



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES

DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA

**DETERMINACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LA RADIACIÓN
COMO FACTOR FÍSICO Y FACILITADOR ECOLÓGICO EN EL
SANTUARIO “CERRO EL ROBLE”
(REGIÓN METROPOLITANA)**

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero Forestal

MARCELO FELIPE IBARRA BASOALTO

Profesor Guía: Dr. Rodolfo Gajardo Michell

Santiago, Chile

2008

**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA**

**DETERMINACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LA RADIACIÓN
COMO FACTOR FÍSICO Y FACILITADOR ECOLÓGICO EN EL
SANTUARIO “CERRO EL ROBLE”
(REGIÓN METROPOLITANA)**

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero Forestal

MARCELO FELIPE IBARRA BASOALTO

| Calificaciones: | Nota | Firma |
|---|------|-------|
| Prof. Guía Dr. Rodolfo Gajardo Michell | 6.0 | _____ |
| Prof. Consejero Dra. Karen Peña Rojas | 5.0 | _____ |
| Prof. Consejero Dr. Juan Caldentey Pont | 6.0 | _____ |

INDICE DE FIGURAS

| | | |
|---|---------------|------------------------------|
| Rectificación de la capa comunidades vegetales en el <i>software</i> GEP; | Error! | Marcador no definido. |
| Modelo de exposición del Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble; | Error! | Marcador no definido. |
| Modelo de asoleamiento del Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble | Error! | Marcador no definido. |
| Relación entre el nivel de asoleamiento y las formaciones boscosas en el Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble..... | Error! | Marcador no definido. |
| Gráfico de la ponderación de las variables y frecuencia | Error! | Marcador no definido. |
| Imágenes del grupo uno, dos, tres y cuatro con su respectiva asociación de ponderación | Error! | Marcador no definido. |

INDICE DE CUADROS

| | | |
|--|---------------|------------------------------|
| Valorización de las especies dominantes en las formaciones boscosas | Error! | Marcador no definido. |
| Exposición solar y su valorización | Error! | Marcador no definido. |
| Nivel de cobertura y valorización respectiva | Error! | Marcador no definido. |
| Tipos de pendientes, su rango y valorización..... | Error! | Marcador no definido. |
| Rangos de altitud y su valorización..... | Error! | Marcador no definido. |
| Tipo de erosión y su valorización..... | Error! | Marcador no definido. |
| Rangos de altitud y su valorización..... | Error! | Marcador no definido. |
| Tipos de exposición, ocurrencia y su porcentaje en la ladera del Cerro el Roble .. | Error! | Marcador no definido. |
| Ponderaciones de pendiente de la ladera del Cerro el Roble; | Error! | Marcador no definido. |
| Unidades de roble en diferentes intensidades promedio de radiación solar | Error! | Marcador no definido. |
| Especies a diferentes niveles de radiación, con sus respectivas unidades por nivel, porcentaje específico por especie y total dentro de la ladera; | Error! | Marcador no definido. |

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN

ABSTRACT

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. MATERIAL Y MÉTODOS | 5 |
| 2.1 Materiales..... | 5 |
| 2.2 Métodos..... | 5 |
| 2.2.1 Proceso para obtener del índice de asoleamiento..... | 5 |
| 2.2.2 Proceso para estimar la relación del índice de asoleamiento con las formaciones vegetales residentes en el Cerro el Roble | 7 |
| 2.2.3 Proceso para estimar restricciones espaciales en el Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble..... | 8 |
| 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 14 |
| 3.1. Generación del mapa indicador de asoleamiento relativo..... | 14 |
| 3.1.1 Proceso de corrección geográfica de capas digitales | 14 |
| 3.1.2. Creación del mapa de exposición del Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble | 15 |
| 3.1.3. Generación del mapa de radiación solar, como indicador de asoleamiento | 16 |
| 3.2 Relación del modelo de asoleamiento con las comunidades vegetales residentes..... | 18 |
| 3.3. Generación de un valor de estimación, para establecer medidas locales de conservación..... | 21 |
| 3.3.1 Establecimiento de un valor para las diferentes superficies..... | 21 |
| 4. CONCLUSIONES..... | 25 |
| 5. BIBLIOGRAFÍA..... | 27 |
| 6. ANEXOS | 30 |
| 6.1. Anexo uno | 30 |
| 6.2. Anexo dos | 31 |
| 6.3. Anexo tres | 32 |

RESUMEN

El estudio tiene como propósito determinar la influencia de la radiación solar en las comunidades vegetales, que se encuentran en ladera sureste, del Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble, Comuna de Til-Til, Provincia de Chacabuco, Región Metropolitana.

El comportamiento de las comunidades vegetales residentes no son únicamente influidas por la mayor o menor radiación solar incidente; también influye la exposición, la altitud, el recubrimiento vegetal o cobertura, entre otras variables biofísicas, las que en su conjunto conforman un microclima específico, dentro del gran biotopo del macizo montañoso Cerro del Roble.

Para poder estimar la influencia de la radiación solar en las comunidades vegetales residentes, se recurrió a la información de la Nacional Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), que entrega mediciones de la máxima radiación solar recibida, en diferentes períodos del año 2007. A estos valores se les aplica la ley del coseno de oblicuidad para poder determinar la radiación solar máxima efectiva incidente y así generar un índice de asoleamiento relativo potencial local.

De los resultados obtenidos, se concluye que los máximas radiaciones solares se presentan en períodos de verano (diciembre - enero), en el sector suroeste de la ladera en alturas por sobre los 1600 msnm, mientras que los mínimos se producen en invierno (mayo - junio), en el sector noreste del macizo montañoso en sectores de quebradas a 800 msnm..

Al mapa de asoleamiento relativo se contrastó con las comunidades vegetales presentes. Con esta acción, se pudo determinar las áreas en que la vegetación de roble blanco (*Nothofagus macrocarpa* (A. DC.) Vasq et Rodr.), las de mayor interés para el estudio, reciben mayor radiación solar durante el año.

Como resultado se elaboraron diferentes mapas, en dónde las comunidades vegetales, principalmente *Nothofagus macrocarpa*, se ven afectadas en menor o mayor grado por las diferentes variables biofísicas, que definen al biotopo.

Palabras Claves: *Nothofagus macrocarpa*, Radiación solar, Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble.

ABSTRACT

The study has as intention to determine the influence of the sun exposure in the south-east slope of the Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble, located in the Comuna of Til Til, Provincia of Chacabuco, Region Metropolitana.

The behavior of the resident plants communities are not only influenced by the degree solar radiation incident, also influences the exposure, altitude, the resource plant cover, among other biophysical variables, which as whole conform a microclimate specific of the mountain Cerro el Roble.

In order to estimate the influence of the sun exposure, was used information from the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), that gives measurements of the maximum received solar radiation in different periods from year 2007. To these values are applied the law of the cosine of obliquity to determine the solar radiation maximum effective incident and with this to generate an index of asoleamiento local potential.

Of the obtained results, we conclude that the maximum sun exposure occur in periods of summer (December - January) in the southwestern sector of the slope, whereas the minimum take place in winter (May - June) in the northeast sector of the mountain.

In agree to the map of relative sun exposure, you will be contrasted with plants communities present. With this action, it was possible to be determined the areas in that the vegetation of Roble Blanco (*Nothofagus macrocarpa* (A. DC.) Vasq et Rodr.), of most interest to the study, receives major or minor solar radiation during the year.

As result different maps were elaborated, where the plants communities, mainly *Nothofagus macrocarpa*, are affected in minor or major forms by the different biophysic variables that they define to the biotope.

Key words: *Nothofagus macrocarpa*, Solar radiation, Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble.

1. INTRODUCCIÓN

El propósito general del estudio, es analizar algunas relaciones basadas en información biogeofísica, para determinar la incidencia local de radiación solar como factor ecológico, en la ladera sureste del macizo boscoso del Cerro el Roble, ubicado en la Comuna de Til Til, Región Metropolitana, mediante el empleo de recursos proporcionados por sistemas de informaciones satelitales y geográficas (SIG).

El estado de conservación y dinámica de las formaciones vegetales presentes en el área de estudio, especialmente del bosque relictivo de *Nothofagus macrocarpa* (A. DC.) Vasq et Rodr., se han visto afectadas profundamente, antes, por cambios en el uso del suelo y cosecha de madera, y hoy, por actividades de pastoreo, el crecimiento de la urbanización, turismo, entre otros. Siendo uno de los efectos negativos más importante la ruptura del equilibrio de la formación vegetal, que ocasiona serios efectos sobre la regeneración natural y el vigor de los árboles (Gajardo, 2001).

La radiación solar directa, es una variable física de interés, por su incidencia en el balance hídrico, la evapotranspiración y la productividad, elementos que afectan de algún modo en las condiciones del biótomo (Dale y Grey, 1986; Holst *et al.*, 2005). Éste es un factor importante a considerar en la aplicación de medidas de conservación y ordenación del macizo boscoso relictivo, ubicado en la ladera de umbría, con fuertes pendientes y con amplio rango altitudinal. Cualquier medida de conservación y ordenamiento, debe tomar en cuenta las variables biogeofísicas que definen al biótomo, en sus condiciones geográficas y climáticas, para determinar las características de las distintas unidades vegetacionales presentes.

Sobre la base de lo anterior, el objetivo principal definido para este estudio, es determinar la incidencia de la radiación solar como factor físico y facilitador ecológico, en el Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble (Caleu, Región Metropolitana), mediante el uso de sistemas de información geográfica (SIG).

Un elemento importante es el valor calórico de las ondas electromagnéticas, las que interceptadas en áreas de color oscuro se transforman en calor. Se debe tener en cuenta que la intensidad calórica en el límite superior de la atmósfera es constante para un cm^2 expuesto en forma perpendicular a los rayos solares, siendo aproximadamente dos calorías por minuto; este valor se denomina “constante solar” (Odum, 1992). La energía solar que llega al límite superior de la atmósfera no es la que llega a la superficie terrestre, debido a que existen distintos procesos que ocurren en el intertanto, tales como la absorción, la reflexión y la dispersión.

La absorción es un proceso determinante para la fotosíntesis, que consiste en el ingreso de radiación solar en los cuerpos tanto vivos como inertes, la que posteriormente se transforma

en energía térmica, eléctrica y química, que estimula el funcionamiento y procesos internos en los vegetales. Se debe considerar que las radiaciones de onda muy corta son anuladas por la capa de ozono y las de longitud mayor son filtradas por factores atmosféricos como nubes entre otros (De Fina y Ravello, 1973).

La reflexión, se produce cuando la radiación solar es devuelta o desviada sin modificar sus caracteres. La mayoría de los elementos que se encuentran en la superficie terrestre realizan ésta actividad. Las especies vegetales de cutícula foliar gruesa, atenúan la penetración de la radiación solar mediante su reflexión (Benavente, 2005).

