



**UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**LOCALIZACIÓN DE SITIOS ADECUADOS PARA EL ESTABLECIMIENTO DE
PLANTACIONES DE QUILLAY (Quillaja saponaria Mol) MEDIANTE LA
INTEGRACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y
TÉCNICAS DE EVALUACIÓN MULTICRITERIO.**

ENRIQUE A. ÁLVAREZ MUÑOZ

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO FORESTAL**

PROFESOR GUÍA: DR. CARLOS MENA FRAU

TALCA – CHILE

2003



UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES.
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

El Sr. Enrique Alonso Alvarez Muñoz ha realizado la Memoria : "**Localización de sitios adecuados para el establecimiento de plantaciones de Quillay (*Quillaja saponaria* Mol) mediante la integración de Sistemas de Información Geográfica y Técnicas de Evaluación Multicriterio**", como uno de los requisitos para optar al Título de Ingeniero Forestal. El Profesor Guía es el Sr. Carlos Mena Frau.

La comisión de Calificación constituida por los profesores Sr. Carlos Mena Frau y el Sr. Mauricio Ponce Donoso, han evaluado con nota 6,3 (seis, tres).



CRISTIAN LOPEZ MONTECINOS
DIRECTOR
ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL

Talca, Marzo de 2003.

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo, quisiera agradecer a Dios y a la Virgen por estar siempre conmigo y por ser la fuerza interior que me llevó a cumplir este ciclo.

A mis padres, Enrique y Yolanda, por su constante apoyo y sacrificio, y también por su gran ejemplo de amor y generosidad.

A mi futura esposa y a mi preciosa hija, Ana Verónica y Ana Camila, por su paciencia, por su amor y por hacerme valer como persona, por la felicidad que me entregan y por su valor para creer que todo lo que uno se propone se puede cumplir.

A todos mis familiares, a mi hermano, a mis abuelos, a mi suegra, a mis primos y tíos, por su comprensión y su incondicional ayuda.

A mi profesor guía, Carlos Mena, por la confianza depositada en mí, por los consejos tan válidos para enfrentar la vida y también por poner en práctica los valores de la lealtad y la amistad en el grupo de trabajo que se formó en el laboratorio de SIG.

Al profesor Mauricio Ponce, por su ayuda en la finalización de este trabajo, por su amistad, por su buen humor y simpatía.

Al personal de División Andina de Codelco, a Don Jorge Muñoz, Don Jorge Bazaes, Germán Espejo y a todos los que de una u otra forma me ayudaron en todo lo relacionado con mi memoria.

No puedo dejar de agradecer a mis amigos compañeros de carrera, por ayudarme en todo lo que a estudios se refiere, por acogerme en sus casas y por hacer que este duro camino sea un poco más agradable y feliz.

Espero, de corazón, que esta amistad perdure a través del tiempo, para que el día de mañana, recordemos los hermosos momentos vividos en la universidad,

A mi amigo Claudio Castro, que aunque partió muy temprano, me enseñó el valor de la amistad, y que un amigo es un hermano que hay que entender, cuidar y valorar.

Claudio, si bien no has estado físicamente con nosotros, sé que tu espíritu nos acompaña siempre.

Esta memoria está dedicada a mi hija Ana Camila

MEMORIA FINANCIADA POR CODELCO CHILE, DIVISIÓN ANDINA

RESUMEN

La información espacial, generalmente está compuesta de una gran cantidad de datos, así como también de una gran cantidad de variables. Estos datos, permiten a los profesionales desarrollar de mejor forma la planificación territorial, la cual, generalmente corresponde a grandes extensiones de terrenos que necesitan ser ordenados.

El presente estudio establece una metodología para la utilización de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) junto a las Técnicas de Evaluación Multicriterio, para localizar sectores aptos para recibir una plantación de Quillay (*Quillaja saponaria* Mol.).

El lugar donde se desarrolló el estudio se encuentra en la Región Metropolitana, en la comuna de Til-til, a unos 45 kilómetros al noreste de Santiago. Cabe señalar que el predio en cuestión es propiedad de Codelco Chile, División Andina y posee una superficie de aproximadamente 6000 hectáreas.

La evaluación Multicriterio se desarrolló utilizando el Método de las Jerarquías Analíticas, para evaluar los criterios incluidos en la modelación. Los criterios a evaluar son profundidad del suelo, drenaje del suelo, textura del suelo, orientación o exposición y accesibilidad. Estas variables fueron incorporadas mediante matrices, las cuales se evaluaron por expertos, los que determinaron la prioridad de una variable con respecto a su par. Los SIG, por su parte sistematizan estos procedimientos y procesan la información espacial digital reunida. Esta información consiste principalmente en curvas de nivel, red caminera, hidrografía, series de suelos, obras civiles, profundidades y polígonos de plantaciones y vegetación protegida.

Para determinar los sectores más idóneos se desarrolló un modelo de capacidad de acogida del territorio. Este modelo se determinó basándose en la regla de decisión Sumatoria Lineal Ponderada, la cual permitió relacionar todos los criterios pertinentes para la evaluación. Se determinaron además las zonas restrictivas donde no es factible establecer una plantación de Quillay.

SUMMARY

Spacial information is generally composed by a huge amount of data, as the same way is composed by a large number of variabilities. These data allow professionals to develop, in the best way, the territorial planification which often is related to enormous extensions of lands that need to be classified.

The following research sets a methodology for the using of the Geographic Information Systems (GIS) with the Multicriteria Evaluation Techniques in order to find suitable places to stablish a Quillay (*Quillanaja saponaria* Mol.) plantation.

The place where the research was developed is located in the Metropolitan Region in the location of Til-Til, 45 kms northeast from Santiago. It is important to say tha this place belongs to Codelco Chile, División Andina and its extension is about 6000 hectares.

The multicriteria evaluation was developed using the Method of the Analitic Hierarchies, in order to evaluate criteria included in the modeling. The criteria to evaluate are the following: depth, drainage, texture of the ground, orientation or exposition and accessibility. These variabilities were incorporated through matrix which were evaluated by experts who determinated the importance of the variability according to its pair. GIS, on the other hand, systematize these procedures and process the spacial information gathered. This information is about level curves, road networks, hidrography, ground series, civil works, depths, plantation polygons and protected vegetation.

In order to determinate the most suitable areas, a model of the land reception capacity was developed. This model was determinated based on the rule of decision of the weighed linear adding, which allowed relating all the pertinent criteria for the evaluation. Restrictive zones, where is imposible to stablish a Quillay plantation, were also determinated.

ÍNDICE

	Páginas
1 INTRODUCCIÓN	1
2 OBJETIVOS	3
3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Acerca de los Sistemas de Información Geográfica (SIG)	4
3.1.1 Cuestiones a las que puede responder un SIG	6
3.1.2 Elementos de un SIG	7
3.1.3 Clasificación de los SIG	9
3.1.3.1 Entrada de información	9
3.1.3.2 Transformación y análisis de datos	10
3.1.3.3 Salida de datos	10
3.1.4 Modelos y estructuras de datos	11
3.2 Antecedentes de la especie Quillay	15
3.2.1 Características generales	15
3.2.2 Distribución	16
3.2.3 Usos	16
3.2.4 Estado de conservación	16
3.2.5 Asociaciones vegetales	16
3.2.6 Ecología	18
3.2.7 Riesgos	20
3.3 Técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC)	22
3.3.1 Definición de EMC	23
3.3.2 Principios básicos de la EMC	23
3.4 Elementos del proceso de EMC en un SIG	26
3.5 Desarrollo integrado de métodos EMC y SIG	27
3.6 Capacidad de acogida del territorio	29
4 METODOLOGÍA	30
4.1 Antecedentes de la zona en estudio	30
4.1.1 Medio ambiente físico	31
4.1.1.1 Geomorfología	31
4.1.1.2 Clima	31
4.1.1.3 Hidrografía	32
4.1.2 Medio ambiente biológico	32
4.1.3 Medio ambiente humano	34
4.1.4 Medio ambiente cultural	34
4.1.5 Reforestación con Algarrobos	35
4.1.6 Áreas de plantación co Eucalipto y especies nativas	36
4.1.6.1 Eucaliptos	37
4.1.6.2 Especies nativas	37

4.2 Materiales	39
4.3 Determinación de los factores participantes	40
4.3.1 Suelos	40
4.3.2 Orientación	42
4.3.3 Red caminera	43
4.4 Restricciones consideradas en el estudio	44
4.4.1 Sectores con actividad productiva	44
4.4.2 Zonas de protección y conservación	45
4.4.3 Plantaciones ya establecidas	46
4.4.4 Cursos de agua	46
4.4.5 Red caminera	47
4.4.6 Pendientes	47
4.5 Recopilación, construcción y corrección de la cartografía digital	47
4.6 Transformación de datos vectoriales en datos raster	50
4.7 Los criterios y sus correspondientes alternativas	51
4.7.1 Series de suelo	51
4.7.1.1 Profundidad	52
4.7.1.2 Drenaje	52
4.7.1.3 Textura	54
4.7.2 Creación del Modelo digital del terreno (MDT)	55
4.7.2.1 Pendientes	56
4.7.2.2 Exposiciones	58
4.7.3 Distancia a caminos existentes	59
4.8 Aplicación de las técnicas de EMC en el entorno de los SIG	60
4.9 Asignación de pesos mediante el Método de las jerarquías analíticas	61
4.9.1 Implementación del método	62
4.9.2 Ponderación de criterios y alternativas	65
4.9.3 Normalización	66
4.9.4 Consistencias de los juicios de valor	67
4.10 Sumatoria lineal ponderada (SLP)	68
4.11 Modelo de capacidad de acogida para Quillay	70
4.12 Confección de la cartografía de síntesis	71
5 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	75
5.1 Presentación de resultados	75
5.2 Análisis de resultados	81
6 CONCLUSIONES	86
7 BIBLIOGRAFÍA	89
APÉNDICES	95
ANÉXOS	112

1.- INTRODUCCIÓN

El crecimiento económico de los últimos años y la evolución general experimentada por la mayoría de las actividades que emplean recursos naturales como insumos productivos, ha producido crecientes externalidades ambientales negativas, generadas por el accionar descontrolado de actividades tanto públicas como privadas en el territorio.

El problema que se plantea, se desarrolla en el ámbito de la minería, la cual, en sus procesos productivos genera un impacto negativo en el ambiente físico, por lo que se ha hecho necesario minimizar este impacto mediante la implementación de estrategias medioambientales, basadas principalmente en la recuperación de suelos intervenidos, por medio de la reforestación de estas zonas. Cabe señalar que se ha incorporado el riego con aguas de relaves, con el fin de aprovechar este recurso.

Codelco Chile, División Andina, realiza trabajos de tratamiento de aguas de relaves en el sector de Huechún, Región Metropolitana. Esta agua es utilizada en parte para realizar riegos de plantaciones hechas en el predio (bosque nativo, plantaciones exóticas y hortalizas).

El presente estudio pretende realizar una aproximación que permita seleccionar los mejores sectores para el establecimiento de plantaciones de Quillay, mediante la utilización de los SIG y las técnicas de EMC.

La especie en cuestión, Quillay, es endémica de Chile, la cual se distribuye naturalmente entre Coquimbo y Malleco, tanto en las Cordilleras como en la Depresión Intermedia. Es una planta adaptada a climas secos y cálidos y por ello se encuentra en toda la zona central en sitios muy variados, desde potreros fuertemente asoleados, hasta las partes más altas de los cerros, secos y con poca vegetación (Wrann, 1985). Crece muy bien y rápido en sitios más frescos y húmedos; además, soporta nieves y heladas (Vita, 1974).

Dadas las condiciones muy especiales de este árbol unidas a una buena germinación y el hecho de que su corteza produce saponinas, producto de exportación usado como detergente y en otros productos de la industria química, es una de las especies más aptas para la reforestación de la zona central y hoy se está empleando en pequeña escala para ello. Todas las saponinas de Quillay que se comercializan en el mundo provienen de la corteza exportada por Chile. Para esto, cada año se cosechan 60.000 árboles de 30 a 50 años, y se extraen 1.000 toneladas de corteza que se exportan a EE.UU., Europa y Japón.

Por otro lado, mediante el avance de la tecnología, el manejo de una gran cantidad de datos geográficos y espaciales se ha hecho posible, así como el manejo de un considerable número de variables. El manejo de la información espacial digital y la gran cantidad de datos generados por esta información, requieren sistemas basados en soportes informáticos, con el fin de realizar de la mejor forma posible, el tratamiento de los datos; de este modo, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se presentan como una poderosa herramienta para este objetivo (Bosque, 1992).

Ahora bien, cuando se plantean problemas de decisión para la ubicación de una plantación de Quillay, lo cual involucra criterios de distintos tipos, así como también distintas alternativas para cada criterio, aparece la necesidad de incluir herramientas distintas a los SIG para lograr resolver estos problemas, tales herramientas son las llamadas Técnicas de Evaluación Multicriterio o EMC (Barredo, 1996).

2.- OBJETIVOS

2.1.- Objetivo General

Generar un Modelo de Capacidad de Acogida para plantaciones de Quillay a través de la integración de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) con Técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC).

2.2.- Objetivos específicos

Determinar mediante la EMC en un SIG, los sitios más idóneos del predio Ovejería, en donde es factible establecer plantaciones de Quillay (*Quillaja saponaria* Mol).

Establecer una cartografía de síntesis que nos permita plantear posibles soluciones a la gestión territorial de la zona en estudio.

3. - REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. - Acerca de los Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Mediante las distintas etapas en la evolución de los SIG, se han alcanzado varios logros que hacen de estos sistemas una potente herramienta y, más aún, una creciente tecnología para todos aquellos sectores que requieren la gestión de información espacial de manera rápida y eficaz.

Los Sistemas de Información Geográfica permiten, en una forma automatizada, integrar información espacial con otro tipo de información para su manipulación y análisis, facilitando la toma de decisiones en diversos problemas de ingeniería (Torres y Villate, 2001).

Las actuales definiciones son las que resaltan la operatividad de los SIG. A continuación, se citan algunas definiciones, las cuales serán de gran importancia para comprender lo necesario que es esta tecnología en el proceso de toma de decisiones; base de datos computarizada que contiene información espacial (Cebrián, 1988); conjunto de herramientas para reunir, almacenar (en la computadora), recuperar, transformar y representar datos espaciales del mundo real para un grupo particular de propósitos (Burrough, 1986), tecnología informática para gestionar y analizar información espacial (Bosque, 1992), sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión (NCGIA, 1990), sistema computarizado que provee los siguientes cuatro conjuntos de operaciones para tratar datos georreferenciados: 1) entrada de datos, 2) uso de los datos (almacenamiento y recuperación), 3) manipulación y análisis y 4) salida (Aronoff, 1989).

En las definiciones citadas, el elemento fundamental está expresado con diferentes nombres: información espacial, datos espaciales, datos espacialmente referenciados o bien objetos geométricos. Este elemento, el dato espacial, es el que diferencia a los SIG de otras bases de datos especializadas, representando el centro en torno al cual giran todas las posibles aplicaciones de los SIG; luego, tenemos que el dato espacial contiene, en su acepción más elemental, características de localización (X,Y) y tipo de característica temática (Z), en las cuales se asienta la base de todas las operaciones posibles de llevar a cabo en un SIG (Barredo,1996).

En un SIG se almacena información cartográfica (con lo que es posible conocer la localización exacta de cada elemento en el espacio y con respecto a otros elementos) e información alfanumérica (datos sobre las características o atributos de cada elemento geográfico). Este hecho, el trabajar con información espacial, es lo que diferencia básicamente a los SIG de otros Sistemas de Información. Entre las tareas que realiza un SIG, se encuentra la descomposición de la realidad en distintos temas, es decir, en distintas capas o estratos de información de la zona que se desea estudiar, tales son el relieve, la litología, los suelos, los ríos, los asentamientos, las carreteras, los límites administrativos, etc. Mediante esto, el profesional puede trabajar sobre cualquiera de esas capas según las necesidades del momento. Pero la gran ventaja de los SIG es que pueden relacionar las distintas capas entre sí, lo cual concede a estos sistemas unas sorprendentes capacidades de análisis (Gutiérrez y Gould, 1994).

Los principales usos de un SIG en el área de la ingeniería son: estudios de factibilidad para el trazado de vías, localización de presas y embalses, trazados de oleoductos, rutas vehiculares, planes de desarrollo y evacuación, localización de recursos, cartografía, entre otros. En el área de recursos naturales: manejo de bosques y tierras, preservación de ríos y selvas, análisis de impacto ambiental, análisis del recurso agua, geología, agricultura, estudios de suelos, etc. Además, los SIG, tienen una gran utilidad en

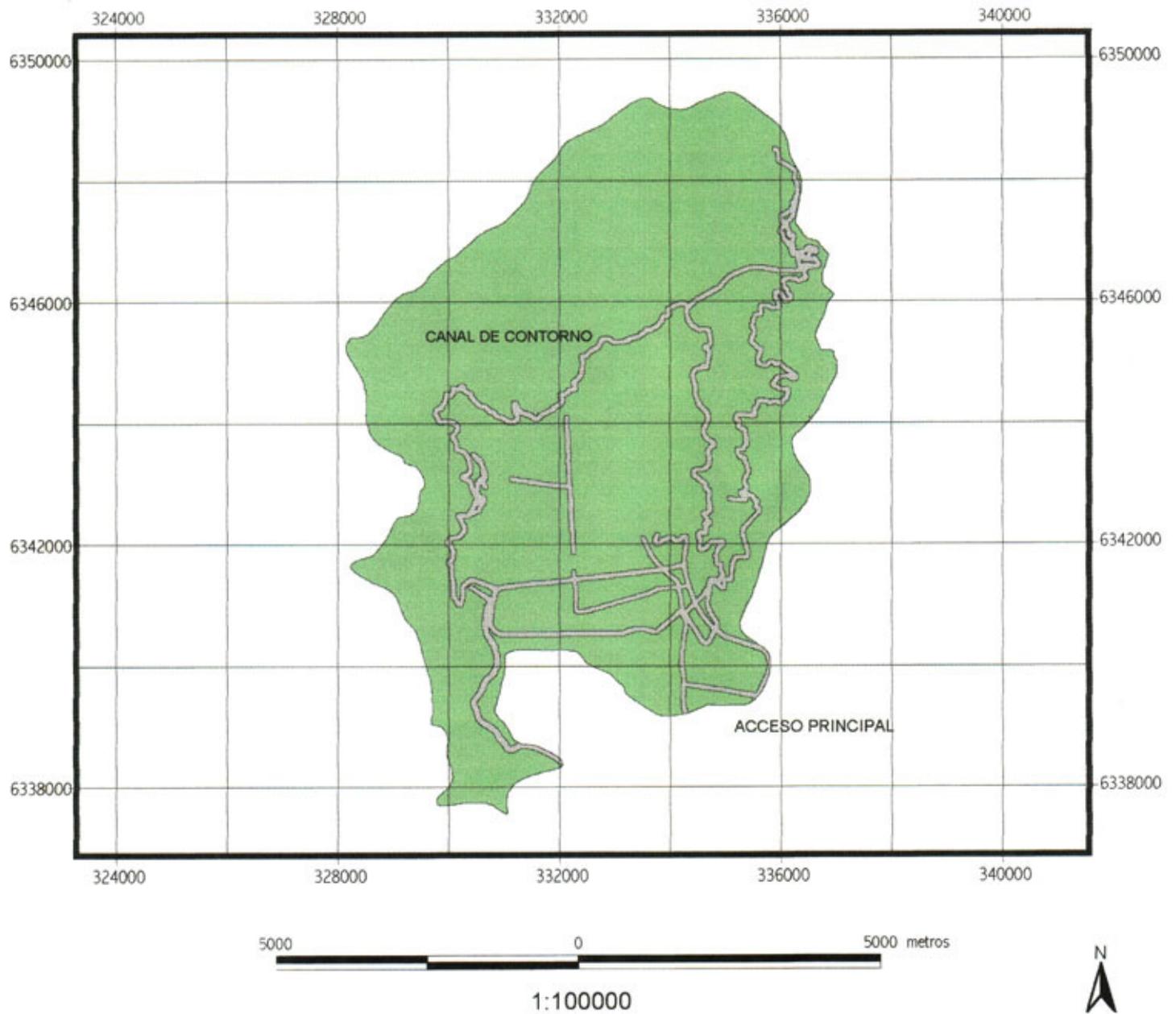
catastros para identificar predios y propietarios, junto con sus elementos físicos, legales y fiscales (Torres y Villate, 2001).

3.1.1. - Cuestiones a las que puede responder un SIG

Rhind (1990), distingue seis grandes tipos de cuestiones a las que un SIG puede responder:

1. Localización, ¿Qué hay en...?: apuntando con el cursor sobre la pantalla se puede obtener información sobre lo que hay en un lugar determinado. Se trata simplemente realizar una consulta en la que es necesario relacionar la información cartográfica con la base de datos de atributos.
2. Condición, ¿Dónde sucede que...?: a partir de unas condiciones previamente especificadas, el sistema debe indicar dónde se cumplen o no esas condiciones.
3. Tendencias, ¿Qué ha cambiado...?: en esta pregunta lo fundamental es la comparación entre situaciones temporales distintas, si bien para ello se pueden incluir condiciones. Ello supone trabajar con varios mapas de la misma zona referidos a fechas distintas.
4. Rutas, ¿Cuál es el camino óptimo...?: el sistema puede calcular el camino óptimo entre dos puntos a través de una red.
5. Pautas, ¿Qué pautas existen...?: ciertas regularidades espaciales pueden ser detectadas con ayuda de un SIG.
6. Modelos, ¿qué ocurriría si...?: se pueden generar modelos para simular el efecto que producirían ciertos fenómenos o actuaciones en el mundo real.

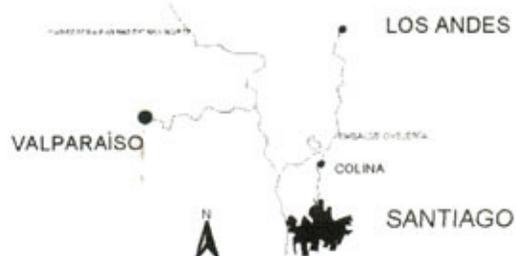
RESTRICCIÓN DE CAMINOS COMUNA DE TILTIL PREDIO OVEJERÍA



LEYENDA

-  ZONAS RESTRICTIVAS
-  ZONAS POTENCIALES

MAPA DE UBICACIÓN



DATOS

FUENTE

Cartografía escala 1:50.000
IGM
Planos topográficos 1:20.000
Codelco Chile, División Andina
Autor: Enrique Alvarez Muñoz

El primer elemento se refiere a la parte física donde se establece el SIG. Ésta consiste la mayoría de las veces en alguna plataforma de computador. Es posible utilizar para estos efectos computadores personales (PC), estaciones de trabajo y otros entornos informáticos. Además, son requeridos un conjunto de periféricos, tales como tabletas digitalizadoras, *plotters*, lectores raster (*scanners*), así como unidades de almacenamiento y procesamiento de datos, para desarrollar todo el potencial operativo de los SIG (Maguire, 1991).

