

EL MONUMENTO NATURAL EL MORADO (ANDES CENTRALES CHILENOS)

**ANÁLISIS DEL MEDIO BIOFÍSICO, PAISAJE Y PROPUESTAS PARA
SU GESTIÓN**



NELSON OSVALDO INFANTE FABRES

Barcelona, septiembre 2009

**UNIVERSITAT DE BARCELONA
FACULTAT DE GEOGRAFIA I HISTÒRIA
DEPARTAMENT DE GEOGRAFIA FÍSICA I ANÀLISI GEOGRÀFICA REGIONAL
PROGRAMA DE DOCTORAT GEOGRAFIA, PAISATGE I MEDI AMBIENT
BIENIO 2002 - 2004**



**EL MONUMENTO NATURAL EL MORADO
(ANDES CENTRALES CHILENOS)**

ANÁLISIS DEL MEDIO BIOFÍSICO, PAISAJE Y PROPUESTAS PARA SU GESTIÓN

Doctorando:

NELSON OSVALDO INFANTE FABRES

Director:

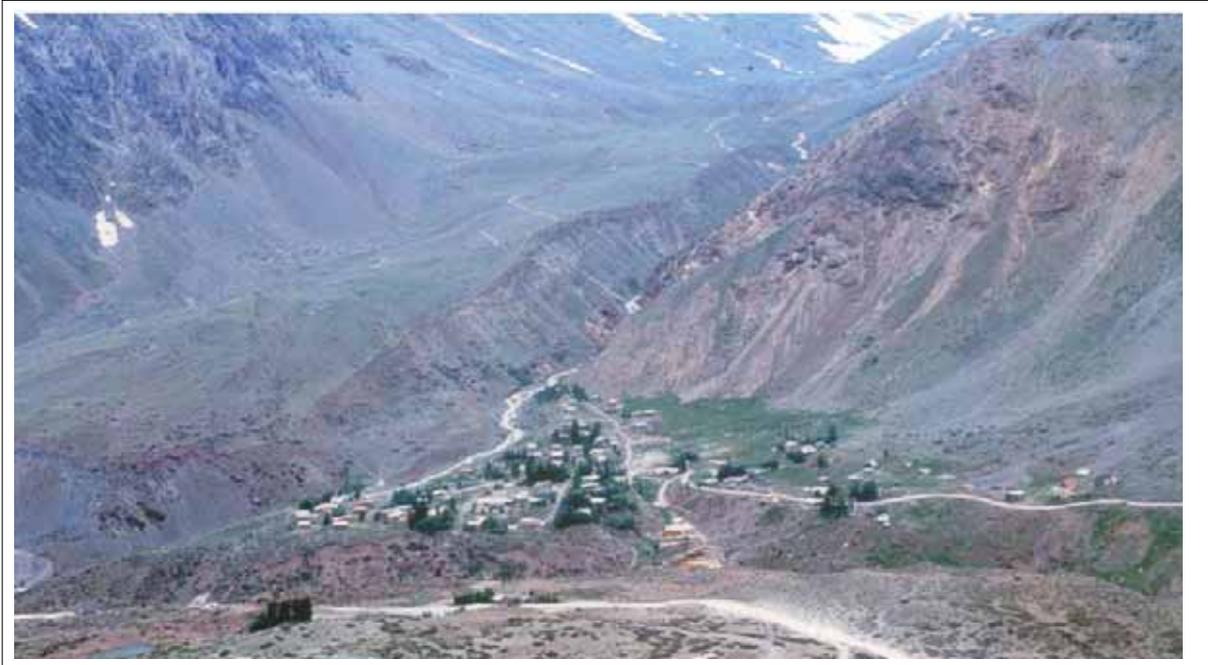
DR. ANTONIO GÓMEZ ORTIZ

Barcelona, septiembre 2009

Primera parte:
Principios y fundamentos

1. Localización y configuración del área de estudio

El área de estudio se encuentra localizada, mayoritariamente, en la cuenca del estero Morales, área que coincide territorialmente con el Monumento Natural El Morado. Además de la cuenca antes citada, también se integra la aldea de Baños Morales. En conjunto el área de estudio posee una superficie de aproximadamente 3034,78 ha.



Fotografía 1: Vista general del área en estudio correspondiente al Monumento Natural El Morado y área de Montaña, aldea Baños Morales (sureste-noroeste) (fotografía: Infante, N. noviembre 1983).

El área de estudio del Monumento Natural el Morado pertenece administrativamente a la Comuna de San José de Maipo, Provincia de Cordillera, Región Metropolitana de Santiago, distante de la capital regional y nacional a 90 Km. En su conjunto, conforma un valle bien delimitado tributario del río Volcán cuya cuenca hidrográfica, estero Morales, se encuentra bajo la administración de la Corporación Nacional Forestal (CONAF).

Los límites del área de estudio son los establecidos por medio de fotointerpretación de las fotografías aéreas N° 4423, 4424, 4425, del vuelo Hycon del 24 de febrero de 1955 del Instituto Geográfico Militar (IGM), además de verificación de campo, incorporando la definición de los límites del Monumento Natural el Morado establecidos por la interpretación del plano N° 13-3-2.407 A-CR del Ministerio de Bienes Nacionales.

La cuenca del estero Morales varía en altitud en la medida que se asciende en la dirección sur-norte, entre los 1.800 m y los 4.750 m. En ella predomina un clima frío continental de altura, con una pluviometría anual que fluctúa entre los 1.000 y 2.000 mm, siendo la precipitación líquida notablemente menor que la nival¹. Cuenta con temperaturas relativamente elevadas en los meses de verano (media entre los 10 °C y 22 °C en las

zonas bajas). Esta cuenca, aproximadamente entre cinco y seis meses del año, está cubierta de nieve llegando esta a espesores de 2 a 3 m. en la parte baja, no existiendo registros en la parte alta pero es posible inferir que es mayor.

Estos datos permiten afirmar que en el área de estudio se distinguen claramente dos pisos morfoclimáticos altitudinales uno de tipo glaciario, con presencia de hielos permanentes instalados en las cumbres, donde se localiza el glaciar San Francisco y otro periglaciario, en las partes medias y bajas de la cuenca.

Es destacable que en la cuenca de estudio no existen registros meteorológicos, ya que los datos que se presentan en este proyecto proceden de la extrapolación de estaciones meteorológicas cercanas (Embalse el Yeso, Los Queltehues y Las Melosas).

En cuanto a la vegetación se ve condicionada por las características climáticas del área, limitantes del suelo y pendiente, lo que reduce la cobertura vegetal, "La predominancia es de tipo herbáceo sólo en las vegas se registra una mayor cobertura con la presencia del matorral esclerófilo andino y una estepa de hierbas y plantas conformando cojines que corresponden a la estepa alto andina"². Se distribuyen de forma irregular en todo el valle medio y bajo, desapareciendo en la medida que se asciende en altitud y se acercan a los ambientes glaciares.

Esta cuenca en su totalidad se encuentra enmarcada por escarpadas laderas de fuerte pendiente lo que otorga al conjunto de ella una morfodinámica muy activa, particularmente de vertiente, con predominio de taludes detríticos, conos de derrubios de gravedad y permanentes desprendimientos de materiales rocosos, siempre generados a partir de procesos asociados al hielo, la nieve, las aguas de fusión y la sismicidad. A partir de los 2.500 m. de altitud se agudizan o presentan las características propias de una morfodinámica glaciaria.

Monumento Natural El Morado

La definición de Monumento Natural corresponde a una categoría de manejo del territorio establecida en la Convención de Washington, que se califica como *"Las regiones, los objetos o las especies vivas de animales o plantas de interés estético, valor histórico o científico. A las científicas, debidamente autorizadas o inspecciones gubernamentales, caracterizadas por la presencia de especies de flora o fauna nativas; sitios geológicos, o lugares de rasgos sobresalientes, relevantes desde el punto de vista escénico, cultural o científico"*.³

La importancia científica del Monumento Natural El Morado radica en ser un exponente significativo del proceso de glaciación cuaternaria de la cuenca del estero Morales. El Monumento Natural El Morado, fue reconocido como tal en el año 1974 por el D.S.N° 162 del Ministerio de Agricultura y reclasificado a su actual categoría mediante el

D.S.N° 2581 del Ministerio de Bienes Nacionales, publicado en el Diario Oficial de fecha 16 de septiembre de 1995.

