

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

Segunda Parte:

**El medio biofísico objeto de estudio.
Organización y componentes del paisaje**

1. Componentes abióticos

1.1. Estructura geológica.

Los conocimientos geológicos del área de estudio se incluyen principalmente en la hoja geológica de Santiago, elaborada por Thiele, R.(1980)¹. La hoja de Santiago cubre parte de la Cordillera Principal del sistema montañoso andino, al oriente de la ciudad de Santiago, entre los paralelos 33° y 34° de latitud sur y los meridianos 69° 45' y 70° 45', longitud oeste. La hoja abarca afloramientos de rocas de edades que comprenden desde el carbonífero al reciente (Figura 4).

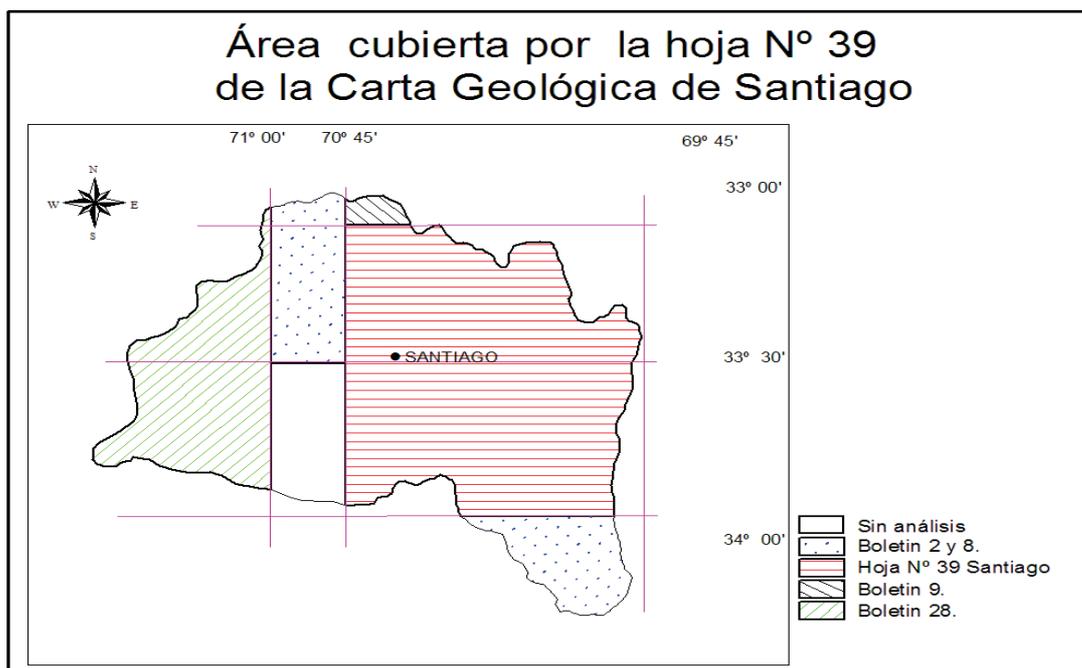


Figura 4: Localización de la Hoja de Santiago, cuadrángulo N° 39 (Thiele, R. 1980. Modificada por Infante, N. 2007)

Las rocas paleozoicas afloran en el borde oriental norte de la hoja, en el sector argentino y comprenden un complejo sedimentario intrusivo metamórfico del Carbonífero y una secuencia volcánica del Pérmico Triásico. Las rocas mesozoicas se distribuyen en toda el área y son esencialmente rocas estratificadas, sedimentarias y volcánicas de origen marino y continental. Las rocas cenozoicas tienen una importante exposición y corresponden principalmente a estratos volcánicos que se disponen discordantemente sobre los terrenos anteriores y a depósitos sedimentarios y de relleno fluvio-glaciares. El espesor total de la secuencia estratificada mesozoica- cenozoica tiene un valor de 10.000 y 12.000 metros respectivamente.

Las rocas plutónicas son en su mayoría de edad Terciaria superior intruyéndose hasta los estratos del Mioceno inferior a medio. Consisten, fundamentalmente, en granodioritas, monzonitas y tonalitas cuarcíferas.

Los rasgos estructurales permiten individualizar tres pisos estructurales andinos, sobreimpuestos al zócalo hercínico, definidos por diferentes grados y estilos de deformación que aparecen separados por discordancias angulares.

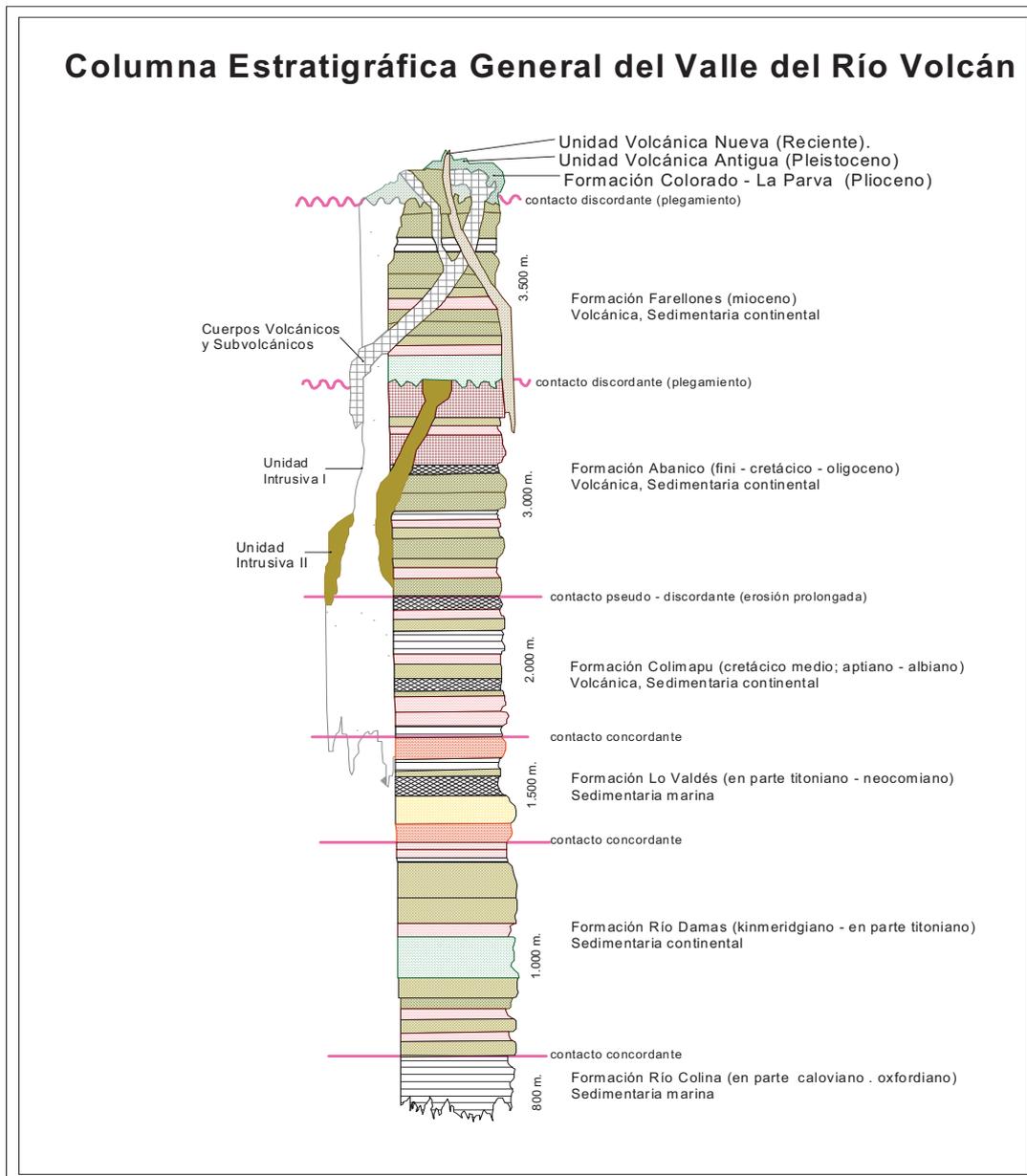


Figura 5: Columna Estratigráfica que permite observar las Formaciones geológicas presentes en el área de estudio. (Digitalizada por Infante, N. 2007; tomada de "Carta Geológica de Chile, Carta N° 39", Thiele, R. 1980).

La estructura rocosa presente en esta zona cordillerana ha sido reconocida e identificada en 11 unidades litoestratigráficas que, en orden decreciente de edad se presentan en la tabla 7.

Formación	Edad	Características
Río Colina	Oxfordiana y en parte Caloviana	Sedimentaria, marina y volcánica
Río Damas	Kimmeridgiana y, en parte, Titoniana	Sedimentaria continental y volcánica,
Lo Valdés	Neocomiana, con parte del Titoniano	Sedimentaria, marina y volcánica
Colimapu	Aptiana-albiana	Sedimentaria, volcanoclástica, continental y volcánica
Abanico	Fini-cretácico superior a oligoceno	Volcánica y sedimentaria, continental
Farellones	Mioceno	Volcánica y sedimentaria continental
Colorado-La Parva	Pleistocénicos (Cuaternario)	Cuerpos volcánicos y subvolcanicos
Unidad volcánica antigua	Pleistocénicos (Cuaternario)	Volcanes extinguidos
Unidad volcánica nueva	Holoceno (Cuaternario)	Volcanes activos
Depósitos fluvio-glaciares	Holoceno (Cuaternario)	Sedimentos de origen fluvio-glaciar de variado calibre
Depósitos morrénicos	Holoceno (Cuaternario)	Morrenas marginales y acumulaciones de detritos provenientes de glaciares rocosos

Tabla 7: Formaciones geológicas que configuran el sector andino de la Región Metropolitana de Santiago. (Infante, N. 2007; tomada de "Carta Geológica de Chile, Carta N° 39", Thiele, R. 1980).

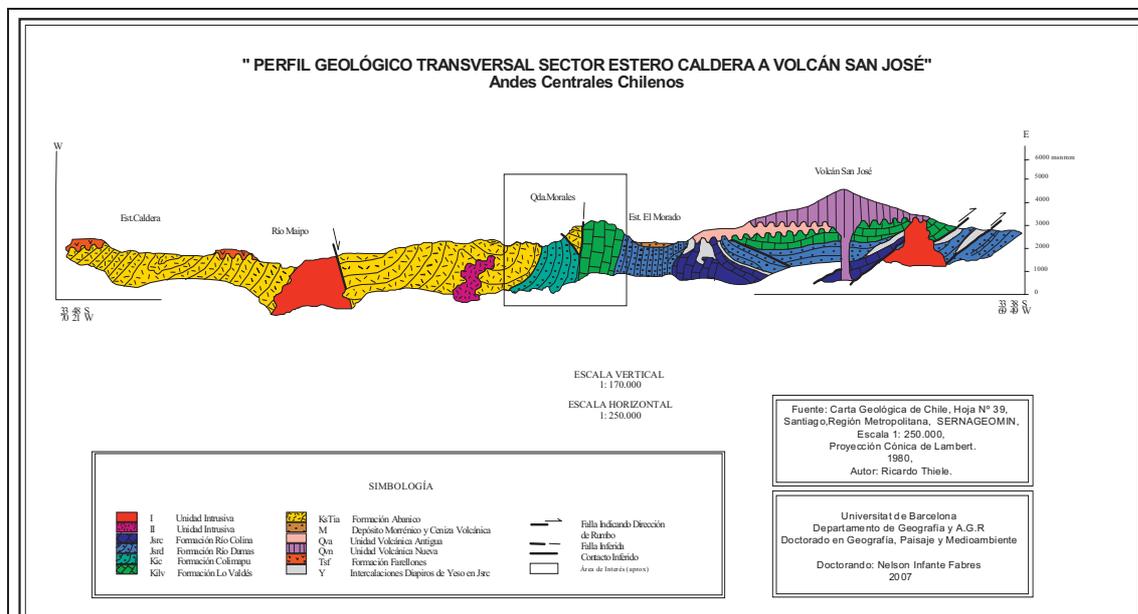


Figura 6: Perfil geológico transversal que permite observar el contexto geológico en que se inserta el área de estudio. (Infante, N. 2007; tomada de "Carta Geológica de Chile, Carta N° 39", Thiele, R. 1980).

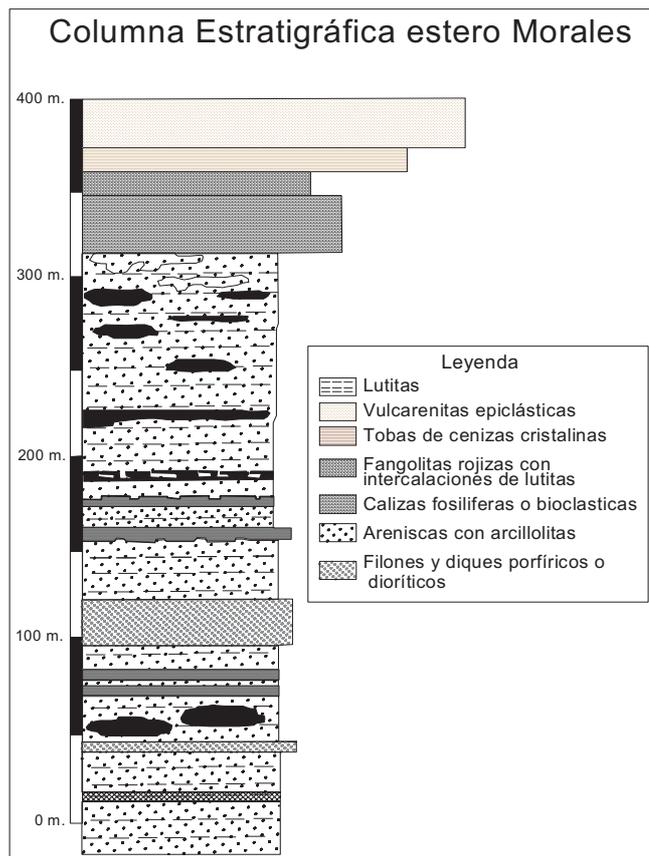


Figura 7: Columna Estratigráfica que permite observar la composición del área de estudio. (Digitalizada por Infante, N. 2006, tomada de "Análisis del Contacto Meso-Cenoico en el Valle del Río Volcán Cordillera de los Andes de la Región Metropolitana de Santiago". Bustamante, M. 2001)

Geológicamente es posible establecer que en el área de estudio están presentes cinco de las once formaciones geológicas mencionadas: Formación Abanico, Formación Colimapu, Formación Lo Valdés, Depósitos morrénicos y Depósitos fluvioglaciares del cuaternario reciente (que se ubican en torno al estero Morales y río Volcán), además de un leve afloramiento del cuerpo rocoso intrusivo Chacayes.

1.1.1. Formación Abanico.

El nombre de esta formación fue propuesto por el geólogo Muñoz Cristi (1957) *op. cit*, posteriormente, Aguirre (1960) *op. Cit*, la definió como una secuencia de vulcanitas y sedimentitas clásticas terrígenas de colores predominantemente gris pardo y púrpura, rojo grisáceo. Su base es concordante con la Formación Colimapu y su techo está marcado por una discordancia angular con la formación Farellones.

La secuencia esta formada por tobas y brechas volcánicas, con intercalaciones de lavas y sedimentitas clásticas. En la parte inferior de la unidad predominan las brechas y tobas gruesas sobre las lavas y sedimentitas volcanoclásticas. Las brechas volcánicas

gruesas contienen clastos de diámetro variable de 5 a 60 cm. , de andesitas porfíricas y afaníticas de colores gris, verde y morados, en una matriz lítica arenosa de grano medio. Las lavas son andesitas y riolitas. El espesor del conjunto se estima en 3000 m, aún cuando se acepta que aparece aumentado por las numerosas intrusiones interestratificadas posteriores de filones-manto y lacolitos andesíticos. Sin embargo, es posible también atribuir parte de esta actividad intrusiva al mismo episodio magmático que generó el volcanismo de esta formación.

En la Formación Abanico no se ha encontrado fauna fósil y sólo se ha reconocido la presencia de *Nothofagus*, en las intercalaciones de sedimentitas finas. Antiguas dataciones determinadas por su relación estratigráfica y correlaciones regionales, determinaron que esta formación poseía una edad Cretácica superior, sin embargo dataciones de K/Ar, en plagioclasa de andesitas intrusivas frescas, que cortan la formación Abanico, dan edades de $19,5 \pm 0,5$ m.a. (cerro Manquehue). En consecuencia y considerando como mínimas las edades obtenidas, se puede atribuir la Formación Abanico a varios eventos volcánicos, o tal vez, a un episodio volcánico continuo durante un largo lapso, desde fines del Cretácico al Oligoceno⁶.

1.1.2. Formación Colimapu (Kic)

Definida por Klohn (1960) *op. Cit*, como un conjunto sedimentario de origen terrestre, que se sobrepone en discordancia angular a la formación Coya-Machali. En la hoja de Santiago esta formación se superpone concordantemente y en transición paulatina a los estratos de la formación Lo Valdés. Constituyen esta formación unas secuencias de areniscas y lutitas rojas, conglomerados de matriz arenosa gris rojiza, lutitas rojas con niveles de rocas piroclásticas aéreas y algunas lavas andesíticas y calizas en capas lateralmente discontinuas. La serie se habría depositado en un ambiente altamente oxidante. Su espesor alcanza en los sectores que ha sido posible estimarlo en un valor aproximado de 2000 m.

Su edad mínima se ha determinado como Albiana, mediante el hallazgo de carófitas fósiles que pueden vincularse con *Actistochara hungarica raskey* y con *Actistochara mundula* Peck = *Stellatochara mundula* (Martínez y Osorio; 1963) *op. cit*, mientras que su edad máxima sería Hauteriviana, de acuerdo con la edad asignada a la formación Lo Valdés, que la infrayace. Los estratos de la formación Colimapu se distribuyen a lo largo de una franja de dirección norte, que se extiende desde el sur del río Volcán hasta más al norte del río Colorado. Mantienen una estructura de plegamiento, caracterizada por un anticlinal apretado y volcado hacia el oeste, el rasgo predominante de esta unidad , en la hoja de Santiago, contrariamente a lo señalado en otras áreas , es su paso gradual a la formación Abanico, apareciendo siempre unidades comprometidas en una misma estructura .¹

1.1.3. Formación Lo Valdés (Kilv)

Corresponde a un conjunto sedimentario fosilífero, constituido por tres miembros, de los cuales el intermedio se compone de sedimentos clásticos. Su base es concordante con la formación Río Damas y el techo con la formación Colimapu. Componen las secuencias; calizas, callulitas, lutitas y areniscas calcáreas, conglomerados y brechas. El espesor estimado para esta unidad es de 1350 m. aproximadamente. En la hoja de Santiago, la formación Lo Valdés se localiza a lo largo de la zona fronteriza, en franjas continuas de dirección general norte-sur, desde el río Volcán hasta más al norte del río Colorado. Se presenta separada en escamas estructurales que provocan la repetición de los estratos superiores de la secuencia hacia el este, imbricándose con bloques estructurales de la formación Río Damas. En las salidas de campo, en esta formación se encontraron restos fósiles, que fueron enviados al Instituto de Geocronología, del Servicio de Geología y Minería (SERNAGEOMIN)², para su identificación, datación y clasificación, lográndose los siguientes resultados:

- **Lucina sp.** (Fotografía 16)

Clasificación. *Phylum Mollusca*, Clase Bivalva, Subclase Heterodonta, Familia Lucinidae.

Características morfológicas: Ejemplar de gran tamaño (altura ca. 112 mm). Consiste en una valva derecha casi completa y de contorno subelíptico. El umbo (o extremo dorsal) es ligeramente prosógiro (inclinado hacia la zona anterior). La superficie externa es convexa y presenta líneas de crecimiento relativamente gruesas y uniformes.

Modo de vida: Estos bivalvos eran organismos marinos, bentónicos, enterrantes semiprofundos a profundos en substratos arenosos. Se alimentaban por filtración de la materia orgánica disponible en el agua, la cual circulaba por estructuras tubulares carnosas conocidas como sifones.

Edad: Los fósiles de este grupo han sido encontrados en rocas del Jurásico Superior (Tithoniano) y Cretácico Inferior (Berriasiano) en la zona de Lo Valdés.



Fotografía 16: *Lucina sp.*

• **Tellina sp.** (Fotografía 17)

Clasificación: *Phylum Mollusca*, Clase Bivalvia, Subclase Heterodonta, Familia Lucinidae.

Características morfológicas: Ejemplar de tamaño mediano (altura ca. 41 mm). Consiste, en especial, en el vaciado o relleno de la cavidad interna de las valvas. El umbo es ligeramente prosógiro.

Modo de vida: Estos bivalvos eran organismos marinos, bentónicos, enterrantes semiprofundos a profundos en substratos arenosos. Se alimentaban por filtración de la materia orgánica disponible en el agua, la cual circulaba por estructuras tubulares carnosas conocidas como sifones.

Edad: Los fósiles de este grupo han sido encontrados en rocas del Jurásico Superior (Tithoniano) y Cretácico Inferior (Berriasiano) en la zona de Lo Valdés.



Fotografía 17: *Tellina sp*

• **Anditrigonia eximia** (Philippi) (Fotografía 18)

Clasificación: *Phylum Mollusca*, Clase Bivalvia, Subclase Heterodonta, Orden Trigonioida.

Características morfológicas: Ejemplar de gran tamaño (altura ca. 65 mm). Consiste en una valva izquierda casi completa. El tercio anterior de la conchilla es muy alto y allí se encuentra localizado el umbo, cuyo tamaño es pequeño y es opistógiro (está inclinado hacia la región posterior). La superficie externa de esta zona presenta costillas subhorizontales, las que cada vez se inclinan más hacia la zona ventroanterior con el crecimiento. En los tercios medio y posterior la ornamentación consiste en costillas rectas y oblicuas, orientadas en sentido ventroposterior.

Modo de vida: Estos bivalvos eran organismos marinos, costeros (indican cercanía a la línea de costa), bentónicos, enterrantes someros. Se alimentaban por filtración de la materia orgánica disponible en el agua.

Edad: Esta especie ha sido encontrada en niveles estratigráficos de edad Titoniana (ca. 145 Ma.), en el Jurásico Superior.



Fotografía 18: *Anditrigonia eximia*

- *Isocardia* aff. *Koeneni* Behrendsen (Fotografía 19)

Clasificación: *Phylum Mollusca*, Clase Bivalvia, Subclase Heterodonta.

Características morfológicas: Ejemplar de gran tamaño (altura ca. 69 mm). Consiste en el vaciado de un espécimen articulado. La mitad dorsal de ambas valvas es muy globosa y prominente. El umbo es ligeramente prosógiro y está situado en la mitad anterior.

Modo de vida: Estos bivalvos eran organismos marinos, enterrantes someros. Se alimentaban por filtración de la materia orgánica disponible en el agua.

Edad: Esta especie ha sido encontrada en niveles del Cretácico Inferior en la formación Lo Valdés.



Fotografía 19: *Isocardia' aff. koeneni* Behrendsen

- *Tylostoma* sp. (Fotografía 20)

(A. Molde interno con restos de conchilla; B. Vista de la abertura)

Clasificación: *Phylum Mollusca*, Clase Gastropoda, Superfamilia Naticoidea.

Características morfológicas: Ejemplar de tamaño mediano (altura ca. 55 mm). Consiste en especial en el vaciado o relleno de la cavidad de la conchilla, con algunos restos de esta

última. La espira (o primeras vueltas) es baja, mientras que la vuelta del cuerpo (o último giro) es mucho más alta y globosa. La abertura tiene un contorno subelíptico.

Modo de vida: Estos gastrópodos eran organismos marinos, bentónicos y de vida libre (se desplazaban sobre el substrato). Probablemente se alimentaban de macroalgas.

Edad: Estos organismos han sido encontrados en niveles del Cretácico Inferior en la Formación Lo Valdés.



Fotografía 20: *Tylostoma* sp.

• **Berriasella** sp. (Fotografía 21)

Clasificación: *Phylum Mollusca*, Clase Cephalopoda, Subclase Ammonoidea.

Características morfológica: Ejemplar de tamaño mediano (diámetro mayor disponible ca. 58 mm). Consiste en una conchilla con un bajo grado de recubrimiento (evoluta), donde las costillas tienen un desarrollo variable en grosor y son prosoclinas (muy inclinadas hacia la abertura) en la zona ventral (o externa).

Modo de vida. Los ammonites eran organismos marinos, nectónicos (libres, nadadores).

Edad: El organismo identificado es característico del Cretácico Inferior (Berriasiano).



Fotografía 21: *Berriasella. sp.**

1.1.4. Depósitos cuaternarios

Se puede sostener que sobre una altitud promedio de 1.500 m. , los depósitos fluviales cambian gradualmente a glaciofluviales (sin variar sus características fundamentales). Estos depósitos están constituidos de materiales de variado calibre, representados por clastos del tamaño de bloques a gravas, arenas, limos y arcillas, de petrografía relacionada con las distintas unidades litológicas presentes en el área.

En el área de estudio este tipo de depósitos se localizan entorno al estero Morales y el río Volcán (Fotografía 22). Los depósitos del valle entorno al estero Morales, se caracterizan por estar trabajados por el agua y el acarreo (Fotografía 23). Los depósitos del río Volcán, se caracterizan por formar una pequeña terraza a los pies de un gran depósito de material morrénico retocado por deslizamiento.

1.1.5. Depósitos Morrénicos

Prácticamente todos los cursos fluviales por sobre una altitud de 2.500 m. presentan rellenos de depósitos glaciares (Fotografía 24). Estos depósitos corresponden a morrénas marginales y acumulaciones de detritos provenientes de la descarga de masas glaciares, y se hallan ubicados en el seno de los cauces de los valles, circos o nichos en las altas cumbres. Morrénas terminales y de retroceso se acumularon esencialmente en los valles de los ríos Colorado, Yeso, Volcán, y esteros afluentes, especialmente notoria por su ubicación más baja son las morrénas de Laguna Negra que embalsa la laguna homónima, quebrada

del estero Morales y del río Volcán. Estos depósitos glaciares se pueden relacionar con las últimas pulsaciones climáticas de la última glaciación holocénica (entre 12000 y 15000 años atrás) (Fotografía 25).



Fotografía 22: (vista suroeste a noreste): Estos depósitos cuaternarios corresponden a material transportado y trabajado por los cursos fluviales, (fotografía: Infante, N. diciembre 2003)



Fotografía 23: (vista noreste a suroeste) Valle del estero Morales en su parte media, donde se observa la presencia de material de variado calibre, producto de erosión fluvial, caídas y bloques erráticos (fotografía : Infante, N. diciembre 2003)

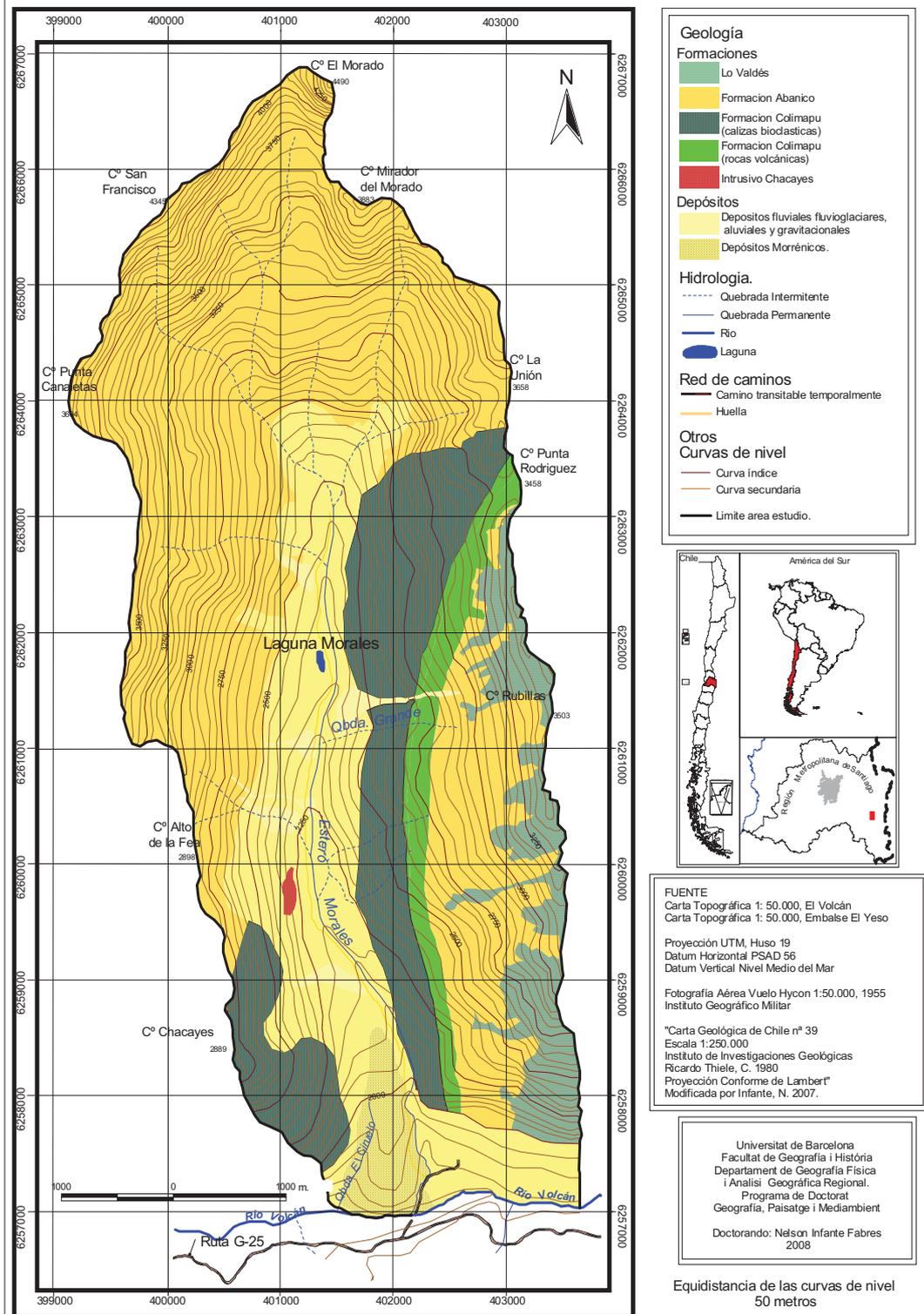


Fotografía 24:(vista noroeste a sureste): Depósitos glaciares morrenicos de tonalidad más oscura en la imagen. (fotografía: Infante, N. noviembre, 2004).



Fotografía 25: Material detrítico de acción glacial de variado calibre, ubicado en la base del glaciar San Francisco. (fotografía: Infante, N. febrero, 2005).

Configuración Geológica



Mapa 2: Configuración geológica del área de estudio

1.1.6. Síntesis

La configuración geológica del área de estudio se encuentra representada a escala 1:50.000. (Mapa 2 y Figura 8). Los rasgos principales son:

- 1.- Analizando la carta geológica y las formaciones se puede afirmar que existe un predominio de la formación Abanico, la cual se encuentra localizada en todo el sector oriente, norte y poniente intercalada entre las formaciones Lo Valdés y Colimapu (al oriente).
- 2.- La formación Colimapu se encuentra localizada en ambas laderas del estero Morales, predominando afloramientos rocosos en la ladera oriental, con materiales como rocas volcánicas y calizas bioclásticas.
- 3.- La formación Lo Valdés está localizada en el sector alto de la ladera oriente del estero Morales (cerro Rubillas), con predominio de afloramientos rocosos con materiales como calizas , calcilutitas conglomerados y brechas. En otros sectores de esta formación se encuentran materiales con restos fósiles de origen marino, lo que ha permitido asignarle una cronología que va del Titoniano inferior, hasta el Valanginiano.
- 4.- El cuerpo rocoso intrusivo Chacayes, corresponde a un afloramiento que se localiza en la ladera occidental del estero Morales y esta afectado por fallas geológicas que lo delimitan de la formación Colimapu.
- 5.- Los depósitos cuaternarios (fluviales, fluvio-glaciares y glaciares), se localizan en el sector central del valle, bajo la cota de los 2750 m. de altitud. Hacia el sector sur se encuentran depósitos morrenicos en forma de arcos y una morrena con características de terminal que invade el río Volcán. Se aprecia un extenso lineamiento de conos de material detrítico de origen aluvial y coluvial (canchales), al pie de los cerros Chacayes y Rubillas los que comparten depósitos recientes de origen Cuaternario.

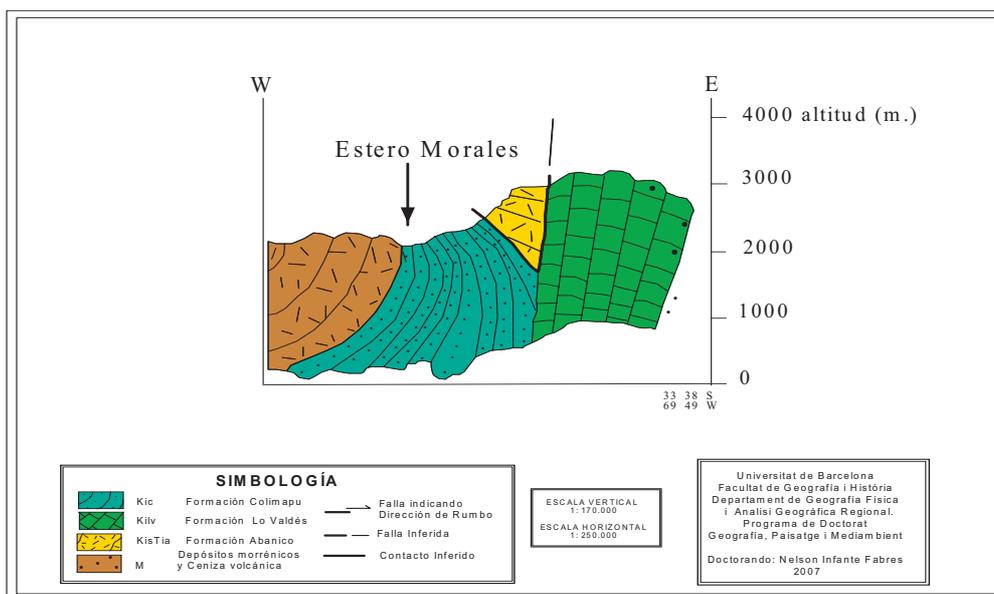


Figura 8: Perfil Geológico sector estero Morales (Infante, N. 2007)

1.2. Rasgos geomorfológicos.

El contexto geomorfológico en que se inserta el área estudiada, comprende, una Cordillera de los Andes maciza apenas accesible por senderos y huellas, coronada por nieve permanente por sobre los 3000 m. de altitud, plegada, formando sinclinorios y anticlinorios constantes en toda su estructura. Esto permite observar estratos claramente diferenciables en todo el Valle del Cajón del Maipo, encontrándose en el sector de Lo Valdés (situado inmediatamente al sur del Monumento Natural El Morado) estratos en posición prácticamente vertical, lo que genera que los materiales mas disgregables (como arcillas, pizarras, areniscas y calizas) expuestos a los procesos erosivos, sean afectados y generen movimientos como deslizamientos, aludes, avalanchas (Fotografía 26).



Fotografía 26: Cerro Rubilla, se observa la verticalidad de los estratos de pizarras, producto de la acción de la Tectónica de Placas (fotografía: Infante, N. enero 2008.)

Sísmicamente el sector es muy activo debido a que en las cercanías, distante a 10 kilómetros se encuentra uno de los puntos sísmicos de mayor actividad en la Región Metropolitana de Santiago la falla geológica las Melosas.

El área de estudio presenta actualmente dos dominios morfoclimáticos dominantes, periglacial y glaciar, la cota que separa a ambos se fija entorno a los 2600 m. de altitud.

En el dominio periglacial se encuentran diversas formas heredadas entre las que destacan: arcos morrénicos que indican claramente la dinámica en el avance y retroceso del Glaciar San Francisco, laguna glaciar, cantos estriados o bloques con pulidos glaciares generados por el transporte glaciar (Fotografías 27, 28, 29). Además de estas formas podemos mencionar las generadas por la actual dinámica de vertiente, conos de aludes de

edad cuaternaria, glacia de derrubios detríticos aluviales y coluviales, material aluvional que cubrió los depósitos morrénicos, etc.



Fotografías 27: Bloque errático, producto del transporte glaciar (fotografía: Infante, N. enero, 2008).

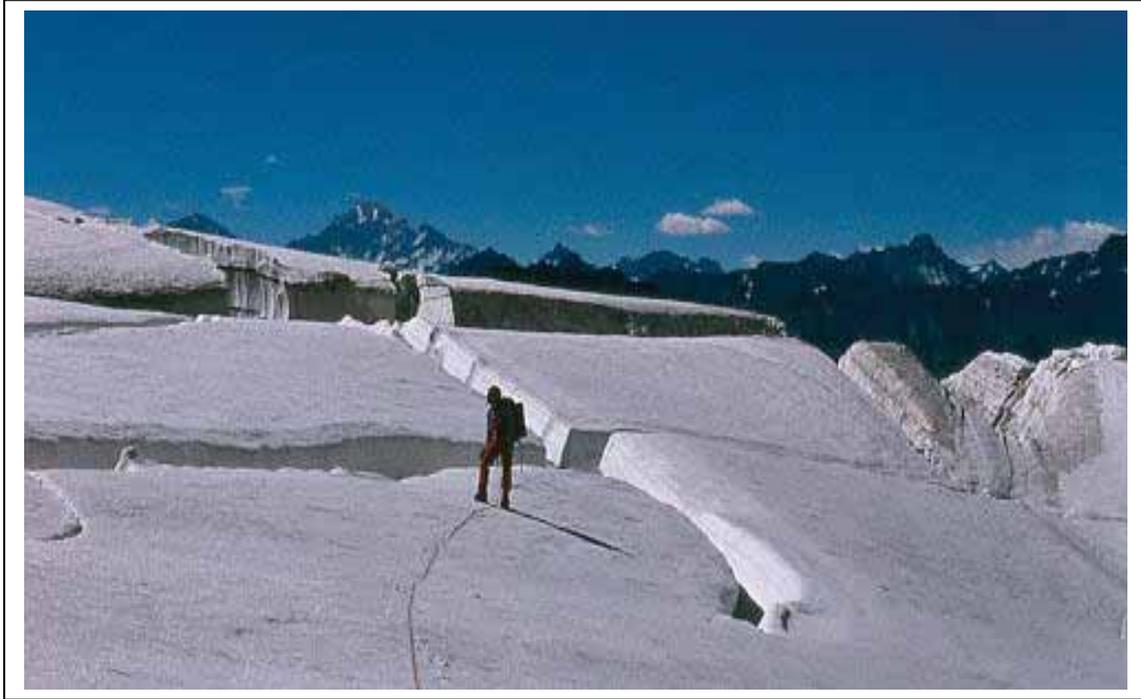


Fotografías 28: Bloque de desprendimiento que demuestra la dinámica de ladera (fotografía: Infante, N. febrero, 2005).



Fotografía 29: Bloque transportado por acción glacial con material detrítico fino en superficie (fotografía: Infante, N. enero, 2008).

En el contexto del ambiente glacial es posible distinguir un gran circo glacial, el que se ha originado por la unión de pequeños circos, los que con el transcurrir del tiempo geológico se han unido por procesos de crioclastía y/o gelifracción, dando como resultado un circo de gran envergadura que sigue la estructura de los afloramientos rocosos de las partes altas de la cuenca y que da paso a un prolongado valle glacial en forma de artesa. Las formas predominantes corresponden a procesos de glaciación y nivación aún imperantes, umbral glacial, valle en U , circos glaciares, ombligos o cuencas de recepción, microformas presentes en la estructura glacial tales como rimayas, zona de ablación, morrenas, lenguas glaciares, seracs y grietas, entre otros (Fotografía 30 y 31).



Fotografía 30: Grietas en la parte alta del Glaciar San Francisco (fotografía: portal web <http://www.gochile.cl>).



Fotografía 31: Morfología glaciar (cornisas) presente en el área de estudio (fotografía: Infante, N. diciembre, 2006).

Ambos dominios cuentan con la presencia de un curso fluvial (estero Morales), de origen glaciar (con aportes de agua por deshielo y de origen termal desde sus laderas), el que escurre en dirección norte-sur, presentando un comportamiento diferenciado según la pendiente y la topografía local, en general este drenaje ha socavado depósitos preexistentes y formas morrénicas en su corto trayecto en toda la extensión de la cuenca.

1.2.1. Formas de relieve del valle estero Morales

El valle del estero Morales posee los rasgos morfológicos propios de un valle glaciar ligeramente suspendido (Fotografía 32) sobre el glaciar colector que ocupó el valle principal del río Volcán, que ha sido intensamente afectado por factores geomorfológicos que le dan una topografía local diferenciada por los procesos que ahí se han desarrollado.



