

NOTAS TÉCNICAS

## Desarrollo de un Sistema de Información Geográfico Forestal en Chile

Development of a Forest Geographic Information System in Chile

VICTOR SANDOVAL V.<sup>1</sup>, PEDRO REAL<sup>2</sup>, GASTON VERGARA<sup>1</sup>, GUILLERMO TRINCADO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Manejo Forestal, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile.

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción, Chile.

### SUMMARY

The project "Design and Development of a Monitoring System of the State and Conservation of the Natural Vegetation's Formations" was developed under a contract and with specifications of the Chilean Forest Service (CONAF) and the National Environmental Commission (CONAMA). It was conducted by two Colleges of Forestry at the Austral de Chile and Concepción universities and it used and organized the graphic and alphanumeric databases provided by a nationwide Cartographic Land Use project executed from 1994 to 1996. A multidisciplinary team developed a relational database model to organize the alphanumeric and graphic data (in digital form) produced for this national project in 1998 and 1999. Along with this a second effort was oriented towards developing a computer system that would allow any user to retrieve information from the database in an easy and friendly environment. This system called the "Institutional Geographic Information Systems", is already in place and used in all the regional and provincial offices of the Forest Service. It was developed with an interface in Delphi 3.0 and Arc View 3.0a as a tool for drawing and examining maps.

*Key words:* Remote sensing, forest cartography, forest monitoring.

### RESUMEN

Las Facultades de Ingeniería Forestal de las universidades Austral de Chile y de Concepción desarrollaron, según especificaciones de la Corporación Nacional Forestal (CONAF) y la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), el proyecto "Establecimiento de un Sistema de Seguimiento y Monitoreo del Estado de Conservación de las Formaciones Vegetales Naturales". El estudio estuvo enfocado principalmente a organizar las bases de datos gráficas y alfanuméricas del uso actual de la tierra, obtenidas por el proyecto "Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile", con el objeto de facilitar su actualización y consulta. Durante dos años, desde 1997, un equipo multidisciplinaria, trabajo en el desarrollo de un modelo de datos relacional, con el objeto de organizar la información producida por este proyecto nacional. Por otra parte un segundo esfuerzo fue orientado a desarrollar un sistema computacional, que permitiera consultar en forma amigable la información almacenada. Este sistema se denomina "Sistema de Información Geográfico Institucional" y actualmente esta distribuido en las diferentes oficinas provinciales y regionales de la Corporación Nacional Forestal. El sistema fue desarrollado con interfaces en Delphi 3.0 y Arc View 3.0a como herramientas de consulta y examen cartográfico.

*Palabras claves:* Sensores remotos, cartografía de bosques, monitoreo de bosques.

### INTRODUCCION

La recopilación sistemática de información sobre el estado de los recursos forestales de Chile tuvo un importante impulso con la ejecución del

Proyecto "Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile" (Lara y Sandoval 1997) Los datos generados por este, más la enorme cantidad de información cartográfica que CONAF ingresa y registra, necesitaban ser ad-

ministrados y actualizados en forma eficiente por un sistema de monitoreo de carácter nacional, que utilice las mejores capacidades humanas y tecnológicas disponibles.

En este contexto, y de acuerdo al programa formulado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), que tuvo como finalidad contribuir al fortalecimiento ambiental del sector público, se elaboró un conjunto de estudios tendientes a implementar un sistema de información geográfico institucional que permita la administración, consulta y actualización de la base cartográfica, generados por el Proyecto Catastro. En esta línea se desarrolló el proyecto: "Establecimiento de un sistema de seguimiento y monitoreo del estado de conservación de las formaciones vegetales naturales" (Sandoval y Real, 1998), elaborado en el período 1997-1998 por las Facultades de Ingeniería Forestal de las universidades chilenas Austral y de Concepción.

Este artículo resume la concepción metodológica desarrollada por el equipo de trabajo del Proyecto Monitoreo, con el objetivo principal de disponer de la información generada por Proyecto Catastro, en un modelo de datos relacional que facilite su actualización y consulta por parte de CONAF.