Los límites del sector correspondiente al Monumento Natural el Morado son:

Norte: La línea cimera o de cumbres que va desde el cerro San Francisco (4346 metros), hasta el cerro La Unión (3458 metros), pasando por las cotas 4020, 4490, cerro el Morado y cerro Mirador del Morado. Este: La línea cimera desde el cerro la Unión (3458 metros) hasta la curva de nivel de los 2000 metros, pasando por el cerro Punta Rodríguez, cotas 3483, 3429, 3503, Cerro Rubillas (3503) y cota 3427. Sur: La curva de nivel de los 2000 metros, desde su intercepción con la línea cimera del cerro La Unión, hasta el estero Morales; el estero Morales, desde su intercepción con la curva de nivel de los 2000 metros, hasta su confluencia con el río Volcán; el río Volcán desde su confluencia con el estero Morales hasta la loma interfluvial del cerro Chacayes. Oeste: La loma interfluvial y la línea de cumbres del cerro Chacayes, desde su confluencia con el río Volcán hasta el cerro San Francisco (4346 metros), pasando por las cotas 2839, cerro Alto de la Fea (2898), cota 2845, cota 3614 cerro Punta Canaletas (3694) y cota 4055.

Sector Baños Morales.

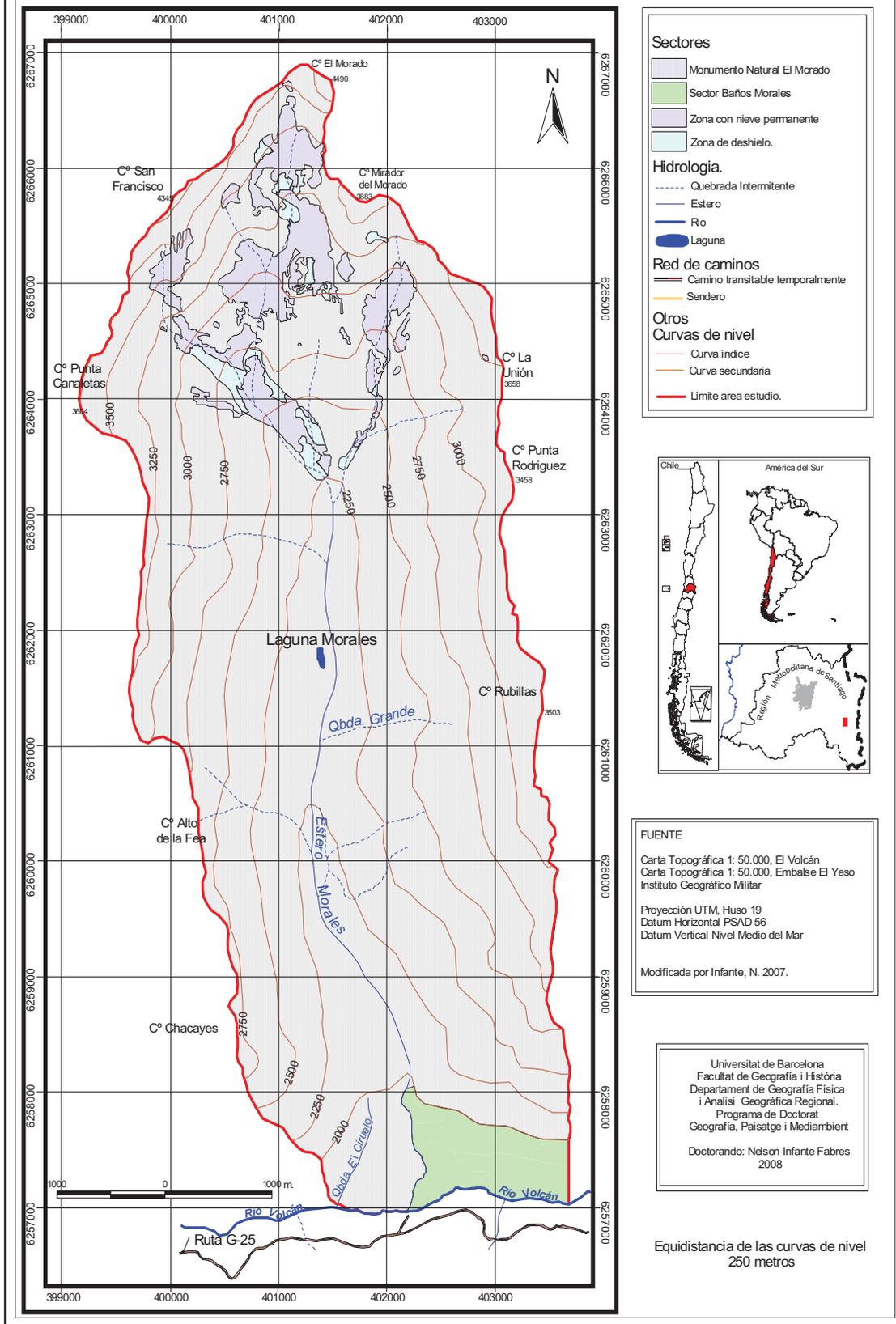
Este sector se encuentra al extremo sur-oriente del área de estudio, se compone de la totalidad de la aldea de Baños Morales, que posee las características de un centro turístico invernal, destacando la fuente de aguas hidrotermales denominada Baños Morales. Los límites del sector correspondiente a Baños Morales son: Norte: la cota de los 2000 metros desde su intercepción con el estero Morales en 1771 metros. Este: la línea recta que intercepta la curva de nivel de los 2000 metros a los 1771 metros hasta el río Volcán. Sur: el río volcán, desde su intercepción con la línea recta que intercepta la curva de nivel de los 2000 metros hasta el estero Morales. Oeste: el estero Morales desde su confluencia con el río Volcán hasta la curva de nivel de los 2000 metros.

De acuerdo con técnicas de fotointerpretación digital y convencional, la superficie de los sectores en estudio corresponde a:

Sector	Superficie (ha)
Monumento Natural El Morado	2935,90
Sector Baños Morales	98,88
Total	3034,78

Tabla 1: Resumen de la superficie por sector y total según fotointerpretación del vuelo SINIA del año 2001.

Configuración del área de estudio



Sectores

- Monumento Natural El Morado
- Sector Baños Morales
- Zona con nieve permanente
- Zona de deshielo.

Hidrología.

- Quebrada Intermitente
- Estero
- Río
- Laguna

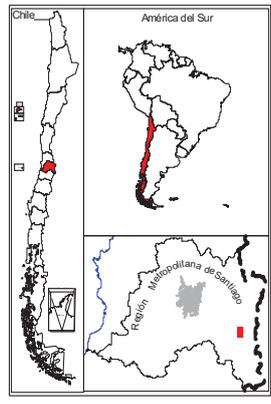
Red de caminos

- Camino transitable temporalmente
- Sendero

Otros

Curvas de nivel

- Curva índice
- Curva secundaria
- Límite area estudio.



FUENTE

Carta Topográfica 1: 50.000, El Volcán
 Carta Topográfica 1: 50.000, Embalse El Yeso
 Instituto Geográfico Militar

Proyección UTM, Huso 19
 Datum Horizontal PSAD 56
 Datum Vertical Nivel Medio del Mar

Modificada por Infante, N. 2007.