Fotografías 32: Valle glaciar suspendido con un notable desnivel en la parte baja (fotografía: Infante, N. septiembre 2006)



Fotografía 33: Escalonamiento altitudinal sobre material morrénico (fotografía: Infante, N. julio, 2004)

El origen de la cuenca o valle suspendido del estero Morales se debe relacionar con el proceso glaciario que afectó a toda la zona en las últimas glaciaciones. En esta región habría existido un gran sistema glaciario activo de tipo alpino que se originó en las proximidades del complejo volcánico San José-Maipo. La lengua glaciaria colectora se habría extendido cubriendo el valle del río Volcán en sentido oriente a occidente, convirtiéndose en una barrera para todas aquellas acumulaciones glaciares menores de los pequeños valles tributarios que se encuentran orientados principalmente en sentido norte – sur. Uno de estos valles sería en el que se ubica el Monumento Natural El Morado. Este valle en su parte alta habría acumulado una gran masa glaciaria que escurría en sentido norte-sur hasta conectar con el glaciar del valle del río Volcán (Fotografía 33). En el valle se distinguen tres sectores:

Cabecera glaciaria

Corresponde a una gran cuenca de recepción en la cual aún existen vestigios del sistema glaciario general representados por la lengua principal del Glaciar San Francisco, de tipo rocoso en su base, que cubre aproximadamente 190 ha.

Según Capps (1998), el glaciar rocoso se puede definir morfológicamente como: "un cuerpo rocoso en forma de lengua o lóbulo, usualmente de bloques angulosos de diferente tamaño instalado en terrenos de alta montaña o regiones polares de precipitaciones moderadas. Contiene cordones, surcos y lóbulos en su superficie y una fuerte pendiente en su ángulo de reposo". Por otra parte (Potter, 1972; Washburn, 1979; Ballantyne, K.C & Arris, 1994), definen los glaciares rocosos "como una lengua o masa lobular de detritos angulares, que semejan pequeños glaciares y cuyos movimientos ladera abajo son consecuencia de la deformación del hielo intersticial o de los sedimentos congelados".

Según Krainer, (2001) los glaciares rocosos pertenecen al fenómeno periglaciario de más amplia expresión morfológica en la superficie terrestre. De acuerdo a un estudio del Servicio Mundial de Observación de los Glaciares (SMOG, 2000). Los actuales glaciares rocosos en las montañas, se están fundiendo a mayor velocidad de lo previsto, lo que podría provocar deslizamientos o movimientos de tierras. La mayoría de los glaciares rocosos o de valle tal como lo dice el SMOG³, se encuentran en proceso de retroceso y adelgazamiento de la masa, tal como se puede observar claramente en el glaciar San Francisco. Lo que queda de manifiesto en las formas heredadas que se visualizan en el valle, este fenómeno se le asocia al Calentamiento Global.(Fotografía 34, 36). En los sectores de mayor altitud de la cabecera, el material rocoso expuesto permite apreciar aristas rocosas que coronan el valle y que se han originado principalmente por procesos de crioclastia o gelifracción (Fotografía 35) que se presentan activamente en este material rocoso, pertenecientes mayoritariamente a las formaciones Abanico y Lo Valdés, en las cuales predominan los materiales ígneos en la ladera occidental con una matriz arenosa y

sedimentarios en la ladera oriental compuesta principalmente por calizas y rocas fosilíferas, materiales que facilitan los procesos erosivos.



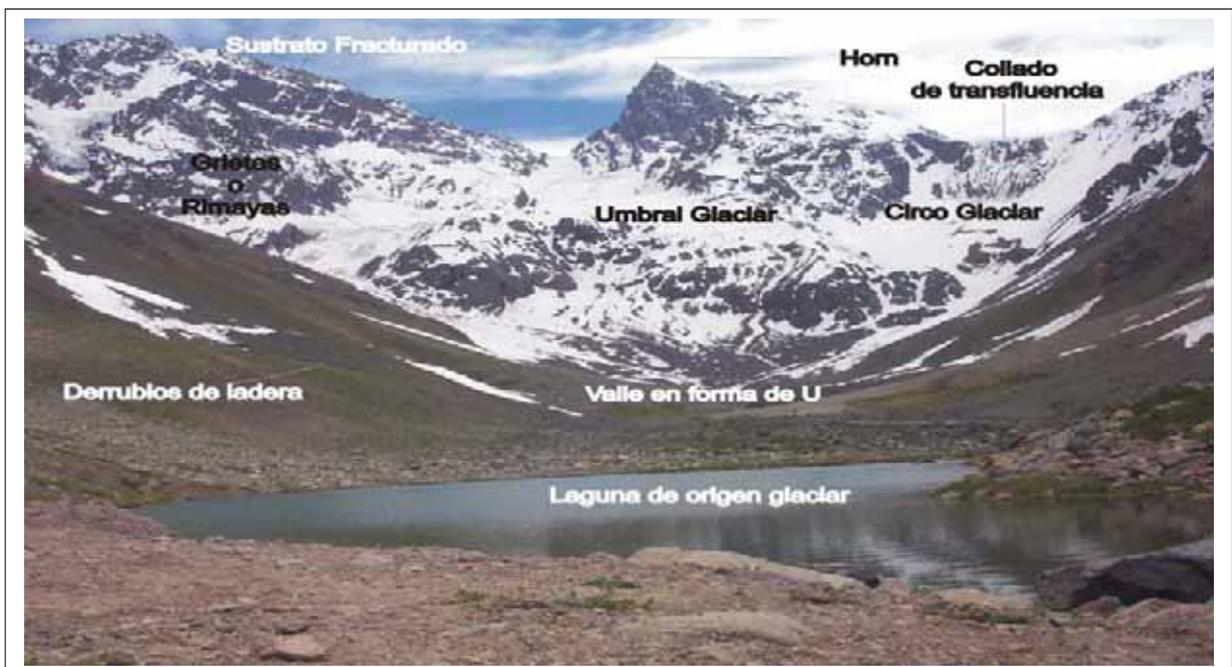
Fotografía 34: Material rocoso transportado el glaciar San Francisco (fotografía: Infante, N. febrero, 2006).



Fotografía 35: Proceso de crioclastia y/o gelifracción de rocas (fotografía: Infante, N. febrero, 2005).

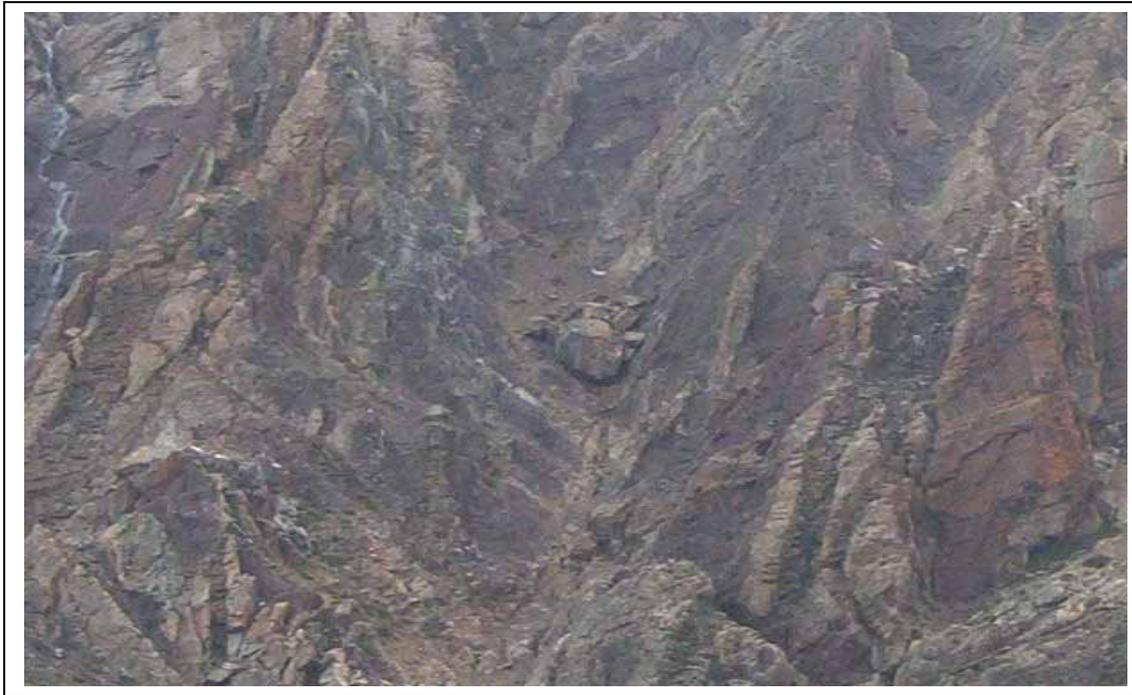
Valle glaciar

En el sector más alto, el valle posee una suave pendiente con formas heredadas, como depósitos morrenicos de material pedregoso de variado calibre, a los 2550 m. de altitud, con notorios pulidos glaciares aún no trabajados, que han originado ondulaciones, una laguna glaciar (a los 2450 m. de altitud) actualmente colmatada por material rocoso desprendido de las partes altas de las laderas. En este tramo el valle ha sido profundizado desde el centro del circo glaciar hacia la ladera oriental por el estero Morales el cual ha modificado el paisaje con su sinuoso comportamiento. Las laderas en este sector presentan una fuerte pendiente donde procesos de inestabilidad y parainestabilidad están presentes y son muy activos, generando acumulaciones de conos de aludes y conos de material rocoso desprendido a sus pies y con una marcada presencia de canales de aludes que facilitan el transporte de material desde las alturas, en la parte baja del valle, la cuenca cambia bruscamente de pendiente transformándose en escalones limitados por los arcos morrénicos de antiguas acumulaciones glaciares que se depositaron cuando aún el hielo no podía escurrir hacia el valle del río Volcán. En este sector el comportamiento de las laderas cambia, el valle se cierra aumentando la pendiente de ambas, diferenciándose en que a los pies de la ladera oriental el estero Morales profundiza generando una ruptura de pendiente de unos 50 metros, mientras que en la ladera occidental su base se encuentra ocupada por una sucesión de conos de material rocoso desprendido que enfrentan a una gran quebrada (quebrada el Ciruelo). El material rocoso expuesto cambia, en la ladera occidental el cerro Chacayes presenta claros indicios del desgaste producto de la erosión que en este sector se acentúa por la acción del viento.



Fotografía 36: Morfología glaciar presente en el Monumento Natural el Morado. Cordillera de los Andes, Chile Central (fotografía: Infante, N. diciembre, 2003).

Las rocas de la formación Colimapu compuestas de lavas andesíticas y conglomerados dan forma a los canales de aludes que se precipitan hacia la quebrada el Ciruelo depositando el material detrítico de variado calibre que de ellas se desprende (Fotografía 37, 38).



Fotografía 37: Material desprendidos desde las partes altas del cerro Chacayes y retenido a media ladera de fuerte pendiente, en un proceso de parainestabilidad, generando un riesgo potencial, para los visitantes al Monumento Natural el Morado (fotografía: Infante, N. enero 2006).



Fotografía 38: Dinámica de laderas, depósitos de nieve en las aristas rocosas que delimitan el valle (fotografía: Infante, N. septiembre 2005)

Al oriente con la profundización del estero Morales entre el cerro Rubillas y los depósitos morrénicos y aluvionales, la ladera compuesta por rocas pertenecientes a la formación Colimapu presenta una fuerte pendiente, y un notorio desgaste por erosión hídrica, sin embargo los materiales desprendidos de los sectores altos se depositan en el estero sin afectar la zona de depósitos morrénicos-aluvionales, disminuyendo de esta manera el riesgo en este sector. En el caso de los depósitos morrénicos laterales, el estero ha socavado dejando en evidencia los materiales glaciares de los cuales se compone. Estos depósitos de gran volumen que cubren toda la parte baja del valle y que en este sector presentan una pendiente pronunciada, producto de los avances y retrocesos glaciares, originaron formas que aún en la actualidad es posible observar (formas heredadas) que han sido afectadas por agentes hídricos (estero Morales, río Volcán), el clima (principalmente por las precipitaciones de tipo sólido y líquido) y más hacia el oriente por la acción antrópica.

En el material rocoso expuesto en la parte alta del cerro Rubillas perteneciente a la formación Lo Valdés, se identifican aristas rocosas y flujos de aludes que evidencian la dinámica actual de vertiente muy activa en todo el sector. (Fotografía 39)



Fotografía 39: Sector bajo de la ladera oriental del Monumento Natural el Morado. Nótese la gran pendiente en el sector, lo que facilita los procesos de traslado de material desde las partes altas a las deprimidas (fotografía: Infante, N. febrero, 2006).

Enlace con el río Volcán

El tercer sector perteneciente a la aldea de Baños Morales e identificado como el piso de Montaña, se encuentra compuesto por parte de los depósitos morrénicos que se extienden hacia el oriente sobrepasando el estero Morales, que han sido cubiertos por conos de aludes y glaciares. Este conjunto de materiales a su vez ha sido afectado por afloramientos hidrotermales que demuestran la influencia del volcanismo presente en el sector (complejo volcánico San José-Maipo). La acción antrópica ha modificado el paisaje, incorporando vegetación y estableciendo un asentamiento con viviendas dispersas localizadas en evidentes sectores de riesgo para la población.

En esta área la influencia glacial y fluvio-glacial es notoria en el modelado de todo el conjunto de depósitos. Las lomas con que cuenta esta gran masa de material y la composición de la misma (bloques, clastos y material fino de diferente calibre en forma caótica) manifiestan su origen e influencia, glacial, que ha sido alterada por la acción fluvial del río Volcán y estero Morales.

En general en todo el valle y dado a las fuertes pendientes presentes, los ambientes glacial y periglacial en que se encuentran los procesos de estabilidad, inestabilidad y parainestabilidad son frecuentes, siendo la inestabilidad la principal responsable del riesgo que existe a lo largo del actual sendero del Monumento, la fuerza adherente es superada ampliamente por la fuerza desplazante, pues, esta última se encuentra asociada a factores desencadenantes como pendiente, sismicidad del área, elementos y factores climáticos, mientras que la fuerza adherente se presentaría solo en el fondo del valle, donde las pendientes (principales generadoras de inestabilidad) son menores.

1.2.2. Glaciarismo de valle

Los antecedentes relacionados con el glaciarismo Cuaternario de los Andes Centrales Chilenos se han inferido de antecedentes mucho más generales, aquellos relacionados principalmente con el contexto cordillerano en que se localiza el área de estudio. Son escasos los estudios sobre las glaciaciones cuaternarias existentes para esta región de Chile (Ferrando, 2002)¹ y especialmente para el área de estudio donde se localiza la presente investigación.

En el caso de estudios al occidente de la Cordillera de los Andes, existen afirmaciones de diversos autores respecto de acumulaciones glaciares, los que han sido discutidos por estudios geomorfológicos, tal es el caso de Muñoz Cristi (1950) donde determinó morrenas de piedras pómez; Lliboutry, L (1956) determina piedras pómez en forma de morrenas y drumlins. Estos depósitos son conocidos en la actualidad como Pumacitas de Pudahuel y corresponden efectivamente a flujos de hidrocineritas provenientes de erupciones de volcanes andinos cuaternarios (volcán Diamante).

En Chile Central, entre el paralelo 33° 00' S y el 38°30' S, Brügger (1950)⁵ distinguió tres épocas glaciales, sin embargo, Borde (1966) reconoció solamente dos glaciaciones en el valle del río Maipo en la Cordillera de los Andes frente a la ciudad de Santiago (33°35' S). En el valle del río Cachapoal, frente a la ciudad de Rancagua (34°15'S), Santana (1967) describió los vestigios de un solo gran sistema morrénico, coincidiendo con Viers (1965), quien defendió la idea de una única glaciación Cuaternaria en la vertiente Argentina de los Andes a similar latitud.

En las fases glaciales definidas actualmente, se ha denominado como fase glacial los Queltehues a los depósitos morrenicos localizados a los 1700 m. de altitud (última glaciación) y como fase glacial San Alfonso a aquellos ubicados entre los 1100 – 1200 m. de altitud, Borde(1966), también reconoció un Tardiglacial que denominó fase Lo Valdés y finalmente, admitió la eventualidad de una glaciación maximal, más antigua y más poderosa, sin precisarla.

Los valles glaciares chilenos localizados en la cordillera de los Andes poseen características similares, sin embargo factores como la latitud y la altitud modifican los procesos y las formas que en ellos se van generando, proporcionando diferencias locales, una visión de los valles glaciares chilenos se obtiene considerando el estudio realizado por Rivera⁴ quien analizó glaciares de valle desde los 30° hasta los 40° de latitud sur. El estudio de dicho investigador proporcionó las peculiaridades de cada glaciar, sin embargo, no entrega las características de los valles en los cuales se encuentran. Los cinco glaciares estudiados incluido el de la presente investigación (Glaciar San Francisco), fueron seleccionados por un equipo de investigadores suizos (Ginot et al, 2000), quienes extrajeron testigos de hielo glaciar con el objeto de determinar las condiciones paleoclimáticas de los últimos 100 años y relacionar estas variaciones paleoclimáticas con el evento El Niño Oscilación Sur (ENOS).

A continuación se presentan los antecedentes de estos valles glaciares, para enmarcar el contexto en el cual se localiza el valle del glaciar San Francisco, un resumen de sus características se presenta en la tabla 8.

Glaciar Tapado

Localizado a los 30° 08' sur y 69° 55' W, de una superficie de 3,6 km² (Rivera et al 2000), se ubica cercano a la llamada Diagonal Árida de los Andes (Messerli et al 1998), este glaciar presenta características frías con temperaturas de menos de 8,5°C En superficie y menos de 12,5°C en la base del glaciar ubicada a una profundidad de 36 metros. El valle de este glaciar tiene una forma de círculo y es de tipo frío, drena hacia el sureste, dirección en la cual se extiende la lengua del glaciar. Este valle no posee un fondo definido, mas bien posee dos sectores de recepción de nieve independientes. La nieve al

fusionarse aporta caudal al estero las Tolas. La altitud influye directamente en que la nieve se encuentra acumulada no en los fondos de valle, sino que sobre la loma interfluvial.

Glaciar Juncal Norte

Este glaciar se encuentra ubicado a los 33° 02' S y 70° 06' W, posee una superficie de 9 km², se encuentra localizado en la cuenca alta del río Aconcagua. Este glaciar a experimentado un leve retroceso de su lengua terminal durante gran parte del siglo pasado (Rivera et al, 2000) su lengua terminal esta semicubierta por material morrenico especialmente en su parte baja donde una gruesa capa de detritos cubre el frente glaciar. Este glaciar es templado como lo indica la gran cantidad de agua superficial presente, además existía una gran cantidad de material morrénico que recubría el glaciar en su parte terminal con varios centímetros de espesor, el espesor máximo registrado es de 230 metros de hielo, observándose un adelgazamiento del hielo glaciar en su parte baja. El valle de este glaciar, se encuentra en sentido sur – norte, la lengua principal escurre desde los 5.900 hasta los 3.000 metros de altitud, el anfiteatro glaciar no posee verrou que estanque la salida de la lengua, al contrario esta ultima se desplaza por casi 3000 metros con un desnivel de 600 metros, que le otorga una pendiente media de 20%, analizando las curvas de nivel se obtiene la forma de embudo del glaciar, cerrándose el anfiteatro con una salida de 500 metros aproximadamente, mientras que el ancho máximo alcanza hasta los 2 kilómetros.

Glaciar Esmeralda

Este glaciar se encuentra ubicado a los 33° 24' s y 70° 13' w, posee una superficie de 4,8 km², según Marangunic 1979. Es de tipo frío por su altitud y ausencia de agua de fusión en superficie, el espesor máximo medido fue de 95 metros. Presenta un umbral y la lengua de hielo escurre en dos direcciones, la localización de la acumulación no es un valle propiamente si no mas bien una quebrada que aloja la nieve y la lengua del glaciar, es parte de un sistema mucho mayor que comprende la ladera oriental del cerro del Plomo.

Glaciar Casa Pangué

Se encuentra localizado a los 41° 07' S y 71° 51' W, se ubica en la ladera norte del monte Tronador a una altitud de 3.432 metros. La superficie del glaciar esta cubierta con detritos de material morrénico (compuesto por bloques y sedimentos finos), se trata de un hielo templado en una baja altitud con presencia de agua en superficie y un fuerte proceso de ablación de un espesor aproximado de 30 centímetros. La disposición del valle perteneciente a este glaciar se compone de 2 tramos uno en sentido oeste-este y otra en sentido sur-norte que es la lengua glaciar propiamente dando origen al río Peulla, el valle no

se encuentra a gran altitud apenas hasta los 2.000 metros, es parte de una estructura glaciar mayor que se encuentra coronando el monte tronador, las laderas poseen una pendiente pronunciada dificultando la acumulación de nieve concentrándola en el fondo del valle, por lo tanto la forma del valle es de un cajón actualmente socavado por el río, la orientación de la cabecera es de solana, apresurando el proceso de fusión.

Durante las últimas décadas, la mayor parte de los glaciares del país han experimentado un importante retroceso, adelgazamiento y pérdida de superficie (Rivera et al; 2000, Aniya et al 1997), debido a las tendencias de aumento de las temperaturas y disminución de las precipitaciones detectadas en gran parte del país (Rosenbluth et al 1997), lo que ha contribuido significativamente al aumento global del nivel del mar (Aniya 1999, Rivera et al 2000).

Este proceso de deglaciación ha tenido efectos negativos en términos de los volúmenes de reserva sólida (hielo) existente en la cordillera andina, en Chile central se han detectado pérdidas de hasta un 50 % de la masa de algunos glaciares en los últimos 50 años (Rivera et al; 2000b), esta situación se aprecia en los caudales de las cuencas de régimen glaciar donde el agua de fusión en verano puede representar mas del 68 % del caudal total (Peña & Nazarala 1987,).

Al realizar una analogía entre el valle del glaciar San Francisco con los valles antes mencionados se pueden observar algunas similitudes tales como:

Todos son de origen glaciar, por lo cual presentan formas heredadas aunque en la actualidad se encuentran muy influenciados por la dinámica de vertiente y los cursos fluviales que dan origen o aportan caudal a cursos fluviales cordilleranos.

Los materiales que los valles poseen en su base corresponden a depósitos morrénicos sobre los cuales se han depositado los materiales rocosos desprendidos de las laderas debido a los procesos de crioclastía, generando un glaciar rocoso o negro en el frente con espesores de material rocoso que pueden ser de pocos centímetros a varios metros, detrás de este frente glaciar se aprecia un glaciar blanco con una gran acumulación de nieve y hielo que puede llegar a alcanzar hasta 95 metros de profundidad. Los valles poseen una lengua glaciar que entrega la característica estructural de la forma en U y que en la actualidad están profundizados por un drenaje preferentemente de tipo arborescente.

Nombre	Orientación	superficie	Tipo de emplazamiento
Glaciar Tapado	sureste	3,6 km ²	Valle
Glaciar Juncal Norte	sur – norte	9 km ²	Valle
Glaciar Esmeralda	sur – norte	4,8 km ²	quebrada
Glaciar Casa Pangué	oeste-este y sentido sur-norte	3,6 km ²	ladera

Tabla 8: Resumen de características de valles glaciares

1.2.3. El valle del glaciar San Francisco: formas de modelado

El piso glaciar de la unidad glaciar San Francisco, se encuentra localizado sobre los 2.500 metros de altitud sólo en la cabecera de la cuenca (extremo norte), desde la coordenada 6.263.000 m. norte (UTM). En él se presenta una constante permanencia de nieve, localizada en los circos glaciares y enmarcada por los afloramientos rocosos del área de estudio. Posee aproximadamente 4,35 Km. de longitud. desde la línea de altas cumbres hasta la confluencia de las quebradas que dan origen al estero Morales.

Dentro del ambiente glaciar se pueden identificar varias formas heredadas tal es el caso de un gran circo glaciar originado por circos de menor tamaño los que se encontraban independientes unos de otros, estos, con el transcurrir el tiempo geológico y bajo la acción de intensos procesos de erosión (crioclastía y/o gelifracción), se unieron para conformar el circo actual, el cual se encuentra muy bien definido por las aristas rocosas que lo circunscriben.

Dentro de este ambiente destaca una estructura rocosa en cabecera que actuó como una barrera para los circos de la parte alta del glaciar el cual la modeló generando tres umbrales glaciares siendo el central el de mayor envergadura, haciendo fluir los hielos, la nieve y el agua de fusión hacia el centro del valle dando origen al estero Morales, los cambios estacionales invierno (junio, julio, agosto) verano (enero, febrero, marzo), permiten observar como esta estructura en época invernal se cubre de nieve que al derretirse actúa como agente modelador y de alteración (Fotografía 40).

La configuración glaciar se compone de 5 cuencas de recepción 2 en altura y 3 en el sector medio, que al confluir originan 3 lenguas de material glaciar (Fotografía 41 y 42), una de estas fluye hacia el vecino valle del Morado dando origen a una importante laguna glaciar. Parte de la morfología heredada también esta compuesta por la gran acumulación de material morrénico heterogéneo que se encuentra a los pies del umbral glaciar, formando una lengua de tono oscuro de aproximadamente un kilómetro de longitud, que correspondería a una antigua morrena de fondo. Estacionalmente en este piso se producen eventos de movimientos o desplazamientos en masas, con derrumbes y avalanchas, una dinámica de vertiente muy activa en los cerros Morado y Mirador del Morado en la época de deshielo (septiembre-febrero). En este piso se encuentra el nacimiento del estero Morales cuyo origen es el deshielo del glaciar.

En el actual ambiente periglacial existen formas heredadas glaciares que continúan siendo alteradas por la acción de agentes geomorfológicos, entre las que se encuentran:

Aristas rocosas, esta forma se debe al antiguo valle glaciar, que se encontraba cubierto por el Glaciar San Francisco, la masa glaciar en su avance hacia el valle del río volcán desgasto las paredes del valle, modelando parte de las aristas, en conjunto con los procesos de crioclastía o gelifracción que acentuaron el accionar del hielo.



Fotografía 40: Sistema de cavernas glaciares por donde afloran las aguas que dan origen al estero Morales en el ambiente glaciar (fotografía: Infante, N. febrero, 2006).



Fotografía 41: Lengua glaciar cubierta por material rocoso, desprendido de las laderas de los cerros circundantes (fotografía: Infante, N. febrero, 2006).



Fotografía 42: Depósito morrénico reciente , dejado por el glaciar San Francisco a 2550 m. de altitud (fotografía: Infante, N. febrero, 2006).

Depósitos morrénicos, estos depósitos caóticos se encuentran en el origen y a ambos costados del estero Morales uno localizado al oriente del estero en el sector de Aguas Panimávidas y otro ubicado más al sur frente a los conos de material rocoso desprendido del cerro Chacayes, el cual ha sido recubierto con materiales detríticos desprendidos de las partes altas de la cuenca.

Laguna glaciar, la laguna glaciar llamada comúnmente laguna Morales debe su origen a los vestigios de glaciar homónimo que en la actualidad se encuentra en la parte alta de la cabecera de la cuenca, esta íntimamente relacionada con la cuenca de sobreexcavación generada a su alrededor y que continuamente es rellenada por material rocoso proveniente de las laderas, la laguna presenta una profundidad máxima de 4 metros y año a año es colmatada por las rocas que se depositan en ella.

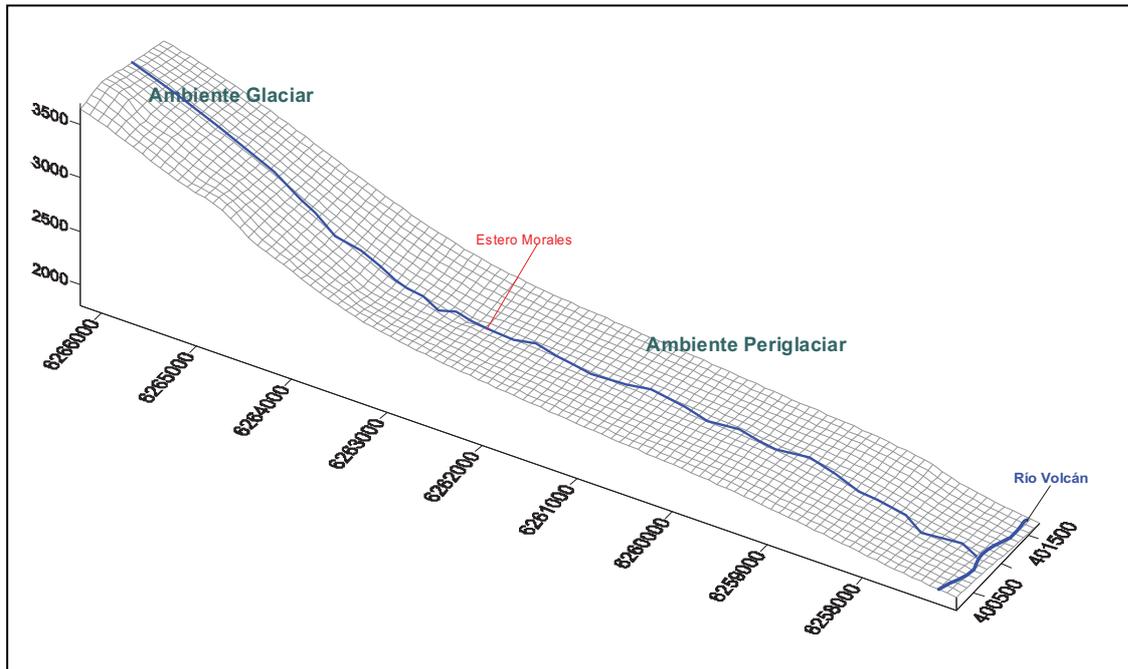


Figura 9: Ambientes morfoclimáticos presentes en el valle del actual estero Morales y antiguamente ocupado por el glaciar San Francisco. (Infante, N. 2007).

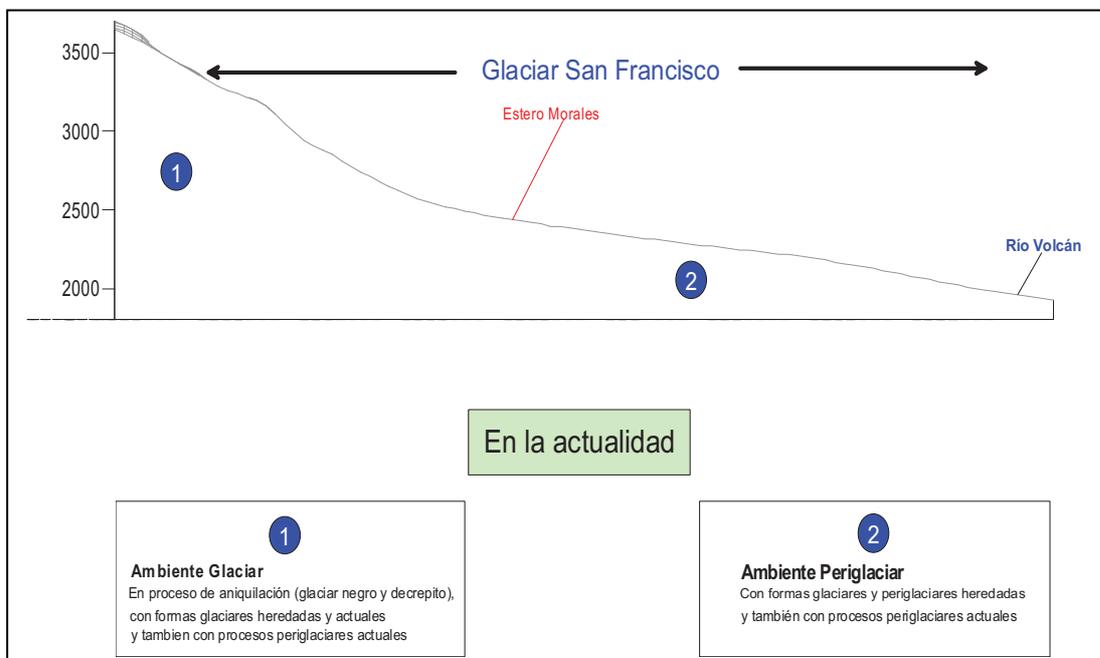


Figura 10: Esquema de la dinámica actual del valle del estero Morales. (Infante, N. 2007).

1.2.4. Geomorfología en el actual dominio periglacial

Dentro de los dominios morfoclimáticos o sistemas de procesos climáticos existentes, para el caso en estudio el que interesa es el de tipo frío, debido a las características del área de estudio, por encontrarse localizada en un ambiente cordillerano que varía entre los 1.800 y 4.750 m de altitud.

El contexto morfoclimático en el cual se presenta el área, ha sido definido con anterioridad por otros autores, en 1965 Tricart realiza una primera aproximación de los pisos morfoclimáticos del planeta, en esta se puede apreciar como todas las áreas montañosas aparecen como una región accidentada, donde el escalonamiento juega un papel importante (color rojo de la figura 11), en esta figura todo el territorio de América del Sur donde se sitúa la Cordillera de los Andes se encuentra dentro del dominio morfoclimático antes descrito (incluido el territorio de Chile Continental).

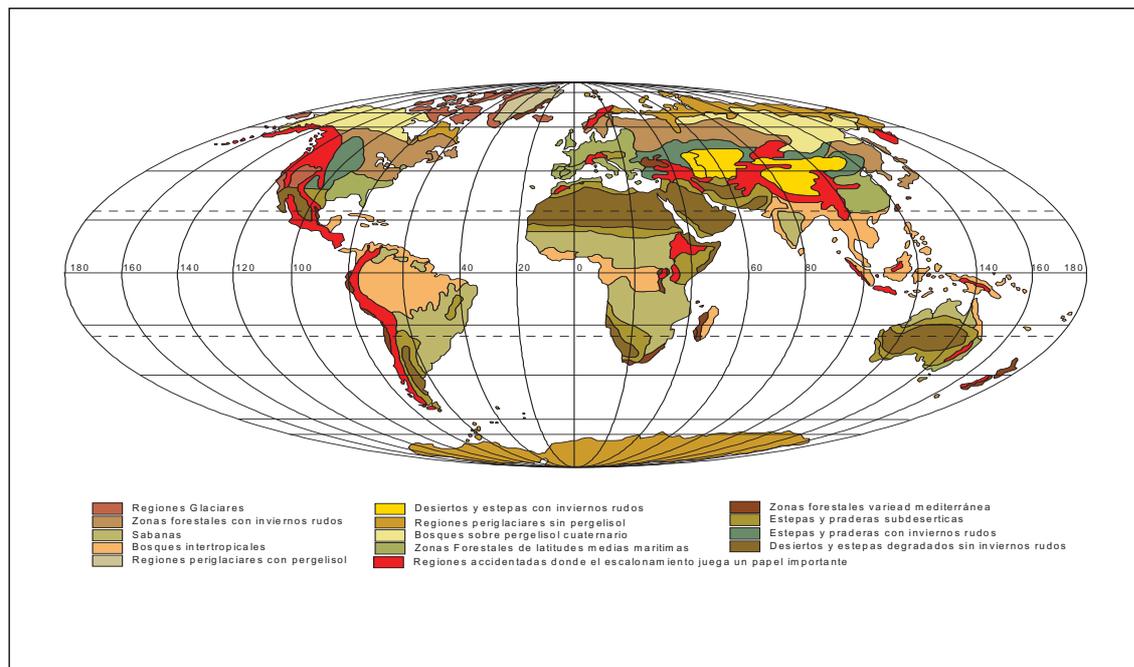


Figura 11: Descripción de los Dominios Morfoclimáticos propuesto por Tricart, J. (adaptado por Infante, N. 2007).

En el valle del estero Morales, el dominio periglacial se extiende desde los 2.000 a 2.500 metros de altitud, se caracteriza por poseer nieve durante seis meses en el año aproximadamente, posee una dinámica de flujos aluviales generada por la exposición de afloramientos rocosos en los sectores altos, en los cuales los agentes geomorfológicos activan los procesos erosivos que generan desprendimiento de material detrítico formando conos de deyección y canchales, en los sectores bajos (Fotografía 43).



Fotografía 43: Conos y canchales a los pies del cerro Chacayes. (fotografía: Infante, N. septiembre 2005).

Este piso incluye todas las formas originadas principalmente por los depósitos cuaternarios, conos de material rocoso, laguna glaciar, arcos morrenicos y morrenas, cicatriz de desprendimiento, conos de aludes, valle en U y aristas rocosas en las cumbres de los cerros que enmarcan la cuenca. En él se identifican tres sectores:

Sector Laguna Morales

Se extiende en dirección sur, dentro del piso periglacial, posee una longitud aproximada de 2 kilómetros, en él se sitúa la Laguna Morales su pendiente es aproximadamente de 10° y menor debido a lo cual predominan los procesos de depositación por sobre el arrastre (erosión) en el comportamiento del estero. Se encuentra enmarcado por un arco morrenico en su limite sur.

Sector Aguas Panimávidas

Tiene una longitud de 2,8 a 3 kilómetros, aproximadamente. En él se encuentra la Zona de Vegas, generadas por infiltración de aguas de deshielo. Posee mayor vegetación que los otros pisos, la pendiente aumenta en sentido sur hasta confluir con el río Volcán, por lo cual erosiona profundizando en el piso del valle, además, en el final de este piso el estero Morales se dirige hacia el oriente debido a la presencia de un arco morrénico muy marcado.

Sector de Depósitos Morrenicos

Tiene una extensión aproximada de 1,2 a 1,5 kilometros, en sentido norte sur, en la parte alta el estero profundiza violentamente generando una ruptura de pendiente superior

a 40°, con objeto de entregar sus aguas al nivel de base local (1.790 metros de altitud), al confluir (enlazar) con el río Volcán. Los depósitos morrénicos no presentan un arco perfecto debido presuntamente, a un deslizamiento o a un desmoronamiento de material producto de la erosión generada por el río Volcán. Posteriormente hacia el sur, continúa el desarrollo del material morrenico en una extensión de 500 metros; de acuerdo a la opinión de geólogos que han trabajado en el sector (Thiele, R, 1980 ; Charrier, R, 2003 ; González Ferrán, 1978), se puede inferir que los depósitos antes mencionados, son del Würm, Cuaternario reciente. Al analizar el perfil de este sector y verificando en las salidas de campo, se identificaron terrazas fluviales de poca envergadura y longitud variable.

1.2.5. Morfodinámica actual

En la actualidad la geomorfología del área se encuentra diferenciada por las formas heredadas tanto en el ambiente glaciar como periglaciar, en el primero el glaciar relicto de cabecera influye notoriamente en los depósitos, en los procesos y en las microformas del relieve. Según Rivera & Cassasa (2002), el glaciar San Francisco tiene una superficie de 1,9 km², es de tipo temperado como lo evidencia la presencia de agua superficial. En su parte alta se encuentra cubierto de nieve mientras que en la parte baja se encuentra recubierto de una amplia capa de detritos que varía en espesor de unos cuantos centímetros hasta un par de metros, posee un espesor de hielo de unos 60 metros y presenta gran cantidad de grietas, en algunos sectores tiene profundidades mayores a 91 metros y 61 metros en la parte baja (Figura 12 y 13) (parámetros obtenidos por mediciones de radio eco sondaje).

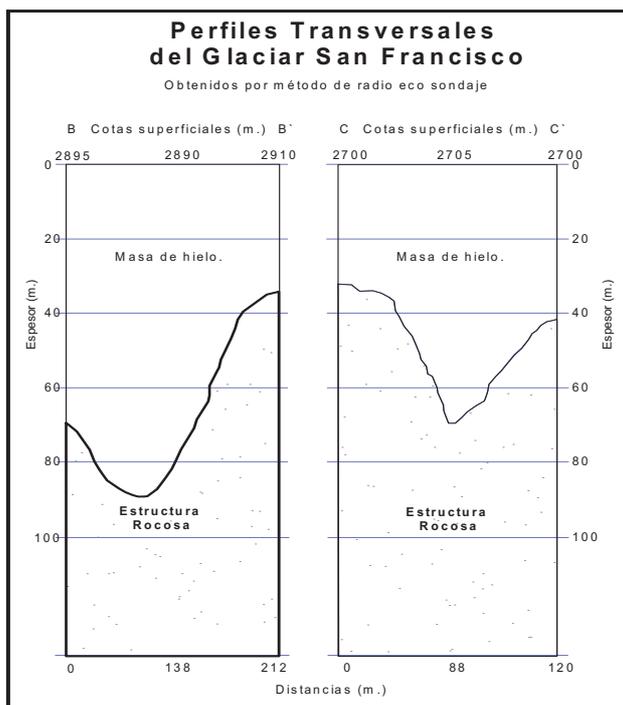


Figura 12: Espesor del Glaciar San Francisco en perfiles transversales B-B' y C-C'. Tomado de "medición de espesor en glaciares de Chile centro – sur". 2001. (digitalizado por Infante, N. 2007).