## OBJETIVOS

El desarrollo de un Sistema de Información Geográfico Institucional para CONAF, enfocado como una herramienta de apoyo a la misión y toma de decisiones institucionales (González 1994), se implementó sobre la base de información cartográfica y alfanumérica generada por el Proyecto Catastro y considerando los siguientes objetivos y principios:

- La tecnología SIG y la estructura de la información deben soportar el manejo de la información requerida por CONAF para cumplir con su misión institucional.
- Los datos del SIG deben ser organizados y descritos para facilitar su comprensión e integración tanto horizontal como verticalmente dentro de la organización y cuando sea posible entre otras agencias dedicadas al manejo de los recursos naturales.

- Los usuarios deben acceder la tecnología SIG mediante interfaces no técnicas amigables y humanas.
- La implementación deberá sacar partido de la tecnología computacional existente.
- El diseño debe ser flexible y capaz de incorporar nuevas soluciones y tecnologías relacionadas cuando éstas se hagan disponibles.

## MATERIAL Y METODOS

El material cartográfico, sobre el cual se desarrolló el sistema de información geográfico institucional, correspondió a 800 cartas forestales, que cubren la totalidad del territorio nacional. La escala de la cartografía de uso actual chilena varía entre 1:50.000 y 1:250.000 (ver figura 1).

Para la construcción del SIG-CONAF se efectuó, en una primera fase, un análisis intensivo de los datos gráficos y alfanuméricos provenientes del Proyecto Catastro. Las herramientas de análisis y descripción de datos utilizados en esta tarea correspondieron a los esquemas normalmente aplicados a estos procesos, como el diagrama de entidad-relación y diagrama de flujo de datos (Päivinen 1994). Posteriormente se identificaron las necesidades de información, que debieran dar cumplimiento con los objetivos estratégicos del Servicio Forestal Chileno, y finalmente se determinaron los requerimientos cartográficos y alfanumérico necesarios para responder las diferentes consultas técnicas, previamente definidas por la contraparte técnica del Proyecto (CONAF). Para cumplir con estas dos últimas actividades se recurrió a encuestas y talleres dirigidos a profesionales del servicio forestal.

En la figura 2 se presenta un flujo de las principales actividades realizadas durante la elaboración de la cartografía base y enlace con las actividades del proyecto monitoreo.

## RESULTADOS

*Análisis del proyecto catastro forestal.* El análisis de la información se inició con una descripción de la base de datos que se utilizó en el Proyecto Catastro. La comprensión de cada uno de los procesos que se llevaron a cabo en este proyecto fue de fundamental importancia en este análisis, ya que