La radiación solar incidente sobre la superficie de la Tierra, se explica mediante la “ley del coseno de oblicuidad” (anexo uno), que interpreta la intensidad de radiación solar recibida por una superficie horizontal, la cual depende principalmente de la inclinación con que llegan los rayos solares a ella (Lloyd, 1973). La mayor intensidad de radiación solar en una superficie se produce cuando los rayos solares inciden verticalmente sobre ésta (Knyazikhin, 1998); lo anterior se relaciona con el principio de oblicuidad, debido a que, la intensidad calórica recibida varía proporcionalmente al coseno del ángulo que forma el plano horizontal con el plano perpendicular a los rayos solares.

La ladera en estudio se encuentra en el sector sureste del Cerro el Roble (32° 58` S – 71° 02` O; 2222 msnm), al norponiente de la Región Metropolitana, Provincia de Chacabuco (IGM, 2007), y pertenece al cordón montañoso de la Cordillera de la Costa, geológicamente compuesto por material granítico intrusivo y fue declarada Santuario de la Naturaleza, el 27 de Junio del año 2000 (D.E. N° 229, MINEDUC). La principal formación vegetal compuesta de *Nothofagus macrocarpa*, se encuentra entre los 800 y 2.222 msnm.

Roble blanco o de Santiago (*N. macrocarpa*), pertenece a la familia *Nothofagaceae* y tiene la distribución más septentrional del género en América (Rodríguez *et al.*, 1983). Encontrándose entre los 32° 55` S y los 34° 25` S, convirtiéndose en una de las poblaciones importantes del genero *Nothofagus* en Chile, aunque en la actualidad no se encuentra inserta en algún estado de conservación y es continuamente afectada por el peligro de incendios forestales, la explotación del recurso, cambios de uso del suelo y la acción del ganado (Gajardo, 2001).

Roble blanco, en Cerro el Roble, esta asociado a la comunidad roble blanco – peumo (*Cryptocarya alba*), que en cuya estrata superior posee un dosel continuo de roble blanco, ocupando peumo una posición intermedia. El sotobosque es muy poco denso, y sus especies principales son; el maquicillo (*Azara petiolaris*), la quila (*Chusquea cumingii*), el quillay (*Quillaja saponaria*) y el litrecillo (*Schinus montanus*), entre otras (Donoso, 2007).

En la realización del estudio, se consideró la cartografía digital, ya que facilita el manejo de datos y permite realizar cálculos y apreciaciones de manera más precisa, otorgándole confiabilidad al análisis (Cifuentes 1999; Álvarez, 2004).

Los objetivos específicos de esta memoria son tres. El primero busca generar un mapa digital, con información referente a la incidencia local de la radiación solar como indicador de asoleamiento, con el fin de determinar las áreas en las cuales la radiación solar, en su forma potencial, contribuye a una condición más o menos xérica.

El término asoleamiento se refiere al impacto directo e indirecto que generan, en el transcurso del tiempo, las diferentes intensidades de radiaciones solares incidentes en las distintas exposiciones geográficas. La radiación solar afecta en los niveles de temperatura ambiental y por ende en la evapotranspiración, acelerando también la tasa de oxidación de la materia orgánica del suelo, provocando la rápida eliminación del sustrato en áreas descubiertas, no dando tiempo al establecimiento de una especie vegetal (De Fina y Ravello, 1973).

Se debe tener en cuenta que el concepto de aridez aparente, producto de la incidencia del asoleamiento, según Di Castri y Hajek (1976), varía de acuerdo a los investigadores que han estudiado el tema tales como: Azzi, Bagnouls, Blaney, Bouchet, Bova, Boyko, Capot-Rey, Dalton, Grunow, Kostin, Lauer, Milthorpe, Prescott, Reichel, Shostakovich, Vyssotsky, Walter, entre otros. La aplicación de cada una de estas definiciones entrega valores muy diferentes, en una misma superficie analizada. En este estudio, la definición de asoleamiento aparente se genera directamente con la información de radiación solar máxima efectiva.

La exposición solar, tiene un efecto en el desarrollo y morfología de las especies vegetales, pudiendo alterar de manera considerable los periodos de floración, fructificación y semillación, afectando los ciclos ecológicos en transcurso del tiempo (Rousseaux *et al.*, 2001).

La información obtenida mediante el desarrollo del objetivo uno es relevante para desarrollo del objetivo dos, que relaciona los niveles de asoleamiento con las formaciones vegetales presentes.

El tercer objetivo específico, consiste en estimar un valor para las variables: comunidad vegetacional, exposición solar, cobertura, pendiente, altitud y erosión, con el fin de determinar el estado actual de cada una de las formaciones vegetales residentes y concluir sobre las posibles acciones y restricciones espaciales del biotopo, considerando a la facilitación ecológica como referencia.

El desarrollo del primer objetivo posee varias etapas, la primera, se basa en el *software Google Earth Pro (GEP)*, en el cual se puede visualizar cartografía digital georreferenciada, permitiendo corregir su referenciación, disminuyendo o anulando el error inicial. En segunda instancia, se ocupa el *software SIG ArcView* en su versión 3.2, que permite vincular datos referentes a la exposición y curvas de nivel (Daly *et al.*, 1993), la que será necesaria para visualizar las superficies y concluir con un modelo en tercera dimensión del

área en estudio. A continuación, se recabarán los datos de mediciones de radiación solar, provistos por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), valores que indican la cantidad de radiación solar máxima que recibe una superficie, en una fecha determinada. Para poder determinar la radiación neta que recibe la ladera, será aplicará la “ley del coseno de oblicuidad” que se describe en el anexo uno (De Fina y Ravello, 1973).

Con la información puntual de radiación máxima recibida en el año, bastará incorporarla al modelo digital de elevación, lo que se realizará con el *software ArcView*, en su versión 3.2, específicamente en la sección “*theme table*”.

Cada una de las formaciones vegetales que constituyen la ladera suroeste, del Cerro el Roble, están tipificadas con diferentes atributos. Para el desarrollo de este objetivo, se ocupa específicamente la información referente a la especie dominante. Como el primero de los objetivos específicos consiste en realizar un modelamiento de asoleamiento relativo, se agregará a esta base de datos, la información referente a la especie dominante para cada formación vegetal en particular. Con el *software SIG*, mencionado anteriormente, es posible combinar estas dos informaciones, para concluir con una vista final de las formaciones vegetales residentes contrastada con la información de asoleamiento.

Para el desarrollo del tercer objetivo, en una primera etapa se representará con valores enteros, de uno a cinco a las siguientes condicionantes; radiación solar, pendiente, cobertura, altitud, especie dominante y la erosión basado en el comportamiento de las formaciones vegetales en las diferentes variables descritas. Luego, cada una de estas valorizaciones se multiplicará entre sí, generando un índice para cada microzona específica dentro de la ladera del Cerro el Roble, índice que será utilizado para elaborar un ranking. Los valores altos representarán a microzonas con buenas condiciones o con facilitadores ecológicos favorables, la obtención de valores bajos indicará que existe una merma en las formaciones vegetales en cuanto a la expresión de su potencial ecológico en su biotopo.

Para concluir el proceso, se elaborarán representaciones cartográficas de los resultados.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en el Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble, localizado en la Comuna de Til Til, Provincia de Chacabuco, Región Metropolitana (32° 58` Latitud Sur, 71° 02` Longitud Oeste).

La secuencia seguida para el desarrollo del estudio fue:

1. Recopilación de la información disponible
2. Organización de la información
3. Rectificación de datos
4. Desarrollo de los objetivos específicos
5. Desarrollo de objetivo principal
6. Generación de conclusiones y mapas

2.1 Materiales

El material de estudio que se utilizará en esta memoria de título será:

- Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble
- Cartografía del Instituto Geográfico Militar (IGM), escala 1:50.000 generada en el periodo 1990 – 1991
- Carta de ocupación de tierras el “Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble” en escala 1:50.000, 2006

2.2 Métodos

La elaboración de la presente memoria consiste en el desarrollo de tres objetivos, los que se desarrollarán mediante los siguientes métodos:

2.2.1 Proceso para obtener del índice de asoleamiento

En primera instancia, se generó una base cartográfica basada en la carta de ocupación de tierras del Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble, desarrollada por Donoso (2007), de dónde se extrajo la información referente a las formaciones vegetales.

Obtenida la información, se revisó su georreferenciación con el *software Google Earth Pro* (GEP), que permite la incorporación de archivos propios de los sistemas de información geográfica (SIG), (Too *et al.*, 2006).

Luego, se procedió a corregir las demás capas de información (*shapes*), que se utilizaron en el estudio (anexo dos), de esta manera el GEP realizó los cálculos, entregando un valor de error cuadrático medio (RMS), traducido en un porcentaje de error entre la georreferenciación del software GEP y la georreferenciación de las capas analizadas. La formulación del cálculo de error cuadrático, es la siguiente:

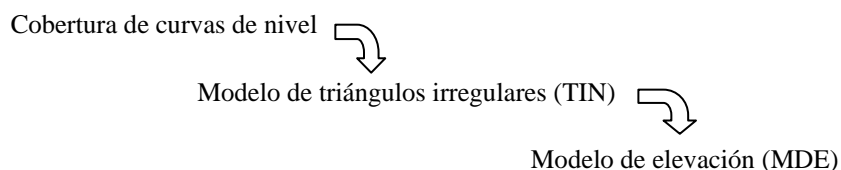
$$x_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_N^2}{N}}$$

La que se reduce a:

$$x_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} [f(t)]^2 dt.}$$

En dónde T_1 y T_2 , son los límites geográficos de las coordenadas (lat. y long.) en la cual se desarrolla el trabajo y la función $[f(t)]^2$, corresponde a la transformación de coordenadas para determinar la diferencial de error entre las variables.

De manera consecutiva, y ocupando el *software ArcView*, en su versión 3.2, se procedió a generar, con la extensión del análisis en tercera dimensión, un modelo de triángulos irregulares construidos a partir de puntos espaciales: TIN que incluye; exposición, superficie y curvas de nivel, generando un modelo de elevación (MDE) del tipo Vectorial, ya que se basa en objetos geométricos definidos por las coordenadas de sus nodos o vértices, consistente en una estructura numérica de datos, que representa una distribución espacial de elevación del terreno, los que presentan una variación en su exactitud dependiendo del método en el cual fueron desarrollados y la disponibilidad de información base, con la cual fueron construidos (Chapman *et al.*, 2005). Para sintetizar los procesos creados son:



Creado el modelo en tercera dimensión, se trabajó con la radiación solar incidente en la ladera de estudio. Para obtener estos valores se recurrió a la información proporcionada por el satélite NOAA 18, cuyas características se describen en el anexo tres, que entregó ocho mediciones de radiación solar en el transcurso del año 2007, en las fechas:

- 26 Enero
- 14 Agosto
- 17 Marzo
- 3 Octubre
- 6 Mayo
- 22 Noviembre
- 25 Junio
- 12 Diciembre

La periodicidad, de las siete primeras mediciones, fue de 50 días a excepción de la última, que tubo una diferencia de 20 días. Se debe mencionar que estas mediciones fueron tratadas posteriormente con la “ley del coseno de oblicuidad” que explica la variación proporcional de los rayos solares en las diferentes exposiciones (anexo uno). Con esta información, se pudo generar un índice de asoleamiento, pudiendo determinar las áreas que reciben en promedio, más o menos radiación solar durante el año.

