universidad de La Frontera, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Temuco, Chile. 120 p.
- COX, G. 1995. Combustion fundamentals of Fire. Editor Academic Press. London. 121 p.
- DE LAS HERAS, J. 1994. Sucesión de la vegetación briofítica en bosques incendiados del sistema Alcazar-Segura-Cazorla (Suroeste de Albacete). Instituto de Estudios Albacetenses. Albacete, España 142 p.
- DE LUIS, M.; BAEZA, M.J.; RAVENTÓS, J. 1997. Análisis de curvas de temperatura-tiempo en fuegos experimentales en aulagares de distintas edades: enfoque alternativo. I Congreso Forestal Hispano-Luso. II Congreso Forestal Español. Irati 97 Protección de los sistemas forestales y conservación de la biodiversidad. Libro de actas 5, 143-148. Pamplona.
- DONOSO, C. Z. 1993. Bosques templados de Chile y Argentina. Variación, estructura y dinámica. Ecología Forestal. Editorial Universitaria, Chile. CONAF, 484 p.
- ECE/FAO. 2001. Timber Bulletin, Forest Fire Statistics.

- FAO. 1953. La lucha contra los incendios forestales. Estudios de silvicultura y productos forestales N° 5. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia. 131 p.
- FAO/CEPE/OIT. 1996. Seminario Sobre “Bosques, Incendios y Cambio Global”, Realizado En Shushenskoe (Federación Rusa), del 4 al 9 de Agosto de 1996
- FAO, 2004. Los Bosques y Los Incendios. www.fao.org/forestry/fire [citado el 09 de Noviembre de 2010]. Disponible en: <http://www.fao.org/forestry/firemanagement/es/>
- FAO. 2006. Fire management global assessment 2006 “A thematic study prepared in the framework of the Global Forest Resources Assessment 2005”
- FULCRUM. 2005. Ingeniería en toma de Decisiones (AHP) e Ingeniería Sanitaria (ANP). Guía ilustrada al Analytic Hierarchy Process. Página Web <http://www.fulcrum.cl>
- GFMC, 2004. Marco para el Desarrollo de un Acuerdo Internacional sobre Incendios Forestales. Fundamentos, Estado y Actividades Futuras. Centro Mundial de Monitoreo de Incendios (GFMC), en cooperación con la FAO, la EIRD y el GOFIC/GOLD.
- GLITZENSTEIN, J.S., PLATT, W.J., STRENGT, D.R. 1995. Effects of fire regime and habitat on tree dynamics in North Florida longleaf pine savannas. Ecol. Monogr. 65: 0441-476.
- GUARDIA, C. 1988. Efecto de los fuegos en árboles y arbustos de los montes conquenses. Excma. Diputación Provincial de Cuenca. 110 p.
- HALTENHOFF, H. 1999. Evaluación Nacional de la Ocurrencia de Incendios Forestales. Corporación Nacional Forestal-Empresas Forestales, Chillan.
- IGM. 1984. Geografía de Chile, Hidrografía, Campos de Hielo Sur. Instituto Geográfico Militar. Chile 246-247 p.
- ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE PUERTO NATALES. 2008- 2012. Plan estratégico de desarrollo de la comuna de Puerto Natales. Antecedentes generales 8p.
- ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE PUERTO NATALES. 2009. “Puerto Natales Encanto Patagónico”.
- INE. 2005. Estadísticas del Medio Ambiente. Instituto Nacional de Estadística. Santiago-Chile.
- JOHNSON, K.N.; SESSIONS, J.; FRANKLIN, J.; GABRIEL, J. 1998. Integrating wildfire into strategic planning for Sierra Nevada forest. Journal of Forestry 96, N°1: pág 42-49.

- JOHNSTON, M and ELLIOTT, J. 1998. The effect of fire severity on ash, plant and soil nutrient levels following experimental burning in a boreal mixedwood stand. *Canadian Journal of Soil Science* 78:35-44.
- JULIO, G. 1973. *Fundamentos del Control de Incendios Forestales*. Corporación Nacional Forestal-Instituto Forestal, Santiago. Chile.
- JULIO, G. 1992. *Método de Determinación de Prioridades de Protección*. Manual N° 10, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Depto. Manejo de Recursos Forestales, Santiago. 27 p.
- JULIO, G. 1996. *Fundamentos del Manejo del Fuego para la Prevención y Combate de los Incendios Forestales*. Curso de Incendios Forestales, Universidad Austral de Chile. Valdivia. Chile. 267p.
- JULIO, G. 1999. *Fundamentos del Manejo del Fuego*. Universidad de Chile. Depto. Manejo de Recursos Forestales, Santiago, 312 p.
- JULIO, G. 2002. La Importancia de la Prevención. *Lignum*. N° 60 Noviembre:18 -23.
- JULIO G, BOSNICH J. 2005. *Fundamentos del Manejo de Fuego*. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia. Chile. 285p.
- JULIO, G; CASTILLO, E y PEDERNERA, P. 1995. Modelación de Combustibles. EN: *Prognosis y Gestión en Control de Incendios Forestales*. Actas del Taller Internacional Proyecto FONDEF. Santiago de Chile. 254p.
- JUNTA DE ANDALUCÍA. 2004. Junta de Andalucía. *Manual de Formación para la Lucha Contra Incendios Forestales*. 22 Oct. 2010
http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/incendios/manual_incendios/manual.html
- LEVIN, J. M. and D`ANTONIO. C. M. 1999. Elton revisited: a review of evidence linking diversity and invisibility. *OIKOS* 87: 15-26p.
- LIEBANA, P; RIBARROCHA, V. 1981. *El bosque y los incendios forestales*. Diputación Provincial de valencia. Valencia.
- LÓPEZ, F. MELÉNDEZ J. AND DE CASTRO A. 2005. *Los Incendios Forestales*. Aspectos medioambientales y tecnológicos. Laboratorio de sensores medioambientales. Universidad Carlos III de Madrid.

- MARTÍNEZ RUIZ, E. 1996. Tres sierras tres culturas. Acabemos con los incendios forestales en España. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 349 p.
- MARTIN, R., and SAPSIS, D. 1992 Fires as Agents of Biodiversity: Pyrodiversity Promotes Biodiversity. In *Proceedings of the Symposium on Biodiversity of Northwestern California*. Wildland Resources Center Report No. 29, edited by R. Harris, D. Erman, (technical coordinators), and H. Kerner, pp. 150-157. University of California, Berkeley, California.
- MATAIX, J. 1999. Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por Incendios Forestales. Contribución a su conservación. Tesis de Doctorado de Ciencias. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante. España. 321 p.
- MUÑOZ, R. 2009. Definición de zonas prioritarias de protección para la comuna de Punta Arenas, región de Magallanes y Antártica Chilena. Tesis Universidad Católica Temuco. Temuco-Chile 60 p.
- NAVARRO R, HAYAS, GARCÍA A, HERNÁNDEZ ROCÍO, DUHALDE P, GONZÁLEZ L. 2008. Caracterización de la situación post incendio en el área afectada por el incendio de 2005 en el Parque Nacional de Torres del Paine (Chile) a partir de imágenes multiespectrales. *Revista Chilena de Historia Natural*. 2008. 81(1): 95-110.
- NAVEH, Z. 1990. The role of fire and its management in the conservation of mediterranean ecosystems and landscapes. UIMP. 37-52. Valencia.
- ORTIZ, R. 1990. Mecanismos y procesos de degradación del suelo con especial referencia a las condiciones ambientales mediterráneas. Degradación y regeneración del suelo en condiciones ambientales mediterráneas. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). 47-68.
- PACHECO, P; NUÑEZ. 2010. Manual de Protección del Predio Rucamanque. Departamento de Ciencias Forestales. Universidad de la Frontera. Temuco, Chile.
- PARDE, J. 1978. El microclima del bosque en Ecología Forestal. Pesson ed. Mundi. Prensa. Madrid.
- PARDO, R. 1999. Determinación de zonas prioritarias de protección como base para la elaboración del plan de protección contra incendios forestales para el parque nacional Conguillío, IX region de la Araucanía. Tesis Universidad de la Frontera. Temuco, Chile. 122 p.
- PEÑA, M. 2007. Correcciones de una imagen satelital ASTER para estimar parámetros vegetacionales en la cuenca del río Mirta, Aysén. *Revista Bosque (Chile)*. 28 (2): 162-172.
- PISANO, E. 1974. Estudio Ecológico de la Región Continental Sur del Área Andina Patagónica. *Anales del Instituto de la Patagonia*. 104. 1974.