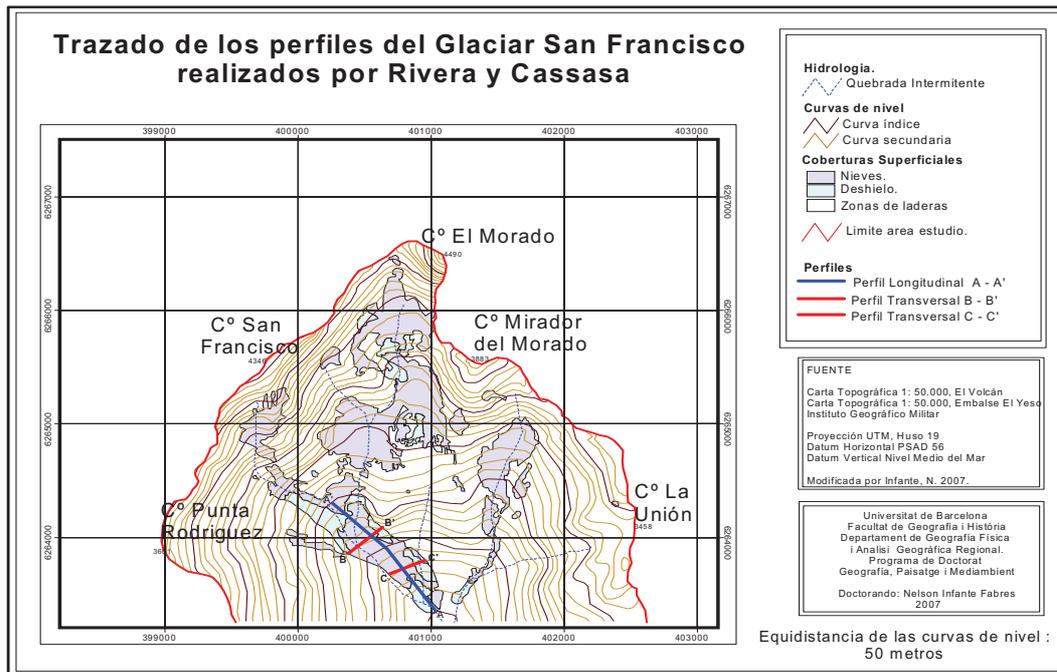


Figura 13: Localización de los perfiles realizados por Ribera y Cassasa en el Glaciar San Francisco, (Medición de espesor en glaciares de Chile centro – sur, 2001) (digitalizado por Infante, N. 2007).



Fotografía 44: Masa de hielo bajo material detrítico ubicada al noreste del glaciar San Francisco (fotografía: Infante, N. febrero, 2006).

Lo que queda del glaciar son dos lenguas siendo la mas importante la medida por Rivera que se encuentra en el sector noroeste de la cabecera de la cuenca, la otra lengua proviene del sector noreste y se extiende hacia el suroeste, se forma como un producto de la acumulación de nieve en el gran circo que se encuentra en ese sector. Ambas lenguas se

encuentran cubiertas en la base con material detrítico proveniente de la erosión de las laderas lo que entrega las características de glaciar negro (Fotografía 44).

El Glaciar puede estructurarse en tres zonas, de acuerdo a la altitud en que se encuentra, en primer lugar una zona de encajonamiento en la parte alta de la quebrada por donde se desplaza, luego una zona de ablación cubierta de nieve en la cual se generan activos procesos de desprendimientos y avalanchas y en el sector más bajo aproximadamente a los 2500 metros de altitud que corresponde al frente y lengua, un glaciar cubierto de material detrítico que permite inferir el evidente estado de retroceso de este en las últimas décadas (Fotografía 45).



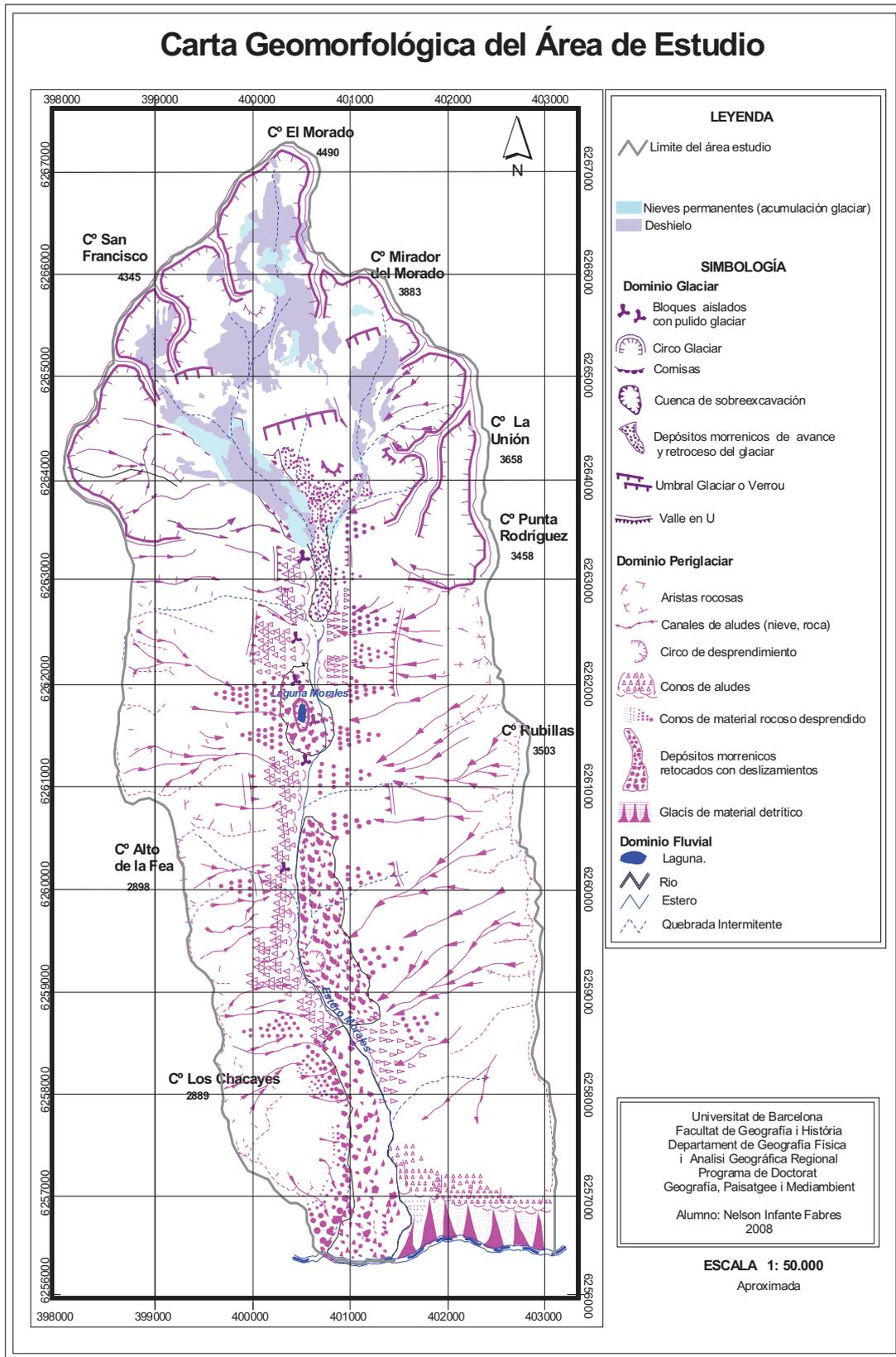
Fotografía 45: Zonas del glaciar San Francisco: 1. Encajonamiento; 2. Frente y ablación; 3. Frente de otro emisario de lengua glaciar (fotografía: Infante, N. octubre, 2005).

La dinámica actual de laderas se encuentra definida por las formas, la orientación y los componentes que estructuran a ambas vertientes.

La ladera oriental se encuentra compuesta por tres sectores altitudinales en sentido norte sur, el primero de ellos se estructura con rocas de las formaciones Colimapu, Abanico y Lo Valdés. En este sector hay una ruptura de pendientes significativa (mayor a 50 metros), que se encuentra sometida a la constante actividad del estero Morales, que ha erosionado y profundizado parte de los depósitos morrénicos y parte de la ladera del cerro Rubillas.

La pendiente media en este sector alcanza los 60° dificultando la formación de agrupaciones vegetales que ayuden a crear suelo en esta ladera, por lo tanto todos los desniveles como quebradas son utilizados como canales de aludes por lo que se desplazan los desprendimientos rocosos provenientes de las partes altas producto de la gelifracción.

1.2.6. Síntesis. El mapa geomorfológico



Mapa 3: Carta geomorfológica

La cuenca hidrográfica del estero Morales a pesar de su tamaño, de 2935,9 ha. aproximadamente, se caracteriza por presentar una innumerable variedad de formas geomorfológicas, entre estas destacan los circos glaciares, laguna glaciar, afloramientos rocosos sometidos a crioclastía, acumulación de nieve perenne, umbrales o verrou, conos de aludes, valle en forma de U o artesa glaciar, morrenas, canales o flujos de aludes, conos de material rocoso, glacis, depósitos hidrotermales e interesantes procesos de erosión por acción hídrica generada por el estero Morales.

En esta carta se aprecian dos ambientes morfoclimáticos muy bien definidos, es así que la parte alta de la cuenca corresponde a un anfiteatro de altas cumbres que supera los 4000m. de altitud y pertenece al ambiente glaciar, mientras que más al sur de este ambiente se ubica el ambiente periglacial.

El ambiente periglacial durante 6 meses del año tiene un clima frío y esta cubierto de nieve, alcanzando en la parte baja del área entre 3 a 4 metros, esto permite inferir que en la parte alta de la cuenca, este manto de nieve es de mayor envergadura duplicándose fácilmente.

En el ambiente glaciar es posible distinguir un gran circo glaciar, el que se ha originado por la unión de pequeños circos glaciares, los que con el transcurrir el tiempo geológico se han unido por procesos de crioclastía o gelifración, dando como resultado un circo de gran envergadura que sigue la estructura de los afloramientos rocosos de las partes altas de la cuenca del estero, alcanza un arco de más menos 9 kilómetros.

En este ambiente glaciar se distinguen además 4 umbrales glaciares los que actúan como escalón para el desplazamiento de la nieve en verano, por el contrario en invierno estos umbrales son cubiertos por la nieve que precipita en el área.

Se observa además los mantos de nieve permanente o perpetua los que no se logran fundir durante el verano, estos mantos de nieve en general, en la cordillera se ven afectados por el Fenómeno del Niño y de la Niña (ENOS), es así que se tienen años lluviosos con gran acumulación de nieve e intensas precipitaciones, en otros casos se tienen años secos donde logran subsistir solamente aquellas áreas de nieve perpetua o perenne.

Se aprecia además, la lengua de material morrenico de glaciar rocoso, alpino o negro, la que se extiende hasta la coordenada 6262500 (UTM), esta morrena se aprecia claramente en la fotografías aéreas Haycon 1955, Geotec 1996, SINIA 2001; en los tres casos y en casi 50 años de variación temporal no se aprecia un cambio (avance o retroceso) de esta lengua glaciar.

Ambiente periglacial, esta área se caracteriza por sufrir cambios estacionales de hielo-deshielo, destacan importantes formas geomorfológicas, tales como, aristas rocosas que correspondían a antiguos circos glaciares, los que fueron afectados por intensos procesos erosivos derivados de la acción del hielo y del tiempo, laguna glaciar, canales de

aludes, afloramientos rocosos de diversas formaciones geológicas, valle en forma de U o artesa glaciar, vegas, cuenca de sobreexcavación, conos de aludes, morrena frontal, glacis y confluencia fluvial entre río Volcán y estero Morales.

Área periglacial antropizada, lo más destacable de este sector es la expansión que ha experimentado la aldea de Baños Morales entre los años 1955 y 2001, sin embargo, esta expansión con la respectiva localización de las viviendas no ha considerado los riesgos geomorfológicos presentes en el área, por encontrarse al pie del cordón montañoso formado por el cerro Rubillas de permanente actividad de desprendimientos rocosos, elemento de importancia debido al riesgo sísmico al que esta sometido no tan sólo el sector sino todo el territorio nacional, ejemplo de esto es el sector las Melosas, ubicado al sur del área de estudio, aproximadamente a 10 km. en el mismo eje longitudinal, siendo este sector uno de los más activos de los Andes Centrales de Chile.

En la representación de los fenómenos presentes en el área de estudio se han debido confeccionar y/o adaptar símbolos de acorde con la Leyenda del Mapa Geomorfológico de Francia. Éstos corresponden a los fenómenos de aristas rocosas, flujos o canales de aludes, cubetas de sobreexcavación, conos de material rocoso, depósitos morrenicos de glaciar rocoso o negro, etc. etc.

Símbolos utilizados en la generación del mapa geomorfológico

La selección de los símbolos utilizados en la confección de la carta geomorfológica del área de estudio se ha realizado considerando los principios de la Leyenda del Mapa Geomorfológico de Francia (Tricart, J, 1971)⁶, que se ha adaptado al caso en estudio.

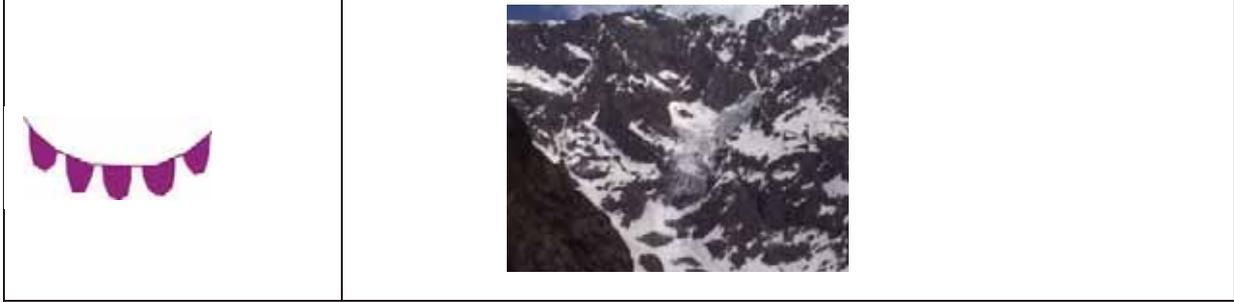
Dominio Glaciar	
Fenómenos glaciares	
Circo Glaciar	
	
Valle en U	



Verrou o Umbral Glaciar



Cornisas



Aristas Rocosas



Cuenca de sobreexcavación



Dominio Periglacial

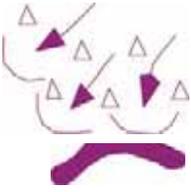
Acciones mixtas

Cicatriz de desprendimiento

C	
	

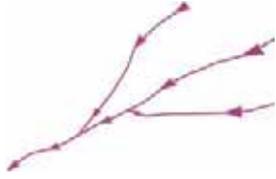
Formas y manifestaciones subordinadas

Bloques glaciares

	
Glaciar rocoso	



Formas policíclicas	
Nivel de excavación en una acumulación	
Borde abrupto de terraza	
	
Depósitos morrénicos retocados con deslizamientos	
	
Conos de material rocoso	
	

Canales de Aludes	
	

En el caso de los símbolos adaptados es posible mencionar algunos de estos:

Símbolo de la leyenda	Símbolo utilizado
Conos aluviales	Conos de material rocoso
Ombbligo	Cuenca de sobreexcavación

Tabla 9: Símbolos adaptados de la Leyenda del Mapa Geomorfológico de Francia para ser utilizados en el área de estudio.

Y por lo que respecta a los creados: En el caso de los símbolos creados:

Símbolo	Significado
<p>Aristas rocosas</p> 	<p>Corresponden a antiguos circos glaciares alterados localizados en la parte alta de las paredes rocosas, expuestas y sometidas a los procesos de gelifracción o crioclastía.</p>
<p>Flujos o canales de aludes</p> 	<p>Corresponden a los corredores permanentes de aluviones que se activan por gravedad, precipitaciones y/o sismicidad.</p>

Tabla 10: Símbolos creados, para ser utilizados en el área de estudio



1.3. Las condiciones climáticas

En este capítulo se presentan las principales características climáticas, utilizando información de estaciones meteorológicas cercanas, debido a la inexistencia de información propia del sector (figura 14).

Se elaboró una estación meteorológica virtual (llamada Laguna Morales), con los datos de precipitación y temperatura de las estaciones próximas, con el objetivo de caracterizar los valores de estas variables en el área de estudio.

En el caso de los elementos del clima: la temperatura, adquiere un valor significativo, pues, a medida que se asciende, disminuye de acuerdo al gradiente térmico vertical de $0,65^\circ$ Celsius cada 100 metros. Por su parte, la humedad y la precipitación presentan notables diferencias relacionadas con las precipitaciones de tipo orográficas y frontales presentes en esta área cordillerana.

En relación a los factores del clima los que mayor influencia tienen son; la orientación de la cuenca (norte-sur) y la altitud.



Figura 14: Localización de las estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio cuyos registros fueron utilizados en la generación de los datos de la Estación ficticia Laguna Morales (Infante, N. 2006.)

El clima de la zona centro de Chile, está afectado por el fenómeno de El Niño Oscilación Sur (ENOS), que corresponde a aguas normalmente cálidas que aparecen cada ciertos años, desplazándose a través de la costa sudamericana en sentido norte sur, generando importantes alteraciones en la fauna marina, “actualmente se sabe que corresponde a un fenómeno natural de interacción océano-atmósfera que ocurre en la

región del Pacífico Intertropical en forma cíclica”⁸, donde la temperatura del mar es más cálida que lo normal, en una extensa área entre las costas Sudamericanas y Oceanía.

En Chile este evento cada cierto tiempo genera condiciones cálidas en la costa, ya que esta asociado a la disminución de la presión atmosférica, este aumento de la temperatura del agua marina inhibe la surgencia desde las profundidades del océano, generando un aumento en la temperatura del aire en 1°C a 2°C sobre lo normal, lo cual se aprecia claramente en el sector costero del centro del país.

El elemento del clima que más se ve afectado por el ENOS corresponde a la humedad y dentro de esta a las precipitaciones, influenciando notablemente desde las regiones de Atacama hasta la del Maule con un aumento importante tanto en la intensidad como en la cantidad, generando graves problemas en la infraestructura y economía de centros poblados lo que ha llevado a considerar a las precipitaciones asociadas a este fenómeno como desastre natural (inundaciones principalmente).

Debido a que la humedad es un elemento del clima afectado por este fenómeno y analizando el comportamiento de las precipitaciones en las tres estaciones meteorológicas estudiadas, es posible establecer periodos bajo la acción de este evento, en la tabla nº 9, se exhiben los años en que se presentó el evento El Niño, en ellas esta variable supera los 800 milímetros como promedio.

La dirección meteorológica de Chile (DMC) ha identificado para la ciudad de Santiago (único referente próximo al área de estudio), siete años donde se presentó el fenómeno El Niño, 1965, 1972, 1976, 1982, 1986, 1992 y 1997, estos años se consideraron de acuerdo a los registros históricos de temperatura superficial del mar e información satelital en el Pacífico ecuatorial, además un patrón que la DMC entrega es que en la mayoría de los años se registra una precipitación superior a la media normal anual (Tabla 11).

En los años en que se registro mayor precipitación, en las estaciones meteorológicas en estudio, se generaron algunos fenómenos meteorológicos anormales en la Región Metropolitana de Santiago que permiten sustentar esta identificación. Es así que en el año 1982, las precipitaciones generaron el desborde del río Mapocho (río que cruza la ciudad de Santiago) y el río Maipo en comunas localizadas al poniente de la ciudad, con corte de puentes y caminos llegando a declarar esta situación como desastre natural, en 1987, las precipitaciones generaron un aluvión de proporciones en el río Colorado, y en el año 1997, se producen temporales acompañados de inundaciones desde la Región de Atacama hasta la Región del Biobío.

Eventos El Niño, según años de ocurrencia.													
año	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total Anual
1963	0,00	0,00	0,00	15,00	75,60	131,50	328,90	0,00	192,20	43,50	69,70	0,00	856,4
1965	0,00	0,00	0,00	0,00	69,50	56,30	100,50	471,00	16,50	85,90	87,00	5,5	892,2
1972	0,00	0,00	14,5,0	6,50	492,50	481,50	58,50	242,5,	155,00	130,00	56,00	0,00	1637,0
1977	0,00	0,00	0,00	3,00	139,50	424,00	381,00	112,5,	5,50	55,50	98,50	3,50	1223,0
1978	7,50	0,00	1,00	21,50	56,50	132,00	671,00	40,00	49,00	71,50	114,00	1,50	1165,5
1980	11,00	19,5	0,00	27,00	372,50	205,00	156,00	16,50	58,00	2,50	16,00	2,50	886,5
1982	0,00	0,00	7,00	53,50	240,60	842,50	479,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1622,6
1987	0,00	0,00	0,00	129,50	103,00	129,00	778,00	394,00	28,00	105,00	0,00	0,00	1666,5
1997	7,00	0,00	0,00	52,00	164,50	715,50	83,00	187,00	256,00	60,50	5,00	1,00	1531,5
2000	0,00	0,00	11,50	53,00	34,50	559,50	90,20	1,00	128,20	0,00	23,00	0,00	900,9
2001	0,00	54,00	0,00	59,30	86,50	73,00	428,90	165,50	18,00	27,00	0,00	0,00	912,2
2002	0,00	0,00	27,30	60,50	145,00	180,00	105,00	216,00	66,00	2,00	1,50	5,50	808,8

Tabla 11: Años identificados con el evento de El Niño de acuerdo a la precipitación total anual, para las estaciones meteorológicas utilizadas en la investigación.

1.3.1. Descripción climática del área de estudio

Los antecedentes climáticos del área de estudio hacen referencia a una zona más extensa que el territorio propuesto a investigar, pues, no existen datos locales ni estaciones meteorológicas en la zona que permitan caracterizarla.

El clima de la Región Metropolitana de Santiago se encuentra clasificado como de tipo mediterráneo, Csb1, de acuerdo a la clasificación climática de Köppen debido a su distancia al mar y a la presencia de la Cordillera de la Costa, que es un freno a la influencia marina. Al tratarse de un clima mediterráneo, se caracteriza además por su variedad y por sus pronunciados acentos en las particularidades locales regionales (microclimas), los cuales, como se verá más adelante, son posibles de observar claramente en la zona del Cajón del Maipo.

En general, se distinguen dos tipos de climas: uno *templado de tipo mediterráneo* y un *clima frío de altura*. El primero que se desarrolla en toda la Región, excepto en la Cordillera Andina. Se caracteriza por el hecho de que el periodo de lluvias se concentra en los meses de invierno (mayo a agosto) y el resto del año es seco, aunque excepcionalmente llueve entre los meses de noviembre y marzo.

El promedio anual de agua caída es de 312 mm. en la cuenca de Santiago, aumentando considerablemente hacia el este (las zonas cordilleranas), registrándose en la ciudad de San José de Maipo 614 mm.

La orientación del relieve influye en la distribución de las precipitaciones al intervenir en la ruta de las masas de aire definiendo la cantidad de agua caída.

La ciudad de San José de Maipo, emplazada a 967 metros de altitud en el Valle del Cajón del Maipo, presenta una temperatura media anual de 13°C (bastante cercana a la temperatura media anual de 14°C de la ciudad de Santiago). Los vientos de montaña y de valle se alternan diariamente influidos por el recalentamiento diario del aire, que es más acelerado en el valle que en los sectores cordilleranos. Entre los 1.000 m. y los 1.500 metros de altitud se produce un cambio gradual desde un clima mediterráneo a un clima frío de altura (conocido también con el nombre de clima de montaña).

El clima de la Cordillera de los Andes se caracteriza por la abundancia de nieve, el ritmo de las nevadas y su fusión. La nieve por sobre de los 2.000 metros de altitud se mantiene durante cuatro a cinco meses, desde mediados de mayo hasta septiembre o mediados de octubre, dependiendo del tipo de año lluvioso o seco. La presencia de El Niño o La Niña, los que afectan considerablemente las precipitaciones tanto líquidas como sólidas, en el valle medio-superior del Cajón del Maipo, hasta los 1.000 –1100 m., de altitud se puede afirmar que el clima es de tipo mediterráneo, y por sobre los 1200 m., de altitud se comienzan a sentir los efectos característicos de un clima de Montaña.

El calor en los valles encajonados aumenta durante el periodo estival pero los fríos son penetrantes en las horas de la mañana y de la noche. Se presentan precipitaciones torrenciales que duplican las de la Cuenca de Santiago y durante cuatro a cinco meses del año nieva generalmente a partir de los 1.200 metros de altitud.

Los elementos que afectan principalmente a las características climáticas a partir de la ciudad de San José de Maipo hacia el oriente en el valle del Cajón del Maipo corresponden a una disminución de la presión atmosférica producto del aumento de altitud, lo que genera cambios en la predominancia y magnitud de los vientos tanto en los periodos estival como invernal. La temperatura, a medida que se asciende, disminuye y a esto se debe agregar que el área de estudio se encuentra en la ladera occidental de la Cordillera de los Andes en un ambiente mixto periglacial y glacial. En el periodo invernal y a medida que se asciende, las precipitaciones se transforman de líquidas en sólidas. En invierno la isoterma 0° C se localiza aproximadamente hacia los 1200 metros, permitiendo que a partir de esa altitud las precipitaciones sean mayoritariamente sólidas (fotografía 46, 47, 48, 49).

Las precipitaciones líquidas y sólidas (fotografías 50, 51, 52.), normales para el área de estudio, se producen durante todo el año, pero con una marcada predominancia en los meses de invierno. El área de estudio, al estar enmarcada en una cuenca bien definida por dos cordones montañosos que superan los 4.600 metros de altitud y al encontrarse orientada de norte a sur (siendo sus diferencias en altitud entre cabecera y parte baja de la cuenca 2.650 m. aproximadamente), da lugar a una heterogeneidad de las precipitaciones. Mientras en los sectores de mayor altitud (glaciar San Francisco) se encuentra nevando en

los sectores mas bajos (confluencia con el río Volcán) precipita en forma liquida o de agua nieve, por ello el sector del anfiteatro glaciar se encuentra cubierto por varios metros de nieve en los meses de invierno y primavera.



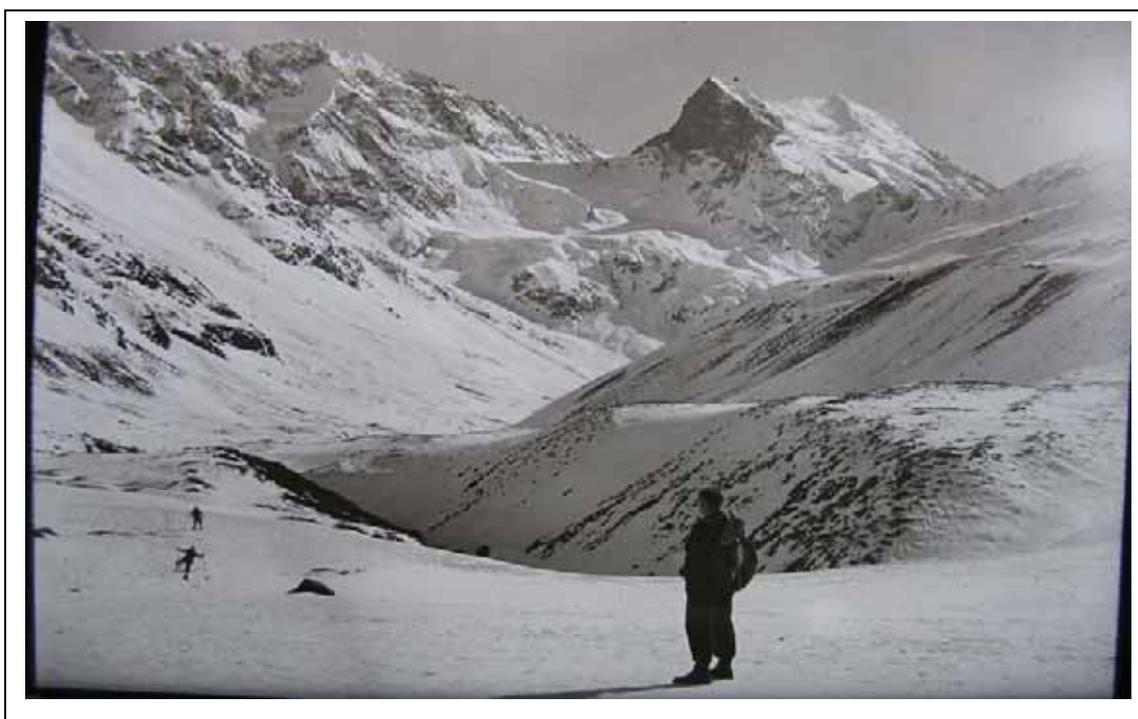
Fotografía 46: Morréna frontal de Glaciar San Francisco,(primer plano) , retocada por deslizamientos , al fondo se aprecia el cerro Rubillas con nieve en su parte media-superior (fotografía: Infante, N. Abril 2004)



Fotografía 47: Valle del estero Morales, ocupado por depósitos de la morrena frontal retocada por deslizamientos del glaciar san Francisco, en la parte superior de la cuenca se observa nieve dentro del dominio periglacial cubriendo el valle de oriente a poniente (fotografía: Infante, N. Junio 2008).



Fotografía 48: Valle del estero Morales cubierto completamente de nieve (fotografía: Infante, N. Agosto 2004)

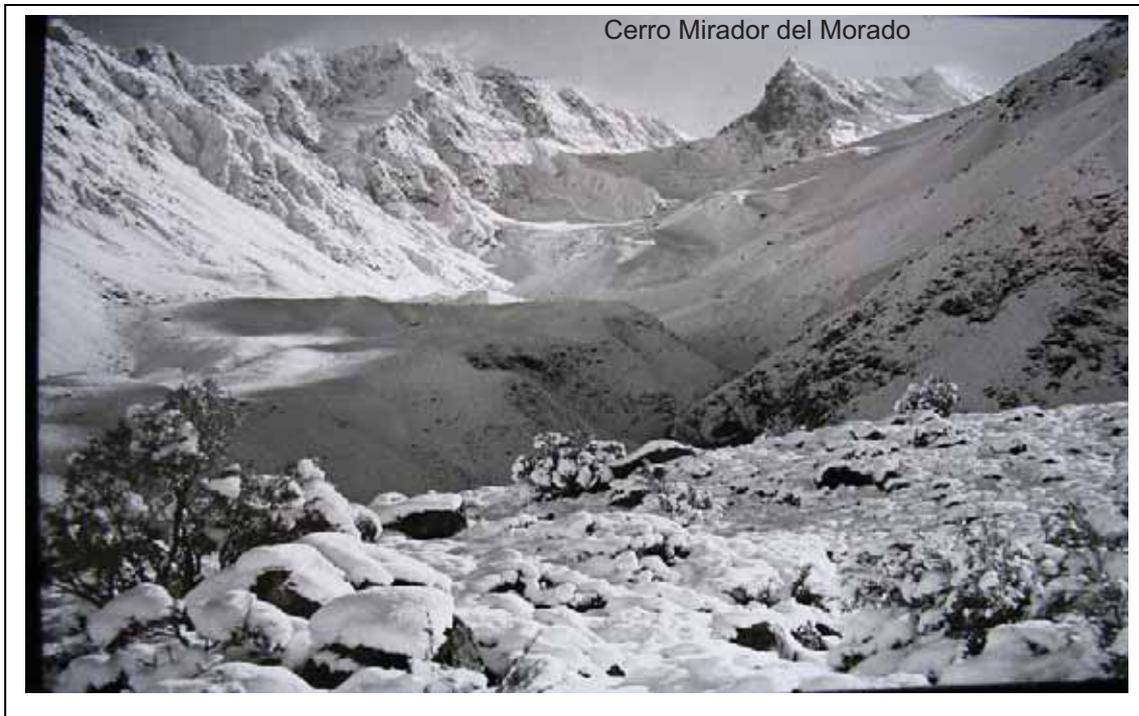


Fotografía 49: Valle del estero Morales , en el sector de Aguas Panimávidas en temporada invernal (fotografía: Refugio Alemán, año 1940).

Elementos del clima

El comportamiento de los elementos del clima, temperatura, presión, humedad varía con la altitud: según la Dirección Meteorológica de Chile (2008), la presión disminuye 1mb cada 30 pies en una atmósfera baja mediciones de presión sobre los 1.000 metros se registran por medio de Radiosondas ,la que depende de las condiciones meteorológicas del momento; según Fuenzalida, H (1971)⁹ la presión disminuye 1mb cada 8 metros que se asciende, en una troposfera normal; la temperatura disminuye en 0,65 °C cada 100 metros que se asciende, la precipitación también sufre alteraciones debido a que aumenta con la altitud hasta un determinado nivel que define el óptimo pluviométrico, a partir del cual comienza a disminuir.

En el presente apartado se analizan el comportamiento de los elementos del clima, precipitaciones y temperatura del área de estudio. La superficie del suelo se calienta usualmente sólo en unos pocos centímetros y su temperatura decrece rápidamente a medida que aumenta la profundidad, debido a esto, es posible apreciar en la parte alta la superficie del valle cubierta de hielo y en la parte baja la ausencia temporal de este elemento (Fotografías 53 y 54), La altitud en este sector es un factor que influye directamente en las precipitaciones, en la temperatura, la presión, y en consecuencia en el viento, lo cual modifica la cubierta nubosa. (Fotografía 55).



Fotografía 50: Valle del estero Morales , en temporada invernal a mediados del siglo XX (fotografía: Refugio Alemán año ,1940).



Fotografía 51: Acumulación de precipitación sólida en el estero Morales frente a la laguna Morales en el mes de septiembre del año 2006 (fotografía: Infante, N. septiembre 2006).



Fotografía 52: Acumulación de nieve en la parte alta de la cuenca (fotografía: Infante, N. septiembre 2006)



Fotografía 53: Depósitos glaciares proveniente del norte y que gira entorno al umbral glaciar para conectarse con la lengua principal del Glaciar San Francisco (fotografía: Infante, N. febrero 2006)



Fotografía 54: Vista sur-norte de la aldea Baños Morales, morréna frontal y cerro Chacayes, mayoritariamente dentro del Monumento Natural el Morado (fotografía: Infante, N. febrero 2000)



Fotografía 55: Cobertura nubosa permanente en el dominio glaciar de la cuenca del estero Morales al atardecer (fotografía: Infante, N. abril, 2004.)

1.3.2. Creación de una estación meteorológica virtual

En la generación de la estación meteorológica virtual denominada “Laguna Morales”, se utilizaron como antecedentes básicos las observaciones de las estaciones meteorológicas que tienen registros histórico accesibles y recientes, estas estaciones son; Embalse el Yeso, Las Melosas y Los Queltehues, estas son las únicas estaciones cercanas al área de estudio y de características semejantes al estar insertas dentro del ámbito cordillerano y específicamente al pertenecer a la parte alta de la cuenca del río Maipo, considerando estas características se generarían las correlaciones de los datos.

Existieron anteriormente otras instalaciones con fines meteorológicos como el caso de la Estación El Volcán cuyo funcionamiento sólo operó durante dos años (1968, 1969), localizada en el caserío de El Volcán, asentamiento minero y que en la actualidad se encuentra muy deteriorado, esta instalación fue la más cercana al área de estudio (9 km.), y la información registrada es de carácter reservado en la DGA.

El sector de la Laguna Morales se presenta en las Fotografías 56, 57, 58 y 59



Fotografía 56: Laguna Morales en proceso de deshielo (fotografía: Infante, N. diciembre, 2006.)



Fotografía 57: laguna Morales (primer plano) en el dominio periglacial, al fondo se observa el valle en forma de U (fotografía: Infante, N. enero 2005.)



*Fotografía 58: Cuenca de sobreexcavación conformando la laguna Morales
(fotografía: Infante, N. febrero 2006)*



*Fotografía 59: Sector Laguna Morales a 2450 metros de altitud, donde se emplazaría la Estación Virtual denominada Laguna Morales , vista desde el cono de deyección que la enfrenta en la ladera occidental
(fotografía: Infante, N. enero 2005.)*

1.3.3. Metodología y datos utilizados

A nivel mundial la localización de estaciones meteorológicas en alta montaña es escasa, debido a que corresponden a zonas de escaso poblamiento, por lo cual no se aprecia el importante rol de estos ambientes, Chile no es la excepción. Por esta razón para generar o conformar el capítulo clima y la estación meteorológica denominada “Laguna Morales” se tuvo que recurrir a datos de temperatura y precipitaciones de estaciones cercanas al área de estudio mencionadas anteriormente, información obtenida de la DGA.

La metodología utilizada para tratar los datos aportados por las estaciones meteorológicas se basa en el trabajo con el promedio de los valores observados de acuerdo al periodo en común de las estaciones como se presenta en la tabla 12.

años	Estaciones Meteorológicas
1962 - 1967	Sólo Embalse el Yeso
1968 -1970	Embalse el Yeso – Las Melosas
1971 - 1975	Sólo Las Melosas
1976	Las Melosas – Los Queltehues
1977 - 1978	Embalse el Yeso – Las Melosas – Los Queltehues
1979 - 1984	Embalse el Yeso – Las Melosas
1985 - 2003	Sólo Embalse el Yeso

Tabla 12: Periodos en común entre las estaciones meteorológicas

Las variables temperatura y precipitación si presentan diferencias en la metodología de trabajo, pues, las temperaturas deben ser niveladas, mientras que las precipitaciones totales deben ser tratadas en conjunto con las precipitaciones sólidas, para ambos casos el procedimiento se detalla a continuación:

Tratamiento de la variable temperatura

Para tratar la variable temperatura de la estación meteorológica virtual Laguna Morales se procedió considerando los siguientes pasos:

- Nivelar las temperaturas de acuerdo a la altitud de las tres estaciones antes mencionadas utilizando el gradiente térmico vertical, (la disminución de la temperatura con la altitud es de 0,65°C cada 100 metros de ascenso). De esta manera se obtuvieron valores para las tres estaciones niveladas.
- Homogeneizar los años de observaciones, las tres estaciones no poseían observaciones para el mismo periodo de tiempo, debido a esto los promedios obtenidos corresponden solo a los años que poseen observación. Luego se procedió a realizar un promedio por año con las tres estaciones, obteniendo como resultado un valor base que podría interpretarse como un registro de la estación Laguna Morales.

$$(a+b+c)/3 = X$$

Donde:

a: Estación Las Melosas

b: Estación Los Queltehues

c: Estación Embalse el Yeso

X: Estación virtual Laguna Morales

De esta manera se obtuvo como resultado un registro de observaciones desde los años 1962 a 2003 tabulado en tablas y representado en gráficos valores proporcionados por la DGA y los valores calculados.

Tratamiento de la variable precipitación

En relación a las precipitaciones la metodología empleada para generar los registros de la estación virtual correspondió al promedio de las tres estaciones antes citadas para cada una de las observaciones mensuales por año, de esta manera se obtiene un promedio mensual y anual de la estación.

El procedimiento realizado corresponde a los siguientes pasos:

- Se procede a obtener un promedio de las observaciones por mes y año de las tres estaciones seleccionadas.
- Se calcula el aporte de las precipitaciones sólidas, de acuerdo a los procedimientos del Departamento de Hidrología de la DGA, obteniéndose así los totales de la tabla 13.

Mes	Factor (%)	Nieve acumulada (m)	Aporte (mm)
abril	12	0.50	6
mayo	20	1	20
Junio	35	2	70
Julio	35	3	105
agosto	48	3	144
septiembre	48	2	96
Total aporte			441

Tabla 13: Cálculo del aporte por precipitaciones sólidas, de acuerdo a los procedimientos del Departamento de Hidrología de la DGA. e información de nieve acumulada proporcionada por los Guardaparques de CONAF.

La precipitación de 6 mm obtenida para el mes de abril se obtiene de la relación :

$$\frac{0,5 \cdot 12}{100} = 0,06$$

- Los aportes obtenidos de la precipitación sólida se suman a la precipitación promedio obtenida en la etapa uno, de esta manera se obtiene un total de precipitación que corresponde a la precipitación media mensual para la estación Virtual Laguna Morales. Considerando las dos variables temperatura (°C) y precipitaciones (mm), se procedió a elaborar gráficos ombrotérmicos para las cuatro estaciones. Para efectos de representación en los gráficos ombrotérmicos se ha incorporado un quiebre de escala, manteniéndose la relación de los ejes donde la precipitación debe ser el doble de la temperatura, de esta manera se puede analizar el comportamiento estacional de ambas variables.
- Los resultados obtenidos en este capítulo corresponden a los datos provenientes de T°C y precipitación trabajados, se presentan de esta forma:
 - a. La variable temperatura para cada una de las estaciones, datos obtenidos de la DGA, estaciones niveladas y estación Laguna Morales.
 - b. Variable precipitación, valores obtenidos de la DGA, promedio de las tres estaciones (estación virtual), datos de los aportes de la precipitación sólida, y precipitación total de la estación Laguna Morales.(Fotografía 60).



Fotografía 60: Indicador de la precipitación sólida en el área de estudio, localizado a 3 km. del refugio de CONAF, ubicado en el sector central de la cuenca, graduado cada 50 centímetros y coloreado con colores rojo y negro para diferenciarlos a distancia (fotografía: Infante, N. diciembre 2005.)

Estimación de la precipitación líquida para el área de estudio

Para realizar la estimación de la precipitación líquida en el sector en estudio se recurrió a antecedentes proporcionados por la Dirección General de Aguas(DGA), del Ministerio de Obras Públicas (MOP), en relación a la precipitación registrada en sectores aledaños donde funcionan o funcionaron algunas estaciones meteorológicas, que a pesar de no utilizarse en la actualidad sí mantienen un registro histórico de cuando operaron, también se utilizaron los antecedentes de esta institución respecto a sus campañas de rutas de nieve, en aquellos sectores de interés donde existen recursos turísticos e hídricos como reservorios de agua para la región.

Esta estimación se basa al utilizar la precipitación de las 3 estaciones más cercanas para obtener un promedio de la precipitación para toda la zona donde se encuentra inserta el área de estudio, además de incluir en la precipitación final total, la precipitación sólida caída sólo en la cuenca bajo estudio.