La unidad de medición de radiación solar será expresada en watts/m^2 , dónde el watt representa a una de las unidades de potencia del Sistema Internacional de Unidades y su traducción al español es vatio siendo su símbolo la w. La equivalencia del vatio es de un joule por segundo, y su potencia eléctrica se produce por una diferencia de potencial de un voltio y una corriente eléctrica de un amperio (Rogers, 2004).

2.2.2 Proceso para estimar la relación del índice de asoleamiento con las formaciones vegetales residentes en el Cerro el Roble

En este punto se relacionaron los niveles de asoleamiento con las formaciones vegetales existentes. Este paso se realizó con el *software* GIS ArcView, en su versión 3.2, precisamente en la sección “*theme table*”.

Primero, se utilizó la carta de ocupación de tierras del “Santuario de la Naturaleza del Cerro el Roble”, generado por Donoso (2007), de dónde se obtuvo la información referente a las formaciones vegetales residentes en la ladera sureste del macizo.

Las capas de información (anexo dos), ya están corregidas con respecto a su referenciación, facilitando la incorporación de datos al modelo de elevación (MDE), debido a que se basan en la misma georreferencia.

Para concluir, se relacionó la información referente al tipo de formaciones vegetales residentes con el MDE, en la sección “*theme table*” y ocupando el comando *Joins*, que permite relacionar las tablas de información en la capa principal. De manera inmediata el modelo de elevación, obtuvo una nueva columna con información referida a las

formaciones vegetales. Lo anterior se logró utilizando algoritmos que relacionan los datos entre sí, aunque la relación entre tablas pueda ser de diferente cardinalidad, por ejemplo, 1:N, N:1 o N:M. Es decir, una fila de la tabla de la izquierda corresponde a uno de la derecha y el comando *Joins* completa la tabla de la izquierda con los atributos de la tabla de la derecha sin perder datos, lo anterior se puede realizar debido a que poseen la capas analizadas poseen misma georreferencia inicial (Lee, 2000).

El resultado de este proceso es un modelo que muestra el nivel potencial de asoleamiento local y el tipo de formación vegetal residente en las diferentes superficies del macizo.

2.2.3 Proceso para estimar restricciones espaciales en el Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble

El objetivo tres, consiste en generar un valor para estimar las posibles restricciones espaciales del biotopo de la ladera sureste del macizo, valor que ayuda a visualizar el mayor o menor grado de facilitación ecológica, concepto que se relaciona con la capacidad que posee un elemento biogeofísico del sistema para facilitar y/o potenciar la relación de los seres vivos entre sí, considerando la propiedad de sinergia (Clements y Shelford, 1939; Stachowics, 2001).

Para poder realizar este objetivo, se valorizó la variable de vegetación: comunidades vegetales y las variables físicas: exposición solar, cobertura, pendiente, altitud y tipo de erosión, basado en análisis estadísticos y procedimientos descritos por Mostacedo y Fredericksen. (2000), según la variable analizada. Esta valoración se generó con números enteros de uno a cinco, siendo el valor uno y cinco, el de más baja y más alta relevancia respectivamente, lo anterior se realizó debido a que la proporción entre estos valores es la más adecuada para determinar la importancia dentro de las variables, ya que al utilizar un rango numérico impar se tiene una media y variaciones estándares simples de identificar (Canavos, 1992; Devore, 1998). La descripción de cada una de estas valorizaciones se explica a continuación.

Para la variable comunidad vegetal, pertenecientes al Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble, la calificación asignada se generó considerando el estado de conservación de la formación vegetal, su distribución local y regional, el conocimiento relativo de la especie y el peligro inminente de las formaciones vegetales. Considerando lo anterior *Nothofagus macrocarpa* tiene la mayor calificación (cinco), debido a la situación de desconocimiento de su estado de conservación, su escasa distribución, la baja riqueza genética a nivel nacional, al peligro constante de incendios forestales, pastoreo y cortas ilegales entre otros.

Luego, las formaciones *Drimys winteri* (canelo), *Quillaja saponaria* (quillay) y *Jubaea chilensis* (palma), fueron valoradas con un tres, siendo las segundas en el nivel de importancia. Se debe tener en cuenta que el canelo es parte de una formación boscosa extrazonal, debido a que se distribuye en una matriz zonal específica, estimulada por la

existencia de condiciones climáticas locales favorables (Luebert y Pliscoff, 2006). El quillay, toma importancia debido a que forma parte del bosque esclerófilo, además de sus diversos aportes al suelo y al ecosistema en general y por último la palma chilena se consideró con este nivel de importancia, basado en sus características de vulnerabilidad a escala local y nacional.

La formación de *Puya berteroaana* y los matorrales bajos (*Ribes punctatum* entre otras), ocupan la tercera posición en importancia, obteniendo calificación dos, debido a las escasas microzonas (cinco) en las cuales se presentan como especie dominante y que no muestran gran influencia en las áreas en que se presentan como especies características.

Por último, *Guindilia trinervis* y *Colliguaja integerrima* poseen calificación uno, debido a su baja relevancia en el estudio. Las valorizaciones anteriores se muestran en cuadro uno, que indican la especie, su nombre vulgar y la valorización otorgada para este estudio.

Cuadro uno: Valorización de las especies dominantes, en las formaciones vegetales.

| FORMACIÓN VEGETAL | | |
|-------------------------------|----------------------|---------------------|
| Nombre Científico | Nombre Vulgar | Valorización |
| <i>Nothofagus macrocarpa</i> | roble blanco | 5 |
| <i>Quillaja saponaria</i> | quillay | 3 |
| <i>Drimys winterii</i> | canelo | 3 |
| <i>Jubaea chilensis</i> | palma chilena | 3 |
| <i>Puya berteroaana</i> | chagual | 2 |
| <i>Ribes punctatum, etc.</i> | zarzaparrilla, etc. | 2 |
| <i>Guindilia trinervis</i> | guindilla | 1 |
| <i>Colliguaja integerrima</i> | duraznillo | 1 |

Con respecto a la exposición solar, se considero el acimut medido desde el norte verdadero, para indicar el tipo de influencia que tiene el asoleamiento en una exposición en particular. Considerando esta concepción, la exposición sur recibe el valor cinco (la más favorable), debido a que reciben una menor cantidad de radiación solar directa en el transcurso del año, lo que ayuda a mantener una radiación solar constante en el transcurso del año, a diferencia de sectores cuya variación entre periodos de afelio y perihelio es de hasta cuatro veces más de radiación solar (según datos obtenidos para la zona). Las exposiciones sureste y suroeste obtienen un valor cuatro, ya que también representan una exposición favorable para la vegetación residente (Brunel, 2005).

La exposición este y oeste poseen calificación tres, ya que presentan una condición intermedia al momento de recibir radiación solar en el transcurso del año. Las exposiciones noreste y noroeste reciben una valorización dos, debido a la alta incidencia de radiación solar que reciben en el periodo anual (Brunel, 2005). La exposición norte recibe el valor menor (uno), debido a que esta exposición recibe la mayor cantidad de radiación solar en el transcurso del año (Holst *et al.*, 2005).

Cuadro dos: Exposición solar y su valorización

| EXPOSICIÓN SOLAR | |
|---------------------------|---------------------|
| Tipo de Exposición | Valorización |
| Sur | 5 |
| Sureste | 4 |
| Suroeste | 4 |
| Este | 3 |
| Oeste | 3 |
| Noreste | 2 |
| Noroeste | 2 |
| Norte | 1 |

La cobertura de las diferentes formaciones vegetales fueron valoradas considerando los estudios de Mostacedo y Fredericksen, 2000, Brunel, 2005 y de Luebert y Pliscoff, 2006, de la siguiente manera: la cobertura con niveles de 100 a 90% poseen una valor cinco, debido a que la radiación solar incidente en el suelo se ve disminuida en gran forma por el filtro que realizan las canopias de las diferentes especies en las parcelas estudiadas.

Valor cuatro poseen las formaciones vegetales con cobertura entre 90 y 60%, debido a que son afectadas en menor forma por los rayos solares y valor tres tienen las coberturas entre 60 y 40%, ya que la influencia de la radiación solar en el suelo es del tipo medio.

En última instancia nos encontramos con coberturas de 40 a 10 y entre 10 y cero por ciento, que reciben valor dos y uno respectivamente, esta asignación de valor se realizó debido a la escasa o nula cobertura vegetal, para que ocurra una mayor de radiación solar incidente en el suelo, la que es perjudicial para el ecosistema, acelerando el proceso de oxidación y de erosión del sustrato (Buffo *et al.*, 1972).

A continuación, se muestra el cuadro tres que contiene el resumen de las valorizaciones determinadas para las diferentes coberturas

Cuadro tres: Nivel de cobertura y valorización respectiva

| COBERTURA | |
|-------------------------------|---------------------|
| Nivel de Cobertura (%) | Valorización |
| 100 - 90 | 5 |
| 90 - 60 | 4 |
| 60 - 40 | 3 |
| 40 - 10 | 2 |
| 10 - 0 | 1 |

La pendiente en que se desarrollan las formaciones vegetales del macizo, son muy importantes, debido a que mediante ellas se define el grado de continuidad o discontinuidad

en las superficies (Brunel, 2005). Tomado esta definición se valorizaron los diferentes tipos de pendientes presentes en la ladera en estudio.

La pendiente se valoró según los ángulos de inclinación de la microsuperficie específica, considerando los parámetros analizados por Ashcroft *et al.* (2007), por lo anterior la inclinación de la superficie comprendida entre los 30 y 44° recibe el valor tres, debido a que esta inclinación, según Holst *et al.* (2005), presenta una mediana condición para las formaciones vegetales residentes en el hemisferio sur. Con valor dos se encuentran las superficies que presentan una inclinación de 45°, considerando que gran parte de la población vegetal residente (sobre el 40%) se encuentra en este tipo de inclinación.

La pendiente cuyo ángulo de inclinación varía dentro de los 45 o más grados, se le asignó el valor uno, debido a que su influencia es muy negativa dentro de las comunidades vegetales (Ashcroft *et al.*, 2007), este tipo de inclinaciones se encuentran en los sitios más altos de la ladera (sobre los 2200 msnm), lo que ayuda también a recibir una mayor cantidad de radiación solar (Brunel, 2005).