- PRITCHETT, W.L. 1986. Suelos Forestales. Limusa. México, D.F. 634 p
- REYES, M.; CASTILLO, C.; MASCAREÑO, M.; BASSABER, C.; HERNÁNDEZ, A. 2002. Evaluación del Sistema de Torres de Detección de incendios forestales en la IX región de la Araucanía. Taller de SIG y Teledetección en Ecología, Alcalá de Henares, Universidad de Alcalá, 21 y 22 de Noviembre, 2002.
- RODRÍGUEZ, D.A. 1996. Incendios Forestales. Mundi-Prensa. México. 630 p.
- ROS, J.; TEJERO, A. 1987. Acciones para la protección de la zona del mediterráneo. Monografías de la Dirección General del Medio Ambiente. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. 171 P.
- SAATY, T. 1977. "A scaling method for priorities in hierarchical structures". Journal of Mathematical Psychology. Vol 15. New York.
- SAATY, T. 1980. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, and Resource Allocation. McGraw-Hill, New York.
- SALVADOR, R y LLORET F. 1995. Germinación en el laboratorio de varias especies arbustivas mediterráneas: efecto de la temperatura. Universidad Autónoma de Barcelona. Centro de Reserva Ecológica y Aplicaciones Forestales.
- SCHINDLER, DW., FROST TM., MILLSKH., CHANG, PSS., DAVIES IJ., FINDLAYDL., MALLEYDF., SHEARER, JATURNER MA., GARRISON, PJ., WATRAAS, CJ., WEBSTER, K., GUNN, JM., BREZONIK, PL & SWENSON W.A. (1991) Comparisons between experimentally-and atmospherically-acidified lakes during stress and recovery. Proc. Roy. Soc. Edinb. 97B: 193–22
- SEMARNAT. 2000. Texto Guía Forestal. Subsecretaría de Recursos Naturales, Dirección General forestal-México, D.F. 150 p. 29 oct. 2010. <http://www.semarnat.gob.mx/incendios/nueva/deteccion.shtml#tipos>
- SEMARNAT. 2001. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales "Generalidades- Incendios Forestales" México D.F. 104 p. 29 oct. 2010. <http://www.semarnat.gob.mx/incendios/generalidades.html>
- SEPÚLVEDA, J.; CRUZ, J.R.; ZÚÑIGA, W. 1999. Experiencias sobre incendios forestales en Baja California en el periodo 1996-1998. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 107 p.

- VOGL, R.J. 1977. Fire: a destructive menace or natural process?. Recovery and restoration of damaged ecosystems. Cairns, J.J.; Dickson, K. L.; Herricks, E.E.. Cahrlotesville, University Press of Virginia. 78 p.
- VOGL, R.J. 1980. The ecological factors that produce perturbation dependent ecosystems. The recovery process in damaged ecosystems. Cairns, J. Ann Arbor (Mich.), Arn Arbor Science Publishers Inc. 94 p.
- WORLD CLIM. 2005. Global climate model. Citado 20 Nov. 2010, disponible en <http://www.worldclim.org/>
- ZÁRATE, L. 2004. Estudio de las características físicas y geométricas de la llama en los incendios forestales. Tesis Doctor Ciencias Químicas. Departament d'Enginyeria Química. Escola Tècnica Superior d'Enginyers Industrials de Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, España. 234 p

8. ANEXOS

Anexo 1. Panel de expertos, determinación de zonas prioritarias de protección contra incendios forestales para la comuna de Puerto Natales.

Nombre	Institución	Cargo
Rodrigo Fernández	CONAF Magallanes	Jefe de Brigada del DEPRIF
René Cifuentes	CONAF, Región de Magallanes	Jefe Regional DEPRIF
Michael Arcos	CONAF, Provincia Última Esperanza	Jefe Provincial
Rolando Pardo	CONAF, Región de la Araucanía	Jefe Departamento de Manejo del Fuego
Nelson Ojeda	Universidad de La Frontera	Académico
Alejandro Espinosa	Universidad de La Frontera	Académico

Anexo 2. Plantilla AHP

Escala de Saaty, 1980.

1	3	5	7	9
Los elementos C y F tienen la misma importancia	El elemento C es ligeramente más importante que el elemento F	El elemento C es más importante que el elemento F	El elemento C es fuertemente más importante que el elemento F	El elemento C es muy fuertemente más importante que el elemento F

C se refiere a columna y F la fila

Factores de la variable Riesgo

AHP	Ocurrencia Histórica (C1)	Densidad de Tránsito (C2)	Densidad Poblacional (C3)	Faenas Agroforestales (C4)	Actividades de Recreación (C5)	Prácticas Militares (C6)
Ocurrencia Histórica (F1)	1					
Densidad de Tránsito (F2)		1				
Densidad Poblacional (F3)			1			
Faenas Agroforestales (F4)				1		
Actividades de Recreación (F5)					1	
Prácticas Militares (F6)						1

Factores de la variable Peligro

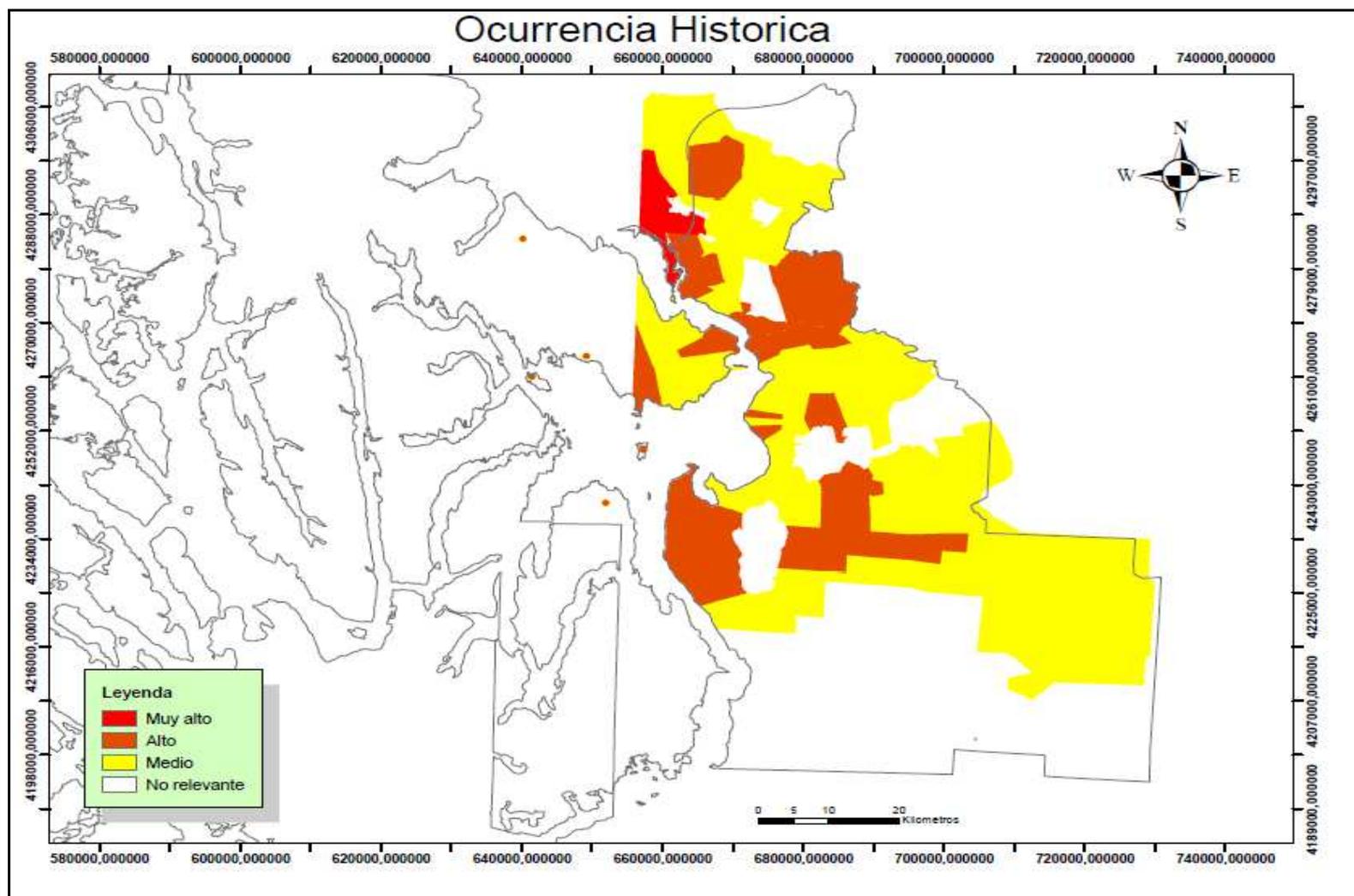
AHP	Velocidad de Propagación (C1)	Resistencia al Control (C2)	Pendiente (C3)	Clima (C4)
Velocidad de Propagación (F1)	1			
Resistencia al Control (F2)		1		
Pendiente (F3)			1	
Clima (F4)				1

Factores de la variable Daño Potencial

AHP	Valor de las Especies (C1)	Construcciones (C2)	Valor Socio-Económico (C3)	Sitios Especiales (C4)
Valor de las Especies (F1)	1			
Construcciones (F2)		1		
Valor Socio-Económico (F3)			1	
Sitios Especiales (F4)				1

Variables

AHP	Riesgo (C1)	Peligro (C2)	Daño Potencial (C3)
Riesgo (F1)	1		
Peligro (F2)		1	
Daño Potencial (F3)			1

