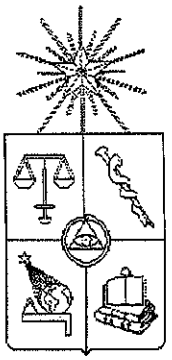


UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO
ESCUELA DE POST-GRADO
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

Tesis para optar al grado de Magister en Geografía

Topoclimatología de la región de Antofagasta: Evolución de recursos y competencia por el agua

Andrés Rivera Ibáñez

Profesor Guía: Hugo Romero Aravena

Santiago, Marzo de 1997

Dedico este trabajo a mi hijo

Vicente

Agradecimientos

La realización de esta tesis ha contado con el apoyo de numerosas personas e instituciones:

Se agradece sinceramente a Hugo Romero, su apoyo y orientación.

Se agradecen los aportes del grupo de investigaciones de la Universidad de Berna, Suiza, encabezados por Bruno Messerli, y constituido por Martin Grosjean, Mathias Vuille, Caspar Ammann, Bettina Jenny y Klaus Kammer.

Se agradece también, el apoyo económico de CONICYT, por la beca para estudiantes de magister asignada al suscrito; la ayuda del Departamento Técnico de Investigación de la Universidad de Chile, por la asignación de una beca para la realización de los trabajos de terreno y a la Dirección General de Aguas, por el facilitamiento de los datos climáticos regionales.

Se agradece a UNITAR en nombre de Nazrinne Azimi y Steve Gold, por el apoyo y donación del SIG IDRISI y los cursos de entrenamiento materializados en el transcurso de este trabajo.

Se agradece a Dieter Schmidt por el apoyo logístico y los datos de viento de las estaciones del proyecto que encabezó en San Pedro de Atacama. Se agradece a Gisella Baumann, por su aporte de datos vegetacionales y apoyo en terreno.

Se agradece sinceramente a Pedro Salazar, por su apoyo permanente en la elaboración de las figuras y tablas de esta tesis; a Paulina Schiappacasse y Wilma Inostroza, por su apoyo en la obtención y análisis de datos sociodemográficos, a Roberto Smith por sus figuras en Autocad, y a Fredy Merino, Patricio Fernández y Ernesto Palavicino, por la digitalización, terreno y ordenamiento de datos climáticos. En Chuquicamata se agradece a Rodolfo Requena y familia, por su apoyo brindado en terreno. En San Pedro de Atacama se agradece a Yerko Quezada, por su apoyo logístico.

Se agradece a Mónica Ihl por sus críticas en el plano topoclimático, a Daniela Baudet y Javier Tamblay, por su crítica y consejos sobre la arqueología regional, a Juan Carlos Aravena, por sus críticas y comentarios sobre la vegetación regional, a Claudio Meneses por sus consejos sobre la agricultura de los oasis, y, a Ernesto Contreras, por sus aportes antropológicos sobre los atacameños.

Se agradece sinceramente a los funcionarios de la Universidad, que facilitaron la realización de este trabajo, entre otros a; Leontina Segura, Carmen Cornejo y Juanita Sandoval.

Se agradece a numerosos habitantes de los asentamientos poblados de la región por sus aportes a las entrevistas sobre percepción climática y competencia por recursos hídricos.

Finalmente quisiera agradecer a todos aquellos que en forma anónima apoyaron este trabajo, en especial a mi familia.

INDICE

I Introducción

1.1.- Presentación del problema

1.2.- Planteamiento teórico

1.3.- Hipótesis y objetivos

1.4.- Area de estudio, metodología y pasos metodológicos

1.4.1 Area de estudio

1.4.2 Metodología

1.4.2.1 Recopilación de estudios paleoclimáticos, arqueológicos e históricos

1.4.2.2 Diseño e implementación de un Sistema de Información Geográfica SIG

1.4.2.3 Análisis digital de imágenes de satélite

1.4.2.3.1 Rectificación horaria

1.4.2.3.2 Georeferenciación

1.4.2.3.3 Análisis de bandas termales de imágenes NOAA

1.4.2.3.4 Definición de índices vegetacionales

1.4.2.4 Generación de un modelo de Insolación Potencial

1.4.2.5 Análisis pluviométrico

1.4.2.6 Caracterización etnoclimática regional

1.4.2.7 Terrenos de verificación

1.4.2.8 Recopilación de estudios sobre uso y manejo del agua

1.4.3 Pasos metodológicos

II Resultados

2.1 Evolución climática y sociocultural de la Región de Antofagasta

2.1.1 Paleoclimatología

2.1.1.1 Antecedentes paleoclimáticos generales

2.1.1.2 Paleoclimas de los Andes Centrales: El altiplano

2.1.2 Dotación y manejo de recursos prehispánicas

2.1.2.1 El período Arcáico (9.000 a.C. a ± 1.500 a.C.)

2.1.2.2 El período Formativo (± 1.500 a.C. a ± 100 d.C.)

2.1.2.3 La cultura San Pedro de Atacama y la influencia Tiwanaku (100 a 900 d.C.)

2.1.2.4 Los desarrollos regionales de la etapa Pukara (900 a 1.450 d.C.)

2.1.2.5 La invasión Inca (1.450 a 1.536 d.C.)

2.1.3 Dotación y manejo de recursos en períodos históricos

2.1.3.1 La colonia

2.1.3.2 Siglos XIX y XX

2.2 Topoclimatología de la Puna de Atacama, Región de Antofagasta

2.2.1 Climatología sinóptica

2.2.1.1 Circulación atmosférica estival

2.2.1.2 Circulación atmosférica invernal

2.2.1.3 Macrounidades climáticas

2.2.2 Topoclimatología

2.2.2.1 Régimen térmico

2.2.2.1.1 Control orográfico

2.2.2.1.2 Régimen térmico invernal

2.2.2.1.3 Régimen térmico estival

2.2.2.1.4 Comparación invierno verano

2.2.2.1.5 Modelo de Insolación potencial

2.2.2.2 Régimen pluviométrico

2.2.2.2.1 Distribución espacial

2.2.2.2.2 Distribución temporal

2.2.2.2.3 Régimen pluviométrico estival

2.2.2.2.4 Régimen pluviométrico invernal

2.2.2.2.5 Relación con eventos ENOS

2.2.2.3 Régimen de vientos

2.2.2.4 Distribución y variabilidad de la vegetación

2.2.3 Concepciones etnoclimáticas

2.2.3.1 Simbolismo atacameño

2.2.3.2 Percepción climática de la población

2.2.3.3 Algunas interpretaciones

2.3 Competencia por los recursos hídricos

2.3.1 Características hidrológicas generales

2.3.2 Características por sector y demanda de agua

2.3.2.1 Sector agrícola

2.3.2.2 Sector minero

2.3.2.3 Sector urbano

2.3.3 Perspectivas de mediano plazo

2.4 Conclusiones y propuestas.

Bibliografía

I Introducción

El año 1989, científicos del Departamento de Geografía de la Universidad de Berna, Suiza, encabezados por PHd. Bruno Messerli, inició un proyecto de investigación titulado "Cambio Climático en el Norte Arido de Chile", financiado por el Fondo Nacional de Ciencias Suizas, con el objetivo de analizar la evolución climática, de una de las zonas con registros paleoclimáticos más completos y diversos, pero menos estudiados del planeta.

En base a dicho proyecto, se gestó una estrecha colaboración con el departamento homólogo de la Universidad de Chile, que se inició con la donación de dos estaciones meteorológicas automáticas, que fueron localizadas en El Laco, Puna de Atacama. La instalación de dichas estaciones en 1990 (que contó con la participación del autor), inició la investigación que da origen a este trabajo.

La incorporación del Departamento de Geografía de la Universidad de Chile en dicho proyecto, tuvo como uno de sus principales objetivos, iniciar una nueva etapa de desarrollo institucional, que implicaba modernización tecnológica y conceptual, reflejada en la incorporación de tecnología satelital y la implementación de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Para ello debió adquirirse numerosa infraestructura computacional, imágenes de satélite, software y bibliografía. Al mismo tiempo y dentro del mismo contexto, se desarrollaron cursos de entrenamiento en SIG, financiados por United Nations Institute for Training and Reaserch (UNITAR), que contemplaron la donación de software y viajes de estudio al laboratorio de The University of Clark, en Worcester Massachusets, creadores del SIG IDRISI.

Las labores desarrolladas en las primeras etapas del proyecto por los integrantes chilenos, fueron sólo de apoyo logístico y participación en las campañas de terreno, sin embargo en la medida que se internalizaban de la problemática regional, fue configurándose una temática propia y complementaria a la de los suizos.

La región vivía su tercer año de sequía, con graves problemas en las comunidades del interior por la falta de forraje y agua de bebida. Junto a dicha condición climática, se agudizaba la pugna por los escasos recursos hídricos, debido al incremento de las inversiones extranjeras que llegaron a Antofagasta a explotar la gran reserva mineral allí existente.

El proyecto original no contemplaba un análisis topoclimático detallado, no obstante, las condiciones climáticas de aquel entonces impactaban negativamente a las comunidades del interior. Frente a ello, se decidió iniciar una investigación sobre la climatología actual a nivel local.

En este sentido, el año 1993 se obtuvo financiamiento por parte del Departamento Técnico de Investigación (DTI) de la Universidad de Chile, para desarrollar el proyecto titulado "Análisis de la variabilidad pluviométrica y térmica del altiplano de la Región de Antofagasta, con apoyo de un Sistema de Información Geográfico".

Al cabo de dos años de trabajo, que incluyeron numerosas visitas a terreno y análisis de gabinete, se logró configurar una visión topoclimática general de la región, caracterizada por una gran interdependencia de variables geográficas y por su alta variabilidad temporal y espacial.

Primero se consideró las condiciones sinópticas generales de la región, los modelos de circulación estivales e invernales, así como la disposición espacial de las principales células de altas presiones. Luego se analizó la topoclimatología regional, desglosada en tres componentes principales:

-régimen térmico,

-régimen pluviométrico y

-régimen eólico.

Cada uno de los regímenes específicos se caracterizó a nivel;

-temporal: Variaciones interanuales, contrastes invierno-verano, y condiciones diarias u horarias.

y

-espacial:

Destacando las relaciones con patrones topográficos (alturas, latitudes, longitudes, macrounidades de relieve, pendientes, exposiciones, etc.)

Se relacionó además, las condiciones topoclimáticas con;

-eventos ENOS: Enfatizándose los aspectos pluviométricos, donde se detectó una mayor recurrencia de lluvias invernales con años ENOS

e

- índices normalizados de vegetación NDVI: Destacándose la fuerte respuesta de las coberturas vegetacionales, analizadas según formaciones por pisos altitudinales, en tres transectos este-oeste en el área de estudio.

La caracterización topoclimática generada, permitió interpretar de mejor forma los datos paleoclimáticos. Aplicando concepciones actualistas, es posible modelar las condiciones térmicas y pluviométricas pasadas.

Dado que los antecedentes paleoclimáticos existentes, abarcaban un período restringido al tardiglacial, debió anexarse una interpretación de datos arqueológicos e históricos, que abarcaran el holoceno y las etapas de desarrollo más modernas, con el fin de completar la evolución climática, socioeconómica y cultural de la región.

Se inició así una segunda etapa de análisis, que buscó recopilar, integrar e interpretar, los registros paleoclimáticos, con los arqueológicos, históricos y topoclimáticos actuales, con el fin de caracterizar y comprender la génesis y evolución de los recursos hídricos, su uso por parte de la población y las implicancias sobre las actividades económicas regionales.

Destacó de esta fase de estudio, la profunda raíz cultural de los problemas referentes a los recursos hídricos regionales. Se constató además, que la actual competencia entre los actores regionales no es nueva, ya que en diversas etapas del desarrollo regional se dieron fuertes disputas por el agua.

El componente cultural fue adquiriendo importancia en la investigación, por lo que se decidió incluir un capítulo específico sobre la percepción de la población indígena sobre la climatología regional. Destaca de este esfuerzo, la alta valoración que tiene la población sobre sus recursos, la concepción totalizante de los espacios locales, y la insospechada validación en el plano científico de sus simbolismos e interpretaciones.

De esta forma se dieron las condiciones para comenzar la etapa de síntesis sobre la competencia actual por el agua en la región.

Para ello, se caracterizó las condiciones hidrológicas generales de la región, que presentan una estrecha interdependencia con la topoclimatología regional, destacándose la dotación de recursos en la cuenca del Loa.

Al analizar la competencia por el agua, debió revisarse y recabarse numerosa información existente en la Dirección de Riego del Ministerio de Obras Públicas, sobre transacciones de agua y derechos adquiridos, así mismo, debió revisarse en las notarías de Calama, las transacciones realizadas, y los montos cancelados por la compra de aguas.

Se analizó la tenencia de acciones de agua, su uso y perspectivas de manejo, para los tres sectores principales de la región;

-el sector agrícola: Acusado de derrochador, poco rentable y en vías de desaparecer.

-el sector minero: De gran rentabilidad, niveles de inversión elevados y gran consumo de aguas, con tendencia a su optimización.

y

-el sector urbano: En permanente crecimiento, por lo cual ha buscado adquirir los recursos en poder de la agricultura. Como no han sido fáciles las transacciones y los recursos no dan abasto, han debido impulsar proyectos extractivos y de exploración de gran envergadura.

La escasez y consecuente competencia por el agua no es un fenómeno aislado de la evolución geográfica regional. Gran parte de los recursos actualmente en uso, no se generan hoy en día, sino que provienen de períodos paleoclimáticos irrepetibles. Las comunidades indígenas acusadas de mal uso y derroche del agua, han existido en complementariedad ecológica con su entorno desde hace miles de años, mientras que varias de las actividades económicas hoy en día más rentables, existieron en el pasado en base a otros recursos y no lograron subsistir, sin embargo acusaron a las comunidades indígenas con similares argumentos que los de la actualidad.

En términos de recursos superficiales actuales, prácticamente no existe solución a la gran demanda de agua. En esta perspectiva la competencia se agudizará y probablemente perjudicará al sector más indefenso y menos rentable.

No obstante lo anterior, en las últimas visitas a la región y discusiones en Congresos sobre la problemática de los recursos hídricos regionales, se percibe una incipiente conciencia de diálogo y entendimiento entre las partes.

En este contexto, fueron bien recibidas las exposiciones realizadas por el autor, sobre este estudio y su propuesta de una evaluación estratégica ambiental del recurso hídrico y su competencia, donde cada actor sea valorizado no sólo por su rentabilidad, sino por su aporte a la bio y socio diversidad regional, que permitan superar la actual competencia, por una integración y complementación económica y espacial, respecto del recurso.

De esta forma, este estudio es el reflejo de una investigación de varios años, que ha ido evolucionando, incorporando nuevos antecedentes y problemáticas, con un hilo conductor permanente, la topoclimatología y un objetivo básico, aportar antecedentes que permitan entender y enfrentar el problema de los recursos hídricos regionales.

1.1.- Planteamiento del problema.

El marco nacional

Chile ha sido el país latinoamericano de más alto y sostenido crecimiento económico en la última década, con un aumento cercano al 80% del Producto Interno Bruto (PIB), colocándose a la vanguardia del continente, por su apertura a la economía global, aprovechamiento de las ventajas comparativas e intensificación en el uso de los recursos naturales y humanos.