Por último, las pendientes que se encuentran con una inclinación dentro de los 15 y 29° reciben valor cuatro, ya que son relevantes para las comunidades vegetales residentes, distintas son las zonas cuyas pendientes poseen una inclinación dentro de los cero y 14°, que reciben el valor cinco, debido a que esta inclinación es la más favorable a las formaciones vegetales presentes en el macizo (Holst *et al.*, 2005), el análisis anterior se presenta en el cuadro cuatro.

Cuadro cuatro: Tipos de pendientes, su rango y valorización

| PENDIENTE | |
|-----------------------------|---------------------|
| Inclinación (grados) | Valorización |
| 0 - 14 | 5 |
| 15 - 29 | 4 |
| 30 - 44 | 3 |
| 45 | 2 |
| 45 o más | 1 |

La altitud, es una variable importante dentro del análisis, ya que modifica la distribución de insolación. A mayor altitud, menor es el espesor de la atmósfera que la radiación solar debe cruzar (Buffo *et al.*, 1972), lo anterior genera que los lugares mas altos tengan una mayor amplitud diaria de temperatura. También influye en las corrientes de vientos y precipitaciones condicionando a las precipitaciones del tipo orográfica (Brunel, 2005).

Para este estudio, se realizó un análisis estadístico en el cual se observó la relación entre las formaciones boscosas y la altitud en las que se encuentran, la que entregó una correlación del 97%, con lo cual se pudo generar las siguientes valorizaciones.

Con los resultados del análisis estadístico, se pudo determinar que el 55%, de la superficie de la ladera del Cerro el Roble, se encuentra entre los 1360 y 1640 msnm. De esta superficie, el 98% se encuentra ocupada por la formación vegetal de *Nothofagus macrocarpa*. El segundo rango altitudinal de importancia se encuentra entre los 1640 y 1920 msnm, que acumulan un 27% del total de la superficie de la ladera.

En tercer nivel de relevancia, se encuentran las formaciones encontradas entre los 1080 y 1360, 1920 y 2200 y por último la localizada entre los 800 y 1080 msnm, rangos al que se asignaron valores tres, dos y uno respectivamente, debido a la escasa superficie inclinada en los rangos mencionados (18% de la superficie). La valorización anterior se representa en el cuadro cinco.

Cuadro cinco: Rangos de altitud y su valorización

| ALTITUD | |
|---------------------|---------------------|
| Rango (msnm) | Valorización |
| 2200 - 1920 | 2 |
| 1920 - 1640 | 4 |
| 1640 - 1360 | 5 |
| 1360 - 1080 | 3 |
| 1080 - 800 | 1 |

Para el tipo de erosión, se tomaron diferentes intensidades y se valoraron de la siguiente manera: la erosión del tipo muy severa se catalogó con valor uno, debido a que ésta condición dificulta la regeneración natural, puesto que no existe el sustrato necesario para el establecimiento de la regeneración de las formaciones vegetal. Con valor dos y tres se encuentran las superficies que poseen una erosión severa y moderada, ya que representan mayores cantidades de sustratos para el establecimiento de las comunidades vegetales (Morgan *et al.* 1997).

La erosión del tipo ligera a nula presenta la mayor ponderación (cinco), ya que el sustrato no ha sido mayormente modificado y presenta buenas condiciones para el establecimiento de las formaciones vegetales (Morgan *et al.* 1997). La valorización anterior se refleja en la cuadro seis que se muestra a continuación:

Cuadro seis: Tipo de erosión y su valorización

| EROSION | |
|------------------------|---------------------|
| Tipo de erosión | Valorización |
| Ligera | 5 |
| Moderada | 3 |
| Severa | 2 |
| Muy severa | 1 |

Generadas las valoraciones, para todas las variables, se debió establecer la interacción entre ellas. Para esto se generó un índice para cada microzona en particular, considerando a las variables descritas anteriormente. Este proceso se ejecutó, en su primera etapa, localizando la microzona a analizar y luego se revisó cada una de las variables descritas (exposición solar, pendiente, altitud, comunidad vegetacional, tipo de erosión y porcentaje de cobertura), determinando la característica que posee el área en particular, a modo de ejemplo se entrega el cuadro siete.

Cuadro siete: Rangos de altitud y su valoración

| Variable Analizada | Elemento (Rango) | Valorización |
|--------------------|------------------|--------------|
| Exposición solar | Sur | 5 |
| Pendiente | Llano 0 – 14° | 5 |
| Altitud | 1640-1360 | 5 |
| Formación boscosa | roble | 5 |
| Tipo de erosión | Ligera | 5 |
| Cobertura | 100 – 90 | 5 |

El cuadro siete nos informa (a modo de ejemplo), que la formación vegetal analizada posee una exposición sur, se encuentra dentro de una pendiente cuya inclinación se encuentra dentro de los cero a 14°, que su altitud está dentro de los 1360 y 1640 msnm, que la principal formación vegetal asociada a la microzona es *Nothofagus macrocarpa*, que posee un tipo de erosión ligera y tiene una cobertura que varía de 90 a 100%. Todas estas características son las mejores dentro de cada variable, por esto la valoración de las anteriores fue cinco, la máxima.

Con estas valoraciones se procede a multiplicar entre sí, generando un índice. Para este caso en especial la multiplicación es similar a ocupar 5⁶, que entrega un resultado de 15.625, número que se obtiene cuando todas las variables poseen su mayor calificación. El ejemplo contrario es cuando todas las variables poseen una valoración uno, donde la multiplicación es similar a 1⁶, obteniendo como resultado el valor uno.

De esta manera, se generó un rango numérico de 15.625 a uno, clase amplia para poder determinar diferentes grupos en los cuales encasillar a las formaciones vegetales. Estos grupos se generarán después de realizar la multiplicación, estableciendo gráficos para poder mostrar de mejor manera la información generada; así se podrá concluir acerca de cuáles son los biotopos más favorables y de mejor calidad para las formaciones vegetales.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Generación del mapa indicador de asoleamiento relativo

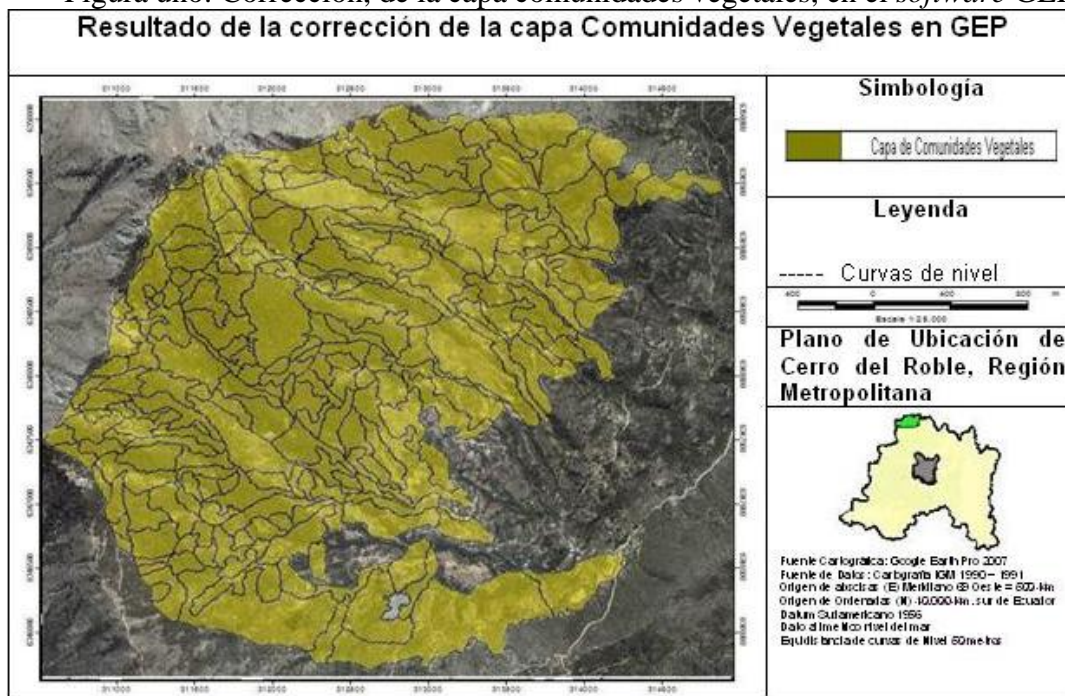
3.1.1 Proceso de corrección geográfica de capas digitales

En el desarrollo de este objetivo, se revisó la georreferenciación de las capas de información utilizadas en el estudio (anexo dos); como todas poseían la misma procedencia y georreferenciación inicial, bastó evaluar una capa para determinar el error de referencia.

La capa seleccionada para realizar el proceso fue “comunidades vegetales”, cuyo RMS de 0,022 se traduce en un error de referencia inicial de seis por ciento según *Google Earth Pro*, lo que significa una diferencia de 10 metros aproximadamente. Luego de corregir la capa el RMS final fue DE 0,0067, lo que se traduce en algo menor al tres por ciento (2,83%), es decir, una variación no mayor a dos metros y medio.

El proceso anterior, se plasma en la figura uno, que superpone la capa de “comunidades vegetales” corregida y la imagen satelital proveniente de GEP.

Figura uno: Corrección, de la capa comunidades vegetales, en el *software* GEP

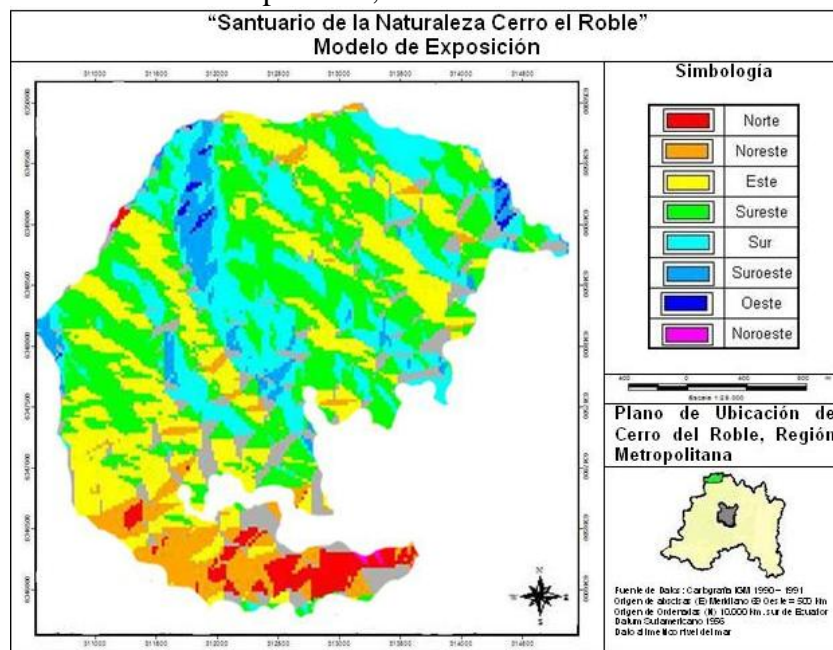


La corrección aplicada cumplió con el error aceptable (menor a tres por ciento), por lo tanto se ocuparon todas las capas de información digital descritas en el anexo dos, previa corrección en el *software Google Earth Pro*.