El segundo elemento, el *software*, es el que realiza las operaciones y la manipulación de los datos; con este elemento, el usuario establece una estrecha relación de comunicación acerca de las operaciones realizadas.

Como tercer elemento que forma parte de los SIG, está el banco de datos. Siendo en la mayoría de las veces el elemento crucial, el eje vertebrador de la estructura de un SIG. Es el soporte para el almacenamiento de la información espacial. Su desarrollo, en relación con los demás componentes, requiere un mayor esfuerzo para su implementación en un proyecto SIG (Mena, 1996).

Gutiérrez y Gould (1994), señalan que en ausencia de estos datos espaciales existen dos soluciones posibles a optar, 1) realizar de manera autónoma el proceso de digitalización de la información a partir de cartografía analógica, o bien 2) adquirir la ya disponible en el mercado.

Varios son los factores que influyen en la adquisición de la información, como por ejemplo, variedad de fuentes y formatos en que se presenta, proceso de homogeneización en cuanto a escalas e información temática antes de ser introducida en los SIG, inexistencia en determinados casos de ciertos tipos de información y otros factores que hacen que el proceso de obtener una base de datos operativa sea un aspecto determinante y sumamente costoso en un proyecto de planificación basado en un SIG (Barredo, 1996).

Maguire (1991), define el cuarto y último elemento como *liveware*, el cual se puede considerar como el más importante de un SIG, siendo representado por las personas encargadas del diseño, implementación y uso del SIG; estas personas son las que deben gestionar y desarrollar las posibilidades que ofrecen estos sistemas, para así producir, a partir de las bases de datos espaciales, resultados, soluciones, selecciones, análisis, etc.

3.1.3. - Clasificación de los SIG

Los SIG se pueden clasificar según sus funciones, y éstas se agrupan en cuatro conjuntos fundamentales:

3.1.3.1.- Entrada de Información

Los procesos de entrada incluyen todos los procedimientos de transformación de la información gráfica en forma numérica, así como la edición, comprensión de datos y todos los pasos previos al almacenamiento de los datos en los correspondientes archivos magnéticos. También puede estar la información origen en forma digital, de manera que se introduzca en la base de datos directamente a partir de otros sistemas informáticos (Mena, 1992).

Estos datos espaciales provienen de distintas fuentes y en distintos formatos, así como también sus características temáticas asociadas. Las fuentes de información más frecuentes las constituyen los mapas analógicos, imágenes de sensores espaciales y fotografías aéreas. Esta información debe ser homogeneizada y corregida para poder ser introducida en el sistema.

Actualmente, el proceso a seguir para la entrada de la información espacial en formato analógico es la lectura a través de *scanners* de los documentos a digitalizar, para posteriormente, con programas de vectorización, obtener las capas de datos en formato

vectorial. Otros procedimientos, como la digitalización manual, son considerados actualmente más costosos y lentos (Cebrián, 1988).

Otras formas de obtener la información espacial que se requiere, son la integración entre SIG y teledetección espacial. Además de estas técnicas, existe otra herramienta que presenta altas prestaciones en la obtención de información en terreno en formato digital con precisión de centímetros, y se conoce como GPS (Sistema de Posicionamiento Global) (Goodchild, 1991).

En la etapa de entrada de datos se incluyen además los procedimientos de corrección de errores, así como la generación de topología de los datos espaciales y su caracterización o identificación temática, es decir, introducción de atributos (Barredo, 1996).

3.1.3.2.- Transformación y análisis de datos

Esta es la función en donde radica todo el potencial operativo de los SIG. En ésta, se generan nuevos datos a partir de los existentes originalmente. En esta etapa, se realiza la combinación, reclasificación, superposición y otras aplicaciones sobre las capas de datos espaciales que permiten desarrollar e implementar el modelado espacial (Bosque, 1992).

3.1.3.3.- Salida de datos

Las salidas de datos dependen de los requerimientos del usuario, y las que más se utilizan son: mapas analógicos, tablas de valores, gráficos, representaciones tridimensionales, simulaciones de vuelo sobre ciertas zonas, etc.

La presentación de los datos puede obtenerse en formato analógico a través de impresoras, *plotters* o conversores fotográficos, o bien ser dispuesta en un monitor.

Respecto a las aplicaciones de salidas del SIG existe un amplio campo en que se producen resultados eficaces, pudiendo englobarse todo el conjunto de posibilidades en los aspectos siguientes: análisis de resultados, actualizaciones de procesos cartográficos, obtención de trazados diversos, consultas, resolución de problemas relativos al terreno (Mena, 1992).

3.1.4.- Modelos y estructuras de datos

La base de datos espacial de un SIG es un modelo del mundo real, corresponde a una representación digital en base a objetos discretos (Gutiérrez y Gould, 1994).

Se tiene entonces, que a partir de las propiedades geométricas de un hecho espacial real, éste puede representarse en una capa por medio de alguno de los tres objetos espaciales establecidos, puntos (0-dimensionales), líneas (1-dimensionales) y polígonos (2-dimensionales) en el modelo de datos vectorial, o bien celdas en el modelo raster (Figura2).

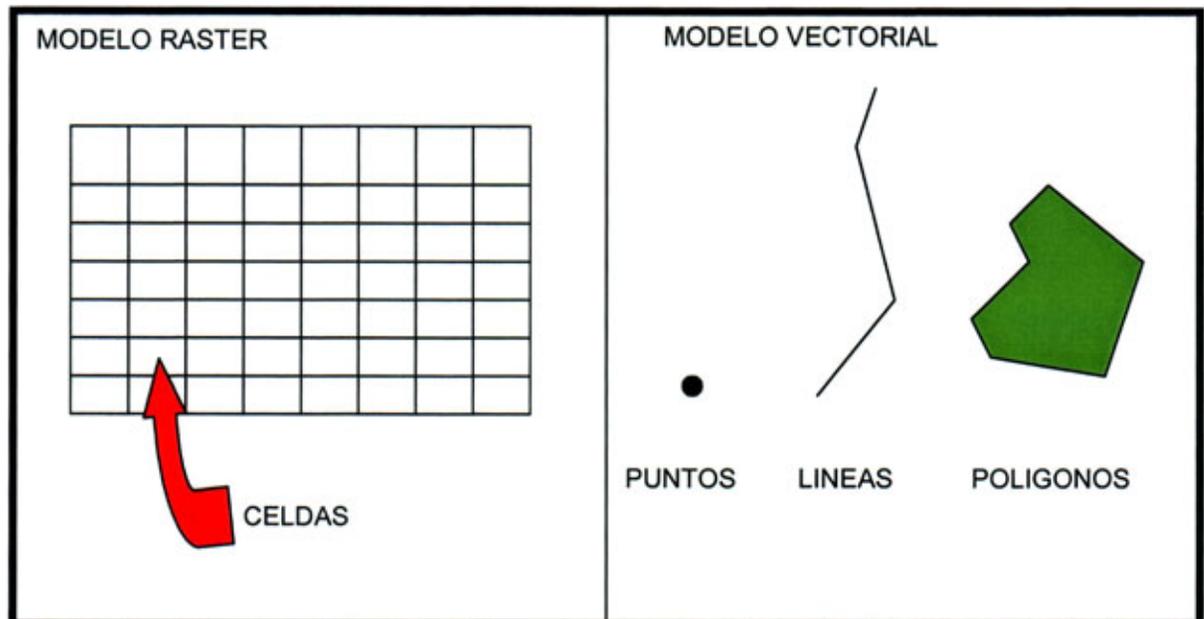


Figura 2.-Tipos de objetos espaciales en los SIG (Gutiérrez y Gould,1994).

Como se observa en la figura 2, existen dos tipos de **modelos de representación digital de la información** que permiten realizar una aproximación básica, en el tema de cómo modelar el espacio. Estos modelos son los llamados **vectorial y raster**.

Modelo vectorial: Las propiedades constituyen el criterio que ayuda a diferenciar las unidades geográficas que existen en el mundo real: las entidades (Gutiérrez y Gould,1994). Estas entidades son representadas por medio de objetos en la base de datos. Por ejemplo un lago (entidad) puede representarse en un SIG mediante un polígono (objeto). Aronoff (1989), señala que en este modelo, la información del mundo real es representada por puntos y líneas que definen sus límites o fronteras, estableciendo un sistema de coordenadas X, Y para localizar cada objeto espacial en una capa.

La asignación de atributos en el modelo vectorial se realiza a través de una tabla de atributos asociada a cada capa de datos espaciales, en la cual una etiqueta identifica cada objeto espacial, y en esta se asignan los atributos temáticos a los objetos en dicha tabla de atributos. En comparación con el modelo **raster**, el modelo **vectorial**, posee ventajas y desventajas, las cuales Aronoff (1989), describe a continuación:

Ventajas

- Genera una estructura de datos más compacta que el modelo raster.
- Genera una codificación eficiente de la topología y una implementación más eficientes de las operaciones que requieren información topológica, como el análisis de redes.
- El modelo vectorial es más adecuado para generar salidas gráficas que se aproximan mucho a los mapas dibujados a mano.

Desventajas

- Es una estructura de datos más compleja que el modelo raster.
- Las operaciones de superposición de mapas son más difíciles de implementar.
- Resulta poco eficiente cuando la variación espacial de los datos es muy alta.

- El tratamiento y realce de las imágenes digitales no puede ser realizado de manera eficiente en formato vectorial.

Modelo raster: En este modelo, el espacio está representado por un conjunto de unidades espaciales llamadas celdas (*píxeles*), las cuales representan unidades homogéneas de información espacial; éstas establecen su localización por un sistema de referenciación en filas y columnas, pudiendo ser identificadas claramente por su número de fila y columna. El modelo raster centra su interés más en las propiedades del espacio que en la representación precisa de los elementos que lo conforman (Gutiérrez y Gould, 1994). En cuanto a la información temática, a cada celda le corresponde normalmente un único valor relativo a la variable que se está representando (altitud, uso de suelo, caminos, etc.).

La representación de los elementos del mundo real se realiza de la siguiente forma: un elemento puntual se representa mediante una celda, un elemento lineal mediante una secuencia de celdas alineadas y un elemento poligonal mediante una agrupación de celdas contiguas. Al igual que en el modelo anterior, Aronoff (1989), señala ventajas y desventajas de raster con respecto a vectorial.

Ventajas

- Es una estructura de datos simples.
- Las operaciones de superposición de mapas se implementan de forma más rápida y eficiente.
- Cuando la variación espacial de los datos es muy alta el formato raster es una forma más eficiente de representación.
- El formato raster es requerido para un eficiente tratamiento y realce de las imágenes digitales.

Desventajas

- La estructura de datos raster es menos compacta. Las técnicas de compresión de datos pueden superar frecuentemente este problema.

- Ciertas relaciones topológicas son más difíciles de representar.
- La salida de gráficos resulta menos estética, ya que los límites entre zonas tienden a presentar la apariencia de bloques en comparación con las líneas suavizadas de los mapas dibujados a mano. Esto puede solucionarse utilizando un número más elevado de celdas más pequeñas.

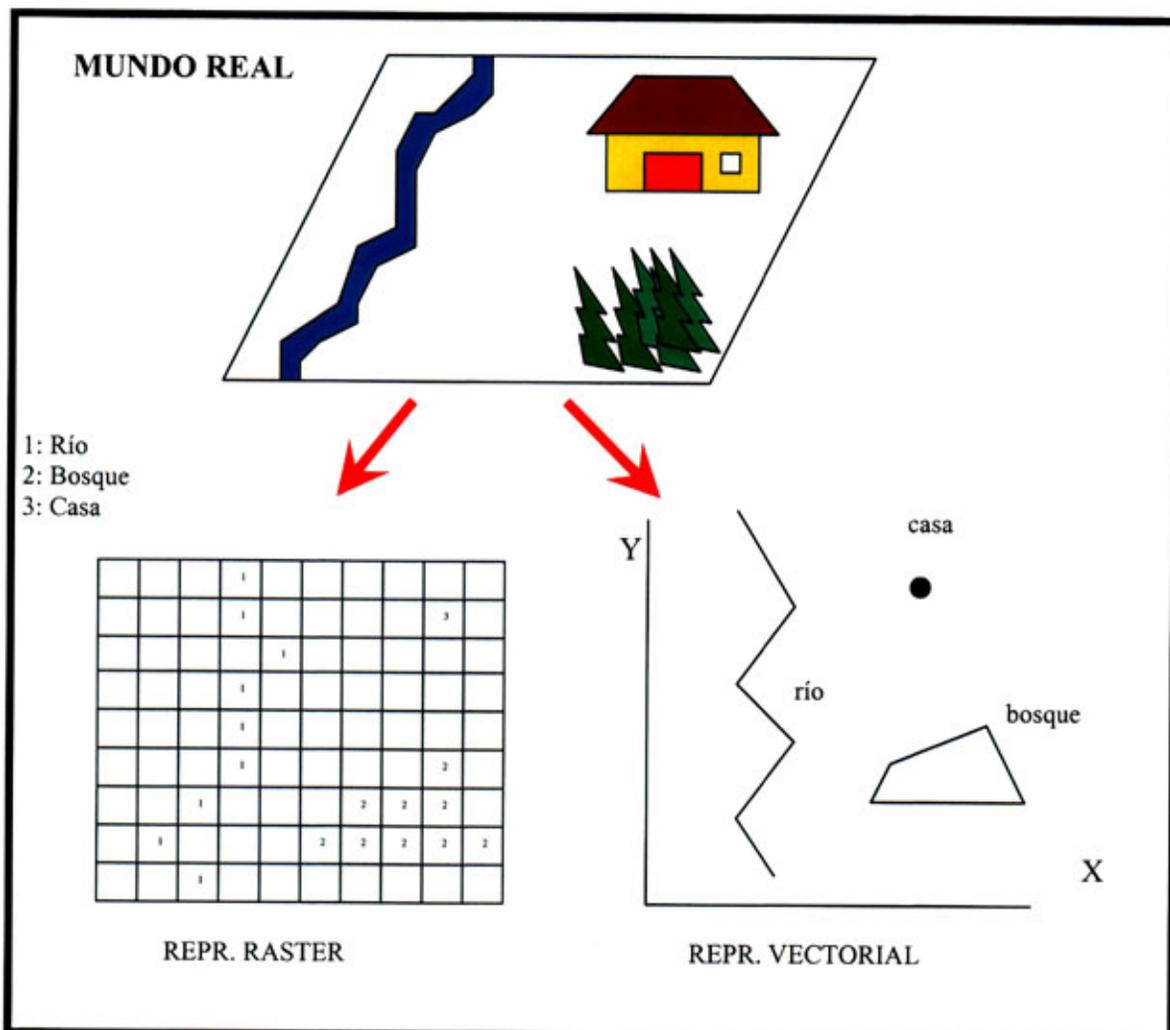


Figura 3.- Representación raster y vectorial de la información del mundo real
(Barredo, 1996)

3.2.- Antecedentes de la especie en cuestión: Quillay (*Quillaja saponaria* Mol)

3.2.1.- Características generales

Árbol siempreverde de hasta 15 m de altura, cuyo tronco llega a 1 m de diámetro. La corteza, rica en saponina se caracteriza por su color gris ceniciento y sus fisura longitudinales. Hojas perennes, simples, alternas, coriáceas, de 2 a 4 cm de largo y 1 a 2,5 cm de ancho, elípticas, lustrosas, de color verde amarillento, obtusas de margen entero o ligeramente denticulado (INFOR, 2000).

El Quillay es una especie polígamo-monoica o hermafrodita, que se reproduce en forma natural tanto por semillas como por propagación vegetativa (Mera, 1990).

El fruto corresponde a una cápsula estrellada formada por 5 folículos que permanecen en el árbol, secos y abiertos, durante largo tiempo. Posee flores hermafroditas, solitarias o dispuestas en corimbos terminales; de color blanquecino, aplanadas de forma estrellada, de 1 a 1,5 cm de diámetro. Florece de octubre a enero.



Figura 4.- Ejemplar adulto de Quillay (Conaf, 2003)

3.2.2.- Distribución

Esta especie es endémica de Chile. Se le encuentra desde la provincia de Limarí (IV región) hasta la del Biobío (VIII región); en la zona litoral central y andina, desde los 15 hasta los 1600 m.s.n.m. (Rodríguez *et al*, 1995). Vita (1989), señala además que el Quillay es una de las especies esclerófilas más abundantes y de más amplia distribución en el país.

3.2.3.- Usos

Múltiples son los usos que se le ha dado a esta especie. Entre ellos destacan: Producción de saponina, uso silvopastoral, elaboración de leña y carbón, apicultura, arborización urbana, propiedades medicinales, entre otras.

3.2.4.- Estado de conservación

La extracción de la especie se realiza muchas veces sin técnicas ni control adecuado, lo que unido al sobrepastoreo, que limita fuertemente su regeneración, ha ido produciendo su disminución progresiva, especialmente en la parte norte de su área de distribución.

Con objeto de proteger la población de la especie, en 1985 el Quillay fue clasificado en estado "**Vulnerable**" por la Corporación Nacional Forestal en la IV Región (Conaf, 2003).

3.2.5.- Asociación vegetal

Según Gajardo (1983), se reconocen las siguientes formaciones y comunidades en que participa *Quillaja saponaria*:

Quillaja saponaria - *Colliguaja odorifera* (Quillay-Colliguay).

Agrupación que se encuentra desarrollada especialmente en altitud, en laderas rocosas y en los valles altos. Su fisonomía corresponde a la de un bosque o matorral alto, muy abierto, en la formación de bosque esclerófilo de la precordillera andina.

Quillaja saponaria - *Lithraea caustica* (Quillay – Litre).

Comunidad más típica y repartida de la formación de bosque esclerófilo de la precordillera andina, pues va desde estructuras de matorral hasta aquellas de bosque, pero siempre con una densidad baja en la estrata arbórea. Se localiza de preferencia en situaciones de media ladera.

Quillaja saponaria - *Fabiana imbricata* (Quillay – Piche).

Comunidad característica de la formación de bosque esclerófilo maulino, con un carácter excepcional en ciertas circunstancias, que provoca la cobertura completa de *Fabiana imbricata*.

Quillaja saponaria - *Porlieria chilensis* (Quillay – Guayacán).

Comunidad caracterizada por una estructura espacial constituida por árboles altos esparcidos y arbustos agrupados en matorrales, dejando amplios claros, donde se desarrolla una pradera de tipo primaveral. Se ubica en laderas medias, de poca pendiente, especialmente en laderas de exposición sur. Se encuentra en la formación de matorral espinoso de las serranías.

Rodríguez *et al* (1995), señala además que en el "Valle Central", Quillay se asocia con Espino (*Acacia caven*), Litre (*Lithraea caustica*), Tebo (*Trevoa trinervis*), Huingán (*Schinus polygamus*) y Boldo (*Peumus boldus*), entre los más importantes. Más al sur, aparece formando bosque abierto asociado con Boldo. También se mezcla, en forma escasa, con diversas especies caducifolias del género *Nothofagus*.

3.2.6.- Ecología

Quillay es un árbol monoico o dioico, de hasta 15 m de altura y tronco de hasta 1 m de diámetro. Es de follaje siempreverde, corteza cenicienta y rasgada longitudinalmente (Rodríguez, 1995). Además, Vita (1974), indica que en suelos profundos y planos, el Quillay puede alcanzar hasta 30 m de altura y 1,5 m de DAP.

Los principales climas en donde se encuentra Quillay son mediterráneo marino, mediterráneo frío, mediterráneo subtropical semiárido y mediterráneo templado. Representando todos ellos el 97% de la superficie de ocurrencia de la especie. Las temperaturas, en las cuales se desarrolla la especie, varían entre los -3,2° (clima mediterráneo frío) a 9,4°C (clima mediterráneo marino) para la mínima y entre los 16,5° (clima mediterráneo frío) a 31,3°C (clima mediterráneo marino) para la máxima. La temperatura media es de 14°C y las precipitaciones varían 104,4 y los 1330 mm anuales (Conaf, 1998).

En la zona mesomórfica, Quillay forma principalmente rodales mixtos con especies tales como Litre, Peumo, Maitén, Boldo y otras. También se puede encontrar en rodales puros pero abiertos, formando un tipo de bosque parque (Vita, 1974), especialmente en los sitios más xéricos. Donoso (1981), afirma que se pueden encontrar bosques puros de Quillay desde Curicó al sur.

Al parecer, la luz no es un factor limitante para la actividad fotosintética del Quillay y otras especies del tipo esclerófilo, sino más bien lo es el agua en el suelo. Debido a su extendido sistema radical, esta especie posee tasas de fotosíntesis uniformes durante el año, en comparación a Litre y Peumo. En exposiciones sur y en verano, Quillay alcanza mayores tasa de fotosíntesis respecto a estas especies (Donoso, 1981).

El Quillay es una especie intolerante a la sombra, la que en condiciones favorables de humedad, es desplazada por especies más tolerantes, como por ejemplo Peumo y Boldo (Vita, 1974).

Por otro lado, el Quillay constituye formaciones clímax en sectores más secos del tipo forestal esclerófilo (Donoso, 1981).

Gallardo y Gastó (1987), postulan que en sectores fisiográficos xéricos de la Región mediterránea, tales como piedmont y laderas bajas de exposición norte y ladera media de exposición sur, el bosque de *Lithraea caustica* constituye el estado climático de la vegetación y que la etapa anterior al clímax estaría formada por Quillay y Boldo principalmente.

Quillaja saponaria crece en diversos tipos de suelos, incluso en aquellos pobres y estériles (Conaf, 1998). En los suelos del Llano Central, se ha desarrollado sobre sedimentos derivados de erosión de las montañas, en tanto que en la Cordillera de los Andes, se desarrolla sobre rocas andesíticas y sedimentos metamorfoseados y la costa sobre rocas metamórficas y graníticas (Donoso, 1981).

Según Gallardo y Gastó (1987), Quillay abunda en el coluvio de la Cordillera de los Andes y en suelos graníticos depositacionales y de lomaje y cerros de la Cordillera de la Costa. En esta última, la especie se encuentra prácticamente en todas las posiciones fisiográficas y en diversos estados de abundancia, mezclada con distintas especies, donde generalmente no predomina. Sólo en ocasiones se encuentra como bosque denso casi puro. Además agregan que esta especie no se observa en los suelos aluviales de la Depresión Central, dado que éstos se caracterizan por presentar una alta alteración antrópica.

Respecto a la regeneración natural de esta especie, se debe indicar que posteriormente a las explotaciones de sus bosques, se produce principalmente a partir de retoños de tocón, formando un monte bajo (Vita, 1974).