Uno de los sectores económicos que más inciden en la alta tasa de crecimiento de la década es el exportador, cuyo aumento y diversificación en cuanto productos y destinos, ha sido uno de los más dinámicos y significativos . Este sector ha incrementado su participación en el PIB de 15,7 % en el período 1970-1979 a más del 35 % en 1994. (Figueroa et al. 1996).

Considerando el origen y composición de las exportaciones en 1994, casi el 52% de ellas correspondieron a recursos naturales no procesados y más del 35% a recursos naturales procesados, destacándose el incremento de un 35 % del valor exportado por los sectores agrícola, pesquero y forestal, un 20% del sector minero y cerca del 60% de la industria, en el período 1988-1994 (Figueroa, op. cit; Meyer, 1990).

De lo anterior, resulta válida la aseveración histórica, de que el desarrollo de las principales actividades económicas del país, sigue basándose en la explotación de recursos naturales, tanto de bienes primarios no procesados (materias primas), como de bienes procesados provenientes de la base de recursos naturales del país, sin que hasta ahora se haya cumplido la meta de diversificar y ampliar las actividades productivas, en una etapa superior de capitalización, producción de bienes de capital, manufacturas o servicios.

La expansión exportadora que incrementa la demanda por recursos naturales renovables y no renovables, está asociada generalmente a impactos ambientales negativos, tales como contaminación de aguas, aire y suelos, o sobrexplotación de bosque nativo y recursos hídricos. Sin embargo cada sector tiene especificidades contrastadas.

Por ejemplo en el sector pesquero, se ha evidenciado una inconsistencia a largo plazo, por la tendencia a la reducción de grandes cantidades de biomasa de algunas especies y los peligros de colapso que afectan a otras (Figueroa y Núñez, 1992; Barría y Serra, 1989).

De igual forma, en el sector forestal, Lara et al. (1996) han planteado que la masa boscosa nativa de las regiones VII y VIII se ha reducido en un 31% entre 1978 y 87, lo que sumado a la creciente industria de astillas y quema de superficies de bosque nativo para reforestaciones de especies introducidas, convierten al bosque nativo en uno de los más frágiles y con mayores posibilidades de colapsar (Claude y Pizarro, 1996).

A diferencia de los anteriores, en el sector agrícola se ha producido no un agotamiento de recursos, sino por el contrario un aumento de la superficie regada, en un contexto de fuerte modernización orientada en algunas zonas a la exportación de primores, la que sin embargo no ha estado ajena a problemáticas ambientales, en especial ligadas a la variabilidad pluviométrica en áreas vulnerables, con ciclos anuales extremadamente lluviosos, seguidos por sequías severas, todo lo cual ha llevado a declarar zonas de emergencia en varias comunas a lo largo del país (Romero y Rivera 1994b).

En el sector minero, históricamente el mayor exportador chileno, parece respaldarse una visión sustentable desde el punto de vista de la cantidad de recursos , puesto que en los últimos años caracterizados por una creciente explotación, el recurso minero del cobre expresado como reservas mineras ha ido en aumento, debido al incremento de las exploraciones, nuevas tecnologías que aprovechan depósitos post-minerales, mejores condiciones para aprovechar yacimientos de baja ley (Figueroa et al, op. cit) y un proceso de inversión extranjera único a nivel nacional.

No obstante lo anterior, la sustentabilidad del sector minero ha sido cuestionada, no por el posible agotamiento de las reservas minerales, sino por los efectos sobre otros recursos que son fundamentales para los procesos productivos, como es el agotamiento del agua en el Norte grande, la contaminación atmosférica e hídrica en las grandes fundiciones de Chuquicamata, Paipote y Caletones, o la bio, socio y etno diversidad, amenazada por la explotación excesiva de napas subterráneas o la compra de derechos de agua y tierras.

El desarrollo del país en base a un modelo exportador, abierto a las inversiones extranjeras e inserto en la economía global, debe progresivamente ir incorporando en sus costos, los efectos sobre el medio físico, social y cultural, en función de sustentarse a mediano y largo plazo.

La sustentabilidad del desarrollo del país, implica básicamente, compatibilizar los ritmos de crecimiento económico (extractivos, productivos, de inversión, etc.) con los de desarrollo social (distribución de ingresos, calidad de vida, diversidad cultural, etc.) y de dinámica natural (renovabilidad de recursos, respuesta a cambios climáticos, etc.), todo lo cual se da en un espacio y en un tiempo, de características multidimensionales.

Entre los ritmos de crecimiento económico, destaca el significativo aumento de las inversiones, que en el período 1990- 1995 alcanzaron aproximadamente a US$ 13.231,6 millones, de los cuales el 28,7 % se destinó a minería, el 24,9% a industria y el 22,4% a energía.(Aninat, 1990). Considerando el origen de las inversiones, una parte importante de ellas, provienen del extranjero, concentrándose en mega proyectos mineros, tales como El Abra y La Escondida en la IIª región de Antofagasta con más de US$ 2.100 millones entre 1993-1995.

Entre los ritmos naturales de corto plazo, destacan la alta variabilidad pluviométrica de varias regiones del país, con severas consecuencias para la ganadería (terremoto blanco del invierno de 1995 en Magallanes), la agricultura (declaración de emergencia en el verano 1995/96 por sequía en la costa de la región de la Araucanía y Temuco, y en el Norte Chico), la vida humana y la infraestructura (aluviones de Santiago 1993 y Antofagasta 1991), todos los cuales son fenómenos climáticos poco predecibles, con escalas y características intra e ínter regionales muy diferenciales.

Los cambios climáticos de largo plazo, aquellos que tienen incidencia en la dotación actual de algunos recursos y han acaecido desde la última glaciación, han sido objeto de un creciente interés por la comunidad científica nacional e internacional, sin embargo aún existen grandes áreas del país sin datos, investigaciones ni aplicaciones del conocimiento obtenido a la planificación productiva y del territorio.

Desde esta perspectiva, los cambios climáticos y sus principales manifestaciones, están transformándose en elementos claves a la hora de proyectar a mediano plazo el uso y manejo de ciertos recursos, más sensibles y vulnerables, como el recurso hídrico en el Norte grande .

En este sentido, la investigación climatológica debe pasar de una descripción general a una predicción de fenómenos de corto y mediano plazo, para favorecer la toma de decisiones políticas, que reduzcan los costos de los avatares naturales, y permitan sustentar el desarrollo de actividades económicas fundamentales para el país.

Los ritmos socio culturales, también están respondiendo en forma diferencial a nivel espacial y sectorial, al proceso de modernización productiva. Se plantea que la población del país estaría creciendo a tasas similares a la de países europeos, con envejecimiento de la población, menores tasas de natalidad y una amplia supremacía urbana sobre la población rural. En este sentido, algunas ciudades han tenido un crecimiento explosivo por sobre toda predicción, como Temuco, Los Angeles y Antofagasta, siendo esta última un caso especial por los riesgos inherentes de su localización y principalmente la satisfacción de las necesidades de agua potable.

Respecto de la distribución de la riqueza, se ha planteado que los crecientes excedentes económicos del país, debieran redistribuirse en base a la teoría del "chorreo"; sin embargo, estudios recientes ratifican que el segmento poblacional más pobre ha reducido sus ingresos en los últimos 5 años, mientras que el 10 % más rico ha incrementado su brecha con el resto de la población, lo que grafica las desigualdades aún existentes en la distribución y repartición de los beneficios del modelo.

A nivel rural, la población sigue emigrando a las ciudades, sin embargo la alta captación de Santiago, está siendo reemplazada por centros emergentes de carácter intermedio. Respecto de la población indígena rural, su capacidad de inserción en el modelo imperante es escasa, por lo que la emigración y pérdida de identidad cultural es grave. En el caso del Norte grande, la presión por adquirir los recursos hídricos de propiedad indígena es altísima, frente a lo cual la publicación de la ley indígena y la 19.300 (Bases del Medio Ambiente), dan o debieran dar algunas herramientas legales para enfrentar la coyuntura.

Dada la alta complejidad e intercomplementariedad que ha ido adquiriendo la actual etapa de desarrollo, los actores sociales, económicos y culturales, de las distintas realidades regionales, se han visto y se verán cada vez más obligados a concertar y gestionar el territorio con una perspectiva integral. En este sentido, este trabajo pretende aportar un enfoque geográfico, de síntesis de los componentes del sistema regional de Antofagasta, con el fin de comprender su dinámica y estructura, recomendando algunos lineamientos generales que tiendan al desarrollo sustentable.

El marco regional

Uno de los espacios regionales del país que mejor refleja la necesidad de una perspectiva multidimensional para el uso y manejo de sus recursos naturales, es la región II^{a} de Antofagasta, que genera el 5,4 % del Producto Interno Bruto nacional (PIB), aporta cerca del 25 % de las divisas de toda la economía del país, y se ubica en el segundo lugar nacional con mayor ingreso per cápita, casi doblando el promedio nacional. Estas cifras constituyen a la región, en la más dinámica y con mayor aporte al PIB nacional en base a una actividad productiva primaria. De hecho es la única región del país donde más del 50% de su PIB se genera en la minería.

No obstante lo estimulante de las cifras de ingreso, gran parte del producto tiene como destino el presupuesto nacional (Le-bert, 1995), desencadenándose por ende uno de los principales problemas regionales: el de la escasa reinversión de los excedentes en la región.

La actividad económica con mayor generación de excedentes en la región y que concentra cerca del 25 % de todas las inversiones extranjeras que llegarán al país en el período 1994-2000, es la minería extractiva, representada por grandes yacimientos, con buenas leyes de cabeza de mineral de Cobre, Litio y concentrados de mineral.

Estos yacimientos se encuentran en una región caracterizada por la sequedad del Desierto de Atacama, requiriendo de los recursos hídricos provenientes de las altiplanicies andinas, cuyo monto y variabilidad anual está fuertemente controlada por la existencia de recursos fósiles, la circulación de la atmósfera sobre el Océano Pacífico, el comportamiento de la Alta de Bolivia y la intensidad de las columnas convectivas de naturaleza local y origen térmico superficial.

Existen varios estudios referentes a la climatología de la región (DGA 1986, INYGE 1991, CONSECOL 1988, CHI-535 1978, ICC 1982, INIA 1989), sin embargo, ninguno considera en forma integral, la escala temporal y espacial en la distribución de variables claves como la pluviometría. De igual forma, las escalas de análisis son regionales, sin poner énfasis en la región altiplánica, donde se generan los recursos.

Respecto de las escalas de análisis, no existen estudios topoclimáticos que caractericen y relacionen los eventos El Niño Oscilación del Sur (ENOS) y las lluvias, o la variación de la vegetación y vientos con la ocurrencia de eventos pluviométricos estivales o invernales.

Respecto de las precipitaciones, sólo existen estudios de la ocurrencia de lluvias estivales, sin embargo los eventos invernales han merecido poco interés, sólo revertido en los últimos tiempos por los trabajos de Vuille (1996).

Considerando que la mayoría de los estudios coinciden en la escasez de agua debido a las exiguas precipitaciones (Grosjean et. al 1996, Messerli et. al 1993, ESSAN 1992), acentuadas por una mayor irregularidad interanual en la última década, en un marco de asignación del 100% de las aguas superficiales a los usuarios, la necesidad de obtener nuevas fuentes de agua entre los sectores involucrados se ha agudizado, volcándose los esfuerzos a la prospección de las reservas subterráneas aun disponibles (INYGE, 1991, ESSAN 1995, Lizárraga & Hernández, 1995).

Existen evidencias de que muchos de los recursos hídricos solicitados, tendrían carácter fósil o bien de que se podría estar alcanzando el límite de disponibilidad de agua, tanto para el funcionamiento ecológico de los ríos y quebradas, como para la agricultura (Messerli et al. 1993, Grosjean, 1994).

En este sentido, la competencia por el recurso hídrico se ha acentuado, especialmente entre la minería (de máxima rentabilidad económica), el consumo urbano (máxima rentabilidad social) y la agricultura de oasis (de mínima rentabilidad económica pero máxima rentabilidad antropológico-cultural), (Romero y Rivera, 1995a).

La agricultura sigue siendo practicada en oasis y quebradas rodeadas por el desierto de Atacama, con métodos y técnicas tradicionales, que implican un bajo rendimiento en el consumo de agua (ESSAN, 1992, ESSAN, 1995), generándose productos de mala calidad y poca rentabilidad, acentuándose la tendencia a la depreciación cultural y económica a la que se han visto sometidos desde hace muchos años, lo que convierte a esta población rural principalmente indígena, en la más vulnerable frente a la actual etapa de desarrollo regional.

Frente a esta realidad, algunos documentos académicos, informes técnicos y artículos de prensa, han planteado la reasignación de las aguas actualmente "mal usadas" en agricultura, para actividades más rentables como la minería o el agua potable (INYGE 1991, ESSAN 1992, ESSAN 1992), lo que podría forzar a las comunidades indígenas aún existentes a acentuar su emigración a los centros urbanos, abandonando sus tierras de cultivo, hábitat y cultura, en aras de un proceso de "modernización" económica que los excluye.

A esta emigración intraregional, se suma el crecimiento vegetativo de la población y la inmigración proveniente de otras regiones, lo que configura un cuadro de crecimiento poblacional y urbanización acelerado, superior al 1,61% anual definido como promedio lineal de las tasas de las últimas décadas en la región.

Este crecimiento de la población, también presiona la base de recursos hídricos regionales, debiendo la empresa de agua potable regional (ESSAN), intensificar la prospección, explotación y compra de acciones de aguas, agudizando la competencia con la agricultura de subsistencia y la minería.

Por otro lado, el manejo integrado de recursos, siguiendo la complementariedad de los pisos ecológicos que mantienen las comunidades locales, contrasta con el alto nivel extractivo de recursos hídricos por parte de la minería, lo que en un contexto de mantención de condiciones áridas con baja o nula renovabilidad de las napas freáticas, podría ocasionar un irreversible stress hídrico de la región.

1.2.- Planteamiento teórico.-

Cómo enfrentar desde la Geografía los complejos problemas descritos para la región de Antofagasta?

Cómo enlazar algo tan específico, como las precipitaciones actuales o la variabilidad de corto mediano y largo plazo de los recursos hídricos, con algo tan general, como el desarrollo sustentable de la región de Antofagasta ?

El desarrollo sustentable en cuanto objetivo político, implica un marco espacial y temporal, donde intervienen un elevado número de variables y factores, en una compleja red de interacciones, que involucra, entre otros, a los actores sociales, la dotación y variabilidad de los recursos naturales y los medios de producción.

La Geografía ha abordado estas problemáticas desde dos perspectivas:

-como ciencia de síntesis; donde la Geografía es una disciplina amplia y pluralista, interesada en la reinterpretación o reformulación de data primaria generada por otros.

-como ciencia de especialidad; donde la Geografía es un campo de investigación primario interesado en una parcela de conocimiento más estrecha, comúnmente definida como más próxima a las ciencias básicas o duras, dirigida hacia el desarrollo de un núcleo teórico temático.

Ambas perspectivas se han opuesto en todos los aspectos disciplinarios, sin embargo no se ha generado un debate dialécticamente provechoso, tanto por la imposibilidad conceptual de comunicación, como por el aislamiento en el que se han sumergido algunos de los actores.

Desde la perspectiva de este trabajo, la superación de la dicotomía síntesis versus especialización, pasa necesariamente por la combinación y complementación de ambas aproximaciones. Obviamente la combinación debiera ser de aquellos aspectos catalogados como los mejores de cada posición, lo que ha sido formulado en distintas maneras por Sayer, (1985) y Kates, (1987).