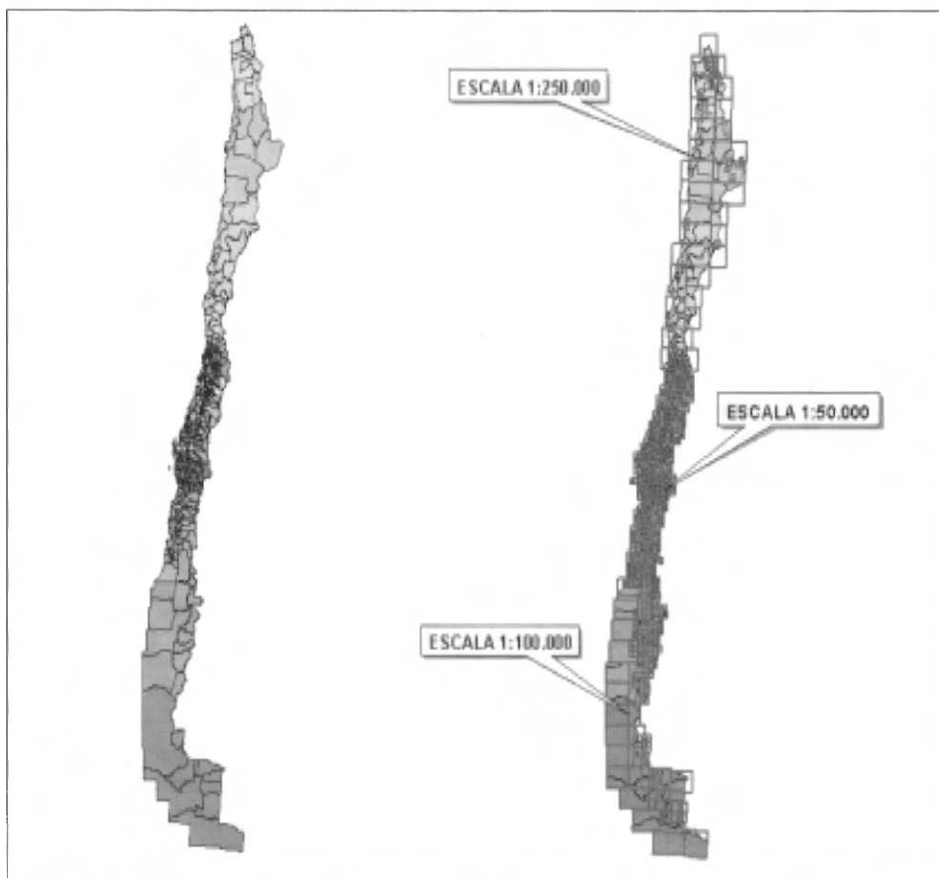


Figura 1. Escalas de la cartografía elaborada en el proyecto "Catastro y su distribución en Chile".  
Cartography scale made in the cadaster "Project and it's distribution in Chile"

la información cartográfica generada por éste se incorporó a un nuevo modelo de datos, base del Sistema de Información Geográfico Institucional de la Corporación.

Para la descripción del modelo de datos vigente en el Proyecto Catastro se utilizaron dos esquemas:

- a) El primero es el diagrama entidad-relación (E/R) que permitió tener una apreciación visual de las relaciones existentes entre cada una de las entidades que participan en el sistema, identificando la correspondencia entre las unidades 1 a 1, 1 a n, o, n a 1.
- b) El segundo se refiere a un diagrama de flujo de datos (DFD), en el que se identifican cada uno de los procesos y de los medios de almacenamiento y despliegue de datos.

La importancia de esta labor radica en tener establecida claramente la línea base de informa-

ción cartográfica y alfanumérica, disponible para los procesos encaminados al diseño del modelo de datos del SIG-CONAF, el montaje de un sistema de cartografía automatizada y el proceso de monitoreo.

*Construcción del SIG-CONAF.* Considerando los resultados del análisis indicado en el punto anterior y los requerimientos de información por parte del Servicio Forestal Chileno, la primera fase fue elaborar un Modelo de los Datos alfanumérico y organizar la información gráfica en una mapoteca digital de fácil acceso. Sobre estos dos aspectos se sustenta el Sistema de Información Geográfico Institucional (SIG-CONAF), y su cara, visible, el Sistema de Consultas Gráfico-Alfanuméricos de la Corporación Nacional Forestal.

*Modelo de datos.* Se definió un modelo de datos general nacional, el que contiene la información