Anexo 4 Análisis factores de riesgo, peligro y daño potencial**Figura 25.** Ocurrencia histórica

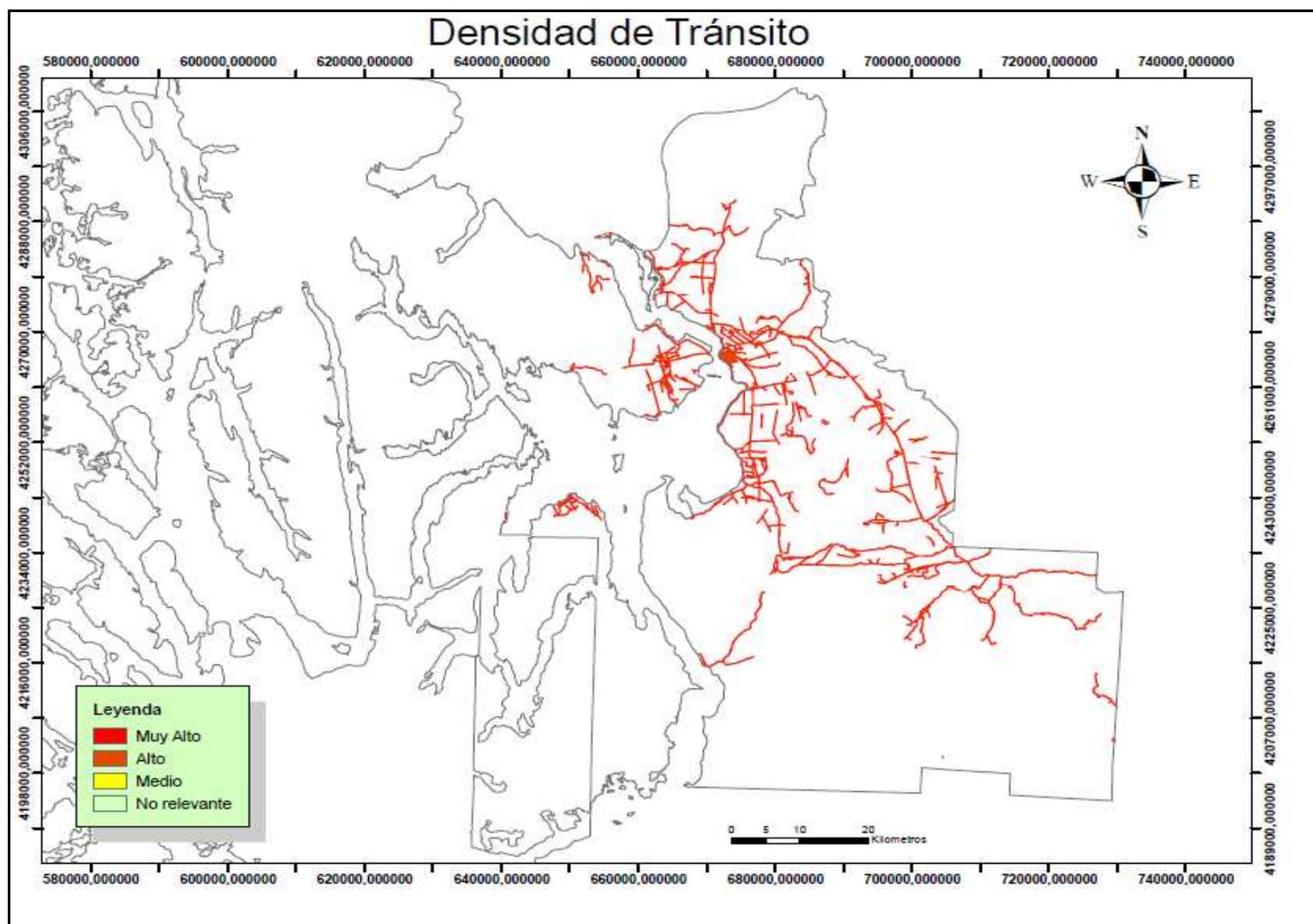


Figura 26: Densidad de tránsito