De acuerdo con observaciones realizadas por la DGA y Guardaparques del Monumento Natural El Morado, el promedio de nieve acumulada en los meses de invierno (junio, julio, agosto y parte del mes de septiembre) en el área donde se localiza la estación virtual fluctúa entre 3 a 4 metros. La relación espesor de nieve-cantidad de precipitación para realizar estimaciones de aporte por parte de este tipo de precipitación, utiliza la equivalencia de la décima parte, es decir, 1cm de espesor de nieve equivale a 1mm de precipitación líquida (Martín-Vide, J; 2006), según sean las características reales de la precipitación sólida, pues, la densidad de ella está asociada a índices dinámicos de acuerdo al inicio del periodo de nevazón hasta el periodo de fusión. Según antecedentes proporcionados por el Subdepartamento de Meteorología y Nieves, Departamento de Hidrología, de la DGA, las densidades de nieve fluctúan de acuerdo a las temperaturas ambientales, ubicación de las rutas de nieve, altitud, latitud y periodo del año. Las mediciones realizadas por esta Institución a lo largo del país establecen que el periodo normal para realizar las observaciones se centra entre los meses de abril a noviembre dependiendo de la presencia del fenómeno El Niño o La Niña.

Estaciones meteorológicas consideradas para el estudio

Los antecedentes recopilados para realizar un análisis del clima en la zona circundante del área de estudio corresponden a las estaciones (Figura N° 15):

- Los Queltehues
- Las Melosas
- Embalse el Yeso

La Estación Los Queltehues

Pertenece a la Empresa AES Gener, compañía eléctrica que instaló una Estación Hidroeléctrica y en ella una cabina de monitoreo principalmente dedicada a estimar los aportes de las precipitaciones líquidas en el sector sur del valle del Cajón del Maipo, esta Estación Meteorológica funcionó entre los años 1970 a 1979, los datos obtenidos están referidos a registros de precipitación mensual y temperatura media mensual, se localiza en las coordenadas:

UTM Norte : 6257448 m.

UTM Este: 387394 m.

Altitud: 1350 m.

La Estación Las Melosas

Se encuentra en el sector Alto del Cajón del Maipo, su instalación fue iniciativa de la Universidad de Chile, posee registros desde el año 1962 hasta el año 2003, los datos obtenidos están referidos a registros de precipitación líquida mensual y temperatura media mensual se localiza en las coordenadas:

UTM Norte : 6255225 m.

UTM Este: 389044 m.

Altitud: 1527 m.

La Estación Embalse el Yeso

Se encuentra en el sector bajo del reservorio de agua dulce más importante de la Región Metropolitana de Santiago, esta estación meteorológica es la única que se encuentra en un ambiente similar en características al área de estudio, sin embargo, al encontrarse bajo la influencia de un espejo de agua las temperaturas y precipitaciones que registra pueden verse influenciadas por este elemento. Posee registros desde el año 1962 hasta la actualidad y su administración se encuentra a cargo de la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas. Los datos obtenidos están referidos a registros de precipitación mensual y temperatura media mensual hasta el año 2004, es la única estación que se encuentra a una altitud semejante que el sector de la Laguna Morales, sitio en que se sitúa la estación Meteorológica virtual para el Monumento Natural El Morado.

Se localiza en las coordenadas:

UTM Norte : 6275218 m.

UTM Este: 399560 m.

Altitud: 2475 m.

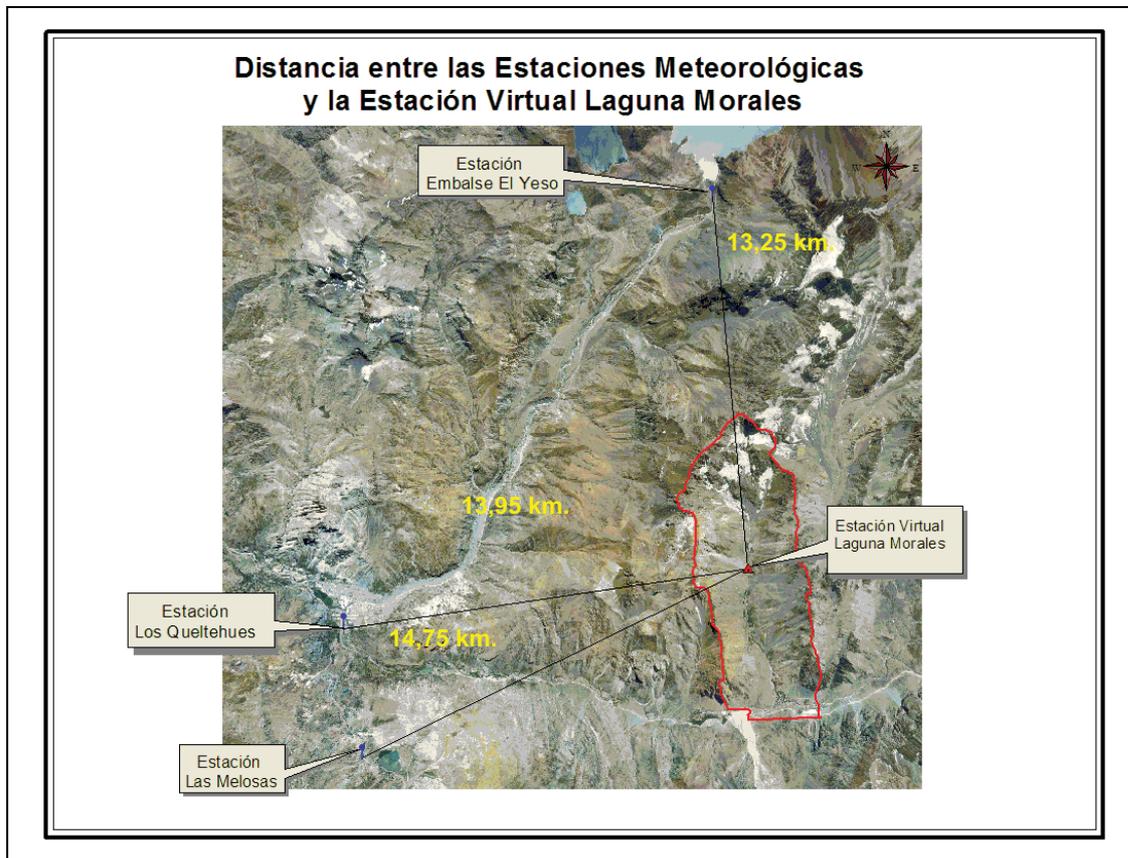


Figura 15: Distancia de las estaciones consideradas al área de estudio, para analizar las variables temperatura y precipitación.

1.3.4. Variable temperatura

A continuación se presentan los datos brutos de las estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio. De acuerdo con las diferencias de altitud se desarrolló el cálculo del factor de nivelación con el cual se generaron las estaciones meteorológicas niveladas, paso previo a la elaboración de la estación virtual Laguna Morales.

Estaciones meteorológicas con datos básicos

Estación meteorológica Los Queltehues

valores para nivelar la estación					
H Est	H Lag	diferencia	dif /100 m.	K	F
1350	2450	1100	11	0,65	7,15

Coordenadas UTM	
Norte	6257448 m.
Este	387394 m.
Altitud	1350 m.

año	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
1976	19,85	21,21	20,42	17,75	13,68	10,44	5,90	9,65	12,16	14,35	16,35	17,81
1977	20,23	21,16	21,23	17,52	13,58	9,87	4,69	9,17	13,02	14,42	16,02	19,05
1978	19,46	21,26	19,61	17,98	13,78	11,02	7,12	10,13	11,30	14,29	16,68	20,90
Promedio	19,84	21,21	20,42	17,75	13,68	10,44	5,90	9,65	12,16	14,35	16,35	19,25

K = constante de nivelación cada 100 m.(°C)
F = Factor de Nivelación
H Est. = Altitud de la estación
H Lag. = Altitud de la Laguna

Tabla 14: Datos básicos de temperatura de la estación meteorológica Los Queltehues.

Estación meteorológica Las Melosas

valores para nivelar la estación					
H Est	H Lag	diferencia	dif /100 m.	K	F
1527	2450	923	9,23	0,65	5,9995

Coordenadas UTM	
Norte	6248225 m.
Este	387394 m.
Altitud	1350 m.

Año	enero	febrero	marzo	abril	mayo	Junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
1968	19,71	19,46	16,93	16,45	14,35	6,99	10,81	11,14	12,34	13,18	18,03	17,78
1969	21,31	20,00	17,78	15,44	10,75	7,15	8,73	8,75	12,25	11,59	15,53	19,82
1970	18,77	18,37	19,52	18,96	13,20	10,34	6,00	10,62	13,90	15,02	16,93	18,71
1971	17,42	19,45	17,52	13,60	11,45	5,79	7,19	8,86	12,48	15,31	17,54	17,84
1972	20,51	20,87	16,78	16,05	10,47	7,85	5,86	5,59	8,72	10,82	13,87	19,86
1973	20,35	19,63	19,17	14,55	10,77	7,56	6,03	9,12	10,60	11,61	16,54	17,33
1974	19,38	18,99	17,70	18,18	10,23	4,52	6,86	9,86	10,90	14,78	15,15	17,37
1975	20,29	18,88	17,16	14,56	9,39	8,23	4,81	7,23	10,54	12,18	13,38	17,50
1976	17,64	15,74	15,04	13,54	9,35	4,66	7,14	7,35	9,30	11,12	16,67	17,94
1977	19,78	20,36	20,58	16,32	12,94	9,35	3,73	8,15	13,18	14,42	15,93	19,23
1978	18,90	20,46	18,45	17,42	12,59	7,74	6,84	9,35	10,34	13,03	15,70	20,02
1979	20,76	19,65	18,64	15,98	11,41	10,63	10,06	10,19	8,33	13,60	14,88	17,96
1980	20,95	18,33	21,09	12,32	10,36	8,03	6,88	10,73	11,79	13,30	15,54	18,96
1981	18,74	20,94	19,45	15,51	10,03	7,62	9,20	10,65	11,27	13,06	16,14	19,02
1982	20,66	19,71	18,92	17,90	10,68	5,78	6,49	8,51	9,81	12,65	15,65	20,02
1983	20,22	20,78	18,57	15,29	9,05	3,65	4,57	7,75	8,60	15,24	18,50	20,67
1984	19,80	19,12	18,37	14,95	6,80	7,24	6,95	8,99	10,90	13,18	15,99	18,75
Promedio	19,71	19,46	18,33	15,70	10,81	7,24	6,95	8,99	10,89	13,18	15,99	18,75

K = constante de nivelación cada 100 m.(°C)
F = Factor de Nivelación
H Est. = Altitud de la estación
H Lag. = Altitud de la Laguna

Tabla 15: Datos básicos de temperatura de la estación meteorológica Las Melosas

Estación meteorológica Embalse El Yeso

Valores para nivelar la estación					
H Est	H Lag	diferencia	dif /100 m.	K	F
2475	2450	-25	-0,25	0,65	-0,1625

Coordenadas UTM	
Norte	6274218 m.
Este	399560 m.
Altitud	2475 m.

año	enero	febrero	marzo	abril	mayo	Junio	Julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
1962	13,72	13,46	12,74	7,99	5,47	-0,24	1,37	3,29	5,00	7,12	10,65	12,75
1963	13,14	13,38	11,50	10,52	6,37	1,95	-2,46	-2,12	2,34	3,86	5,33	12,51
1964	14,09	13,07	11,67	8,79	8,90	-0,61	1,36	1,81	5,92	8,88	10,67	10,17
1965	13,64	13,55	14,09	7,84	3,83	5,51	-0,45	-1,03	1,25	6,57	0,00	10,35
1966	13,82	11,98	11,17	8,19	8,40	1,03	0,25	-0,07	3,94	6,56	9,79	9,89
1967	11,68	13,46	12,74	12,15	7,36	0,21	2,88	2,20	3,63	7,51	10,54	14,66
1968	15,05	13,46	11,79	9,69	8,74	3,11	5,87	5,70	5,52	7,52	12,39	12,26
1969	16,13	14,96	12,85	10,8	6,04	1,56	2,71	3,66	6,27	6,47	9,77	15,32
1970	13,63	15,87	13,93	13,84	5,41	2,93	2,36	4,18	5,56	6,82	9,23	12,77
1977	13,72	15,55	15,26	11,35	6,22	3,48	-1,86	1,27	8,58	9,42	10,19	13,25
1978	12,36	13,00	12,09	13,07	9,02	4,17	1,23	0,02	2,75	6,52	8,98	14,20
1979	15,60	13,39	13,11	10,30	6,04	5,43	5,19	4,24	3,08	9,00	10,38	12,47
1980	15,48	13,20	15,42	8,23	7,93	5,50	2,21	4,86	7,22	7,32	9,98	13,08
1981	13,10	14,38	13,74	8,94	4,50	2,37	3,50	4,81	5,78	7,44	10,44	13,49
1982	14,86	13,05	12,73	11,30	6,13	0,97	-0,37	1,98	3,47	5,48	8,80	14,37
1983	14,35	15,04	13,43	9,65	4,31	-0,35	-0,45	1,03	1,14	8,93	12,05	15,30
1984	15,03	14,80	13,29	10,18	3,46	-0,29	0,52	-0,18	3,29	7,49	9,35	12,15
1985	13,17	15,21	13,3	9,32	7,02	6,95	2,01	3,91	6,55	6,61	12,54	14,22
1986	15,15	14,66	13,76	9,89	4,92	2,46	5,36	3,46	4,68	8,21	9,29	14,92
1987	15,97	16,43	13,77	11,06	3,22	4,40	-0,24	-0,28	1,54	5,68	11,77	12,72
1988	14,63	15,67	14,09	11,19	6,14	4,06	2,50	2,19	3,45	8,26	12,83	14,05
1989	16,04	16,95	13,3	11,52	6,84	5,79	3,79	2,28	3,26	9,03	12,54	13,76
1990	15,65	15,34	12,66	9,19	6,59	6,00	3,05	7,27	4,83	8,30	11,94	13,75
1991	14,48	16,00	14,95	10,61	7,13	3,00	1,16	2,48	6,39	7,04	10,58	10,73
1992	15,70	14,06	14,12	8,20	2,93	1,62	0,33	2,99	6,17	8,67	10,00	12,67
1993	15,20	15,24	14,8	9,05	2,64	3,66	1,76	4,64	4,98	8,29	10,23	13,55
1994	15,42	14,40	14,81	10,22	7,45	3,98	1,15	3,25	7,08	7,25	11,31	14,34
1995	14,20	13,96	13,52	10,39	9,56	4,11	-0,20	2,09	6,73	7,93	11,71	14,91
1996	13,35	14,38	13,57	8,79	8,44	4,02	5,45	5,07	7,35	8,91	12,30	12,78
1997	14,78	15,52	14,64	12,57	8,31	-0,37	2,57	3,09	4,17	4,72	9,26	11,94
1998	15,59	13,49	12,53	8,43	7,72	5,02	5,95	5,37	4,75	11,32	11,53	13,75
1999	14,26	16,30	12,82	10,45	8,31	4,22	2,53	4,46	3,54	8,63	10,38	11,77
2000	14,40	13,42	12,91	11,28	5,47	1,17	0,35	2,90	2,89	8,49	8,93	13,13
2001	14,63	17,69	14,05	9,26	4,71	4,55	2,44	2,87	3,74	9,32	9,62	15,25
2002	14,29	15,41	13,5	8,78	6,17	1,70	1,71	2,61	4,11	7,82	10,58	12,38
2003	14,99	15,21	15,39	11,25	7,52	5,20	2,92	5,78	6,95	10,86	11,61	12,74
Promedio	13,72	13,46	12,74	10,12	6,37	2,93	1,90	2,84	4,66	7,52	10,21	12,77

K = constante de nivelación cada 100 m.(°C)
F = Factor de Nivelación
H Est. = Altitud de la estación
H Lag. = Altitud de la Laguna

Tabla 16: Datos básicos de temperatura de la estación meteorológica Embalse El Yeso

Estaciones Meteorológicas Niveladas

Utilizando el factor de nivelación por altitud se generaron las estaciones meteorológicas niveladas para la variable temperatura.

Estación meteorológica Queltehues Nivelada Temperatura (°C)												
año	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
1976	12,70	14,06	13,27	10,60	6,53	3,29	-1,25	2,50	5,01	7,21	9,20	10,66
1977	13,08	14,01	14,08	10,37	6,43	2,72	-2,46	2,02	5,87	7,27	8,87	11,90
1978	12,31	14,11	12,46	10,83	6,63	3,87	-0,03	2,98	4,15	7,14	9,53	13,75
X mensual	12,70	14,06	13,27	10,60	6,53	3,29	-1,25	2,50	5,01	7,21	9,20	12,10

Tabla 17: Datos nivelados de temperatura de la estación meteorológica Los Queltehues

Estación meteorológica Las Melosas Nivelada Temperatura (°C)												
año	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
1968	13,71	13,46	10,93	10,45	8,35	0,99	4,81	5,14	6,34	7,18	12,03	11,78
1969	15,31	14,00	11,78	9,44	4,75	1,15	2,73	2,75	6,25	5,59	9,53	13,82
1970	12,77	12,37	13,52	12,96	7,20	4,34	0,00	4,62	7,90	9,02	10,93	12,71
1971	11,42	13,45	11,52	7,60	5,45	-0,21	1,19	2,86	6,48	9,31	11,54	11,84
1972	14,51	14,87	10,78	10,05	4,47	1,85	-0,14	-0,41	2,72	4,82	7,87	13,86
1973	14,35	13,63	13,17	8,55	4,77	1,56	0,03	3,12	4,60	5,61	10,54	11,33
1974	13,38	12,99	11,70	12,18	4,23	-1,48	0,86	3,86	4,90	8,78	9,15	11,37
1975	14,29	12,88	11,16	8,56	3,39	2,23	-1,19	1,23	4,54	6,18	7,38	11,50
1976	11,64	9,74	9,04	7,54	3,35	-1,34	1,14	1,35	3,30	5,12	10,67	11,94
1977	13,78	14,36	14,58	10,32	6,94	3,35	-2,27	2,15	7,18	8,42	9,93	13,23
1978	12,90	14,46	12,45	11,42	6,59	1,74	0,84	3,35	4,34	7,03	9,70	14,02
1979	14,76	13,65	12,64	9,98	5,41	4,63	4,06	4,19	2,33	7,60	8,88	11,96
1980	14,95	12,33	15,09	6,32	4,36	2,03	0,88	4,73	5,79	7,30	9,54	12,96
1981	12,74	14,94	13,45	9,51	4,03	1,62	3,20	4,65	5,27	7,06	10,14	13,02
1982	14,66	13,71	12,92	11,90	4,68	-0,22	0,49	2,51	3,81	6,65	9,65	14,02
1983	14,22	14,78	12,57	9,29	3,05	-2,35	-1,43	1,75	2,60	9,24	12,50	14,67
1984	13,80	13,12	12,37	8,95	0,80	1,24	0,95	2,99	4,90	7,18	9,99	12,75
X mensual	13,72	13,46	12,33	9,71	4,81	1,24	0,95	2,99	4,90	7,18	10,00	12,75

Tabla 18: Datos nivelados de temperatura de la estación meteorológica Las Melosas

Estación meteorológica Embalse El Yeso Nivelada Temperatura (°C)												
año	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
1962	13,88	13,62	12,90	8,15	5,63	-0,08	1,53	3,45	5,16	0,16	10,81	12,91
1963	13,30	13,54	11,66	10,68	6,53	2,11	-2,30	-1,96	2,50	0,16	5,49	12,67
1964	14,25	13,23	11,83	8,95	9,06	-0,45	1,52	1,97	6,08	0,16	10,83	10,33
1965	13,80	13,71	14,25	8,00	3,99	5,67	-0,29	-0,87	1,41	0,16	0,16	10,51
1966	13,98	12,14	11,33	8,35	8,56	1,19	0,41	0,09	4,10	0,16	9,95	10,05
1967	11,84	13,62	12,90	12,31	7,52	0,37	3,04	2,36	3,79	0,16	10,70	14,82
1968	15,21	13,62	11,95	9,85	8,90	3,27	6,03	5,86	5,68	0,16	12,55	12,42
1969	16,29	15,12	13,01	10,96	6,20	1,72	2,87	3,82	6,43	0,16	9,93	15,48
1970	13,79	16,03	14,09	14,00	5,57	3,09	2,52	4,34	5,72	0,16	9,39	12,93
1977	13,88	15,71	15,42	11,51	6,38	3,64	-1,70	1,43	8,74	9,58	10,35	13,41
1978	12,52	13,16	12,25	13,23	9,18	4,33	1,39	0,18	2,91	7,28	9,14	14,36
1979	15,76	13,55	13,27	10,46	6,20	5,59	5,35	4,40	3,24	4,02	10,54	12,63
1980	15,64	13,36	15,58	8,39	8,09	5,66	2,37	5,02	7,38	9,04	10,14	13,24
1981	13,26	14,54	13,90	9,10	4,66	2,53	3,66	4,97	5,94	6,73	10,60	13,65
1982	15,02	13,21	12,89	11,46	6,29	1,13	-0,21	2,14	3,63	6,72	8,96	14,53
1983	14,51	15,20	13,59	9,81	4,47	-0,19	-0,29	1,19	1,30	7,67	12,21	15,46
1984	15,19	14,96	13,45	10,34	3,62	-0,13	0,68	-0,02	3,45	7,68	9,51	12,31
1985	13,33	15,37	13,46	9,48	7,18	7,11	2,17	4,07	6,71	6,63	12,70	14,38
1986	15,31	14,82	13,92	10,05	5,08	2,62	5,52	3,62	4,84	6,98	9,45	15,08
1987	16,13	16,59	13,93	11,22	3,38	4,56	-0,08	-0,12	1,70	9,58	11,93	12,88
1988	14,79	15,83	14,25	11,35	6,30	4,22	2,66	2,35	3,61	6,68	12,99	14,21
1989	16,20	17,11	13,46	11,68	7,00	5,95	3,95	2,44	3,42	9,16	12,70	13,92
1990	15,81	15,50	12,82	9,35	6,75	6,16	3,21	7,43	4,99	7,48	12,10	13,91
1991	14,64	16,16	15,11	10,77	7,29	3,16	1,32	2,64	6,55	7,60	10,74	10,89
1992	15,86	14,22	14,28	8,36	3,09	1,78	0,49	3,15	6,33	5,64	10,16	12,83
1993	15,36	15,40	14,96	9,21	2,80	3,82	1,92	4,80	5,14	9,09	10,39	13,71
1994	15,58	14,56	14,97	10,38	7,61	4,14	1,31	3,41	7,24	7,65	11,47	14,50
1995	14,36	14,12	13,68	10,55	9,72	4,27	-0,04	2,25	6,89	6,77	11,87	15,07
1996	13,51	14,54	13,73	8,95	8,60	4,18	5,61	5,23	7,51	8,37	12,46	12,94
1997	14,94	15,68	14,80	12,73	8,47	-0,21	2,73	3,25	4,33	5,84	9,42	12,10
1998	15,75	13,65	12,69	8,59	7,88	5,18	6,11	5,53	4,91	8,42	11,69	13,91
1999	14,42	16,46	12,98	10,61	8,47	4,38	2,69	4,62	3,70	9,19	10,54	11,93
2000	14,56	13,58	13,07	11,44	5,63	1,33	0,51	3,06	3,05	8,46	9,09	13,29
2001	14,79	17,85	14,21	9,42	4,87	4,71	2,60	3,03	3,90	7,20	9,78	15,41
2002	14,45	15,57	13,66	8,94	6,33	1,86	1,87	2,77	4,27	8,83	10,74	12,54
2003	15,15	15,37	15,55	11,41	7,68	5,36	3,08	5,94	7,11	8,45	11,77	12,90
Promedio	14,64	14,74	13,61	10,28	6,53	3,17	2,06	3,00	4,83	7,41	10,37	13,28

Tabla 19: Datos nivelados de temperatura de la estación meteorológica Embalse El Yeso

Con las estaciones antes trabajadas se elaboraron los datos para la generación de la estación virtual denominada Laguna Morales.

Estación meteorológica Laguna Morales Temperatura (°C)														
													Coordenadas UTM	
													Norte	6261755 m.
													Este	400841 m.
													Altitud	2450 m.
año	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Promedio anual	
1962	13,88	13,62	12,90	8,15	5,63	-0,08	1,53	3,45	5,16	0,16	10,81	12,91	7,35	
1963	13,30	13,54	11,66	10,68	6,53	2,11	-2,30	-1,96	2,50	0,16	5,49	12,67	6,20	
1964	14,25	13,23	11,83	8,95	9,06	-0,45	1,52	1,97	6,08	0,16	10,83	10,33	7,32	
1965	13,80	13,71	14,25	8,00	3,99	5,67	-0,29	-0,87	1,41	0,16	0,16	10,51	5,88	
1966	13,98	12,14	11,33	8,35	8,56	1,19	0,41	0,09	4,10	0,16	9,95	10,05	6,70	
1967	11,84	13,62	12,90	12,31	7,52	0,37	3,04	2,36	3,79	0,16	10,70	14,82	7,79	
1968	14,46	14,84	11,92	9,82	8,87	3,24	6,00	5,83	5,65	7,87	12,52	12,39	9,45	
1969	15,80	15,09	12,98	10,93	6,17	1,69	2,84	3,79	6,40	6,60	9,90	15,45	8,97	
1970	13,28	16,00	14,06	13,97	5,54	3,14	2,49	4,31	5,69	6,95	9,36	13,26	9,00	
1971	11,42	13,45	11,52	7,60	5,45	-0,21	1,19	2,86	6,48	9,31	11,54	11,84	7,70	
1972	14,51	14,87	10,78	10,05	4,47	1,85	-0,14	-0,41	2,72	4,82	7,87	13,86	7,10	
1973	14,35	13,63	13,17	8,55	4,77	1,56	0,03	3,12	4,60	5,61	10,54	11,33	7,61	
1974	13,38	12,99	11,70	12,18	4,23	-1,48	0,86	3,86	4,90	8,78	9,15	11,37	7,66	
1975	14,29	12,88	11,16	8,56	3,39	2,23	-1,19	1,23	4,54	6,18	7,38	11,50	6,85	
1976	12,17	11,90	11,16	9,07	4,94	0,98	-0,05	1,93	4,16	6,16	9,94	11,30	6,97	
1977	13,58	14,69	14,69	10,73	6,58	3,24	-2,14	1,87	7,26	8,42	9,72	12,85	8,46	
1978	12,58	13,91	12,39	11,83	7,47	3,31	0,73	2,17	3,80	7,15	9,46	14,04	8,24	
1979	15,26	13,60	12,96	10,22	5,81	5,11	4,71	4,30	2,79	5,81	9,71	12,30	8,55	
1980	15,30	12,85	15,34	7,36	6,23	3,85	1,63	4,88	6,59	8,17	9,84	13,10	8,76	
1981	13,00	14,74	13,68	9,31	4,35	2,08	3,43	4,81	5,61	6,90	10,37	13,34	8,47	
1982	14,84	13,46	12,91	11,68	5,49	0,46	0,14	2,33	3,72	6,69	9,31	14,28	7,94	
1983	14,37	14,99	13,08	9,55	3,76	-1,27	-0,86	1,47	1,95	8,46	12,36	15,07	7,74	
1984	14,50	14,04	12,91	9,65	2,21	0,56	0,82	1,49	4,18	7,43	9,75	12,53	7,50	
1985	13,33	15,37	13,46	9,48	7,18	7,11	2,17	4,07	6,71	6,63	12,70	14,38	9,39	
1986	15,31	14,82	13,92	10,05	5,08	2,62	5,52	3,62	4,84	6,98	9,45	15,08	8,94	
1987	16,13	16,59	13,93	11,22	3,38	4,56	-0,08	-0,12	1,70	9,58	11,93	12,88	8,48	
1988	14,79	15,83	14,25	11,35	6,30	4,22	2,66	2,35	3,61	6,68	12,99	14,21	9,11	
1989	16,20	17,11	13,46	11,68	7,00	5,95	3,95	2,44	3,42	9,16	12,70	13,92	9,75	
1990	15,81	15,50	12,82	9,35	6,75	6,16	3,21	7,43	4,99	7,48	12,10	13,91	9,63	
1991	14,64	16,16	15,11	10,77	7,29	3,16	1,32	2,64	6,55	7,60	10,74	10,89	8,91	
1992	15,86	14,22	14,28	8,36	3,09	1,78	0,49	3,15	6,33	5,64	10,16	12,83	8,02	
1993	15,36	15,40	14,96	9,21	2,80	3,82	1,92	4,80	5,14	9,09	10,39	13,71	8,89	
1994	15,58	14,56	14,97	10,38	7,61	4,14	1,31	3,41	7,24	7,65	11,47	14,50	9,40	
1995	14,36	14,12	13,68	10,55	9,72	4,27	-0,04	2,25	6,89	6,77	11,87	15,07	9,13	
1996	13,51	14,54	13,73	8,95	8,60	4,18	5,61	5,23	7,51	8,37	12,46	12,94	9,64	
1997	14,94	15,68	14,80	12,73	8,47	-0,21	2,73	3,25	4,33	5,84	9,42	12,10	8,68	
1998	15,75	13,65	12,69	8,59	7,88	5,18	6,11	5,53	4,91	8,42	11,69	13,91	9,53	
1999	14,42	16,46	12,98	10,61	8,47	4,38	2,69	4,62	3,70	9,19	10,54	11,93	9,17	
2000	14,56	13,58	13,07	11,44	5,63	1,33	0,51	3,06	3,05	8,46	9,09	13,29	8,09	
2001	14,79	17,85	14,21	9,42	4,87	4,71	2,60	3,03	3,90	7,20	9,78	15,41	8,98	
2002	14,45	15,57	13,66	8,94	6,33	1,86	1,87	2,77	4,27	8,83	10,74	12,54	8,49	
2003	15,15	15,37	15,55	11,41	7,68	5,36	3,08	5,94	7,11	8,45	11,77	12,90	9,98	
Promedio	14,36	14,53	13,26	10,05	6,08	2,71	1,72	2,96	4,77	6,44	10,21	13,04	8,34	

Tabla 20: Estación meteorológica Laguna Morales

1.3.5. Variable precipitación

La variable precipitación trabajada para la estación virtual Laguna Morales, corresponde al promedio de las precipitaciones de las tres estaciones. A continuación se presentan los datos brutos de ellas:

Estación meteorológica Los Queltehues Precipitación (mm)	Coordenadas UTM	
	Norte	6257448 m.
	Este	387394 m.
	Altitud	1350 m.

Año	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total Anual
1970	0,00	0,00	0,00	0,00	141,40	73,20	74,70	61,00	29,80	36,70	0,00	0,00	416,8
1971	4,50	0,00	10,00	0,00	25,00	335,00	47,60	39,90	9,50	71,10	0,00	9,00	551,6
1972	0,00	0,00	7,50	0,00	409,00	331,80	66,00	279,50	163,00	43,00	38,50	0,00	1338,3
1973	0,00	0,00	0,00	16,30	123,90	29,70	166,30	0,00	11,00	16,00	0,00	0,00	363,2
1974	0,00	0,00	0,00	0,00	246,90	465,30	27,00	29,00	73,00	12,50	27,50	0,00	881,2
1975	0,00	0,00	0,00	41,50	75,50	6,20	243,00	57,50	0,00	11,00	16,00	0,00	450,7
1976	2,50	11,00	3,00	0,00	95,40	289,00	9,00	17,50	58,00	86,80	11,50	2,00	585,7
1977	4,00	0,00	0,00	55,60	109,50	353,70	333,50	129,00	1,80	77,50	88,00	1,60	1154,2
1978	4,80	0,00	0,00	0,00	38,40	118,70	792,00	25,00	68,10	44,00	140,00	2,00	1233
1979	0,00	1,50	0,00	23,10	81,00	6,50	32,00	277,00	0,00	0,00	0,00	0,00	421,1
X mensual	1,58	1,25	2,05	13,65	134,6	200,91	179,11	91,54	41,42	39,86	32,15	1,46	739,58

Tabla 21: Datos de precipitación de la estación meteorológica Los Queltehues

Estación meteorológica las Melosas Precipitación (mm)	Coordenadas UTM	
	Norte	6248225 m.
	Este	387394 m.
	Altitud	1350 m

Año	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total anual
1962	0,0	3,8	24,0	0,0	0,0	0,0	0,0	69,9	11,8	83,6	0,0	8,5	201,60
1963	0,0	0,0	0,0	15,0	75,6	131,5	328,9	0,0	192,2	43,5	69,7	0,0	856,40
1964	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	177,4	97,8	51,5	5,0	3,0	0,0	29,5	364,20
1965	0,0	0,0	0,0	0,0	69,5	56,3	100,5	471,0	16,5	85,9	87,0	5,5	892,20
1966	0,0	0,0	0,6	217,5	36,3	183,4	180,5	86,0	0,0	43,9	12,0	19,0	779,20
1967	0,0	7,0	0,0	39,5	98,3	62,5	61,5	19,7	31,0	54,6	0,0	0,0	374,10
1968	0,0	0,0	21,0	12,5	3,7	26,5	15,0	28,0	35,7	8,0	0,0	140,0	290,40
1969	0,0	0,0	3,0	24,0	31,0	314,0	131,5	99,9	23,1	35,0	7,0	0,0	668,50
1970	0,0	0,0	0,0	125,0	151,5	58,5	220,0	5,0	22,0	30,5	0,0	2,0	614,50
1971	12,0	3,0	7,5	0,0	46,8	235,5	97,5	28,5	8,5	73,5	8,0	9,5	530,30
1972	0,0	0,0	14,5	6,5	492,5	481,5	58,5	242,5	155,0	130,0	56,0	0,0	1637,00
1973	0,0	0,0	0,0	3,0	200,5	45,0	277,5	6,5	11,0	10,5	0,0	0,7	554,70
1974	0,0	0,0	0,0	28,5	306,5	0,0	11,0	21,5	0,0	14,0	27,0	5,0	413,50
1975	0,0	0,0	0,0	0,0	60,5	19,5	330,0	33,0	1,0	17,0	14,5	0,0	475,50
1976	4,2	18,0	3,0	68,5	86,5	218,5	41,5	22,0	42,5	92,0	11,0	11,0	618,70
1977	0,0	0,0	0,0	3,0	139,5	424,0	381,0	112,5	5,5	55,5	98,5	3,5	1223,00
1978	7,5	0,0	1,0	21,5	56,5	132,0	671,0	40,0	49,0	71,5	114,0	1,5	1165,50
1979	0,0	1,5	2,0	0,0	174,5	3,5	188,5	204,0	93,0	8,0	96,0	53,0	824,00
1980	11,0	19,5	0,0	27,0	372,5	205,0	156,0	16,5	58,0	2,5	16,0	2,5	886,50
1981	0,0	10,5	14,0	360,5	279,5	68,5	63,5	33,6	10,0	10,0	2,5	0,0	852,60
1982	0,0	0,0	7,0	53,5	240,6	842,5	479,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1622,60
1983	49,5	10,0	0,0	0,0	147,0	95,5	128,0	93,5	12,0	8,5	0,0	0,0	544,00
1984	0,0	0,0	0,0	70,0	156,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	226,00
1986	0,0	0,0	0,0	23,0	296,0	415,1	5,5	156,5	0,0	42,5	50,0	0,0	988,60
1987	0,0	0,0	0,0	129,5	103,0	129,0	778,0	394,0	28,0	105,0	0,0	0,0	1666,50
1988	0,0	0,0	18,0	8,0	74,0	38,0	64,7	185,0	14,0	0,0	0,0	0,0	401,70
1989	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	47,0	145,0	337,0	50,5	11,0	0,0	0,0	590,50
1990	0,0	0,0	0,0	38,0	8,5	33,9	36,5	112,0	146,5	9,0	0,0	3,5	387,90
1991	0,0	0,0	90,0	24,0	249,5	0,0	0,0	0,0	113,5	7,5	11,5	56,0	552,00
1992	0,0	0,0		88,0	188,5	274,0	24,5	69,0	61,0	23,0	57,5	0,0	785,50
1993	2,5	0,0	17,0	85,5	0,0	126,0	82,0	11,0	24,6	7,0	22,5	0,5	378,60
1994	6,5	5,5	0,0	264,0	138,5	93,0	348,5	11,5	89,0	23,0	3,0	1,5	984,00
1995	0,0	0,0	0,0	102,5	26,0	275,0	50,5	56,0	54,5	9,5	4,0	26,5	604,50
1996	14,5	0,0	0,0	85,6	0,0	53,0	0,0	21,0	3,0	3,0	1,5	4,0	185,60
1997	7,0	0,0	0,0	52,0	164,5	715,5	83,0	187,0	256,0	60,5	5,0	1,0	1531,50
1998	0,0	0,0	28,5	41,0	13,9	38,0	0,0	0,0	62,0	0,0	0,0	0,0	183,40
1999	0,0	5,5	8,1	128,3	50,0	143,4	27,0	107,5	206,5	20,0	0,0	0,0	696,30
2000	0,0	0,0	11,5	53,0	34,5	559,5	90,2	1,0	128,2	0,0	23,0	0,0	900,90
2001	0,0	54,0	0,0	59,3	86,5	73,0	428,9	165,5	18,0	27,0	0,0	0,0	912,20
2002	0,0	0,0	27,3	60,5	145,0	180,0	105,0	216,0	66,0	2,0	1,5	5,5	808,80
2003	88,0	0,0	0,0	36,5	92,1	69,9	169,0	50,0	76,0	0,0	23,0	0,0	604,50

Tabla 22: Datos de precipitación de la estación meteorológica Las Melosas

**Estación meteorológica Embalse El Yeso
Precipitación (mm)**

Coordenadas UTM	
Norte	6274218 m.
Este	399560 m.
Altitud	2475 m.

año	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	Octubre	noviembre	diciembre	total anual
1962	0,00	0,00	0,00	11,70	42,80	134,60	23,00	21,90	20,70	64,70	2,40	25,50	347,30
1963	0,00	41,70	12,60	9,00	34,70	103,80	108,50	121,20	173,60	53,90	99,80	1,20	760,00
1964	0,00	2,20	21,70	0,00	0,00	95,30	47,30	48,60	4,40	9,20	10,40	34,60	273,70
1965	29,80	0,00	0,00	87,40	100,30	16,10	193,70	307,90	27,20	27,10	51,00	87,00	927,50
1966	0,00	0,00	0,00	67,50	21,00	94,60	60,70	58,20	0,00	5,00	12,70	9,50	329,20
1967	8,00	7,00	0,00	4,70	36,70	73,00	35,00	29,00	46,00	29,00	0,00	0,00	268,40
1968	6,00	0,00	0,00	18,60	3,20	26,90	0,00	14,20	22,20	6,70	47,00	8,00	152,80
1969	0,00	0,00	1,60	62,50	30,70	188,70	81,20	87,70	41,70	27,80	19,20	0,00	541,10
1970	0,00	3,00	0,00	0,00	98,10	32,00	106,50	13,00	98,10	19,10	17,00	0,00	288,70
1971	5,00	0,00	4,00	68,00	26,00	97,70	48,10	26,80	1,50	18,00	50,00	0,00	345,10
1972	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1973	0,00	4,20	1,00	24,30	69,50	45,00	166,00	0,00	15,00	8,00	0,00	8,00	341,00
1974	0,00	1,50	0,00	0,00	117,00	54,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	173,00
1975	0,00	1,00	10,00	41,00	58,00	2,00	148,00	59,00	5,50	10,00	10,50	0,00	345,00
1976	1,50	38,50	14,00	42,50	39,50	157,00	7,50	13,00	21,50	44,50	16,50	9,50	405,50
1977	1,50	0,00	3,00	15,00	67,00	177,00	0,00	70,60	9,50	16,50	71,50	4,00	435,60
1978	7,00	0,00	0,00	0,00	51,00	83,50	426,50	50,00	40,50	63,00	66,00	0,00	787,50
1979	0,00	5,00	7,50	12,00	65,50	1,50	47,50	139,00	16,50	0,00	66,00	35,50	396,00
1980	0,00	38,50	0,00	201,00	201,50	90,00	164,50	18,00	60,50	15,00	8,00	0,00	797,00
1981	0,00	35,00	20,00	11,00	196,50	21,50	26,00	35,50	11,50	9,00	4,50	0,00	370,50
1982	3,50	0,00	5,50	0,00	90,00	602,00	431,50	215,50	89,40	20,50	6,50	0,00	1464,40
1983	47,00	9,50	0,00	38,50	32,00	105,00	105,00	48,50	14,50	3,50	0,00	0,00	403,50
1984	0,00	0,00	9,50	3,00	79,00	61,50	322,50	63,50	51,50	37,00	21,50	5,50	654,50
1985	9,50	0,00	37,00	5,50	64,00	17,50	97,50	1,00	24,00	95,50	0,00	0,00	351,50
1986	0,00	15,50	0,00	124,50	164,50	386,50	3,00	140,50	6,00	21,20	35,50	2,00	899,20
1987	0,00	18,00	23,00	7,00	71,50	97,00	645,50	342,00	29,00	38,50	0,00	0,00	1271,50
1988	0,00	6,50	3,00	1,50	62,00	26,00	55,00	114,50	17,00	3,50	1,50	9,00	299,50
1989	0,00	0,00	0,00	30,50	42,00	12,00	75,50	242,50	54,50	3,50	1,50	0,00	462,00
1990	0,00	0,00	31,50	25,00	28,00	24,00	43,50	73,00	89,00	11,00	0,00	0,00	325,00
1991	0,00	0,00	0,00	81,50	311,50	139,50	244,00	5,50	72,50	9,50	10,50	53,00	927,50
1992	1,50	0,50	5,50	72,10	119,00	172,50	67,00	28,50	33,00	14,50	30,90	0,00	545,00
1993	21,00	37,50	0,00	132,00	217,70	169,50	59,00	14,00	21,50	1,00	15,00	0,00	688,20
1994	0,00	0,00	3,90	60,00	44,00	79,50	257,50	16,50	44,70	11,70	7,10	0,00	524,90
1995	25,10	3,50	0,00	59,20	32,00	155,50	31,50	43,70	35,50	4,50	7,00	0,00	397,50
1996	11,00	0,00	0,00	35,70	17,00	37,00	27,90	18,50	1,50	5,70	1,50	3,00	158,80
1997	0,00	0,00	20,00	27,20	108,00	460,70	55,70	212,00	231,50	49,50	6,10	30,60	1201,30
1998	0,00	14,00	27,30	103,90	9,20	28,00	0,00	3,50	47,50	0,00	0,00	0,00	233,40
1999	0,00	0,00	10,80	26,20	50,00	67,10	10,50	84,00	173,20	22,00	27,50	2,00	473,30
2000	0,00	33,50	0,00	61,00	34,00	816,20	61,00	6,00	107,50	25,00	33,00	0,00	1177,20
2001	0,00	0,00	37,00	50,50	72,00	60,00	406,30	189,20	17,50	17,00	0,00	4,00	853,50
2002	0,00	3,50	11,00	45,00	195,00	367,00	206,00	308,00	47,50	14,00	1,20	8,00	1206,20
2003	57,50	0,00	5,50	0,00	104,00	135,00	106,80	9,00	65,00	0,00	62,00	1,00	545,80
Prome dio	5,59	7,61	7,76	39,67	76,32	131,28	119,10	78,40	43,10	19,83	19,14	8,12	555,92