Una de dichas perspectivas, es definida como "specialized generalist" (Kates, 1987). Donde la Geografía adquiere un rol pluralista y de disciplina holística con algún nivel de especialización.

Esta definición es comúnmente aceptada por el establishment académico, debido a que se ajusta de forma natural a la aproximación ambiental, catalogada como la gran problemática de los años 90.

Lo ambiental es entendido básicamente como un enfoque interdisciplinario, donde es fundamental integrar conocimiento parcelado y desagregado, con el objeto de realizar evaluaciones de síntesis, que describan, expliquen y manejen, los efectos de la aplicación de los distintos componentes del modelo neoliberal en nuestras sociedades.

De esta forma, lo ambiental, holístico y por ende geográfico, son casi sinónimos.

Esto se ha traducido en términos formativos, en que los estudiantes de Geografía, deben absorver numerosas y discímiles disciplinas, sin alcanzar generalmente un nivel mínimo de conocimiento teórico y metodológico, que permita una especialización.

Esta ha sido la tendencia que ha marcado la Geografía. Una tendencia que se vanagloria de lo obrado, como si la comparación con los niveles de desarrollo disciplinario a nivel nacional fueran parangones dignos de imitarse. El ensimismamiento ha conllevado a malas síntesis; típicos estudios compartimentados sin relación lógica, espacial o funcional, verdaderas copias bibliográficas sin interpretación, así como a malas especializaciones; estudios de caso sin relevancia, aplicación de métodos ya probados, estudios extremadamente detallados que no permiten aplicación alguna (Uribe, 1994).

Una buena síntesis, es producto de un entrenamiento en síntesis per se y raramente emerge sólo de una adquisición y análisis de data secundaria.

Una buena síntesis es producto de una apreciación de la complejidad e interconectividad de un problema, complementada con un riguroso y profundo tratamiento de data primaria. En esta perspectiva, la especialización es usada para ganar conocimiento de los tópicos que aseguran una legitimidad transdiciplinaria. Mientras que la síntesis sirve para ampliar la perspectiva del problema, ilustrando distintas y alternativas vías de aproximación y solución.

En este contexto, el geógrafo tiene un rol triple; entender a cabalidad las temáticas intervinientes en un problema, tener la capacidad de integrar dichas temáticas o aproximaciones en un continuo espacial y temporal, y finalmente ser él mismo un especialista o experto en su área de interés.

La síntesis que se desarrolla frente a problemáticas ambientales, socioculturales o del desarrollo, obligan a un entrecruzamiento permanente de temáticas integrantes, que permitan destacar las interacciones causales, las repetitividades en los procesos y los efectos directos o indirectos de tales combinaciones.

Por ende la síntesis es tanto horizontal como vertical y transversal. Horizontal en el sentido espacial, Vertical en cuanto sistema abierto a múltiples procesos temporales y Transversal, en cuanto concepciones, ideologías y percepciones diferenciales.

El enfoque teórico que se pretende dar a este trabajo, denominado por Turner (1989) como "The Specialist-Synthesis Approach" (Aproximación de Especialista-Síntesis), busca explicar, caracterizar y generar una síntesis sobre el problema del desarrollo de la región de Antofagasta, considerando las restricciones derivadas de la dotación y competencia de recursos hídricos, en base a una parcela disciplinaria de especialidad; constituida por la topoclimatología, que permite un hilo conductor permanente, donde se van integrando y combinando otras disciplinas como son la paleoclimatología, la arqueología, la economía, la historia y la hidrología.

Las preguntas claves que se pretende responder, son Dónde, Cómo y Porqué, la sociedad y la naturaleza han ido relacionándose (complementándose o depredándose) y construyendo la actual configuración de su espacio (en este caso la región).

Esta aproximación de síntesis-especialización, requiere además de herramientas metodológicas apropiadas, que faciliten la integración de variables y complementación de subsistemas. En esta perspectiva, el desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica, ha sido el respaldo práctico que permite manejar, acopiar y evaluar, los cada vez más crecientes volúmenes de datos disponibles, gracias a la automatización, el uso de sensores remotos y la computación.

No obstante el desarrollo de sistemas computacionales ha significado un salto cualitativo y cuantitativo incontrarestable, la validación y contraste de la data y los modelos, siguen siendo fundamentales.

Si esta concepción de síntesis-especialización trata de ser aplicada en áreas de montaña de países subdesarrollados, como la región de Antofagasta, se suman mayores complejidades y factores explicativos.

Estos ecosistemas deben ser considerados holísticamente, con importantes aportes de cientistas naturales, sociales y economistas, así como habitantes locales y actores sociales relevantes, coordinados por especialistas de la integración, que tengan la capacidad de poner el conocimiento generado a disposición de los tomadores de desición política.

Un modelo que representa un sistema regional, económico y ecológico como el de Antofagasta, ha sido desarrollado para UNESCO por Messserli, (1983), el cual contempla dos subsistemas principales:

-uno socio-económico

Compuesto a su vez por los subsistemas;
económico (producción y distribución de bienes y servicios)
político (objetivos, planes, burocracia y desiciones)
sociodemográfico (población, turismo, organizaciones sociales)
cultural (tradiciones, moral, simbolismo)

y

-uno natural

Integrado por subsistemas;

bióticos (vegetación y fauna)
abióticos (geología, clima, relieves, agua, etc.)

Ambos sistemas y subsitemas integrantes (factores internos) interactuan a nivel temporal y espacial, por medio del tipo e intensidad del uso del suelo y las relaciones entre distintos pisos ecológicos, constituyendo un espacio particular.

Este espacio o territorio, es influido por factores externos, definidos principalmente por las demandas y presiones sobre dicho espacio, así como por las políticas que pretenden dirigirlo, modificarlo, protegerlo o explotarlo.

En este contexto, se mezclan las tendencias de evolución natural, con las de evolución social y de los modelos productivos, generándose puntos de encuentro y complementación, así como de ruptura y desequilibrio.

El problema de la escala también es fundamental, puesto que a las escalas espaciales tradicionales;

microescalas macroescalas
puntual, local, regional, nacional e internacional

deben sumarse las temporales;

actual, últimas decenas de años, cientos de años y miles de años.

y finalmente las escalas para la toma de decisión y percepción o concepción;

individual, comunitaria (local), regional, nacional e internacional.

En esta red, la complejidad y necesidad de síntesis se incrementa hacia los niveles macro, mientras que la especificidad se acentúa en dirección micro. Sin embargo puede darse una especificidad en dirección de un subsistema integrante, en desmedro de los otros, con el fin de generar un hilo conductor del proceso investigativo.

En este estudio se entendió desde un principio, que el hilo conductor sería la Topoclimatología, o estudio de los climas a nivel local. Esta disciplina ha tenido un desarrollo importante en los últimos años, en especial por aplicar conceptos, metodologías y problemáticas climáticas generales, a niveles de decisión y análisis locales.

Según Paszyñsky (in Ihl, 1991), tres problemáticas de actualidad centran la preocupación de la climatología moderna:

-al aprovechamiento del clima con fines productivos
-los riesgos climáticos y sus efectos
y
-las modificaciones y efectos antrópicos sobre el clima

De las anteriores, la principal aplicación de estudios como el aquí descrito, está en la generación de conocimientos, para fines de manejo, planificación y decisión política sobre el territorio, lo que obviamente tiene provecho en términos productivos.

Saber por ejemplo cuál es la relación de los eventos El Niño Oscilación del Sur (ENOS), con las precipitaciones locales en el altiplano de Antofagasta, permitirá predecir la pluviosidad de años venideros, en base a estimaciones macroregionales.

Tener nociones de cómo responden las superficies lagunares en salares a años extremadamente lluviosos o secos, permitirá definir políticas de manejo en las bocatomas de las extracciones de agua.

Considerar los efectos del clima sobre la vegetación, permitirá definir áreas prioritarias de conservación, aumentando la rentabilidad de los planes de CONAF.

Analizar en conjunto, las demandas de agua de los sectores económicos regionales con, la alta variabiliad, inseguridad y escasa renovabilidad de los recursos hídricos, ilustrará a los tomadores de decisión en la necesidad de planes estratégicos que sean sustentables en el tiempo.

Estos son algunos de los problemas existentes en la región de Antofagasta, donde el proceso de modernización que afecta a Chile ha tenido una especial fuerza, con una gran inversión extranjera, creciente urbanización, sobrexplotación de recursos hídricos y competencia entre los sectores modernos y tradicionales.

En un modelo neoliberal globalizante, con poderes unipolares y tendencia a la homogeneización, la perspectiva de Síntesis- Especialidad aplicada a problemáticas regionales relevantes, sustentándose en disciplinas discímiles, puede reflotar a una Geografía en permanente crisis.

1.3.- Hipótesis y Objetivos

Hipótesis

El desarrollo sustentable de la región de Antofagasta necesita, compatibilizar y armonizar las diferentes características y ritmos de evolución de sus componentes económicos, socio-culturales y naturales, con el fin de asegurar la dotación de recursos hídricos futuros, sin terminar con la bio, socio y etno diversidad existentes.

La evolución del sistema natural en el interior de la región de Antofagasta en los últimos miles de años, se ha caracterizado por una tendencia a la aridización.

En la actualidad, esa tendencia se mantiene, con bajos montos de precipitación, gran variabilidad y concentración interanual de las lluvias, fuerte impacto sobre la vegetación y relaciones poco lineales con eventos ENOS.

La evolución del sistema socio-cultural, se ha caracterizado por sucesivas oleadas de invasión o intentos de ocupación, que han sido enfrentadas por las comunidades locales con estrategias de adaptación relativa, que les han permitido sortear con autonomía las imposiciones culturales.

En la actualidad, el crecimiento de las grandes ciudades, contrasta con la emigración desde los oasis rurales, con la consiguiente transculturización y pérdida de tierras.

La evolución del sistema económico se ha caracterizado por sucesivas etapas de explotación de la base de recursos naturales, en especial mineros, considerando a la región como enclave extractivo o centro de apoyo logístico y de servicios, sin que se hayan reinvertido los excedentes de esta actividad, perpetuándose las condiciones de desigualdad y de desarrollo no sustentable.

En la actualidad la región ocupa el primer lugar en inversión extranjera del país, con altas tasas de crecimiento, sin embargo este proceso no considera plenamente la dotación de recursos hídricos ni beneficia a los sectores agrícolas tradicionales.

Objetivo general

Analizar la evolución y caracterización actual de la oferta de recursos hídricos en el altiplano de Antofagasta, contrastándola con la evolución y situación actual de la demanda de recursos hídricos en la región, con el objeto de proponer un uso y manejo del agua que sea sustentable a mediano y largo plazo.

Objetivos específicos

-Caracterizar la evolución climática en el interior de la región para los últimos miles de años, enfatizando en la renovabilidad de los recursos hídricos.

-Describir, caracterizar y relacionar la topoclimatología regional con la competencia por el agua.

-Analizar las etapas del poblamiento regional, sus relaciones espaciales y su relación con las fluctuaciones climáticas.

-Analizar la competencia por los recursos hídricos entre los sectores económicos principales.

1.4 Area de estudio, metodología y pasos metodológicos

1.4.1.- Area de Estudio

El área de estudio es la región precordillerana y altiplánica de la región de Antofagasta, localizada desde el meridiano 69 hasta la frontera con Bolivia y Argentina, desde el límite Norte de la región, hasta los 24° de latitud Sur **Figura 1**. Aquí se generan los recursos hídricos regionales, se han desarrollado los principales asentamientos indígenas, se localizan las principales áreas agrícolas y concentra la mayor parte de los proyectos extractivos de agua y de explotación minera.

La escala de análisis, recopilación de antecedentes, digitalización e interpretación es 1:250.000, que permite un análisis detallado a nivel regional, con posibilidades de manejo computacional y de representación adecuadas.

A nivel digital, la totalidad de la información será convertida a formato raster, con píxeles de resolución máxima de 1 km^2, lo que será concordante con las imágenes de satélite a ser empleadas (NOAA) y la escala de la información base ingresada.

1.4.2 Metodología

1.4.2.1 Recopilación de estudios paleoclimáticos, arqueológicos e históricos.

Se analizó, recopiló y clasificó la información paleoclimática referente al área de estudio, con el objeto de determinar la evolución de la dotación de recursos hídricos en la región. Se emplearon las escasas dataciones existentes para definir la edad, renovabilidad y vulnerabilidad de los recursos hídricos.