3.1.2. Creación del mapa de exposición del Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble

Ya revisada la georreferenciación de la información a utilizar, se generó un modelo de triángulos irregulares con los datos referentes a la exposición y curvas de nivel, generando el modelo que se muestra en la figura dos.

Figura dos: Modelo de exposición, del Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble



De la figura dos, se pudo generar el siguiente cuadro resumen, que muestra la exposición, ocurrencia (cantidad de superficies) y su proporción en la ladera.

Cuadro ocho. Tipos de exposición, ocurrencia y su porcentaje en la ladera del Cerro el Roble

| Exposición | Ocurrencias | Porcentaje |
|-------------------|--------------------|-------------------|
| Norte | 4 | 1,9 |
| Noreste | 24 | 11,4 |
| Este | 29 | 13,7 |
| Sureste | 81 | 38,4 |
| Sur | 35 | 16,6 |
| Suroeste | 32 | 15,2 |
| Oeste | 5 | 2,4 |

| | | |
|----------|---|-----|
| Noroeste | 1 | 0,5 |
|----------|---|-----|

En definitiva, se puede concluir que aproximadamente el 70% de la ladera del macizo en estudio, tiene una influencia de exposición sur. Es decir, que tiene una orientación que predispone una menor influencia de la radiación solar debido a que el ángulo en cual transita el sol y la orientación de la ladera del macizo provocan que la radiación solar directa que incide en la zona, sea muy baja en el transcurso del año, recibiendo la mayor parte del tiempo (parte de y primavera y todo el invierno) sólo radiación solar indirecta, lo que baja la cantidad de radiación solar en la ladera (Brunel, 2005).

3.1.3. Generación del mapa de radiación solar, como indicador de asoleamiento

Fue elaborado un mapa digital de la incidencia local de la radiación como indicador de asoleamiento, mediante el cotejo de datos referidos a la radiación solar, pendiente y exposición. El modelo se construyó a base de ocho mediciones de radiación solar máxima en el transcurso del año 2007, que fueron obtenidas del satélite NOAA 18.

Respecto a la radiación solar, hubo 169 mediciones dentro de la ladera. Es decir, existieron áreas de análisis en las cuales hubo más de una medición. En ellas, se promedió la radiación y la pendiente, haciendo mucho más clara la medición y la posterior estimación de radiación solar máxima incidente en cada microzona del macizo en estudio.

Lo anterior fue aplicado, debido a que el promedio de las desviaciones estándares totales de las mediciones fue de 14,9 watts/m². En esta etapa, se pudo apreciar la gradiente altitudinal que posee la radiación incidente, recibiendo menores intensidades las superficies ubicadas a menores niveles de altura, debido a que la radiación solar debe pasar por una mayor cantidad de filtros, tales como nubes, humedad atmosférica, viento, polución, entre otros (Buffo *et al.*, 1972). En las ocho mediciones proporcionadas por el satélite perteneciente al NOAA, la variación fue de alrededor de 60 watts/m² por cada mil metros de altitud.

Obtenidos los datos, se aplicó la ley del coseno de oblicuidad, previa clasificación de la pendiente de la superficie, que se expone en el cuadro nueve.

Cuadro nueve. Ponderaciones de pendiente, de la ladera del Cerro el Roble

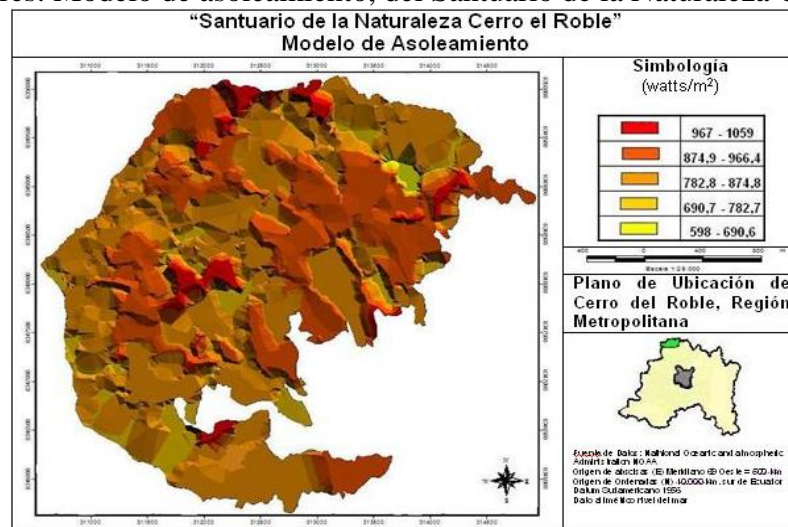
| Pendiente | Coseno utilizado | Ponderación |
|-------------------------------|------------------|-------------|
| Cero grado (0°) | Cos (31°) | 0,857 |
| Veintidós grados (22°) | Cos (16°) | 0,961 |
| Treinta y siete grados (37°) | Cos (0°) | 1 |
| Cuarenta y cinco grados (45°) | Cos (13°) | 0,974 |
| Sesenta y más grados (60°) | Cos (27°) | 0,891 |

Estas valoraciones fueron determinadas según la exposición de las laderas y la inclinación del sol durante los periodos de afelio y perihelio, donde la variación del ángulo solar es de 85° y 33°, respectivamente, en la zona (Brunel, 2005). Es decir, la ponderación que se inscribe en la cuadro nueve, incluye los poco mas de 50° de diferencia de ángulo solar entre las dos estaciones más extremas del año (verano e invierno).

Estas mediciones fueron asignadas a las diferentes microzonas que constituyen la capa “unidades vegetales”. Algunas microzonas poseían más de algún tipo de pendiente, para estos casos, se calculó la proporción de la pendiente en la formación vegetal y se tomó aquella que presentaba mayor cantidad, asignando la valorización pertinente.

Con respecto al desarrollo de este objetivo, es necesario aclarar que se han tomado sólo los valores de radiación solar máxima, como variable para determinar el asoleamiento potencial del sector, constituyéndose en el factor físico único al momento de realizar el análisis. Para determinar este valor, se han considerado la exposición solar, pendiente y radiación solar máxima incidente. De esta manera se confeccionó el mapa de asoleamiento.

Figura tres: Modelo de asoleamiento, del Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble



En el mapa anterior, se puede apreciar que la parte media (1400 msnm) y superior de la ladera (cerca de los 2200 msnm), son las que reciben la mayor cantidad de radiación solar promedio en el año; mientras que las áreas medias altas (1600 msnm) y sectores bajos reciben una menor cantidad de radiación.

La diferencia entre mediciones de invierno y verano llegó, en áreas de mayor incidencia de radiación solar (zonas por sobre los 2000 msnm), a los 630 watts/m², mientras que las partes medias y bajas el diferencial anual fue de 350 watts/m², lo que demuestra la importante diferencia que se produce en el transcurso del año en la ladera.

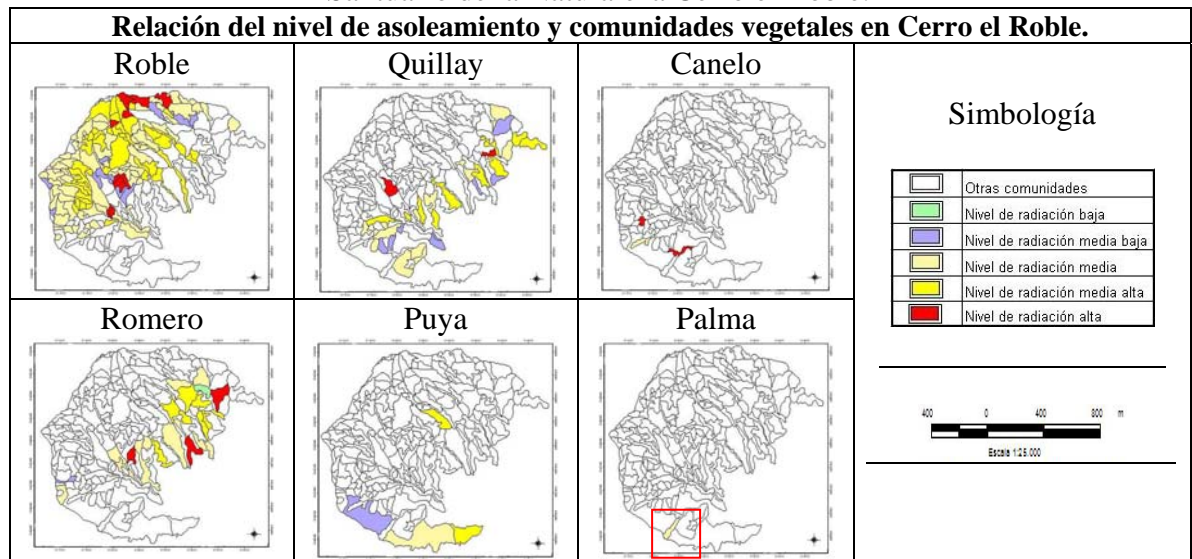
El mapa indicador de asoleamiento relativo, sirve para demostrar los errores que a simple vista puede resultar de una estimación. Es decir, hay zonas que a primera instancia se concluye que reciben una mayor cantidad de radiación solar, por sus características xéricas, pero en este caso específico no es así, muchas microzonas bajas de la ladera, no son las que reciben las mayores radiaciones en el transcurso de año, sino que poseen estas características debido al uso indiscriminado de las tierras en diversas y continuas actividades como talajes, extracción de leña para carbón, el sobrepastoreo, esparcimiento y reuniones sociales entre otras. Por lo tanto, el MDE de asoleamiento entrega una real información acerca de los espacios que potencialmente podrían ser áridos en el tiempo, como consecuencia del aporte calórico de la radiación (Brunel, 2005, Holst *et al.*, 2005, Luebert y Plissock, 2006).