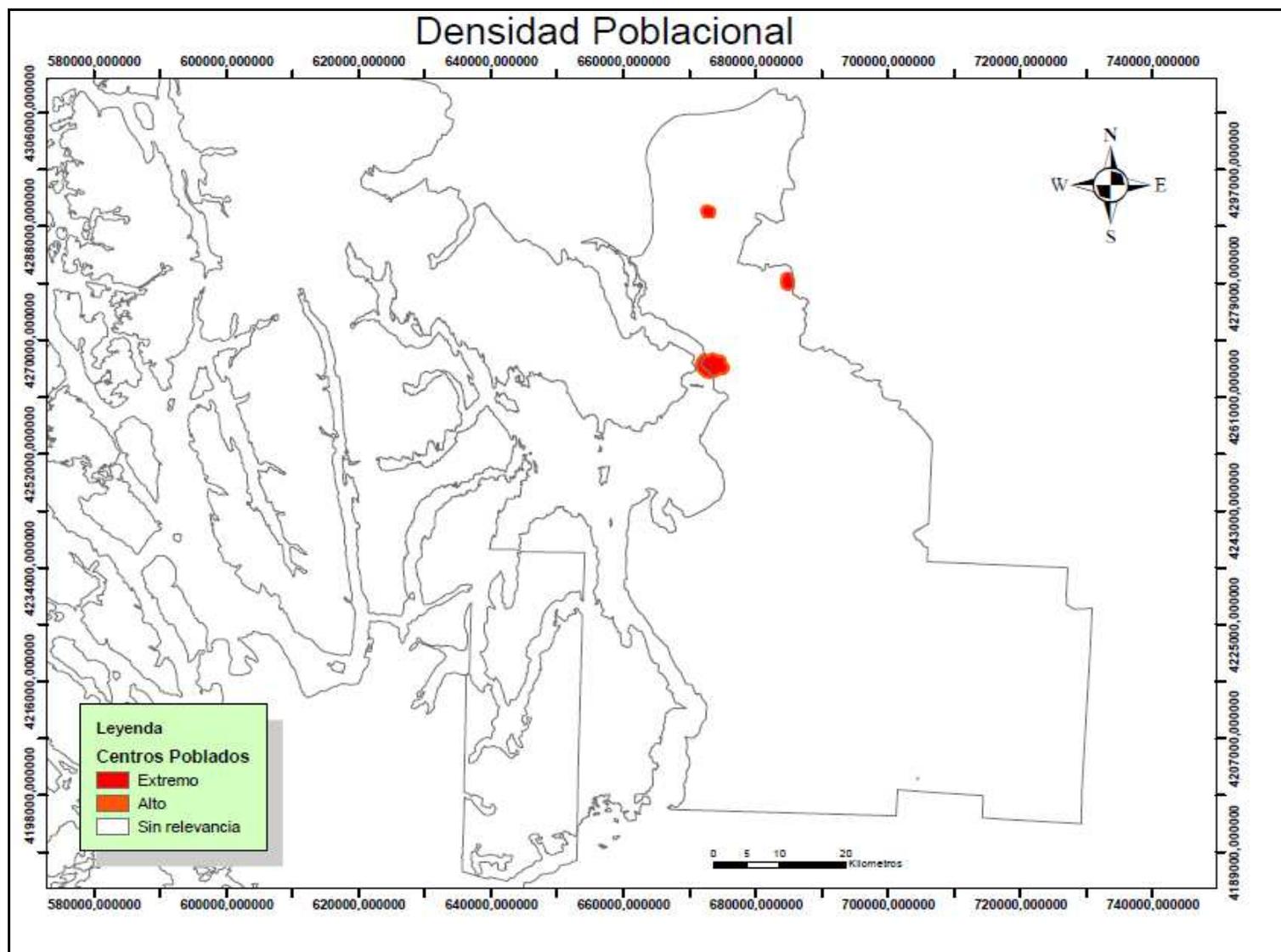


Figura 27: Densidad Poblacional

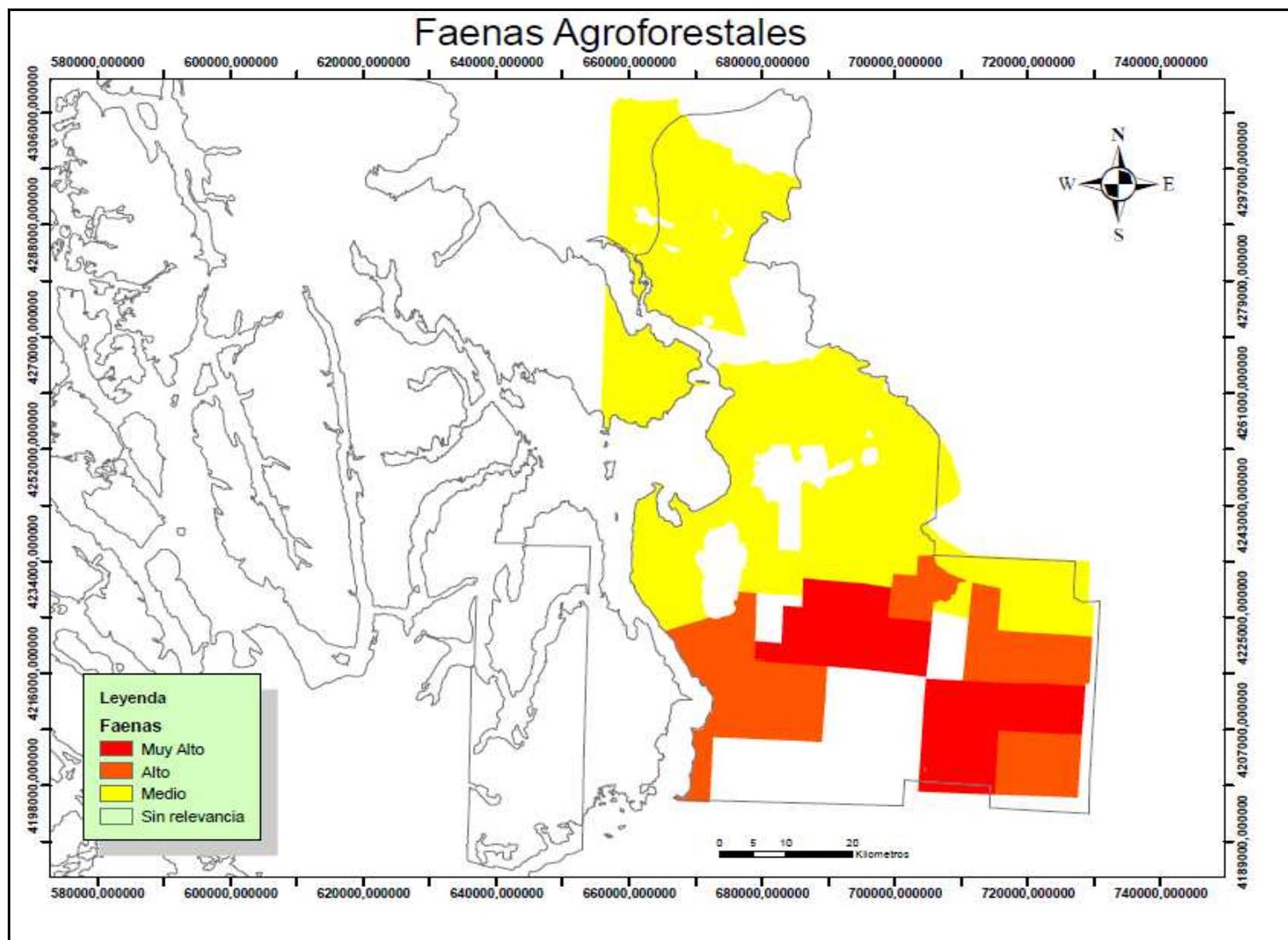


Figura 28: Faenas agroforestales.