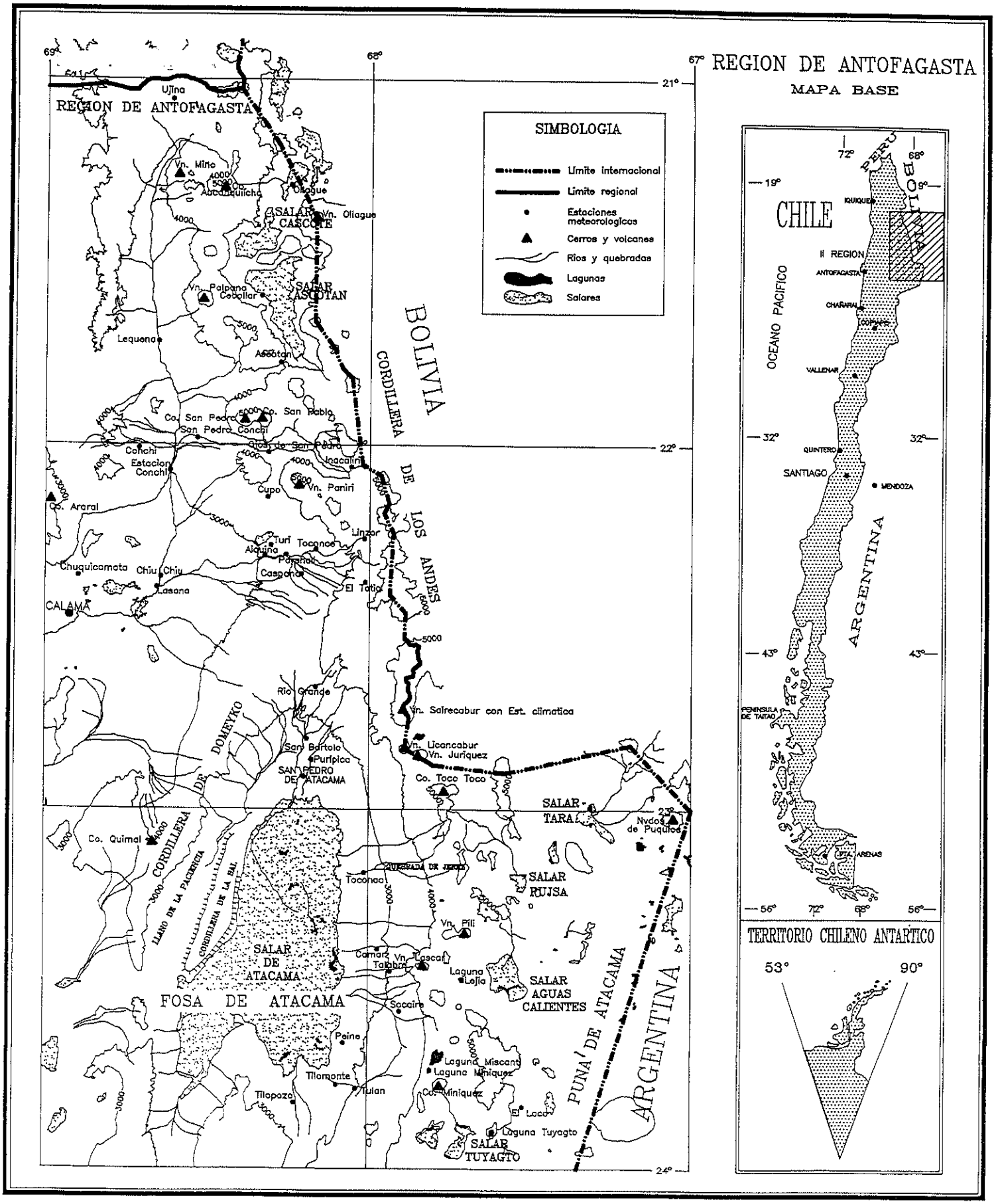

REGION DE ANTOFAGASTA
MAPA BASE
SIMBOLOGIA
Limite internacional
Limite regional
Estaciones meteorologicas
Cerros y volcanes
Rios y quebradas
Lagunas
Salares
REGION DE ANTOFAGASTA
BOLIVIA
CHILE
ARGENTINA
PERU
OCEANO PACIFICO
CORDILLERA DE LOS ANDES
CORDILLERA DE DOMEYKO
CORDILLERA DE LA PACIFICA
LLANO DE LA PACIFICA
PUNA DE ATACAMA
FOSA DE ATACAMA
SALAR DE ATACAMA
SALAR CASCOTE
SALAR ASCOTAN
SALAR TARA
SALAR RUJSA
SALAR AGUAS CALIENTES
SALAR TUYAGTO
SAN PEDRO DE ATACAMA
CALAMA
Ujina
Vn. Miño
Aucanquilcha
Olague
Vn. Olague
Polapana
Cebollar
Lequena
Asabtan
Co. San Pedro
Co. San Pablo
San Pedro Conchi
Conchi
Estacion Conchi
Ojos de San Pedro
Inacaliri
Cupo
Vn. Paniri
Co. Araral
Turi
Toconce
Linzor
Aiquina
Parshal
Caspana
Chuquicamata
Chiu Chiu
Lasana
El Tatio
Rio Grande
Vn. Salrecabur con Est. climatica
San Bartolo
Purifica
Vn. Licancabur
Vn. Juriquez
Co. Toco Toco
Co. Quimal
Toconao
QUEBRADA DE JERES
Vn. Pili
Camar
Talabre
Vn. Lascar
Laguna Lejia
Socaire
Peine
Tilomonte
Tilopozo
Tulan
Laguna Miscanti
Laguna Miniques
Co. Miniquez
El Loco
Laguna Tuyagto
Nvdos de Puquios
II REGION
ANTOFAGASTA
CHAÑARAL
COPIAPO
VALLENAR
QUINTERO
SANTIAGO
MENDOZA
PENINSULA DE TAITAO
PTA. ARENAS
TERRITORIO CHILENO ANTARTICO
53°
90°

FIGURA 1

Se recopiló y analizó los estudios arqueológicos e históricos, con el objetivo de caracterizar las relaciones espaciales y económicas existentes en la región, hasta la implementación de un modelo extractivo de gran escala de la base de recursos mineros. Dichas relaciones espaciales, servirán de base para confeccionar un modelo de manejo sustentable y con complementariedad de uso de distintos pisos ecológicos.

Cada período arqueológico e histórico, fue asociado a una condición climática relativa, en base a las descripciones de la actividad económica y de uso y manejo de los recursos.

1.4.2.2 Diseño e implementación de un Sistema de Información Geográfico (SIG).

Considerando la gran cantidad de información existente para la región, se optó por ingresar todos los planos y variables a un Sistema de Información Geográfico (SIG), que permitiera homologar las unidades de referencia a Universal Transversal Mercator (UTM), la escala de análisis (250.000), el nivel de resolución espacial (1 km^2 para cada píxel), todo lo cual fue digitalizado con el software Roots y procesado en el SIG IDRISI (IDRISI, 1992) **Figura 2**.

Se digitalizaron las curvas de nivel desde cartas regulares del Instituto Geográfico Militar (IGM) escala 1:250.000. Debido a que las ulteriores interpolaciones y determinaciones de parámetros topográficos, generan errores en los bordes entre áreas con datos y aquellas sin datos, se digitalizó no sólo el área de estudio, sino que se extendió este trabajo a todos los territorios aledaños, con el fin de generar un Modelo Digital de Terreno (DTM) más extenso, factible de ser limpiado de errores en las márgenes, mediante la aplicación de máscaras booleanas.

Dichas curvas fueron rasterizadas a una grilla regular de 210 columnas y 360 filas, con resolución 1 km. por píxel. Con la rasterización se constató que por el tamaño de los píxeles, algunas curvas quedaron discontinuas, entorpeciendo la interpolación ulterior. Esto generó patrones lineales según las filas involucradas, distorsionando el modelo resultante.

La discontinuidad de las curvas en raster, que se cierran sobre si mismas en la cima de un cerro o fosa, sin otras curvas al interior, también provocaban errores, como asignación de valores inferiores, al interior de la curva, lo que puede graficarse como un cráter en vez de la cúspide de un cerro.

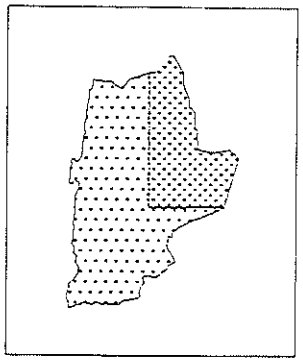
Se aplicó 2 algoritmos de interpolación radial, que permitieron rellenar píxeles sin dato, mediante una consideración multidireccional. Cada píxel resultante, fue filtrado en 2 ocasiones, para suavizar discontinuidades y reducir errores derivados de la rasterización.

El DTM resultante, fue completado con cotas para cimas de cerros o llanos sin gran densidad de curvas. Una vez actualizada dicha información, volvió a aplicarse el interpolador "Interlig" del Centro de Estudios Espaciales de la Universidad de Chile (CEE), rellenándose los espacios vacíos.

CURVAS DE NIVEL PUNA DE ATACAMA

CHILE CORDILLERA Y ALTIPLANO II REGION

AREA DE ESTUDIO



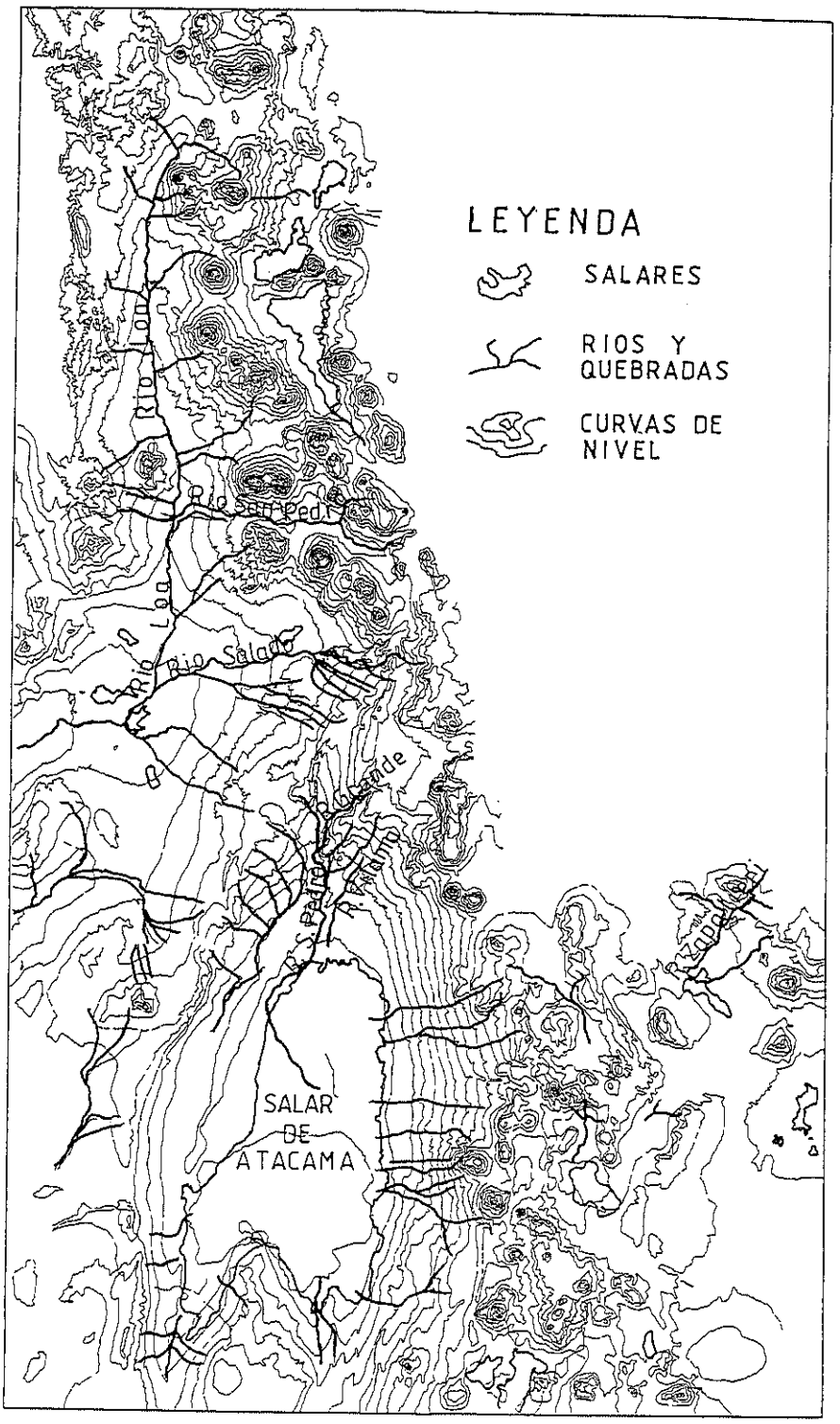


Figura 2

Finalmente, se aplicó un filtro de la media al DTM final, con el fin de reducir quiebres o patrones poco representativos **Figura 3**.

El área de estudio, en términos altimétricos, se localiza entre los 2250 y 6000 m.s.n.m., con una curva hipsométrica general (**Figura 4**) que expresa la importancia de las zonas altiplánicas, especialmente entre los 3750 y 4750 mts., donde se emplazan la mayor parte de los edificios volcánicos, salares y lagunas. En las partes bajas, destaca la importancia regional de la fosa de Atacama y de la cuenca media del Loa, donde se emplazan la mayor parte de los oasis y pueblos.

En base al DTM, fue posible calcular diversos parámetros topográficos, tales como Pendientes por píxel, Exposiciones (ángulos azimutales) por píxel y distancias a distintos elementos, todo en base al SIG IDRISI.

Las pendientes fueron extraídas en grados, mediante el comando "Slope" de IDRISI. Dadas ciertas anomalías espaciales debidas a la resolución empleada, fueron aplicados filtros de la "Moda" con el fin de generar patrones de pendientes por vertientes representativas, disminuyendo una jibarización excesiva.

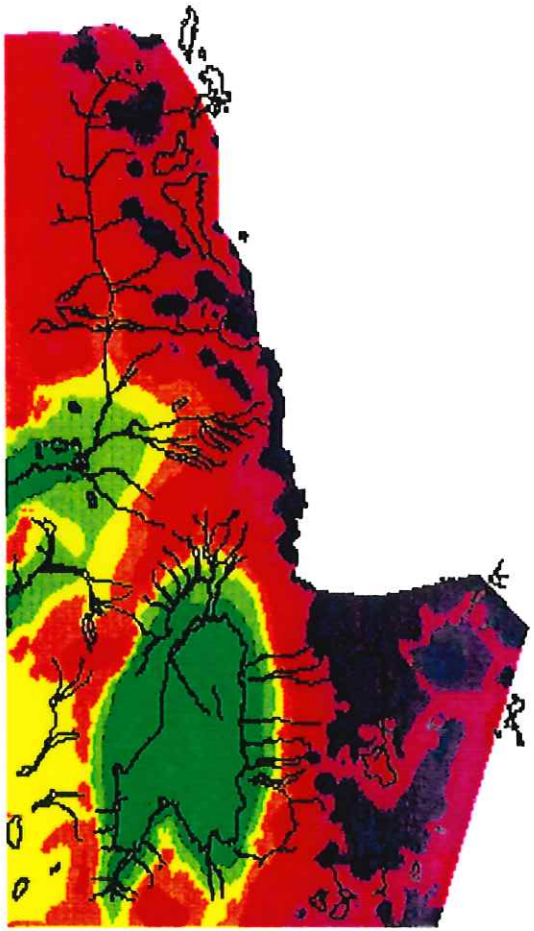
Las pendientes por píxel, corresponden a un modelo de inclinación generalizado, pero representan bastante bien las condiciones generales del área. Las pendientes fueron agrupadas para fines expositivos, sin embargo para los cálculos posteriores, serán considerados los valores originales por píxel. Como puede apreciarse en la **Figura 5** las pendientes son en general poco acentuadas, a excepción hecha de los conos volcánicos de la parte Norte y de la línea volcánica en torno a la fosa de Atacama. En el interior de la Puna, destacan grandes extensiones que rodeadas de conos agudos, presentan escasa inclinación.

Las exposiciones fueron extraídas en grados azimutales, mediante la aplicación del comando "Aspect" de IDRISI, (1992). También se aplicó filtros de media y moda con el fin de reducir errores y asignar valores por vertientes. Finalmente fueron reclasificados, los valores resultantes, en clases de 45 grados. Los sectores con valores negativos fueron reclasificados, con el fin de asociarlos a superficies planas.

Las exposiciones generadas en base al modelo digital de terreno, pueden ser apreciadas en la **Figura 6** superpuesta al DTM en condición tridimensional. Allí es posible destacar el predominante contraste Este Oeste, debido al alineamiento Norte Sur del valle superior del Loa, así como de la Fosa de Atacama. Al interior de la puna de Atacama destacan exposiciones de componente Este, que reciben influencia oriental más directa.

Finalmente se digitalizó y rasterizó, la red de drenaje, los salares, las estaciones meteorológicas, los pueblos y ciudades, la red caminera, la división comunal, el límite internacional y la línea de costa.