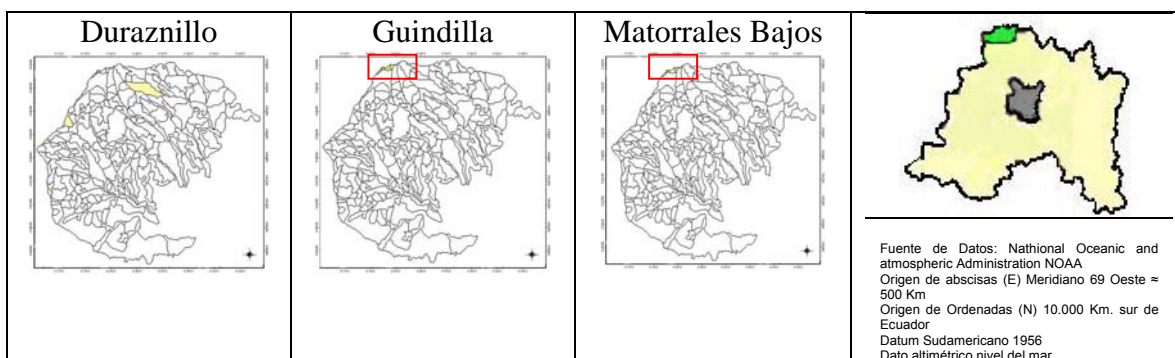
3.2 Relación del modelo de asoleamiento con las comunidades vegetales residentes

En primera instancia, se usó la capa de información referente a las formaciones vegetales, dónde se determinó la especie dominante en cada formación. De esta manera, se tiene la información necesaria para poder confrontarla con el modelo local de asoleamiento relativo antes construido.

Hecho lo anterior, se elaboró la figura cuatro que relaciona los niveles de asoleamiento relativo con las formaciones vegetales existentes, que se muestra a continuación.

Figura cuatro. Relación entre el nivel de asoleamiento y las formaciones boscosas, en el Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble.





Como se puede apreciar en la figura cuatro, *Nothofagus macrocarpa* se presenta como especie dominante en el 66,4% del total de las comunidades vegetales del Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble. El área ocupada por el roble blanco, presenta diferentes intensidades promedio de radiación solar máxima, la que se aprecia en el cuadro 10:

Cuadro 10: Microzonas de roble blanco, en diferentes intensidades promedio de radiación solar.

| Intensidad (watts/m ²) | Microzonas | Porcentaje |
|------------------------------------|------------|------------|
| Alta (1059 – 967) | 10 | 7,1 |
| Media Alta (966,4 – 874,9) | 45 | 32,1 |
| Media (874,8 – 783,8) | 74 | 52,8 |
| Media Baja (782,7 – 690,7) | 11 | 7,8 |
| Baja (690,6 – 598) | 0 | 0 |
| Total | 140 | 100 |

La mitad de las formaciones vegetales totales que poseen como especie dominante al roble blanco, reciben una radiación del tipo media; otro grupo importante (30%), reciben en promedio una radiación del tipo media alta. Estos dos grupos concentran el 80% del total de las unidades, las demás parcelas representan grupos minoritarios dentro del total.

De un total de 32 formaciones vegetales, el 62,5% recibe una radiación máxima promedio del tipo media (874,8 – 783,8 watts/m²) y el 31% recibe una radiación máxima promedio del tipo media alta (966,4 – 874,4 watts/m²). Estas formaciones vegetales se encuentran a bajos niveles de altitud (1200 y 1500 msnm), presentes en exposiciones noreste, sureste y suroeste.

El canelo (*Drimys winteri*), ocupa una pequeña superficie, la que abarcan tan solo tres áreas. Canelo es una formación vegetal extrazonal, debido a que se distribuye en una matriz zonal específica, estimulada por la existencia de condiciones climáticas locales favorables, (Luebert y Pliscoff, 2006) encontrándose presente en áreas puntuales y no características de la zona, tales como: fondos de quebradas, zonas sombrías y de constante inundación durante el año, lo que asegura una alta disponibilidad de agua para la especie. El 66% de estas unidades presenta una radiación promedio del tipo baja (690,6 – 598 watts/m²).

El chagual (*Puya berteroa*), está presente en exposiciones del tipo norte y noreste, encontrándose en las partes más bajas del Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble (1550 y 1300 msnm); sus formaciones reciben una radiación del tipo media alta.

La guindilla (*Guindilia trinervis*), está presente en sectores que en promedio reciben una radiación solar promedio del tipo media (874,8 – 783,8 watts/m²), a media alta (966,4 – 874,4 watts/m²). Esta formación arbustiva se ha establecido en áreas erosionadas y en laderas de exposición noreste y sureste, ocupando altitudes bajas en el rango de los 1150 y 1650 msnm.

La palma chilena (*Jubaea chilensis*), reside en una pequeña superficie de la ladera en estudio y sus individuos se manifiestan con tamaños reducidos y específicamente distribuidos en la área, su orientación es del tipo noreste y la radiación promedio que recibe es del tipo media (874,8 – 783,8 watts/m²).

El duraznillo (*Colliguaja integerrima*), está presente como especie dominante en cuatro microzonas del estudio, las que en su totalidad reciben una intensidad media de radiación promedio (874,8 – 783,8 watts/m²), estas formaciones vegetales tienen una exposición este y sureste encontrándose en sustratos rocosos.

Por último, se encuentra la formación de matorrales de altura de neneo, compuesta principalmente por arbustos bajos y hierbas perennes, en dónde dominan entre otras especies, *Mulinum spinosum* y *Chuquiraga oppositifolia*. En esta formación predominan las características xerófitas, desarrollándose en sustratos rocosos con exposiciones preponderantemente norte, recibiendo en promedio radiaciones del tipo media alta (966,4 – 874,4 watts/m²). El análisis anterior se resume en el siguiente cuadro:

Cuadro 11: Especies a diferentes niveles de radiación, con sus respectivas unidades por nivel, porcentaje específico por especie y total dentro de la ladera

| Especie | Nivel de radiación (watts/m ²) | Microzonas por nivel | Porcentaje específico | Porcentaje total |
|------------------------------|--|----------------------|-----------------------|------------------|
| <i>Nothofagus macrocarpa</i> | 598 - 690,6 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| | 697 - 782,7 | 11 | 7,8 | 5,2 |
| | 782,8 - 874,8 | 74 | 52,8 | 35,1 |
| | 874,9 - 966,4 | 45 | 32,1 | 21,3 |
| | 966,5 - 1059 | 10 | 7,1 | 4,7 |
| TOTAL | | 140 | 100,0 | 66,4 |
| <i>Quillaja saponaria</i> | 598 - 690,6 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| | 697 - 782,7 | 8 | 25,0 | 3,8 |
| | 782,8 - 874,8 | 12 | 37,5 | 5,7 |
| | 874,9 - 966,4 | 10 | 31,3 | 4,7 |
| | 966,5 - 1059 | 2 | 6,3 | 0,9 |
| TOTAL | | 32 | 100,0 | 15,2 |
| <i>Drimys winteri</i> | 598 - 690,6 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| | 697 - 782,7 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| | 782,8 - 874,8 | 1 | 33,3 | 0,5 |

| | | | | |
|-------------------------------|----------------|------------|--------------|-------------|
| | 874,9 - 966,4 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| | 966,5 - 1059 | 2 | 66,7 | 0,9 |
| | TOTAL | 3 | 100,0 | 1,4 |
| <i>Colliguaja integerrima</i> | 598 - 690,6 | 1 | 4,1 | 0,5 |
| | 697 - 782,7 | 1 | 4,1 | 0,5 |
| | 782,8 - 874,8 | 11 | 45,8 | 5,2 |
| | 874,9 - 966,4 | 8 | 33,3 | 3,8 |
| | 966,5 - 1059 | 3 | 12,5 | 1,4 |
| | TOTAL | 24 | 100,0 | 11,4 |
| <i>Puya berteroa</i> | 598 - 690,6 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| | 697 - 782,7 | 1 | 25,0 | 0,5 |
| | 782,8 - 874,8 | 1 | 25,0 | 0,5 |
| | 874,9 - 966,4 | 2 | 50,0 | 0,9 |
| | 966,5 - 1059 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| | TOTAL | 4 | 100,0 | 1,9 |
| <i>Jubaea chilensis</i> | 598 - 690,6 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| | 697 - 782,7 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| | 782,8 - 874,8 | 1 | 100,0 | 0,5 |
| | 874,9 - 966,4 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| | 966,5 - 1059 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| | TOTAL | 1 | 100,0 | 0,5 |
| <i>Guindilia trinervis</i> | 598 - 690,6 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| | 697 - 782,7 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| | 782,8 - 874,8 | 4 | 100,0 | 1,9 |
| | 874,9 - 966,4 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| | 966,5 - 1059 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| | TOTAL | 4 | 100,0 | 1,9 |
| <i>Ribes punctatum</i> | 598 - 690,6 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| | 697 - 782,7 | 0 | 33,3 | 0,0 |
| | 782,8 - 874,8 | 0 | 33,3 | 0,0 |
| | 874,9 - 966,4 | 1 | 33,3 | 0,5 |
| | 966,5 - 1059 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| | TOTAL | 1 | 100,0 | 0,5 |
| <i>Mulinum spinosum</i> | 598 - 690,6 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| | 697 - 782,7 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| | 782,8 - 874,8 | 1 | 50,0 | 0,5 |
| | 874,9 - 966,4 | 1 | 50,0 | 0,5 |
| | 966,5 - 1059 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| | TOTAL | 2 | 100,0 | 0,9 |
| | TOTALES | 211 | | 100 |

3.3. Generación de un valor de estimación, para establecer medidas locales de conservación

3.3.1 Establecimiento de un valor para las diferentes superficies

Como se mencionó anteriormente, a las variables le fueron asignadas valoraciones, dependiendo de las características de cada uno de las microzonas en las cuales se encontraban. Obteniendo este número, se procedió a multiplicar cada valor de variable

entre sí, basado en la reflexibilidad; en la que toda variable es proporcional a sí misma, con el coeficiente uno, en la simetría; cada variable es proporcional entre si (a y b es igual a b y a), obteniendo la misma ponderación (multiplicación) y por último la transitividad; en dónde la variable a y b son proporcionales al igual que b y c, obteniendo en definitiva que a y c son proporcionales entre sí. Con este razonamiento se establece el principio de proporcionalidad de las variables, característica propia de los ecosistemas en dónde cada variable posee la misma importancia, debido a que la alteración de éstas produce cambios en el sistema general. Realizando este proceso se ocupó una constante C igual a uno, elemento neutro en la multiplicación, para apreciar el ajuste a una distribución estadística.

La valoración de cada ítem dentro de las variables, se realizó basado en tres estudios bioclimáticos desarrollados por Di Castri y Hajek, 1976, Brunel 2005 y Luebert y Pliscoff, 2006.