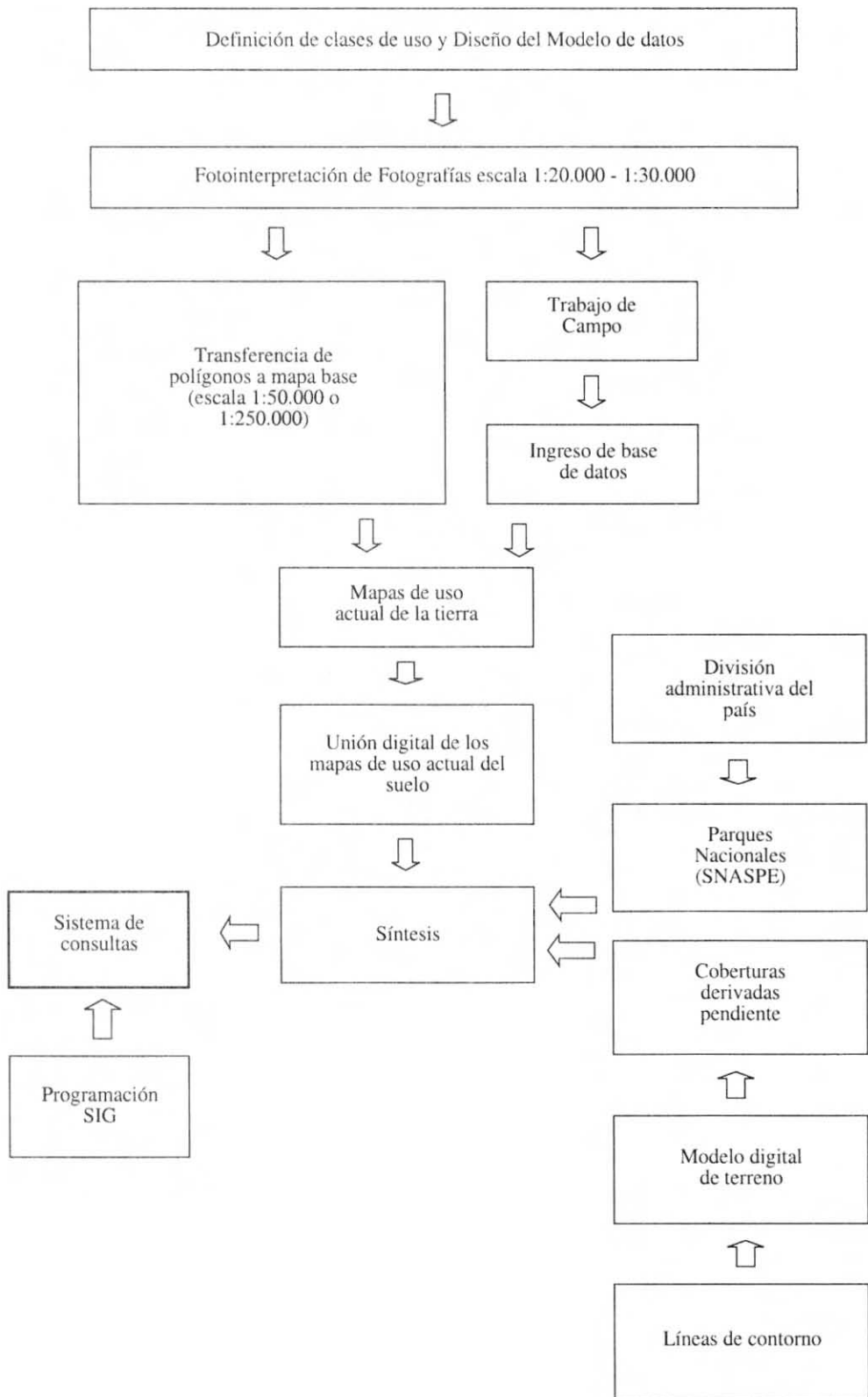


Figura 2. Diagrama de flujo proyectos "Catastro y monitoreo de bosques en Chile"  
Flowchart of monitoring and cadaster "Project in Chilean Forests"

de las bases de datos generadas por el Proyecto Catastro. El modelo relaciona! es la base para rescatar los datos necesarios para realizar las consultas gráficas y alfanuméricas propuestas por los usuarios. Este modelo cumple con las características de normalización según se visualiza detalladamente en la figura 3.

En el anexo 1 se define, a modo de ejemplo, una de las principales tablas (mnt\_poligono), indicadas en el siguiente modelo de datos.

*Organización de datos gráficos.* Para la administración de las cubiertas gráficas del Catastro se decidió organizarlas en una mapoteca, usando el módulo "ARC/INFO LIBRARIAN". La mapoteca permite administrar cubiertas gráficas de gran extensión en forma espacialmente continua, característica requerida por este proyecto (Esri 1996).

Las consideraciones que se estudiaron en orden a crear un sistema de archivo o Mapoteca Digital eficiente fueron las siguientes:

*Huso cartográfico de los datos.* La cartografía regular del país escala 1:50.000 se ha construido bajo la proyección cartográfica Universal Transversal de Mercator (UTM). El país se encuentra ubicado en dos husos cartográficos, el huso 18, en el que está representada una gran cantidad de la superficie forestal de Chile, y el huso 19, fundamentalmente representando la parte norte. Un cambio de huso cartográfico corresponde a un cambio en la referencia del sistema de coordenadas, por esta razón desde el punto de vista del sistema de coordenadas, datos geográficos de distinto huso no presentan una continuidad espacial aun cuando ellos correspondan a áreas contiguas.

El manejo de la información digital requiere contar con información continua desde el punto de vista de sus coordenadas para visualizar y analizar áreas vecinas como un todo. De esta consideración surgió la necesidad de extender uno de los husos y referir la información cartográfica al sistema de coordenadas del huso seleccionado. Se decidió extender el huso 18, en que está representada mayoritariamente la superficie boscosa nacional.