Estévez (1994), realizó una caracterización del rebrote en cepas de Quillay, en el fundo "El Toyo", Región Metropolitana. En este trabajo se destaca la excelente capacidad de rebrote del Quillay y se determinó que los retoños provenientes del lignotúber son los que alcanzan mayor crecimiento tanto en diámetro como en altura.

Por otra parte, el Quillay posee una semilla alada, la cual es dispersada por el viento. El número de semillas puras por kilogramo varía entre 120.000 y 250.000, según la procedencia (Vita, 1974). Los valores de capacidad germinativa se sitúan entre 22% y 80%, y los de energía germinativa entre 5 y 35%. La semilla no requiere pretratamiento para su germinación. Su viabilidad es buena, manteniéndose por más de un año (Smith *et al*, 1976).

Respecto al establecimiento de la regeneración por semillas, se debe indicar que Quillay es una especie intolerante, sin embargo, requiere de una cubierta durante sus primeros estados de desarrollo. Dicha cubierta protectora, la que puede soportar los brinzales durante largo tiempo, es indispensable para resistir los rigores de la estación seca, particularmente la insolación y los vientos (Vita, 1989).

3.2.7.- Riesgos

Un estudio realizado por Cogollor y Poblete (1989), señala que los agentes de daño importantes a considerar en Quillay son:

Eulia aurarea (Insecto; Lepidóptera, Tortricidae) " Enrollador de hojas". Lo típico de esta especie, como otras del mismo género, es que son polillas "enrolladoras de hojas" debido al hábito de la larva de plegar la hoja doblando sus márgenes hacia el centro mediante hilos

sedosos, que al encontrarse, juntan la cara superior de la misma. Pueden destruir hojas, yemas, flores y frutos. En la región Metropolitana, donde es muy abundante, especialmente en los valles precordilleranos, se le puede encontrar volando prácticamente durante todo el año, de preferencia entre los meses de enero a abril y de septiembre a noviembre.

Diaspidis chilensis (Insecto; Homóptera, Diaspididae) "Conchuelas". Visualmente se aprecia una escama dura o armada cubriendo al insecto, el cual es blanquecino. Se puede encontrar tanto en ramas como en hojas de los árboles afectados. En los árboles se observa gran cantidad de escamas agrupadas, que ocasionan daño principalmente en ápices de ramas laterales, causando defoliación.

Melanospis sitreana (Insecto; Homóptera, Diaspididae) "Conchuelas". Son conchuelas aplanadas, con un círculo blanco en su centro. El resto es negro ceniciento con delgados trazos concéntricos más oscuros. Se puede encontrar en ramas y hojas. El daño no se presenta uniforme en todo el árbol, sino que se concentra en algunas ramas y hojas, principalmente en los ápices laterales más tiernos. Se distinguen además ramas secas o falta de follaje por caída de hojas producto de la acción de las escamas. En las hojas caídas se aprecia necrosis de diferentes formas y tamaños, de coloración amarillo-naranja.

Aphis sp. (Insecto; Homóptera, Alphididae) "Pulgones". En los brotes más tiernos de los árboles afectados, se pueden observar manchones negros, que contrastan con el verdor natural del follaje. Al acercarse, se observan fuertemente agrupados un gran número de pulgones. En estas condiciones, es común que las hojas secreten gran cantidad de líquido que se desliza por hojas y ramas, similar a una resinación.

Cuscuta sp. (Parásito vegetal; Cuscutaceae) "Cabello de ángel". Esta planta parásita de delgados tallos de color amarillento, se ubica en los ápices de ramas y en medio del follaje de los árboles afectados. Al transcurrir el tiempo, la planta envejece adquiriendo un color café y dejando a su vez, clorótico el sector involucrado. El parásito reduce el área

fotosintética del árbol, el cual en estados avanzados de desarrollo puede suprimir completamente al árbol. Este parásito es el mayor problema de daño en Quillay.

3.3.- Técnicas de Evaluación Multicriterio

La teoría de la decisión multicriterio es mucho más reciente que el análisis costo-beneficio, puesto que hasta los años setenta no comenzó a ser considerada como una disciplina diferenciada (García y Prida, 2002).

La teoría de decisión tradicional plantea que la elección de la alternativa óptima de un conjunto de alternativas se fundamenta en un criterio único, el que se realizaría como a continuación se describe: inicialmente, se establece un conjunto de soluciones posibles al problema de decisión en análisis, luego basándose en un criterio se asigna a cada solución posible un valor que permite cuantificar el grado de deseabilidad que tiene cada alternativa para el centro decisor. Mediante técnicas matemáticas se procede a determinar la(s) solución(es) que posean el mayor grado de deseabilidad para el centro de decisión, obteniendo de esta forma la solución óptima al problema, a partir de la aplicación de un determinado criterio (Romero, 1993). Sin embargo, cuando existe un problema real, el centro decisor debe evaluar varios criterios e incluso varios objetivos que determinarán los criterios de decisión con los cuales este centro de decisión procederá a tomar la decisión (Barredo, 1996). De esta forma entonces se desarrolla el paradigma de la decisión multicriterio, la que permite resolver situaciones complejas de decisión, en las cuales los criterios y los objetivos pueden ser múltiples, siendo inclusive estos últimos llegar a ser conflictivos. Así, los criterios son los atributos, objetivos o metas que se consideran relevantes en un cierto problema decisional. Por consiguiente el análisis de la decisión multicriterio constituye un marco general o paradigma en el que se investigan problemas decisionales con diferentes atributos, objetivos o metas (Romero, 1996).

3.3.1.- Definición de EMC

La evaluación multicriterio se define como un conjunto de técnicas orientadas a asistir en los procesos de toma de decisiones. Según Voogd (1983), el fin básico de estas técnicas es investigar un número de alternativas bajo la luz de múltiples criterios y objetivos en conflicto. Según esto, es posible generar soluciones compromiso y jerarquizaciones de las alternativas de acuerdo a su grado de atracción. Además la toma de decisiones multicriterio se puede entender como un mundo de conceptos, aproximaciones, modelos y métodos para ayudar a los profesionales a describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar objetivos, basándose en una evaluación expresada por puntuaciones, valores o intensidades de preferencia, de acuerdo a varios criterios (Barredo, 1996).

3.3.2.- Principios básicos de la E.M.C.

La Evaluación Multicriterio está constituida por un conjunto de técnicas, las cuales cuentan con una serie de cuestiones de importancia en su conexión con el campo de los Sistemas de Información Geográfica, tales como sus principios, métodos, aspectos positivos y negativos, funciones y otros (Barredo, 1996).

La E.M.C. basa su funcionamiento en la evaluación de una serie de alternativas basándose en una serie de criterios. Un método de E.M.C. puede servir para inventariar, clasificar, analizar y ordenar convenientemente una serie de alternativas a partir de los criterios que se hayan considerado pertinentes en una evaluación (Eastman *et al*, 1993).

Según esto, se puede pensar que la mejor organización para representar la relación de criterios y alternativas que define la E.M.C. es una matriz. En ésta, los criterios (j) pueden ocupar la columna principal, y las alternativas (i), la fila principal (Figura 5). Esta

matriz recibe varios nombres, entre los cuales están matriz de puntuaciones, matriz de efectividad o bien matriz de evaluación (Voogd, 1983)

		ALTERNATIVAS (i)				
		1	2	3	4....	I
CRITERIOS (j)	1	PUNTUACIONES DE CRITERIOS (x_{ij})				
	2					
	3					
	.					
	.					
	J					

Figura 5. Matriz de evaluación (Voogd, 1983)

Los valores internos de esta matriz son llamados puntuaciones de criterios (X_{ij}), y representan el valor o nivel de deseabilidad que ha obtenido cada alternativa en cada criterio. Siendo a partir de ahí donde los distintos métodos de EMC basan todo su funcionamiento intrínseco para lograr la evaluación de las alternativas.

Una de las hipótesis centrales de la decisión multicriterio es la existencia de un centro decisor que manifiesta su preferencia por una u otra alternativa en función de una serie de criterios de evaluación. La primera etapa en la construcción de un modelo de decisión multicriterio es, por tanto, la identificación de las alternativas y de los criterios. La etapa siguiente requiere la puntuación de cada una de las alternativas con respecto de cada uno de los criterios. Con esto se obtiene una matriz de elementos $[a_{ij}]$, la matriz de decisión, que resume las valoraciones parciales. Cada alternativa no dominada será mejor con respecto a unos criterios y peor con respecto a otros. A partir de este punto, los diferentes métodos de decisión proponen formas distintas de agregar la información para: determinar la alternativa preferida, clasificar las alternativas en categorías, o establecer un orden entre ellas (García y Prida, 2002).

De esta forma aparece la importancia de la fase de asignación de valores a las alternativas por parte del centro decisor, ya que frecuentemente las variables o criterios a evaluar no están medidos a escalas de intervalo o razón, sino que se presentan frecuentemente en los SIG en escala nominal, recayendo en el centro decisor o en el equipo planificador la responsabilidad de la asignación de valores cuantitativos a las categorías correspondientes a cada criterio según una serie de referencias previas, constituyendo esta etapa indudablemente el resultado del proceso de evaluación (Barredo, 1996).

Una vez constituida la matriz de evaluación, es necesario destacar la importancia relativa que posee cada criterio en la evaluación que se pretende realizar. Esto se realiza en el caso que los criterios tengan distinta relevancia para el problema planteado. Con esto es necesario además asignar un valor específico a cada criterio, de acuerdo a su nivel de importancia relativa. Este valor recibe el nombre de **peso o ponderación (w_j)** cuando se expresa cuantitativamente, y **jerarquía** cuando se realiza de modo cualitativo u ordinal (Voogd, 1983).

Según una clasificación basada en la forma de agregación de las puntuaciones en los diversos criterios para obtener una evaluación global de cada alternativa se pueden distinguir las siguientes categorías de métodos: métodos de ponderación, métodos multicriterio ordinales, funciones de utilidad aditivas, métodos de relaciones de superación y otros métodos de decisión multicriterio (Barba-Romero y Pomerol, 1997). En la actualidad existen distintos tipos de procedimientos de EMC, tales como Sumatoria lineal ponderada, índice de concordancia generalizado, análisis de punto ideal, y otros, para asignar valores a cada alternativa a la luz de los criterios de cada punto de vista, obteniendo así la denominada **matriz de valoración o modelo de capacidad de acogida**. Voogd (1983), señala además que los valores asignados a las alternativas en la matriz de valoración son una función del número y la naturaleza de los criterios, prioridades empleadas y las técnicas aritméticas aplicadas.

3.4.- Elementos del proceso de Evaluación Multicriterio en un SIG

La teoría de la decisión y las técnicas de EMC que ella implica se encuentran en un incipiente desarrollo, lo que implica, lógicamente, ciertas diferencias en cuanto a terminología empleada para definir los elementos correspondientes estas técnicas. Sin embargo, los autores Eastman *et al* (1993) y Voogd (1983), asientan que las bases conceptuales de esta herramienta se encuentran en franco desarrollo en el ámbito de los SIG.

Para lograr una visión global de los elementos que constituyen el proceso de EMC en el entorno de los SIG, Barredo (1996), define estos elementos y establece la relación entre ellos.

Las definiciones siguientes corresponden a los componentes presentes en los SIG, que actúan en el proceso de EMC.

Objetivos: En la Evaluación Multicriterio, un objetivo se entiende como una función a desarrollar; aquí, el objetivo indica la estructuración de la regla de decisión a utilizar.

Criterios: Los criterios son uno de los elementos fundamentales de la EMC. Es el punto de referencia para una decisión a tomar. La puntuación de los criterios (valoración de las alternativas) puede considerarse como el paso inicial del proceso de Evaluación en el cual recae gran parte del éxito o fracaso de la evaluación desarrollada.

Factor: Es un tipo de criterio que realza o detracta la capacidad de asentamiento de una alternativa específica para la actividad estudiada. Éste debe ser medido en una escala continua (Eastman *et al*, 1993).

Limitante: Este criterio restringe la disponibilidad de algunas alternativas, según la actividad evaluada; con la limitante se excluyen varias categorías de la capa analizada para la evaluación.

Regla de decisión: Este componente está referido al procedimiento a través del cual se obtiene una evaluación particular.

Evaluación: Consiste en el proceso de aplicar la regla de decisión a los criterios para introducir finalmente el modelo de decisión.

Además de los elementos señalados anteriormente, es necesario definir dos aspectos que cumplen un importante rol en toda evaluación, estos son decisión y alternativas. Una decisión es una selección entre alternativas (o posibilidades de elección), las cuales pueden representar diferentes cursos de acción, hipótesis, localizaciones u otros conjuntos de elementos. Ahora bien, en el entorno de los SIG, las alternativas están representadas por objetos o unidades espaciales, celdas en el modelo raster, o puntos, líneas o polígonos en el modelo vectorial; es decir, representan un sitio individual, conformando de esta forma el conjunto global de alternativas de selección (Barredo, 1996).

3.5.- Desarrollo Integrado de métodos de EMC y SIG

Los SIG ofrecen herramientas que permiten obtener a través de análisis determinísticos, áreas disponibles para una posterior evaluación, de las cuales en una segunda fase pueden seleccionarse aquellas que muestren la más alta capacidad. Primeramente, el SIG se utiliza para la entrada, transformación, almacenamiento y manipulación de datos espaciales relevantes para el problema planteado (Carver, 1991). Con estas funciones se obtendrá un conjunto reducido de alternativas disponibles para cierta actividad, en este caso localización. Estos datos espaciales deben ser evaluados a la

luz de procedimientos de EMC para establecer órdenes de preferencia, conjuntos compromiso, jerarquías de capacidad, etc. Sin embargo, estos métodos no están integrados en los SIG de manera extensa, lo cual puede establecerse a través de la adaptación e inclusión de sistemas informáticos de los métodos a implementar, con lo cual se dispondrá de una herramienta (SIG + EMC) sumamente poderosa para asistir en procesos de análisis espacial a través del modelado, en especial para estudios de localización- asignación de recursos o actividades, o bien capacidad de acogida del territorio, o bien realizando operaciones de localización- asignación tomando en cuenta diversos criterios y múltiples objetivos (Barredo, 1996).

Por otro lado, la integración de estas técnicas presenta ciertos inconvenientes en el momento de realizar aplicaciones específicas. Entre los problemas más notables se pueden mencionar:

- Cuando se utilizan métodos basados en la comparación por pares de una gran cantidad de datos, esto debido a las restricciones que existen en sistemas informáticos comunes.
- Algunos métodos de EMC presentan una gran dificultad en su implementación metodológica, llevando como consecuencia un difícil análisis de los resultados.
- La necesidad de generar en muchos casos programas de procesamiento de los datos temáticos anexos a los SIG, basados en algoritmos que describan los métodos de EMC, lo cual ocasiona que muchos usuarios de estos sistemas no puedan acceder a dichos métodos. Sin embargo, algunos paquetes de SIG como **Idrisi y Spans**, ya poseen este tipo de recursos en sus módulos de aplicación.

3.6.- Capacidad de acogida del territorio

La capacidad de acogida del territorio, se puede enfocar de distintas formas, en el contexto en que se está trabajando, esta se entiende como un derivado de la concurrencia de ciertas características y elementos ambientales significativos de cara a una actuación determinada (COETMA, 1991). De esta forma se entiende la capacidad de acogida como la sumatoria de los factores positivos menos la sumatoria de los factores negativos de una actividad evaluada, obteniendo para cada lugar del territorio un valor que refleja su capacidad de acogida.

Según Barredo (1999), la capacidad de acogida del territorio puede establecerse de tres maneras distintas, restrictivas, positiva e integral. Añadiendo además que la aptitud y el impacto son los elementos que permiten establecer la capacidad de acogida.

Gómez Orea (1992), plantea el modelo impacto-aptitud, el cual basa su desarrollo en la definición de un valor de impacto y otro de aptitud para cada lugar del territorio, estableciendo así una serie de clases de capacidad para la actividad que se esté evaluando.

El análisis espacial empleando la determinación del modelo permite en menor tiempo crear diversos escenarios, aplicar diferentes estudios y apreciar fácilmente las ventajas y desventajas de cada uno de ellos. De este modo proporcionan a los responsables de tomar resoluciones, la posibilidad de fundamentarlas con mayor certeza y conocimiento del espacio geográfico sobre el cual se trabaja (Ramírez, 2001).

4.- METODOLOGÍA

4.1.- Antecedentes de la zona en estudio

El predio Ovejería es propiedad de Codelco Chile, División Andina y se encuentra ubicado en la comuna de Tiltil (Figura 6), provincia de Chacabuco, Región Metropolitana; a unos 45 kilómetros al noreste de Santiago, en la depresión intermedia, en una rinconada inmediatamente al norte y aguas arriba del embalse Huechún, entre los 33°04' de latitud sur y 70°48' de longitud oeste, aproximadamente. El predio cuenta con una superficie de 6004,72 hectáreas.

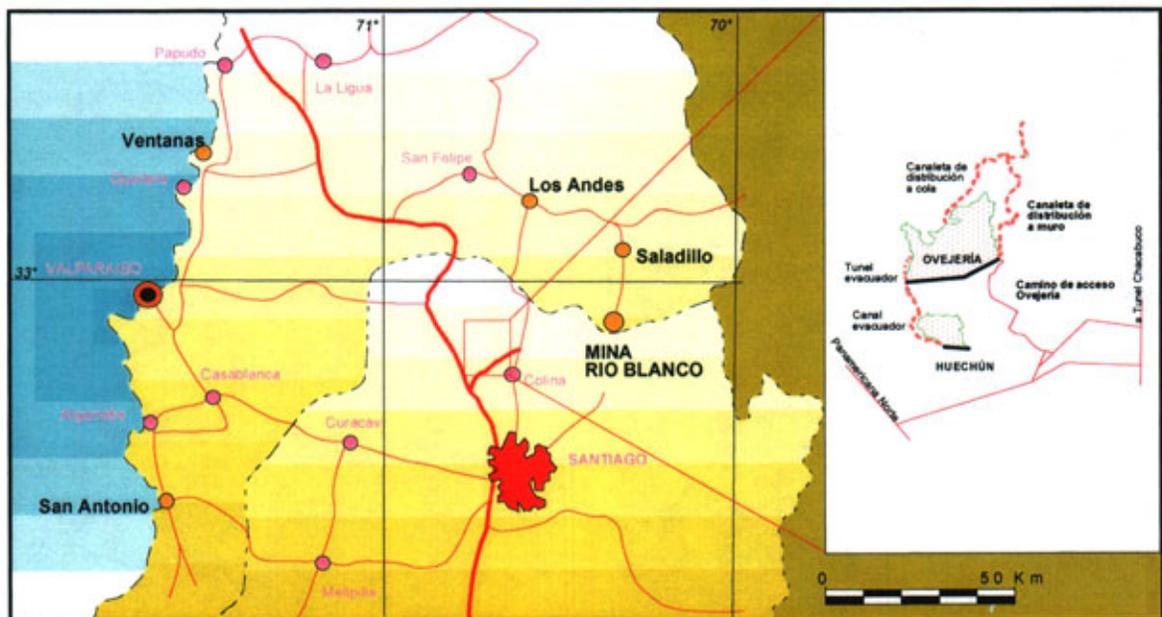


Figura 6.- Mapa de ubicación Predio Ovejería

Este predio alberga un proyecto definido como Disposición de Relaves en Embalse Ovejería, el cual es propiedad de Codelco Chile, División Andina. El objetivo de este proyecto es almacenar alrededor de 1930 millones de toneladas de relaves originados por el procesamiento de 2000 millones de toneladas de mineral de las pertenencias de División Andina. Al término de la vida útil del depósito de relaves, éste ocupará una superficie de 1900 hectáreas.

4.1.1.- Medio ambiente físico

Las características naturales del Área Regional y Provincial corresponden a antecedentes bibliográficos que considera los siguientes aspectos: geomorfología, clima e hidrografía.

4.1.1.1.- Geomorfología

En el paisaje geomorfológico, del área regional (Región V y Metropolitana), se distinguen cuatro sistemas de macroformas: Cordillera de los Andes, Depresión intermedia, Cordillera de la Costa y Planicies litorales, mientras que en el área provincial sólo dos: Cordillera de los Andes y Depresión intermedia.

La formación de estas unidades, se debe a la interacción de los procesos tectónicos, glaciales y volcánicos, los cuales modelaron el paisaje, en diferentes etapas, desde hace 70 millones de años, dando origen a las geoformas actuales y sobre las cuales actúan diferentes procesos de modelación, principalmente exógenos (Dames y Moore, 1993).

4.1.1.2.- Clima

Esta área se enmarca en un clima semiárido y con fluctuaciones térmicas más altas que en el resto de la región, fenómeno que se debe principalmente a la presencia de la Cordillera de la Costa relativamente alta, que actúa como “biombo climático” o “pantalla”, impidiendo la penetración de las influencias climáticas marítimas. Esta área está influenciada tanto por un clima semiárido templado y templado cálido con lluvias invernales en su parte de valle y por climas templados y tundra por efecto de altura en su parte de cordillera andina.

4.1.1.3.- Hidrografía

El área de la provincia de Chacabuco está representada por los siguientes ríos: en la depresión intermedia se localiza el sistema de ríos Colina, Polpaico y Chacabuco, los cuales a su vez confluyen para formar el río Lampa y desembocar en el río Mapocho, en las cercanías de la localidad de Lampa.

En el sector cordillerano, la principal red de drenaje superficial la conforma el sistema río Blanco, el cual escurre de sur a norte hasta la convergencia con el río Los Leones. Algunos kilómetros aguas abajo, convergen con el río Juncal, en la localidad de Río Blanco. Posteriormente, las aguas escurren en dirección este-oeste, adoptando el nombre de río Aconcagua.

Los caudales de los cursos de agua aumentan entre un 400% y 500% en período octubre- marzo en relación al resto del año. Los caudales máximos diarios de los ríos Blanco y Los Leones son 31 m³/s y 22 m³/s respectivamente.

4.1.2.- Medio ambiente biológico

Las formaciones vegetales en el ámbito regional tienen, principalmente, una distribución altitudinal, las cuales están representadas por formaciones arbustivas, herbáceas y formaciones de tipo matorral y boscosas.

En el perfil oeste- este se puede distinguir

- Vegetación de litoral
- Bosque esclerófilo
- Matorrales subdesérticos
- Matorral esclerófilo subandino
- Matorral andino
- Estepa arbustiva altoandina
- Zonas de explotación agropecuaria en las que existe una fuerte influencia antrópica.

En el sector de Huechún y en los otros sectores ocupados por las instalaciones relacionadas al transporte de los relaves, se ha desarrollado un levantamiento cartográfico de la vegetación e inventarios florísticos y faunísticos, desarrollados a través de la Carta de Ocupación de Tierras (C.O.T.).