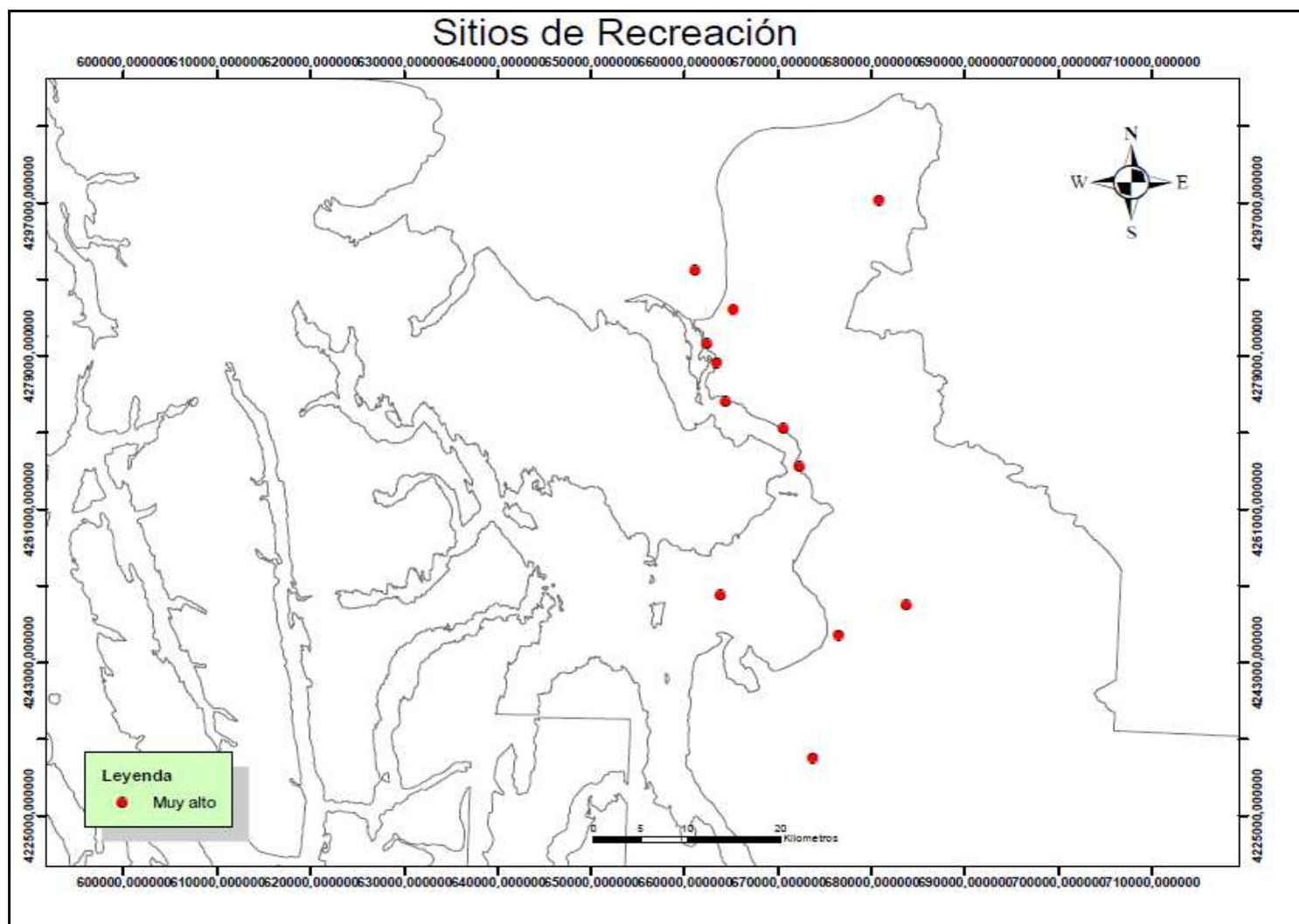


Figura 29. Centros de recreación

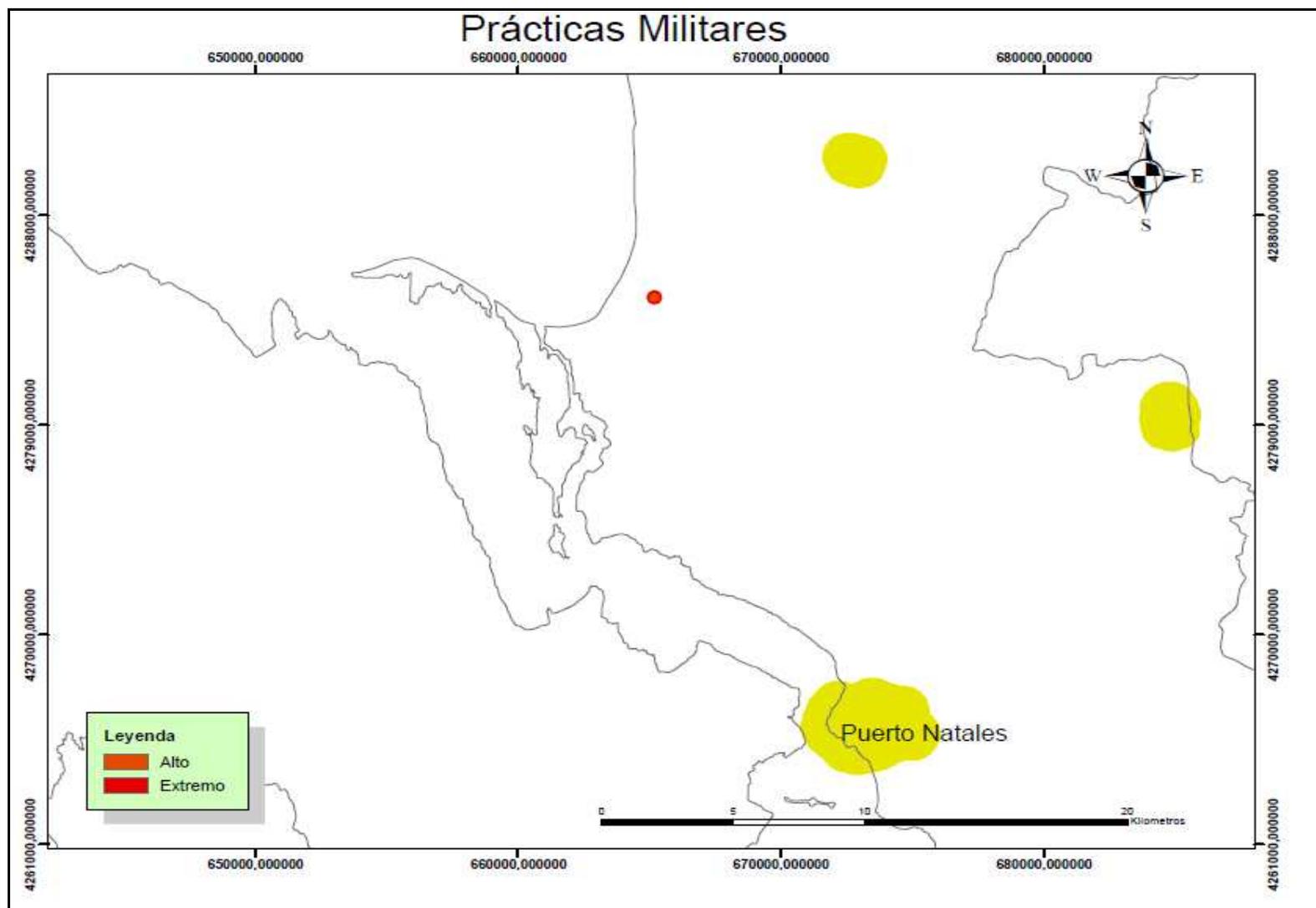


Figura 30. Actividades Militares

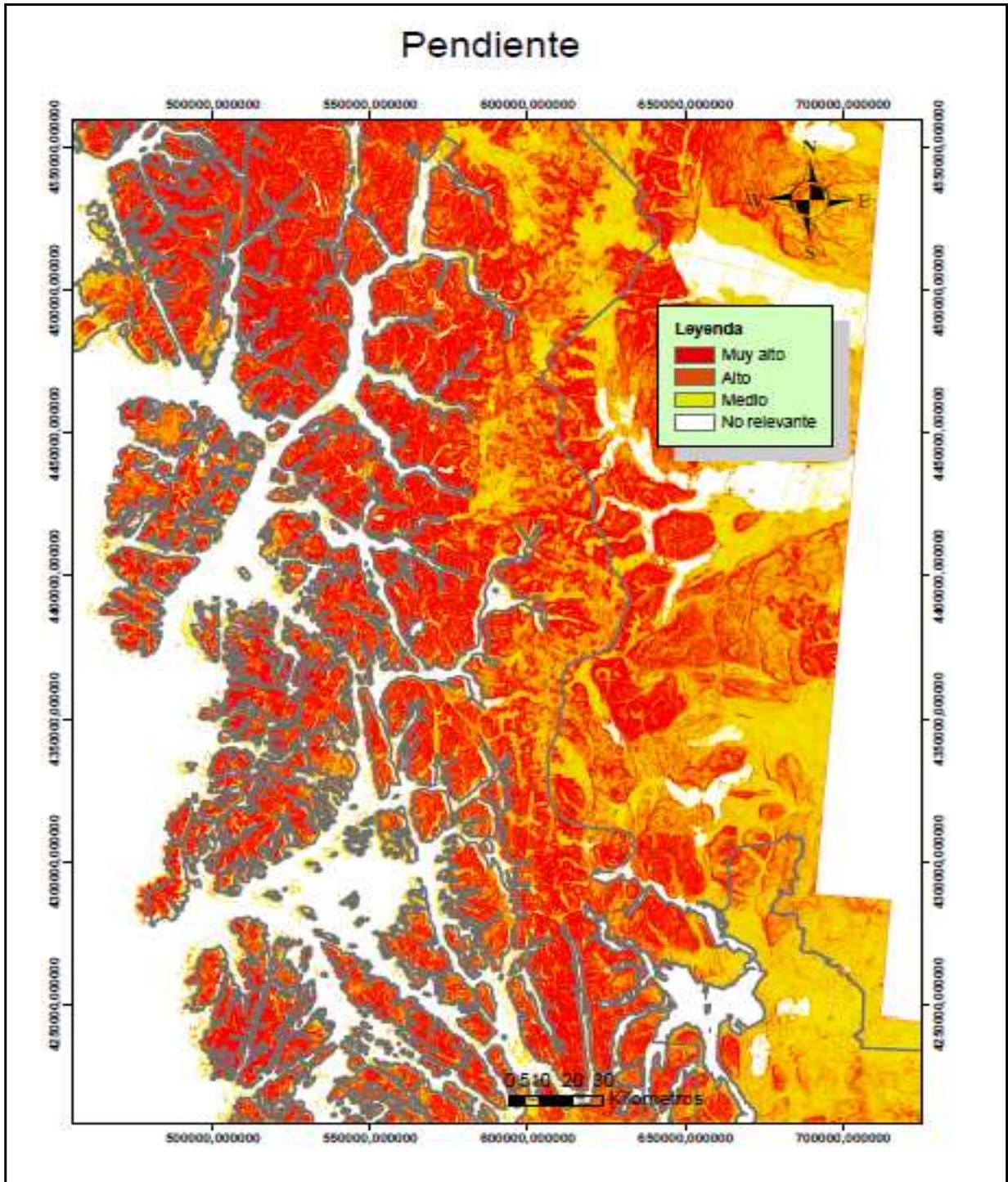


Figura 31: Modelo de elevación, comuna de Puerto Natales.