*Depuración gráfica.* Antes del ingreso de los datos a la mapoteca fue necesaria la depuración gráfica de éstos. Con esta actividad se corrigieron los problemas de calce existentes entre cartas adyacentes.

*Definición de cubierta de índice.* El módulo LIBRARIAN del software ARC/INFO proporciona la facilidad de administrar los datos en forma indexada usando para esto el concepto de TILES, permitiendo la recuperación y administración eficiente de porciones de la base de datos organizada en un continuo denominado mapoteca.

De acuerdo a las alternativas de organización de las capas de información gráfica (Layers/Covers), planteadas bajo el concepto de TILE, se analizaron áreas regulares e irregulares para conformar la limitación de un TILE.

La opción adoptada corresponde a una cuadrícula regular de 30 km de lado, tamaño establecido considerando una superficie promedio comunal que contiene un número aproximado de 4 TILES por comuna (figura 4).

El arreglo rectangular elegido es estable en el tiempo, beneficiando la administración de la mapoteca. Por otra parte, esta división en TILES es sólo para fines de administración y no afecta el continuo geográfico obtenido en las capas de información geográfica depurada, constituyendo un límite totalmente transparente para el usuario.

*Definición de Layers.* Los distintos temas con información generados en el Proyecto Catastro se organizaron en la mapoteca como layers o covers de información, de manera tal que facilite los procesos de mantenimiento, distribución y actualización de los productos definidos o solicitados por los usuarios del sistema. Los layers actualmente en operación son los siguientes:

- *Áreas SNASPE:* Polígonos que definen los deslindes de las áreas definidas en el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) y registradas por el Catastro.
- *Límites administrativos:* Polígonos definiendo los límites político-administrativos a nivel de región, provincia y comuna.
- *Curvas de Nivel.*
- *Caminos.*
- *Hidrografía.*
- *Síntesis:* En capa de síntesis de información se encuentran:
- *Vegetación:* Contiene el uso del suelo de acuerdo al sistema de clasificación usado por el Catastro, sin haber sido interceptada con otras capas de información como altitud, pendiente, exposición, etc.