Tabla 23: Datos de precipitación de la estación meteorológica Embalse El Yeso

Estación Laguna Morales Precipitación (mm)

Coordenadas UTM	
Norte	6261755 m.
Este	400841 m.
Altitud	2450 m.

año	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	total anual
1962	0,00	1,90	12,00	5,85	21,40	67,30	11,50	45,90	16,25	74,15	1,20	17,00	274,45
1963	0,00	20,85	12,60	12,00	55,15	117,65	218,70	60,60	182,90	48,70	84,75	0,60	814,50
1964	0,00	1,10	21,70	0,00	0,00	136,35	72,55	50,05	4,70	6,10	5,20	32,05	329,80
1965	14,90	0,00	0,00	43,70	84,90	36,20	147,10	389,45	21,85	56,50	69,00	46,25	909,85
1966	0,00	0,00	0,30	142,50	28,65	139,00	120,60	72,10	0,00	24,45	12,35	14,25	554,20
1967	4,00	7,00	0,00	22,10	67,50	67,75	48,25	24,35	38,50	41,80	0,00	0,00	321,25
1968	3,00	0,00	10,50	15,55	3,45	26,70	7,50	21,10	28,95	7,35	23,50	74,00	221,60
1969	0,00	0,00	2,30	43,25	30,85	251,35	106,35	93,80	32,40	31,40	13,10	0,00	604,80
1970	0,00	1,00	0,00	41,67	130,33	54,57	133,73	26,33	23,63	28,07	0,00	0,67	440,00
1971	7,17	1,00	7,17	22,67	32,60	222,73	64,40	31,73	6,50	54,20	19,33	6,17	475,67
1972	0,00	0,00	7,33	2,17	300,50	271,10	41,50	174,00	106,00	57,67	31,50	0,00	991,77
1973	0,00	1,40	0,50	14,53	131,30	39,90	203,27	2,17	12,33	11,50	0,00	2,90	419,80
1974	0,00	0,50	0,00	9,50	223,47	173,27	12,67	16,83	24,33	8,83	18,17	1,67	489,23
1975	0,00	0,33	5,00	27,50	64,67	9,23	240,33	49,83	2,17	12,67	13,67	0,00	425,40
1976	2,73	22,50	6,67	37,00	73,80	221,50	19,33	17,50	40,67	74,43	13,00	7,50	536,63
1977	1,83	0,00	1,50	24,53	105,33	318,23	238,17	104,03	5,60	49,83	86,00	3,03	938,10
1978	6,43	0,00	0,33	7,17	48,63	111,40	629,83	38,33	52,53	59,50	106,67	1,17	1062,00
1979	0,00	2,67	3,17	11,70	107,00	3,83	89,33	206,67	36,50	2,67	54,00	29,50	547,03
1980	5,50	29,00	0,00	114,00	287,00	147,50	160,25	17,25	59,25	8,75	12,00	1,25	841,75
1981	0,00	22,75	17,00	185,75	238,00	45,00	44,75	34,55	10,75	9,50	3,50	0,00	611,55
1982	1,75	0,00	6,25	26,75	165,30	722,25	455,25	107,75	44,70	10,25	3,25	0,00	1543,50
1983	48,25	9,75	0,00	19,25	89,50	100,25	116,50	71,00	13,25	6,00	0,00	0,00	473,75
1984	0,00	0,00	9,50	36,50	117,50	30,75	161,25	31,75	25,75	18,50	10,75	2,75	445,00
1985	9,50	0,00	37,00	5,50	64,00	17,50	97,50	1,00	24,00	95,50	0,00	0,00	351,50
1986	0,00	7,75	0,00	73,75	230,25	400,80	4,25	148,50	3,00	31,85	42,75	1,00	943,90
1987	0,00	9,00	23,00	68,25	87,25	113,00	711,75	368,00	28,50	71,75	0,00	0,00	1480,50
1988	0,00	3,25	10,50	4,75	68,00	32,00	59,85	149,75	15,50	1,75	0,75	4,50	350,60
1989	0,00	0,00	0,00	15,25	21,00	29,50	110,25	289,75	52,50	7,25	0,75	0,00	526,25
1990	0,00	0,00	31,50	31,50	18,25	28,95	40,00	92,50	117,75	10,00	0,00	1,75	372,20
1991	0,00	0,00	45,00	52,75	280,50	69,75	122,00	2,75	93,00	8,50	11,00	54,50	739,75
1992	0,75	0,25	5,50	80,05	153,75	223,25	45,75	48,75	47,00	18,75	44,20	0,00	668,00
1993	11,75	18,75	8,50	108,75	108,85	147,75	70,50	12,50	23,05	4,00	18,75	0,25	533,40
1994	3,25	2,75	3,90	162,00	91,25	86,25	303,00	14,00	66,85	17,35	5,05	0,75	756,40
1995	12,55	1,75	0,00	80,85	29,00	215,25	41,00	49,85	45,00	7,00	5,50	13,25	501,00
1996	12,75	0,00	0,00	60,65	8,50	45,00	13,95	19,75	2,25	4,35	1,50	3,50	172,20
1997	3,50	0,00	20,00	39,60	136,25	588,10	69,35	199,50	243,75	55,00	5,55	15,80	1376,40
1998	0,00	7,00	27,90	72,45	11,55	33,00	0,00	1,75	54,75	0,00	0,00	0,00	208,40
1999	0,00	2,75	9,45	77,25	50,00	105,25	18,75	95,75	189,85	21,00	13,75	1,00	584,80
2000	0,00	16,75	5,75	57,00	34,25	687,85	75,60	3,50	117,85	12,50	28,00	0,00	1039,05
2001	0,00	27,00	37,00	54,90	79,25	66,50	417,60	177,35	17,75	22,00	0,00	2,00	901,35
2002	0,00	1,75	19,15	52,75	170,00	273,50	155,50	262,00	56,75	8,00	1,35	6,75	1007,50
2003	72,75	0,00	5,50	18,25	98,05	102,45	137,90	29,50	70,50	0,00	42,50	0,50	577,90
X Mensual	10,72	10,63	19,93	95,53	199,87	317,13	281,37	176,10	99,25	52,99	38,67	16,69	1318,88

Tabla 24: Estación meteorológica Laguna Morales

Este procedimiento estadístico permitió generar un registro de las supuestas precipitaciones líquidas caídas en el sector, sin embargo, las precipitaciones sólidas también son un importante aporte. Como no es posible estimarlo para cada una de las estaciones y se tiene una aproximación de la nieve caída para el sector de Baños Morales, se estimó la precipitación sólida y se creó la siguiente tabla, no para cada año sino simplemente para un año(2004), el cual se sumará al promedio de las precipitaciones líquidas para obtener una aproximación de la precipitación real del sector.

Mes	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total anual
PP Líquida (Media)	10,72	10,63	19,93	95,53	199,87	317,13	281,37	176,10	99,25	52,99	38,67	16,69	1318,88
PP Sólida (Media)	0,00	0,00	0,00	6,00	20,00	70,00	105,00	144,00	96,00	0,00	0,00	0,00	441,00
PP Total	10,72	10,63	19,93	101,53	219,87	387,13	386,37	320,10	195,25	52,99	38,67	16,69	1759,88

Tabla 25: Estación meteorológica Laguna Morales, precipitación líquida, media mensual para el periodo con aportes de precipitación sólida (mm.)

De esta manera la precipitación anual sería de 1759,88 mm. Los meses más húmedos corresponderían a junio, julio, agosto, en la etapa invernal del hemisferio sur, los meses más secos se registrarían en diciembre, enero, febrero y marzo.

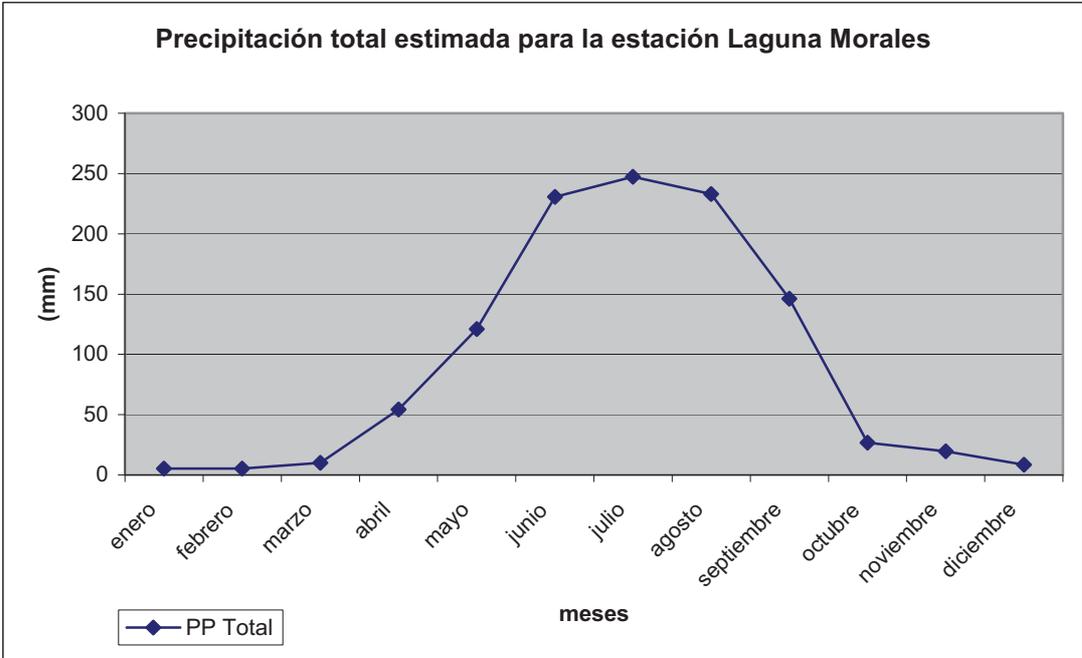


Figura 16: Gráfico de precipitación estimada para la estación Laguna Morales

De la tabla 25 , es posible construir histogramas y en el caso de la estación virtual es posible demostrar el comportamiento anual de las variables de temperatura y precipitación a través de un climograma.

1.3.6. Síntesis de las variables analizadas

Temperatura

Estación Los Queltehues

Estación meteorológica Los Queltehues Temperatura (°C)												
	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Promedio E. Normal	19,845	21,21	20,42	17,75	13,68	10,44	5,90	9,65	12,16	14,355	16,35	19,25
Promedio E. Nivelada	12,695	14,06	13,27	10,6	6,53	3,29	-1,2	2,5	5,01	7,205	9,2	12,10

Tabla 26: Datos de las temperaturas normal y nivelada de la estación meteorológica los Queltehues

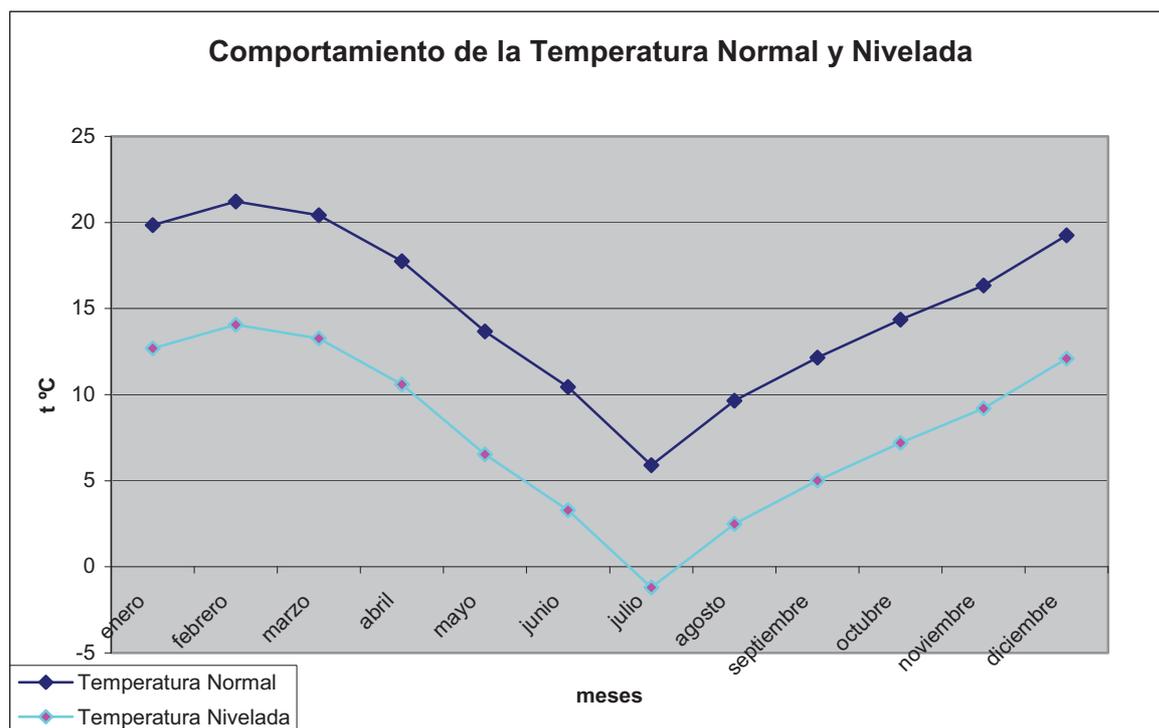


Figura 17: Gráfico que muestra el comportamiento de la temperatura normal y nivelada en la estación Los Queltehues.

En relación a la estación los Queltehues, la temperatura nivelada desciende en forma homogénea en todos los meses del año en proporción al coeficiente de nivelación calculado según su altitud.

Estación las Melosas

Estación meteorológica Las Melosas Temperatura (°C)

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Promedio E. Normal	19,72	19,46	18,33	15,71	10,81	7,24	6,95	8,99	10,90	13,18	16,00	18,75
Promedio E. Nivelada	13,72	13,46	12,33	9,71	4,81	1,24	0,95	2,99	4,90	7,18	10,00	12,75

Tabla 27: Datos de las temperaturas normal y nivelada de la estación Meteorológica Las Melosas

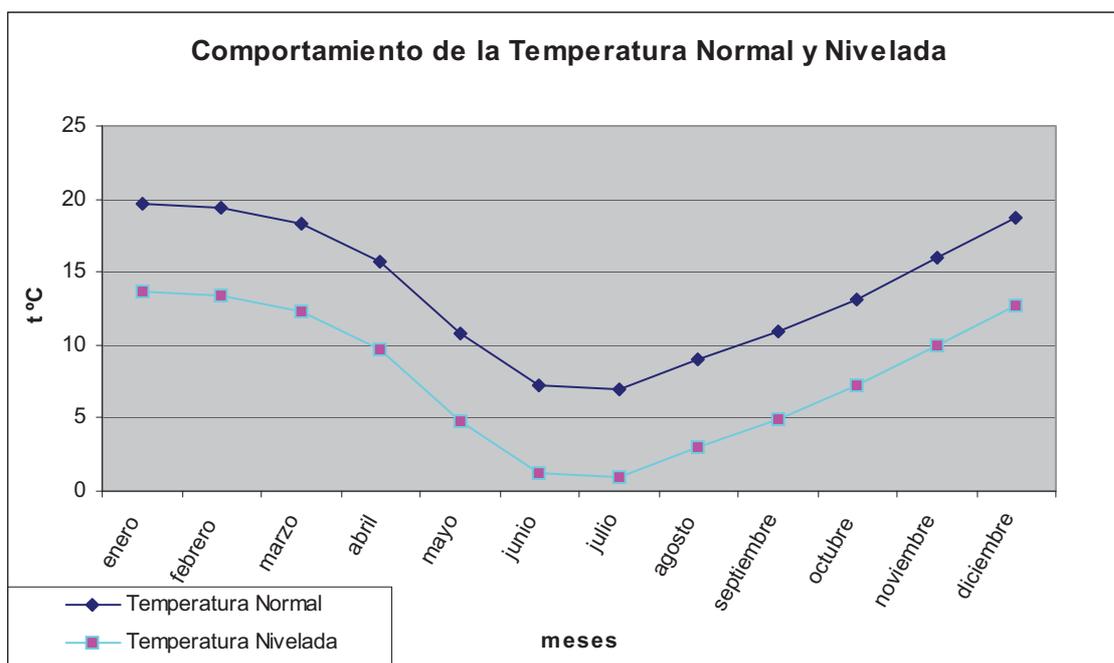


Figura 18: Gráfico que muestra el comportamiento de la temperatura normal y nivelada en la estación Las Melosas

En relación a la temperatura de las Melosas la nivelada desciende en forma homogénea en todos los meses del año en proporción al coeficiente de nivelación calculado según su altitud.

Estación Embalse El Yeso.

Embalse El Yeso Temperatura (°C)

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Promedio E. Normal	14,30	15,03	13,89	10,45	6,39	3,46	2,19	3,32	4,95	8,14	10,80	13,07
Promedio E. Nivelada	13,88	13,62	12,90	10,28	6,53	3,09	2,06	3,00	4,83	7,68	10,37	12,93

Tabla 28: Datos de las temperaturas normal y nivelada de la estación meteorológica Embalse El Yeso

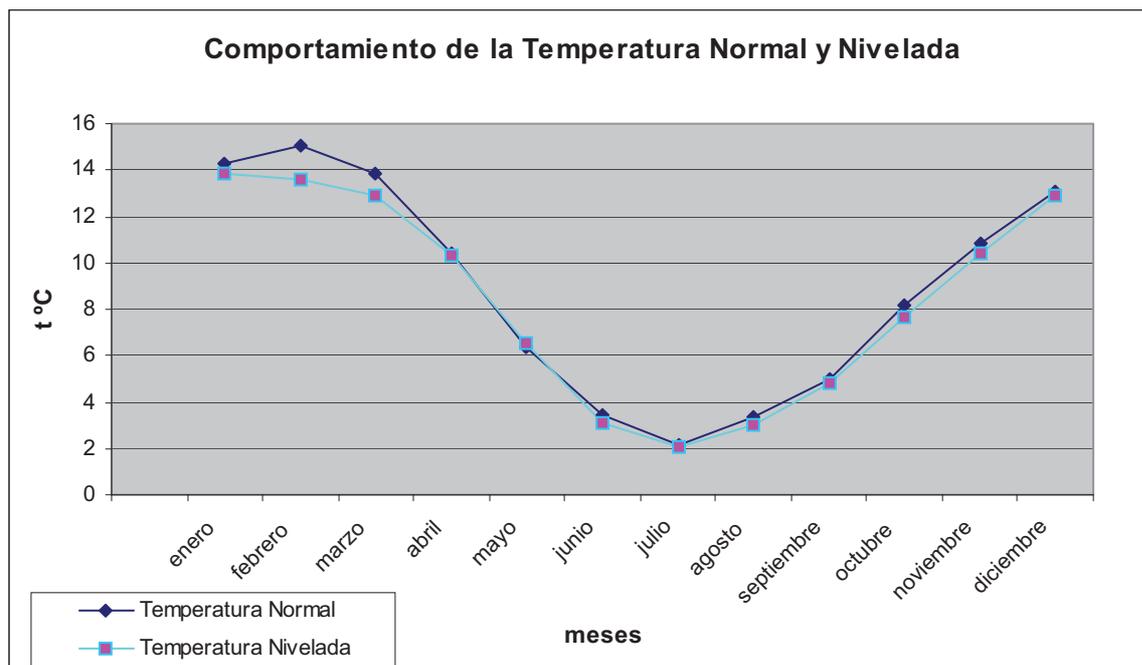


Figura 19: Gráfico que muestra el comportamiento de la temperatura normal y nivelada en la estación Embalse El Yeso

En la estación Embalse El Yeso, en relación a la temperatura y al comparar las temperaturas medias normales y las temperaturas medias niveladas se puede observar que los meses de enero a marzo sufre una pequeña variación (descenso); el resto de los meses del año la estación normal y la nivelada son semejantes, con pequeñas variaciones (0,2 °C). Este fenómeno puede deberse a la presencia de un agente moderador térmico que corresponde a un importante espejo de agua (Embalse El Yeso), reservorio de la Región Metropolitana de Santiago.

De las tres estaciones analizadas respecto de la temperatura la estación Embalse El Yeso es la que presenta un comportamiento diferente en la mayor cantidad de meses, dado que tanto la temperatura normal como nivelada son similares.

Precipitación

Estación los Queltehues

En cuanto a las precipitaciones, el periodo seco se encuentra entre los meses de diciembre a marzo, donde el promedio histórico de agua caída es de 6,8 mm. El periodo mas húmedo se encuentra entre los meses de abril a noviembre, pero con una marcada concentración de mayo a agosto.

En el periodo de mayo a septiembre se encuentra una serie de datos que permite inferir la presencia de precipitación sólida. Como valores muy bajos destacan agosto con cero precipitación, julio con 27 mm, julio de 1976 con sólo 9 mm y septiembre 1977 con de 1,8 mm.

Estación meteorológica Los Queltehues												
Mes	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
PP	1,58	1,25	2,05	13,65	134,6	200,91	179,11	91,54	41,42	39,86	32,15	1,46
T °C	12,7	14,06	13,27	10,6	6,53	3,2933	-1,247	2,5	5,01	7,205	9,2	12,10

Tabla 29: Temperatura y precipitación de la estación meteorológica Los Queltehues

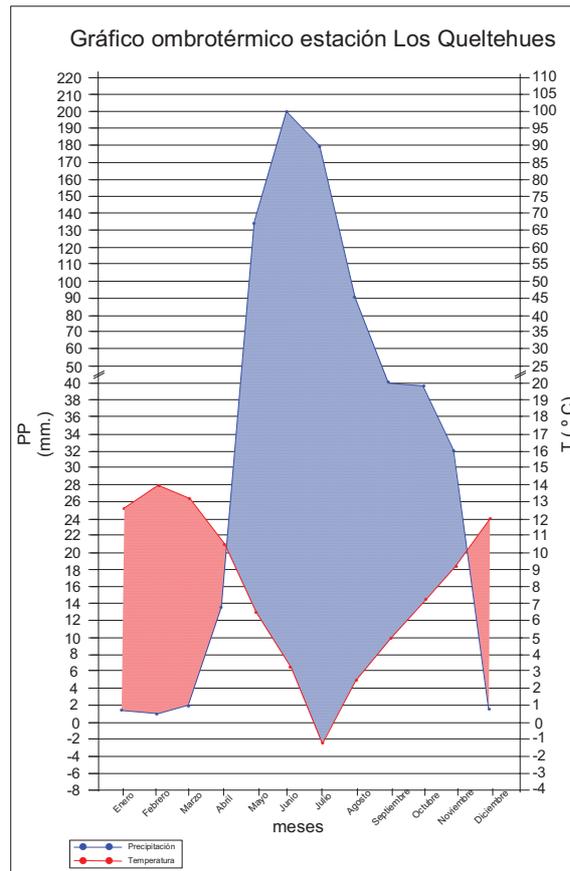


Figura 20: Gráfico ombrotérmico estación Los Queltehues

Estación Las Melosas

Los periodos húmedos y secos se encuentran definidos entre los mismos meses, presentados en la estación Los Queltehues (mayo a septiembre y octubre a abril respectivamente).

La Estación las Melosas, que posee registros entre los años 1962 y 2003, también permite definir los meses más fríos (mayo-agosto) y cálidos (septiembre-abril) en el área. Sin embargo los meses donde esta característica se acentúa son julio (mes más frío) y enero (mes más cálido).

Estación meteorológica Las Melosas												
Mes	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
PP	4,94	3,37	16,56	57,42	119,41	171,81	157,49	91,83	53,17	30,02	20,04	9,50
T °C	13,72	13,46	12,33	9,71	4,81	1,24	0,95	2,99	4,90	7,18	10,00	12,75

Tabla 30: Temperatura y precipitación de la estación meteorológica Las Melosas

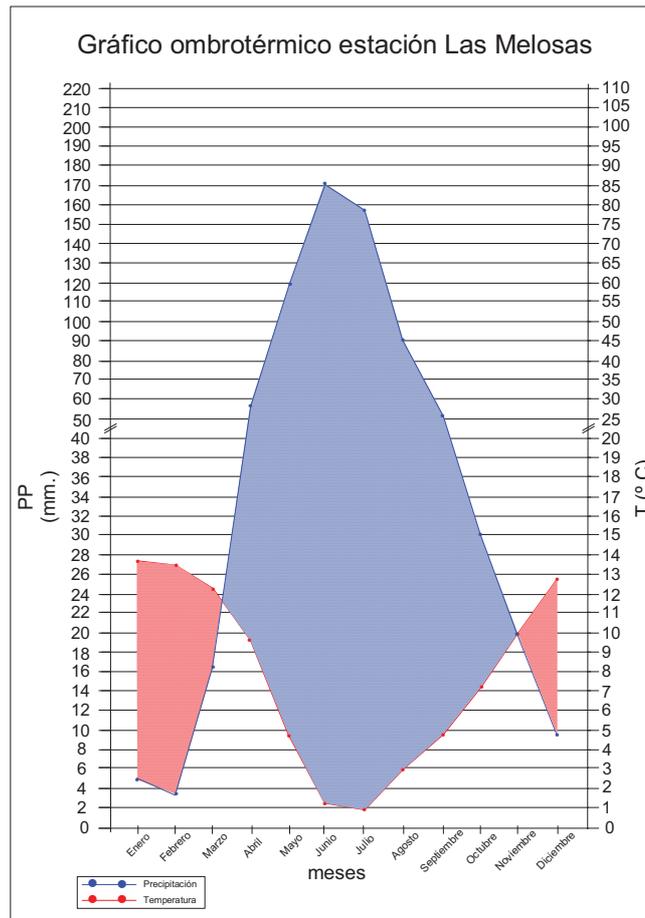


Figura 21: Gráfico ombrotérmico estación Las Melosas

Estación Embalse El Yeso

La Estación Embalse El Yeso, que posee registros entre los años 1962 y 2003, también permite definir los meses más fríos (mayo–agosto) y cálidos (septiembre- abril) en el área. Sin embargo los meses donde esta característica se acentúa son julio (mes más frío), a diferencia de la estación Las Melosas, y enero (mes más cálido).

La precipitación del mes de agosto destaca por ser relativamente baja, debido a que se registra sólo la precipitación líquida para la estación, y no se considera la gran precipitación sólida que se aloja en las cimas de las montañas que circundan el embalse y que cae en este mes, que continua siendo uno de los más fríos del año.

Estación meteorológica Embalse El Yeso												
Mes	enero	febrero	marzo	Abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
PP	5,59	7,61	7,76	39,67	76,32	131,28	119,10	78,40	43,10	19,83	19,14	8,12
T °C	13,88	13,62	12,90	10,28	6,53	3,09	2,06	3,00	4,83	7,68	10,37	12,93

Tabla 31: Temperatura y precipitación de la estación meteorológica Embalse El Yeso

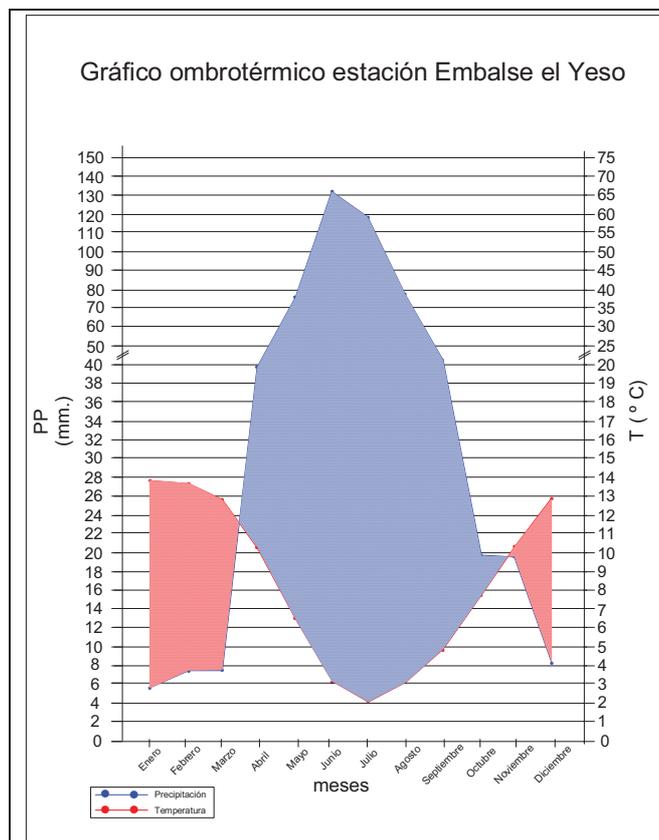


Figura 22: Gráfico ombrotérmico estación Embalse El Yeso

Estación Laguna Morales

La Estación virtual Laguna Morales, adaptada para contener los registros de las estaciones anteriores, posee registros entre los años 1962 y 2003. Presenta como mes más frío a julio con una temperatura de 2 °C y como mes más cálido a febrero con 14,8°C.

La variable precipitación se concentra en los meses de mayo a septiembre llegando a 978,3 mm., representando el 82,25% de la precipitación anual; la precipitación sólida, si bien se ha considerado para la elaboración del climograma, se encuentra presente hasta los meses de septiembre u octubre, estando relacionada con la presencia del fenómeno ENOS.

Estación meteorológica Laguna Morales												
Mes	enero	febrero	marzo	abril	mayo	Junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
PP	10,72	10,63	19,93	101,53	219,87	387,13	386,37	320,10	195,25	52,99	38,67	16,69
T °C	14,36	14,53	13,26	10,05	6,08	2,71	1,72	2,96	4,77	6,44	10,21	13,04

Tabla 32: Temperatura y precipitación de la estación meteorológica Laguna Morales

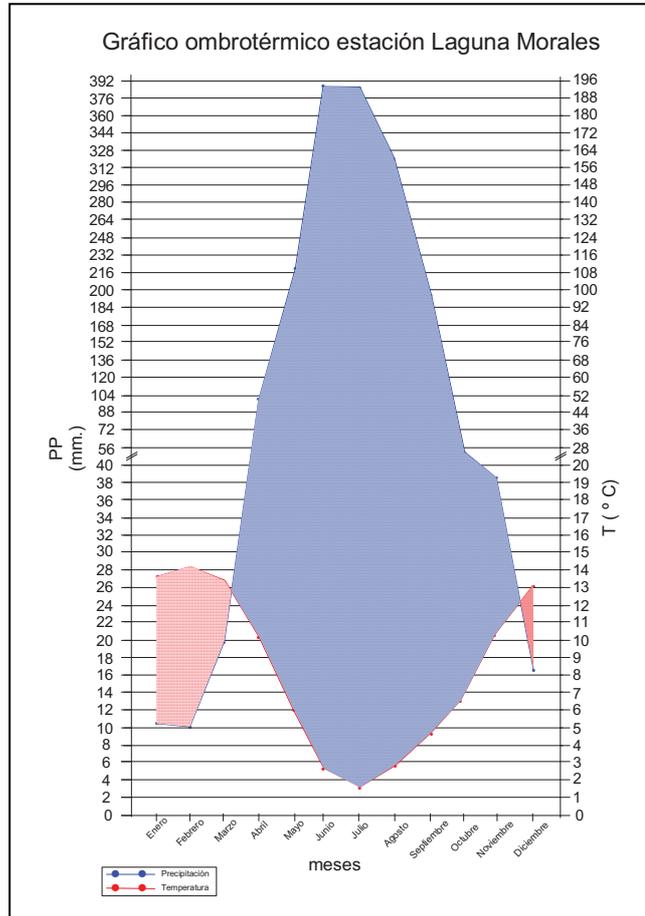


Figura 23: Gráfico ombrotérmico estación Laguna Morales

Índice de Gausson	Establece que un mes es seco si el doble de la temperatura es igual o mayor a la precipitación, cuando la precipitación es mayor entonces el mes es húmedo													
	mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total anual
T°C	14,36	14,53	13,26	10,05	6,08	2,71	1,72	2,96	4,77	6,44	10,21	13,04	8,34	
2* (T°C)	28,72	29,06	26,52	20,10	12,15	5,42	3,43	5,92	9,54	12,87	20,41	26,07	16,68	
PP (mm)	10,72	10,63	19,93	101,53	219,87	387,13	386,37	320,1	195,25	52,99	38,67	16,69	1759,88	
Calidad del mes	seco	seco	seco	húmedo	seco									

Tabla 33: Índice de Gausson

Índice de De Martonne	Establece que para determinar los meses secos, semisecos, semiárido, semihúmedo y árido se debe relacionar las precipitaciones media anual y media mensual y la temperatura media anual. Cuando $I > 20$ entonces el mes es húmedo Cuando $10 < I < 20$ entonces el mes es semiseco, semiárido, semihúmedo Cuando $I < 10$ entonces el mes es árido												
PP media mensual	146,65												
PP media anual (1962 - 2003)	651,49												
T° media anual (1962 - 2003)	8,34												
T° media mensual	8,34												
mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total anual
pp (mm)	10,72	10,63	19,93	101,53	219,87	387,13	386,37	320,1	195,25	52,99	38,67	16,69	1759,88
T°C	14,36	14,53	13,26	10,05	6,08	2,71	1,72	2,96	4,77	6,44	10,21	13,04	8,34
$I_m = \frac{pp}{(t+10)} * \frac{1}{2}$	5,28	5,20	10,28	60,77	164,12	365,54	395,74	296,35	158,64	38,69	22,96	8,69	1151,35
Calidad del mes	árido	árido	árido	húmedo	árido								

Tabla 34: Índice de De Martonne

Índice de Lang	Establece si hay suficiente humedad para que sea apto el territorio para soportar vegetación. Si $IL > 40$ entonces hay humedad suficiente, Si $IL < 40$ entonces no hay suficiente humedad.												
mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total anual
PP (mm)	10,72	10,63	19,93	101,53	219,87	387,13	386,37	320,1	195,25	52,99	38,67	16,69	1759,88
T°C	14,36	14,53	13,26	10,05	6,08	2,71	1,72	2,96	4,77	6,44	10,21	13,04	100,11
Total PP (mm) / Total T°C													17,58
													Por lo tanto el territorio no cuenta con la humedad suficiente para la presencia de vegetación

Tabla 35: Índice de Lang

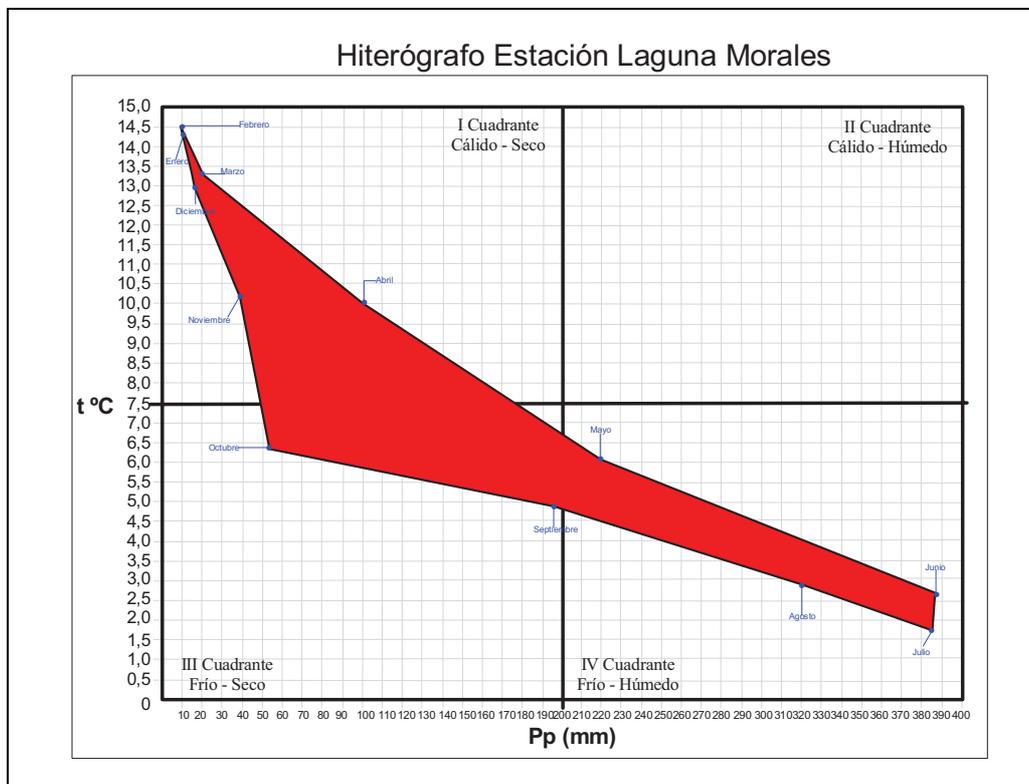


Figura 24: Hiterógrafo Laguna Morales.

Del análisis del hiterógrafo de la Estación Virtual denominada Laguna Morales, se observa que en el primer cuadrante (I), que corresponde a un periodo cálido-seco, se encuentran ubicados los meses de enero, febrero, marzo, abril, noviembre y diciembre, es decir, un total de seis meses. En el cuadrante número III, que corresponde a un periodo frío-seco, se localizan los meses de octubre y septiembre. En el cuadrante número IV, que corresponde a un periodo frío- húmedo, encontramos 4 meses, correspondiente a los meses de mayo, junio, julio y agosto. En el cuadrante dos, denominado cálido- húmedo, no se encontró ningún mes dentro del área de estudio, que presente estas características climáticas. Destaca el ciclo que se forma con el comportamiento de las temperaturas disminuyendo desde enero (aunque febrero es el mes más cálido) hasta el mes de julio para luego comenzar a ascender nuevamente.

1.4. Hidrología: Las aguas superficiales no glaciares

El componente hídrico es el principal agente modelador y estructurador del territorio y elemento fundamental en la diferenciación de paisajes del área de estudio. El análisis de este componente se centró en el estero Morales, desde donde aflora, a los 2550 metros de altitud, aproximadamente, hasta su nivel de base local al confluir con el río Volcán.

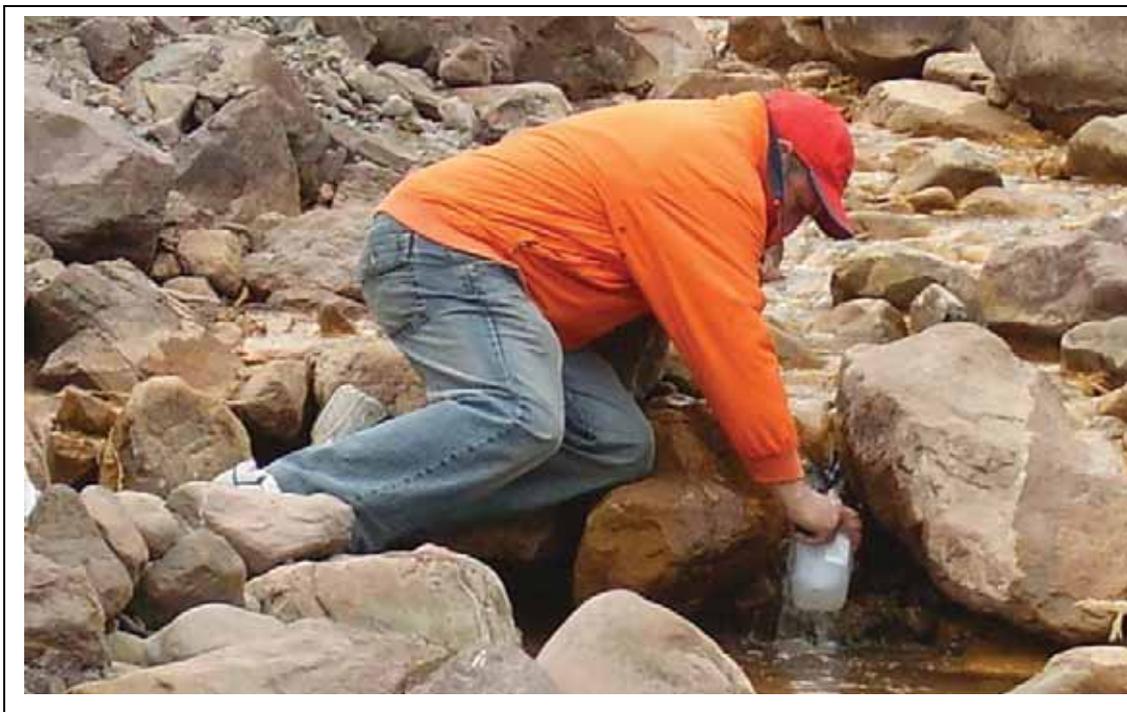
El estero Morales se extiende por toda la cuenca, originándose en el ambiente glaciar y se debe al deshielo, con escurrimiento bajo el material detrítico disgregado perteneciente a la lengua del glaciar San Francisco. En su escurrimiento superficial a medida que cruza los ambientes morfoclimáticos su comportamiento varía, erosionando en los sectores altos de la cuenca, depositando en los sectores medios (sinuoso), para finalmente en el sector de Depósitos Morrenicos erosionar al confluir sus aguas al río Volcán, a los 1.870 m. de altitud (fotografías 66, 67 y 68).