Universitat de Barcelona
 Facultat de Geografia i Història
 Departament de Geografia Física
 i Anàlisi Geogràfica Regional.
 Programa de Doctorat
 Geografia, Paisatge i Mediambient
 Doctorando: Nelson Infante Fabres
 2008

Equidistancia de las curvas de nivel
 250 metros

Mapa 1: Presentación del área de estudio

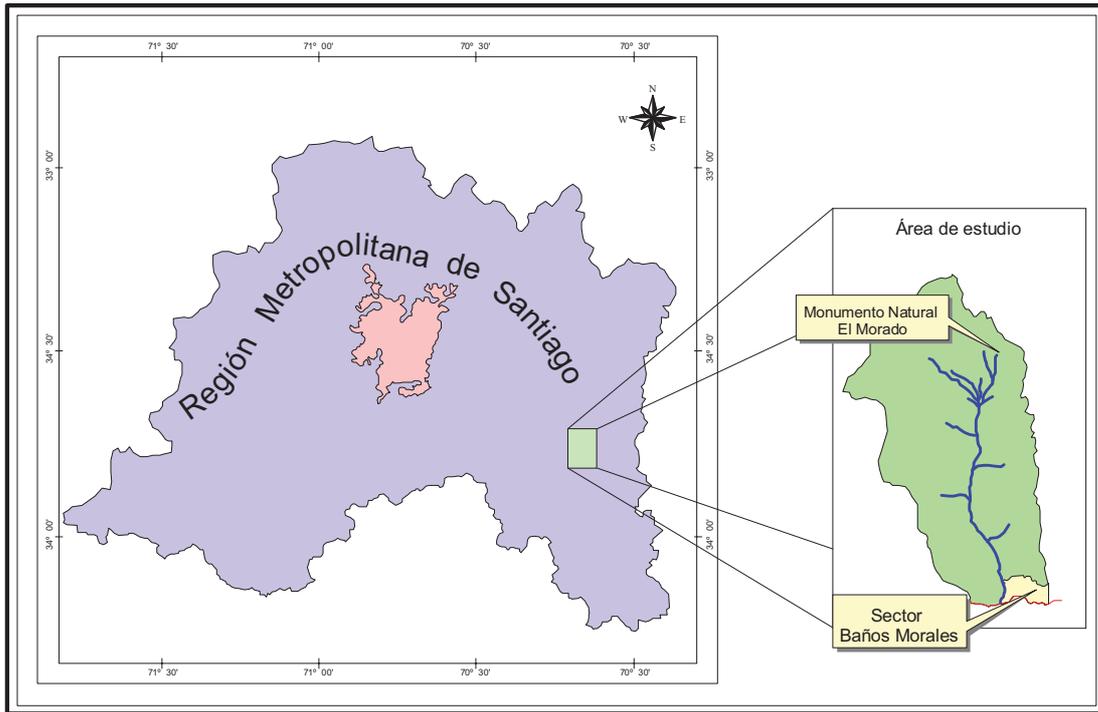
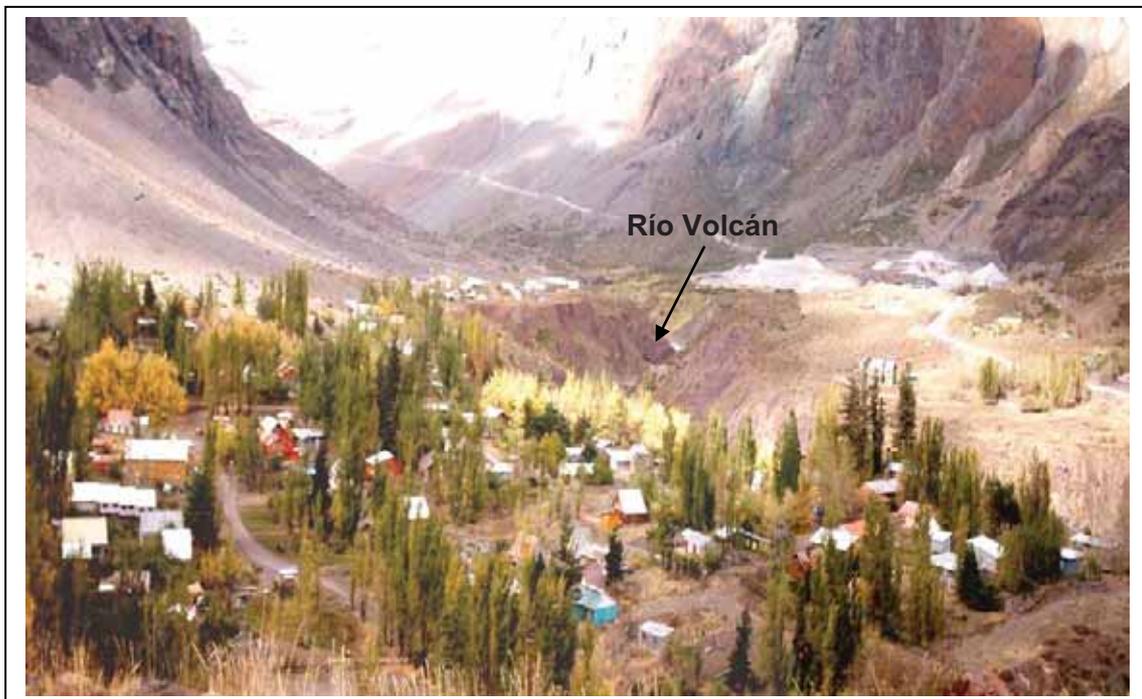


Figura 1: Croquis de localización del área de estudio (Infante, N. 2007).



Fotografía 2. Localización de la aldea Baños Morales, en el piso de Montaña, (vista noreste a sureste) (fotografía: Infante, N. mayo, 2004)



Fotografía 3: Depósitos hidrotermales generados por la cercanía del complejo volcánico San José-Maipo. Estos depósitos se ubican en la ladera oriente del estero Morales (fotografía: Infante, N. marzo 2004).



Fotografía 4 (vista oeste a este): Enlace o confluencia fluvial del estero Morales con el río Volcán (fotografía: Infante, N. abril, 2004).

2. Hipótesis de trabajo

2.1. Hipótesis principal

El conocimiento integrado del medio biofísico del valle del Monumento Natural El Morado resulta imprescindible para definir las unidades paisajísticas de valor natural, también para zonificar el territorio y proponer un plan de gestión patrimonial.

2.2. Hipótesis complementarias

- La cuenca hidrográfica del estero Morales fue modelada por los hielos cuaternarios y, en particular, por el glaciar San Francisco, que formó parte del sistema glaciar del complejo volcánico San José-Maipo. En la actualidad, los hielos quedan colgados en cabecera, en un ambiente glaciar. Un régimen climático frío domina al conjunto de la cuenca y una morfodinámica periglacial activa caracteriza los procesos morfogénicos del conjunto del territorio, lo que supone inestabilidad en laderas.
- La fragilidad del sustrato, las pendientes, los sistemas de erosión crioclastia o gelifracción, los agentes hidrológicos, los deslizamientos de materiales y la sismicidad propician procesos de evacuación y deslizamientos de material detrítico lo que genera riesgos naturales e inducidos.

3. Objetivos

3.1. Objetivos Generales

- Analizar y explicar el medio biofísico del Monumento Natural El Morado y generar instrumentos cartográficos que permitan definir las diferentes zonas que componen el área de estudio.
- Proponer una clasificación de unidades de paisaje para valorar los elementos que componen el territorio.
- Generar las bases de una propuesta de Gestión para El Monumento Natural El Morado, considerando sus características geográficas y su presunta explotación turística.

3.2. Objetivos Específicos

- Determinar los sistemas morfogenéticos predominantes.
- Identificar y localizar cartográficamente las formas del relieve que componen las diversas unidades paisajísticas, creando una propuesta de carta geomorfológica.
- Identificar los procesos generadores de inestabilidad.
- Identificar, localizar y cartografiar las zonas de mayor riesgo natural.

4. Metodología

La metodología general de trabajo se presenta en el siguiente diagrama.