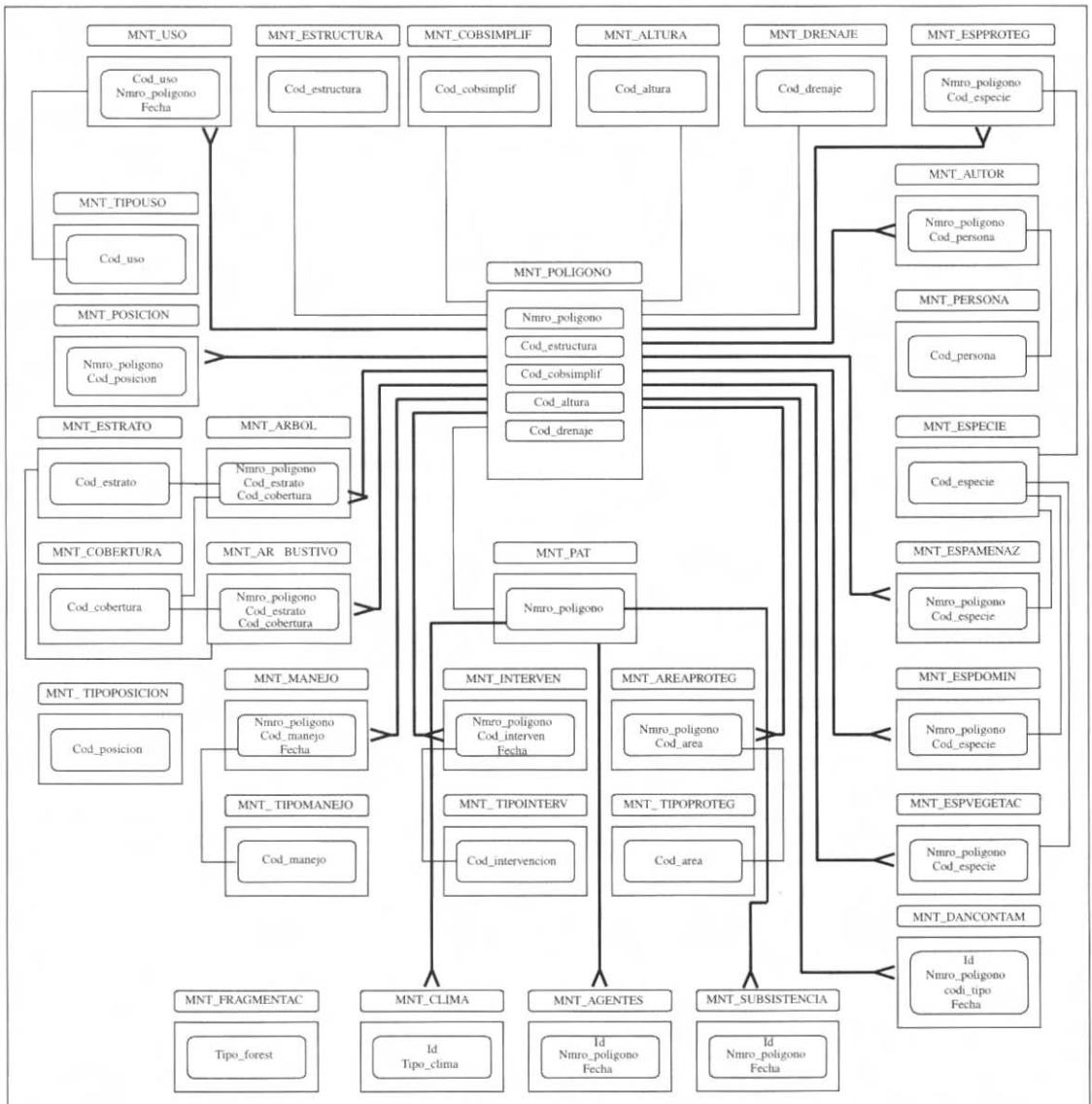


Figura 3. Modelo de Datos del Sistema Monitoreo.  
Monitoring System Data model.

*Modelo de pendiente:* Capa de información conteniendo los polígonos de clases de pendiente definidos por el proyecto Catastro.

*Modelo de exposiciones:* Capa de información conteniendo los polígonos de exposición definidos por el proyecto Catastro.

*Clases de altitud:* Capa de información conteniendo los polígonos de clases de altitud definidos por el proyecto Catastro.

Cada cubierta particular puede recuperarse mediante disolución (DISOLVE) por el atributo requerido.

Como se manifestó anteriormente, este esquema de organización fue orientado a mantener la integridad de los datos cartográficos y a facilitar la administración y actualización de la información suministrada por el Proyecto Catastro.

*Sistema de consulta desarrollado.* La cara visible del Proyecto Monitoreo corresponde al Sistema de

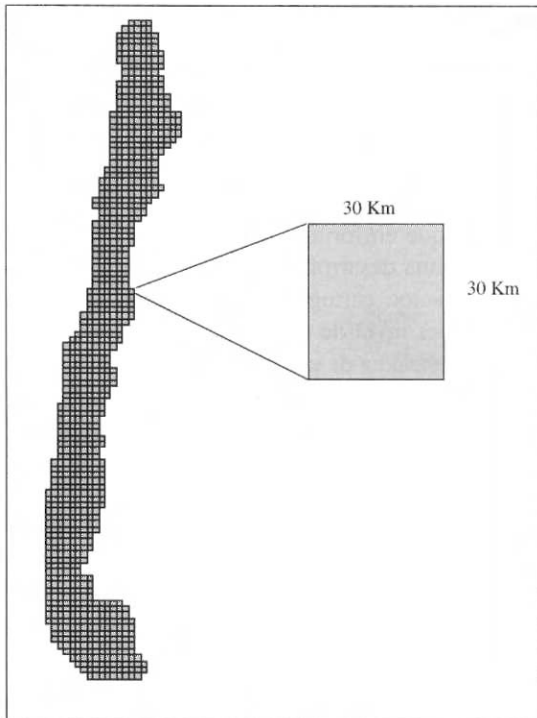


Figura 4. Cuadrícula de almacenamiento cartográfico TILE - Proyecto Monitoreo.

*Grid of cartographie storage TILE-Monitoring Project.*

Consultas Gráfico-Alfanumérico, y es la herramienta mediante la cual los usuarios acceden amigablemente a la información cartográfica y alfanumérica generada en el Proyecto Catastro y modelada en el Proyecto.