TOPOGRAFIA CADA 250 M



TOPOGRAPHY
2250-2500
2500-2750
2750-3000
3000-3250
3250-3500
3500-3750
3750-4000
4000-4250
4250-4500
4500-4750
4750-5000
5000-5250
5250-5500
5500-5750
5750-6000

UCh Norte

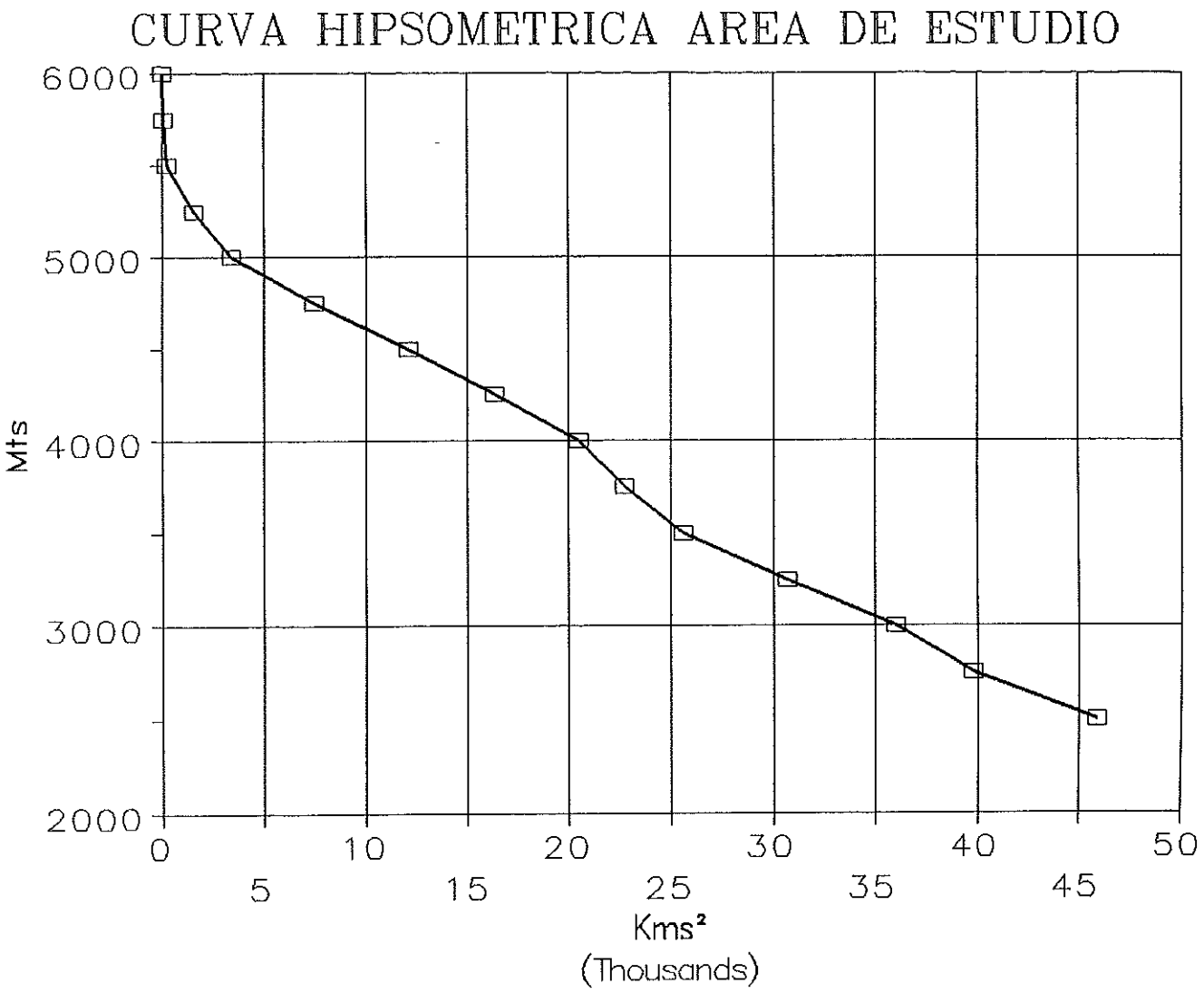
Metros

93603.5

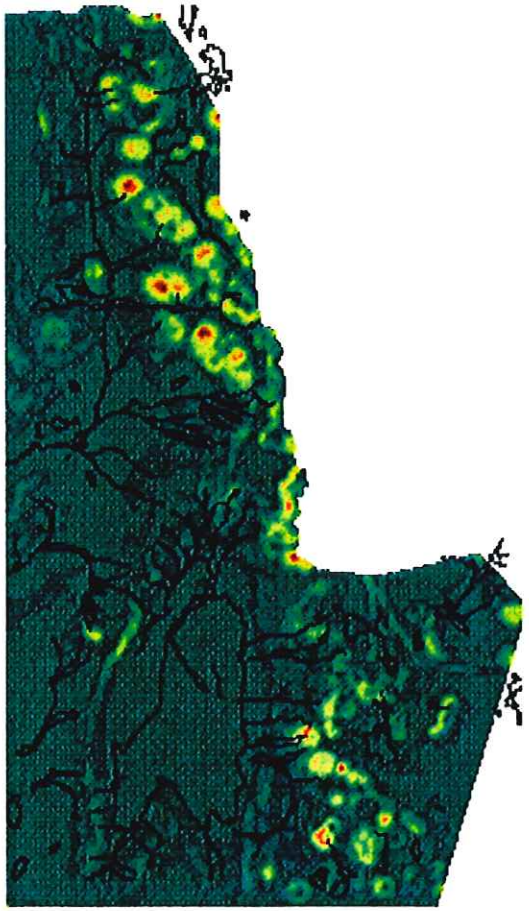
Figura 3

GEO-CLIMA

Figura 4


CURVA HIPSOMETRICA AREA DE ESTUDIO
6000
5000
4000
3000
2000
Mts
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
Kms²
(Thousands)

PENDIENTES AREA DE ESTUDIO



GRADOS
MENOS DE 2
2 - 4
4 - 6
6 - 8
8 - 10
10 - 12
12 - 14
14 - 16
16 - 18
18 - 20
20 - 22
22 Y MAS

Grid North

meters

93603.5

GEO-CLIMA

Figura 5

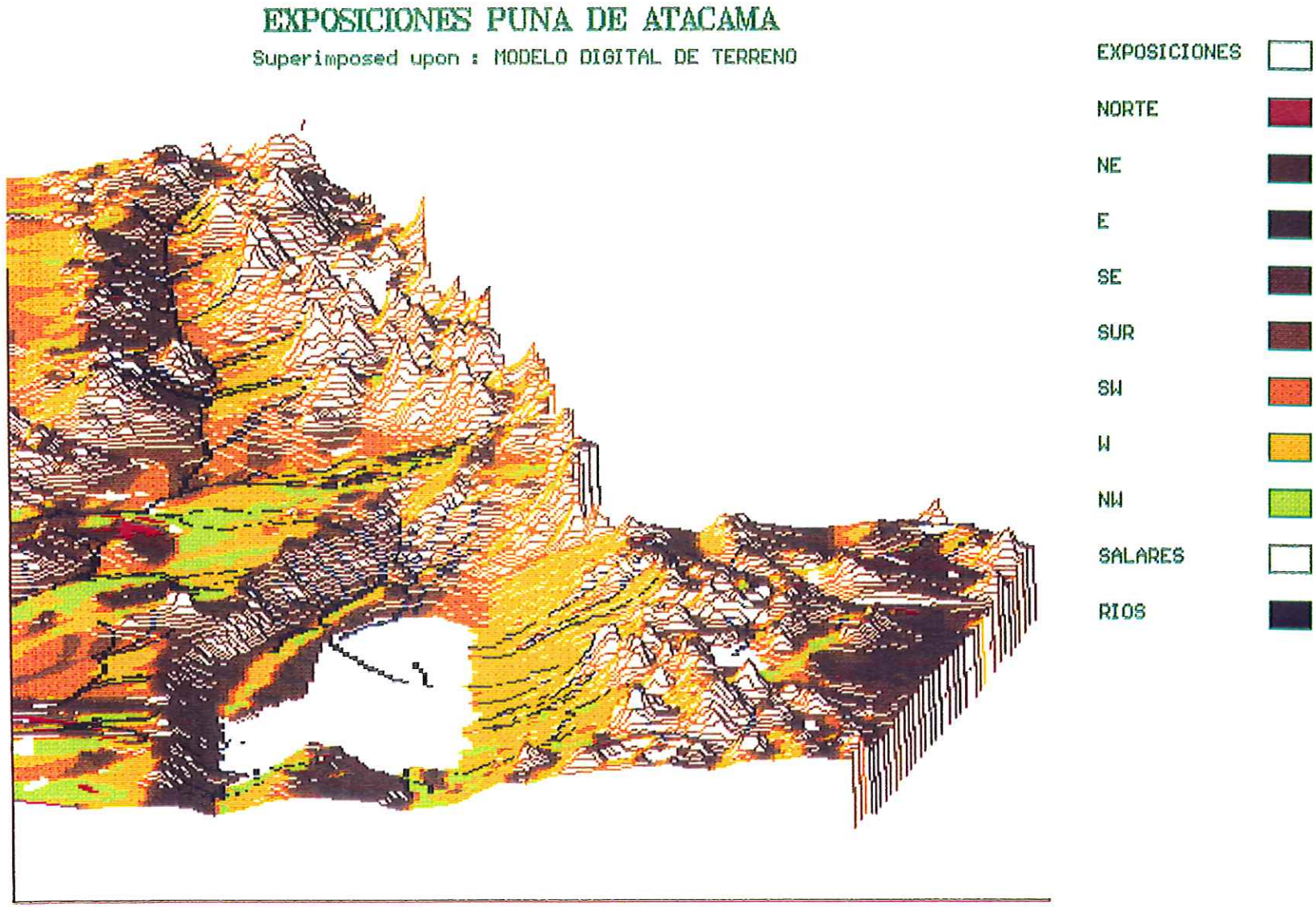

EXPOSICIONES PUNA DE ATACAMA
Superimposed upon : MODELO DIGITAL DE TERRENO
EXPOSICIONES
NORTE
NE
E
SE
SUR
SW
W
NW
SALARES
RIOS

Figura 6

IMAGEN NOAA 28 - AGOSTO - 1986

ORIGINAL (NO RECTIFICADA)

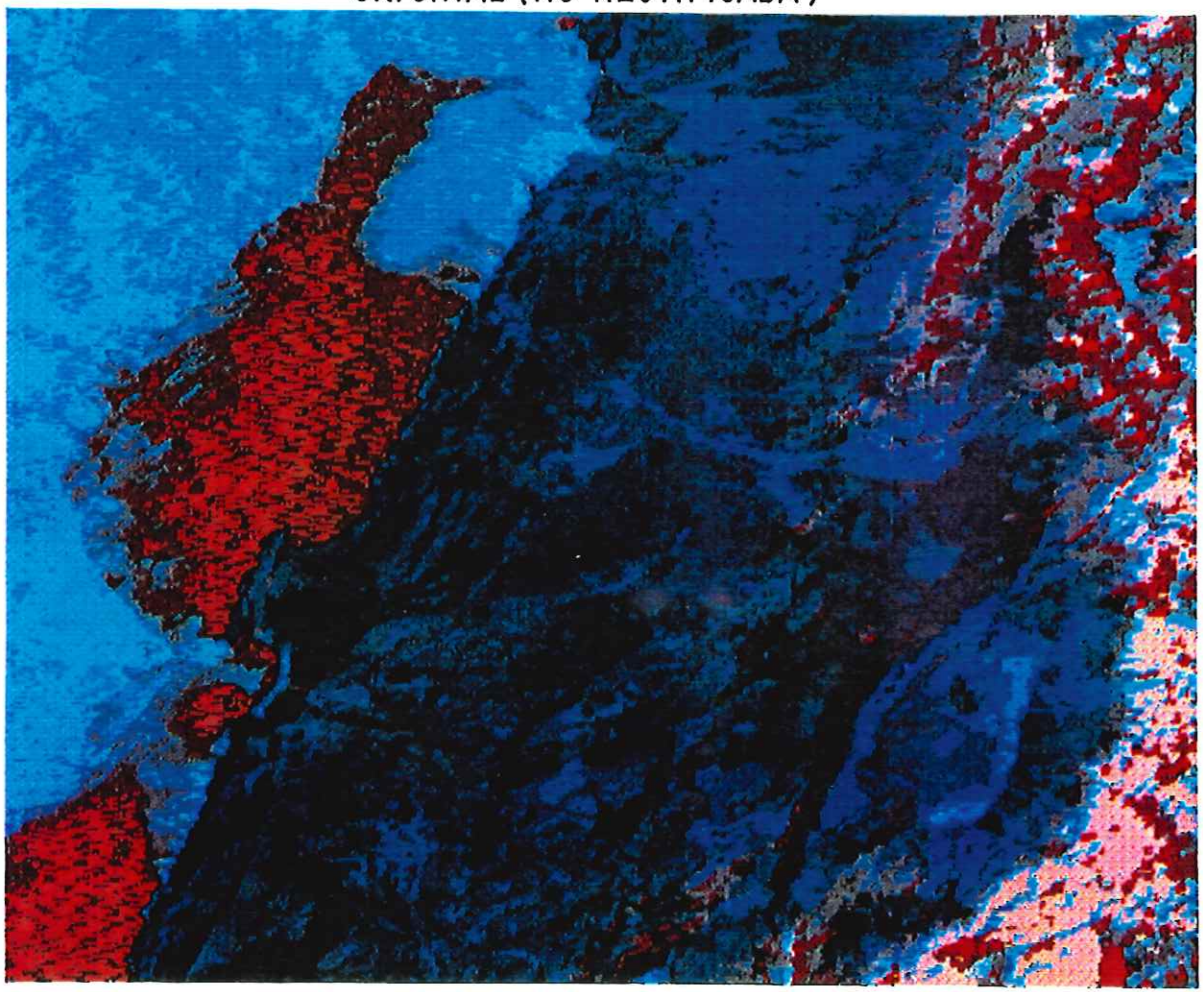


IMAGEN GEOREFERENCIADA

* Composicion Bandas 2-3-4 (NOAA)

Figura 7

.4.2.3 Análisis digital de imágenes de satélite

Se adquirieron y georeferenciaron más de 20 imágenes del satélite NOAA **Tabla 1**, priorizándose el análisis de 4 bandas de NOAA-7 y NOAA-9 **Tabla 2**.

TABLA 1 Imágenes satelitales empleadas

AÑO	MES	DIAS	SATELITE	HORA GMT
1984	ENERO	13	NOAA-7	20:52:37
		14	NOAA-7	00:10:46
		16	NOAA-7	01:08:26
		17	NOAA-7	20:03:57
		19	NOAA-7	19:39:15
1984	JUNIO	28	NOAA-7	20:10:39
1984	AGOSTO	22	NOAA-7	20:35:30
		23	NOAA-7	20:23:01
		26	NOAA-7	21:26:39
		29	NOAA-7	20:49:32
		31	NOAA-7	2O:24:42
1986	FEBRERO	11	NOAA-9	19:57:17
1986	JUNIO	1	NOAA-9	20:27:30
		3	NOAA-9	20:06:05
1986	AGOSTO	24	NOAA-9	20:32:35
		25	NOAA-9	20:21:58
		27	NOAA-9	20:00:28
		28	NOAA-9	20:16:06
1986	DICIEMBRE	14	NOAA-9	20:37:36
		15	NOAA-9	20:26:51
		16	NOAA-9	20:16:06
1987	ENERO	26	NOAA-9	07:05:58
	JULIO	5	NOAA-9	00:11:17
	DICIEMBRE	8	NOAA-9	19:49:40
1989	ENERO	4	NOAA-9	00:34:58
	JULIO	6	NOAA-9	05:54:12
1990	DICIEMBRE	9	NOAA-9	18:58:08

1.4.2.3.1 Rectificación horaria

Para graficar el problema de la hora, se han seleccionado 2 fechas: una de Enero 04 de 1989, y otra de Julio 6 de 1989.

Para el cálculo de la hora local, es necesario corregir la hora GMT, restándole en el invierno austral, 4 horas y en el verano austral, 3 horas **Tabla 3**.

Para relacionar la hora de la imagen y la posición solar, se calculó el ángulo horario (Ho), que se cumple exactamente durante el semi-período de iluminación (Se), a partir del cual se determinó la hora astronómica de salida y puesta del sol para cada día en que fueron tomadas las imágenes. Esta hora no coincide plenamente con la hora local, puesto que esta última está adelantada entre 39 y 49 minutos en invierno, y entre 1 hora 28 minutos a 1 hora 55 minutos en verano.