Un estudio realizado por Dames y Moore (1993), indica que si bien los sistemas se encuentran fuertemente alterados, estos no están degradados. Existe por una parte una buena cubierta vegetal y al mismo tiempo una elevada cantidad de individuos de fauna tanto silvestre como doméstica.

Si bien el estado general del área es bueno, existe una fuerte artificialización manifestada por la ausencia de mamíferos.

Con respecto a las formaciones vegetales, esta se enfoca a la fisonomía o aspecto general de la vegetación. Si bien la participación del tipo biológico leñoso alto es importante, las praderas herbáceas son las dominantes y luego en segundo término se encuentran las formaciones arbustivas.

El sitio en cuestión se ubica en una zona semiárida, presentando vegetación del tipo Esclerófila, con especies tales como Quillay (*Quillaja saponaria*), Espino (*Acacia caven*), Litre (*Lithraea caustica*), Algarrobo (*Prosopis chilensis*), Huingán (*Shinus polygamus*), Pimiento (*Shinus molle*), Maitén (*Maytenus boaria*), Colliguay (*Colliguaja odorifera*) y Boldo (*Peumus boldus*), entre las más importantes (Conaf, 1998).

Por otro lado, con respecto a la composición química del suelo, se puede añadir que su PH se encuentra en un promedio de 8,2, y se presentan elementos tales como Cobre (89 g/T), Molibdeno (1,15 g/T) y Plomo (20,5 g/T) entre otros.

Además de las características físico-químicas naturales de los suelos del área, se tiene como información la tasa de infiltración básica. La que fue determinada por la

empresa Dames y Moore (1993) a través de cilindros infiltrométricos dobles, a nivel superficial y a un metro de profundidad mediante la construcción de calicatas apropiadas.

Los resultados obtenidos en estas pruebas, arrojaron valores que indicaban que los suelos son de muy baja permeabilidad, y que corresponden principalmente a suelos arcillosos.

4.1.3.- Medio ambiente humano

Considerando las características de localización y la influencia del Proyecto, la línea base del medio humano ha definido un área de referencia regional que agrupa la Región Metropolitana y la V Región, y un área local definida por la comuna de Tiltil.

La estructura productiva de la comuna de Tiltil, en general es débil y poco diversificada, careciendo de una base económica que actúe como motor para el desarrollo local. La principal actividad en cuanto al aporte económico de la comuna a la región, lo constituye la industria de cemento Polpaico S.A., además de la producción frutícola de exportación, la cual ha experimentado en los últimos años un crecimiento importante, debido a fuertes inversiones del sector privado.

4.1.4.- Medio ambiente cultural

La importancia arqueológica de la Rinconada de Huechún radica en la diversidad de sitios prehispánicos vinculados a distintas manifestaciones del Complejo Cultural Aconcagua que se desarrolló en la zona central de Chile en el período Agroalfarero Tardío (900-1540 d.C).

En el área del proyecto existe un importante número de sitios de valor cultural, así lo demuestran investigaciones hechas por el Museo Nacional de Historia Natural y UNESCO entre los años 1979 y 1983; estas investigaciones dieron como resultado el hallazgo de 24 yacimientos, prehistóricos, entre los cuales destacan los poblados y los sitios

habitacionales, sitios de recolección y molienda, de extracción de materia prima y de manufactura de artefactos líticos y los de enterratorio.

4.1.5.- Reforestación con Algarrobos

La reforestación que se describirá corresponde a uno de los primeros compromisos ambientales adquiridos por Codelco Chile - División Andina para su proyecto “Disposición de Relaves en Embalse Ovejería”, y se refiere a 30 hectáreas con la especie *Prosopis chilensis* (Algarrobo); quedando establecido en la resolución exenta N° 275-B del 4 de marzo de 1994.

Esta descripción fue realizada por la empresa ATM Ingeniería, y se entregó a Codelco Chile - División Andina, con el fin de llevar un adecuado control de los trabajos de reforestación realizados en el predio.

El establecimiento de la reforestación se realizó durante septiembre de 1996, y durante las tres temporadas posteriores hasta el año 1999 se hizo mantención para asegurar la sobrevivencia de la plantación. Desde 1999 hasta la fecha la reforestación recibe mantención periódica en cuanto a riegos, habilitación de corta fuegos y exclusión de tránsito no autorizado.

Las características técnicas de la reforestación quedaron establecidas bajo el DL N° 701 de 1974, mediante la presentación a la Conaf Región Metropolitana del Plan de Manejo N° 202366 del 25 de julio de 1996.

Este plan de manejo incluye un programa de corta o explotación en bosque nativo (Tipo esclerófilo), y se presentó solicitando autorización para voltear 30 hectáreas de espino (*Acacia caven*) con un área basal de 0,608 m²/ha.

4.1.6.- Areas de plantación con Eucalipto y especies nativas

Según los términos de referencia del proyecto, mencionado anteriormente, el área a forestar con eucalipto es de 660 hectáreas en cuotas anuales de 160 ha aproximadamente, mientras que la superficie de reforestación con especies nativas es de 228 ha.

La siguiente información fue extraída de un informe preparado por la empresa CICA para División Andina.

El área total disponible bajo el muro del embalse Ovejería y que es cubierta por los canales de riego es de 449 ha. A esta superficie se han agregado cuatro rodales que no requieren de gran infraestructura para ser regados por ubicarse muy cercanos a los canales antes mencionados, con un área de 41 ha. Por lo tanto el área disponible para riego bajo el muro del embalse es de 485,9 ha. Se eliminó un rodal por presentar una excesiva pendiente y rocosidad superficial, ambas limitantes severas para el riego.

De la superficie disponible bajo el muro de relaves (485,9 ha) se proyecta que 225,9 ha serán plantadas con eucalipto y regadas gravitacionalmente por surco; 230 ha aproximadamente serán plantadas con especies nativas y 30 ha corresponden al bosque de algarrobos ya plantado.

Las plantaciones de eucalipto y de algarrobo son en su totalidad regadas por sistema gravitacional (surcos), mientras que una parte de las plantaciones de especies nativas es regada con camiones aljibe.

Las plantaciones lineales ubicadas a orillas de caminos son regadas periódicamente mediante camiones aljibes.

4.1.6.1.- Eucaliptos

Dado el hecho que el área bajo el muro no es suficiente para los requerimientos de forestación con eucalipto, se han trazado zonas complementarias que se ubican aguas arriba del muro, en la cubeta del embalse.

Sin embargo, este sector se contempla que sea inundado en el futuro, por lo que estos sectores deben ser plantados a la brevedad, comenzando por los sectores con menor cota, esto con el fin de que el bosque plantado pueda alcanzar su máximo desarrollo y capacidad evapotranspirativa, antes de que sea inundado; además se podría realizar una cosecha.

Las áreas de forestación con eucalipto al interior de la cubeta presentan una pendiente de 1 a 9%, lo que permite su riego por surcos en contornos. Se han excluido sectores que presenten pendientes muy altas y con suelos muy rocosos. Las quebradas también se excluyeron por tener que conservar su actual vegetación, esto debido a compromisos con Conaf, sin que ello signifique que no pueden ser regadas (por inundación), casos que se deberían evaluar en el proyecto de riego, con la topografía de detalle.

4.6.1.2.- Especies nativas

El área total a reforestar con especies nativas, según los compromisos con Conaf es de 228 ha. Esta área presenta sectores aptos para el riego gravitacional, y una menor superficie de ésta (9,9 ha) deben ser regadas mediante aljibes.

La composición de los rodales está dispuesta en forma mixta y no puros, pero con predominancia de las especies consignadas en el plan de manejo forestal.

Si bien se establecieron cuotas de plantación para los años 2000, 2001 y 2002 (91,1; 93,0; 45,9 ha respectivamente); estas no han sido cumplidas aún.

Inserto en el predio, junto con las instalaciones relacionadas con el transporte de relaves, existe una estación experimental, en la cual hay varios ensayos relacionados con el uso de agua de relaves para regar especies forestales y frutales.

Existe además una estación meteorológica, la cual entrega datos diarios de precipitación, temperatura, humedad, etc.

Hay además en este sector un vivero de especies nativas, el cual abastece casi en su totalidad a las plantaciones hechas en el lugar, y lo cual es el objetivo principal de este vivero.

La recolección de semillas para este vivero es realizada por el mismo personal de la empresa encargada de la mantención de relaves (ORSA), y para el caso de las semillas de Quillay, en la práctica, esta se realiza entre los meses de marzo y abril. El lugar utilizado para recolectar las semillas se encuentra en las cercanías de Tiltil, específicamente en la cuesta “La Dormida”, en donde existe una vegetación nativa muy abundante, y con una gran cantidad de individuos de Quillay, de gran tamaño, y con excelentes características de forma, sanidad y follaje.

4.2.- Materiales

La presente investigación fue realizada utilizando en gran parte una base de datos geográfica de la zona en estudio, consistente en coberturas digitales del predio Ovejería en la localidad de Huechún. Esta base de datos fue facilitada por División Andina, por la empresa contratista ORSA y la empresa de inspección forestal ATM Ltda., consistía principalmente en información relacionada con el relieve (curvas de nivel cada 25m), orientación, red caminera, red hidrográfica, obras civiles, polígonos vegetacionales. Esta información fue entregada en formato Auto Cad 14.

Para la posterior transformación y tratamiento de la información digital, se utilizaron algunos programas y periféricos, los cuales forman parte de los SIG, y a continuación se mencionan:

Software PC Arc/Info, versión 3.5

Software Arc/View, versión 3.1

Software Idrisi, versión 2.0

Mesa digitalizadora

Carta topográfica IGM escala 1:50.000 de la zona Huechún.

Ortofoto Ciren-Corfo escala 1:20.000 de la zona en estudio.

Debido a que la base de datos original carecía de ciertas coberturas, éstas fueron digitalizadas, es decir, traspasadas de formato analógico a formato digital, mediante una mesa digitalizadora.

4.3.- Determinación de los factores participantes

Esta etapa consiste principalmente en definir los criterios pertinentes en la realización de la evaluación de los sectores potenciales para nuestro objetivo. Las variables de evaluación propuestas para el presente estudio, están basadas en consideraciones ambientales y económicas. Las variables aquí consideradas son variables que aportan y variables que detractan el objetivo de la evaluación, es decir, variables-factores y limitantes. Estas variables deben expresadas en forma espacial, con el fin de poder ser tratadas en un S.I.G.

En el presente estudio se consideraron las siguientes variables:

4.3.1.- Suelos

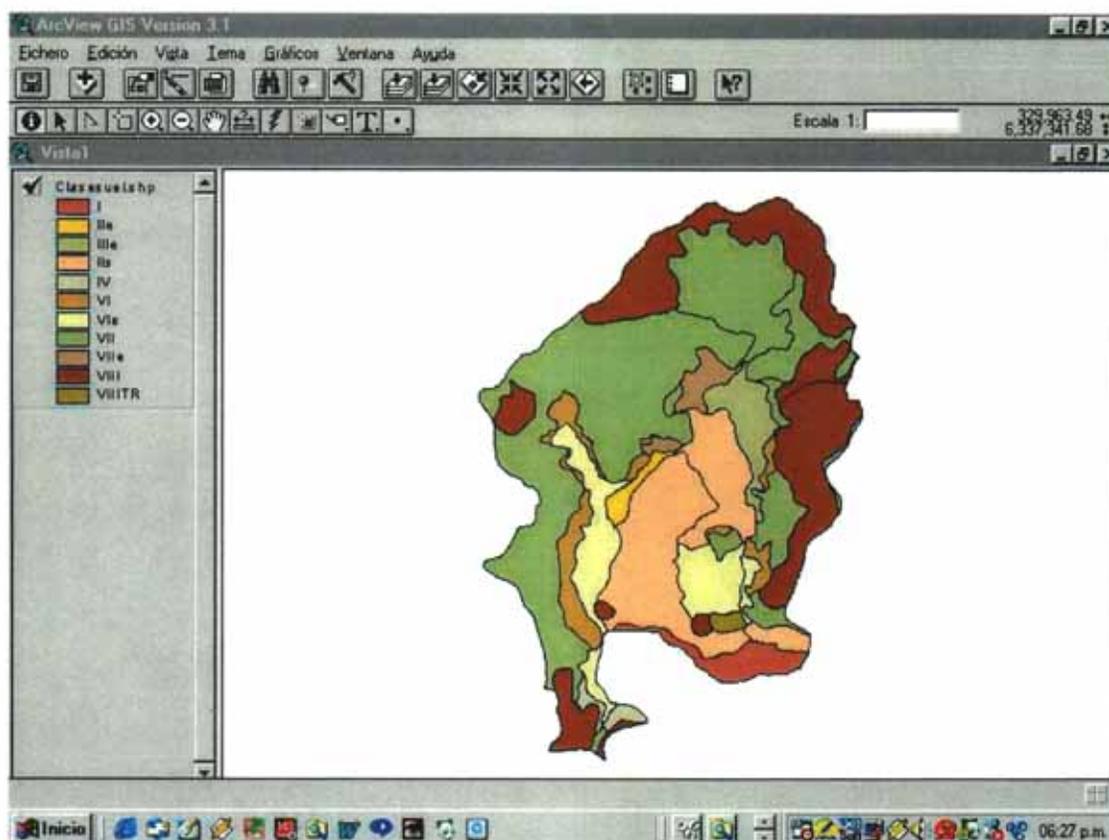


Figura 7.- Cobertura formato Shape de series de suelos

La figura 7 muestra las distintas clases de suelos presentes en el predio Ovejería, luego, estas clases se derivaron a series de suelo, de las cuales se extrajeron las características asociadas a la textura, profundidad y permeabilidad del suelo.

Si bien, la zona del embalse fue elegida por la impermeabilidad que presenta el suelo en el sector de la cubeta de relaves, existen otros sectores en donde el suelo es más apto para la especie en cuestión.

Para la ubicación de la plantación se requerirán suelos que presenten las condiciones mínimas que necesita el Quillay. La especie no se encuentra en suelos lacustres orgánicos y arcillosos, con mal drenaje y a veces con exceso de salinidad (Gallardo y Gastó, 1987). Además, Rodríguez *et al* (1995), señalan que el Quillay requiere suelos secos para su establecimiento.

Quillay es una especie adaptada para vivir en sitios pobres, secos y cálidos. Crece bien en suelos degradados, con pendiente y asoleados (Estévez, 1994), aunque su mayor desarrollo lo alcanza en suelos profundos y planos (Vita, 1974).

Las áreas donde se encuentra la especie corresponden generalmente al coluvio de la Cordillera de Los Andes y a suelos graníticos depositacionales y de lomajes y cerros de la Cordillera de la Costa. En esta última ubicación, la especie está presente en casi todas las posiciones fisiográficas y en diversos estados de abundancia.

Teniendo en cuenta las características del suelo, se estimó conveniente considerar para el estudio las condiciones de drenaje, profundidad y textura del suelo, datos desarrollados para cada serie de suelo con sus respectivas variaciones.

4.3.2.- Orientación

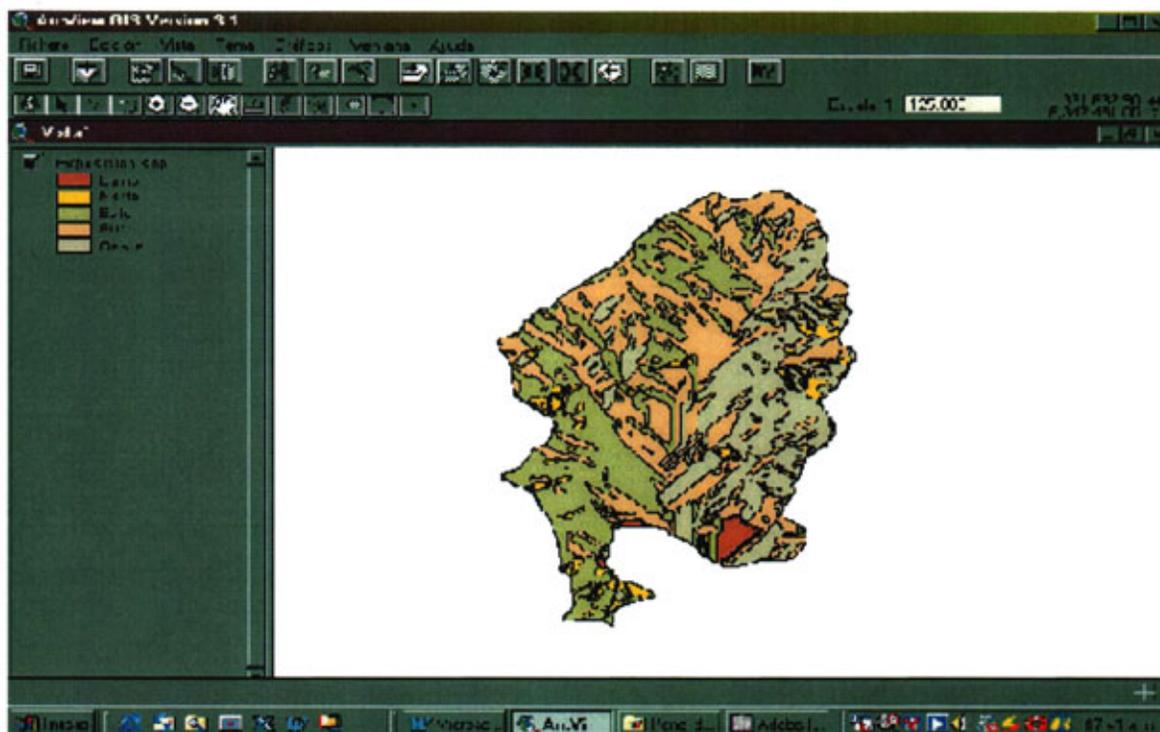


Figura 8.- Cobertura formato Shape de Orientación del terreno

Como se observa en la figura 8, la exposición solar del predio se clasifica en exposición norte, sur, este, oeste y llano (terreno sin inclinación).

El predio Ovejería presenta características asociadas a los cordones montañosos transversales que existen en el lugar. Sin embargo, la zona en cuestión, presenta sectores planos, en su parte central y noreste, pero al acercarse a los límites sur y oeste, las formaciones se hacen notar en forma leve.

Gallardo y Gastó (1987), señalan que en las regiones Metropolitana, V y VI, sobre los 800 mm de precipitación, se observa que la especie se encuentra preferentemente en laderas de exposición norte y en suelos de mayor sequedad. Ahora bien, con 300mm de precipitación anual, se observa en laderas de exposición sur; y con menos de 250 mm, en llanos con aportes hídricos externos.

El Quillay se presenta tanto en laderas de exposición norte como en las de exposición sur (Estévez, 1994). En la Cordillera de Costa se presenta solamente en pendientes hacia el interior del llano central y no en lugares expuestos directamente al mar (Vita, 1974). Los sectores muy expuestos a vientos fuertes no son recomendables para la plantación de la especie.

4.3.3.- Red Caminera (Accesibilidad)

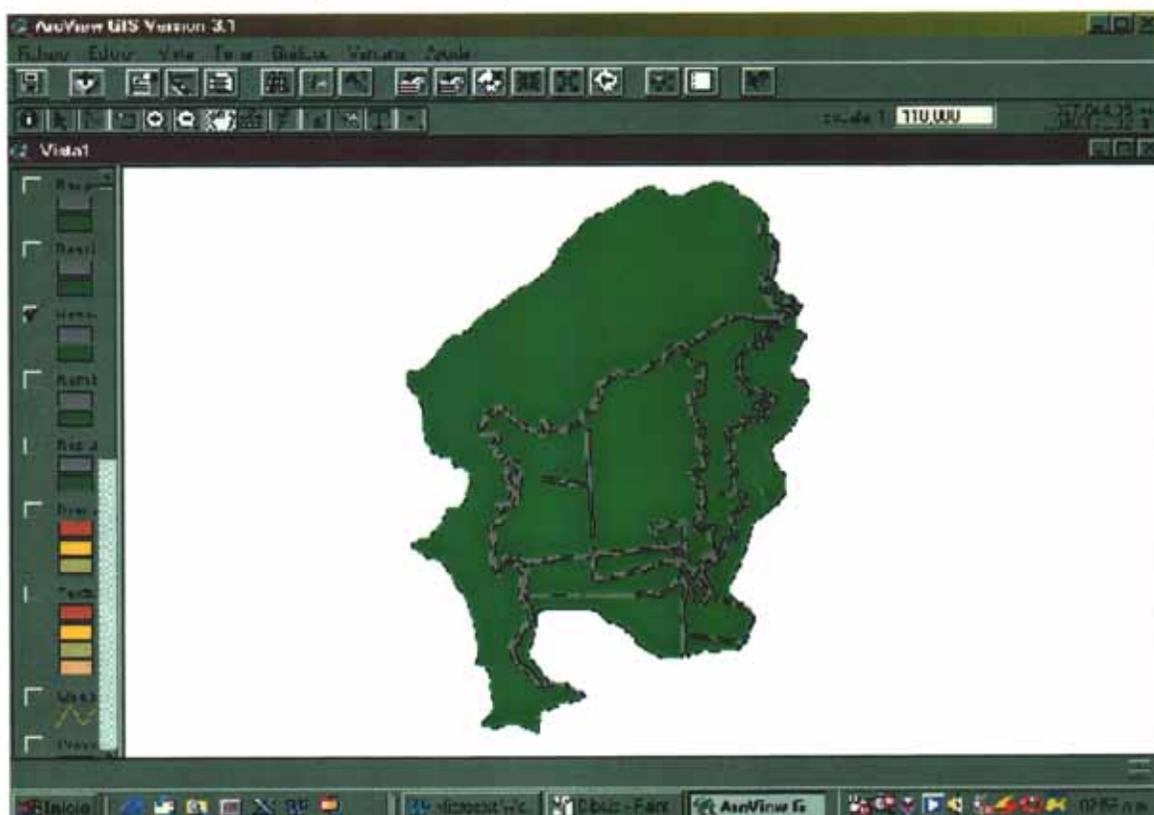


Figura 9.- Cobertura formato shape, caminos en uso

El terreno que albergue a la plantación deberá estar ubicado en sectores que cuenten con caminos lo más cercanos posibles, con el fin de realizar riegos (cuando sea necesario) periódicamente a las plantas. Es necesario saber con qué tipo de camino se cuenta, a fin de permitir una programación adecuada de los sistemas de riegos con camiones aljibes.

4.4.- Restricciones consideradas en el estudio

Las restricciones asociadas al problema en cuestión corresponden a criterios que indican los sectores donde no es posible establecer nuestro objetivo, restringiendo la disponibilidad de algunas alternativas. Gracias a estos tipos de criterios, se pueden excluir varias categorías de la capa o cobertura, se forma una capa binaria, en donde un código representa los sectores donde si se puede establecer la plantación, y otro, la no-disponibilidad del terreno para la actividad (Barredo, 1996).