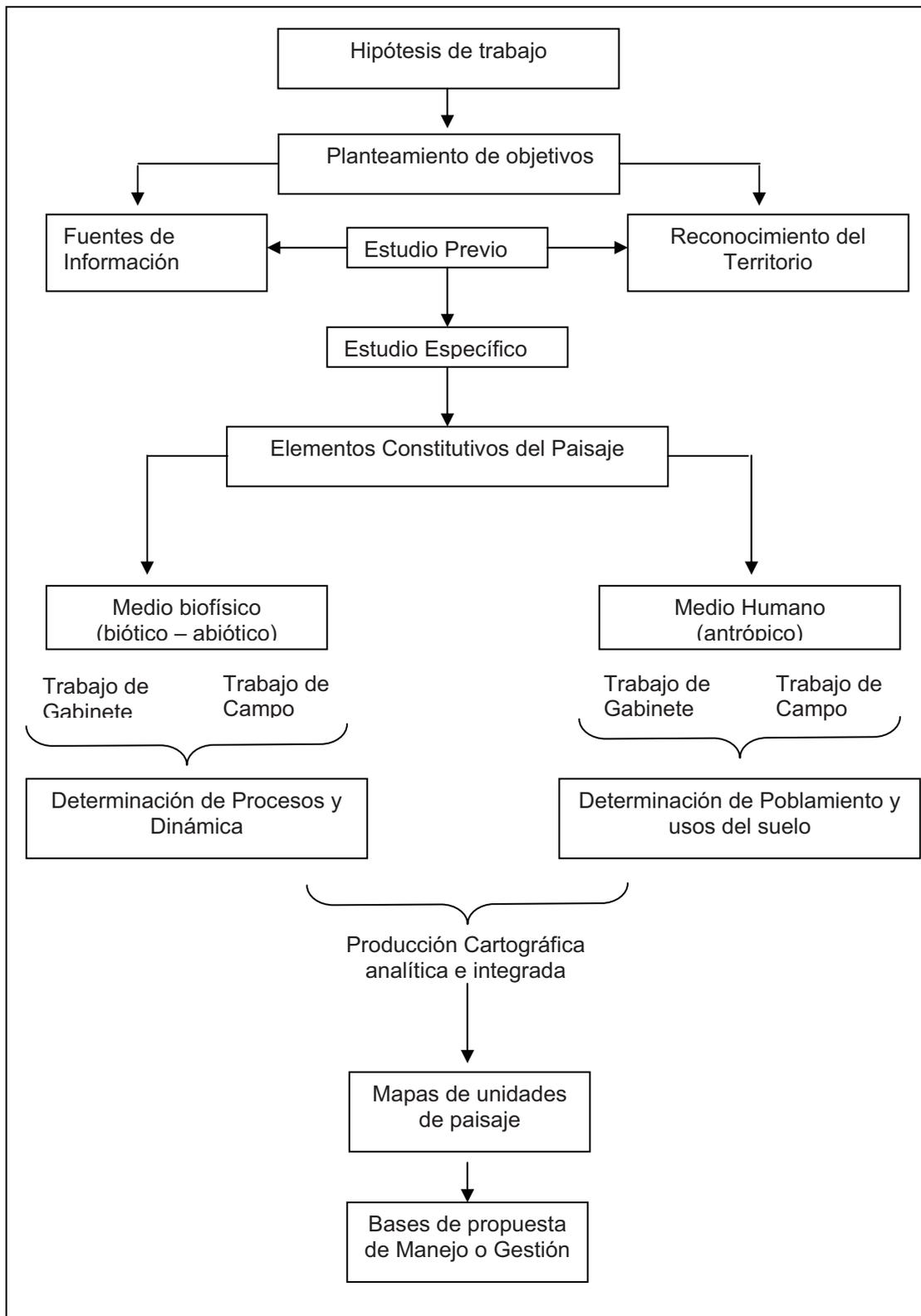


Figura 2: Esquema metodológico general. (Infante, N. 2007)

4.1. Procedimientos clave

La investigación relativa al análisis del paisaje del Monumento Natural el Morado ha requerido afrontar diferentes procedimientos de estudio caracterizados por la localización y selección de fuentes documentales, trabajo de campo y trabajo de gabinete.

4.1.1. Fuentes de Información

La recopilación bibliográfica se centró en la búsqueda de antecedentes generales y específicos relacionados a las diversas temáticas que posee el área de estudio, existente en diversas instituciones y organismos a nivel nacional como internacional.

La información recopilada fue clasificada según contenidos particulares del área de estudio, es decir, antecedentes relacionados con investigaciones de carácter temático (vegetación, hidrología, características climáticas, glaciología, geología, etc). Al carecer de antecedentes relacionados al área de estudio propiamente tal, se consideró información a mayor escala o de sectores cercanos (colindantes), pero homologables. Esta información, se categorizó de acuerdo a las instituciones generadoras, así se tiene:

Productos Oficiales de Instituciones Gubernamentales

La República de Chile cuenta con antecedentes cartográficos oficiales correspondientes a cartografía regular elaborada por diversas instituciones de acuerdo a la temática abordada. En este caso se utilizó particularmente la cartografía topográfica del Instituto Geográfico Militar (IGM) y las fotografías aéreas del Servicio Aerofotogramétrico de la Fuerza Aérea de Chile (SAF).

Productos no oficiales de Instituciones Gubernamentales

Además de los organismos militares encargados de generar y administrar cartografía, otros organismos dependientes del estado también generan productos cartográficos como fotografías aéreas y cartografía temática. De entre ellos se ha utilizado información de: Centro de Estudio en Recursos Naturales (CIREN), Instituto Nacional de Estadísticas (INE), Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA), Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), Corporación Nacional Forestal (CONAF), Departamentos de Geografía, Geología y Antropología de la Universidad de Chile (UCH), Centro de Estudios Espaciales de la Universidad de Chile (CEE), Instituto de Geocronología del SERNAGEOMIN, Departamento de Geografía de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC), Departamento de Ingeniería Geográfica de la Universidad de Santiago de Chile (USACH), Departamento de Hidrología de la Dirección General de Aguas (DGA), Departamento de Cartografía de la Universidad Tecnológica Metropolitana (UTEM), Museo Nacional de Historia Natural, Museo Chileno de Arte Precolombino, entre otros.

Reconocimiento e Identificación de formas del modelado

Para el registro de las formas del modelado se elaboró una cartografía preliminar con las formas identificadas en la carta topográfica y en las fotografías aéreas, asignándole la leyenda del Mapa geomorfológico de Francia, para su localización se ingresaron sus coordenadas en un GPS navegador y fueron verificadas en terreno.

Reconocimiento e identificación de áreas inestables

Para cuantificar las áreas inestables, una primera aproximación la entregó el estudio de la carta topográfica a través del análisis de las curvas de nivel y la generación de perfiles topográficos que permiten observar la situación topográfica local, compuesta de fuertes pendientes en las laderas de los cerros que enmarcan la cuenca. Una segunda fuente de información que entregó claros indicios de la inestabilidad de las laderas fue la fotointerpretación y el análisis estacional de fotografías aéreas de diferentes años.

Materiales base utilizados

Estos materiales de trabajo se han clasificado según su función en tecnológicos y cartográficos:

Tecnológicos

Software:

- Autocad 2000
- ArcView V3.2
- Analista 3D V1.0
- ArcInfo PC V 3.5
- PCI Works V7.0
- Surfer V8

Equipo de apoyo

- GPS: navegador, Magellan, modelo Sportrack Map
- Anemómetro de bolsillo: marca Qualitats-Erzeugnis TFA, Alemania.
- Termohigrómetro: HANNA instruments, HI 8564 thermo higrometer ranges, RH % 10...95 , °C 0..60 , °F 32..140.
- Altímetro: marca Suunto E203 scape
- Brújula : Brunton Co, USA
- Martillo geológico: Estwing made in USA.
- Estereoscopio de espejos: marca Sokkia, Modelo ms 16, y 27, elaborados en Japón
- Estereoscopio de bolsillo : modelo Jena, marca Carl Zeiss
- Taquímetro: modelo Wild T-16, con trípode.

- Miras: de 4 metros
- Nivel automático: marca Sokkia, modelo C32, elaborado en Japón.
- Bandas indicadoras de Ph: colorphast, EMD Chemicals Inc. Alemania.
- Huincha: 100 m.
- Estacas de acero: de 80 cm de largo y diámetro de 1"
- Correntómetro: Marca Aquacalc modelo 5000.

Cartográficos

- **Carta Topográfica Regular**, Instituto Geográfico Militar, escala 1:50.000, Zona 19 UTM, Datum PSAD 56, Sectores **El Volcán y Embalse El Yeso**. Levantamiento Vuelo Aerofotogramétrico año 1955.
- **Carta Geológica Santiago, Región Metropolitana de Santiago**, hoja N° 39, Escala 1:250.000, Instituto de Investigaciones Geológicas (SERNAGEOMIN), Proyección Cónica de Lambert, año 1980.
- **Carta Geológica Sector El Volcán**, Proyección UTM, "Análisis de Contacto Meso-Cenozoico en el Valle del Río El Volcán, Cordillera de los Andes", Memoria para optar al título de Geólogo. Macarena Bustamante Acuña, Universidad de Chile. 2001
- **Plano XIII-3-2407 a. C. R**, escala 1:25000, Ministerio de Bienes Nacionales, División de Catastros Nacionales de los Bienes del Estado.