Por ejemplo el tránsito del sol por el meridiano central del área de estudio (12:00 hora astronómica), corresponde a las 12:46 hora local en Julio.

De todas maneras, la hora astronómica será un referente adecuado para estimar las características radiativas del territorio.

Para dichos efectos se consideró como latitud media para el área abarcada por las imágenes, los -22°30' de Latitud Sur.

TABLA 2 Bandas de NOAA-7 y NOAA-9

Banda 1:	0.55 - 0.68 um	Visible
Banda 2:	0.725 - 1.10 um	Visible
Banda 3:	3.55 - 3.93 um	Infrarojo cercano
Banda 4:	10.50 - 11.5 um	Infrarojo lejano (termal)

Fuente: Gorman, A. & Mcgregor,J. (1994).

TABLA 3 Ejemplos de conversión horaria

FECHA	HORA GMT	HORA LOCAL
ENERO 04 1989	00:34:58	21:34:58 (3 DE ENERO)
JUNIO 03 1986	20:06:05	16:06:05

Los cálculos de la hora de salida y puesta del sol, se hicieron mediante las fórmulas :

Cos Ho= Tag @ * Tag d * (-1), (1)
Semi-período de iluminación (Se) = Ho\15 (2)
Hora de salida del sol = 12 - Se (3)
Hora de puesta del sol = 12 + Se (4)

Donde:

- @, es la Latitud media del área de estudio (+ para el hemisferio Norte y - para el Hemisferio Sur).
- d , es la declinación solar para cada fecha considerada según la hora local

La primera imagen (**Tabla 3**) fue tomada en la noche a 3 horas de la puesta del sol, sin embargo la segunda fue tomada a poco más de una hora antes de la puesta. En este caso (**Tabla 4**), el ángulo zenital es de 60 grados, por lo que los rayos solares están muy inclinados e interrumpidos por los cordones montañosos más elevados. En este sentido, el "sky view factor" es un factor importante, en términos de la cantidad de recepción de energía por píxel.

Al aplicar este tipo de análisis a la totalidad de las imágenes empleadas, es posible desprender que la mayoría de las de invierno, están en la condición de atardecer, con elevados ángulos zenitales **Tabla 4**.

TABLA 4

FECHAS	HORA LOCAL	HORA SALIDA	HORA PUESTA	DECLINACION	ANGULO ZENITAL
ENERO 3	21:34:58	5:19:40.66	18:40:19.34	-22.907306	NEGATIVO
JUNIO 3	16:06:05	6:38:56.34	17:21:03.66	+22.205889	59°59'5,6"

Para las imágenes de verano, se dan situaciones contrastadas. La mayoría son en las tardes con escasos ángulos zenitales y el resto son en la noche.

Respecto a las bandas termales, si bien es preferible incorporar preferentemente imágenes de noche, que sólo están emitiendo la energía absorbida durante el día y por lo tanto son asociables directamente a su condición térmica post radiación directa, las imágenes de día también son aprovechables, debido a que la emisión captada, corresponde tanto a la absorción en curso durante el día, como al incremento de temperatura puntual que se está ejerciendo por la radiación directa instantánea.

En ambos casos, se capta emisividad, relacionable a la cantidad de energía recibida y absorbida y por lo tanto a su temperatura superficial.

1.4.2.3.2 Georeferenciación

El tipo de dato original de las imágenes es entero binario, esto implica que los valores digitales (VD.) por píxel fluctuaban desde 1 a 1024 (10 bit). Este rango original, no es admitido por los comandos de IDRISI, (1992) para georeferenciación, por lo que fue necesario convertirlos a Byte Binario, esto es con un rango de 0 a 255 (8 bit), sin decimales. La conversión implementada es de dos tipos, dependiendo de las bandas empleadas y los histogramas que ellas presentaban.

Algunas de las bandas 1 y 2 de NOAA, presentan histogramas de frecuencia donde de los valores se concentran en torno a las medidas de tendencia central, sin muchos valores extremos. En estos casos se optó por reclasificar la imagen original, sobresaturándose los extremos con el fin de extraer 1 de cada 2 VD. del histograma central más representativo.

Por ejemplo para enero 13 de 1984 se asignó 0 a los valores inferiores a 40 y 552 a los superiores a 552. En una segunda etapa, se dividió los valores entre 40 y 552 por 2, obteniéndose 256 valores digitales (muestreo 1 de cada 2). Este método sólo se implementó cuando el número de píxeles sobresaturados era irrelevante o cuando por sobre 552 sólo se representaban nubes.

Para las bandas termales se optó por reducir la resolución espectral, tomando sólo 1 de cada 4 valores originales, pero manteniendo la amplitud total de la variable.

Para ello se dividió todas las bandas termales empleadas en este estudio por 4 (1024 / 4 =256) obteniéndose una clara representación de todo el rango de emisividad de las imágenes.

Una vez convertidas las imágenes a formato de 8 bit (256 VD.) la georeferenciación consistió en reducir las deformaciones geométricas provenientes del origen de las imágenes. Para ello se identificaron puntos geográficos destacados de la cartografía regular del IGM, con sus respectivas coordenadas de UTM. Estos puntos serán la base de archivos .cor, necesarios para la rectificación **Tabla 5**.

Un segundo paso consiste en procesar la imagen a nivel digital, con el fin de identificar algunos de los puntos o elementos geográficos claramente discernibles en la cartografía. Este es un proceso complejo y no excento de dificultades.

Dado que las imágenes NOAA no presentan una resolución muy fina y que todas presentan una gran deformación geométrica, debió aplicarse distintas combinaciones de bandas, procedimientos algebraicos y clasificaciones automáticas, con el fin de detectar dichos elementos geográficos.

El procedimiento usual, consistió en generar una imagen compuesta en falso color, asumiendo los colores verde, azul y rojo, para las bandas 1, 2 y 3(4) de NOAA, mediante el comando "Composite y VGACOMP" de IDRISI, (1992). **Figura 7.**

Sobre esta imagen clasificada sin ningún tipo de rectificación, es posible detectar algunos puntos, destacándose las "Puntas" o Península prominentes de la línea de costa regional. El problema respecto de ellas, fue la extensa y permanente cobertura de neblinas o camanchacas, que dificultaba la discriminación de la línea de costa respecto de la línea de nubes.

Otros puntos adecuados y de relativo fácil discernimiento, lo constituyen las cimas de los volcanes con cobertura nivosa, de mayor altura en la región. La localización de los volcanes San Pedro, San Pablo, Aucanquilcha, Paniri o Licancabur, facilitó la rectificación de las imágenes (**Figura 1**).

Respecto de estos puntos, el problema principal lo constituye el hecho que son pocos los volcanes que poseen nieves, en especial en períodos de sequía como los vividos en la región en los últimos años, por lo que a veces se confundían las nubes con nieves. De todas maneras, la prominencia de algunos volcanes era suficiente, para que en la banda termal, se destacara un importante descenso de la temperatura superficial, independientes de la cobertura nivosa.

Como es posible apreciar en la **Tabla 6**, los puntos para georeferenciación se ubicaban en forma paralela en la costa y en la frontera o línea de altas cumbres, sin información en las partes centrales, donde la inexistencia de volcanes de gran altura o ríos con desarrollo en sus redes discernibles a nivel remoto, dificultó su inclusión.

IMAGEN NOAA 28 - AGOSTO - 1986

ORIGINAL (NO RECTIFICADA)

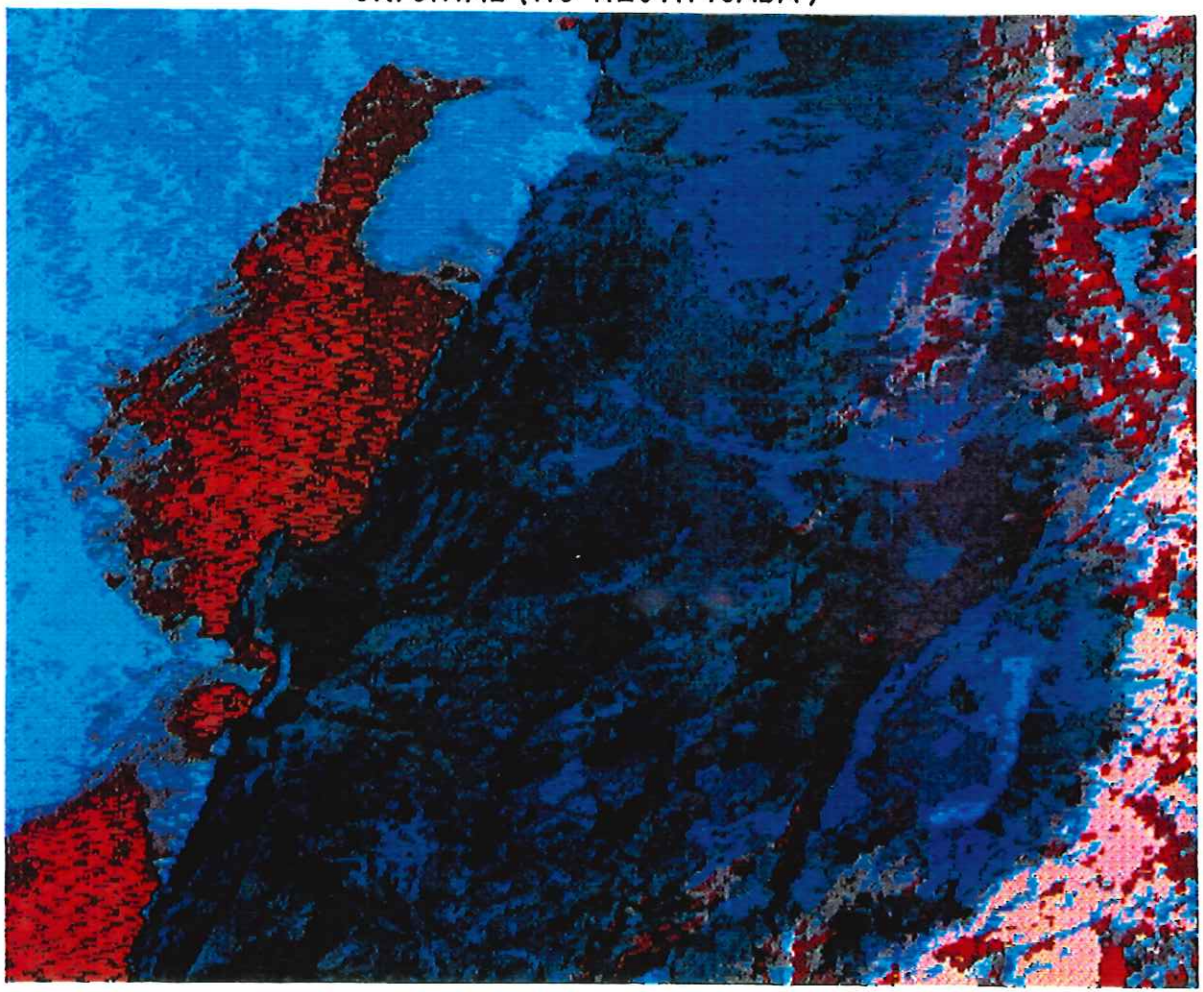


IMAGEN GEOREFERENCIADA

* Composicion Bandas 2-3-4 (NOAA)

Figura 7

Tabla 5 Coordenadas UTM de topónimos para georeferenciación II REGION ANTOFAGASTA

TOPONIMO	COORDENADAS Este (X) mts.	COORDENADAS Norte (Y) mts.
Punta Angamos	345875	7454250
Mejillones	348125	7445500
Punta Tetas	337250	7398250
Cabo Jara	347250	7360000
Volcán Licancabur	614711.11	7475433
Cerro Juriquez	618938.81	7473171.5
Lago Miscanti Sur	623855.5	7373296.5
Volcán Miscanti	631605.5	7381630
Cerro Leña	626605.5	7394630
Cerro Tumiza	621605.5	7405296.5
Volcán San Pedro	522412.5	757927.0
Volcán San Pablo	568938.81	7580217.5
Punta Lobos	377750	767500
Punta Falsa Chipana	386500	764250
Punta Arena	381500	7607630
Punta Patache	374250	770350
Cerro Lago Verde	633750	7436500
Volcán Socompa	576750	7302000
Punta Plata	340900	7265250
Volcán Llullaillaco	547000	7269500
Cerro Palpana	549500	7618000
Nevados de Poquis	681250	7452500
Cerro Polapi	562500	7606500
Caleta Hornitos	367250	7465500
Punta Taltal	348000	7210500
Punta San Pedro	336500	7198500
Punta Piedra	341000	7272500
Punta Dos Reyes	340250	7273025
Desembocadura Loa	390500	7630500
Punta Algodones	380400	7563500
Punta Grande Sur	348500	7224000
Cerro Aucanquilcha	555000	7653500
Cerro Inacaliri	602000	7569000
Punta Cangrejos	342250	7304000
Punta Paquica	377000	7578000

Por ello, algunas imágenes sólo contaron con 12 o 15 puntos, lo que si bien es matemáticamente suficiente, no lo es a la hora de reducir el RMS o error de ajuste. Por ejemplo, al contar con varios puntos en la línea costera, pero sólo algunos volcanes o cerros y con localización preferente en la parte Norte, se distorsionaba la imagen resultante, con una disposición oblicua no ajustada.

Por lo general se trabajó con niveles de error inferiores al tamaño del píxel, por lo que las imágenes ajustadas se corresponden con el modelo general de error. En la **Tabla 6** puede ser apreciado un archivo típico de georeferenciación.

TABLA 6 Archivo de georeferenciación (.cor)

	X IMAGEN	Y IMAGEN	X UTM	Y UTM	STATUS
1	0.1981394	0.4648952	345875	7454250	OK
2	0.3784180	0.2720812	547000	7269500	OMITIDO
3	0.1341146	0.2646485	348500	7224000	OMITIDO
4	0.3028232	0.6533204	377750	7675000	OK
5	0.5052734	0.3501465	623855.5	7373296.5	OK
6	0.3057528	0.6737394	374250	7703500	OK
7	0.5287388	0.3969727	633750	7436500	OMITIDO
8	0.5228271	0.4399415	614711.56	7475433	OK
9	0.5142578	0.3570313	631605.5	7381630	OK
10	0.4481445	0.3101563	576750	7302000	OMITIDO
11	0.1681941	0.4190956	337250	7398250	OMITIDO
12	0.1689453	0.3842774	347250	7360000	OK
13	0.1357422	0.3017578	340900	7265250	OK
14	0.3017578	0.6204427	386500	7642500	OK
15	0.2287109	0.4728516	367250	7465500	OMITIDO
16	0.2001953	0.4570303	348125	7445500	OMITIDO
17	0.1064453	0.2278646	336500	7198500	OMITIDO
18	0.1223958	0.2356771	348000	721050019	OMITIDO
19	0.1385091	0.3089193	341000	7272500	OMITIDO
20	0.1407877	0.3188477	340000	7284500	OMITIDO
21	0.3040625	0.6110938	390500	7630500	OK
22	0.2627441	0.5497559	380400	7563500	OMITIDO
RMS FINAL: 0.000843 (en unidades UTM, 843 mts por píxel)					

La ecuación de georeferenciación aplicada, correspondió una de tipo lineal, con 3 puntos mínimos. Ecuaciones binomiales o polinomiales, requerían de un volumen de puntos de rectificación imposibles de localizar en las imágenes.