El conjunto del área definida conforma el valle del estero Morales. Una serie de quebradas que fluyen desde ambas laderas se unen con el principal curso fluvial. También existe una serie de pequeñas quebradas intermitentes que aportan agua al estero Morales. Este curso fluvial con dirección norte-sur, presenta una pendiente aproximada de 18% en un corto recorrido no mayor a 10km., enlazando con el río Volcán, donde se tomaron muestras de agua para análisis químico y bacteriológico (Fotografía 62).

En esta zona existen fuentes permanentes de aguas termales-minerales denominadas por los lugareños como "Aguas Panimávidas". Esta agua se encuentra carbonatada y debe su origen a la asimilación de calcio y yeso en su recorrido al que también se incluye óxido de hierro, para luego aparecer como aguas gaseosas, con hierro y calcio. Este tipo de afloramiento da origen a los Baños Morales, piscinas de aguas termales ricas en minerales y sales, que se presentan en la (fotografía 61) y tablas 36, 37 y 38.



Fotografía 61: Afloramientos de aguas termales ricas en hierro (fotografía: Infante, N. septiembre 2006).



Fotografía 62: Toma de muestras de agua en el lecho del estero Morales, puente el Esfuerzo (fotografía: Infante, N. mayo 2007).

Análisis Físico Químico de Agua¹⁰

Identificación muestra

Procedencia / origen	Estero Morales
Fecha y hora de la toma	21 / 05/ 2007 15:15 hrs.
Métodos de ensayo	Manual SISS (A) determinación standard methods for the examination of water and wastewater 20 th (B)

1. Parámetros Físicos	Metodología	Límite máximo	Limite de detección	Valor medido
Turbiedad (UNT)	Nefelométrico	5	0,10	3,5
Color (Pt – Co)	Platino - Cobalto	20	-	Aparente 310,0 - Real 0,0
Olor	Organoléptico	Inodoro	-	
Sabor	Organoléptico	insípido	-	

2. Parámetros Químicos	Metodología	Límite máximo (Mg / l)	Limite de detección	Concentración Medida (mg / l)
Amoniaco	Electrodo específico	1,5	0,02	<0,02
Arsénico (total)	E.A.A Generación de Hidruros	0,01	0,002	<0,002
Cadmio (total)	E.A.A. Aspiración Directa	0,01	0,005	<0,005
Cianuro (total)	Electrodo específico	0,05	0,02	<0,02
Cloruros	Argentométrico	400,0	1,4	9,2
Cobre (total)	E.A.A. Aspiración Directa	2,0	0,01	<0,01
Compuestos Fenólicos	E. A. Molecular	0,002	0,001	<0,001
Cromo (total)	E.A.A. Aspiración Directa	0,05	0,03	<0,03
Flúor (total)	Electrodo específico	1,5	0,05	0,12
Hierro (total)	E.A.A. Aspiración Directa	0,3	0,03	0,49
Magnesio (total)	E.A.A. Aspiración Directa	125,0	0,2	17,31
Manganeso (total)	E.A.A. Aspiración Directa	0,1	0,002	<0,002
Mercurio (total)	E.A.A. Vapor Frío	0,001	0,0005	<0,0005
Nitratos	Electrodo específico	50,0	0,9	2,2
Nitritos	E.A. Molecular	3,0	0,03	<0,03
Razón Nitrato Nitrito	Cálculo	1,0	-	0,05
Plomo (total)	E.A.A. Aspiración Directa	0,5	0,02	<0,02
Sólidos disueltos totales	Gravimétrico	1500,0	10	727,0
Selenio (total)	E.A.A. Generación Hidruros	0,01	0,003	<0,003
Sulfatos	Gravimétrico con secado	500,0	6,0	165,5
Zinc (total)	E.A.A. Aspiración Directa	3,0	0,004	0,6
PH 11,0 °C	Potenciométrico	6,5 – 8,5	-	8,24

Tabla 36: Análisis Físico Químico del agua del estero Morales, mayo 2007 (véase más detalle en Anexo)

Resumen del examen bacteriológico de aguas¹¹	
Naturaleza de la muestra	Estero
Lugar fecha y hora de recogida	Estero Morales, 21/05/2007. 15:15 hrs.
reservantes usados	Solución tiosulfato de sodio Solución EDTA
turbiedad	3.5 UNT.
Recuento Heterótrofos (35°C * 48 hrs. – St. Met.)	24 colonias /ml.
NPM – Coliformes totales – NCh 1620/1 Of. 84	33 por 100 ml.
NPM – Coliformes Fecales – St. Methods - NCh 2313/22 Of. 95	< 2.0 por 100 ml.

Tabla 37: Examen bacteriológico del agua del estero Morales, mayo 2007

Contenido	Cantidad Kg/libre
Anhídrido carbónico	978,8
cloruro	16,27
Sulfúrico	3,25
Carbónico	563,73
Bromo	16,80
Yodo	indicios
Sodio	5,77
Potasio	728,58
Calcio	1,43
Magnesio	243,66
Fierro	10,50
Aluminio	2,65

Tabla 38: Composición química de las aguas termales ubicadas en Baños Morales. Fuente: Administración del Centro Turístico Baños Morales.

Biró-Bagóczy (1964) señaló que en la zona de Lo Valdés, se pueden observar fenómenos hidrotermales (Fotografía 63 y 66), que se manifiestan en forma de fuentes termales, como es el caso de Baños Morales y más al oriente del área de estudio en Baños Colina. Estos fenómenos hidrotermales probablemente tiene relación con el activo volcán San José localizado en plena Cordillera de los Andes. En algunas partes puede encontrarse travertino, como consecuencia de la actividad hidrotermal, que se depositó en la superficie conservando en muchos casos impresiones de plantas del tipo junco, totora y cola de zorro (Fotografía 64 y 65)



Fotografía 63: Depósitos hidrotermales en la confluencia del estero Morales y el río Volcán (fotografía: Infante, N. abril 2004.)



Fotografía 64: Travertinos en las márgenes del estero Morales en el sector del Vallecito (fotografía: Infante, N. abril 2004.)



Fotografía 65: Depósitos hidrotermales en la ribera norte del río Volcán (fotografía: Infante, N. abril, 2004.)



Fotografía N° 66: Naciente del estero Morales, bajo una cueva glaciar de más de 100 m. de extensión sur-norte bajo el hielo, observándose un importante caudal, que da origen al estero Morales (fotografía: Infante, N. enero 2008.)



Fotografía N° 67: Estero Morales en su curso medio, donde se aprecia una leve profundización (ruptura de pendiente) de su lecho (fotografía: Infante, N. febrero, 2005.)



Fotografía 68: Tramo inferior del estero Morales, entre el cerro Rubillas y los depósitos morrénicos retocados por deslizamientos, este realiza pequeñas sinuosidades en su estrecho lecho, socavando y profundizando las estructuras que le rodean (fotografía: Infante, N. febrero, 2005.)

1.4.1. Morfología fluvial del estero Morales

Perfil longitudinal.

El perfil longitudinal del estero Morales se presenta en el modelo tridimensional en la figura 25. La longitud total del curso principal es de 9,7 kilómetros.

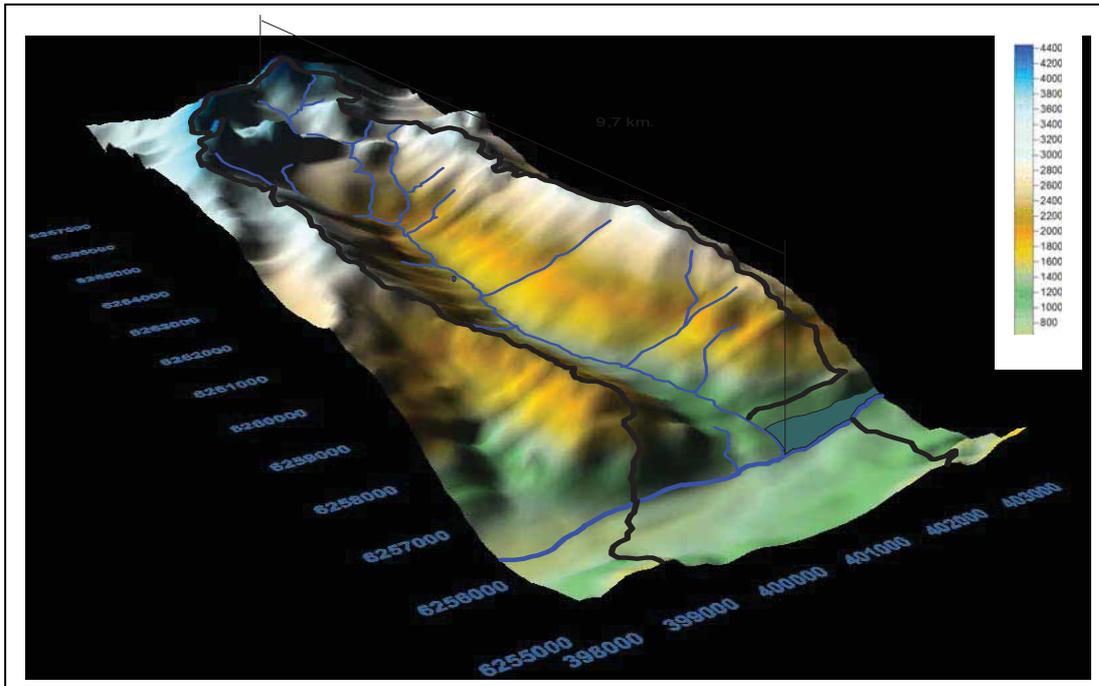


Figura 25: Modelo tridimensional de la cuenca del estero Morales (Infante, N. 2004)

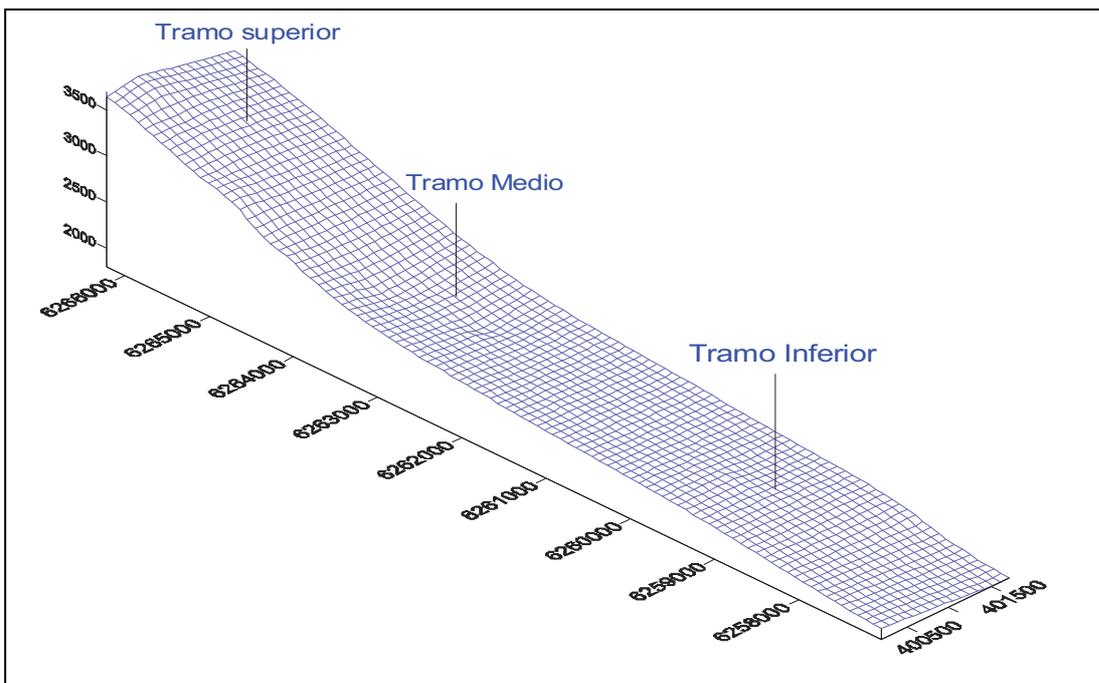


Figura 26: Modelo del perfil longitudinal del estero Morales (Infante, N. 2007)

Índice de compactación (Ic)

Es la relación entre la superficie de la cuenca y la longitud de la misma.

$$Ic = \frac{Sc}{Lc^2}$$

Donde: Sc: Superficie de la cuenca en km²

Lc: Longitud de la cuenca en km.

$$Ic = \frac{29,360 \text{ km}^2}{(10,090 \text{ km})^2} = 0,290 \approx 0,29.$$

Esto indica que la cuenca esta compactada en un 29%, por lo tanto es mucho mas larga que ancha.

Índice de elongacion (Ie)

Es la relación entre el diámetro de un círculo, con la misma superficie que la cuenca y la longitud del cauce.

$$Ie = 2 * (\sqrt{(Sc / \pi)} / Lq)$$

Donde: Sc: Superficie de la cuenca en km²

Lq: Longitud del cauce en km.

π : constante

$$Ie = 2 * (\sqrt{(29,360 / 3,1415...)} / 9,7) = 0,630 \approx 0,63$$

Esto indica que si la cuenca fuera un círculo su diámetro se encontraría elongado o estirado en un 63%.

Ambos índices demuestran que la cuenca es mucho más larga que ancha

Índice de sinuosidad (Is)

Corresponde a la relación entre la longitud del cauce y la longitud de la cuenca.

$$Is = \frac{Lc}{Lq}$$

Donde: Lc: Longitud del cauce en km.

Lq: Longitud de la cuenca en km.

$$Is = \frac{9,7}{10,090} = 0,961 \approx 0,96$$

Al comparar este índice con las categorías que rigen para los ríos españoles, y ser menor a 1,5; se puede considerar a este curso fluvial como rectilíneo.

Relación de bifurcación (Rb)

Es la relación que hay entre los segmentos de un orden y el número de segmentos de orden inmediatamente superior.

$$Rb = \frac{No}{Nos}$$

Donde: No: número de segmentos de un orden

Nos: número de segmentos de un orden inmediatamente superior

Para el primer caso: No = 13

Nos = 4

$$Rb = \frac{13}{4} = 3,25$$

Rb: entre los ordenes 1 y 2 = 3,25 ≈ 3,3.

Por tanto cada 1 segmento de orden 2 existirían 3,3 de orden 1.

Para el segundo caso No = 4

Nos = 1

$$Rb = \frac{4}{1} = 4$$

Rb: entre los ordenes 2 y 3 = 4

En este caso por cada 1 segmento de orden 3 existirían 4 de orden 2.

Relación de longitud (RL)

Es igual a la longitud media de los segmentos de un orden dividida entre la longitud media de los segmentos de orden inferior.

$$RL = \frac{Lo}{Loi}$$

Donde: Lo: Longitud media de los segmentos de un orden

Loi: longitud media de los segmentos de orden inmediatamente inferior

para el primer caso: Lo = 6259,2 m.

Loi = 678,6 m.

$$RL = \frac{6259,2}{678,6} = 9,2$$

RL: entre los ordenes 3 y 2 : 9,2.

Para el segundo caso Lo = 678,6 m.

Loi = 1023,9 m.

$$RL = \frac{678,6}{1023,9} = 0,66$$

RL: entre los ordenes 2 y 1 : 0,66

Densidad de drenaje

Se entiende por densidad de drenaje a la relación entre la longitud total de todos los cauces y la superficie total de la cuenca.

$$D = \frac{L_d}{S_c}$$

Donde: L_d : longitud total del cauce

S_c : superficie total de la cuenca

$$D: \frac{24,423\text{km}}{29,360\text{km}^2} = 0.831 \approx 0,83.$$

Por lo tanto existirían 0,83 km. de dren por km^2

Magnitud hidráulica

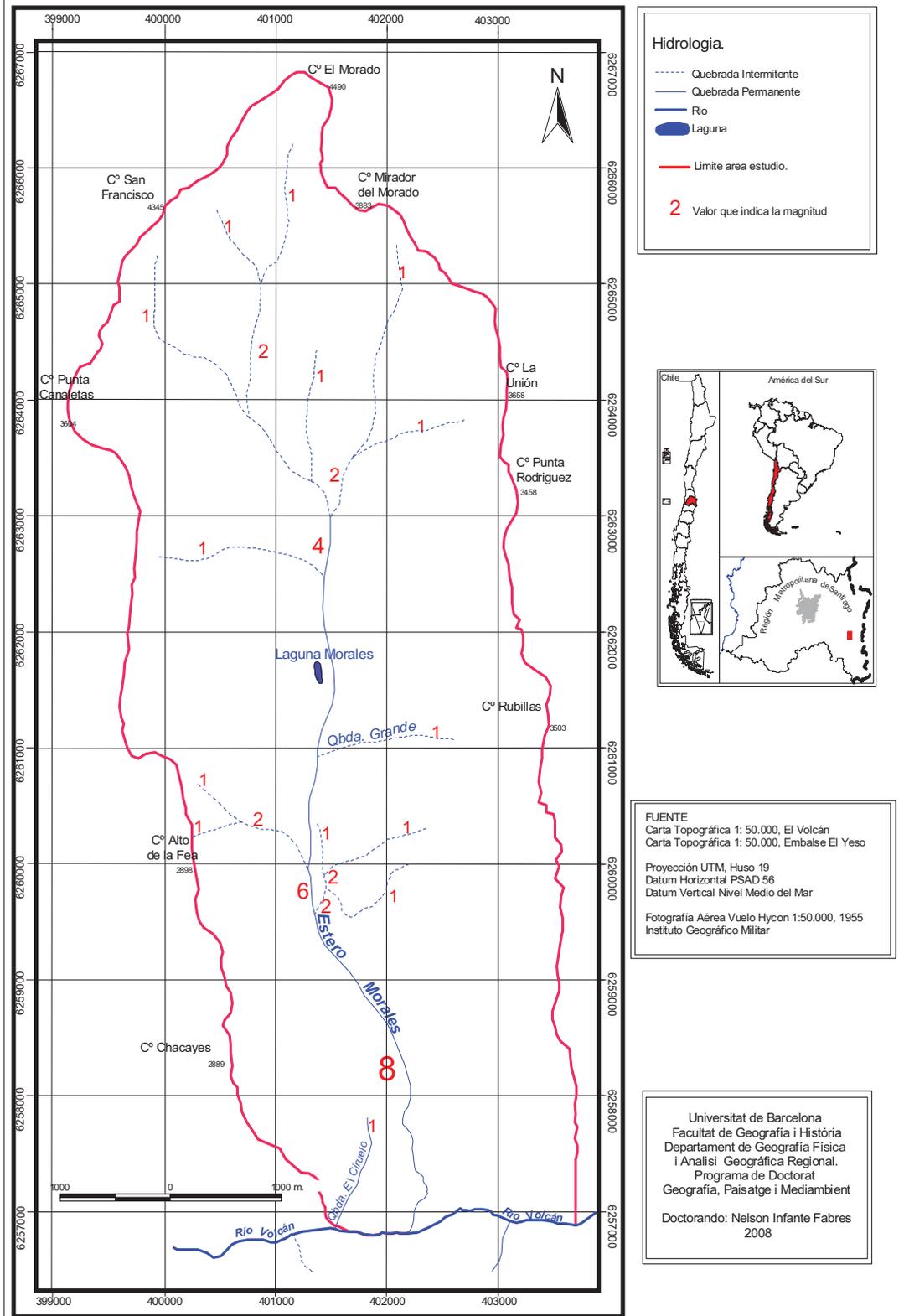
Corresponde a la magnitud de los cursos en una red de drenaje, cada vez que dos cursos de la misma magnitud confluyen forman una magnitud mayor, sumándose los valores de cada uno de ellos, la magnitud se denota utilizando números pares, por ejemplo dos drenes de orden 1 forman una magnitud 2, dos drenes de orden 2 forman una magnitud 4 y así sucesivamente.

Jerarquía de la red de drenaje.

Corresponde a la jerarquización de la red de drenaje según el orden de los drenes, es decir, se comienza con el orden inferior que es el número 1, al juntarse dos drenes de este orden forman un dren de orden 2, y al converger dos drenes de orden 2 se obtiene un dren de orden 3, si un dren de orden inferior se junta con otro de orden inferior, entonces se mantiene el orden de mayor jerarquía para el tramo.

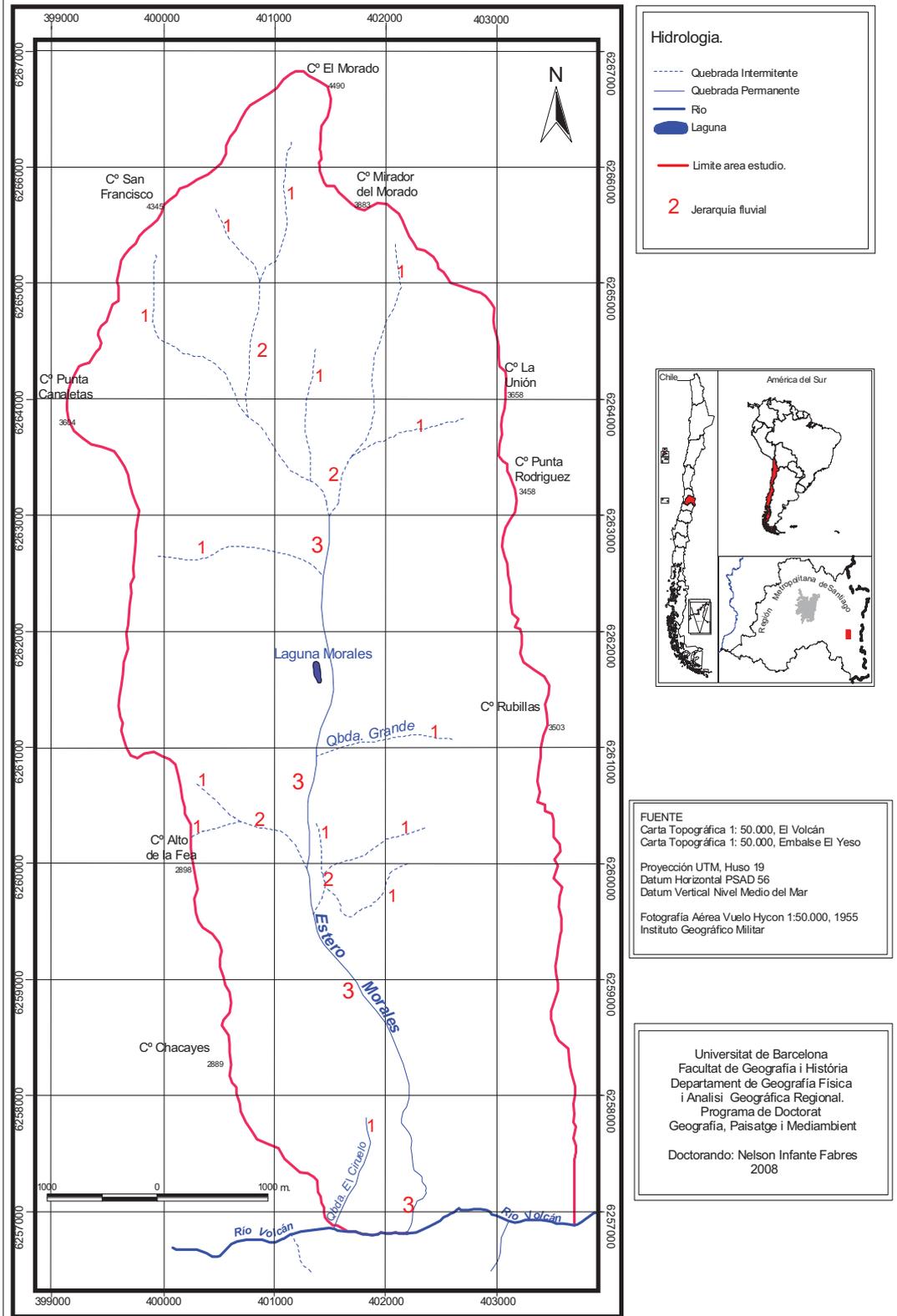
Ambas características de Magnitud y Jerarquía se presentan en los mapas 4 y 5, adjuntos.

Magnitud hidr mica del estero Morales



Mapa 4: Magnitud hidr mica

Jerarquización de la red de Drenaje del estero Morales



Mapa 5: Jerarquización red de drenaje

1.4.2. El caudal del estero Morales

El caudal de un curso fluvial corresponde a la cantidad de agua que transporta en una sección en un momento dado, se puede expresar en $m^3/seg.$ o $l/s.$

Con los valores de las tablas 2, 3, 4 y 5 (página 39), se generaron los perfiles transversales del estero Morales, utilizados para estimar el caudal. Estos perfiles se presentan en las siguientes figuras.

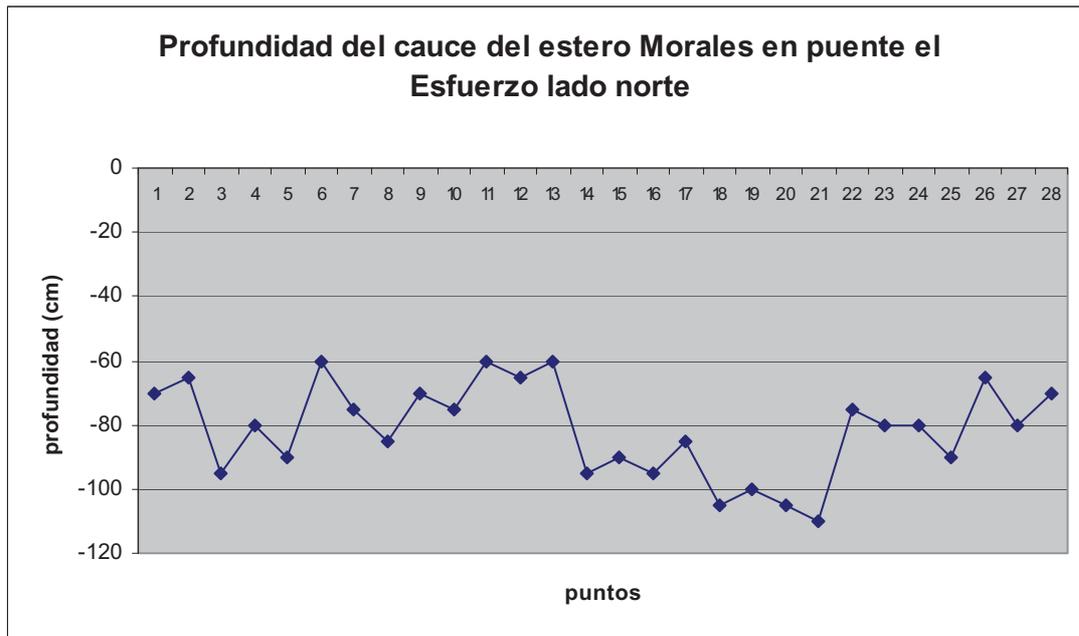


Figura 27: Profundidad del cauce en el lado norte puente el Esfuerzo (Infante, N. 2007)

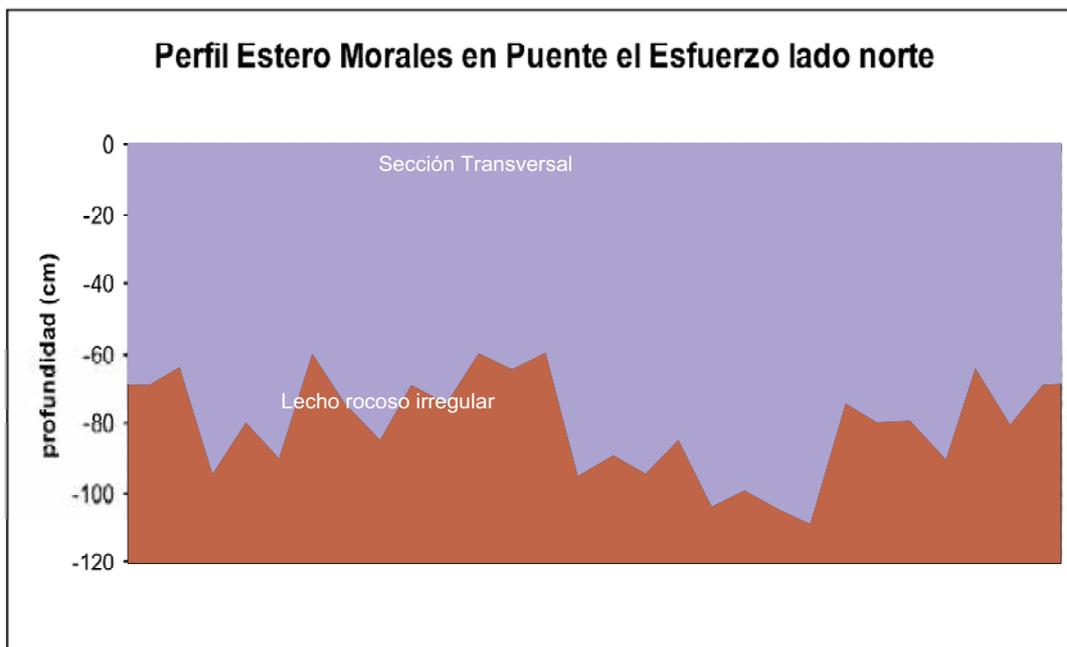


Figura 28: Perfil lado norte puente el Esfuerzo (Infante, N. 2007).

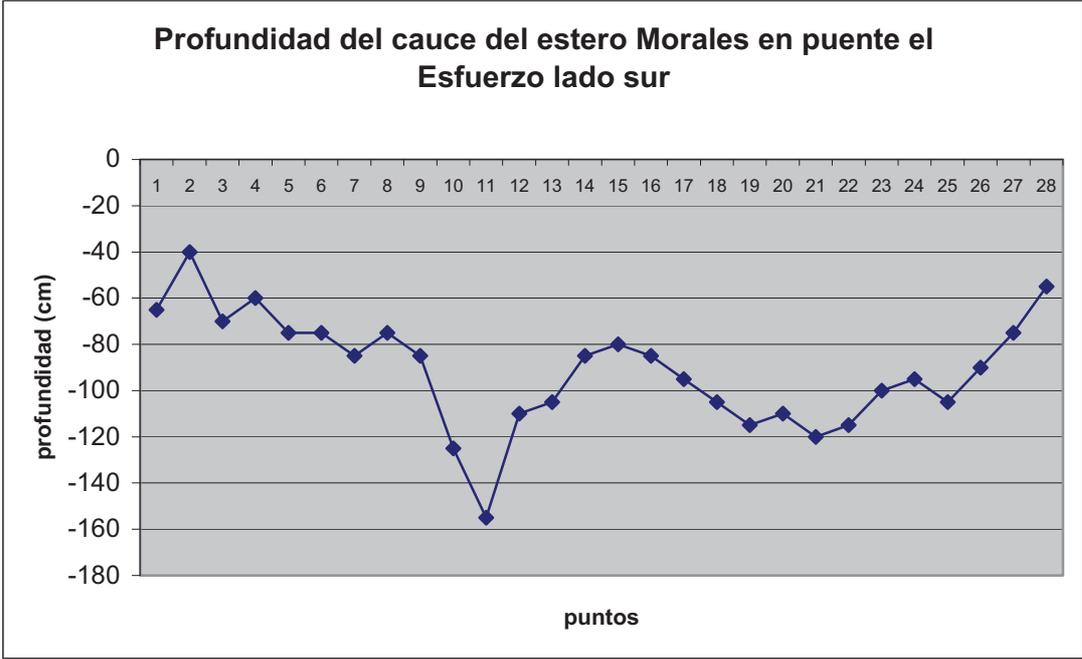


Figura 29: Profundidad del cauce en el lado sur puente el Esfuerzo (Infante, N. 2007)

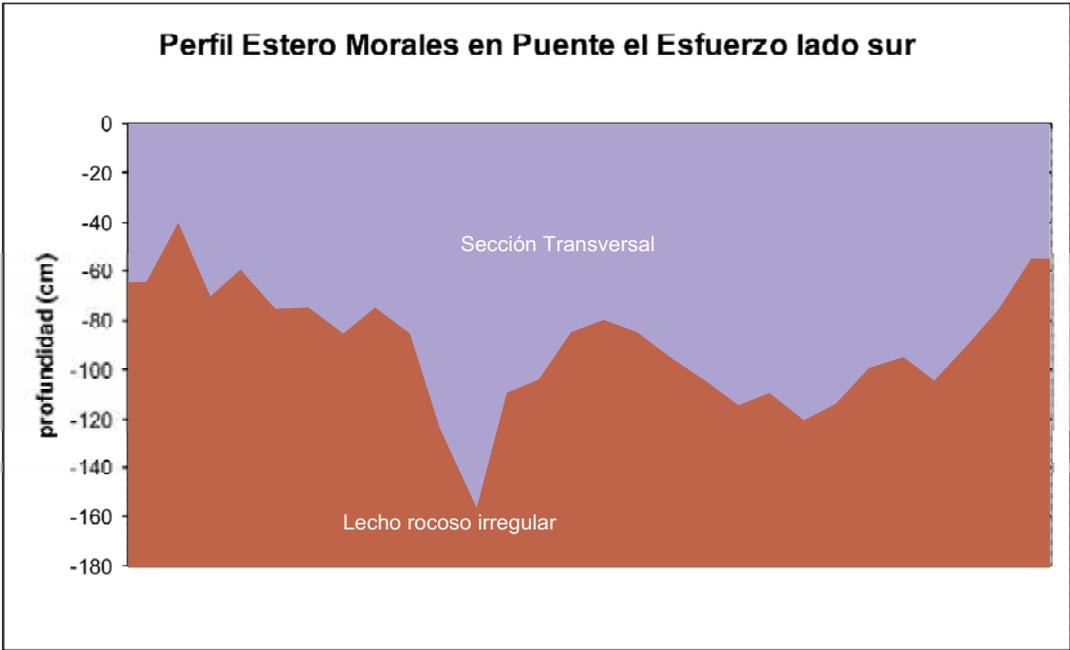


Figura 30: Perfil lado sur puente el Esfuerzo (Infante, N. 2007)

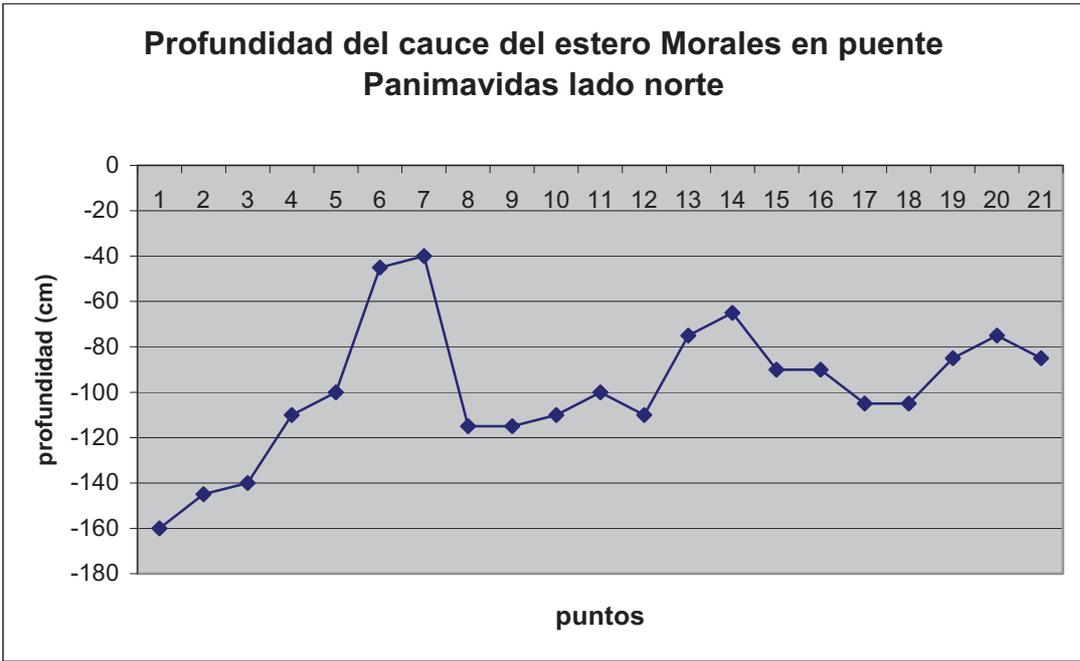


Figura 31: Profundidad del cauce en el lado norte puente Panimávidas (Infante, N. 2007)

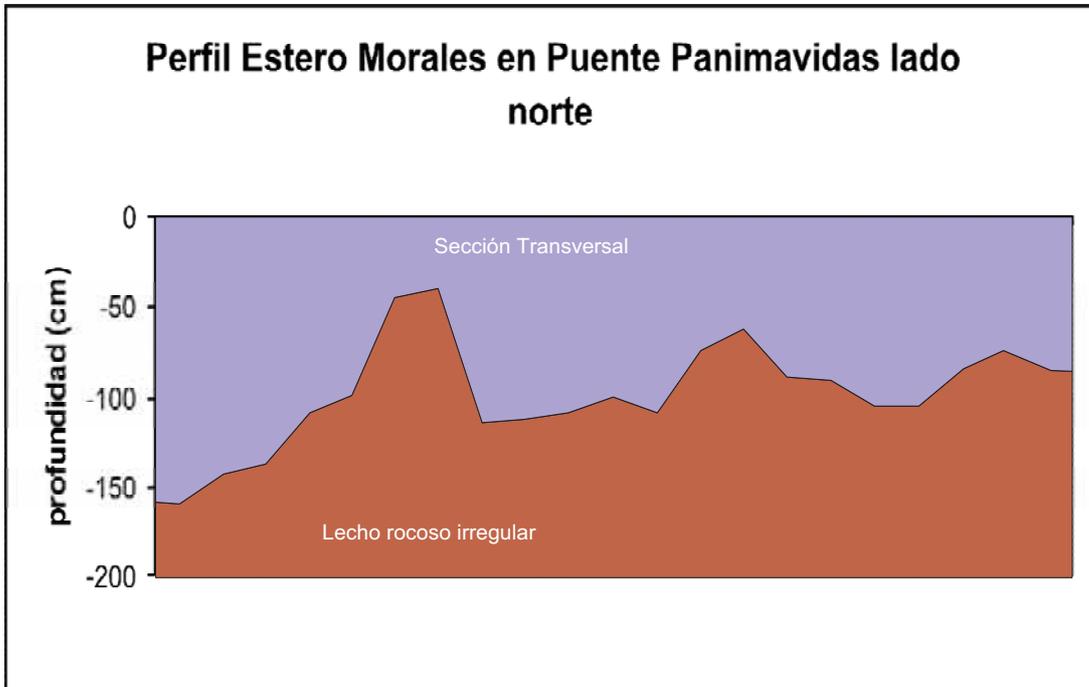


Figura 32: Profundidad del cauce en el lado norte puente Panimávida, donde se muestra el lecho rocoso irregular y la sección activa del curso fluvial (Infante, N. 2007).