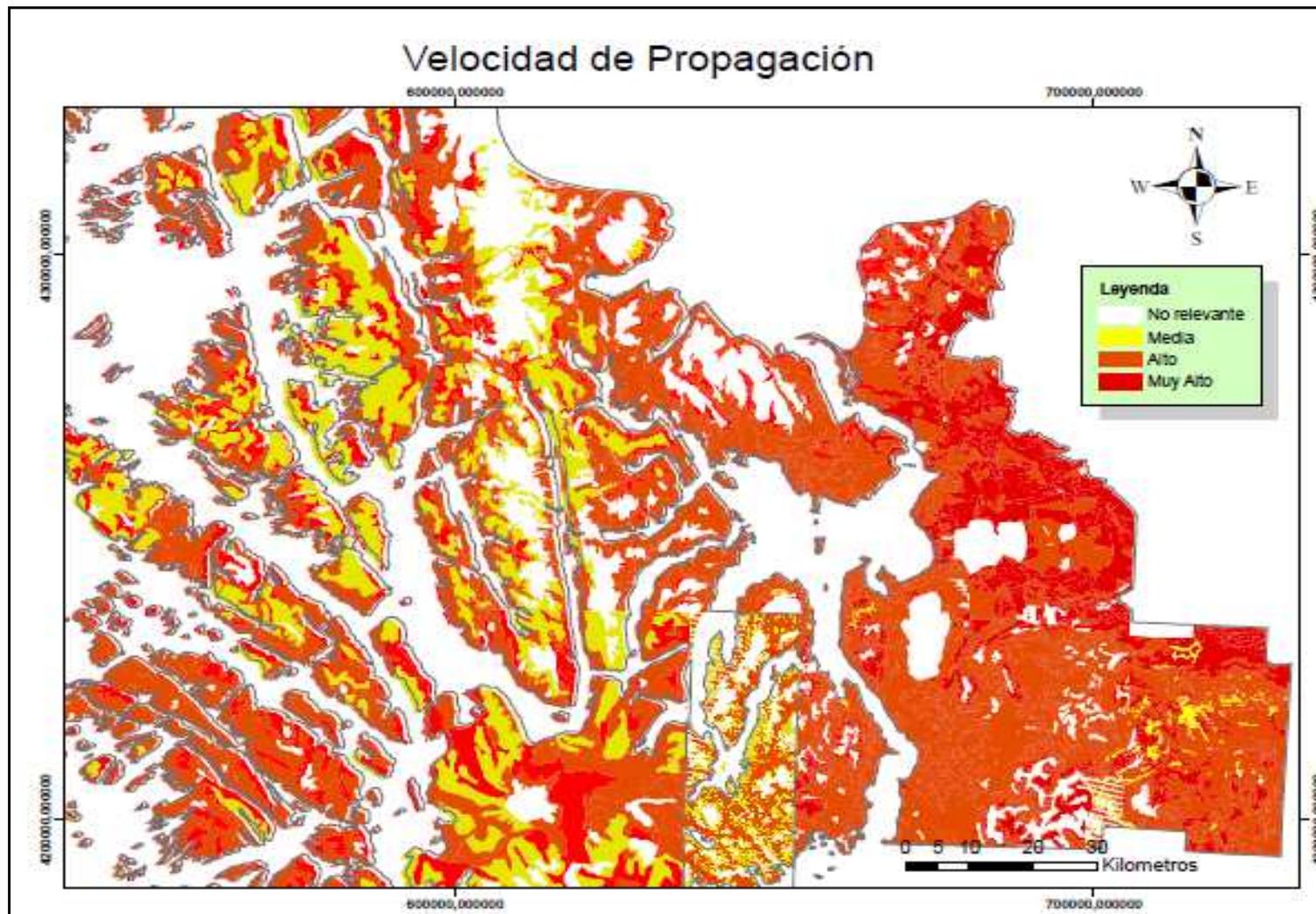


Figura 32. Velocidad de Propagación

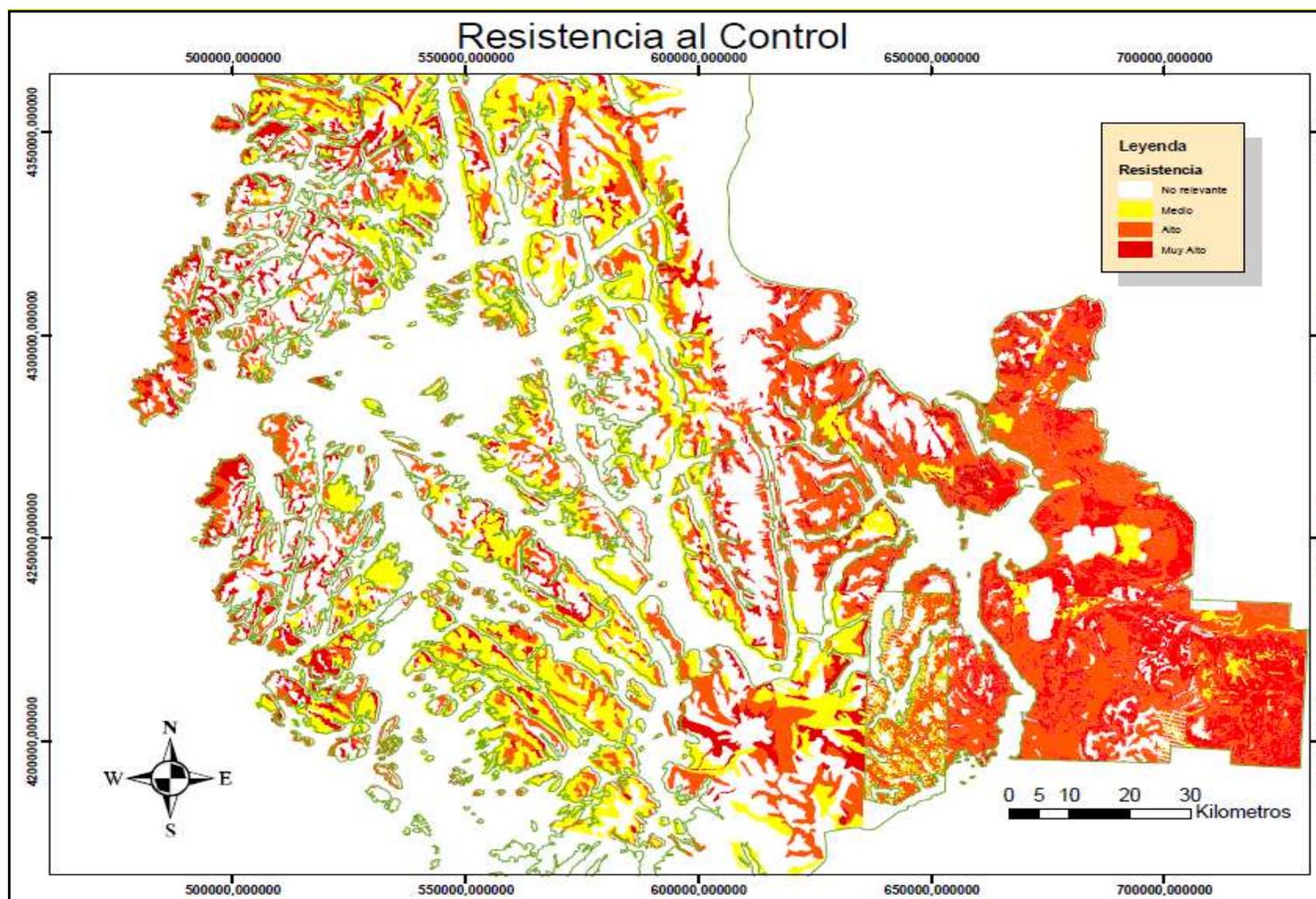


Figura 33: Resistencia al Control

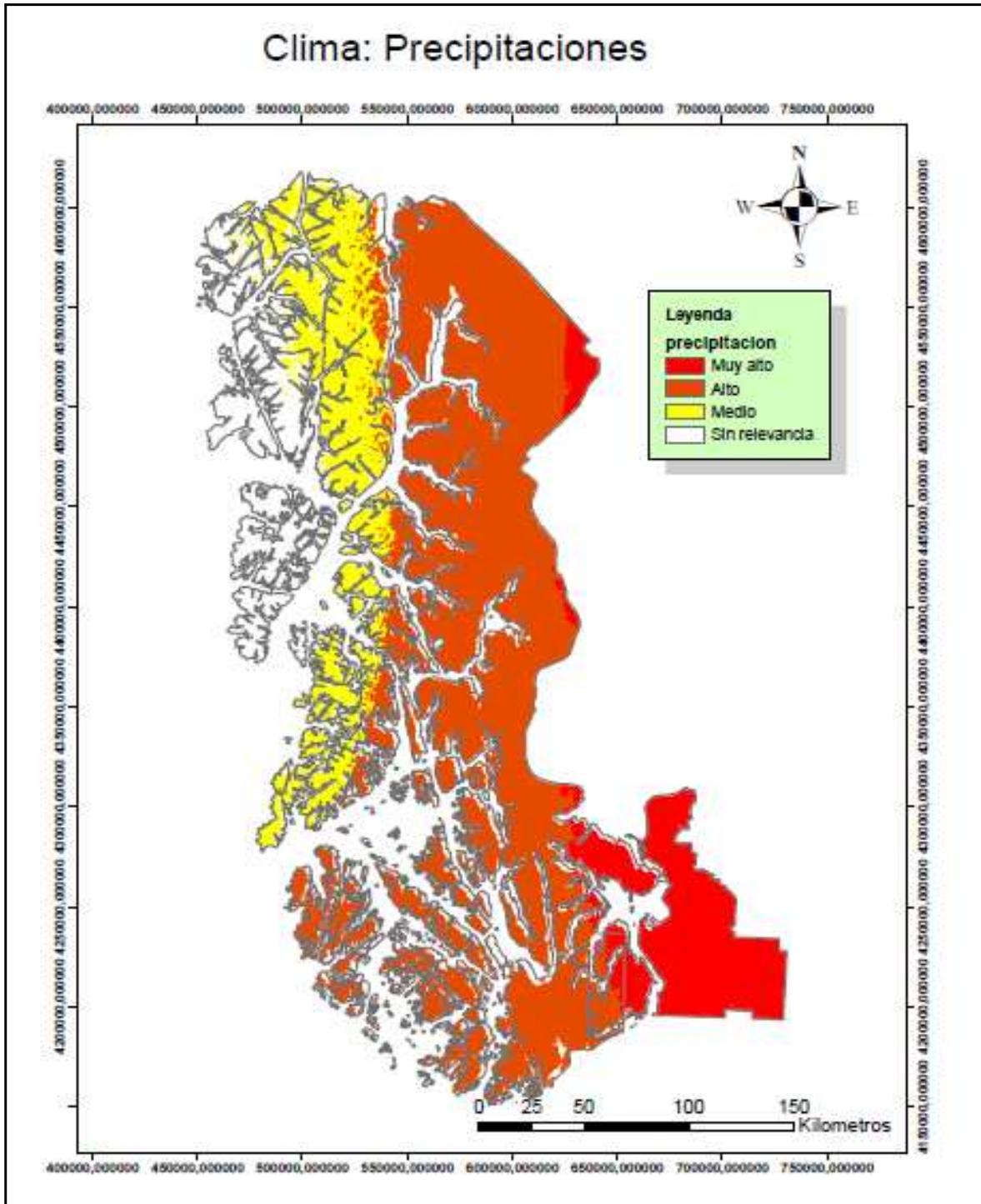


Figura 34: Precipitaciones promedio de febrero.