Una vez georeferenciadas las imágenes, se procedió a clasificarlas, mediante la identificación de polígonos de iguales patrones espectrales. Se utilizaron por lo general 6 coberturas tipo a ser identificadas:

1.- Nubes
2.- Nieves
3.- Mar
4.- Vegetación semi densa (agricultura)
5.- Vegetación rala
6.- Sin vegetación
7.- Salares

Con estas categorías, se analizó las firmas espectrales resultantes para la totalidad de las bandas en uso, lo que permitió reducir los rangos de representación por cada cobertura tipo. Una vez caracterizados los histogramas, se aplicó el método del paralelepípedo, para clasificar las imágenes.

1.4.2.3.3 Análisis de bandas termales de imágenes NOAA.

Se analizó en primer lugar, la escasa estadística térmica de la red de estaciones de la Dirección General de Aguas (DGA), con el fin de caracterizar amplitudes, valores máximos y mínimos, así como distribución espacial de la variable.

Para el análisis de los patrones térmicos superficiales, se empleó la banda 4 del satélite NOAA-7 y 9, Infrarrojo termal que capta emisividad entre los 10,5 micrómetros (um) y 11,5 (um), (Gorman y Mcgregor, 1994).

Estas imágenes poseen los valores digitales invertidos, debido a que los píxeles con valores máximos, representan mínima emisión y viceversa. Para evitar complicaciones en la interpretación, los valores fueron corregidos.

Sólo algunas imágenes originales contenían los parámetros para su calibración y conversión de los VD a temperatura superficial en grados Celcious. En estos casos se aplicó programas correctivos del CEE, con el fin de convertir los datos. Para los demás, sólo se realizó una interpretación relativa sin obtenerse valores absolutos de temperatura.

Los valores digitales fueron analizados a nivel temporal con el fin de obtener, una imagen representativa de las condiciones de verano e invierno, para lo cual se emplearon las mejores imágenes disponibles (sin nubes y con mejor rectificación geométrica), promediándose por períodos mensuales. Se caracterizaron las islas de calor y los corredores de frío regional, que con posterioridad servirán para la definición de las unidades topoclimáticas resultantes.

Se regresionó las imágenes resultantes con el DTM, con el fin de obtener gradientes térmicos altimétricos. Finalmente se regresionó, las imágenes termales con los modelos de insolación potencial, con el fin de verificar la validez del modelo.

1.4.2.3.4 Definición de Indices vegetacionales

Se calculó el índice vegetacional (NDVI), medida cuantitativa de la producción de biomasa de la vegetación viva de una región, mediante la expresión:

$$NDVI = (((IR - R) / (IR + R)) * 100) + 128 \qquad (5)$$

Donde,

Ir, es la banda infraroja de NOAA (Banda 2)
R , es la banda roja de NOAA (Banda 1)

Gracias a sus resultados, es posible analizar la cobertura vegetacional regional y su variabilidad interanual. Para ello se consideró imágenes de un año seco y de un año lluvioso. Ambas imágenes fueron combinadas, con el fin de calcular las anomalías de NDVI interanual, mediante el análisis de las desviaciones standard y los puntajes Z. Para ello se calculó a la imagen de diferencias , la media y su desviación standard. Posteriormente se obtuvo para cada píxel de la imagen de diferencias el puntaje Z. Dicho puntaje fue reclasificado, en base a unidades de desviación standard, con el fin de determinar las anomalías extremas de NDVI.

Dichas anomalías fueron analizadas además comparando las formaciones vegetacionales regionales, descritas por Gajardo (1983), IREN-CORFO (1976) y digitalizadas e interpretadas en (MOP, 1991).

1.4.2.4 Generación de un modelo de Insolación Potencial

Se confeccionó un modelo para determinar la Insolación potencial del espacio regional, con el fin de suplir la escasa información estadística de temperaturas. Se emplearon las ecuaciones de Oke (1987), las cuales se aplicaron al SIG regional.

La Insolación Potencial Instantánea (IPI), indica la cantidad de radiación en Langley/min/cm^2 que es recibida por cada unidad de superficie.

La ecuación principal es:

$$IPI = K * p^{E} * \cos v \qquad (6)$$

Donde,

IPI, es la Insolación Potencial Instantánea.
K, es la constante solar, definida como 1,98 ly/min/cm^2
p, es el índice de turbidez atmosférica
E, es el espesor atmosférico atravesado por los rayos solares
COS v, intensidad de radiación para un plano en cualquier posición

La unidad standard de radiación es el Langley (ly), que equivale a una caloría-gramo recibida (o emitida) por 1 cm^2 de superficie.

Este modelo se aplicó para los meses de Diciembre y Junio, con el fin de caracterizar las diferencias extremas en insolación y comparar así, los resultados del modelo con las bandas termales de los mismos meses. La comparación se realizó mediante análisis de regresión.

Con las ecuaciones de regresión obtenidas, se definió un mapa térmico superficial regional, que caracteriza el régimen térmico.

El modelo completo reseñado en la tabla siguiente está publicado en Rivera (1992) y en IDRISI (1995).

FORMULAS EMPLEADAS EN EL CALCULO DE RADIACION POTENCIAL INSTANTANEA (Oke, 1987)

VARIABLES EMPLEADAS

LATITUD L : cada píxel posee una latitud media + en el H.Norte y - en el H. Sur (cálculo por IDRISI)

DECLINACION D : varía según la fecha considerada se empleo por ejemplo para FEBRERO 11 1986 D= -14°18'21.9"

ANGULO TETA MERIDIANO T : T es el ángulo zenital meridiano se obtiene de la ecuación

$$T=L(-1)+-D \qquad (7)$$

AZIMUT A : es equivalente a la exposición fue calculado para cada píxel en IDRISI

PENDIENTE P : fue calculada para cada píxel en IDRISI

COS de v v : ángulo formado entre los rayos solares y la Normal al plano, cualquiera sea su pendiente y exposición. La intensidad de la radiación depende inversamente de V

$$\text{Cos } v = \text{Cos } T * \text{Cos } P + \text{Sen } T * \text{Sen } P * \text{Cos } A \qquad (8)$$

CONSTANTE SOLAR K : para efectos de cálculo se asumió 1,98 ly/m

EPSILON E : espesor atmosférico, para T inferiores a 60° se define

$$E=1/\text{Cos } T \qquad (9)$$

TRANSPARENCIA ATM B : transparencia atmosférica, fluctúa entre 0.7 (día despejado) y 0.3 (día nublado). Se asumió día despejado

INSOLACION POTENCIAL R : insolación potencial instantánea se obtiene de la ecuación

$$R = K * P^{E} * \text{COS } v \qquad (10)$$

1.4.2.5 Análisis pluviométrico

Se recopiló datos de 25 estaciones de la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas (DGA) **Tabla 7**. Se procedió a limpiar las series, corregir los errores sistemáticos de acopio y almacenaje de información. Del total de estaciones, se seleccionó 14, para el análisis más detallado. Para estas estaciones no fue necesario el relleno estadístico, debido a que las estaciones seleccionadas estaban prácticamente completas.

Para el conjunto de las estaciones se definieron las series completas individuales, la concentración particular a nivel mensual y se estandarizaron los valores con el objeto de definir las principales anomalías pluviométricas acaecidas. Se aplicaron diversos métodos estadísticos descritos en MOPT (1991).

Tabla 7 Localización de estaciones climáticas

N°	ESTACIONES DGA	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD m.s.n.m.
1	UJINA	20°58'	68°39'	4200
2	OLLAGUE	21°12'	68°15'	3650
3	CEBOLLAR	21°32'	68°20'	3730
4	LEQUENA	21°39'	68°40'	3320
5	ASCOTAN	21°44'	68°16'	3856
6	SAN PEDRO DE CONCHI	31°56'.	68°32'	3217
7	PARSHALL 2	21°57'	68°31'	3318
8	OJOS DE SAN PEDRO	21°58'	68°17'	3800
9	INACALIRI	22°00'	68°04'	4100
10	CONCHI EMBALSE	22°03'	68°38'	3010
11	CUPO	22°08'	68°20'	3600
12	LINZOR	22°12'	67°59'	4096
13	TURI	22°14'	68°17'	3070
14	TOCONCE	22°16'	68°11'	3350
15	AIQUINA	22°17'	68°19'	3031
16	CASPANA	22°20'	68°14'	3260
17	CHIU-CHIU	22°20'	68°39'	2524
18	EL TATIO	22°21'	68°02'	4320
19	CALAMA	22°28'	68°55'	2260
20	RIO GRANDE	22°39'	68°10'	3250
21	SAN PEDRO DE ATACAMA	22°55'	68°12'	2450
22	TOCONAO	23°11'	68°02'	2430
23	CAMAR	23°24'	67°57'	2780
24	SOCAIRE	23°36'	67°52'	3251
25	PEINE	23°41'	68°05'	2480

Se aplicó análisis de frecuencia en base al método de Weibul. Este implica el ordenamiento decreciente de las series, en términos pluviométricos, para posteriormente asignar valores en base a la fórmula

$$p\% = n/N-1 \qquad (11)$$

donde,

p% es la probabilidad de excedencia
n, es el número de orden
N, es el número de años de la serie

Las series así ordenadas, se clasificaron según las probabilidades específicas detectadas para cada año, definiéndose los siguientes calificativos:

1 Extremadamente lluvioso, para años con probabilidades de excedencia (p%) entre 0 y 10 %, lo que implica una recurrencia de 1 hasta 10 veces en el siglo, dependiendo del período existente de datos.

2 Muy lluvioso, para p% entre 10.1 y 20 %.

3 LLuvioso, para p% entre 20.1 y 40%.

4 Normal, para p% entre 40.1 y 60%.

5 Seco, para p% entre 60.1 y 80%.

6 Muy seco, para p% entre 80.1 y 90%.

7 Extremadamente Seco, para p% de 90.1 a 100%.

Se analizaron los radiosondas, cartas sinópticas de superficie y a 500 Hp, de Antofagasta, para distintas fechas, con el objeto de caracterizar la condición sinóptica durante la aparición de eventos pluviométricos.

Se analizó la variabilidad pluviométrica interanual, en función de detectar relaciones entre ellas y los eventos ENOS acaecidos entre 1975 y 1990.

Se espacializó la pluviometría en base al SIG, aplicando un modelo de regresión múltiple generado con las siguientes variables independientes: Latitud, Longitud y Altura.

Además se generaron correlaciones lineales entre las precipitaciones y la latitud, longitud, distancia al mar, distancia a las divisorias de aguas continentales y altura. Para ello se midieron estas variables en base a las cartas 1 : 250.000

Para ajustar los valores negativos provenientes del modelo de regresión múltiple, se digitalizó las isoyetas medias anuales de MOP (1987). Se rasterizaron, interpolaron, completaron y filtraron las precipitaciones para asignar valores por píxel.

1.4.2.6 Caracterización etnoclimática regional.

Se aplicaron en terreno entrevistas a numerosos lugareños de los poblados del interior, reconocidos por las comunidades como líderes culturales locales y conservadores de las tradiciones comunitarias, con el fin de recopilar y analizar la percepción de la población autóctona sobre el régimen de precipitaciones locales y el topoclima de sus comunidades.

Las preguntas tipo empleadas fueron:

Cuándo llueve ?
Qué ocurre antes de las lluvias ?
Cómo son las precipitaciones ?
Qué tipo de vientos se presentan antes, durante y después de las lluvias ?
De donde vienen las nubes que traen las lluvias ?
Cómo pueden predecir la aparición de precipitaciones ?
Qué signos emplean para predecir años secos o lluviosos ?
Qué ritos emplean para pedir lluvias ?
Qué percepción tiene del cambio climático ?
Cómo denominan a los principales elementos naturales que intervienen en las precipitaciones ?

La información recopilada ha sido contrastada con los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología mencionada en puntos anteriores, la que sin duda se vio enriquecida, mejorada y en varios tópicos ratificada.

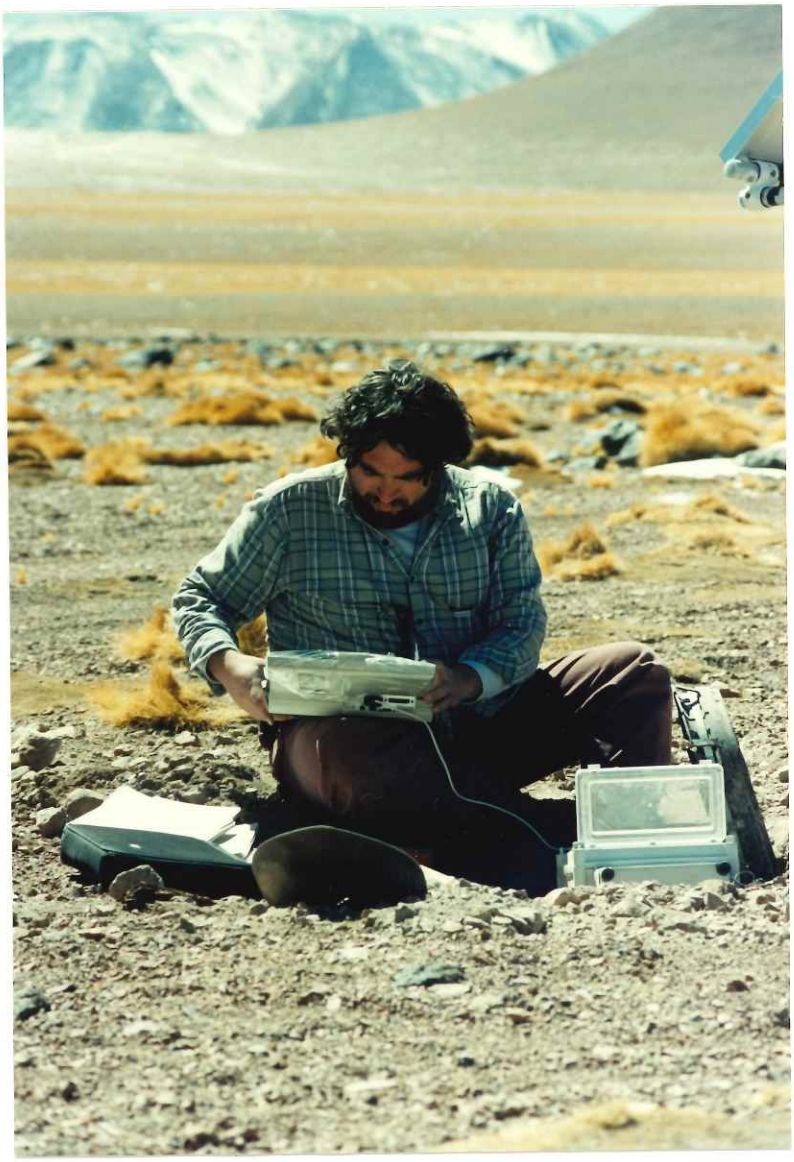
1.4.2.7 Terrenos de verificación

Se realizaron 3 terrenos en conjunto con miembros del Departamento de Geografía de la Universidad de Berna, con el fin de rectificar en terreno, patrones espectrales de imágenes de satélite, instalar estaciones meteorológicas automáticas en zonas de altura y colaborar en la extracción de muestras para dataciones **Foto 1**.

Se realizó un terreno de larga duración, que permitió visitar las estaciones meteorológicas de la Dirección General de Aguas, aplicándose entrevistas a los tenedores, con el objeto de verificar la calidad de la data y caracterizar el sitio de localización.