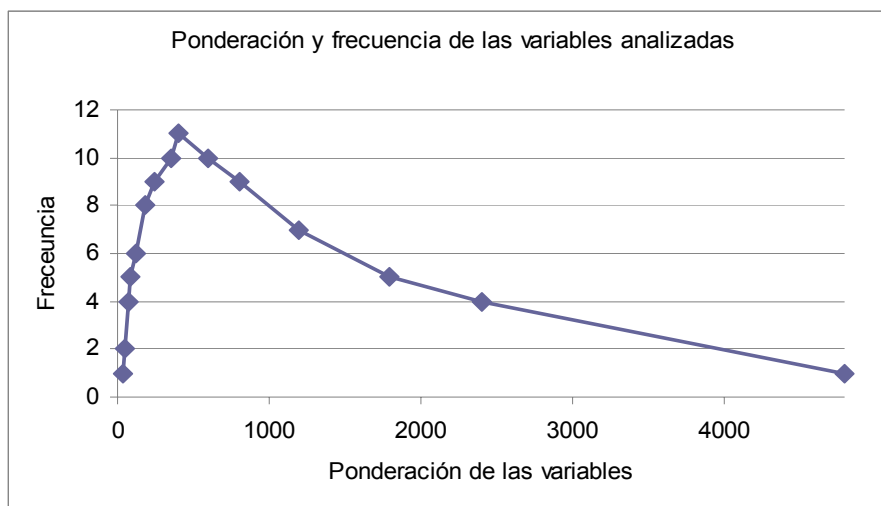
La valorización de los ítems dentro de las formaciones vegetales, fue compleja, debido a que se consideró en forma especial los bosques de *N. macrocarpa*, estimando su origen fitogeográfico, el carácter relictual de la especie, su estado de conservación, la dimensión del área crítica que considera la posibilidad de regeneración, reclutamiento y desarrollo de mecanismos de control e intereses científicos y ecológicos que refieren a la manera en que forman parte de teorías científicas y de los componentes necesarios para desestabilizar las condiciones del biotopo respectivamente¹

Para las variables pendiente y exposición, la valorización fue diferente, ya que fue necesario generar regresiones lineales simples para cada variable, con el fin de relacionar los diferentes rangos dentro de cada variable, considerando un comportamiento limitante o no, dentro del ecosistema, estas regresiones lineales entregaron un R^2 de 96 y 98% respectivamente.

El resultado es la asociación de las formaciones vegetales estudiadas adjuntas al valor generado de las multiplicaciones de las variables entre sí. Para poder visualizar esta operación, se generó la figura cinco:

Figura cinco. Gráfico de la ponderación de las variables y frecuencia.

¹ Comunicación personal Prof. Rodolfo Gajardo. Departamento de Silvicultura. Universidad de Chile. 2004



Como se aprecia en la figura cinco, podemos determinar que los datos se ajustan en un 93% a la distribución ji-cuadrada, cuya gráfica se representa con la función:

$$\chi_k^2(x) = \frac{x^{k/2-1} e^{-x/2}}{2^{k/2} \Gamma(k/2)}$$

Donde k, representa los grados de libertad, que para este caso tiene un valor 14 y gamma representa a la distribución de probabilidad, del mismo gráfico se pueden apreciar que existen ciertas agrupaciones de datos, visualizando cuatro grupos principales:

- Grupo uno: grupo dentro de los 150 a 270 unidades.
- Grupo dos: grupo dentro de los 350 a 440 unidades.
- Grupo tres: grupo dentro de los 520 a 620 unidades
- Grupo cuatro: grupo dentro de los 800 a las 1300 unidades.

Para el grupo cuatro, que se establece entre los 800 y 1300 unidades ponderadas, se deben considerar formaciones vegetales “superiores”. Es decir que obtuvieron las mejores calificaciones dentro de sus variables; estas parcelas posee factores limitantes reducidos generando las mejores condiciones dentro del macizo.

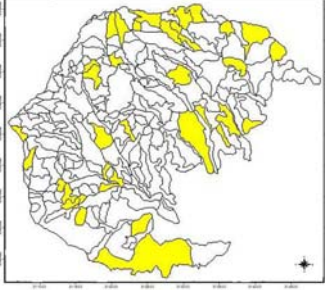
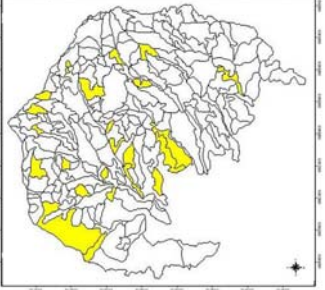
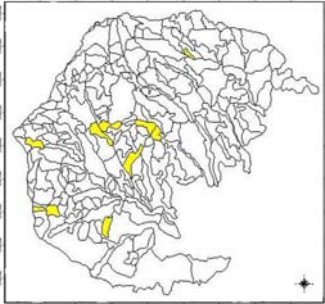
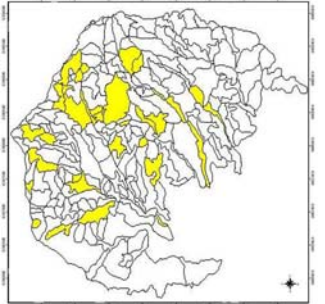
El tercer grupo se ubicó entre las 520 y 620 unidades ponderadas, las que presentan buenas características para las formaciones vegetales residentes, pero no las mejores. Existen ciertos ítemes en los cuales presenta malas características, ahora estas parcelas son mucho más factibles de llevarlas al grupo cuatro realizando actividades que favorezcan el

desarrollo y establecimiento de las formaciones dentro de cada unidad, teniendo en cuenta que no se pueden transformar las variables exposición ni altitud.

El grupo dos se presenta entre los 350 y 440 unidades de ponderación, áreas que poseen una mediana fortaleza en cuanto a la potencialidad de las formaciones vegetales residentes, estas comunidades poseen gran relevancia dentro del estudio, ya que se encuentran menoscabadas por alguna(s) variable(s) que podrían ser modificadas para mejorar sus características y transformarlas o llevarlas a un grupo superior.

Por último, el grupo que se encuentra entre los 150 y 270 unidades ponderadas, constituye las formaciones más importantes para el estudio, basado en el concepto facilitador ecológico está muy disminuido en estas formaciones. A estas unidades residentes del macizo habrá que concederles más atención, debido a que la capacidad de resiliencia de estas formaciones vegetales es muy baja. El resumen del análisis anterior, se plasma en la siguiente figura:

Figura seis: Imágenes de los grupos uno, dos, tres y cuatro con su respectiva asociación de ponderación

| | | |
|---|--|--|
| <p style="text-align: center;">Imagen grupo uno</p>  | <p style="text-align: center;">Imagen grupo dos</p>  | <p>La imagen del grupo uno, representa a las formaciones vegetales ubicadas dentro de las 150 y 270 unidades ponderadas.</p> <p>La imagen del grupo dos, representa a las formaciones vegetales ubicadas dentro de las 350 y 440 unidades ponderadas.</p> |
| <p style="text-align: center;">Imagen grupo tres</p>  | <p style="text-align: center;">Imagen grupo cuatro</p>  | <p>La imagen del grupo tres, representa a las formaciones vegetales ubicadas dentro de las 520 y 620 unidades ponderadas.</p> <p>La imagen del grupo cuatro, representa a las formaciones vegetales ubicadas dentro de las 800 y 1500 unidades ponderadas.</p> |

4. CONCLUSIONES

- La construcción de un modelo de exposición al asoleamiento, ayuda a determinar microzonas con características comunes, las que mediante una agrupación simple pueden generar superficies homogéneas, en las que se pueden realizar actividades silviculturales y de conservación similares.
- El 40% del territorio del Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble posee exposición sur, la más favorable para las formaciones vegetales residentes, debido al bajo diferencial de radiación solar durante el transcurso de año, en el cual se realizaron las mediciones (variación de un 28%).
- El modelo de asoleamiento del Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble indica que la mayor radiación solar promedio (1059 - 967 watts/m²), se percibe en las zonas más altas de la ladera (2000 – 2222 msnm), incluyendo sectores puntuales de altura media (1600 msnm) y baja (800 msnm).
- Al asociar los niveles de asoleamiento promedio en la ladera y las formaciones vegetales residentes, se percibe una relación que vincula a las formaciones menos exigentes de recursos (guindilla, duraznillo, puya y romero), en superficies que reciben un alto nivel de radiación, a diferencia de la formación roble blanco que se localiza, en un 53%, en superficies que reciben una radiación promedio del tipo media (874,7 – 783, 8 watts/m²). Existen dos formaciones vegetales puntuales (canelo y palma), que se encuentran en sectores “extrazonales” de la ladera, ya que residen en biotopos que presentan condiciones que son muy específicas.
- Existe una estrecha relación entre las gradientes ambientales locales y los patrones de tolerancia a la radiación solar de la vegetación, limitada por los factores ecológicos, en cada microzona específica. La generación de valoraciones y tipificaciones de variables biofísicas del ecosistema es fundamental, ya que sirven como puntos de referencia para la definición de unidades, con límites simples y evidentes.
- Al realizar el análisis estadístico la valorización final de cada formación vegetal y sus frecuencias, se pudo apreciar que la distribución de éstas se asemeja a la distribución ji - cuadrada (92%), que ayuda en la generación de futuras estrategias para poder mejorar y enriquecer a las formaciones vegetales residentes, principalmente a la roblería, que presenta un degradado estado de conservación.

- Los resultados generados en esta memoria, contribuyen a concebir futuros trabajos relacionados con la intervención y mejora de las condiciones del biotopo, en el macizo Cerro el Roble, con el fin de mejorar las características de los facilitadores ecológicos, en las respectivas comunidades vegetales.

5. BIBLIOGRAFÍA

- ALVAREZ, F. 2004. Inventariación de las masas de *Pinus Radiata* D. Don en el Bierzo (León) empleando teledetección con imágenes multiespectrales y clasificadores orientados a objetos. Tesis para obtención del grado de Master en la Universidad Internacional UNIGIS en gestión e Sistemas de Información Geográfica, España. 59 pág.
- ASHCROFT, M., CHISHOLM, L. y FRENCH, K. 2007. The effect of exposure on landscape scale soil surface temperatures and species distribution models. *Landscape Ecol* 23:211 – 225.
- BENAVENTE, S. 2005. Caracteres anatómicos foliares de *Prosopis tamarugo* y *Prosopis chilensis*, dos especies congenéricas con distribución geográfica restringida al límite septentrional y meridional del género *Prosopis* en Chile. Tesis para la obtención del grado de Ingeniero Agrónomo. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago. Chile. 97 Pág.
- BRUNEL, J. 2005. Metodología de evaluación bioclimática; tres ejemplos en Chile: Calama, Santiago, Puerto Montt. Seminario de arquitectura, Universidad de Chile. Santiago. Chile. 157 Pág.
- BUFFO, J., FRITSCHEN, L. y MURPHY, J. 1972. Direct solar radiation on various slopes from 0 to 60 degrees north latitude. United States department of agriculture, Portland Oregon. Pacific northwest forest and range experiment station forest service. Oregon. United States. 75 Pág.
- CANAVOS, G. 1992. Probabilidad y estadística: aplicaciones y métodos. Editorial McGraw – Hill. Ciudad de México. México. 651 pág.
- CHAPMAN, A., MUÑOZ, M. y KOCH, I. 2005. Environmental information: placing biodiversity phenomena in an ecological and environmental context. *Biodiversity Informatics* 2:24 – 41
- CIFUENTES, V. 1999. Determinación del índice de superficie foliar (Leaf Area Index) en masa forestales usando imágenes Landsat – TM. Conclusiones de un primer estudio en la sierra norte de Córdoba. España. 8 pág.
- CLEMENTS, F. y SHELFORD, V. 1939. Bio-ecology. University of Chicago. Chicago. United States. 426 pág.
- DALE, J. y GREY, A. 1986. Topographic shading and geographical patterns of direct solar radiation in mountainous regions. *Professional Geographer*. 38, 383 – 390.
- DALY, C., NEILSON, R. y PHILLIPS, D. 1993. A Statistical – Topographic Model for Mapping Climatological Precipitation over Mountainous Terrain. 33, 140 – 158.