Estas restricciones reciben también el nombre de limitantes. A criterio del autor, se consideraron sólo las más importantes para el estudio ya que poseen la condición de estar representadas espacialmente en el SIG. Estas restricciones, están asociadas con sectores protegidos y con lugares con algún tipo de intervención civil.

4.4.1.- Sectores con actividad productiva (Obras civiles)

Como se mencionó anteriormente, la zona en estudio es propiedad de Codelco Chile, División Andina, por lo que en este predio hay sectores donde existen distintas actividades productivas, lo cual impide la instalación de la plantación en los sectores con esta actividad.

Además se considerará como zona con actividad productiva, el sector que ocupara el relave depositado en la cubeta, lo que equivale a más o menos 2000 ha. En otros sectores existen centros operativos, casinos, faenas de construcción, y todas las instalaciones relacionadas con el transporte del relave (tranques, canaletas, muros, etc.).

4.4.2.- Zonas de protección y conservación

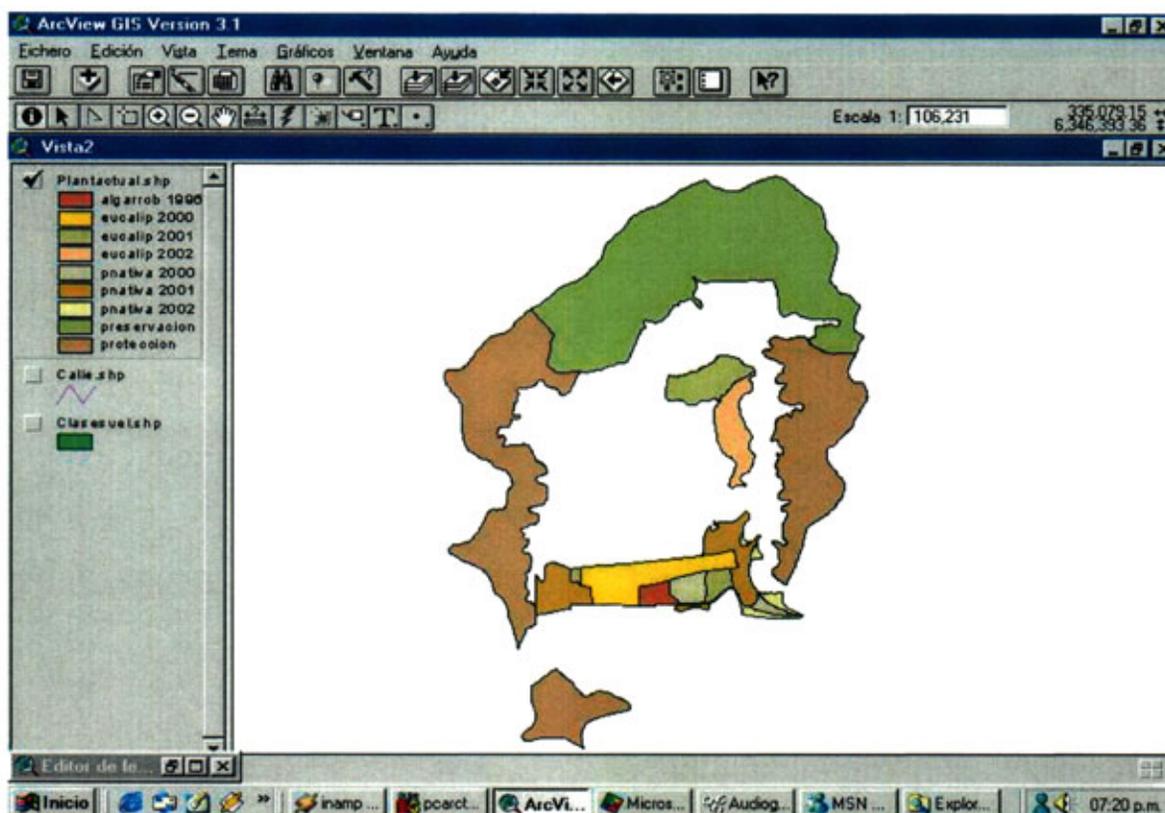


Figura 10.- Cobertura Shape, plantación nativa, artificial y zonas de protección

En la figura 10 se muestran los distintos polígonos ocupados por zonas de protección y plantaciones nativas y artificiales, observándose en la correspondiente leyenda el tipo y año de plantación.

Como compromiso ambiental de Codelco Chile, División Andina, se establecieron zonas de protección y de conservación en el predio. Esto de acuerdo a distintos criterios, los cuales se relacionaban con aquellos actores que presentaran la mayor diversidad de sitios ecológicamente más relevantes y representativos de la diversidad ambiental de Rinconada de Huechún.

La selección de la zona de protección, consideró prioritariamente la necesidad de proteger suelos y quebradas en pendiente, que actualmente presenten un grado

significativo de alteración y susceptibilidad de erosión, debido al sobrepastoreo, la disminución de la cobertura vegetal y la concentración y tránsito de los animales.

La unidad de preservación presenta sectores de pendientes moderadas a fuertes, con abundantes afloramientos rocosos en alta ladera, con vegetación arbórea frecuente en fondos de quebradas y de menor densidad en áreas de lomaje; con vegetación arbustiva de alta densidad en fondo de quebradas y lomajes; con numerosos nichos ecológicos o hábitats apropiados para una gran diversidad de animales (mamíferos menores, reptiles y aves). Las exposiciones predominantes en esta zona son la sur, la este y sus combinaciones, aún cuando también hay presencia de pequeñas laderas con microexposición norte.

4.4.3.- Plantaciones ya establecidas (Figura 10)

En este predio, ya se están realizando forestaciones, con lo cual se tendrá zonas inapropiadas para establecer una plantación.

Como se mencionó anteriormente, las especies en cuestión son eucalipto y algarrobo (este último a pequeña escala).

4.4.4.- Lechos de cursos de aguas

Si bien en el predio no hay ríos importantes, se encuentra un curso de agua permanente, cual es el estero Chacabuco. Además existen quebradas importantes en el predio, las cuales están pobladas con abundante vegetación nativa.

Estos cursos de agua, que pueden ser permanentes o no permanentes, se han considerado como zonas de restricción ambiental, determinadas por la ley; esto quiere decir que 50 metros a cada lado de estos cursos de agua, no se puede realizar ningún tipo de intervención silvícola.

4.4.5.- Red caminera

Se considerará como limitante la red caminera, a la cual se agregarán, 10 metros a cada lado del camino; Esto para no producir problemas en maniobras de vehículos de las empresas presentes en el lugar.

Esta distancia de 10 metros es usada en plantaciones de eucaliptos hecha en el predio, y sirven además como cortafuego, en caso de algún incendio forestal.

4.4.6.- Pendientes

La especie en cuestión, entre sus requerimientos, no precisa de pendientes específicas (Vita, 1990), sin embargo, el terreno deberá tener una inclinación que permita el seguro desempeño de trabajadores que realizarán la plantación y que otorgue un mejor aprovechamiento del terreno para el establecimiento de riego gravitacional. Según ensayos realizados en la zona, la máxima pendiente permisible para establecer riego gravitacional es de un 15 %.

4.5.- Recopilación, construcción y corrección de la Cartografía Digital utilizada

Definidas las variables a ocupar en el estudio, es posible entonces formar la base de datos. Estas coberturas digitales fueron facilitadas por ATM Ltda. en formato AutoCad 14, es decir, con una extensión DWG, por lo que fue necesario traspasarlas al SIG Arc/View ver.3.1 como formato Shape, para su posterior corrección y edición de atributos, mediante los cuales será posible conocer las características específicas de la cobertura, lo que es una de las principales características de los SIG.

Para realizar esta transformación de DWG a Shape, se utilizó el software PC Arc/Info versión 3.5, ya que las coberturas en AutoCad se encontraban en una sola capa

temática, por lo que había que separarlas por capas, curvas, caminos, suelos, etc. Se desarrolló de la siguiente manera:

Primero se visualizaron las coberturas en CAD, luego se exportó todo el archivo en un formato llamado DXF. Ahora para visualizar esta información en Arc, se utilizó el comando DXFINFO incorporado en software Arc/Info, el cual despliega todas las coberturas por separado. Ahora se conocen por separado las coberturas con sus respectivos nombres, y por lo tanto es posible generarlas en Arc/Info, mediante el comando DXFARC. Luego, para la construcción definitiva de la cobertura, ya sea en líneas, polígonos o puntos, se utiliza el comando BUILD.

Una vez traspasadas las coberturas por separado al SIG Arc/View es necesario generar las coberturas que no estaban incluidas en la información entregada por ATM, y estas son los polígonos con las nuevas plantaciones, los usos y series de suelos, por lo que se requiere contar con mosaicos u ortofotos Ciren – Corfo escala 1:20.000 y planos topográficos. Esta información se encuentra en un formato analógico (papel), por lo que es necesario digitalizar estos datos. A continuación se muestra este proceso.

Los softwares y periféricos de digitalización a utilizar se encuentran disponibles en las dependencias del Laboratorio de SIG de la Universidad de Talca. El software a utilizar es el SIG Arc/Info 3.5 y como medio de entrada de datos la mesa digitalizadora. Como primer paso se deben definir lo llamados “tics” o puntos de control de las coberturas. Bosque (1992), señala que estos deben ser como mínimo 4 en cada cobertura, no existiendo un máximo establecido. Estos puntos son generalmente un par de coordenadas conocidas que se encuentran en los distintos sistemas de proyección; para este estudio el sistema de proyección utilizado fue el Universal Transversal Mercator (UTM). El segundo paso corresponde a la digitalización de los elementos geográficos existentes en la cartografía analógica. Para esto se utilizó el módulo ARCEDIT del software Arc/Info; en este módulo, a través de la mesa digitalizadora, se representaron los elementos geográficos de la cartografía tradicional a través de los elementos que dispone el SIG, es decir, arcos para

elementos lineales y con valor de longitud como caminos y ríos, y polígonos para representar áreas y zonas como plantaciones nativas, etc. Luego de finalizado este proceso, es necesario realizar la edición de la información digitalizada. Esto se realiza a través de comandos que actúan sobre las tolerancias de las coberturas digitales, y se corrigen los arcos sin unir y los arcos se encuentran sobrepasados con el punto de unión en común.

Cabe señalar que la estructura de la base de datos corresponde al llamado modelo vectorial, con datos temáticos tabulares incorporados en el sistema a través de la estructura de datos relacional, es decir, a un elemento geográfico le corresponde un único registro de la base de datos temática (Gajardo, 2002).

Posterior al proceso de edición, se debe construir la topología de las coberturas mediante los comandos específicos de Arc/Info. Luego de esto, es necesario asignar los atributos a los elementos digitalizados (arcos, puntos y polígonos), y esto se realiza mediante el software SIG Arc/View, el cual permite un cómodo manejo entre la base de datos gráfica y su correspondiente temática. Por ejemplo, para los polígonos que representan las series de suelos se le asigna un atributo que describe la clasificación de la serie de suelo que presenta (Huechún, Rungue, etc.). Además, se asignaron atributos relacionados con las características de las distintas series de suelos del sector, es decir, profundidad, textura y drenaje.

4.6.- Transformación de datos vectoriales en datos raster

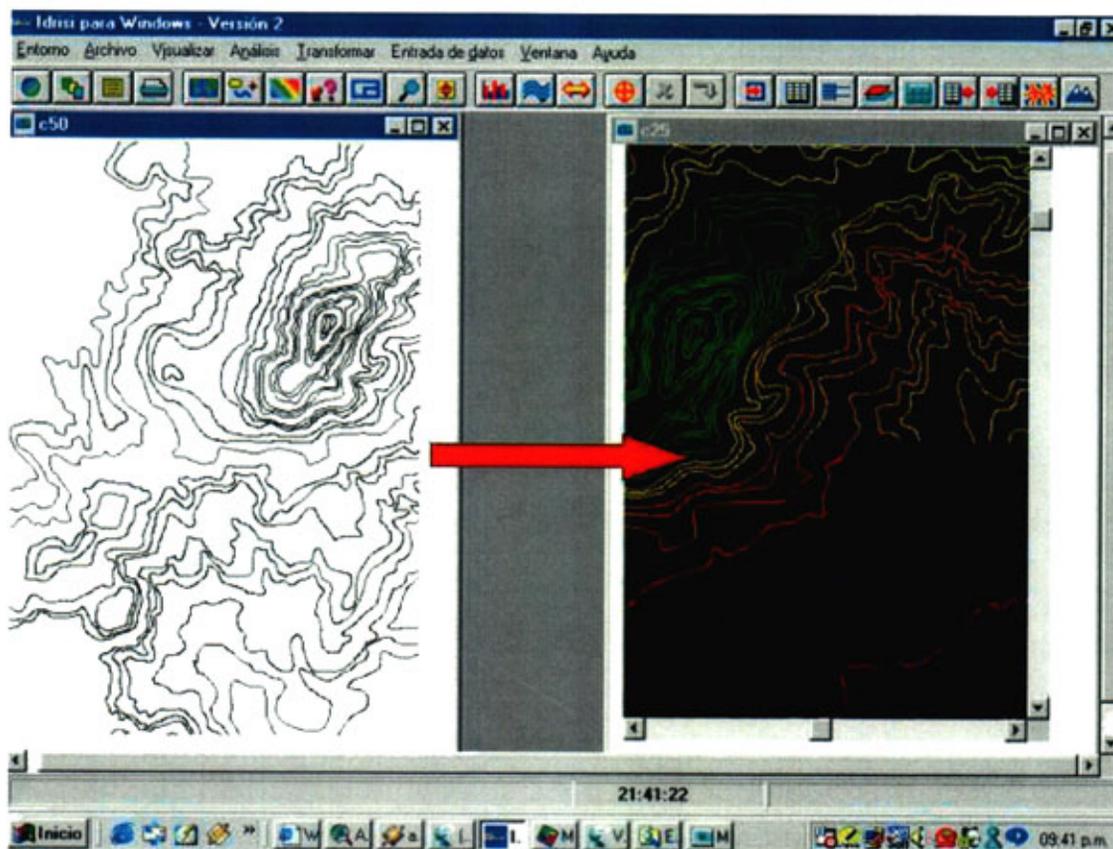


Figura 11.- Rasterización de coberturas vectoriales.

Para obtener el modelo de capacidad de acogida se debe realizar un proceso en un SIG, específicamente Idrisi, lo cual se detallará más adelante. Ahora se deben preparar las coberturas digitales para utilizarlas con este tipo de formato. De esta forma, se procede a rasterizar las coberturas vectoriales. Lo primero es definir una ventana de rasterización, es decir, una acotación de la cobertura que pasará a otro formato, en este caso la ventana está definida por las siguientes coordenadas, X máxima: 337070 metros; X mínima: 327970 metros; Y máxima: 6350060; Y mínima: 6336960.

Se ha considerado un tamaño de pixel de 10m x 10m, el cual ha sido recomendado en la bibliografía consultada. Según Mena *et al* (2001), un menor tamaño de pixel, permite lograr una mayor resolución, pero a su vez trae consigo mayores requerimientos en los procesos y equipos informáticos de almacenamiento de la información geográfica. Esto se traduce en que se tendrá un factor 10, el cual es el divisor de las diferencias de las coordenadas X e Y máximas y mínimas, para obtener el número de filas y columnas que conformarán las coberturas Raster. De esta forma entonces, se obtiene un total de 1310 filas y 910 columnas para cada cobertura Raster.

4.7- Los Criterios y sus correspondientes alternativas

El funcionamiento de las Técnicas de Evaluación Multicriterio, se basa en la ordenación de muchas alternativas que corresponden a un conjunto de criterios (Barredo, 1996). Estas alternativas se deben asignar a cada criterio, ya que, la base de datos fue traspasada de un formato vectorial a un raster, sin definir las clases temáticas o alternativas de las coberturas, siendo éstas representadas por objetos o unidades espaciales, las que corresponden a un sitio individual, lo que constituye el conjunto global de alternativas de selección.

4.7.1.- Series de suelos.

Las alternativas de selección de este criterio se encuentran insertas en las coberturas rasterizadas de las series de suelos, y estas se obtuvieron de los mosaicos Ciren-Corfo 1:20.000 y del documento “Series Agrológicas de Suelos, Región Metropolitana” de Ciren, año 2000. Encontrándose para cada serie su descripción y sus características del suelo presente en la zona de estudio.

El número de rangos variará según los atributos que presente el suelo, y no deberían ser más de cuatro o cinco.

Se optó por agrupar las características del suelo en Textura, Drenaje y Profundidad, las cuales están claramente mapeadas y definidas. De esta forma, las alternativas para los criterios son:

4.7.1.1.- Profundidad

La profundidad del suelo se mide en función de la existencia de un impedimento que posibilita o limita la penetración de raíces, y los rangos involucrados son los siguientes:

Profundidad	Cm
Profundo	Mayor de 100
Moderadamente profundo	75-100
Ligeramente profundo	50-75
Delgado	25-50
Muy delgado	Menor de 25

4.7.1.2.- Drenaje

Cada serie posee una clasificación de drenaje. Sobre la base de las observaciones e inferencias usadas para la obtención del drenaje externo, permeabilidad y drenaje interno se obtienen las Clases de Drenaje.

Seis clases de drenaje son usadas en la descripción de los suelos y su definición es como sigue:

Muy pobremente drenado: El agua es removida del suelo tan lentamente que el nivel freático permanece en o sobre la superficie en la mayor parte del tiempo. Los suelos generalmente ocupan lugares planos y están frecuentemente inundados.

Pobremente drenado: El agua es removida tan lentamente que el suelo permanece húmedo la mayor parte del tiempo. El nivel freático está comúnmente en o cerca de la superficie durante una parte considerable del año. Las condiciones de pobremente drenado son debidas al nivel freático alto, o capas lentamente permeables en el pedón, al escurrimiento o a alguna combinación de estas condiciones.

Drenaje imperfecto: El agua es removida del suelo lentamente, suficiente para mantenerlo húmedo por períodos, pero no durante todo el tiempo. Los suelos de drenaje imperfecto comúnmente tienen capas lentamente permeables dentro del pedón, niveles freáticos altos, suplementados a través del escurrimiento, o una combinación de estas condiciones. El crecimiento de los cultivos es restringido a menos que se provea de un drenaje artificial.

Drenaje moderado: El agua es removida algo lentamente, de tal forma que el pedón está húmedo por poca pero significativa parte del tiempo. Los suelos de drenaje moderado comúnmente tienen capas lentamente permeables dentro o inmediatamente bajo el “solum”, un nivel freático relativamente alto, sumado al agua a través del escurrimiento, o alguna combinación de estas condiciones.

Bien drenado: El agua es removida del suelo fácilmente, pero no rápidamente. Los suelos bien drenados comúnmente tienen texturas intermedias, aunque los suelos de otras clases texturales pueden también estar bien drenados. Los suelos bien drenados retienen cantidades óptimas de humedad para el crecimiento de las plantas después de lluvias o adiciones de agua de riego.

Excesivamente drenado: El agua es removida del suelo muy rápidamente. Los suelos excesivamente drenados son comúnmente litosoles o litosólicos y pueden ser inclinados, muy porosos o ambos. El agua proveniente de las precipitaciones no es suficiente en estos suelos para la producción de cultivos comunes, por lo que necesitan de regadío, e incluso así no pueden lograrse rendimientos máximos en la mayoría de los casos.

4.7.1.3.- Textura

Los términos de texturas están basados en el triángulo textural del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA).

La textura superficial corresponde a los primeros 20 cm de suelos; en caso de existir más de un horizonte con diferentes texturas, debe referirse a la mezcla de ellos. Esta textura se denomina de acuerdo al agrupamiento textural.

Textura	Agrupamiento textural
Arcillosa	Fina
Arcillo limosa	
Arcillo arenosa	
Franco arcillosa	Moderadamente fina
Franco arcillo limosa	
Franco arcillo arenosa	
Franca	Media
Franco limosa	
Franco arenosa muy fina	
Franco arenosa fina	Moderadamente gruesa
Franco arenosa	
Areno francosa fina	Gruesa
Areno francosa muy fina	
Areno francosa gruesa	
Arena muy fina	
Arena fina	
Arena media	Muy gruesa
Arena Gruesa	

4.7.2.- Creación del Modelo Digital del Terreno, para determinar pendientes y exposiciones.-

Un Modelo Digital del Terreno (MDT) corresponde a una representación digital de la topografía de un territorio. Para la creación de este MDT, es necesario realizar la rasterización de las curvas de nivel con su correspondiente valor de altimetría (Figura 11). La creación del MDT, se basa en la interpolación espacial de datos geográficos, en este caso de las curvas de nivel (Gajardo, 2002). Ésta se realiza a través del software Idrisi, mediante la función Intercon. Esta función busca para cada píxel del mapa de salida, la línea de máxima pendiente que une dos curvas de nivel contiguas al píxel. Además, la función solicita como referencia, las altitudes de las cuatro esquinas del límite de la cobertura. En el caso nuestro estas altitudes corresponden a: 800 msnm en la esquina superior izquierda, 1100 m en la esquina superior derecha, 550 m en la esquina inferior izquierda y 600 m en la esquina inferior derecha. Luego de ingresados estos datos, el programa genera un MDT (Figura 12), en donde cualquier punto del terreno posee un valor de altimetría.

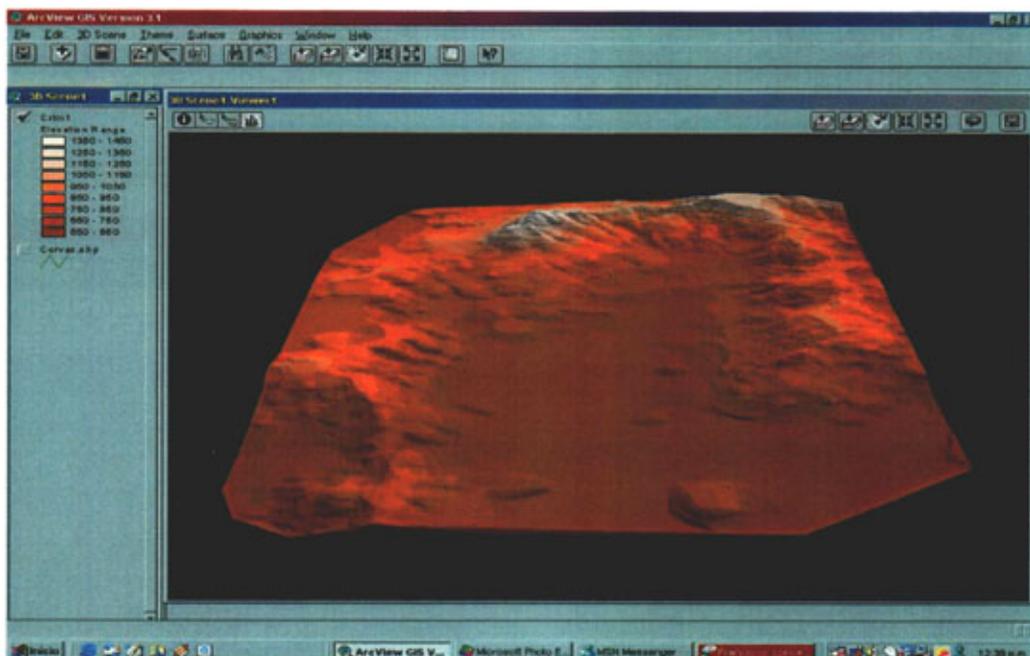


Figura 12.- Modelo digital del terreno a partir de datos raster

4.7.2.1.- Pendientes

Mediante el MDT es posible también, realizar el cálculo de la pendiente en cada punto de la cobertura raster. Esto gracias a la función Surface incorporada en Idrisi. Posteriormente la cobertura de pendiente es necesario reclasificarla, utilizando la función Reclass, obteniendo los distintos rangos de clasificaciones temáticas, las cuales serán asociadas a los requerimientos de la evaluación (Figura 13).