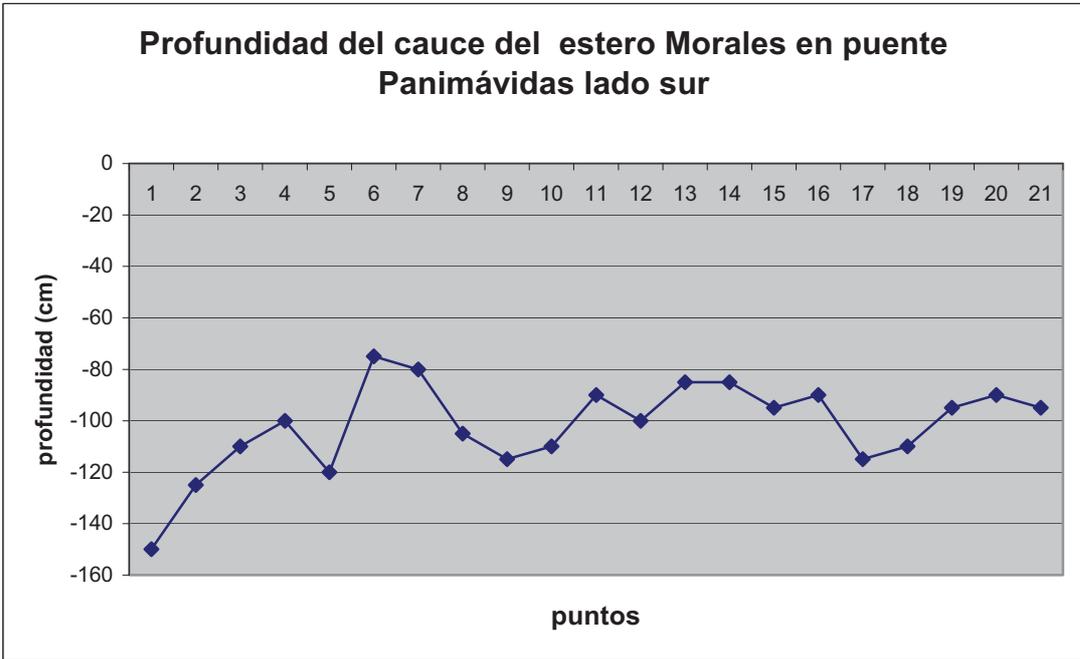


Figura 33: Perfil lado sur puente Panimávidas (Infante, N. 2007)

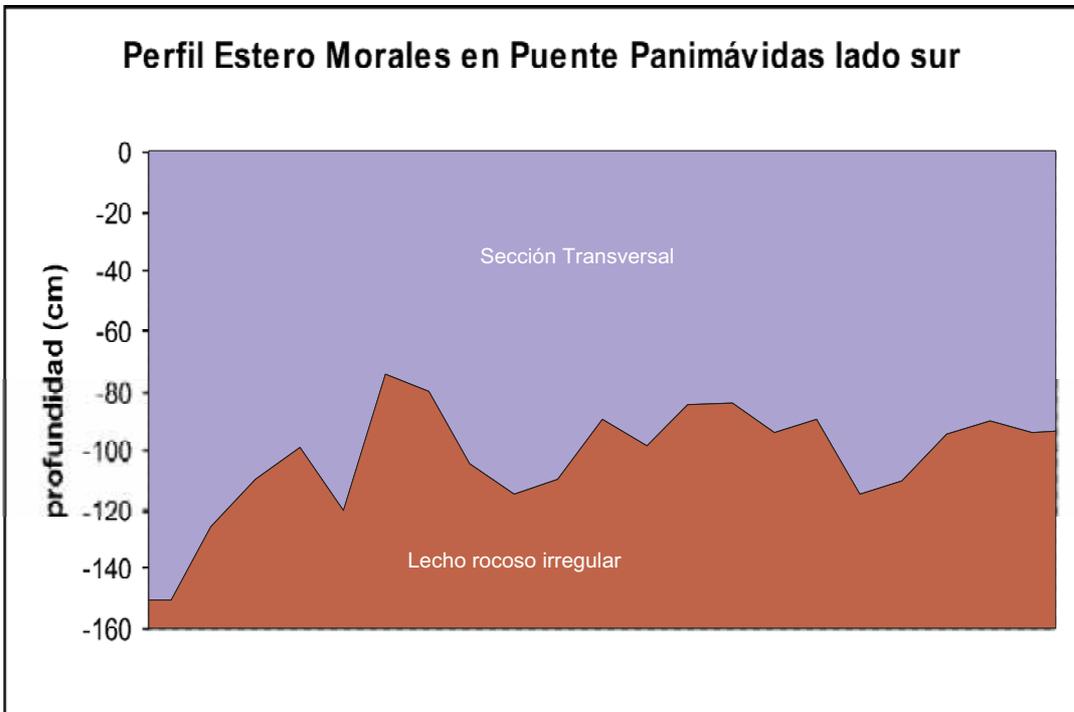
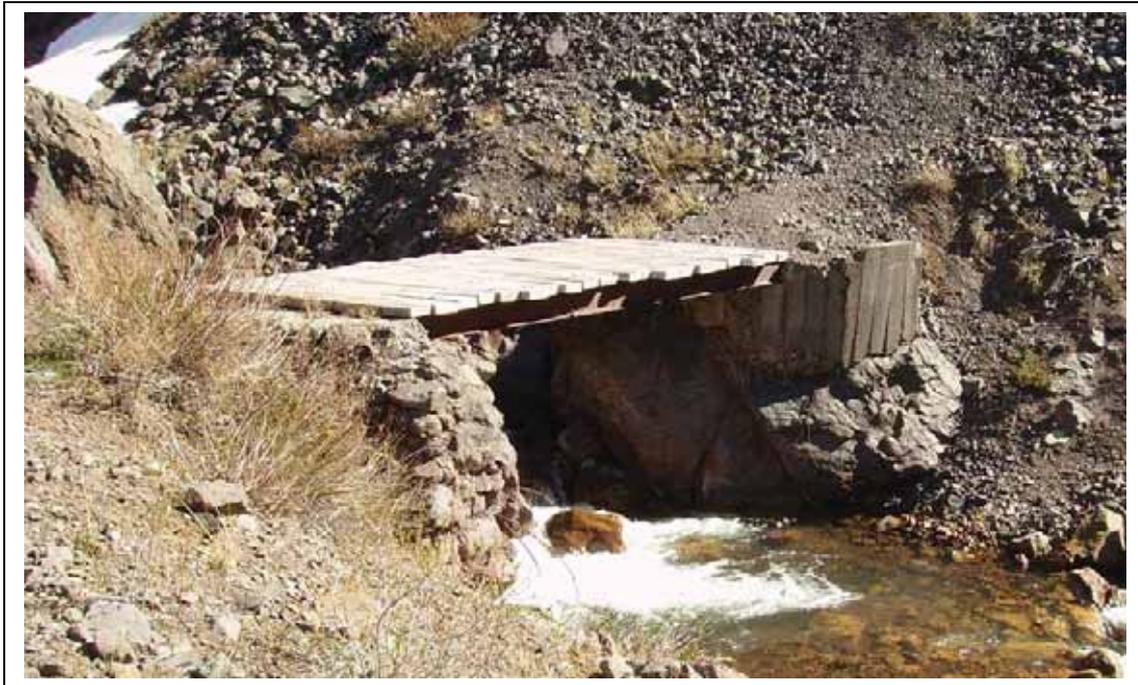


Figura 34: Perfil lado sur puente Panimávidas, donde se muestra el lecho rocoso irregular y la sección activa del curso fluvial (Infante, N. 2007).



Fotografía 69: Puente Panimávidas , con escaso caudal , que actúa como corredor faunístico en el ambiente periglacial (fotografía: Infante, N. enero 2006.)

1.4.3. Estimación del caudal absoluto

Para determinar el caudal se calculó la profundidad media del lecho (0,86m.), en el puente El Esfuerzo y 1,0 metros para el puente Panimávida , largo de la secciones activas , ancho de la medición y se multiplicó por la velocidad del caudal, de esta manera se obtienen las siguientes figuras.

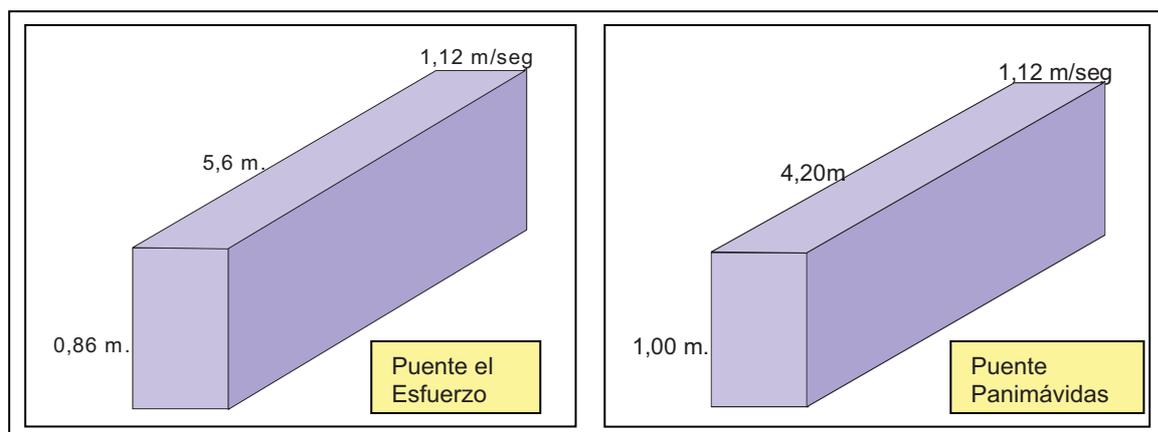


Figura 35: Tramos modelos en los puentes el Esfuerzo y .Panimávidas (Infante, N. 2007)

Desarrollando el producto entre las tres dimensiones, puente el Esfuerzo, es decir el largo, el ancho, por el alto se obtiene: $5.39 \text{ m}^3/\text{seg}$. en esta sección del estero.

En el sector del puente Panimávidas, considerando una profundidad media de 1,00 m. y un lecho de 4,2 metros, se obtiene un caudal de 4.70 m³/seg.

Con el método instrumental se obtuvo un caudal de 3,46 m³/seg., en el puente el Esfuerzo, definido principalmente por el lecho que el instrumento consideró, ya que este al ser irregular no pudo medir los sectores cercanos a las orillas. El lecho contemplado por el instrumento fue de 6,5 metros y la profundidad media fue de 24 centímetros.

1.4.4. Estimación del caudal relativo o específico (Qr)

Expresa la relación entre el caudal absoluto del curso fluvial y la superficie de la cuenca, se mide en litros por segundo por kilómetro cuadrado. Este parámetro indica la capacidad de evacuación de la cuenca.

$$Qr = \frac{Qa}{Sc}$$

Donde Sc: superficie de la cuenca.

Qa: caudal absoluto en cada puente.

$$Si: Sc: 27,450 \text{ km}^2$$

Qa: Caudal absoluto en puente el Esfuerzo: 5,39 m³/seg.

Qa: Caudal absoluto en puente Panimávida: 5,10 m³/seg.

Entonces:

$$Qr = \frac{5,39}{27,450} = 0,19635$$

Qr : en puente el Esfuerzo: 0,19635 m³/seg/ km² .

Si en 1m³ existen 1000 litros, entonces podría expresarse como 196,35 l/s/km².

La interpretación de esta valor correspondería :

“En el puente el Esfuerzo en ese momento presenta un caudal relativo de 196,35 litros de agua por segundo, en cada kilómetro cuadrado”.

$$Qr = \frac{5,10}{27,450} = 0,18579$$

Qr : en puente Panimávidas: 0,18579 m³/seg/ km² .

Si en 1m³ existen 1000 litros, entonces podría expresarse como 185,79 l/s/km².

La interpretación de esta valor correspondería:

“En el puente Panimávidas existe un caudal relativo de 185,79 litros de agua por segundo en cada kilómetro cuadrado”.

De acuerdo a las categorías establecidas para los ríos españoles el estero Morales, tendría una capacidad de evacuación muy alta, pues, es mayor a 40 litros por segundo por kilómetro cuadrado.

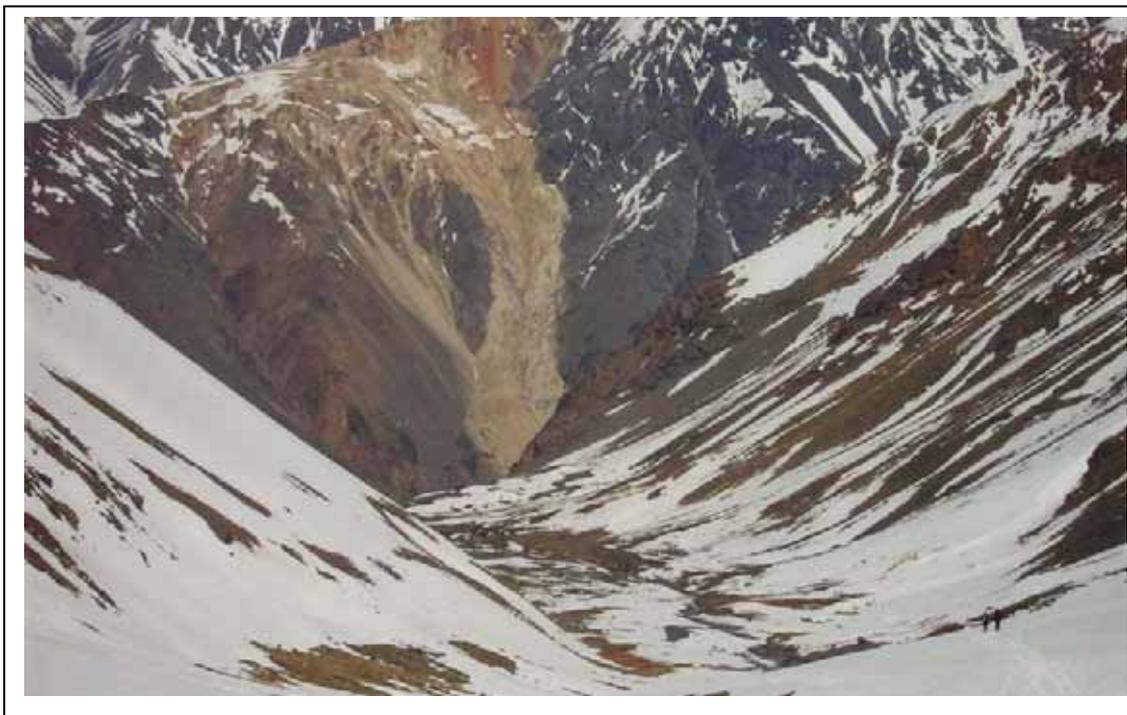
1.4.5. Síntesis.

Índice calculado	Valor	Interpretación
Índice de compactación	0,27	<i>La cuenca esta compactada en un 27%, por lo tanto es mucho mas larga que ancha.</i>
Índice de elongacion	0,61	Esto indica que si la cuenca fuera un circulo su diámetro se encontraría elongado o estirado en un 61%.
Índice de Sinuosidad	0,96	<i>Se utiliza para comparar con otras categorías y ver si el curso fluvial es sinuoso o rectilíneo, al comparar este índice con las categorías que rigen para los ríos españoles, y ser menor a 1,5; se podría considerar a este curso como rectilíneo.</i>
Relación de Bifurcación	3,3 - 4,00	Indica la relación entre los segmentos de un orden y el número de segmentos de orden inmediatamente superior. <i>Entre los cursos de orden 1 y 2 es de 3,3 y entre los ordenes 2 y 3 es de 4.</i>
Relación de longitud	9,20 - 0,66	Es la longitud media de los segmentos de un orden dividida entre la longitud media de los segmentos de orden inferior. <i>Entre los ordenes 2 y 1 es de 9,20 y entre los ordenes 3 y 2 es de 0,66.</i>
Densidad de Drenaje	0,89 km. /km ²	la relación entre la longitud total de todos los cauces y la superficie total de la cuenca. En este caso existirían 0,89 km. de dren por km ²
Magnitud final del Dren	8,00	Es la magnitud final que alcanza el dren al desembocar en otro curso de mayor categoría.
Jerarquía final del dren	3,00	<i>Es la jerarquía final del dren, se utiliza para identificar si el dren posee muchas nacientes dentro de la cuenca y estimar el tipo de red de drenaje al que pertenece, en este caso arborescente.</i>
Caudal relativo	185,79 lt/seg/km ²	<i>Es la cantidad de litros por segundo por kilómetro cuadrado que el curso fluvial transporta.</i>
Caudal absoluto (método manual)	5,39 m ³ /seg.	<i>Es la cantidad de metros cúbicos de agua por segundo que escurre por el lecho fluvial.</i>
Caudal absoluto (método instrumental)	3,46 m ³ /seg.	<i>Es la cantidad de metros cúbicos de agua por segundo que escurre por el lecho fluvial.</i>

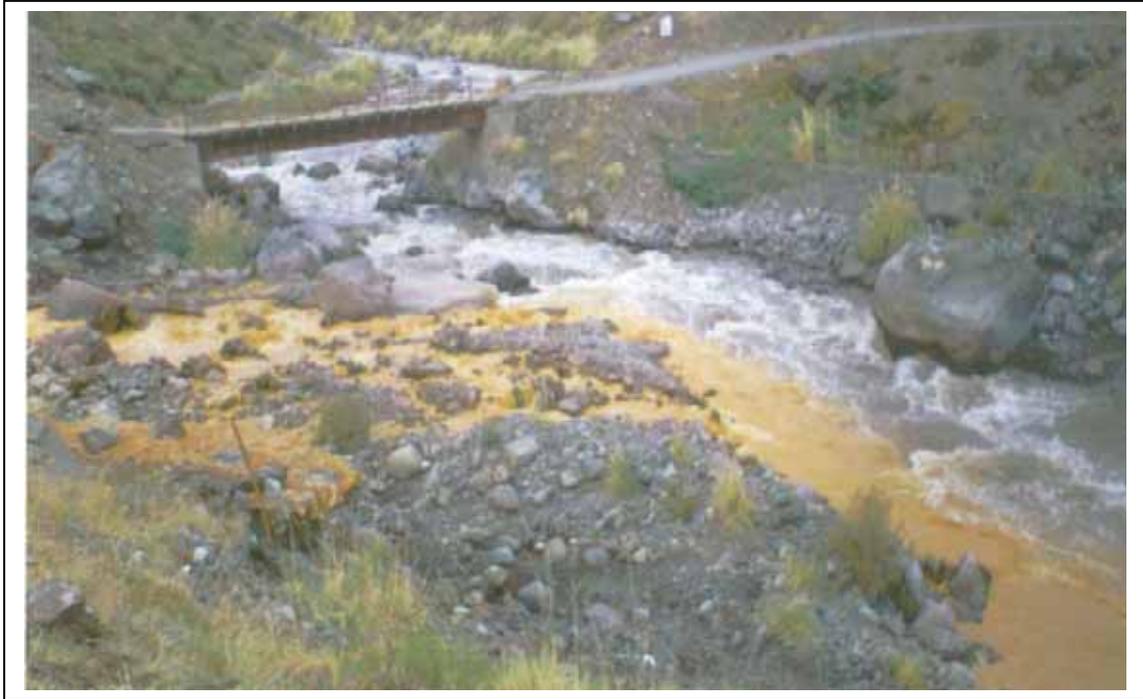
Tabla 39: Parámetros hidrológicos estero Morales



Fotografía 70: Los ambientes morfoclimáticos definen el régimen del estero Morales (fotografía: Infante, N. noviembre 2006.)



Fotografía 71: Ambiente periglacial en el tramo medio del valle, donde se observa claramente un escalonamiento (fotografía: Infante, N. septiembre 2006.)



Fotografía 72: Confluencia del estero Morales y el río Volcán. Nótese la diferencia en el tono de las aguas por la gran cantidad de sedimento disuelto, que transporta en ese momento el estero Morales (fotografía: Infante, N. abril 2006).

2. Componentes bióticos

2.1. Los suelos y la cobertura vegetal

Entre las limitantes para la formación de suelos se debe considerar la dinámica de vertiente, las condiciones climáticas, la regulación y la variabilidad freática (agua subterránea, que en la cordillera central de Chile depende casi exclusivamente de las precipitaciones invernales) y la pendiente. Estos condicionantes en el ámbito de estudio resultan poco favorables para el desarrollo de procesos edafogénicos, lo que limita, considerablemente, la cubierta vegetal, que en la mayoría de los ámbitos territoriales de la cuenca del estero Morales está muy supeditada a la naturaleza físico-química de los incipientes horizontes edáficos.

2.2. Suelos incipientes y poco desarrollados

El Monumento Natural El Morado está situado en los pisos periglacial y glaciar, cuyos suelos incipientes corresponden a un sistema con elevada presencia de guijarros y fragmentos rocosos, ocasionalmente entremezclado con una matriz arcillo gravosa.

En ciertas zonas, como en las laderas del cajón, existen aluviones formados exclusivamente por guijarros provenientes de rocas metamórficas generados por procesos de nivación y sistemas glaciares. Esto da lugar a pequeños deslizamientos hacia el interior del cajón, por lo que el circo glaciar está en proceso de remodelación glaciar constante.

La escasa presencia de suelo en el Monumento Natural El Morado presenta características ácidas, áreas de suelos desnudos desprovistos de vegetación por efecto de la altitud o del sustrato rocoso.

Como es frecuente en áreas montañosas donde predominan las fuertes pendientes y una activa acción climática y geomorfológica, donde destacan procesos como es el caso de crioclastia o gelifracción, hace difícil encontrar vestigios de suelos, ya que de existir alteración de las rocas preexistentes formando suelo, este ha sido translocado por las fuertes pendientes de las laderas, depositando este material en la parte baja de la cuenca, donde se presenta una activa acción fluvial.

Según Khune¹², en el año 1984 se determinó dentro del área del Monumento Natural El Morado algunas capacidades de uso del suelo que varían de la clase VI a VIII con sus respectivas letras que indican la limitante de dichas capacidades de uso. La tabla 40 presenta un resumen de estos tipos de suelos y las superficies que cubren:

- a) Complejo fondo de valle, se ubica en el sector sur del área de estudio donde destacan la presencia de bloques y afloramientos rocosos, que ocupan en algunos

sectores, hasta 40% ; bajo la cobertura rocosa tanto de la clase VII s y VIII s existe un sustratum altamente guijarroso , con matriz arcillo gravosa o franco arcillo-gravosa que alcanza en algunas partes dos metros de profundidad, presentan además una pendiente que varía entre un 5% a un 20 %.

En el fondo del valle del estero Morales, correspondiente a un piso glacial con escasa presencia de regosol (relictos de suelo sobre rocas), se presenta mayoritariamente un sistema con fuerte presencia de guijarros y fragmentos rocosos y en algunas ocasiones mezclados con una matriz arcillo –gravosa. En las laderas que enmarcan el cajón está la presencia de una serie de conos formados preferentemente por guijarros, provenientes de material rocoso de las diversas formaciones geológicas presentes en el área, transportadas por procesos de nivación, agua y sistemas glaciogénicos.

- b) Esta unidad representa a una formación de deslizamiento de las partes altas de la montaña, esta conformada mayoritariamente por guijarros y rocas angulosas sueltas, sin formación de suelo, con pendientes que varían entre un 60 a un 70 %, en algunas ocasiones, va acompañado de afloramientos rocosos cortados por pequeñas quebradas muy erosionadas, este sistema esta sujeto permanentemente a derrumbes y deslizamientos nivales, debido a la fuerte meteorización en que se encuentran las rocas metamórficas en posición mas elevada que la unidad en cuestión, corresponde a suelos de capacidad Clase VIII c , donde la condicionante es el clima.
- c) Esta unidad está representada por una formación mixta de laderas muy escarpadas. Corresponde a un sistema de deslizamiento al vacío con fuerte presencia de rocas metamórficas con un gradiente escalonado diferencial con una pendiente que fluctúa entre un 65 a un 90 % , recibe la denominación de Clase VIII cr, correspondientes a las condicionantes clima-roca.
- d) Comprende a un sistema de morrenas de baja importancia conformada por bloques pedregosos, guijarros angulares y una matriz franco arcillosa no compactada disectada por pequeñas quebradas, con pendientes que varían entre un 15 y 40 %, esta definida en clase VIII m , donde, m se refiere a las características morrénicas.
- e) Formación preferentemente rocosa de tipo metamórfico , con una fuerte presencia de calcita, yesitas , marmolitas, altamente meteorizadas sometidas a un permanente y continuo proceso de modelado producto de la acción de la nieve y hielo, lo que trae consigo permanentes derrumbes o deslizamientos en estación de primavera. Las pendientes en este sector pueden variar de un 30% a 100% , se designa como clase VIII r , donde r es la condicionante roca.

- f) Sector de altas cumbres rocosas, lengüetas y circos glaciares, acompañado de un plano inclinado que varía entre un 80% a 100%, con bloques y guijarros sueltos, provenientes de derrumbes nivales y glaciogénicos., se identifica como clase VIII th. Donde. las condicionantes th son el ambiente glaciar y una pendiente cercana al 100 %.
- g) Fondo de valle, poseen escasa formación de suelos, con bastante humedad, constantemente sobresaturados por aguas de deshielo, de vertiente e hidrotermales, con presencia de vegetación natural herbácea, su pendiente es suave varía entre un 3% y 6 % , esta clasificada como suelo Clase VI w, donde w es la condicionante de drenaje (Fotografías 73 y 74).

Tipo de capacidad de uso del suelo	Superficie (ha)
VIII th	279,22
VIII r	1665,34
VIII c	578,79
VIII cr	270,95
VIII m	103,31
VIII y VII s	79,70
VII w	52,90
VI w	4,57
Total	3034,78

Tabla 40. Resumen de superficie por tipo de capacidad de uso

- h) En esta unidad se han agrupado las formaciones de suelo con vertientes ya sea en laderas con pendientes que varían entre 8 a 12 % y sectores más planos de 3 a 6% , con elevada presencia de guijarros y bloques mayores a un metro de diámetro, se le clasifica como Clase VII w. Donde la condicionante w se refiere a drenaje o inundaciones.

De acuerdo a la descripción de Khune se realizó un mapa (Mapa 6) de síntesis de las capacidades de uso del suelo identificadas en el Monumento natural El Morado, .

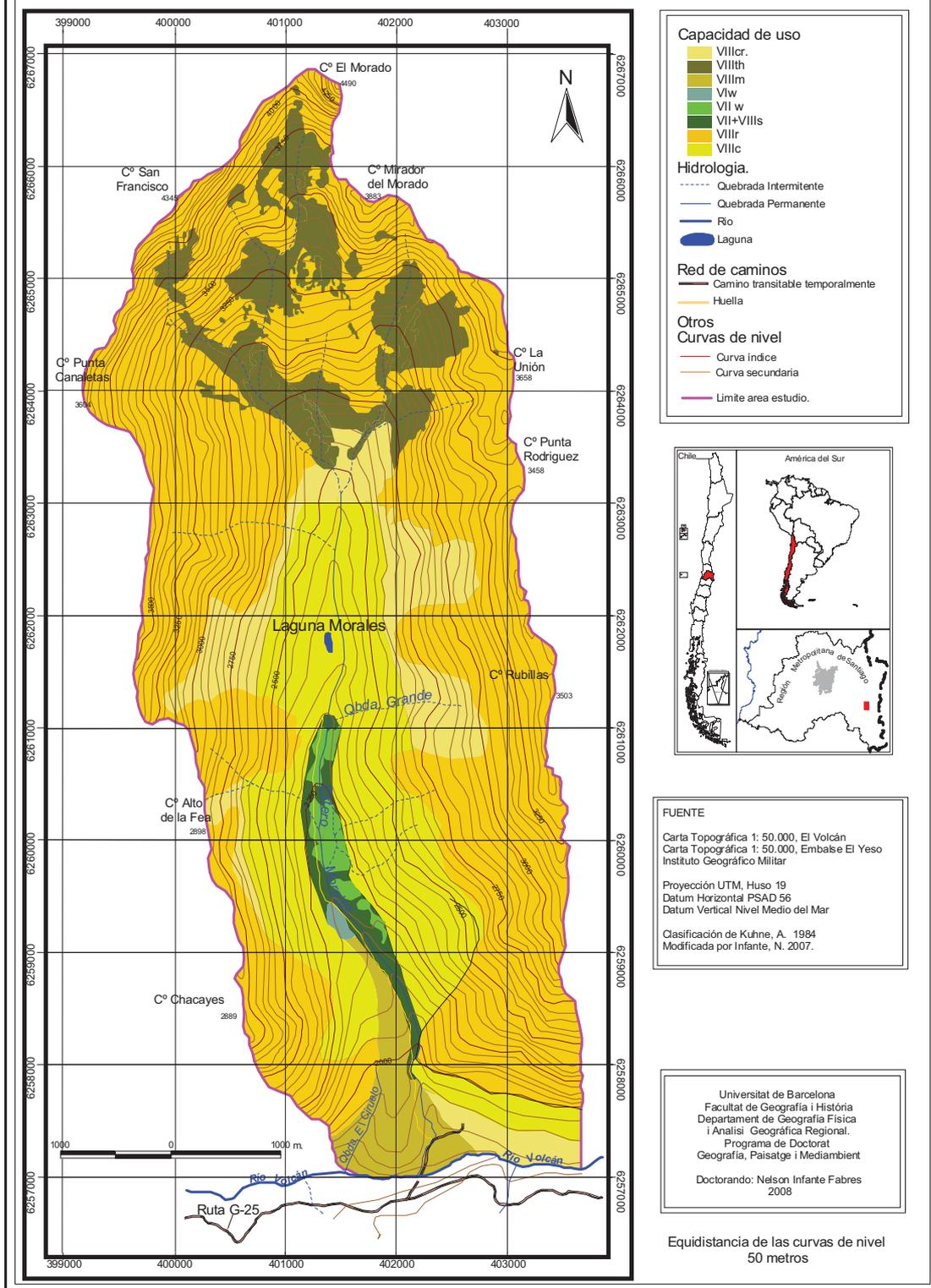


Fotografía 73: Trozo de material del suelo extraído en el sector Aguas Panimávidas (fotografía: Infante, N. noviembre 2006).



Fotografía 74: Profundidad del suelo en la zona de Aguas Panimávidas (fotografía: Infante, N. noviembre 2006).

Identificación de la capacidad de uso del suelo.



Mapa 6: Carta de Clasificación del suelo según su capacidad de uso.

2.3. Vegetación de montaña andina

Uno de los rasgos físicos de América latina es la presencia de una Cordillera de los Andes de gran envergadura de una extensión superior de 7.000 km. y una altitud que va decreciendo de norte a sur, superando en algunos lugares los 7.000 m.

“En las altas montañas, como en todos los diferentes ecosistemas que integran la biosfera, existe una estrecha interdependencia entre los seres vivos y el ambiente físico del cual estos dependen y actúan”¹³.

Los cambios en los ecosistemas andinos, generados por el surgimiento de centros poblados o asentamientos focalizados en actividades mineras o turísticas, han llevado a proteger algunas zonas incorporándolas al Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE), tal es el caso del área de estudio que ha sido clasificada como Monumento Natural y es administrada por la Corporación Nacional Forestal (CONAF).

De acuerdo con algunos autores (Hoffman, 1997; Gajardo, 1987), la vegetación alto andina de Chile puede sectorizarse en 3 regiones que son : El Altiplano, La Cordillera de Chile Central y la Cordillera Patagónica. Es de interés para este trabajo doctoral las especies presentes en la región cordillerana de Chile Central.

La región Alto Andina se encuentra a partir de los 1.800 metros de altitud, frente a la Región Metropolitana de Santiago. En las altas cumbres no existe vegetación arbórea, y la capa vegetacional no supera los 90 centímetros. Esta vegetación es achaparrada y de ramas retorcidas, como es el caso de la Llareta. Con la fusión de las nieves a estas altitudes se forman vegas y veranadas, que corresponden a lugares de mucha humedad que se mantienen hasta otoño.

En las vegas se puede apreciar durante el verano las flores doradas del cáustico de vega, los capachitos amarillos, etc. En las laderas más secas, crecen plantas y flores de numerosas variedades medicinales, como es el caso del bailahuen, horizonte, flor del clavo, entre otras especies.

La vegetación se encuentra generalmente instalada en los surcos de los cauces de los ríos, separados entre si por altos cordones montañosos, lo que ha permitido la evolución aislada y el desarrollo de muchos endemismos.

La vegetación de los Andes de la Zona Central

La zona alto andina de Chile central (cordillera de Santiago), presenta cuatro fajas principales de vegetación, su límite norte esta en los 30° de latitud sur, latitud que corresponde a la frontera septentrional de los regímenes de lluvias invernales. Los límites sur de sus áreas de distribución se hallan alrededor de los 38° a 40° de latitud sur, zona en donde aparecen las lluvias de verano.

Por lo general, debido a la naturaleza árida del clima, existe un escaso número de plantas, excepto en las vegas. Sin embargo, el valor de la cobertura varía mucho de año en año y fluctúa según avanza la estación. Las asociaciones vegetales han sido determinadas usando el método convencional en que se relaciona directamente la cobertura con la dominancia, desarrollado por Mueller-Dombois y Elleberg en 1974.

Según el sistema de clasificación de la vegetación de Gajardo (1992)¹⁴, en la Región Metropolitana de Santiago, se distinguen tres regiones ecológicas, de las que dos tienen influencia en el monumento Natural El Morado; La estepa alto andina y el matorral esclerófilo andino. El Monumento Natural el Morado, se sitúa en una zona de alta montaña, con altitudes que varían entre 1.800 y los 4.490 m. , por lo que las precipitaciones se manifiestan casi exclusivamente en forma nival, es decir, inutilizables por la vegetación. Sólo existe humedad en la época primaveral y comienzos del verano, luego el largo verano seco vuelve a exigir a los vegetales formas especiales de adaptación. Sometidos a este ritmo ecológico los vegetales no pueden sobrevivir como cubierta permanente y únicamente tapizan el suelo durante unas pocas semanas como hierbas de rápido florecimiento y corta vida. La única excepción la constituyen los sitios provistos de agua durante el verano, como vegas, vertientes, cauces de torrentes, cajones protegidos contra la evaporación (Hernández, 1970) (Fotografía 74 y 75)

Sobre los 1.500 y hasta los 4.000 metros de altitud, en el suelo desnudo de rocas descompuestas sobreviven algunos arbustos espinosos de unos 50 cm. de alto, formando una cubierta rala junto con pastos en champas, este tipo de vegetación constituye prácticamente una prolongación de la estepa andina del norte (Hernández, 1970).

La zona del Monumento Natural el Morado, correspondería a la Región Ecológica de los Andes Mediterráneos, estando presentes las formaciones vegetales Matorral Esclerófilo Andino y Estepa alto Andina de la cordillera de Santiago (Gajardo, 1987). Se determinó la existencia de 645,5 ha. cubiertas con vegetación, divididas según formación vegetacional (Tabla 41), que a continuación se detallan. (CONAF, 1997).

Formación vegetal matorral esclerófilo andino

Esta formación se sitúa entre los 1.800 m y 2.000 m. de altitud correspondiendo principalmente, a una asociación esteparia alto andina, determinada esencialmente por el relieve y la exposición. Incluye la siguiente asociación.

Asociación Guindilia trinervis

Esta formación vegetal la constituye una comunidad de matorrales bajos que se ubica en el extremo sur e inferior del Monumento, abarcando una superficie de 17,2 ha, entre los 1.700 y 2.000 m. de altitud. Se caracteriza por abundante presencia de guindillo (*Guindilia Trinervis*), acompañado esporádicamente de algunos ejemplares de franjel

(*Kageneckia angustifolia*), único árbol presente en la unidad que además posee problemas de conservación. También se distingue una comunidad formada por un matorral heterogéneo de exposición sur, en el cual destacan las siguientes especies con densidades y abundancias diferentes; *Tetraglochin alotum*, *Colliguaja integerrima*, *Escallonia rubra*, *Maytenus boaria*, *Shinus montanus*, *Aplopappus spp.*

Formación de estepa alto andina de la cordillera de Santiago

Esta formación es la que presenta mayor presencia dentro del área de estudio, abarcando todo el nivel altitudinal superior de la vegetación de la Cordillera de los Andes. En esta formación predominan las especies vegetales xerófitas, con arbustos y hierbas pulvinadas y gramíneas de crecimiento en champas.

Esta compuesta de 6 asociaciones y un resumen de ellas se presenta en la tabla 41.

a) Asociación *Mulinum spinosum* – *Chuquiraga oppositifolia* – *Adesmia gracilis*

Esta asociación cubre una extensión de 102,8 ha. ocupando el piso altitudinal medio de la unidad, desarrollado sobre coberturas pedregosas entre 1.750 a 2.200 m. de altitud. Sus especies principales presentan una fisonomía de estepa arbustiva baja. La especie principal es el neneo (*Mulinum spinosum*), en sectores de exposición sureste. También se pueden encontrar especies aisladas de guindillo y frangel, además *Austrocactus spiniflorus* y *Neoporteria curvispina* variedad adicola, de exposiciones que varían entre suroeste a sureste y altitudes entre los 1.800 y 1.850 m., vale decir la parte baja del área de estudio.

b) Asociación *Chuquiraga oppositifolia* – *Adesmia gracilis* – *Berberis empetrifolia*

Corresponde a la segunda asociación de mayor extensión en el Monumento, con una superficie de 154,3 ha. Se distribuye entre los 2.180 hasta los 2.950 metros de altitud en exposición este. Se caracteriza por abundante presencia de *Chuquiraga oppositifolia*, *Adesmia gracilis*, con una cobertura medianamente densa entre rangos que varían de 50 a 25–50%, a medida que aumenta la altitud. Sus principales especies le dan a esta asociación una fisonomía arbustiva, alcanzando alturas promedio de 0,65 metros, se ubican en fondos de quebrada, laderas con gran inclinación y abundantes zonas de coluvios formados por guijarros, lugares donde se observa una mayor participación de la especie *Berberis empetrifolia*.

c) Asociación *Chuquiraga oppositifolia* – *Valeriana graciliceps* – *Acaena alpina*

Es la asociación de mayor extensión en el Monumento con una superficie de 263,3 ha. Sus tres especies principales le dan al paisaje una fisonomía herbácea arbustiva, de composición florística muy variada, dependiendo de la altitud y exposición. Se desarrolla desde los 1.800 hasta los 1.900 metros de altitud con una cobertura que varía entre rangos de 10–25% hasta 50–75 %. Las especies acompañantes a las principales son *Laretia*

acaulis, *Ribes empetrifolia*, *Adesmia gracilis* y un abundante estrato herbáceo. En particular entre los 2.180 hasta los 2.550 metros de altitud, se presenta una comunidad de matorral bajo formado preferentemente por la especie *Adesmia graciliceps*, la que se ubica en laderas con gran inclinación y de exposición este y oeste, con incipientes suelos pedregosos y rocosos, acompañada también de *Valeriana graciliceps*.

d) Asociación *Alstroemeria umbellata* – *tropaelum polyphyllum*

Pequeña comunidad netamente herbácea, perenne que se desarrolla en laderas de alta pendiente y suelos formados por acarreo y derrumbes. Ambas especies determinan una estepa herbácea y se presentan en la mayoría de las asociaciones de la unidad en diferentes grados de cobertura, siendo en laderas de exposición oeste donde se desarrolla con mayor densidad cubriendo una extensión de 1,2 ha. La *Alstroemeria umbellata* es una herbácea catalogada como especie vulnerable.

e) Asociación *Chuquiraga oppositifolia* – *Laretia acaulis*

Característica del piso alto andino, ampliamente repartida sobre los 2.000 metros de altitud y estrechamente vinculada a lugares con alto grado de roqueros, esta unidad abarca una superficie de 84,1 há, de exposición oeste.

f) Asociación Vega

Cubre una superficie de 22,6 ha, en áreas de variada pendiente. La asociación presenta una gran variedad de especies pero en muchos lugares se encuentra empobrecida. Las especies más comunes son *Eliocharis albibracteata*, *Carex gayana* y *Scirpus acaulis*, formando un tapiz denso y verde. Asociados se encuentran *Potamogeton strictus*, *Gentiana prostrata*, *Werneria pygmaea* y *Plantago barbata*, etc.

.Asociaciones Vegetales	Hectáreas
Guindilia Trinervis	17,20
Asociación <i>Mulinum spinosum</i> – <i>Chuquiraga oppositifolia</i> – <i>Adesmia gracilis</i>	102,8
Asociación <i>Chuquiraga oppositifolia</i> – <i>Adesmia gracilis</i> – <i>Berberis empetrifolia</i>	154,3
Asociación <i>Chuquiraga oppositifolia</i> – <i>Valeriana graciliceps</i> – <i>acaena alpina</i>	263,3
Asociación <i>Alstroemeria umbellata</i> – <i>Tropaelum polyphyllum</i>	1,2
Asociación <i>Chuquiraga oppositifolia</i> – <i>Laretia acaulis</i>	84,1
Vegas	22,6
Total	645,5

Tabla 41: Superficies de asociaciones vegetales

Especies vegetales

Las especies vegetales que fueron identificadas, al desarrollar las campañas de campo, están contempladas dentro de un estudio previo realizado por Tellier, 1994. Este autor identificó dentro del Monumento 280 especies vasculares, 248 nativas y 32 alóctonas, en diferentes pisos altitudinales.

Este estudio fue complementado el año 2003, por el mismo autor, redefiniendo un total de 302 taxas: 300 especies y 2 subespecies, siendo 263 nativas y 37 alóctonas, llama la atención sobre un conjunto de alrededor de 45 especies encontradas en la unidad que son consideradas raras o poco frecuentes en el país y que tienen una distribución geográfica reducida (entre los 33° y 34° 30' sur).

En los acarreo frecuente en todo el cajón, las especies más comunes son: *Tropaelum polyphyllum*, *Loasa pallida*, *Stachis grandidentata*, *Cistanthe picta*, *Schizanthus hoockeri* y *Alstroemeria umbellata* en las vegas.

De las 302 especies registradas por Tellier, en la presente investigación se tomaron muestras de 80 especies aproximadamente, distribuidas en todo el Monumento, conformando los diferentes pisos altitudinales. Éstas se presentan en el Anexo

Pisos vegetacionales

Para los efectos de esta investigación, y de acuerdo a observaciones directas de Medina (2006), se entenderá como piso vegetacional "a aquel rango de altitud en el cual se encuentran ciertas especies vegetales, que cumplan con las condiciones exclusivas de representatividad y abundancia, por esto consideradas diagnóstico de ese rango, por esta razón su presencia permite que actúen como indicadores altimétricos"

Una especie diagnóstico es aquella especie vegetal que esté presente y distribuida en un determinado rango de altitud y que se encuentre en la abundancia necesaria para caracterizarlo, también, aquellas que tengan una localización específica y muy limitada.

Los pisos vegetacionales se enumeraron desde las menores a las mayores altitudes, siendo 1 el más bajo y 4 el mas alto.