**Monitoreo.** El sistema responde a una amplia serie de consultas lógicas, necesarias para apoyar la toma de decisiones de CONAF. El sistema fue desarrollado en ambiente Windows 95 y NT, en PC. En esta plataforma se carga la información de la porción geográfica correspondiente a país, región, provincia y/o comuna. Los usuarios ingresan al sistema en donde realizan consultas que son respondidas con reportes alfanuméricos y/o gráficos simples.

El software que se usó en el desarrollo del Sistema de Consultas Institucional es:

- Arc-Info 7.01, para la actualización y administración de la información gráfica.
- Arc-View 3.0a, como software de consulta gráfica.
- Delphi 3.0, como interface gráfica de la consulta Alfanumérica y reportes.

El resultado del desarrollo con las herramientas mencionadas es un sistema corporativo de consultas de fácil uso de tal forma que los usuarios de CONAF puedan obtener la información necesaria en su gestión cotidiana.

En el sistema SIG-CONAF la especificación de las consultas se fundamenta en tres interrogantes básicas:

- a) ¿QUE?: Esta pregunta se refiere a la selección de un conjunto de atributos que definen el uso del suelo (Ej. Tipo forestal por categoría de pendiente y clases de altitud).
- b) ¿DONDE?: Se refiere a la localización geográfica del los atributos consultados (área, comuna, región, país).
- c) ¿COMO?: Esta opción permite definir la forma de visualización de la información consultada, la cual puede ser alfanumérica o gráfica.

*Distribución del sistema en CONAF (Corporación Nacional Forestal).* El sistema de información geográfico se distribuye al interior de CONAF de la siguiente forma:

- a) Oficina de Cuentas Forestales. En la oficina de Cuentas Forestales de Santiago se administra la información gráfica y el modelo de datos asociados. Los datos gráficos organizados en la mapoteca son residentes en una estación de trabajo con ARC-INFO WS: versión UNIX. Por otra parte, se cuenta con computadoras personales en las que reside el sistema de consultas para niveles regionales y país.
- b) Sistema Distribuido, Regiones y Provincias. Los usuarios de regiones y provincias operan en plataforma PC y cuentan con software de consulta de datos organizados en un submodelo desnormalizado, extraído del modelo relacional. La finalidad de este submodelo es reportar información gráfica y alfanumérica en forma cómoda y con bajos tiempos de respuestas.

*Uso futuro del SIG-CONAF.* Se puede afirmar con seguridad que SIG-CONAF es el sistema de información geográfico más completo en cuanto a información sobre el uso actual del suelo existente en Chile, por lo tanto es importante la utilización intensiva de esta valiosa fuente de información.

Estudios importantes y necesarios para el Estado chileno, que se visualizan en corto plazo y que se apoyan fuertemente en la información disponi-

ble por el banco de datos y la mapoteca nacional, se refieren al ajuste de modelos predictores del uso futuro del suelo en las diferentes regiones del país, además de la proyección futura de los Indicadores del Proceso de Montreal y de un Sistema de Cuentas Nacionales para los Recursos Naturales Chilenos. El actual modelo de datos desarrollado en el contexto del Proyecto Monitoreo de CONAF, la librería cartográfica disponible y el sistema consultas descrito anteriormente posibilita obtener información comunal, provincial regional o nacional, sobre el uso actual del suelo interceptada con variables topográficas y de infraestructura vial, a los cuales se pueden asociar fácilmente descriptores económicos de la zona estudiada, permitiendo determinar los principales modelos de pronósticos del uso del suelo indicados por Lambin, E. (1994), como también ajustar un modelo de cuentas nacionales similares a los actualmente en uso en países como Alemania y Finlandia (Sandoval 1998).

## CONCLUSIONES

El conjunto de estudios realizados sobre la situación actual del uso de la tierra en Chile ha permitido elaborar en forma ordenada una base cartográfica y alfanumérica del uso de la tierra del país.