Las distintas alternativas a asignar a este criterio, están relacionadas directamente con el tipo de riego que se aplicaría a la plantación. Así, según consultas realizadas a profesionales, la pendiente máxima permisible para establecer una plantación con riego artificial es de 15%, sobre este valor, los aportes hídricos necesarios para la plantación deberán provenir exclusivamente de las precipitaciones anuales.

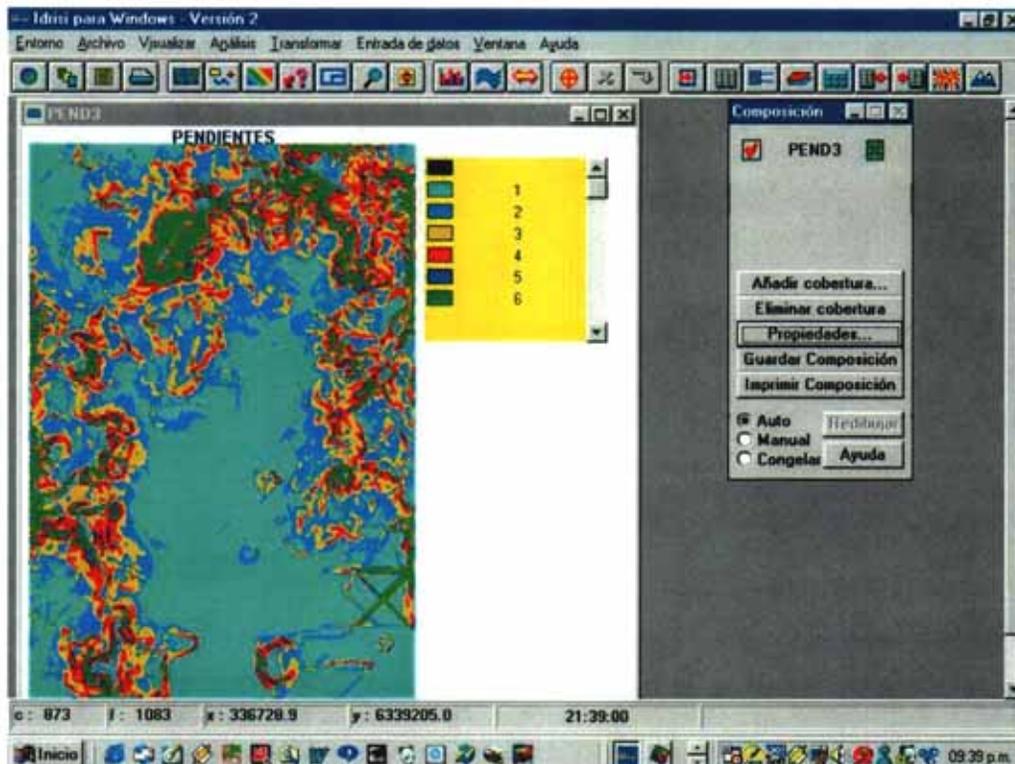


Figura 13.- Pendientes del terreno

Por otro lado, uno de los objetivos principales de las plantaciones hechas en la zona, es ocupar la mayor cantidad de agua posible del embalse, mediante la evapotranspiración, lo cual convierte la capa-criterio "pendiente" en una cobertura que representará una limitante o más bien dicho una condicional para establecer la plantación.

De esta forma, realizando una nueva reclasificación se obtendrá una cobertura 0-1 (Figura 14), la que representa si existe o no la posibilidad de establecer una plantación, es decir, zonas con pendiente menor a 15% (valor 1) y sectores con pendiente mayor a 15% (valor 0).

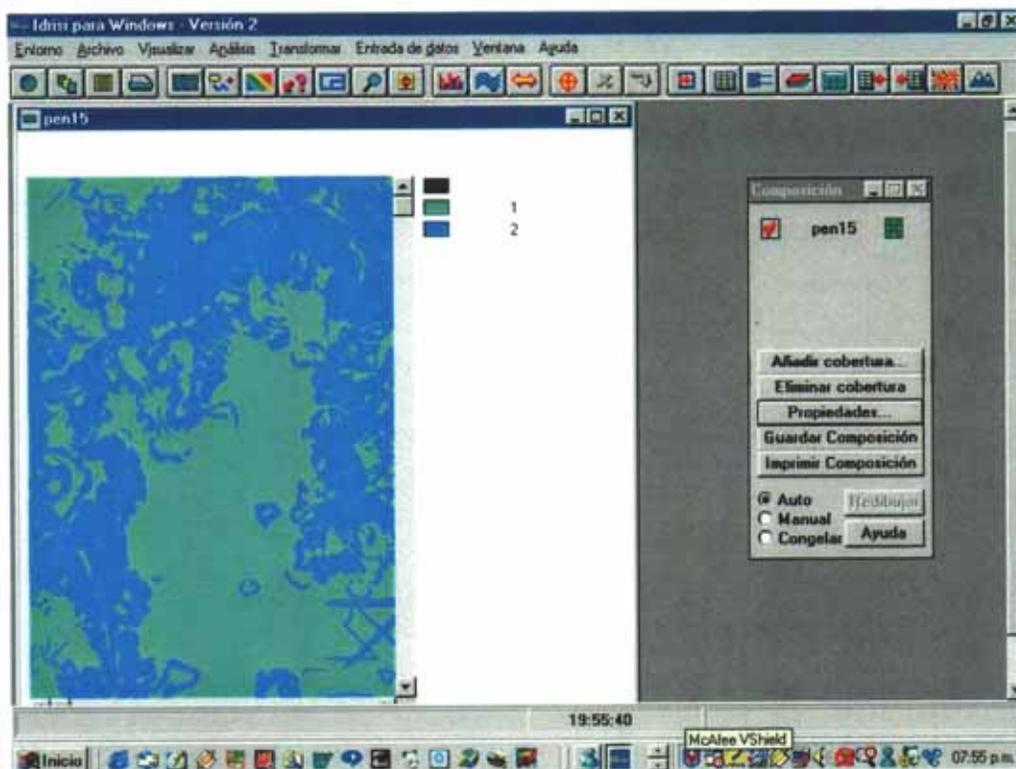


Figura 14.- Capa binaria, pendiente hasta 15%

4.7.2.2.- Exposición solar

La cobertura de orientaciones (Figura 15) indica la dirección a la que está expuesta la máxima pendiente del terreno. Así, las orientaciones son calculadas en grados decimales por Idrisi. De esta forma, a los sectores con pendiente igual a 0, se asignará una orientación con valor (-1). Luego, mediante la reclasificación, las alternativas para este criterio son las siguientes orientaciones: Norte (315°-45°), Este (45°-135°), Sur (135°-225°), Oeste (225°-315°) y Llano (Sector plano).

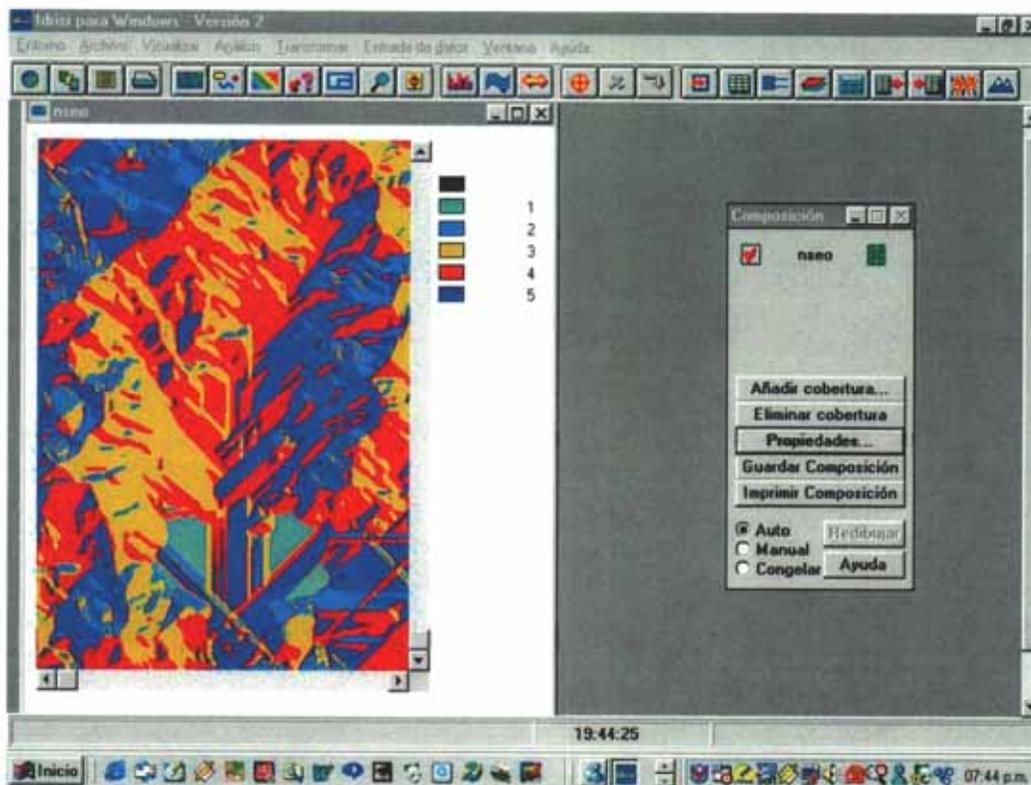


Figura 15.- Exposiciones del terreno

4.7.3.- Distancia a caminos existentes

Para determinar las alternativas correspondiente a la cobertura de caminos, aparte de contar con la información de todos los caminos presentes en el predio, es necesario generar otra cobertura que presente todas las distancias a éstos (Figura 16). Esta cobertura se crea con la función Distance, la cual permite obtener la distancia hacia cualquier píxel desde el camino más cercano. Luego, mediante la función Reclass, se agrupan las distancias obteniendo las distintas clases temáticas.

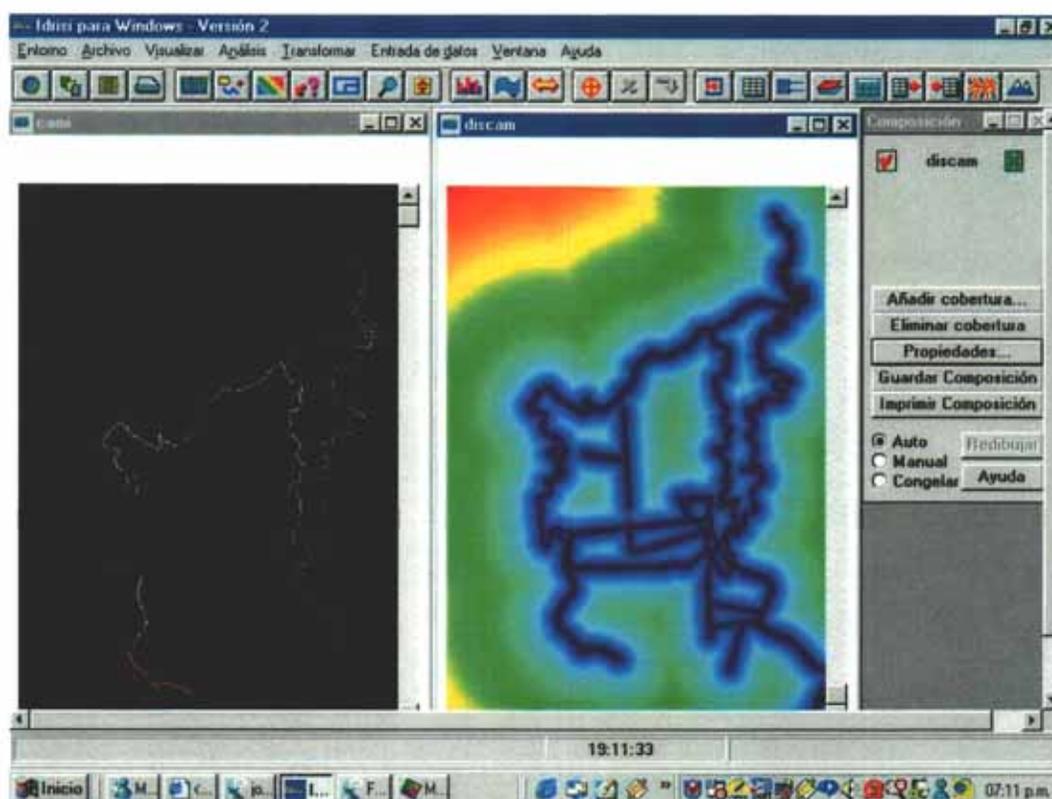


Figura 16.- Distancia de caminos a cada punto del terreno.

4.8.- Aplicación de las técnicas de EMC en el entorno de los SIG

Una vez definidos los criterios y las restricciones correspondientes al problema de evaluación, es necesario ponderar estas variables a través de los métodos EMC. En estudios relacionados con el territorio es común encontrarse con la necesidad de establecer jerarquías y pesos para los factores implicados en la aptitud para un determinado uso, asignando así un valor relativo de ponderación frente a los demás criterios (Barredo, 1996).

Para realizar la aplicación de los métodos EMC es necesario confeccionar una matriz para cada variable o factor temático. En dicha matriz, los criterios se encuentran ubicados en las filas y las alternativas de cada criterio, se encuentran ubicadas en las columnas.

Dos aspectos importantes de resolver antes de implementar los procedimientos de evaluación corresponden a los relacionados con la homogeneidad de la información a utilizar, es decir, el primer aspecto radica en la necesidad de establecer una escala homogénea para los datos temáticos, debido a que los SIG pueden almacenar datos espaciales en formato vectorial o raster. Generalmente, los SIG, almacenan su información mediante un modelo de datos de dos tipos, siendo el primero en donde es representada la topología de los elementos y por otro lado, el componente temático o atributos, siendo expresadas estas características en forma numérica. Es en este aspecto en donde radican los problemas para el tratamiento y manipulación de la información, dependiendo de la escala en la cual se encuentren representados (Barredo, 1996). La información temática puede estar representada por alguna de las cuatro escalas establecidas: nominal, ordinal, intervalo y razón. Estas escalas se pueden clasificar a su vez en cualitativas (nominal y ordinal) y cuantitativas (intervalo y razón) (Voodg, 1983). En las escalas cuantitativas se conocen las magnitudes existentes entre las diferencias de cada categoría, es decir, es cuantificable o medible. Por otro lado, en las escalas cualitativas solamente se puede establecer un orden de preferencia, sin saber la proporción en que un factor supera a otro. Este problema se basa en que la mayoría de los datos espaciales están en una escala nominal, la menos operativa

desde el punto de vista aritmético; constituyendo esto un gran problema, ya que el potencial de las técnicas de EMC se establece en la manipulación aritmética de los atributos anexados a los datos espaciales. Sin embargo, existen procedimientos que permiten realizar la transformación de datos que originalmente se encontraban en escalas cualitativas a escalas cuantitativas (Gajardo, 2002).

El otro aspecto a resolver en la aplicación de las técnicas EMC en los SIG, se refiere a la necesidad de establecer jerarquías o pesos a los factores y a cada alternativa involucrada en la evaluación.

Para resolver los aspectos mencionados anteriormente se aplicará el Método de las Jerarquías Analíticas (MAJ), descrito por Saaty en 1980. Ahora, para aplicar este método se debe contar con la operatividad del SIG raster IDRISI (Gajardo, 2002).

4.9.- Asignación de pesos mediante el Método de las Jerarquías Analíticas (MAJ)

La asignación de pesos o ponderaciones a los criterios es muy importante en los estudios relacionados con el territorio, ya que para realizar cualquier evaluación, es necesario expresar en términos numéricos o cuantitativos la importancia o jerarquía de los distintos elementos para ser afectados por una determinada actuación. Para la asignación de pesos a factores territoriales se han desarrollado diversos métodos, entre los cuales se pueden mencionar la puntuación, colocación de una escala ordinal, comparación por pares, método Delphi, etc. (COETMA, 1991). No obstante, el método de las jerarquías analíticas ofrece una medida cuantitativa de la consistencia entre las relaciones que se establecen entre cada par de criterios para la asignación de sus correspondientes pesos (Barredo, 1996), lo que hace de este método, el más adecuado para el objetivo en cuestión.

El Método de las Jerarquías Analíticas, establece el supuesto de una matriz cuadrada, en la cual, el número de filas y columnas está definido por el número de variables a ponderar que fueron incluidas en el estudio. De esta manera, se establece una matriz de

comparación entre pares de factores. En esta matriz se compara la importancia que tiene un criterio respecto a otro, para posteriormente determinar el eigenvector principal, el cual establece los pesos; y el eigenvalor, que proporciona una medida cuantitativa de la consistencia de los juicios de valor entre pares de factores.

4.9.1.- Implementación del método

Para resolver el problema de las diferencias de escalas que existen entre las tablas de atributos de los datos espaciales se utiliza el MAJ, el cual establece una escala de tipo continua (ratios o razón) para la asignación de juicios de valor que serán expresados por expertos en las matrices mencionadas.

Los juicios de valor fueron asignados mediante la opinión de expertos en el tema ambiental. El total de los profesionales consultados abarcó a académicos de la Universidad de Talca y de la Universidad de Chile, profesionales de las empresas CICA, ATM Ltda. y ORSA (Anexo 1). Entre las distintas disciplinas asociadas a los expertos evaluadores, se encuentran ámbitos relacionados con Ecología, Geomorfología, Silvicultura, SIG, Botánica, y Agronomía (riego). Con los juicios emitidos por los expertos es posible determinar la importancia que posee un factor sobre otro, para luego establecer el peso o ponderación que posee cada uno de ellos (Gajardo, 2002).

Para iniciar el procedimiento del MAJ, se debe construir una matriz de comparación entre pares de variables que se consideraron en el estudio. En esta matriz, los expertos asignan en cada celda los juicios de valor que representa la importancia relativa o el nivel de jerarquía de cada factor con respecto al otro. La escala utilizada en la asignación es de tipo continua, y ésta oscila entre los valores $1/9$ y 9 , lo que significa extremadamente menos importante y extremadamente más importante, respectivamente; pasando por el valor 1 , lo que indica igualdad entre pares de factores. A continuación se muestra la escala que establece el Método de las Jerarquías Analíticas para realizar la comparación.

1/9: La variable de la fila es mucho menos importante que la variable de la columna.

1/8

1/7

1/6: La variable de la fila es considerablemente menos importante que la variable de la columna.

1/5

1/4: La variable de la fila es un poco menos importante que la variable de la columna.

1/3

1/2

1 : Ambas variables tienen la misma importancia.

2

3

4: La variable de la fila es moderadamente más importante que la variable de la columna.

5

6: La variable de la fila es considerablemente más importante que la variable de la columna.

7

8

9: La variable de la fila es mucho más importante que la variable de la columna.

Posteriormente se presenta a los expertos una matriz que contiene todos los factores implicados en el estudio: drenaje de suelo, textura del suelo, profundidad del suelo, orientación (exposición) y accesibilidad. Esta matriz es llamada “Matriz Madre” y se debe evaluar utilizando la escala descrita anteriormente. De la misma forma, este procedimiento es aplicado a cada factor en particular, pero estableciendo los juicios de valor y la comparación de pares, basándose en sus respectivas alternativas temáticas. La estructura de la matriz de comparación por pares se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1.- Matriz madre establecida para la evaluación de los factores en estudio.

<i>Variables</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>
A	1					
B		1				
C			1			
D		A_{ij}		1		
E					1	
F						1

En el cuadro 1, el valor A_{ij} demuestra la importancia del factor D sobre el factor B ($1/9 - 9$). Una vez que los expertos han hecho las evaluaciones en las celdas de las matrices, lo que sigue es calcular el peso de cada factor y de sus respectivas alternativas.

Con respecto a las evaluaciones de los expertos, éstas serán representadas por matrices las distintas opiniones de cada profesional, lo cual incluye un grado de subjetivismo, constituyendo esto un problema el cual influirá notablemente en la evaluación final. Por esto se ha hecho necesario contar con matrices representativas para los factores y las respectivas categorías de éstos. Para resolver este inconveniente, se utiliza un procedimiento que se basa en la aplicación de la Moda, la que se define como el valor que se repite un mayor número de veces al interior de una muestra (Harnett y Murphy, 1987). En este estudio, los valores corresponden a los juicios de valor emitidos por los expertos en cada celda de las matrices mencionadas anteriormente.

Este procedimiento se aplicó además, por la imposibilidad de crear una mesa de decisión entre los distintos profesionales consultados, debido a que los expertos pertenecían a distintas instituciones, ubicadas en distintas localidades, lo que sumado a los distintos horarios, hacía muy difícil reunir a todos los expertos encuestados en un lugar específico.

4.9.2.- Ponderación de criterios y alternativas

El cálculo de los pesos o eigenvector principal de cada factor, así como de las alternativas de cada uno de ellos, representará el orden de prioridad de los factores. Esta asignación tiene por objeto representar la importancia en la evaluación de cada uno de los criterios, es decir, expresar en términos cuantitativos las jerarquías existentes entre las variables involucradas; además representa el grado de influencia que ejercen estos factores para acoger una determinada actividad. Luego, las matrices evaluadas por los expertos son ingresadas al software SIG Idrisi para determinar los pesos de las variables en cuestión; este programa utiliza la función Weight para obtener los valores del eigenvector principal de cada fila, el que se denota W_j , y que corresponde a los valores de cada factor y de sus respectivas clases. Este eigenvector principal es representado inmediatamente en una columna que se anexa a cada matriz evaluada. Este resultado corresponde a una medida de ponderación, por lo tanto, la sumatoria de este vector debe dar como resultado el valor 1 (Cuadro 2). Posteriormente, el vector de pesos W_j se normaliza mediante la ecuación mostrada más adelante con el fin de establecer una escala homogénea para futuras operaciones matemáticas (Gajardo, 2002).