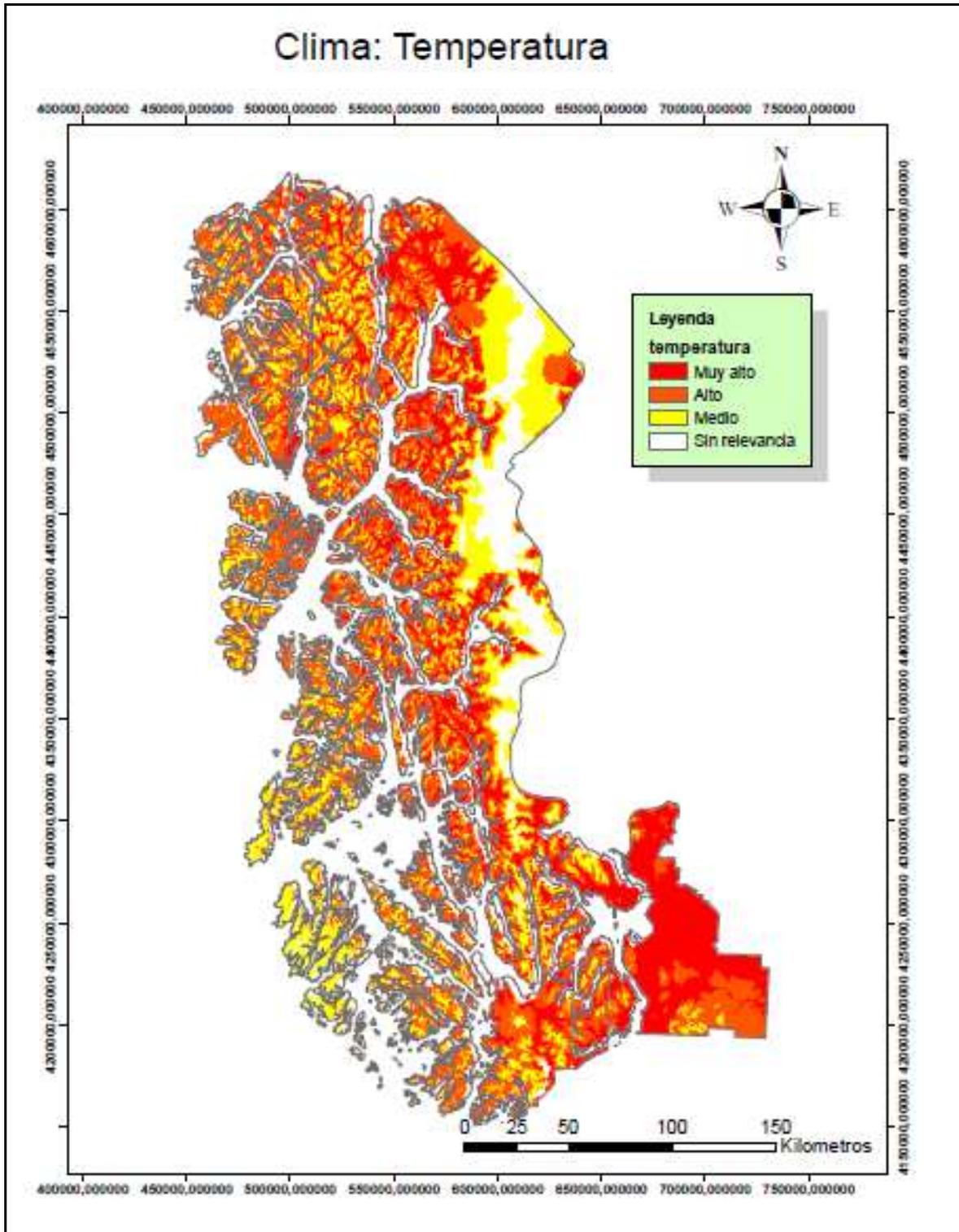


Figura 35: Rangos de temperaturas mes de febrero

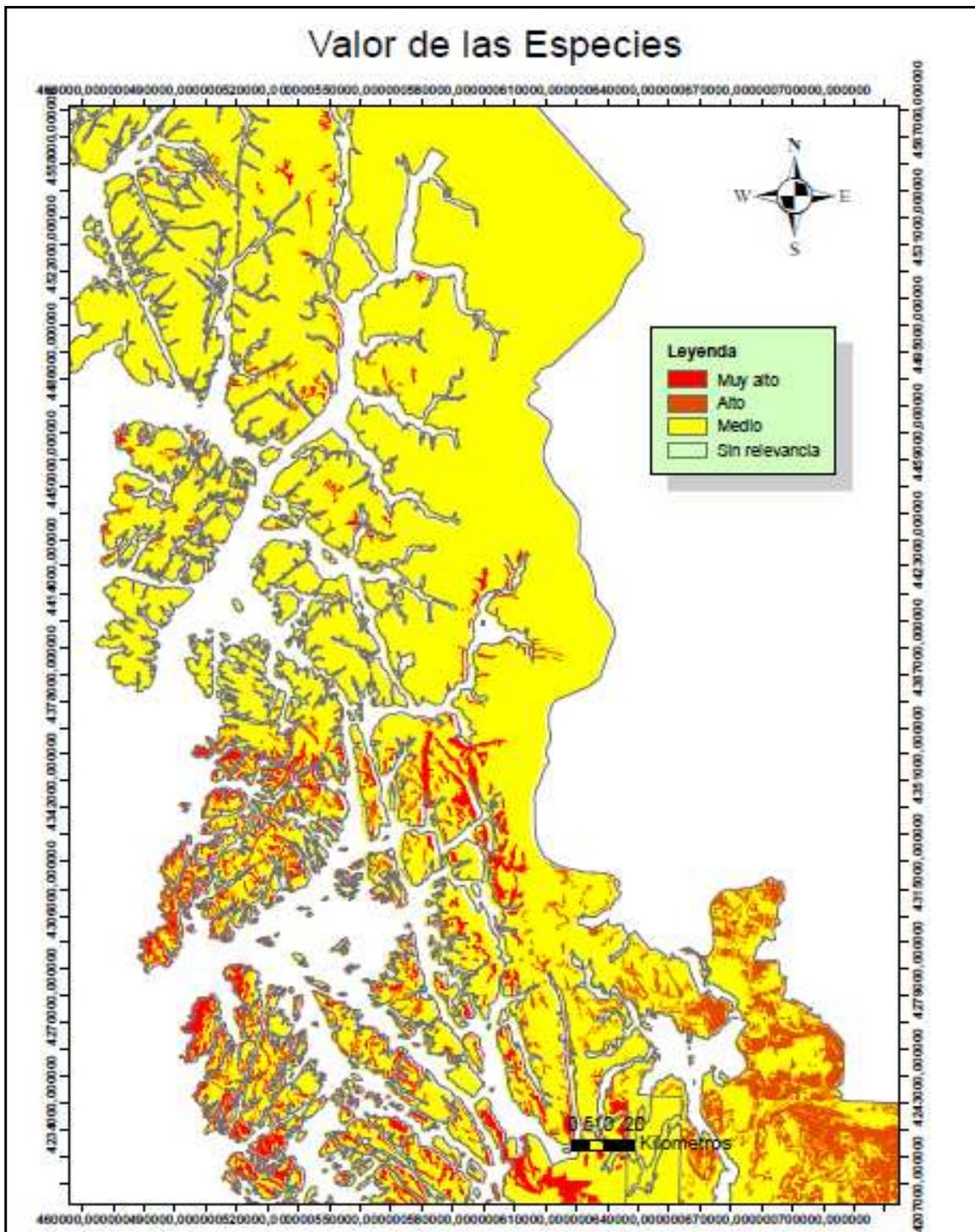


Figura 36: Valor de las especies

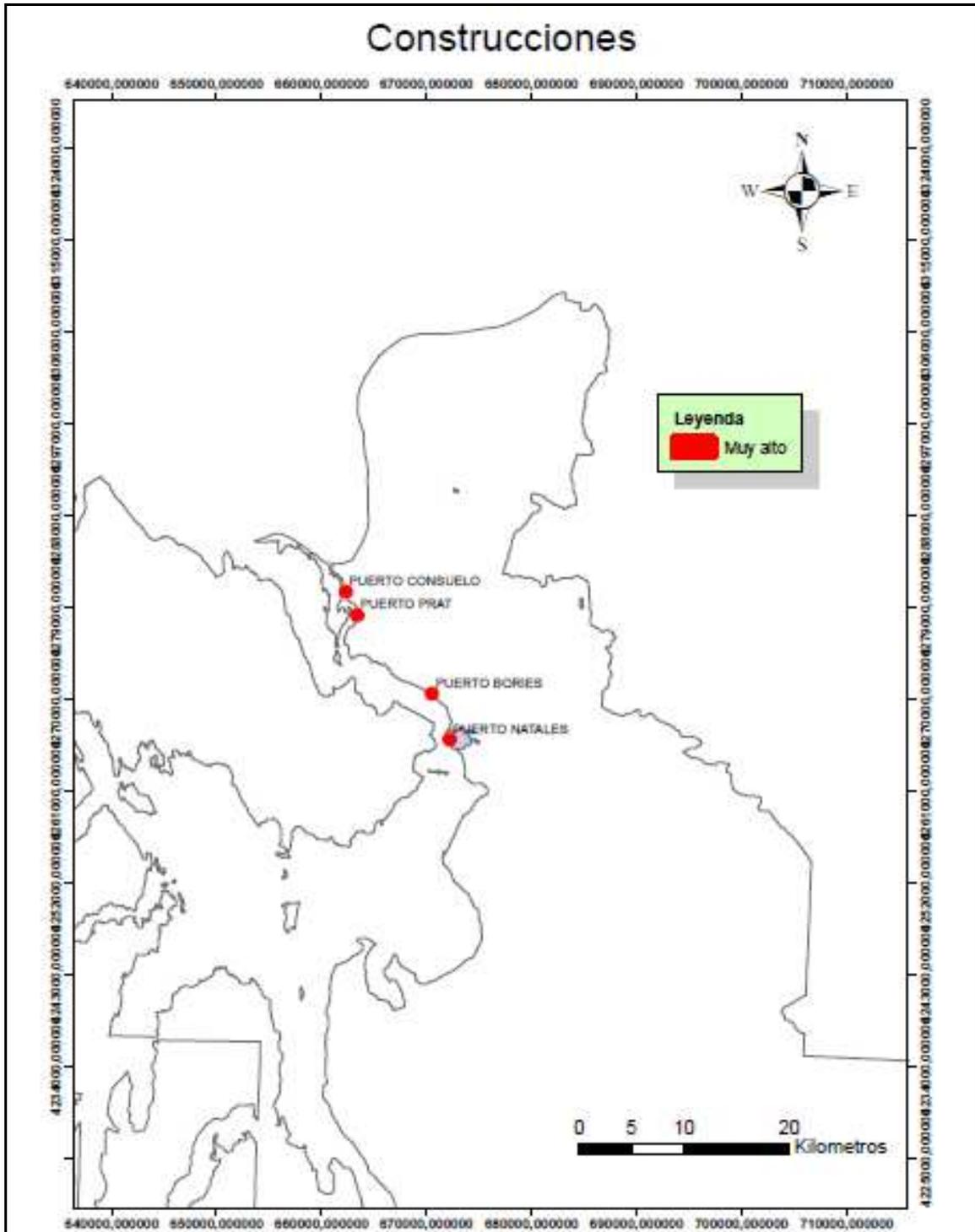