Piso vegetacional nº 1, bajo

Se localiza aproximadamente entre los 1700 y 2000 metros de altitud, principalmente sobre los depósitos morrénicos frontales. sus especies diagnósticas son: *Kageneckia angustifolia*, *Guindilia trinervis*, *Austrocactus spinifloro*, *Colliguaya integerrima*, *Maytenus boaria*, *Mulinum spinosum*, entre otras. (Mapa 7).

Por lo tanto este piso comprende la asociación *Guindilia Trinervis* y parte de la asociación *Mulinum spinosum – Chuquiraga oppositifolia – Adesmia gracilis*

Piso vegetacional nº 2, intermedio bajo

Se localiza aproximadamente entre los 2000 y 2200 metros de altitud, considera la parte superior de los depósitos morrénicos frontales, a ambos lados del estero Morales, hasta el sector de Aguas Panimávidas, sus especies diagnóstico son *Adesmia gracilis*, *berberis empetrifolia*, entre otras. (Mapa 8).

Comprende parte de las asociaciones Asociación *Chuquiraga oppositifolia – Adesmia gracilis – Berberis empetrifolia*.

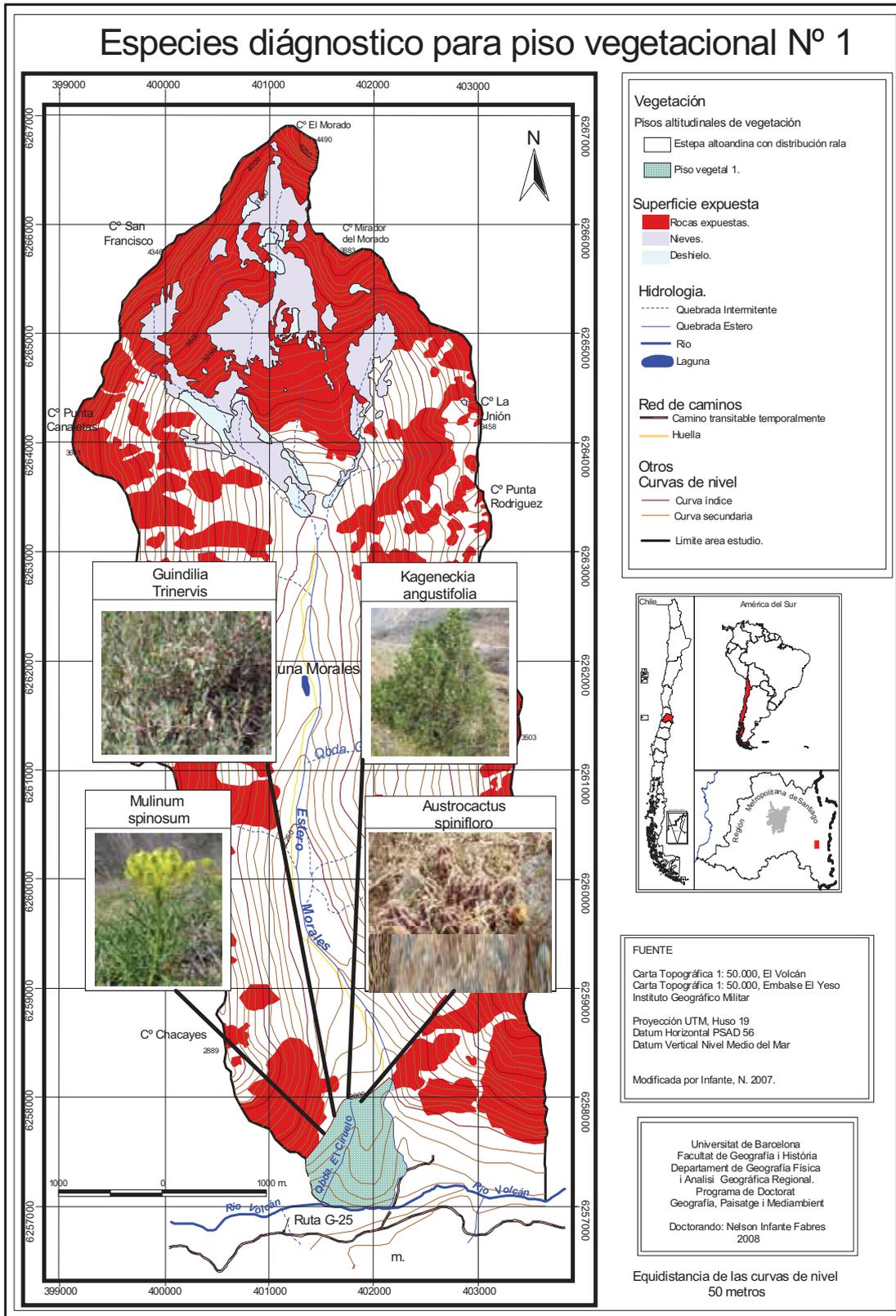
Piso vegetacional nº 3, intermedio alto

Se localiza aproximadamente entre los 2200 y 2400 metros de altitud, en ambas laderas de la cuenca, considera desde Aguas Panimávidas hasta el sector de la Última vega. Sus especies diagnósticas son: *Valeriana graciliceps*, *Laretia acaulis*, *Chuquiraga oppositifolia* (Mapa 9). Con la asociaciones vegetacionales *Chuquiraga oppositifolia – Valeriana graciliceps – Acaena alpina*,

Piso vegetacional nº 4, superior

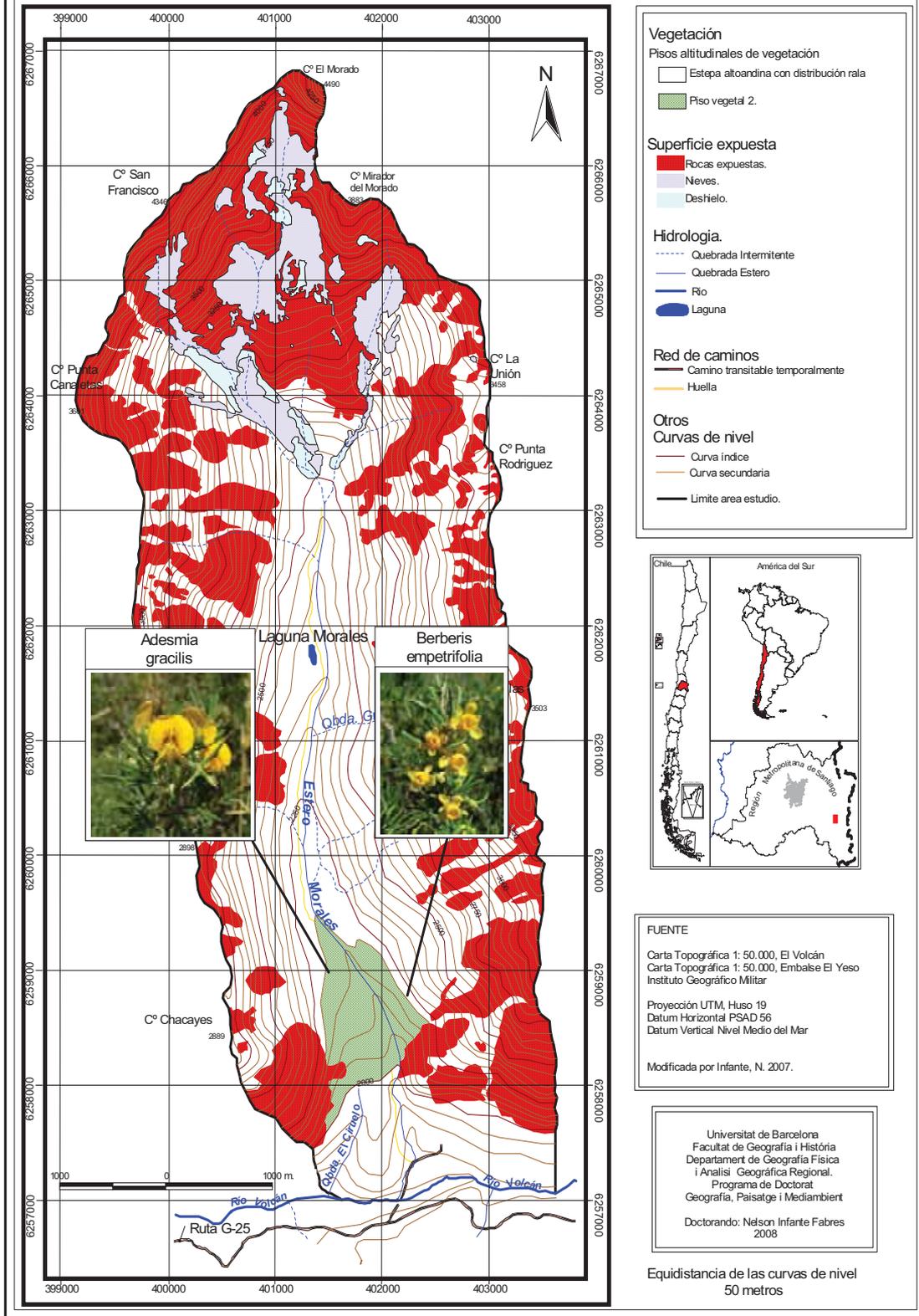
Se localiza aproximadamente entre los 2400 y 2550 metros de altitud, a media ladera en todo el valle hasta los pies del glaciar San Francisco. Sus limitantes altitudinales radican principalmente en la elevada pendiente, condiciones climáticas adversas escasez de suelo y arán proporción de material rocoso expuesto y disgregado en superficie. Este piso comprende la asociación *Alstroemeria umbellata – Tropaelum polyphyllum*. Sus especies diagnósticas son: *Alstroemeria umbellata*, *tropaelum polyphyllum*, *alstroemeria schizantoides*. (Mapa 10).

Especies diagnóstico para piso vegetacional N° 1



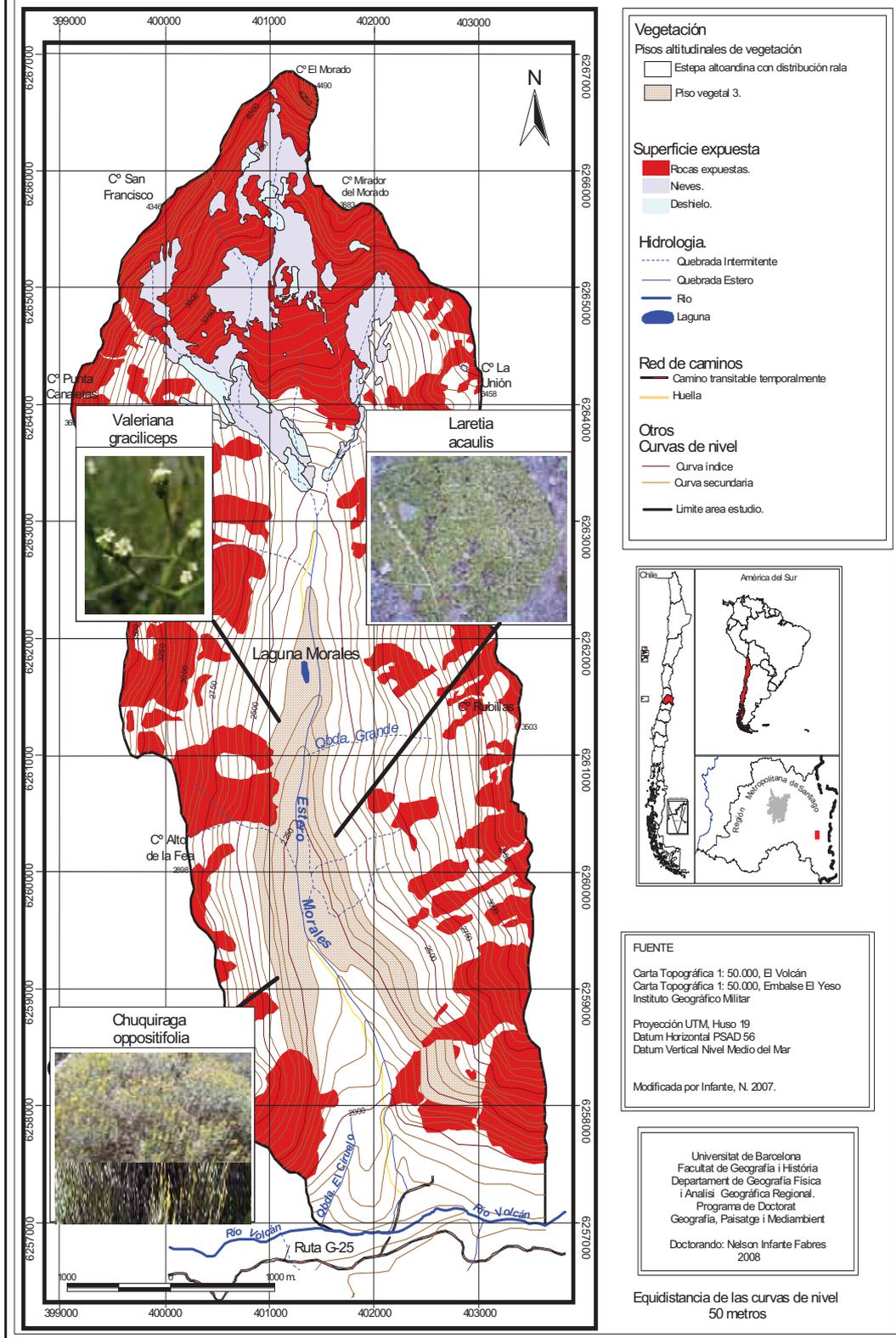
Mapa 7: Piso Vegetacional nº 1

Especies diagnóstico para piso vegetacional N° 2



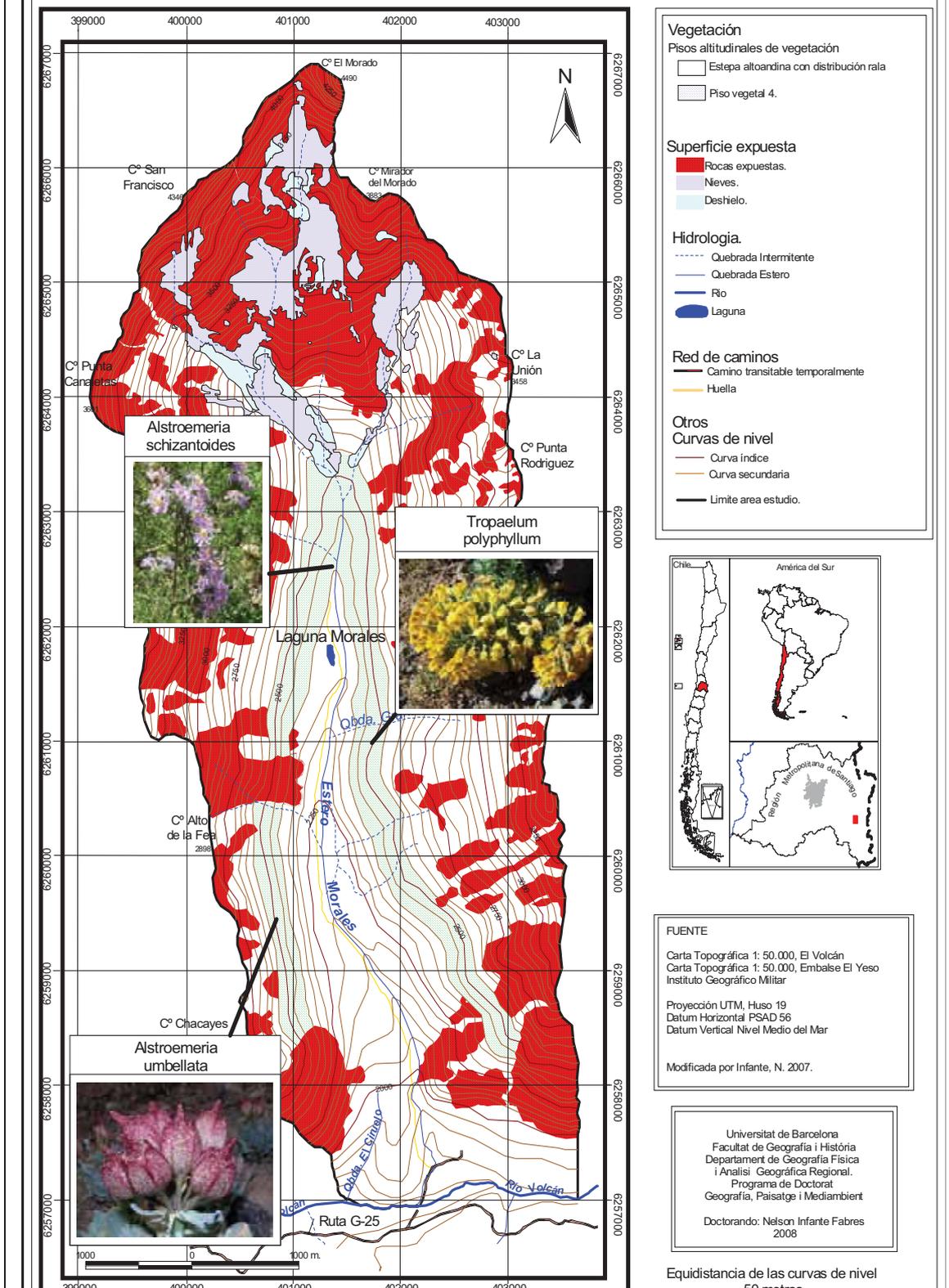
Mapa 8: Piso Vegetacional nº 2

Especies diagnóstico para piso vegetacional Nº 3



Mapa 9: Piso Vegetacional nº 3

Especies diagnóstico para piso vegetacional N° 4



Mapa 10: Piso Vegetacional nº 4

2.4. Fauna domesticada y silvestre

La influencia del elemento antrópico en la Región Metropolitana de Santiago es la mayor en el país, de acuerdo a la densidad de habitantes por há, sin embargo la concentración de la población en la depresión intermedia hace posible que existan sectores precordilleranos y cordilleranos con escaso poblamiento debido a la dificultosa accesibilidad.

El valle del Cajón del río Maipo es uno de los principales atractivos turísticos en la Precordillera Santiaguina, y por esta razón recibe una considerable cantidad de visitantes durante todo el año, lo que podría generar migración de la fauna hacia sectores más alejados y protegidos del hombre, en consecuencia la fauna ha sido reemplazada y desplazada.

La vida animal en el área de estudio puede clasificarse en 2 tipos: domestico (generadas a raíz de las actividades antrópicas) y aquella de tipo salvaje.

Fauna Domesticada.

La fauna domesticada se compone principalmente de ganado equino, caprino y bovino en el sector antropizado y algunos asentamientos periféricos al Monumento Natural el Morado. Este tipo de ganado, en algunos casos controlado, permite apreciar un paisaje rural agrícola de mediados del siglo XIX. Referido al ganado equino y caprino (Fotografía 75, 76 y 77).



Fotografía 75: Caballares de CONAF por el sendero (fotografía: Infante, N. febrero 2005)



Fotografía 76: Ganado equino ingresado al Monumento Natural furtivamente (fotografía: Infante, N. diciembre 2007)



Fotografía 77: Ganado caprino en el sector de Baños Morales (fotografía: Infante, N. enero 2008)

Fauna en estado salvaje

La fauna en estado salvaje puede clasificarse en los grupos de animales como anfibios, reptiles, aves y mamíferos.

Anfibios

En el grupo de los anfibios presentes en el Monumento Natural El Morado es posible destacar el Orden de los Anuros, cuyas familias más importantes en la unidad son la Familia *Bufo* y la Familia *Leptodactylidae*, con las especies *Bufo spinolosus*, *A. Tumultosus*, *A. Nudosus*, *Bufo chilensis* (Fotografía 78).

Una especie muy característica de este sector es el sapo *Alsodes montanus*, que realiza su actividad en cursos de aguas rápidas y frías, incluso ocultándose bajo la nieve a partir de los 2500m de altitud.



Fotografía 78: *Bufo Chilensis* (fotografía: Infante, N. febrero 2006)

Reptiles

En el área de estudio es posible encontrar algunas especies de lagartos como *Pristidactylus volcanensis*, *Callopistes palluma* y *Phymaturus flagellifer* y *Liolaemus altissimus moradoensis* y el lagarto de Lo Valdés *Liolaemus valdesianus* (definida por Hellmich, 1950), existen variedades de lagartijas como *L. leopardinus*, *L. monticola*, *L. nigroviridis*, *L. gravenhorsti*, *Liolaemus tenuis* y *Liolaemus chilensis* en la época estival las cuales son muy importantes para mantener el equilibrio en el sistema natural. En el Monumento Natural El Morado se encuentran culebras como *Phylodrias chamissonis* y *Tachymenis chilensis* (culebra de cola corta).



Fotografía 79: Especies de *Liolaemus* sp. (fotografía: Infante, N. noviembre 2006)

Aves

En el área se han registrado 9 órdenes, 17 familias, 36 géneros y 44 especies.

El orden más representativo es el de los Passeriformes, que es el orden que incluye a aves de pequeño y mediano tamaño, como minero cordillerano (*Geositta rufipennis*), bandurrilla (*Upucerthia dumetaria*), canastero (*Thripophaga humicola*), chiricoca (*Chilia melanura*), turca (Fotografía 83) (*Pterotochos megapodius*), churrín (*Scytalopus magellanicus*), mero gaucho (*Agriornis montana*), mero (*A. livida*), dormilona de nuca rojiza (*Muscisaxicola rufivertex*), dormilona fraile (Fotografía 81) (*M. flavinucha*), dormilona de ceja blanca (*M. albilora*), chercán negro (*Troglodytes aedon*), golondrina de dorso negro (*Pygochelidon cyanoleuca*), chirihue dorado (*Sicalis auriventris*), chincol (*Zonotrichia capensis*), diuca (*Diuca diuca*), yal (*Phrygilus fruticeti*), pájaro plomo (*Phrygilus unicolor*), el gorrión común (*Passer domesticus*) y la loica. Destaca la familia *Trochilidae*, a la cual pertenece el picaflor cordillerano (*Oreotrochilus leucopteros*), una pequeña ave que se ha avistado en altitudes de hasta 3.000 m.

Otra familia presente es la *Anatidae* representada por el pato jargual (*Lophonetta specularioides alticola*) y el pato cortacorrientes (*Merganetta armata*), ambos están distribuidos en casi todo el territorio nacional, se les avista con frecuencia en el sector de la laguna Morales.

En el Orden de los Falconiformes se presentan especies como el cóndor (*Vultur gryphus*) (Fotografía 82), el bailarín (*Elanus leucurus*), aguilucho (*Buteo polysoma*), halcón

peregrino (*Falco peregrinus*), carancho negro (*Phalcoboenus megalopterus*). Entre las aves asociadas a zonas de cultivos se pueden mencionar el quelitehue (*Vanellus chilensis*), tiuque (*Milvago chimango*), cernícalo (*Falco sparverius*)

De la familia de los *Thinocoridos*, está presentes la perdicita cordillerana (*Attagis gayi*). Otras aves no paseriformes importantes son el perico cordillerano (*Bolborhynchus aurifrons*), tórtola cordillerana (*Metriopelia melanoptera*) y piuquén (*Chloephaga melanoptera*)



Fotografías 80: Cometocino de Gay (fotografía: Infante, N. febrero 2006 y enero 2008)



Fotografías 81: Dormilona (fotografía: Infante, N. febrero 2006 y enero 2008)



Fotografía 82: Cóndor (Fotografía: gentileza Refugio alemán.)



Fotografía 83: Turca
(fotografía: Infante, N. enero 2008)



Fotografía 84: Jilguero de cordillera.
(fotografía: Infante, N. enero 2008)

Todas las especies anteriormente mencionadas constituyen una pequeña muestra de toda la diversidad de aves que se pueden observar en este ecosistema.

Mamíferos

En el área de estudio se ha logrado distinguir 3 ordenes de mamíferos: Quirópteros, Roedores y Carnívoros. La Familia *Octodontidae*, del Orden de los roedores, está por las

especies Degú (*Octodon degú*) (Fotografía 85) y Cururo (*Spalacopus cyanus*), roedores que forman pequeñas poblaciones. Otros roedores presentes son *Akodon andinus*, *A. longipilis*, *Phyllotis darwini*, *Akodon olivaceus*, *Oryzomys longicaudatus*, *Rattus norvegicus*, *Rattus*, *Mus musculus*, y *Abrocoma benetti*. Entre los carnívoros las especies presentes son el puma (*Felis concolor*) (Fotografía 86), el zorro Chilla (*Canis griseus*) (Fotografía 87), el zorro culpeo (*Canis culpaeus*). Los ejemplares del Orden Quirópteros se aprecian en la noche, se tiene registro de la presencia de *Histiotus montanus* y *Tadarida brasiliensis*. Del orden lagomorfos es posible encontrar liebres (Fotografía 88) y conejos.



Fotografía 85: Degú.



Fotografía N° 86: Puma (tomado de [http:// www.naturealmanac.com/archive/cougar/cougar_sky.jpg](http://www.naturealmanac.com/archive/cougar/cougar_sky.jpg)).



Fotografía 87: .Zorro Chilla (fotografía: Infante, N. diciembre 2005)



Fotografía 88: Liebres (fotografía: Infante, N. diciembre 2005)

Insectos

La entomofauna presenta características muy peculiares por la situación geográfica presente en la unidad, que la convierte en una isla funcional dado que presenta ecosistemas aislados.

Los ordenes presentes son: *Coleóptera*, *Himenóptera* y *Diptera*

Destacan insectos como los escarabajos (Fotografías 89 y 90) (coleópteros; *Epipedonota rugulosa*, *E. penai*, *Nyctelia vulcanita*, *Ogenius chilensis*, *Conognatha fisheri*, entre otros), las mariposas (Lepidópteros; *Hirmoneura brevirostrata*), grillos, langostas y saltamontes (Fotografía 92) (ortópteros; *Agathemera crassa*), el abejorro *Bombus dahlbomii*, que cumple una función polinizadora importante.



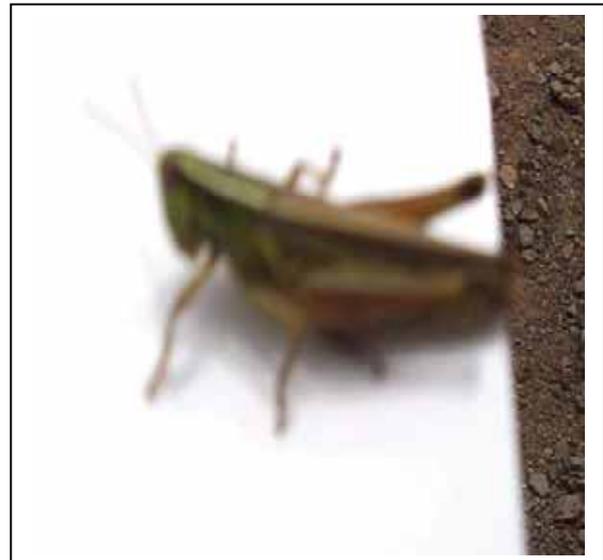
*Fotografía 89: Taolango o chinchimollo.
(fotografía: Infante, N. mayo 2007)*



*Fotografía 90: Escarabajo
(fotografía: Infante, N. diciembre 2005.)*



*Fotografía 91: Palote
(fotografía: Infante, N. diciembre 2005.)*



*Fotografía 92: Saltamontes
(fotografía: Infante, N. diciembre 2005.)*

Arácnidos

Corresponde a otro grupo presente, encontrándose en el lugar tres especies, dos tipos de araña y un tipo de escorpión.



*Fotografía 93: Araña.
(fotografía: Infante, N. enero 2005).*



*Fotografía 94: .Araña pollito.
(fotografía: Infante, N. enero 2005)*



Fotografía 95: .Escorpión (fotografía: Infante, N. febrero 2005)

3. Síntesis:

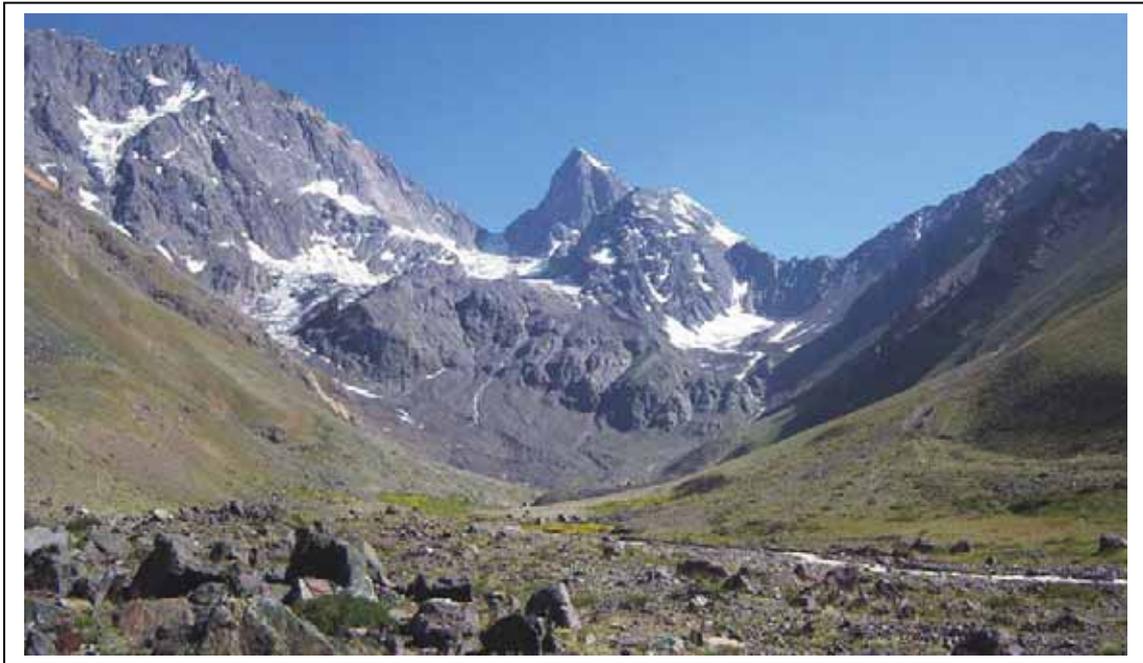
Un paisaje inestable con predominancia de valores naturales

La acción modeladora de los sistemas glaciares generaron las grandes formas pretéritas en esta cordillera afectada por la tectónica de placas, evidente en la disposición de las estructuras litológicas, estratos de pizarras y calizas en forma vertical con depósitos fosilíferos en superficie, que han sido alterados por los agentes modeladores posteriores en valles secundarios, pero que han generado constante atractivo en el sector.

El valle del estero Morales se circunscribe a un sistema de mayor envergadura y potencia correspondiente al sistema glaciar del complejo volcánico San José-Maipo, el cual se desplazó desde la alta cordillera andina hacia el occidente colectando parte de los valles laterales que poseían una carga glaciar propia. Esto dio origen a una geomorfología variada y con rasgos distintivos en los pisos morfoclimáticos que poseen, glaciar, periglacial y de montaña, lo que otorga al valle del río Maipo una característica particular al poder observar diferentes formas, procesos y fenómenos geomorfológicos. Es en este contexto donde se inserta el área de estudio, en la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes. Una cordillera que presenta fuertes pendientes, plagada de valles y cursos fluviales donde la inestabilidad y la parainestabilidad son parte integral del paisaje.

El valle del estero Morales, al igual que los principales valles cordilleranos de Chile central, debe sus formas a la acción modeladora de los glaciares cuaternarios (Fotografía 96), y los acontecimientos geomorfológicos presentes en él, estos han de interpretarse desde una perspectiva erosiva diferencial producto de los cambios paleoclimáticos.

El glaciar San Francisco, alojado en la cabecera del valle actual, merece una atención particular, pues, es un indicador paleoclimático que marca el tránsito entre el último ciclo glaciar y los tiempos actuales tardiglacial-holoceno. Se trata de acumulaciones de hielo encerrado en el seno de los circos, que han conformando morfologías particulares, lenguas glaciares, cornisas, grietas, rimayas, con procesos dinámicos y activos a una altitud por sobre los 2600 metros aproximados en su base, lo que permite realizar en él estudios e investigaciones referidas al comportamiento glaciar actual y formas heredadas. (Fotografía 97). El comportamiento de las masas glaciares de Chile Central y en especial del glaciar rocoso o negro que conforma su base, permite utilizarlo como un indicador vivo de los cambios climáticos que ha experimentado en las últimas décadas el planeta.

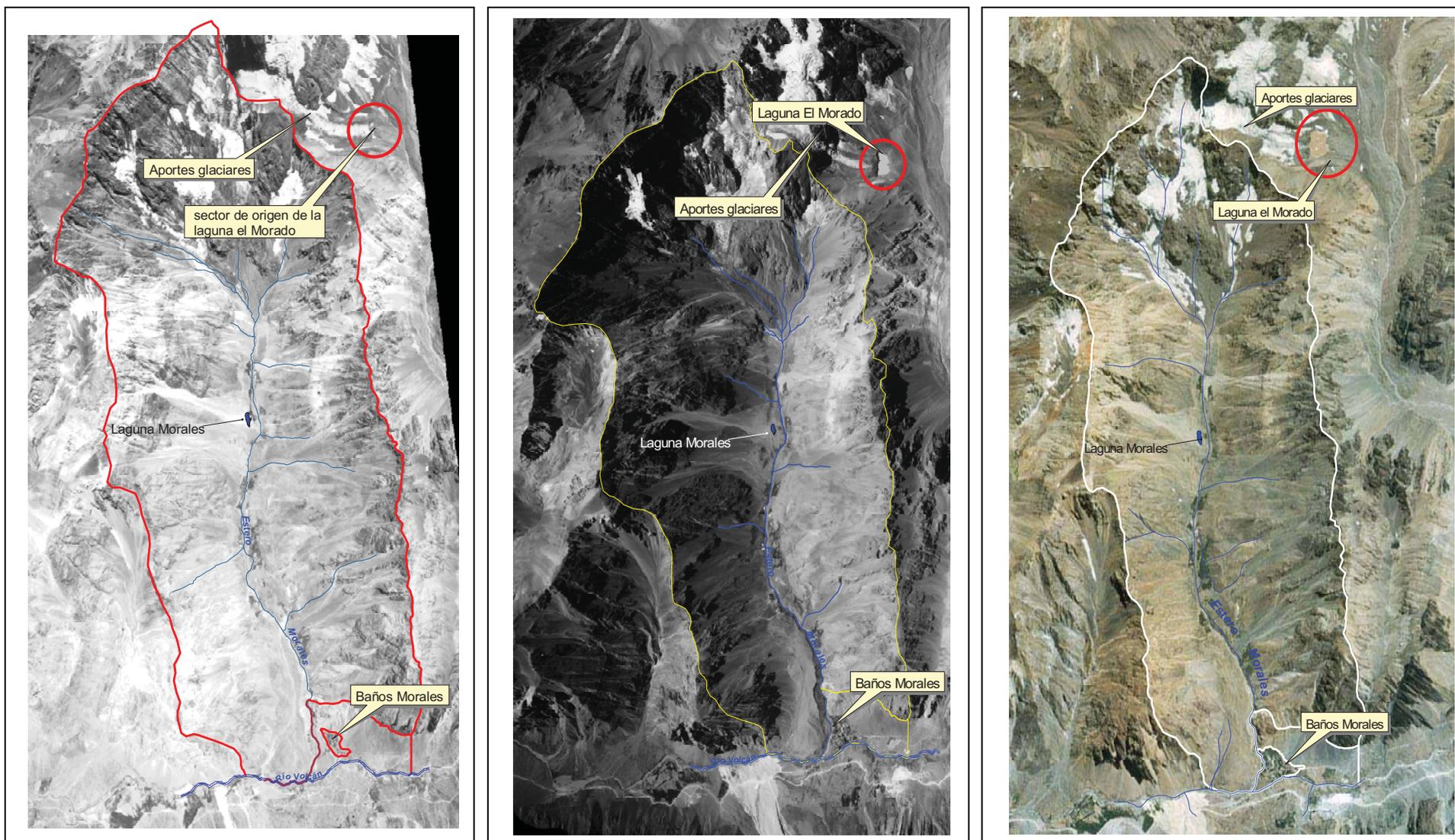


Fotografía 96: Anfiteatro del valle del estero Morales, en verano (fotografía: Infante, N. febrero 2005)



Fotografía 97: Anfiteatro del valle del estero Morales a comienzos de primavera, las condiciones climáticas son extremadamente frías y húmedas (fotografía: Infante, N. septiembre 2006.)

El glaciar San Francisco alojado en cabecera, otorga especial interés científico al área debido a la baja latitud y altitud en que se encuentra lo que ha facilitado estudios de sus dimensiones en su lengua principal, además, de ser un elemento geomorfológico propio del área que ha caracterizado al sector y es uno de los principales atractivos turísticos, que aporta a la belleza escénica del lugar (Fotografía 98, 99 y 100). Particular interés es el demostrado por las investigaciones referidas a la flora del sector, pues las condicionantes climáticas han propiciado asociaciones vegetacionales específicas, al igual que han permitido el establecimiento de especies azonales y otras endémicas que es necesario preservar.



Fotografías 98, 99 y 100: Correspondientes a los vuelos realizados en los años 1955, 1996 y 2001, sobre el área de estudio. La deformación en la delimitación del área se debe a la diferencia de las características de las cámaras fotográficas utilizadas.

El relieve perteneciente a este paisaje, activo, con características relictas y a la vez dinámico, en constante evolución, con un glaciar en cabecera y aportes de nieve de las partes cimerales, permite apreciar la génesis de un sistema fluvial y el modelado que proporciona este activo agente que, en su recorrido, estructura diferentes paisajes a nivel local dentro de los dominios glaciar y periglacial.

Desde la perspectiva geomorfológica destacan los circos glaciares, sus aristas rocosas, laguna glaciar (laguna Morales) y los arcos morrénicos en forma escalonada hacia el sur. Los procesos de crioclastia o gelifración tienen una vital importancia sobre este relieve, donde en sus cumbres predominan las rocas expuestas y son permanentes los deslizamientos, caídas de bloques por acción de la gravedad, avalanchas, masas de hielo que al desprenderse generan impresionantes flujos de material detrítico acompañado de agua y nieve que generan un constante riesgo para los visitantes, como ha quedado establecido lamentablemente en algunos accidentes que se han registrado.



Fotografía 101: Circo Glaciar donde se aprecian cornisas, grietas en uno de los circos glaciares que conforman el sistema del glaciar San Francisco (Fotografía :Infante , N. diciembre 2005).



Fotografía 102: Circo Glaciar con importante acumulación de nieve enmarcado por laderas de fuerte pendiente (Fotografía: Infante , N . diciembre 2005).



Fotografía 103: Cerro Los Chacayes (2.839 m). Material rocoso expuesto muy alterado por acción de los elementos del clima, en un ambiente periglacial. Serie de conos de deyección superpuestos (canchales), en su base, rasgo geomorfológico común en la cordillera y en el valle del estero Morales (fotografía: Infante, N. abril, 2004)

Bibliografía citada a pie de página en el presente capítulo

¹Thiele, R. (1980). **Carta Geológica de Chile**, escala 1:250.000, hoja nº 39, Región Metropolitana. Santiago. Editorial Instituto de Investigaciones Geológicas. Págs. 53.

²Rubilar, A. y Pérez, E. (2007) **Identificación de seis ejemplares fósiles de la formación geológica de Lo Valdés**. Instituto de Geocronología. Servicio Nacional de Geología y Minería. Págs. 7 .

³**Servicio mundial para la observación de los glaciares (2000).**

⁴ Ferrando A, F.J, (2002). **Las glaciaciones cuaternarias en Chile: Visión general. Revista Geográfica de Chile Terra Australis**, Nº 47, Págs. 129 a 165.

⁵Lliboutry, L. (1956). **Nieves y Glaciares de Chile: Fundamentos de Glaciología. Morfología glaciar y periglaciario**, Ediciones Universidad de Chile, Santiago. Págs 471.

⁶ BRUGGEN, JUAN (1950): **Fundamentos de la geología de Chile**. Págs. 495

⁷ Tricart, J (1971), Centre national de la Recherche Scientifique. **Legende pour la carte geomorphologique de la France au 1: 50.000**. Traducido y adaptado por David Serrat (1976). con la colaboración de Luis Sole Sabaris y Jaime Calvet Porta, Instituto Jaime Almera de Investigaciones Geológicas-C.S.I.C. Págs. 69.

⁸ Dirección Meteorológica de Chile. (2005) **entrevista sobre variación de presión y temperatura**.

⁹ Fuenzalida, H. (1971). **Climatología de Chile**. Documento de apoyo a la docencia, circulación interna de la sección de meteorología. Departamento de geofísica y geodesia, Facultad de Ingeniería, Universidad de Chile. Págs. 73.

¹⁰ Laboratorio químico sanitario Carlos Latorre S.A. (2007). **Análisis Físico Químico de Agua del estero Morales**. Págs. 2.

¹¹ Laboratorio Químico Sanitario Carlos Latorre S.A. (2007). **Examen bacteriológico del agua del estero Morales**. Págs.1

¹² Khune. (1984). **Plan de manejo del monumento natural el Morado**. CONAF 1997

¹³Adriana Hoffman et al. (1997). **“Plantas Alto Andinas en la Flora Silvestre de Chile”**

¹⁴ Gajardo, R. (1992). **Descripción de la vegetación del Monumento Natural el Morado**. Santiago.