Cuadro 2.- Matriz madre expresada en forma genérica. Juicios de valor (A_{ij}) y Pesos de los factores (W_j)

<i>Factores</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	W_j
A	1						W_A
B		1					W_B
C			1				W_C
D	A_{ij}			1			W_D
E					1		W_E
F						1	W_F
ΣW_j							1

A modo de ejemplo, se muestra en el cuadro 3, la matriz correspondiente al factor profundidad del suelo.

Cuadro 3.- Matriz del factor profundidad, contiene juicios de valor y pesos para cada alternativa

<i>Profundidad</i>	<i>Profundo</i>	<i>Mod.Prof.</i>	<i>Lig.Prof</i>	<i>Delgado</i>	<i>Muy Delg.</i>	<i>W_{ij}</i>
Profundo	1					W ₁₀₀
Mod.Prof.	A _{ij}	1				W ₇₅
Lig.Prof			1			W ₅₀
Delgado				1		W ₂₅
Muy Delg.					1	W _{<25}

4.9.3.- Normalización

Luego de que Idrisi, entrega los pesos de los factores involucrados, es necesario normalizar los pesos obtenidos de cada alternativa de cada factor (X_{ij}). Este procedimiento es necesario para establecer una escala común para todos los criterios. Por otro lado, el software Idrisi no permite realizar reclasificaciones de valores reales, por lo que se deben normalizar los valores para convertirlos en números enteros. (Gajardo, 2002).

Para realizar la normalización de las alternativas, se utiliza la siguiente fórmula

$$e_{ij} = \frac{X_{ij} - \text{Min}X_{ij}}{\text{Max}X_{ij} - \text{Min}X_{ij}} \times 100$$

Donde :

e_{ij} = Valor normalizado de la alternativa i en el criterio j . Varía entre 0 y 100, lo que representa la menor y mayor aptitud del terreno respectivamente.

X_{ij} = Valor de la alternativa i en el criterio j .

Min y **Max** = valores mínimos y máximos de las alternativas en el criterio.

Luego de normalizar los valores de las matrices se debe realizar la asignación de estos valores a cada píxel de las coberturas mencionadas anteriormente, para lo cual se utiliza la función Reclass que se encuentra en el software Idrisi.

4.9.4.- Consistencia de los juicios de valor

Una vez obtenido y normalizado el vector de los pesos, es ahora necesario obtener una medida cuantitativa acerca de la consistencia en la asignación de los juicios de valor. Aunque la asignación de los juicios de valor se basa en criterios fuertemente establecidos, existe una cuota más o menos importante de incertidumbre o subjetividad, lo que es inevitable en todo proceso de decisión humana.

El M.A.J. cuenta con un índice que permite el cálculo de la consistencia de los juicios de valor, este índice es denominado razón de consistencia (c.r.), el cual se establece a partir del cociente entre el valor del índice de consistencia (c.i.) y el índice aleatorio (r.i.). Ahora, para valores de c.r. mayores o iguales a 0,10, los juicios emitidos por los expertos tendrán que ser revisados, ya que su consistencia es insuficiente y no representativa para establecer valores definitivos. Por el contrario, si el c.r. es menor que 0,10, los juicios de valor asignados son considerados satisfactorios (Barredo, 1996).

Para obtener la razón de consistencia de los juicios de valor, el software SIG Idrisi es muy importante, ya que éste automatiza el procedimiento utilizado para este objetivo. Las matrices evaluadas se ingresan en Idrisi, y mediante la función Weight, se obtiene el valor de la razón de consistencia para cada criterio en cuestión. Por otro lado, además esta función indica los juicios de valor que han creado la inconsistencia de la matriz de comparación, permitiendo corregir estos valores (Barredo, 1996).

4.10.- Sumatoria lineal ponderada (S.L.P.)

A partir de las matrices evaluadas por los expertos, los pesos de los factores y los valores de consistencia en la asignación de los juicios de valor, es posible realizar la aplicación del método de evaluación multicriterio.

Si bien existen distintos métodos de EMC (sumatoria lineal ponderada, análisis del punto ideal, índice de concordancia generalizado, etc.) para la asignación de valores, que difieren en los procedimientos aritmético-estadísticos que se realizan sobre las matrices de evaluación, se consideró que el método más apto para el estudio es la Sumatoria Lineal Ponderada (S.L.P.), ya que es el que más se aplica en los modelos desarrollados en S.I.G.

Luego, la ecuación que describe el método de la S.L.P. es la siguiente:

$$r_i = \sum (W_j * X_{ij})$$

Donde :

r_i = capacidad del terreno para la acoger la plantación de Quillay.

W_j = peso del criterio j.

X_{ij} = valor de la alternativa i en el criterio j.

Esta ecuación es aplicada a todos los criterios pertinentes en la evaluación, para luego obtener una cobertura IMG (imagen Idrisi) que contenga los valores de capacidad de acogida (r_i). Los valores más altos, indicarían los sectores más aptos para nuestro objetivo. Si bien en este estudio se han considerado variables o factores que indiquen los sectores potencialmente idóneos para el establecimiento de la plantación, es necesario determinar las zonas en donde no es posible establecerla. Estas zonas, denominadas limitantes, deben ser excluidas. Este proceso se realiza mediante una operación llamada álgebra de mapas, en donde cada restricción o capa 1/0 es multiplicada con la cobertura que contiene los valores de capacidad de acogida, extrayendo de esta forma los sectores restrictivos. El resultado final de esta operación es el modelo de capacidad de acogida (Figura 16).

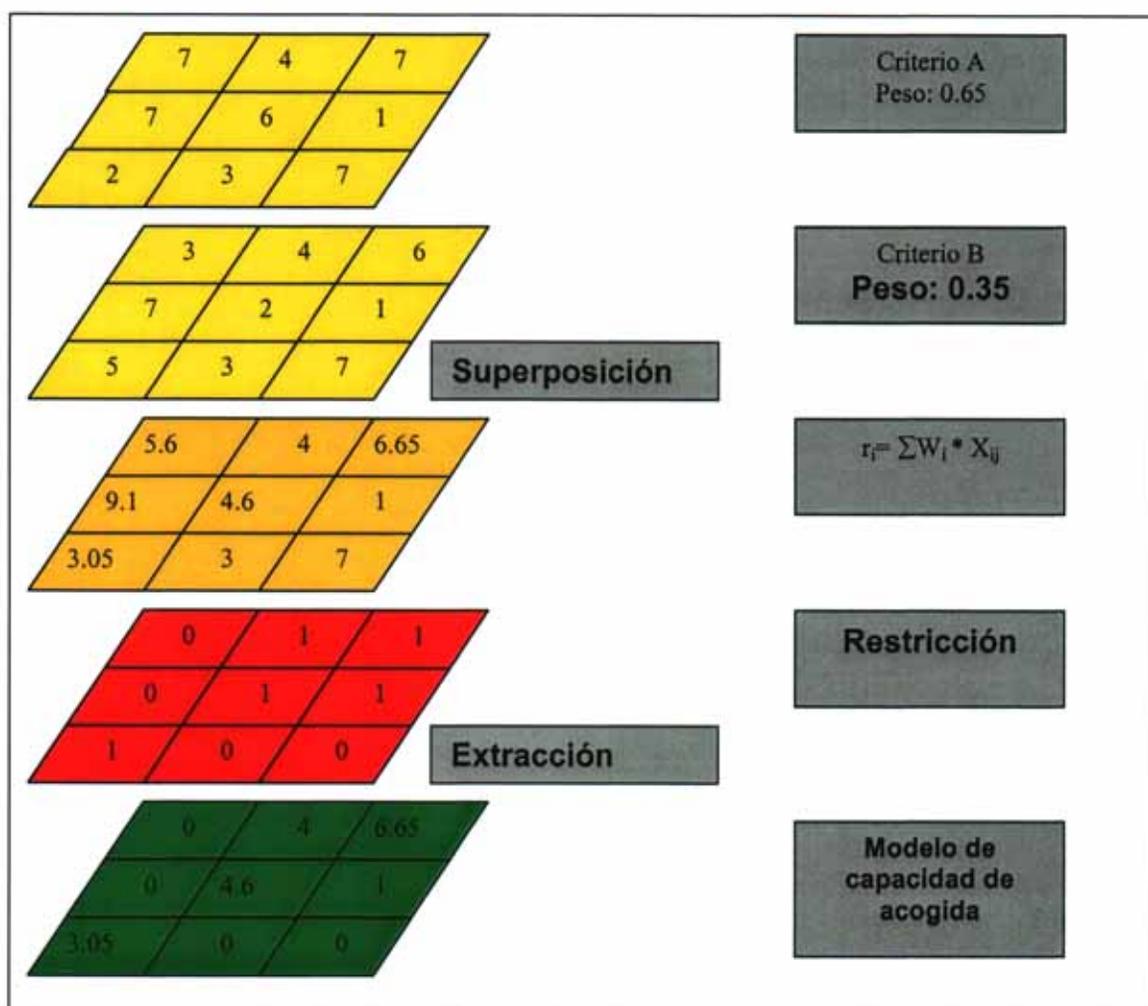


Figura 16.- Modelo de capacidad de acogida mediante S.L.P. (Barredo,1996)

4.11.- Modelo de capacidad de acogida para la localización de los sitios más idóneos para recibir la plantación.

El modelo de capacidad de acogida corresponde a una cobertura digital del predio Ovejería, en la que se han determinado los sectores potencialmente más idóneos para establecer una plantación de Quillay.

El módulo EMC del software Idrisi es la principal herramienta para obtener el modelo de capacidad de acogida del territorio. A este programa son ingresados los respectivos pesos de los criterios, continuando con los nombres de las coberturas que contienen las matrices evaluadas, para finalmente ingresar los nombres de las coberturas restrictivas (1-0). Reunidos todos estos datos, Idrisi ejecuta la regla de decisión (Sumatoria lineal ponderada), y se obtiene como resultado final, una cobertura o mapa IMG, que cuenta con los distintos valores de capacidad de acogida para cada píxel del territorio en cuestión. Estos valores se encuentran en el rango de 0 a 100. Luego, este rango se divide en seis categorías, las cuales se definen en el cuadro N° 4.

Cuadro 4.- Puntaje y aptitud por categorías para el modelo de capacidad de acogida.

<i>Categorías</i>	<i>Puntaje</i>	<i>Aptitud</i>
1	80-100	Muy alta
2	60-80	Alta
3	40-60	Media
4	20-40	Baja
5	1-20	Muy baja
6	-	Excluyente

Como resultado final se tendrá un Mapa IMG con 6 categorías, lo que representa la aptitud del terreno para recibir una plantación de Quillay.

4.12.- Confección de la cartografía de síntesis

La ordenación del territorio es la proyección espacial de una estrategia de desarrollo económico y social; integra, por tanto, la planificación económica y la física a través de un enfoque interdisciplinario (Barredo, 1999). Esta planificación puede definirse como un proceso racional de toma de decisiones o como un intento inteligente y organizado para elegir las mejores alternativas tendentes a realizar metas específicas.

La ordenación debe desarrollarse, en lo posible, como la culminación del proceso de planificación. Este proceso debe abarcar la definición de objetivos, el inventario de los recursos, su análisis y diagnóstico y la selección de los distintos instrumentos que sean eficaces para el logro de los objetivos establecidos. Por tanto, se deberán estudiar la integración de los aspectos naturales, físicos y bióticos, económicos y sociales, institucionales y políticos, ya que éstos se condicionan e influyen unos sobre otros.

En el espacio natural, surge la necesidad de actuar técnicamente, con el fin de generar bienes y servicios necesarios para la sociedad; teniendo en cuenta el uso sostenible en el tiempo de los recursos naturales.

Ahora bien, en lo que a organización espacial se refiere, la ordenación del territorio plantea la distribución espacial de las distintas actividades humanas (usos del suelo) y la forma en que se realizan a través de la planificación física.

Con el objeto de plantear posibles soluciones a la gestión territorial de la zona en estudio, se creará una cartografía que relacione capas temáticas. Esta cartografía será de suma importancia en la ordenación del territorio que se desee estructurar en el predio en cuestión. Agregando al presente estudio una herramienta de trabajo bastante útil para localizar los sectores que necesiten evaluar posibles efectos ambientales en la zona.

La cartografía temática se puede clasificar en dos tipos: de análisis y de síntesis (Joly, 1982), siendo el primero el que considera la repartición de un fenómeno dado. En tanto los mapas de síntesis, por medio de superposiciones, manifiestan las correlaciones entre dos o más fenómenos geográficamente representables.

Para el caso del predio Ovejería, se integrarán en un solo mapa, las variables pendiente, red caminera y red hidrográfica. Consiguiendo de esta forma una mejor aproximación en el conocimiento de los sectores más propensos a la erosión.

La erosión causada por el agua es más significativa que aquella ocasionada por el viento. Los procesos responsables de la erosión hídrica son: desprendimiento, transporte y deposición de partículas de suelo. Es necesario comprender entonces, los procesos de la erosión del suelo para reducir o eliminar eficientemente la erosión. El desarrollo y utilización de un modelo físico nos permite visualizar los factores que tienen influencia en el comportamiento de un sistema. Por ejemplo, en el control de la erosión del suelo se puede utilizar un modelo para estudiar los efectos de las distintas prácticas de manejo en la erosión del suelo, la calidad del agua o la productividad de los cultivos (FAO, 1993).

Mena (1996), señala que la pendiente representa un papel muy importante en los sitios con riesgo de erosión. En general, la erosión tenderá a ser mayor en aquellas laderas con pendientes más acusadas y con una vegetación degradada.

La pendiente juega un factor obvio en el escurrimiento. El escurrimiento será mayor cuanto más fuerte y larga sea la pendiente. Al mismo tiempo habrá mayor arrastre de partículas de suelo y nutrientes y la erosión será mayor. Esta es la razón principal por la cual los bosques de laderas con pendientes abruptas no deben cortarse a tala rasa. En ellos es necesaria una cubierta vegetal permanente, sino de bosque, por lo menos de arbustos y pastos (Donoso, 1994).

Los suelos superficiales están ubicados, generalmente, en las zonas de pendiente empinada. Los suelos más profundos se hallan en zonas con poca pendiente. La erosión de los suelos no parece estar muy relacionada con el material parental, pero sí está fuertemente relacionada con la pendiente (Donoso, 1994).

Por otro lado, la red caminera existente en la zona de estudio se encuentra estructurada en la región con menos inclinación del predio. Estos caminos son construidos en base a una carpeta de rodado de material grueso (áridos), y están en constante mantención por parte de la empresa Operaciones Relave S.A. (ORSA).

Por su parte, la red hidrográfica también se incluirá en la carta de síntesis, para generar posibles estudios en la relación de erosión y drenaje superficial. Las quebradas presentes en el predio no están ajenas a la erosión, debido a que no cuentan con ningún tipo de protección, y en caso de precipitaciones intensas, el proceso de erosión es notable.

La carta de síntesis a generar estará compuesta por estas tres coberturas (pendiente, caminos e hidrología), con el objeto de ubicar los sectores con mayor grado de pendiente, que presenten caminos cercanos para solucionar los problemas de erosión que se presenten.

Esta cartografía de síntesis se realiza mediante la superposición de coberturas en el programa SIG Arc/Info, y se desarrolla simplemente abriendo o visualizando las coberturas que participan en la estructura de esta cartografía. El mapa generado puede observarse en el apéndice 4.

Para lograr realizar la carta de síntesis, se deben superponer las tres coberturas participantes. Para esto se debió confeccionar en primer lugar la carta derivada de pendientes, a través del software Idrisi mediante funciones específicas de este programa. Una vez confeccionada esta carta, fue necesario exportarla al software Arc/View, para su posterior visualización, junto con las coberturas de Hidrología y Caminos. Las cuales se encuentran en la base de datos original facilitada por Codelco Chile, División Andina.

Como se mencionó anteriormente, esta cartografía de síntesis, mostrará las pendientes de todos los sectores del predio Ovejería, siendo los más inclinados, según la bibliografía consultada, los sitios más propensos a la erosión.

5.- PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1.- Presentación de resultados

Los juicios de valor asignados por los profesionales consultados se muestran en las siguientes matrices. Además se entregan los valores de las consistencias de las asignaciones de los juicios de cada matriz, proporcionados por Idrisi.

Cuadro 5.- Matriz Madre de Juicios de valor asignados por profesionales

Criterios	Profundidad	Drenaje	Orientación	Textura	Accesibilidad
Profundidad	1				
Drenaje	4	1			
Orientación	4	1/2	1		
Textura	1	1/4	1/2	1	
Accesibilidad	1/2	1/4	1/6	1/2	1

La razón de consistencia (c.c) entregada por Idrisi, para la “matriz madre” fue de 0,09. Los criterios factores involucrados en la evaluación, presentaron las siguientes razones de consistencia: Profundidad, 0,01; drenaje, 0,07; Orientación, 0,10; accesibilidad, 0,05; y textura, 0,10.

En los cuadros posteriores se detallan las evaluaciones de cada uno de los criterios respecto a sus alternativas.

Cuadro 6.- Matriz de evaluación para el criterio PROFUNDIDAD.

	Profundo	Mod. Profundo	Lig. Profundo	Delgado	Muy delgado
Profundo	1				
Mod. Profundo	1	1			
Lig. Profundo	1/4	1/3	1		
Delgado	1/6	1/6	1/4	1	
Muy delgado	1/9	1/9	1/9	1/6	1

Todos los profesionales consultados coincidieron en que mientras más profundo es el suelo, este es más atractivo para establecer una plantación de Quillay (Cuadro 6)

Cuadro 7.- Matriz de evaluación para el criterio DRENAJE.

	Muy pobre	Pobre	Imperfecto	Moderado	Bueno	Excesivo
Muy pobre	1					
Pobre	2	1				
Imperfecto	9	4	1			
Moderado	9	4	4	1		
Bueno	9	9	9	4	1	
Excesivo	1	1/3	1/4	1/8	1/9	1

La importancia del criterio Drenaje en la evaluación se encuentra reflejada en la ponderación obtenida por éste. En el predio Ovejería, existe una gran extensión de terrenos bien drenados, lo cual, según la opinión de los expertos, corresponde a la mejor alternativa para nuestro objetivo (Cuadro 7).

Cuadro 8.- Matriz de evaluación para el criterio ORIENTACIÓN.

	Norte	Sur	Este	Oeste	Llano
Norte	1				
Sur	9	1			
Este	7	1/2	1		
Oeste	1	1/4	1/4	1	
Llano	9	6	6	9	1

Con respecto a la orientación del terreno, o mejor dicho, la exposición solar de las distintas laderas del sector, las exposiciones llano, sur y este reciben las mayores calificaciones respecto a la orientación norte y oeste (Cuadro 8). Esto debido a los resultados obtenidos en las distintas experiencias realizadas por los profesionales.

Cuadro 9.- Matriz de evaluación para el criterio TEXTURA.

	Fina	Mod.Fina	Media	Mod.Gruesa	Gruesa	Muy gruesa
Fina	1					
Mod.Fina	1	1				
Media	6	6	1			
Mod.Gruesa	1	4	1/4	1		
Gruesa	1/2	1	1/4	1	1	
Muy gruesa	1/9	1	1/6	1/4	1/2	1

Para la mayoría de los encuestados, la textura media es la más importante, seguida por la textura moderadamente gruesa y moderadamente fina (Cuadro 9).

Cuando se evaluó la accesibilidad, un gran porcentaje de los profesionales, opinó que para ellos, la distancia a los caminos no era preponderante para tomar una decisión para el objetivo en cuestión, por lo que todas las alternativas tenían la misma importancia. Ahora bien, los resultados mostrados en el cuadro 10, están expuestos de acuerdo a la opinión de todos los expertos.

Cuadro 10.- Matriz de evaluación para el criterio ACCESIBILIDAD.

	0-250 m	250-500 m	500-750 m	750-1000 m	1000 y más m
0-250 m	1				
250-500 m	1	1			
500-750 m	1	1/2	1		
750-1000 m	1/6	1/4	1	1	
1000 y más m	1/9	1/6	1/2	1	1

Mediante estas evaluaciones ingresadas en Idrisi, se determinaron los pesos o importancia relativa de cada factor, así como la jerarquización de cada alternativa presente en cada criterio. Luego, por medio de la ecuación de normalización mostrada anteriormente, se estandarizan los distintos pesos. A continuación se muestran estos resultados.

Cuadro 11.- Matriz madre con importancia relativa de cada criterio.

Criterios	Profundidad	Drenaje	Orientación	Textura	Accesibilidad	Wj
Profundidad	1					0.1024
Drenaje	4	1				0.4182
Orientación	4	1/2	1			0.2986
Textura	1	1/4	1/2	1		0.1170
Accesibilidad	1/2	1/4	1/6	1/2	1	0.0638

Las distintas ponderaciones (Wj) de los distintos criterios indican cual es el más importante para tomar la decisión acerca de localizar una plantación de Quillay. Estas ponderaciones son entregadas automáticamente por Idrisi.

Cuadro 12.- Pesos y Normalización de las alternativas de Profundidad

Profundidad	Peso (Wij)	Normalización
Profundo	0.3832	100
Moderadamente profundo	0.3522	91
Ligeramente profundo	0.1667	39
Delgado	0.0723	13
Muy delgado	0.0256	0

La normalización de las ponderaciones se desarrolla para cada factor implicado en la evaluación. De esta forma, los distintos pesos cuentan con valores enteros para su posterior tratamiento.

Cuadro 13.- Pesos y Normalización de las alternativas de Drenaje

Drenaje	Peso (Wij)	Normalización
Muy pobre	0.0274	0
Pobre	0.0518	5
Imperfecto	0.1225	19
Moderado	0.2333	40
Bueno	0.5358	100
Excesivo	0.0292	1

De la fórmula mostrada anteriormente se obtienen los valores normalizados, así al menor valor se asigna el valor 0 y al mayor el valor 100.

Cuadro 14.- Pesos y Normalización de las alternativas de Orientación

Orientación	Peso (Wij)	Normalización
Norte	0.0337	0
Sur	0.1908	28
Este	0.1556	22
Oeste	0.0413	1
Llano	0.5986	100

En el caso del criterio Orientación, los terrenos que posean una exposición solar la mayor parte del día son los que obtendrán una mayor aptitud para recibir a la especie determinada.

Cuadro 15.- Pesos y Normalización de las alternativas de Textura

Textura	Peso (Wij)	Normalización
Fina	0.1608	27
Moderadamente fina	0.0742	7
Media	0.4751	100
Moderadamente gruesa	0.1520	25
Gruesa	0.0923	11
Muy gruesa	0.0456	0

Cuadro 16.- Pesos y Normalización de las alternativas de Accesibilidad

Accesibilidad	Peso (Wij)	Normalización
0 a 250 metros	0.3597	100
250 a 500 metros	0.3249	88
500 a 750 metros	0.1687	36
750 a 1000 metros	0.0857	8
1000 metros y más	0.0610	0

El modelo de capacidad de acogida del territorio, se basa en puntajes o valores de acogida, los cuales están insertos en cada uno de las celdas del modelo raster resultante de la Evaluación multicriterio. Estos puntajes varían entre 0 y 100 (Apéndice 3). Las distintas capacidades y sus respectivas superficies se presentan en el cuadro N°17.