Fotografías Aéreas

- **Vuelo:** Hycon, Instituto Geográfico Militar.
Escala aproximada: 1:50.000.
Número: 4423, 4424, 4425.
Fecha: 24 de febrero de 1955.
Emulsión: B/N; Pancromática.
- **Vuelo:** CH-60, Instituto Geográfico Militar.
Escala aproximada: 1:60.000.
Número: 020962, 020963, 020964.
Fecha: 17 de enero de 1983.
Emulsión: B/N; Pancromática.
- **Vuelo:** GEOTEC, Servicio Aerofotogramétrico de Chile.
Escala aproximada: 1:50.000.
Número: 02608, 02609, 02610, 02611.
Fecha: 27 de Diciembre de 1996.
Emulsión: B/N; Pancromática.

Productos en Formato Digital

- **Carta Topográfica Regular**, Instituto Geográfico Militar, escala 1:50.000, Zona 19 UTM, Datum PSAD 56, Sector **Baños Morales-Lo Valdés**. Levantamiento Vuelo Aerofotogramétrico año 1955.
- **Imágenes Satelitales**, Centro de Estudios Espaciales Universidad de Chile (CEE), Resolución espacial 30 m., resolución espectral 7 bandas 2 Infrarrojo, Sensor TM, programa Landsat. Sector **Baños Morales-Lo Valdés**; años 1987, 1994,2002.
- **Fotografía aérea digital del Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA)**
Vuelo: CONAF-CONAMA. **Emulsión:** color.
Escala aproximada: 1:115.000.
Número: 0027884
Año: 2001.

4.1.2. Trabajo de campo

Reconocimiento del territorio

Con el objeto de conocer el área de estudio y así verificar los datos obtenidos por fotointerpretación, complementar la información geográfica del área y generar los mapas temáticos, se han realizado numerosas campañas de campo (alrededor de 30). En las salidas de campo se desarrollaron las actividades de:

Reconocimiento e identificación de procesos morfogenéticos.

Para localizar e identificar los procesos morfogenéticos se buscaron en terreno los indicadores físicos que demostrarán la presencia del fenómeno denominado crioclastia o gelifracción, dinámica glaciaria relictiva, inestabilidad de laderas; estos indicadores fueron identificados y localizados para medir su área de acción o influencia

Reconocimiento e identificación de áreas inestables.

Al concurrir a terreno a identificar estas áreas se trazaron cuatro circuitos. En estos se comprobó el desprendimiento de bloques en la ladera occidental (fotografía 5 y 6) y la presencia de avalanchas en el glaciar, en la ladera oriental hay presencia de desprendimiento de bloques, sin embargo, los cambios de pendiente y el escalonamiento del terreno presentan obstáculos naturales para el material desprendido. En ambas laderas se presentan corredores de material desprendido desde los sectores altos rocosos, hacia las partes bajas del valle, denominados canales de aludes.

Reconocimiento y localización de la componente biótica.

La identificación de las zonas vegetacionales presentes en el valle, se realizó de acuerdo a la accesibilidad de los lugares que poseen vegetación y la estacionalidad de la misma, para esta actividad se desarrolló una localización cartográfica previa que se

corroboró con seis campañas de terreno. Las zonas que se identificaron previamente fueron dos: Panimávidas y Quebrada el Ciruelo. Al realizar las campañas se reconocieron 6 sectores con mayor vegetación: Quebrada el Ciruelo, Panimávida 1, Panimávida 2, Panimávida 3, Quebrada Grande, otro sector de interés vegetal es aquel que cubre unos 50 m. hacia ambos costados del sendero en forma irregular, siguiendo un patrón lineal, pero que por escala su representación se ve disminuida, este sector presenta una rica variedad de especies vegetales que según Hoffman (1998) pertenecen a arbustos y hierbas del piso subandino. Finalmente con la colaboración de un biólogo y taxónomo, se llegó a proponer una categorización de la vegetación según altitud, de acuerdo a especies vegetales consideradas “Diagnóstico”.

Vegetación

El estudio de la vegetación presente en el área de estudio se basó en la observación de especies vegetales en diferentes áreas del Monumento, se registró en fichas que se constituyen de una fotografía, localización aproximada y altitud, de esta manera se generó un catalogo de especies. (de un total de 280 especies registradas se identificaron 80 aproximadamente).

Fauna

La fauna se estudio con el objetivo de definir las áreas en las cuales habita, las especies reconocidas en el Monumento Natural el Morado se estudiaron en base a la observación directa. por ejemplo entre las aves se cuenta con el cometocino, cóndor, aguilucho, palomas torcazas, en los mamíferos se encuentra el zorro chilla, puma, liebres, ratones, en los anfibios el sapo , sapos de rulo, reptiles como lagartijas y culebras, arácnidos e insectos en general. La localización de estas especies fueron percibidas en el ambiente periglacial, en el ambiente glaciar la ausencia de fauna demuestra lo inhóspito del ambiente bajo estas condiciones.

Reconocimiento e identificación de áreas susceptibles de riesgo

En la generación de un mapa preliminar de áreas de riesgo fue necesario trabajar con las variables estructurales: geología (sismicidad y tipo de roca), geomorfología (formas como canchales), pendientes, ocupación del territorio y condiciones climáticas. De acuerdo a la interrelación de estas variables se obtuvieron zonas clasificadas con riesgo moderado, medio y alto dentro del Monumento, información primordial para generar un plan de gestión de acuerdo a la demanda turística existente y su vinculación con la población de Baños Morales.

Escala de riesgos

La escala de Riesgos utilizada se ha definido considerando el concepto de riesgo de la siguiente manera:

“Riesgo, es el daño potencial que puede surgir por la acción de un evento natural o antrópico, sea presente o futuro, se puede decir que es la probabilidad de que un peligro pueda llegar a materializarse”. Este daño propio de las zonas silvestres, se acrecienta en esta área por los fenómenos que se suceden y las características del valle , como su orientación, distribución altitudinal, patrón de ocupación humana, lo que ha llevado a generar una jerarquización de los sectores que componen la cuenca, estableciendo la siguiente escala de riesgo:

El riesgo alto

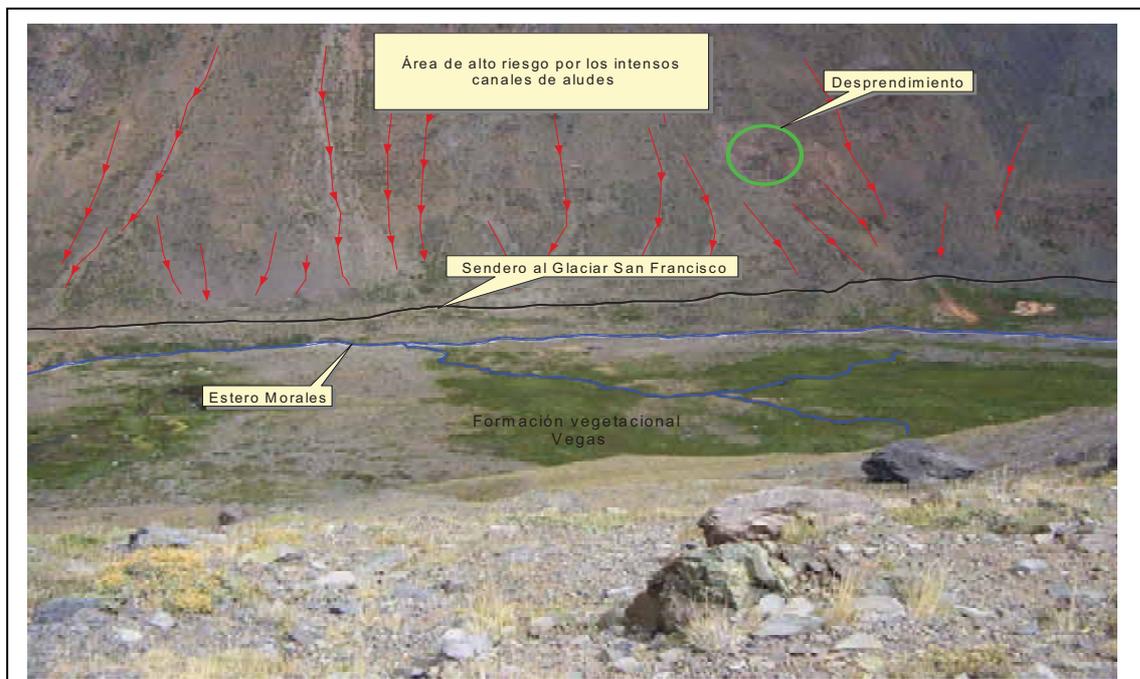
Considera a todas aquellas circunstancias que impliquen permanente daño a las actividades humanas que se desarrollen y que impliquen lesiones de gravedad o muerte y destrucción de infraestructura.