La obtención de esta información nacional se puede resumir cronológicamente en las siguientes etapas:

- Ejecución del Catastro Forestal y Uso actual del suelo, para toda la superficie del país, entre los años 1994-1997 (Lara y Sandoval 1997).
- Elaboración de un sistema de Monitoreo Forestal de la línea base determinada por el proyecto Catastro. Año 1998 (Sandoval y Real 1998).
- Programación de un sistema de consultas gráficas y alfanuméricas sobre la información proporcionada por el proyecto Catastro. Año 1998 (Real y Sandoval 1998).
- Inicio del proceso de actualización de la base cartográfica, en las regiones (VIII y X norte) de mayor actividad forestal, año 1999 (Trincado y Sandoval 1999).

Considerando los estudios citados, las principales conclusiones obtenidas tras el desarrollo de un

Catastro Forestal Nacional y de un sistema de Monitoreo y Consultas integrados gráfica-alfanumérico, son las siguientes:

- El Servicio Forestal Chileno cuenta con una herramienta moderna y operativa, que le permite cumplir sus funciones específicas de control de bosque en forma más expedita.
- El sistema desarrollado facilita la obtención de información cartográfica y alfanumérica, para cualquier nivel de organización territorial.
- Con el sistema de consultas diseñado es posible ajustar, en forma sencilla, algunos modelos de predicción del uso de la tierra, apoyados principalmente en variables ecofisiográficas, de propiedad de la tierra y económicas.
- La forma de actualización de la base de datos gráfica se diseñó de tal forma que es posible reconstruir la historia del cambio en cada uno de los polígonos de uso actual del suelo en el país.

## AGRADECIMIENTOS

Es necesario destacar el importante rol cumplido por los ingenieros forestales de la Corporación Nacional Forestal, Sr. Daniel Barriga en el diseño del Sistema, Sra. Verónica Oyarzún en el control técnico del trabajo y el Sr. Leonardo Araya en la Jefatura del Proyecto.

## BIBLIOGRAFIA

- ESRI, 1996: The Geographic Information System for Everyone. 331 p.
- GONZALEZ, V. 1994. Uso de la tecnología SIG, para desarrollar un catastro Multifinalitario integrado en CHILE, Congreso Internacional De la ciencia de la Tierra, Santiago.
- LAMPIN, E. 1994. Modelling deforestation processes. Institut for Remote Sensing Applications. European Commission , Bruselas 1994, 113 p.
- LARA, A., V. SANDOVAL. 1997. Informe Final Proyecto Catastro Forestal Chileno, Valdivia 1997. Informe técnico restringido.
- PÄIVINEN, R. 1994. IUFRO International Guidelines for Forest Monitoring. Vienna 97.
- SANDOVAL, V., P. REAL. 1998. Informe Final Proyecto Monitoreo Forestal, Valdivia 1998, Informe técnico restringido.
- SANDOVAL, V. 1998. Alternativas de pronóstico del uso actual de tierra en la VIII Región Chile. Proyecto de tesis Doctorado Universidad de Göttingen. 20 p.
- TRINCADO, G., V. SANDOVAL. 1999 Informe Final Proyecto Actualización del catastro forestal en las regiones VIII y X Norte.



## ANEXO 1

## DESCRIPCION DE TABLAS MNT\_POLIGONO: TABLA CON UNIDAD MINIMA POLIGONAL.

Example Table Description. MNT\_POLIGONO Table with minimum unit polygonal.

Nombre del atributo	Tipo		Descripción
Nmro_polígono	Número	12	Número del polígono
Carta	Carácter	08	Código de la carta
Unidad	Número	04	Número de Unidad Cartografica Homog
Mosaico	Carácter	01	Mosaico del Polígono
Foto_vuelo	Carácter	02	Código del vuelo fotográfico
Foto_línea	Número	02	Número de línea del vuelo
Foto_número	Número	05	Número de la foto
Extrapolación	Carácter	01	Si es polígono extrapolado
Polígono_extrapol	Número	12	Polígono que extrapoló
Suculenta	Carácter	02	Cobertura suculenta
Herb	Carácter	02	Cobertura herbáceas
Estructura	Carácter	02	Estructura de bosque
Cobertura	Carácter	02	Cobertura del bosque simplificada
Altura	Carácter	02	Clase de altura del bosque
Drenaje	Varchar	02	Categoría de drenaje
Región	Número	02	Región a la que pertenece el polígono
Provincia	Número	02	Provincia a la que pertenece el polígono
Comuna	Comuna	02	Comuna a la que pertenece el polígono
Fecha	Fecha		Fecha de creación
Observac	Carácter	100	Comentarios