Cuadro 17.-Clases del Modelo de Capacidad de Acogida y sus superficies.

MODELO DE CAPACIDAD DE ACOGIDA		
Clase Capacidad	Superficie (hectáreas)	%
Muy Alta	54.47	0.91
Alta	228.85	3.81
Media	197.5	3.29
Baja	14.2	0.24
Muy Baja	187.54	3.12
Excluyente	5320.24	88.63

5.2.- Análisis de resultados

Mediante los valores de cada criterio, y de los pesos obtenidos de las evaluaciones realizadas por los expertos, es posible establecer la variable que posee mayor influencia para el estudio, y corresponde a Drenaje del Suelo, con un peso de un 41.82%. La importancia de este factor sobre el factor que lo sigue (Orientación) es de un 11.96%.

Es necesario señalar además que para la realización de la evaluación de este estudio se utilizaron solamente cinco factores ponderativos o criterios, drenaje del suelo, profundidad del suelo, textura del suelo, exposición del terreno y accesibilidad; y cinco restricciones, pendiente, cursos de agua, caminos, zonas de protección y obras civiles. El modelo obtenido se derivó de la aplicación de la Sumatoria Lineal Ponderada como regla de decisión, en la cual, los principales elementos fueron las coberturas mencionadas anteriormente, realizándose una combinación de estas variables y restricciones.

No obstante, es importante comentar que existe una gran cantidad de criterios factibles de incluir en estudios de esta naturaleza, como el caso de la precipitación anual, la altura, vientos, etc. Sin embargo, estas variables no fueron consideradas en este estudio debido a su poca variación en el predio en cuestión o a la falta de existencia de información geográfica (mapas) de éstas, es decir, la no-existencia de una expresión espacial de dicha variable.

Una mayor cantidad de variables y restricciones asociadas al modelo, otorgaría una simulación más aproximada a la situación en el mundo real.

El tiempo utilizado para la obtención de los resultados expuestos anteriormente equivale a mas o menos 9 meses, en el cual se toma en cuenta el tiempo requerido para contactar, consultar y esperar las respuestas de los distintos expertos, crear y corregir la base de datos utilizada en la modelación, recolectar bibliografía para el tema planteado, definir variables factores y limitantes, y otros procesos relacionados con la edición del documento definitivo a presentar.

Este tiempo podría reducirse bastante si se contara con la información digital incorporada completamente a un Software SIG, para dedicar la mayor parte del tiempo a realizar la consulta a expertos y en definir las variables a incluir en el estudio.

El modelo final obtenido de la evaluación corresponde a una cobertura digital que posee en cada una de sus celdas un valor de capacidad de acogida para la plantación. De esta forma, los valores varían entre 0 y 100, lo que indica las diferentes aptitudes del terreno para recibir a la especie. Estos valores se dividen en distintos rangos de puntaje, los cuales corresponden a **muy alta**, entre 80 y 100 puntos; **alta**, entre 60 y 80 puntos; **media**, entre 40 y 60; **baja**, entre 20 y 40 puntos; **muy baja**, entre 1 y 20 puntos; y **excluyente**, las zonas que no presenten valores.

El valor máximo alcanzado correspondió a 94 puntos y el mínimo valor fue de 0 puntos, lo que indica que, no hubo uniones de las mejores alternativas en cada criterio. Con la afirmación anterior, se puede decir que no existe ninguna superficie mínima de 100 metros cuadrados, lo que corresponde al tamaño de la celda o píxel digital, que presente un rango óptimo de aceptación para la plantación.

El criterio que obtuvo una mayor ponderación en la evaluación fue Drenaje del suelo. Esto se debe a que para la mayoría de los expertos, el tiempo que demora el agua en escurrir del terreno es una de los principales requerimientos para establecer una plantación de Quillay. En este contexto, el mejor sitio para establecer Quillay, es aquel que posea un drenaje “Bueno”, lo que se ve reflejado en los pesos de cada variación en el criterio, así esta clase de drenaje obtuvo una ponderación de importancia de 53.58%, seguido de la clase “Drenaje Moderado” con un 23.33%.

El segundo lugar en la ponderación lo tiene el criterio Orientación o Exposición del terreno, 29.86%. Los profesionales encuestados determinaron este factor como importante también para la toma de decisiones respecto a la plantación, ya que en la mayoría de los ensayos realizados se han observado los mejores resultados en sectores planos (59,86%) y en lugares con exposición sur y este, 19.08% y 15.56%, respectivamente.

Otra causa de la alta ponderación que presentan los factores anteriores tiene que ver con la imposibilidad de modificar las características correspondientes a estas variables, por lo cual se considera importantísimo localizar sectores que presenten las mejores combinaciones de estas características.

Los factores textura y profundidad del suelo se evaluaron con una ponderación de 11.7% y 10.24%, respectivamente; esto significa que para la mayoría de los expertos, estos factores, si bien son importantes, no son tan preponderantes en el momento de decidir un lugar para instalar una plantación, ya que estos aspectos son factibles de modificar en terreno, mediante la utilización de las correspondientes herramientas. Según la opinión de

los profesionales, los sitios más idóneos para realizar la plantación, deben ser “Profundos” (38.32%) a “Moderadamente Profundos” (35.22%), además deben poseer una textura “Media”(47.51%), teniendo en cuenta que en otros sitios con características de textura (Fina, 16.08%; Moderadamente fina, 7.42%; Moderadamente gruesa, 15.2%; Gruesa, 9.23%; y Muy Gruesa, 4.56%) y profundidad (Ligeramente profundo, 16.67%; Delgado, 7.23%; y Muy delgado, 2.56%) más adversas, es posible también plantar la especie en cuestión.

El factor menos considerado por los expertos, con una ponderación de 6.38%, fue Accesibilidad. Esta opinión se debe básicamente a que se entiende que es uno de los criterios más fáciles de manejar externamente, además el costo de construir caminos en este predio, es bajo, ya que se cuenta con la maquinaria específica y los terrenos son fáciles de modificar. Sin embargo, es necesario señalar que lo óptimo en el caso de Codelco Chile, División Andina, es realizar los trabajos de forestación con el menor costo posible, de esta forma, toman una importancia los caminos existentes en el sector. Así, las distintas clases de “accesibilidad” fueron evaluadas por los expertos de acuerdo a la relación inversa entre distancia a camino y calificación, obteniéndose para la menor distancia (0-250 m) una ponderación de 35.97% respecto a las otras distancias. El menor valor lo obtuvo la distancia mayor, que corresponde a más de 1000 m, 6.1%.

Las distintas categorías obtenidas en el modelo de capacidad de acogida, cuentan ahora con una superficie del predio en cuestión. La superficie para la clase “Muy alta” es de 54.47 hectáreas, correspondiendo a un 0.91% de la superficie del predio (6002.8 ha); la clase “Alta” se encuentra en un área de 228.85 ha, 3.81% del total; la clase determinada como “Media” se ubica en 197.5 ha del predio, 3.29% del total; la clase “Baja” está en 14.2 ha, 0.24%; la clase “Muy baja” de acogida, se presenta en 187.54 ha del predio, 3.12%; y la clase denominada “Excluyente” se encuentra en gran parte del territorio, ocupando una superficie de 5320.24 ha, lo que representa el 88.63% de la superficie total.

Los expertos consultados correspondieron a profesionales relacionados con el área forestal, ambiental y profesionales expertos en estudios de suelos de la zona, los cuales otorgaron los distintos pesos a los criterios en cuestión. De esta forma, se desarrolló el proyecto de la forma esperada por el autor, definiendo los sectores más aptos para acoger una plantación de Quillay en el predio Ovejería.

La mayor concentración de sitios catalogados con capacidad “Muy alta” se situó en el sector correspondiente al fundo “El Chaval”, cerca del límite sur del predio. Los sitios con capacidad de acogida “Alta” se sitúan preferentemente en las cercanías del canal de contorno del embalse de relaves, y más específicamente, en el costado este del canal, en el sector “Cerro Condorito”. Sitios con capacidad “Alta” se encuentran también en el sector “el Álamo”, aguas arriba del embalse Ovejería.

Hacia el costado oeste del predio no se encontraron sectores significativos para realizar la plantación, ya que estos sectores son casi en su totalidad, terrenos rocosos, los cuales se inundan permanentemente en caso de la existencia de altas precipitaciones, provocándose serios daños en la vegetación presente en el lugar.

Los sitios con capacidad de acogida “Muy alta” corresponden a sectores con suelos “Profundos”, “Bien drenados”, “Textura gruesa” y con exposición “Llano”, además de encontrarse cerca de caminos existentes. Todos los sitios, incluidas todas las clasificaciones de capacidad de acogida, presentan además una pendiente inferior a 15%, lo cual permitirá un óptimo desarrollo del tipo de riego que se pretende realizar.

Gracias a este modelo de capacidad de acogida (Apéndice 3) es posible entonces, ubicar la áreas precisas en donde el establecimiento de la plantación no debería presentar problemas para su desarrollo. Sin embargo, el éxito de la plantación, requerirá de otros factores importantes de incluir en el proyecto de forestación, como son la calidad de las plantas, el tiempo de plantación, la capacitación de los trabajadores, y otros procedimientos claves en la sobrevivencia de la plantación.

6.- CONCLUSIONES

- Del estudio realizado sobre la especie en cuestión, se puede concluir que debido a sus excelentes condiciones físicas y biológicas, el Quillay representa una muy buena alternativa de desarrollo de la diversidad forestal para las regiones V y Metropolitana, gracias a su buena adaptabilidad y rápido crecimiento. Además, es válido afirmar que aparte de sus características físicas, el Quillay posee entre sus componentes químicos una sustancia llamada saponina, la cual es un importante producto de exportación, utilizado en la industria química.
- Por otro lado, debido a la homogeneidad de los suelos del predio, en cuanto a textura y drenaje, existe muy poca variación entre las alternativas de un criterio. Teniendo en cuenta esta afirmación, se puede concluir que para la zona en estudio, es factible abarcar una mayor superficie, en donde exista una mayor diversidad de condiciones de suelo, las cuales influirán de mejor forma en la toma de decisiones para extensiones de terreno más amplias.
- Las variables consideradas en el estudio respondieron satisfactoriamente a la evaluación, sin embargo, existen un mayor número de variables factibles de incluir en el proceso para enriquecer el estudio, por ejemplo heladas, vientos y temperatura, las cuales no fueron consideradas porque no cumplían con la condición espacial para ser representadas en una cartografía digital o analógica.
- La integración de los Sistemas de Información Geográfica y de las Técnicas de Evaluación Multicriterio son herramientas que nos permiten determinar las zonas más aptas para albergar algún tipo proyecto, en este caso plantaciones de Quillay, lo cual disminuye considerablemente el costo y el tiempo de ejecución del objetivo en cuestión. Siempre y cuando se cuente con una base de datos actualizada y precisa, junto con expertos en el tema, que refleje de la mejor forma posible las condiciones y características del sitio. Como el proceso de EMC requiere de la opinión de expertos, los resultados no son del todo objetivos, ya que el criterio y el punto de vista del profesional influyen en la evaluación.

- El modelo de capacidad de acogida se presenta como una excelente herramienta para los procesos de toma de decisiones para ubicar cualquier proyecto. Esto debido a la gran cantidad de capacidades que ofrece la integración SIG- EMC, como por ejemplo el manejo de la información espacial, modelación y/o simulación de situaciones donde sea necesario la toma de decisiones.
- Al procesar la información cartográfica digital facilitada por la Codelco Chile, División Andina, nos dimos cuenta que ésta presenta serias deficiencias a nivel de detalles, lo que muchas veces no reflejaba lo que realmente ocurría en el territorio, por lo que es recomendable asesorarse por instituciones profesionales en el rubro de la información cartográfica digital.
- La metodología anteriormente propuesta, se presenta como una importante ayuda para los métodos tradicionales de localización, ya que además de reducir la superficie de estudio a través de la aplicación de las restricciones, se puede establecer una simulación de distintas situaciones que conllevan resultados dependientes de las evaluaciones de personas expertas en los distintos criterios pertinentes en el estudio.
- Además, esta metodología puede ser utilizada en cualquier otro proyecto de forestación, en cualquier otro predio, o en comunas, dependiendo de los objetivos, con la sola variación de la base de datos geográficos digitales y las distintas alternativas presentes en los distintos sitios donde pueda ser aplicado este método.
- Los sitios denominados excluyentes, ocupan una porción ampliamente mayoritaria respecto a las otras categorías, esto debido a las restricciones presentes en la evaluación, en las cuales están incluidas grandes extensiones de terreno, como es el caso de las zonas de preservación, terrenos rocosos y el sector correspondiente al embalse de relaves, sin olvidar, además, los sectores correspondientes a quebradas y caminos.

- Finalmente, el procedimiento utilizado en la presente memoria, nos permitió desarrollar una cartografía de síntesis, la cual será utilizada como herramienta en la gestión ambiental y territorial del predio Ovejería. Esta cartografía de síntesis aproximada, nos permitirá desarrollar estrategias para controlar la erosión en los sectores que presenten algún grado de susceptibilidad a este fenómeno.

8.- BIBLIOGRAFÍA

Aronoff, .1989. "Geographical Information Systems: A management perspective, WDL, Ottawa".

Barba-Romero, S.; Pomerol, J.C. 1997. "Decisiones multicriterio: Fundamentos, técnicas y utilización práctica". Colección economía. Universidad de Alcalá. Madrid.

Barredo, J. 1996. "Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del territorio". RA –MA, Madrid. 263 p.

Barredo, J.1999. " Los SIG en la ordenación del territorio: Posibilidades y desarrollo utilizando Evaluación Multicriterio ". Seminario Sistemas de Información Geográfica y Teledetección Espacial Aplicadas a la Ordenación del Territorio y el Medio Ambiente. Universidad de Talca, Talca. 105-115 p.

Bosque, J. 1992. "Sistemas de Información Geográfica", Rialp, Madrid. 419 p.

Burrough, P. 1986." Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment". Oxford Science. Oxford. 221 p.

Carver, S. 1991. "Integrating multi- criteria evaluation with geographical information systems", Int. Journal of Geographical Information Systems, Vol 5, Nº 3, 321-339 p.

Cebrián, J. 1988. "Sistemas de Información Geográfica", en J. Bosque et al. (Ed) Aplicaciones de la Informática a la Geografía y las ciencias sociales, Síntesis, Madrid. 218p.

COETMA, 1991. "Guía para la evaluación de Estudios del Medio Físico". Madrid: Tercera edición. 225 p.

Cogollor, G.; Poblete, M.; Barra, G. 1989. "Problemas fitosanitarios en algunas especies del tipo forestal esclerófilo". CONAF/PNUD/FAO. Proyecto FO: DP/CHI/83/017. Documento de trabajo N°19.

Conaf. 1998. "Experiencia silvicultural del bosque nativo de Chile. Recopilación de antecedentes para 57 especies arbóreas y evaluación de prácticas silviculturales". Proyecto manejo sustentable del bosque nativo. Chile. 170 p.

Conaf. 2003. "Árboles nativos, Quillay (*Quillaja saponaria* Mol)". Disponible en <http://www.conaf.cl>. Consultado en marzo de 2003.

Dames & Moore Ltda. 1993. "Estudio de impacto ambiental, informe final". Proyecto sistema de disposición de relaves a largo plazo. CODELCO Chile División Andina. 196 p.

Donoso, C . 1981. "Tipos forestales de los Bosques Nativos de Chile". Documento de trabajo N°38. Santiago, FAO/PNUD/Conaf. 82 p.

Donoso, C. 1994. "Ecología forestal. El bosque y su medio ambiente." Editorial Universitaria. 208 p.

Eastman, J.R, Kyem, P.A., Toledano, J. & Jin, W. 1993. "GIS and Decision Making", United Nations Institute for Training and Research (UNITAR). Ginebra. 260 p.

Estévez, R. 1994. "Caracterización del rebrote en cepas de Quillay (*Quillaja saponaria* Mol.)". Fundo El Toyo, Región Metropolitana: Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal, Universidad de Chile. Departamento de Silvicultura. 65 p.

FAO. 1993. "Erosión de suelos en América Latina." Disponible en <http://www.fao.org/docrep/t2351s/t2351s00.htm>. Consultado en Marzo de 2003.

Gajardo, R. 1983. "Sistema básico de clasificación de la vegetación nativa chilena". Facultad de Cs. Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. CONAF. 240 p.

Gajardo, J. 2002. "Localización de Sitios adecuados para albergar un vertedero utilizando Sistemas de Información Geográfica Y Técnicas de Evaluación Multicriterio". Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Talca. Facultad de Cs. Forestales. Departamento de Gestión Forestal Ambiental. 113 p.

Gallardo, S. y Gastó, J. 1987. "Estado y planteamiento hipotético del cambio del ecosistema de *Quillaja saponaria* Mol". Pontificia Universidad Católica de Chile. Fac. de Agronomía: Informe de Investigación. Sistemas en Agricultura. Teoría. Avances. 248 p.

García, I.; Prida, B. 2002. "La gestión Ambiental para el desarrollo y aplicación de técnicas multicriterio en la toma de decisiones". Revista interdisciplinar de gestión ambiental, N°41, mayo 2002. Disponible en <http://www.ecoiuris.com/paginas/art131.htm>. consultado en noviembre de 2002.

Gomez Orea, D. 1992. "Evaluación de Impacto Ambiental". Editorial Agrícola Española, Madrid. 264 p.

Goodchild, M. 1991. "The technological setting of GIS", en D. Maguire, M. Goodchild y D. Rhind (eds.) Geographical Information Systems, vol. 1, Longman, Nueva York.

Gutiérrez, J.; Gould, M. 1994. "Sistemas de Información Geográfica". Síntesis S.A., Madrid. España. 240 p.

Harnett, D.; Murphy, J. 1987. Introducción al análisis estadístico. Nueva York: Addison-Wesley Iberoamericana. Primera edición. 512 p.

INFOR, 2000. "Monografía de Quillay (*Quillaja saponaria*)". Proyecto de desarrollo de las comunas pobres de la zona de secano (Prodecop-Secano). FIA-INDAP. Gobierno de Chile. 73 p.

Joly, F. 1982. La Cartografía. Madrid: Ariel Geografía: Segunda edición. 303 p.

Maguire, J. 1991. " Geographical Information Systems". Nueva York: Longman. Primera edición. 320 p.

Mena, C. 1996. " Análisis del Proceso de Forestación Artificial en la VII Región del Maule: Un Ejemplo Modélico en la Comuna de Empedrado", Tesis Doctoral de la Universidad Alcalá de Henares, Departamento de Geografía. Madrid, España. 358 p.

Mena, C.; Gajardo, J.; Ormazábal, Y. 2001. "Programa Aplicación metodología y localización de sitios adecuados para albergar un relleno sanitario utilizando Sistemas de Información Geográfica y Técnicas de Evaluación Multicriterio". Longaví, Retiro y Parral. Informe final. Fondo Nacional de Desarrollo Regional. Universidad de Talca. Talca. 234 p.

Mena, J. 1992. "Cartografía Digital, desarrollo de software interno". RA - MA, Madrid, España. 313 p.

Mera, E.J. 1990. "Propagación vegetativa en Quillay (*Quillaja saponaria* Mol)". Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal. Chillán. Universidad de Concepción. Facultad de Cs. Agronómicas, Veterinarias y Forestales. 106 p.

NCGIA, 1990. National Center for Geographic Information and Analysis. Santa Barbara: Universidad de California. 210 p.

Prodan, M.; Peters, R.; Cox, F.; Real, P. 1997. "Mensura Forestal". San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Primera edición. 561p.

Ramírez, M. 2001. "Empleo de localización incorporados en SIG para definir la ubicación óptima de equipamientos hospitalarios." Departamento de geografía. Facultad de humanidades, UNNE, Argentina. Disponible en <http://www.unne.edu.ar/cyt/2001/2-humanisticas/h-013.pdf>. Consultado en marzo de 2003.

Rodríguez, G, Rodríguez, R, Barrales,H.L. 1995. "Plantas Ornamentales Chilenas". Universidad de Concepción, LAMK. 53 p.

Romero, C. 1993. "Teoría de la decisión Multicriterio: Conceptos, Técnicas y aplicaciones". Madrid: Alianza. Primera edición. 193 p.

Romero, C. 1996. "Análisis de las Decisiones Multicriterio". Primera Edición. Isdefe.Madrid. Disponible en [http://www.isdefe.es/webisdefe.nsf/9d5d39017a5d1b22c1256bdd003cb428/e603ad0674fb4bbdc1256bb5003d3066/\\$FILE/Decisiones.pdf](http://www.isdefe.es/webisdefe.nsf/9d5d39017a5d1b22c1256bdd003cb428/e603ad0674fb4bbdc1256bb5003d3066/$FILE/Decisiones.pdf). Consultado en noviembre de 2002.

Rhind, D. 1990. "Global Databases and GIS en The Association for Geographic Information Yearbook", Londres. 218-223 p.

Saaty, T.1980. "The Analytical Hierarchy Process. New York: M^cGraw Hill". Primera edición, 281 p.

Smith, N.; Noton, C. R.; Norambuena, M. A. 1976. "Estudio comparativo de algunas características de la semilla de Quillay recolectada en 17 localidades de Chile". INFOR. 19 p.

Torres, A.; Villate, E. 2001. "Topografía". 4^a edición. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, Colombia. 460 p.

Vita, A. 1974. "Algunos antecedentes para la silvicultura del Quillay (*Quillaja saponaria* Mol.)". Universidad de Chile. Facultad de Cs. Forestales. Boletín Técnico n.28, 19-31 p.

Vita, A. 1989. "Ecosistemas de Bosques y matorrales mediterráneos y sus tratamientos silviculturales en Chile". Santiago, Chile. Proyecto FO: DP/CHI/83/OA. Documento de trabajo N° 21.

Vita, A. 1990. "Ensayo de reforestación con Quillay(Quillaja saponaria)", Illapel, IV región, Chile. Ciencias forestales. Vol 6 Nr 1. Universidad de Chile. Santiago, 37-38 p.

Voogd, H. 1983. "Multicriteria Evaluation for urban and regional planning", Pion, Londres. 355 p.

Wrann, J.; Infante, P.1985. "Métodos para el establecimiento de plantaciones de *Eucalyptus camaldulensis* y *Quillaja saponaria* en la zona árida de Chile". Ciencia e Investigación Forestal. 02(1): 13- 25 p.