El riesgo moderado

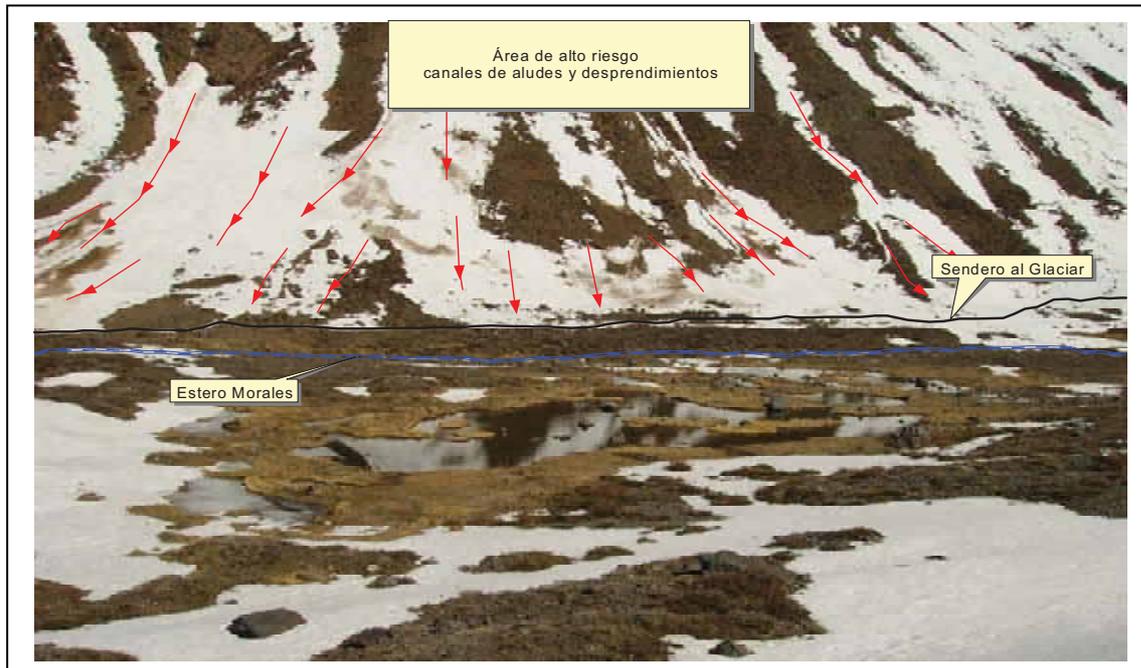
Se entienden como aquellos eventos que si bien se presentan permanentemente, se activan en épocas del año muy particulares. Este riesgo también se asocia a sectores donde es posible tomar alguna precaución en el caso del desencadenamiento de fenómenos.

El riesgo bajo

Se considera como aquel riesgo que se encuentra en sectores donde la sucesión de fenómenos no implica la pérdida de vidas humanas y permite tomar medidas de evacuación o mitigación.



Fotografía 5: Sobre el sendero se observa una gran cantidad de canales de aludes que cumplen la función de transportar el material desprendido de la ladera, vertiendo el mismo sobre el sendero, obstaculizándolo y presentando una grave amenaza para los visitantes (fotografía: Infante, N. febrero 2006).



Fotografía 6: En primavera, los desprendimientos cubren la nieve, lo que ayuda a distinguir los sectores de las laderas con mayor actividad, en estos, la presencia de bloques permite dimensionar el verdadero peligro del actual trazado del camino. (fotografía: Infante, N. septiembre 2006)

4.1.3. Trabajo de gabinete

Topografía

La Topografía se analizó en base al comportamiento del relieve representado a escala 1:50.000, las curvas de nivel y la generación de perfiles topográficos transversales permitieron observar el comportamiento de las pendientes y por lo tanto inferir los procesos de inestabilidad de laderas, esta importante variable permitió generar subproductos que complementan el análisis en el modelo de exposición de laderas y ayudan a elaborar un modelo tridimensional del área.

Características geológicas y geomorfológicas.

Para estudiar la geología y por lo tanto la estructura y naturaleza de los componentes litológicos se elaboró una carta geológica donde se representaron las diversas formaciones geológicas presentes en el valle a estudiar, se elaboró un perfil geológico y se analizó una columna estratigráfica del Monumento y de áreas colindantes.

En cuanto a la geomorfología del valle se realizaron diferentes campañas con diversos itinerarios, las observaciones se plasmaron sobre el mapa topográfico que, revisado sistemáticamente, permitió la elaboración del mapa geomorfológico final.

Condiciones meteorológicas.

Para analizar las condiciones meteorológicas y climáticas de la zona se recurrió a registros históricos de estaciones meteorológicas aledañas, se procedió a una nivelación estimativa y se confeccionó una serie de datos probables (de las variables temperatura y precipitación), para una estación virtual en el sector de la Laguna Morales.

Recursos hídricos (glaciares, aguas superficiales)

Para analizar las características hidrológicas del área de estudio se elaboró una carta con la jerarquización de la cuenca hidrográfica del estero Morales, determinando características como orden, longitud, componentes (naciente, curso superior, curso medio y curso inferior), nivel de base local, densidad de drenaje, cálculo de caudal del estero, perfiles del lecho.

El caudal del estero Morales se calculó utilizando 2 métodos: manual e instrumental:

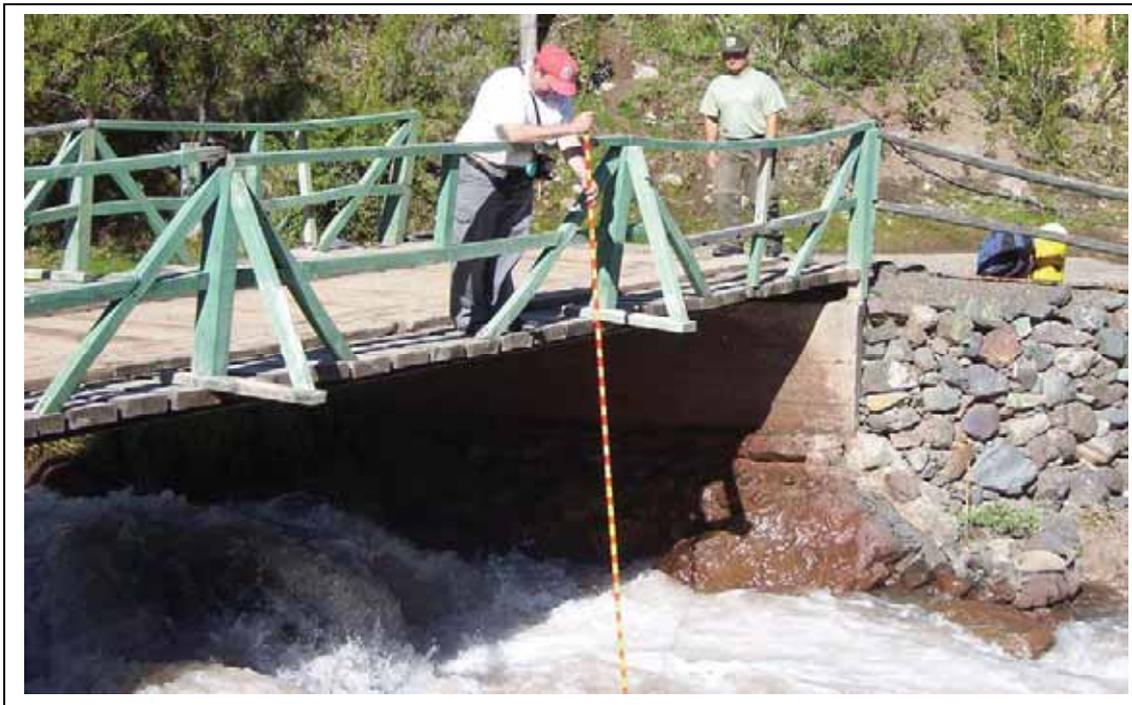
Método Manual

La técnica manual para estimar el caudal se efectuó con una medición directa matemática y estimativa. Esta se basó en realizar mediciones con bastones metálicos graduados para generar un perfil del lecho fluvial (estero Morales) el cual relacionado con la velocidad del agua (determinada mediante el desplazamiento de objetos en una distancia predefinida de 100 metros), permitió efectuar el cálculo del volumen de agua, considerando que ya se ha obtenido el ancho de la sección en un tramo del estero que se transforma en el largo, al realizar la operatoria se obtiene el caudal estimado para esa sección.

La primera corresponde a una confección de bastones de 1 metro graduados cada 5 cm., cada una de estas graduaciones corresponde a una unidad y se pintó de un color diferente para diferenciarlos al introducirlos en el agua, además se numeraron de 1 a 9, de modo que al observarlos sumergidos fuera posible identificar el tramo correspondiente a la observación. Estos bastones se unen en uno de los extremos para configurar una pértiga o garrocha de acuerdo a los segmentos necesarios para determinar la profundidad del lecho. De esta forma al sumergir la pértiga en el agua es posible observar el número del segmento que indica la profundidad del lecho, en las fotografías 7, 8, 9 y 10 se aprecia como se realizaron las observaciones, se sumerge la pértiga hasta que toca el lecho del estero, y se observa el valor de la unidad en la cual choca el agua, en este caso el valor es 4R, equivalente a 35cm, en los casos que la profundidad fue mayor a 1 metro entonces se denotó como 9+XC, donde el 9 indica la profundidad mayor al metro, la X, corresponde al número y la c al color, con estos valores transformados se confeccionaron tablas para elaborar los perfiles transversales del estero en los puentes utilizados para la medición, (Fotografía 7).



Fotografía 7: Medición de profundidad en las secciones elegidas con unas pértigas, en este caso, el nº 4 de color rojo representa a 35 cm., de profundidad bajo el agua. (fotografía: Infante, N. diciembre 2005).



Fotografía 8: Mediciones del lecho , sobre el lado sur en el puente el Esfuerzo (fotografía: Infante, N. diciembre 2005.)

La segunda etapa, consiste en graduar el puente que se encuentra sobre el lecho para realizar las observaciones, el valor considerado fue de 20 centímetros, el ancho total

considerado fue de 5,6 m., por lo tanto se realizaron 28 observaciones en el puente el Esfuerzo. En el caso del puente Panimávidas, el ancho total fue de 4,2 m., y la cantidad de observaciones 21.



Fotografía 9: Medición del ancho del escurrimiento superficial del estero en el puente el Esfuerzo (Fotografía : Infante ,N. noviembre , 2005).



Fotografía 10: Medición instrumental sobre el lado norte del puente el Esfuerzo, por personal de la DGA.. (Fotografía: Infante, N. noviembre, 2005).

La tercera etapa consistió en tabular los datos obtenidos, para crear los perfiles de ambos lados de los puentes, obteniendo los siguientes resultados:

Lado norte puente el esfuerzo	
Punto	Profundidad (cm)
1	-70
2	-65
3	-95
4	-80
5	-90
6	-60
7	-75
8	-85
9	-70
10	-75
11	-60
12	-65
13	-60
14	-95
15	-90
16	-95
17	-85
18	-105
19	-100
20	-105
21	-110
22	-75
23	-80
24	-80
25	-90
26	-65
27	-80
28	-70

Lado sur puente el esfuerzo	
Punto	Profundidad (cm)
1	-65
2	-40
3	-70
4	-60
5	-75
6	-75
7	-85
8	-75
9	-85
10	-125
11	-155
12	-110
13	-105
14	-85
15	-80
16	-85
17	-95
18	-105
19	-115
20	-110
21	-120
22	-115
23	-100
24	-95
25	-105
26	-90
27	-75
28	-55

Lado norte puente Panimávidas	
Punto	Profundidad (cm)
1	-160
2	-145
3	-140
4	-110
5	-100
6	-45
7	-40
8	-115
9	-115
10	-110
11	-100
12	-110
13	-75
14	-65
15	-90
16	-90
17	-105
18	-105
19	-85
20	-75
21	-85

Lado sur puente Panimávidas	
Punto	Profundidad (cm)
1	-150
2	-125
3	-110
4	-100
5	-120
6	-75
7	-80
8	-105
9	-115
10	-110
11	-90
12	-100
13	-85
14	-85
15	-95
16	-90
17	-115
18	-110
19	-95
20	-90
21	-95

Tablas 4 y 5. Valores para los perfiles del lecho de ambos lados del puente Panimávida.

Tablas 2 y 3. Valores para los perfiles del lecho de ambos lados del puente el Esfuerzo.

Estimación de caudal absoluto (Qa)

Para realizar la estimación del caudal absoluto, volumen de agua que pasa a través de una sección transversal del estero en una unidad de tiempo, se procedió a medir la velocidad del caudal, utilizando balones de diferentes tamaños, a los que se les inyectó agua hasta la mitad con el objeto que no flotaran en superficie (cuerpo geométrico regular) y botellas con agua hasta la mitad que permitiera su flotación (cuerpo geométrico irregular), coloreadas con pintura fluorescente color amarillo, para ser avistadas con facilidad dentro del flujo de agua. La metodología consistió en medir el tiempo de desplazamiento de cada elemento en una distancia de 100 metros aguas arriba del puente el Esfuerzo, cada objeto fue arrojado 5 veces al caudal, obteniendo los valores promedio registrados en la tabla 6.

Elementos	Desplazamiento promedio (seg. / 100 m.)
balones	102,90
botellas	74,67
promedio	88,79

Tabla 6. Velocidad promedio observada por elementos en la estimación del caudal del estero Morales.

La diferencia de tiempo en el desplazamiento entre los elementos radica en la influencia de las olas estacionarias sobre los mismos, estas olas generadas por la gran cantidad de material rocoso de grandes dimensiones presente en el lecho, produce que, mientras que los balones no avanzan en forma continua, girando sobre si mismos antes de desplazarse, las botellas no se detuvieron disminuyendo el tiempo de desplazamiento. Con el valor promedio obtenido se estimó la velocidad del caudal resultando en 1,29 m/seg.

El problema para calcular el caudal es que los parámetros de velocidad del cauce y rugosidad del lecho son distintos en cada punto.

Método Instrumental.

La segunda técnica se desarrolló con ayuda de la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas de Chile (MOP), se utilizó un instrumento llamado Correntómetro compuesto por un escandaio o lastre, un molinete con aletas direccionales, una cámara de contactos conectada mediante un cable de datos a un instrumento electrónico.



Fotografía 11: Dispositivo metálico artesanal diseñado para soportar el correntómetro en la medición del caudal. (fotografía: Infante, 2006.)

La metodología básicamente consistió en introducir el correntómetro al cauce con el escandaio, con el objeto de determinar la profundidad de este y estimar el caudal, este dispositivo se presenta en las (fotografías 11, 12, 13, 14 y 15).