Figura 37: Construcciones

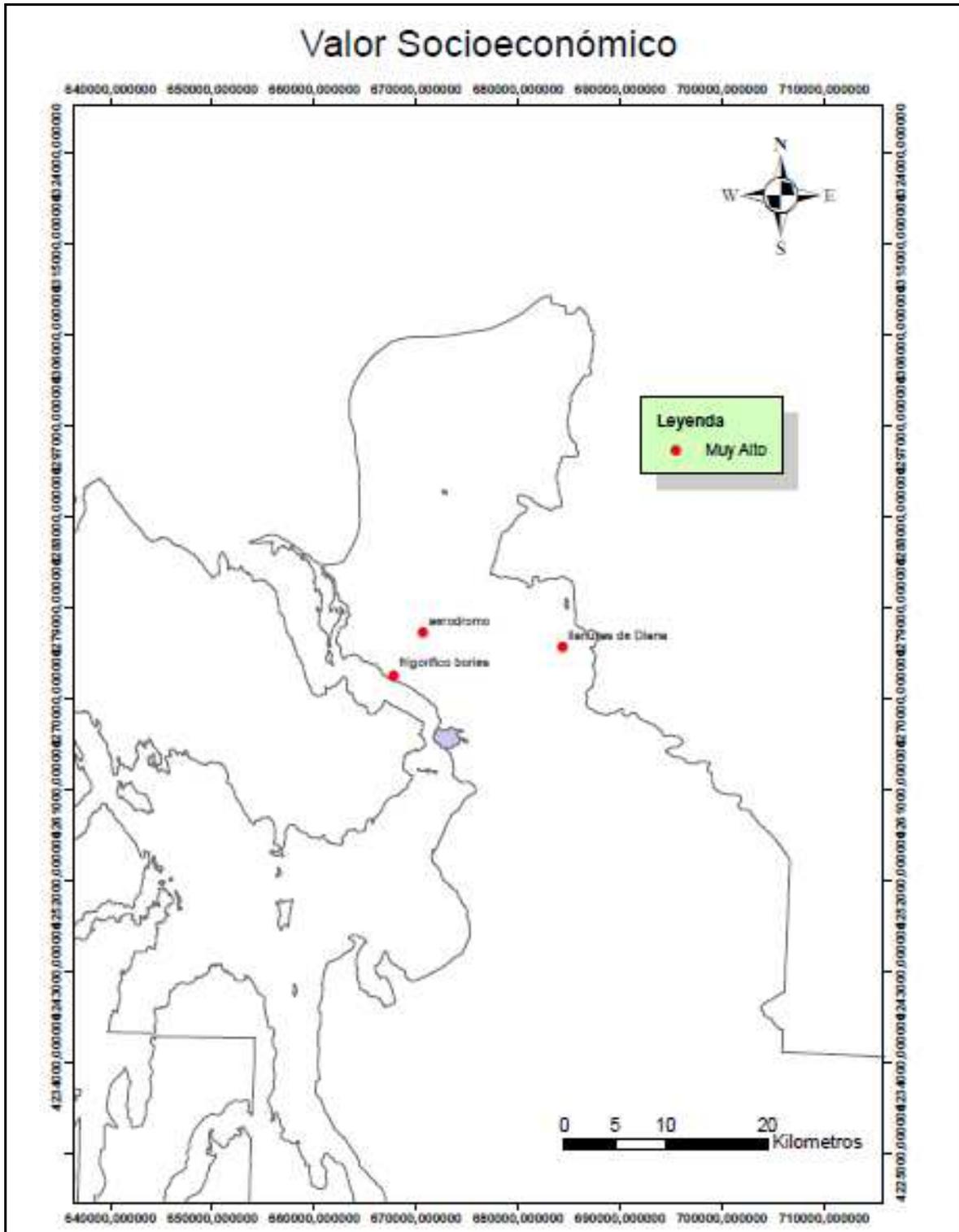


Figura 38: Valor socio-económico

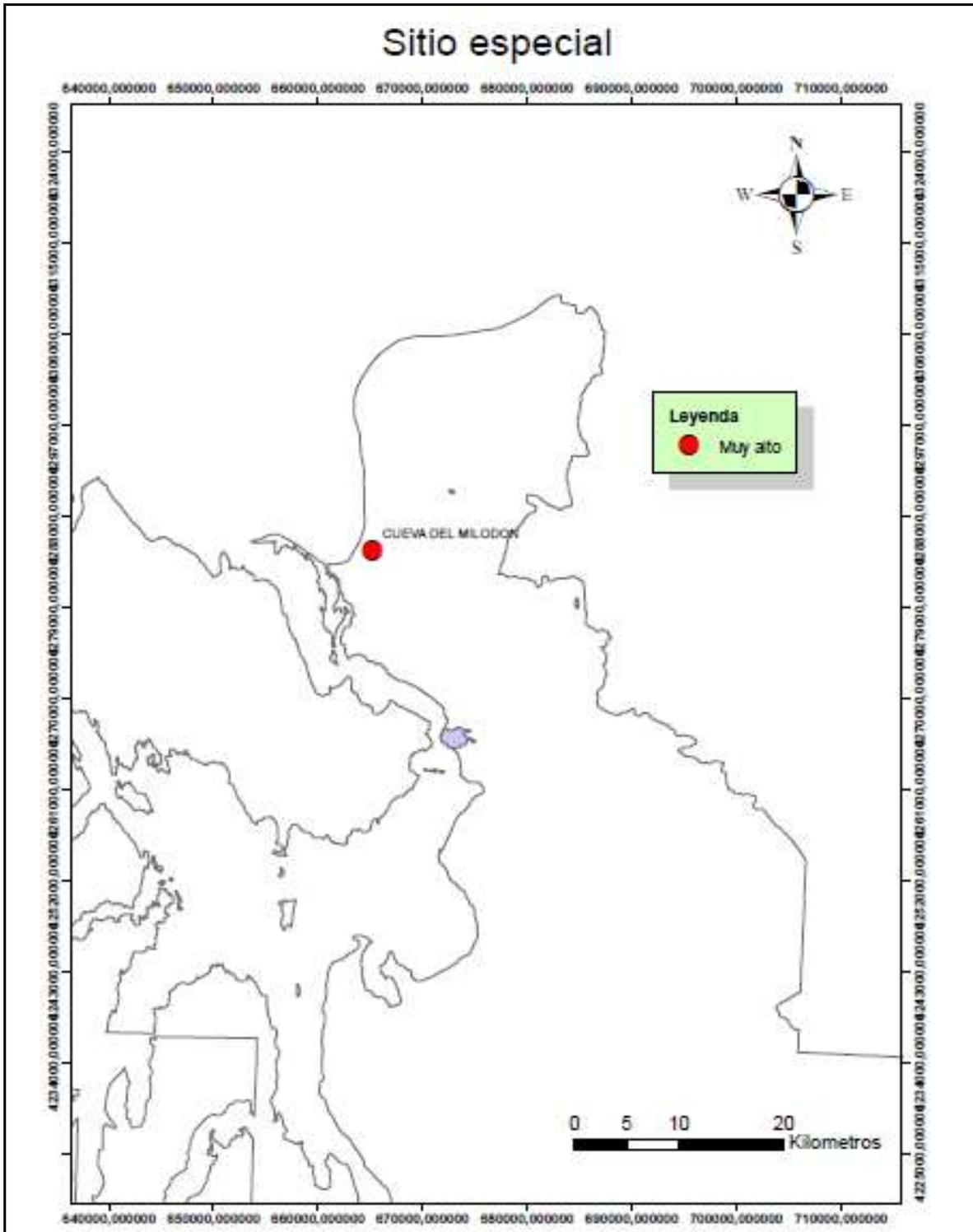


Figura 39: Sitio especial