- DE FINA y RAVELLO. 1973. Climatología y fenología agrícola. Editorial Universitaria. Buenos Aires. Argentina. 281 pág.
- DEVORE, J. 1998. Probabilidades y estadística para ingeniería y ciencias. Internacional thompson editores. Ciudad de México. México. 712 pág.
- DI CASTRI, F. y HAJEK, E. 1976. Bioclimatología de Chile. Vicerrectoria academica de la Universidad Catolica de Chile. Santiago. Chile. 163 pág
- DONOSO, L. 2007. Propuesta de intervención silvícola con fines de conservación para la formación boscosa de *Nothofagus macrocarpa* (Caleu. Provincia de Chacabuco). Memoria para la obtención del grado de Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. Santiago. Chile. 134 Pág.
- GAJARDO, R. 2001. Antecedentes sobre el “Roble de Santiago” o “Roble Blanco” (*Nothofagus macrocarpa*) y sus problemas de conservación. Revista Bosque Nativo (Valdivia), 28: 3 – 7.
- GAJARDO, R. 2004. Perspectivas en la conservación de la naturaleza. Apuntes de clases Temas de Ecología Aplicada. Universidad de Chile. Santiago. Chile
- GOOGLE EARTH PRO. 2008. *Software* cibernético pagado en línea. Basado en imágenes satelitales de Agosto del 2006. Estados Unidos.
- HOLST, T., ROST. J. y MAYER. H. 2005. Net Radiation balance for two forested slopes on opposite sides. International Journal of Biometeorology. 49:275 – 284.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR (IGM). 1991. Cartografía generada por el Servicio Aerofotogramétrico de la Fuerza Aérea de Chile (SAF). Santiago. Chile. 200 pág.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR (IGM). 2007. Atlas geográfico para la educación. Santiago. Chile. 256 pág.
- KNYAZIKHIN. Y. 1998. Estimation of vegetation canopy leaf area index and fraction of absorbed photosynthetically active radiation from atmosphere – corrected MISR data. Journal of Geophysical research 103: 239 – 256.
- LEE, J. 2000. Statical analysis with Arcview GIS. Editorial. John Wiley & Sons. Montreal. Canada. 192 pág
- LLOYD, W. 1973. Estimating solar radiation on mountain slopes. Agricultural Meteorology 12, 329 – 336.
- LUEBERT, F. y PLISCOFF P. 2006. Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Editorial Universitaria. Santiago. Chile. 316 pág.
- MORGAN, R., URBANO, P. y URBANO, J. 1997. Erosión y conservación del suelo. Editorial Mundi – Prensa libros, Madrid. España. 343 pág.

- MOSTACEDO, B. y FREDERICKSEN, T. 2000. Manual de métodos básicos de muestreos y análisis en ecología vegetal. Proyecto de manejo forestal sostenible (BOLFOR). Santa Cruz de la Sierra. Bolivia. 92 pág.
- SHERKOVIC, D. 2005. NOAA – 18 (N) in flight. National Aeronautics and Space Administration (NASA). Volumen 13, Number 3. Summer/ Fall quarters. 32 pág.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). 2007. NOAA air resources laboratory real time environmental applications and display`s system. Department of commerce. *Software* cibernético pagado. Estados Unidos.
- ODUM E. 1992. Ecología, bases científicas para un nuevo paradigma, 1ra edicion, Editorial Barcelona, Barcelona, Vedrá 1992.
- RODRIGUEZ, R., MATTHEI, O. y QUEZADA, M. 1983. Flora arborea de Chile. Ediciones de la Universidad de Concepción. Concepción. Chile. 408 p.
- ROGERS, T. 2004. Sistema internacional de unidades. Editorial McGraw Hill. Mexico. Ciudad de México. 210 p.
- ROUSSEAU, M., SCOPEL, A., SEARLES P., CALDWELL, M., SALA, O. y BALLARÉ, C. 2001. Responses to solar ultraviolet – B radiation in a shrub – dominated natural ecosystem of Tierra del Fuego (southern Argentina). *Global Change Biology* 7, 467 – 478.
- STACHOWICZ, J. 2001. Mutualism, facilitation and the structure of ecological communities. *BioScience* 51:235 – 246.
- STAGE, A. R. 1976. An expression for the effect of aspect, slope, and habitat type on tree growth. *Forest Sci* 22, 457 – 460.
- TOO, E., TARBOTON, D., MAIDMENT, D. 2006. Introduction to Google Earth Pro. Center for Research in Water Resources. University of Texas. Texas. USA. 30 p.

6. ANEXOS

6.1. Anexo uno

A continuación se explica la “ley del coseno de oblicuidad”

La radiación incidente sobre la superficie de la tierra, se explica con la “ley del coseno de oblicuidad” que interpreta la intensidad de calor que recibe una superficie horizontal, que depende de la inclinación con que llegan los rayos solares a ésta. La mayor intensidad se produce cuando la radiación cae verticalmente sobre el área (Knyazikhin, 1998), esto se relaciona con el principio de oblicuidad, ya que la intensidad calórica recibida, varía proporcionalmente al coseno del ángulo que forma el plano con el plano perpendicular a los rayos solares.

La ley del coseno de oblicuidad se expresa por la formula:

$$S_0 = S_1 \times \cos (Z)$$

Siendo S_1 la energía que cae sobre la superficie y Z el ángulo de inclinación del sol, la mayor intensidad se produce cuando los rayos solares caen verticalmente, entonces Z vale cero y el coseno de 0° es uno, por lo tanto $S_1 = S_0$. La menor intensidad ocurre cuando el sol está en el horizonte y sus rayos llegan muy oblicuos. Si fueran paralelos al suelo el ángulo Z sería de 90° y el coseno de 90° vale cero, por lo tanto $S_1 = 0$ (De Fina y Ravello, 1973).

Considerando estos factores sobre la radiación, se puede establecer una gradiente climática local dentro de una ladera según la recepción de los rayos solares, generando a su vez diferentes ecosistemas (Stage, 1976).

6.2. Anexo dos

El anexo uno se compone de las capas de información (shapes) que se utilizaron en este estudio.

- Toponimia
- Microzonas
- Pendientes
- Caminos del cerro
- Comunidades Vegetales
- Subcuencas
- Curvas de nivel del cerro
- Senderos de grupo
- Erosión final
- Hidrocuenca de Caleu
- Sendero de 23 hoyos
- Senderos de grupo

6.3. Anexo tres

Este anexo describe las características del satélite NOAA 18, representadas en la siguiente tabla:

| | |
|--------------------------|-----------------|
| Fecha de Lanzamiento | 20 mayo 2005 |
| Altura aproximada | 854 Km |
| Inclinación de la órbita | 98.74° |
| Periodo de la órbita | 102,12 min |
| Frecuencias APT | 137,5 Mhz |
| Frecuencias HRPT | 1698 – 1707 Mhz |

El satélite registra imágenes en cinco bandas espectrales diferentes, en el rango de luz visible a infrarrojo. Esta información se transmite a tierra en dos formatos diferentes: HRPT y APT. El primer formato (HRPT) es digital, se transmite en 1690 Mhz y requiere un equipo un poco mas sofisticado. APT fue diseñado para ser recibido con medios reducidos, pero tiene la desventaja de transmitir solamente dos de las cinco bandas espectrales, y con un cuarto de la resolución. La frecuencia es en la banda de 137 Mhz (Sherkovic, 2005).

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Valorización de las especies dominantes, en las formaciones vegetales..... | 9 |
| Exposición solar y su valorización | 10 |
| Nivel de cobertura y valorización respectiva | 10 |
| Tipos de pendientes, su rango y valorización..... | 11 |
| Rangos de altitud y su valorización..... | 12 |
| Tipo de erosión y su valorización..... | 12 |
| Rangos de altitud y su valorización..... | 13 |
| Tipos de exposición, ocurrencia y su porcentaje en la ladera del Cerro el Roble | 15 |
| Ponderaciones de pendiente, de la ladera del Cerro el Roble..... | 16 |
| Microzonas de roble blanco, en diferentes intensidades promedio de radiación solar... | 19 |
| Especies a diferentes niveles de radiación, con sus respectivas unidades por nivel, porcentaje específico por especie y total dentro de la ladera | 20 |

dd

Valorización de las especies dominantes, en las formaciones vegetales

Exposición solar y su valorización

Nivel de cobertura y valorización respectiva

Tipos de pendientes, su rango y valorización

Rangos de altitud y su valorización

Tipo de erosión y su valorización

Rangos de altitud y su valorización

E

Tipos de exposición, ocurrencia y su porcentaje en la ladera del Cerro el Roble

Ponderaciones de pendiente, de la ladera del Cerro el Roble

Microzonas de roble blanco, en diferentes intensidades promedio de radiación solar

Especies a diferentes niveles de radiación, con sus respectivas unidades por nivel,
porcentaje específico por especie y total dentro de la ladera

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Corrección, de la capa comunidades vegetales, con el <i>software</i> GEP | 14 |
| Modelo de exposición, del Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble..... | 15 |
| Modelo de asoleamiento, del Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble | 17 |
| Relación entre el nivel de asoleamiento y las formaciones vegetales, en el Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble..... | 18 |
| Gráfico de la ponderación de las variables y frecuencia | 22 |
| Imágenes del grupo uno, dos, tres y cuatro con su respectiva asociación de ponderación | 24 |

Corrección, de la capa comunidades vegetales, con el *software* GEP

Modelo de exposición, del Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble

D

Modelo de asoleamiento, del Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble

Relación entre el nivel de asoleamiento y las formaciones vegetales, en el Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble

Gráfico de la ponderación de las variables y frecuencia

W

Imágenes del grupo uno, dos, tres y cuatro con su respectiva asociación de ponderación