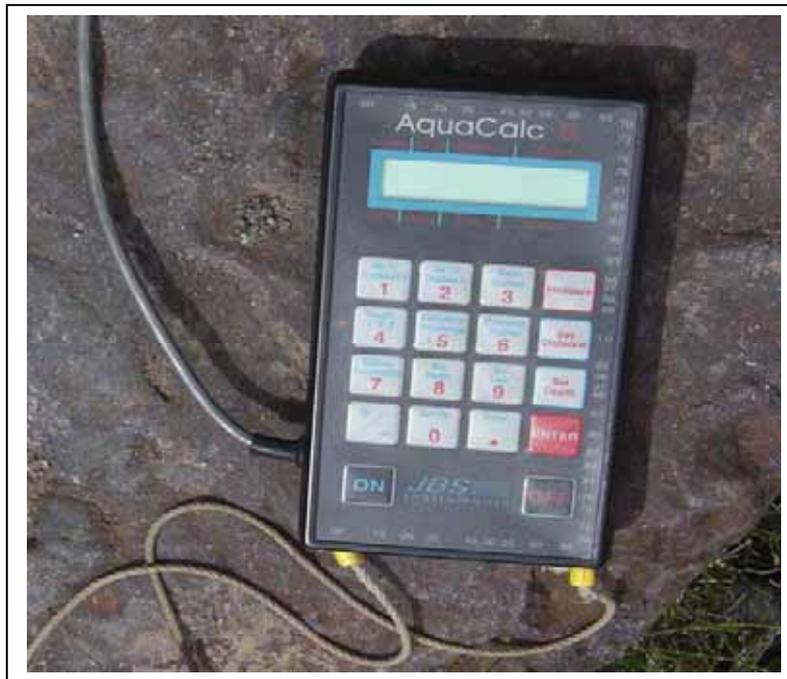
Fotografía 12: Escandaio de 25 kg., utilizado para el peso del correntómetro. (fotografía: Infante, N. octubre 2006.)



Fotografía 13: Molinete y aleta direccional conectados al escandaio. (fotografía: Infante, N. 2006).



Fotografía 14: Correntómetro a punto de sumergirse en el estero Morales, al encontrarse en un sector poco profundo el escandaio toca el lecho y el molinete no puede girar. (fotografía: Infante, N. 2006.)



Fotografía 15: Dispositivo electrónico para el cálculo del caudal (Fotografía: Infante, N. 2006.)

En cuanto al análisis de las masas glaciares del valle, en este caso el Glaciar San Francisco, se efectuaron campañas de campo para observar en terreno su estructura y características, apoyado por estudios de radioecosondaje del glaciar elaborados en el año 2000 (Rivera & Cassasa, 2002) ⁴.

Ambientes morfoclimáticos

Para estudiar esta variable fue necesario identificar la presencia de los ambientes en función de las características climáticas, bióticas y de modelado, esto permitió definir dos ambientes, uno glaciario en el sector alto y de cabecera de la cuenca y otro periglaciario en el resto del valle.

4.2. Productos cartográficos elaborados.

4.2.1. Cartografía base.

Para la generación de la cartografía base se determinaron las siguientes etapas metodológicas:

1. Rasterización y vectorización de las cartas topográficas que componen el sector. Se rasterizó cada parte del área de estudio en formato JPG para posteriormente vectorizar (digitalizar) en pantalla utilizando el software Autocad 2000.
2. Rasterización y vectorización de información geológica. El proceso fue similar al realizado con la carta topográfica.
3. Los perfiles geológicos fueron realizados en Autocad 2000.
4. Modelos digitales de elevación de pendientes, hipsométrico y orientación de laderas, fueron realizados con la herramienta Analista Espacial versión 1.0 del software ArcView. El modelo de laderas fue realizado en función de la exposición de estas, de acuerdo a las características del terreno.
5. Procesamiento Digital.
6. Las fotografías aéreas del vuelo 1996 (Geotec), 1955 (Hycon), 1983 (Juncal) fueron digitalizadas, para ser analizadas e interpretadas.
7. Con los vectores generados se realizó la Georreferenciación de cada fotografía.
8. Las imágenes (1955-1996), se fotointerpretan digitalmente con el programa ArcView, y se comparan con la interpretación análoga.
9. Carta Geomorfológica. Este proceso se subdivide a grandes rasgos en 3 etapas:
 - I. Análisis y selección de la leyenda del mapa geomorfológico de Francia a utilizar para representar el área de estudio.
 - II. Fotointerpretación análoga y digital: fue realizado con técnicas de fotogrametría y fotointerpretación con ayuda estereoscopio de espejos.
 - III. Verificación de la interpretación en Terreno. En esta etapa se realiza un control de los elementos identificados y representados en campo, utilizando instrumental de apoyo (GPS, carta topográfica 1:50.000).

5. Síntesis temática

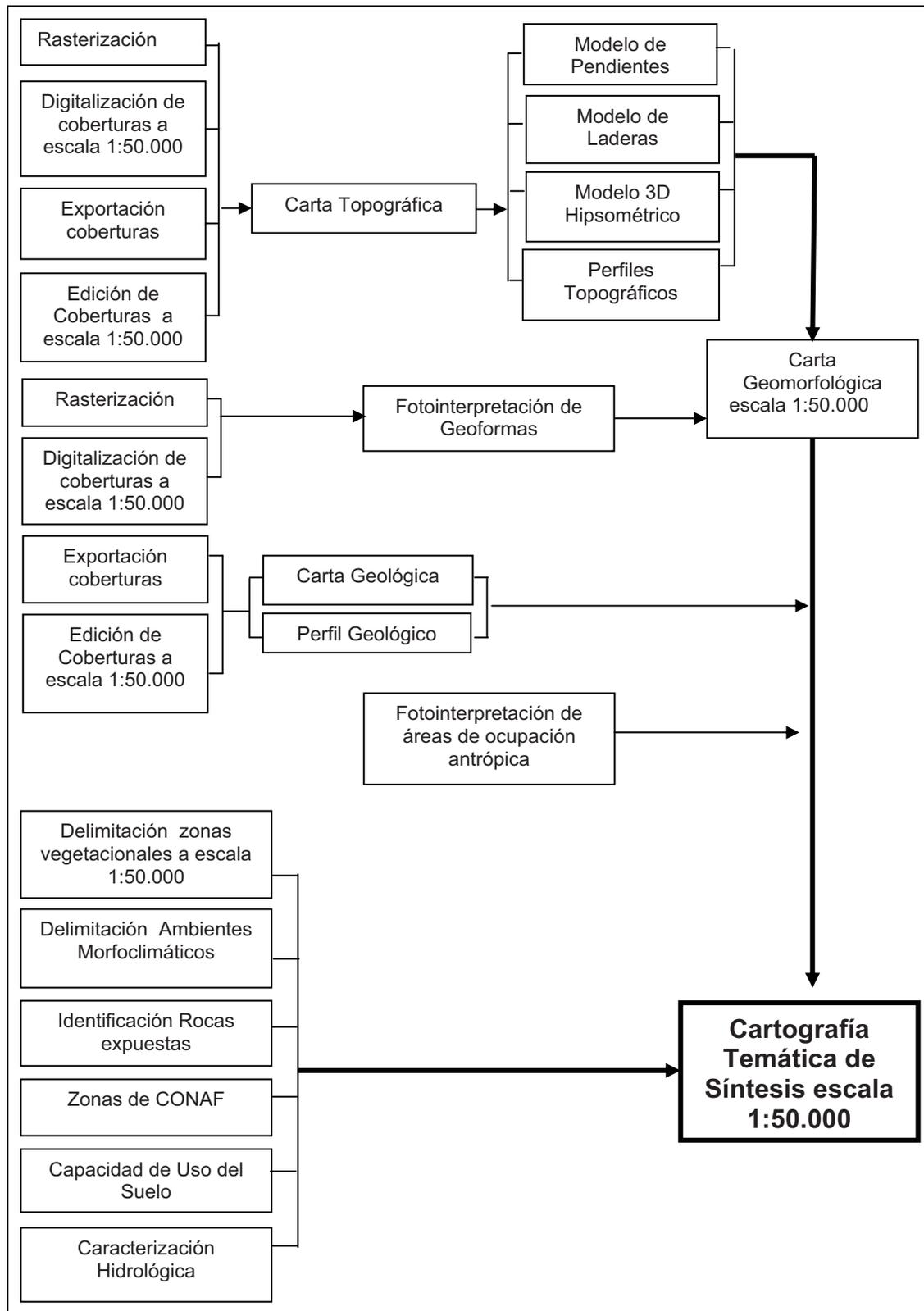


Figura 3: Etapas en la generación de los productos cartográficos (Infante, N. 2007).