Se entrevistó a integrantes de las comunidades indígenas sobre sus percepciones sobre las lluvias y sobre la crisis derivada de la competencia por el agua.

Foto 1: Extracción de datos climáticos desde estación automática El Laco a 4.500 m.s.n.m



1.4.2.8 Recopilación de estadística sobre uso y manejo del agua

Se recopilaron y analizaron las acciones superficiales de aguas existentes en la Dirección de Riego del Ministerio de Obras Públicas, para los ríos Loa y San Pedro, en la cuenca del Salar de Atacama. Se definieron los propietarios por sector y se hizo un seguimiento en los notarios públicos locales, de algunas de las transacciones operadas respecto del agua.

Se analizó la demanda de agua por sectores económicos: Minería, Agricultura y Consumo Urbano, definiéndose para cada uno la perspectiva o tendencia de consumo, analizándose la movilidad espacial de la población, la evolución de las inversiones y las propuestas sectoriales, para la superación de la crisis.

1.4.3 Pasos Metodológicos

1. Se digitalizó las curvas de nivel regionales, red de drenaje, pueblos, ciudades, red caminera, límites, etc. provenientes de la cartografía escala 1:250.000 del IGM.

2. Traspaso de los archivos vectoriales resultantes de dicha digitalización, a formato raster en el SIG IDRISI.

3. Interpolación de las curvas de nivel, para la obtención del modelo digital de terreno (DTM) para la región.

4.- Georeferenciación de imágenes de satélite NOAA

5.- Clasificación de imágenes y extracción de coberturas nubosas

6.- Obtención de valores de temperatura superficial por píxel

7.- Aplicación del modelo de Insolación Potencial por píxel

8.- Determinación del régimen térmico y generación de imágenes con patrones térmicos superficiales

9.- Recopilación de data climática, relleno, obtención de estadígrafos de tendencia central y dispersión.

10.- Análisis de series temporales interanuales e intermensuales

11.- Análisis de regresión múltiple para espacialización de datos.

12.- Digitalización de las isoyetas de precipitación media anual, (PPMED) mediante el programa ROOTS, desde DGA (1987).

13.- Rasterización, interpolación y filtros, para obtención de modelos pluviométricos

14.- Comparación de resultados pluviométricos y definición de imagen con niveles de precipitaciones.

15.- Análisis de origen y evolución de los recursos hídricos

16.- Análisis de la evolución del manejo de recursos prehispánicos

17.- Análisis de la oferta y demanda actual de agua

II Resultados

2.1 Evolución climática y sociocultural de la Región de Antofagasta

2.1.1 Paleoclimatología

2.1.1.1 Antecedentes paleoclimáticos generales

La paleoclimatología del Norte de Chile ha merecido una progresiva preocupación por parte de investigadores nacionales y Europeos, que ven en dicho tramo de los Andes (desde los 18° de Lat. Sur a los 24-25° Lat. Sur), un excelente laboratorio para el análisis de las modificaciones climáticas acaecidas en el Cuaternario, tanto por la posibilidad de constatar en el terreno las formas generadas en los distintos episodios climáticos (las cuales no presentan una denudación terminal), como por las condiciones de hiperaridad, que al parecer se han mantenido a lo largo de los últimos 2 millones de años.

Todo lo anterior ha favorecido la conservación de las formas, con huellas claras de los distintos eventos transcurridos (Abele 1991).

Las regiones áridas son excelentes archivos para el análisis de la historia del clima, según Grosjean et al. (1996) "el menor cambio del clima produce claras alteraciones en los sistemas parciales" entendidos estos sistemas como altamente sinergéticos, en la interacción e interdependencia de las variables constituyentes (suelo, agua, geomorfología, hombre).

El altiplano del Norte de Chile facilita la comprensión de los cambios climáticos, porque además de sus condiciones de hiperaridad, se conjugan en él distintos pisos altitudinales, que permitieron el desplazamiento de las características de los ecosistemas en altura, lo que permite una mejor interpretación de la evolución climática.

Dado lo complejo que resulta el abordaje de esta temática, resalta la necesidad de la interdisciplinariedad para una mejor comprensión del Cuaternario (Romero y Rivera, 1994a).

Así mismo surge una discusión interesante respecto al abordaje teórico-metodológico, con el que enfrentan esta temática los investigadores. La mayoría busca rescatar, de las distintas fuentes paleoambientales, las características de los paleoclimas existentes en base al principio de "Actualismo", vale decir que las condiciones generales encontradas para cada episodio, debieran corresponder a las actuales condiciones climáticas existentes en otras latitudes o regiones.

Dicha hipótesis se basa en que las condiciones generales de circulación durante el Cuaternario y Holoceno, debieran ser las mismas que en la actualidad pero con distintas manifestaciones espaciales.

Sin embargo, las variaciones climáticas en el altiplano de Antofagasta, no habrían sido sincrónicas espacial y temporalmente, con el hemisferio Norte u otras zonas de la diagonal árida de Sudamérica, por lo que habría que recurrir a concepciones modélicas no actualistas para su explicación (Garlef y Stingl 1987:84).

2.1.1.2 Paleoclimas de los Andes centrales: El Altiplano

Según Abele (1991), las formas del Altiplano de Chile entre los 18° y los 24° de Lat. Sur muestran una mantención de condiciones hiperáridas desde el Mioceno superior. Dicha aridez se manifiesta en la escasa disección de las ignimbritas allí depositadas y que la mayor parte de los salares y lagunas, tienen distintos niveles de costa sin que hubiesen desaguado a nivel superficial, por lo que siempre han sido embalses endorréicos.

La escasa disección fluvial sobre los 3.700 m.s.n.m. es claramente contrastable con la morfología del Sur del Perú en que los depósitos volcánicos tienen una profunda disección. Muchas ignimbritas del Salar de Atacama se encauzaron por antiguos valles profundos, lo que hace suponer que desde el alzamiento de la Cordillera de los Andes y la constitución actual del paisaje, las condiciones áridas se han mantenido.

Hay dos fases en la constitución del paisaje altiplánico:

1 Pre Miocénico: más húmedo y con mayor disección, gran depositación en la cuenca del Salar.

2 Post Miocénico: varias ignimbritas, levantamiento de los Andes, mayor inclinación de las Bajadas (Rampas) y menor erosión fluvial.

Como el área de estudio se encuentra en el margen activo de la zona de subducción , el tectonismo ha sido muy activo desde el alzamiento del bloque cordillerano, por lo que según Radtke (1991) no es posible aplicar un modelo Glacioeustático para el estudio de las terrazas marinas en forma pareja en Chile, ya que las diferencias neotectónicas son muy notorias en las distintas regiones del país.

Según Clapperton (1991) las evidencias de cambio climático en el área en cuestión, son muy escasas, por lo que faltan dataciones absolutas.

Esto se debe a las condiciones hiperáridas de la región, que posee escasas muestras glaciares en las cuales basarse para una cronología detallada. Sin embargo algunos depósitos morrénicos se ubican en las faldas de los volcanes más altos y masivos de la región, tales como el Sajama, Ollagüe, El Laco y Llullaillaco (Jenny et al., 1996).

La síntesis elaborada por Clapperton (1991), mostró que las diferencias espaciales en los Andes fueron importantes, en especial respecto del período en que se produjeron los avances de los glaciares. Las causas de los eventos, respondería a modelos de circulación diferenciales dentro de los Andes, lo que se grafica en que los avances de los Andes centrales, se produjeron más que por un descenso de temperatura, por un aumento de precipitación.

Interesante resulta analizar el origen de dicha precipitación, la cual puede ser evaluada, en gran medida por dos fuentes indirectas:

1. Depresión de la línea de nieves Pleistocénicas
2. Morfología glacial asociada

Respecto a los anteriores métodos, ha habido una larga discusión respecto a la fuente de humedad para el desarrollo de las glaciaciones en el área.

Rohmeder y Hastenrath (in Sayago et al 1991) plantean un origen de la humedad que precipitó en el altiplano proveniente desde el Este, sin embargo a partir de los 26° de latitud Sur el origen sería desde el Oeste, lo que implica desplazamiento al Norte del cinturón del Frente Polar. Hastenrath (op. cit) a partir de observaciones de la línea de nieves actual (LNA) y Pleistocénica (LNP), efectúa 3 perfiles en los Andes:

1. Entre Iquique y Jujuy, ambas líneas muestran un paralelismo, con mayor altura hacia los Oestes, atribuyendo esta altitud a la influencia pluviométrica de la célula de altas presiones continental con origen en el Atlántico.

2. Entre Vallenar y Catamarca, constata que la LNA crece de Este a Oeste mientras que la LNP lo hacía en sentido opuesto.

3. Entre Quinteros y Mèndoza, ambas decrecen hacia el Oeste.

La explicación para las características de las dos últimas transectas las atribuye a un desplazamiento al Norte de los vientos del Oeste durante los períodos glaciares pleistocénicos.

Verstappen (in Sayago op. cit), también da igual explicación, lo que implica que la transición del régimen amazónico y el régimen con origen en los vientos del Oeste, se acentúa entre los 24 y 26° de latitud Sur.

Estudios más recientes de Fox y Strecker (1991) explican los patrones de la LNA, en base a la actual configuración climática, la cual no es capaz de desarrollar una glaciación, a pesar de que el Altiplano se ubica por sobre los 4500 m.s.n.m. donde la Isoterma de 0°C se encuentra a los 4.600 m.s.n.m. De hecho la LNA se ubica a los 5100 en la Sierra de Aconquija en Argentina, con unos 2500 mm, mientras que en la Puna chilena está a más de 6.000 m.s.n.m. con sólo 100-200 mm de precipitación al año.

Durante el Pleistoceno, la región fue cubierta a lo menos tres veces de glaciares. Las investigaciones de Fox & Strecker (op. cit) muestran un englaciamiento preferencial en las vertientes orientales y un incremento de la LNP de 4.300 m.s.n.m. en las Sierras Pampeanas hasta unos 5.500 m.s.n.m. en la Puna Occidental. La depresión más efectiva de la LNP en el Este, demostró a los autores un esquema de circulación atmosférica en el Pleistoceno de los Andes Centrales (24 ° a 28° de Lat. Sur) no correspondiente a los modelos actuales, ya que la mayor

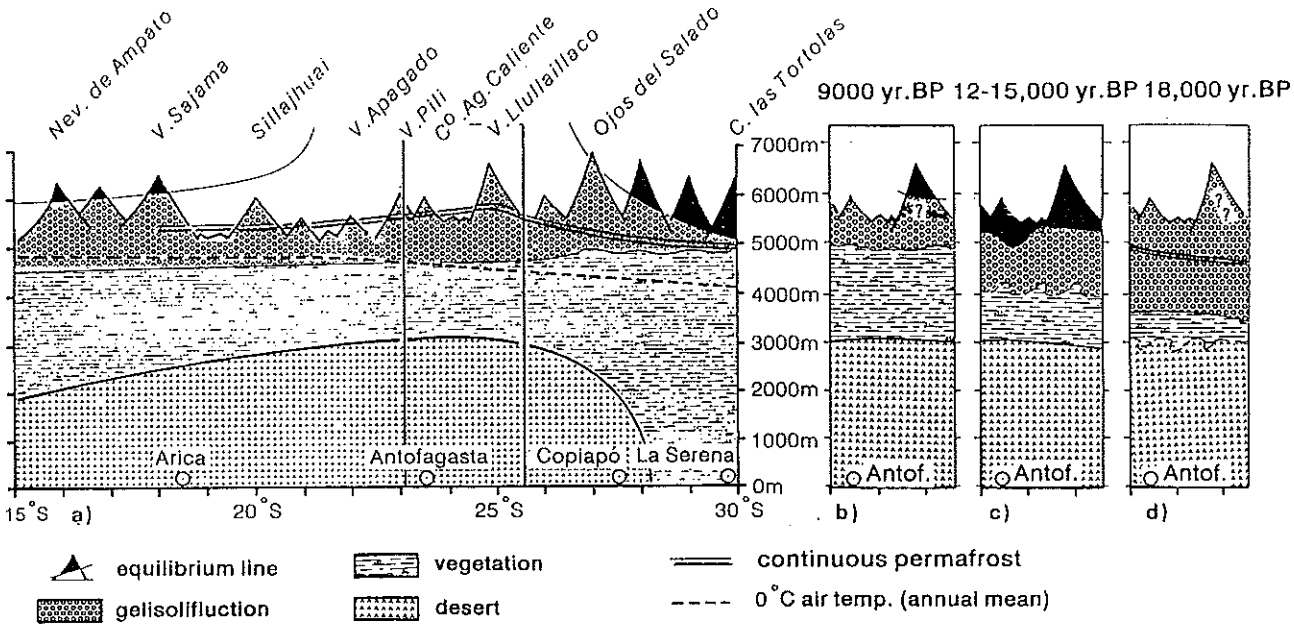
influencia habría sido desde el Atlántico. Dicho mayor aporte de humedad desde el Este habría sido efectivo tanto en los períodos glaciares como en los interglaciares. Así mismo deduce que las glaciaciones allí acaecidas habrían sido producidas más que por una reducción de las temperaturas, por un aumento de las precipitaciones desde el Este.

En el estudio de Graf (1991), se analizan los patrones actuales y Pleistocénicos de las Glaciaciones de la Cordillera Occidental boliviana. De él se desprende que la única zona actualmente englaciada (en el área boliviana) corresponde al Vn. Sajama (18°L.S.) mientras que en el Pleistoceno (LGM 35-25 kyr B.P ?), los glaciares se extendían al Sur, cerca del Tatio (22-23°L.S). Dicho estudio, basado en la teoría del actualismo, plantea que dadas las evidencias geomorfológicas encontradas, el actual cinturón seco de la Puna de Atacama, habría tenido condiciones climáticas similares a las del Vn. Sajama, lo que implica un clima semihúmedo con 700 a 1000 mm anuales de PP. En la actualidad la zona del Tatio, tiene menos de 200 mm.

Grosjean et al. (1996) a base de rasgos glaciales, periglaciares y lacustres sugiere condiciones posiblemente más secas y 7°c más frías en el Altiplano del Norte de Chile, durante el último máximo Glacial (19.000-18.000 A.P.). Garlef y Stingl (1987), plantean que los avances glaciares máximos no fueron sincrónicos en el LGM (23.000-18.000 A.P.), es más, plantean que durante dicho período se dio una mayor aridización, fruto de un mayor descenso de la línea del Permafrost (que indica mayor descenso de las temperaturas).

La diagonal seca de los Andes, actualmente surcada por los vientos del Oeste (con escasas precipitaciones invernales tipo nieve sobre los 3.300 m.s.n.m. en Puna de Atacama) pero con mayor incidencia pluviométrica con origen de humedad desde el Este, presentó una mayor aridización en el LGM, lo que sería explicado, más que por un desplazamiento al Norte del cinturón de los Oestes (que durante el LGM acentuó las precipitaciones en Chile Central y Sur) por una acentuación del Anticiclón del Pacífico, que se transformó en una mayor barrera para la humedad, tanto de los Oestes como del este. En todo caso estas hipótesis han reactivado la discusión sobre los modelos no actualistas.

Entre los 17.000 y 15.000 A.P. Grosjean et al. (op. cit), plantean aumento de las precipitaciones del orden del 60 %, con un componente de verano y origen en circulación del Este. Esta mayor humedad, pero en un ambiente frío, condujo a la recarga de agua subterránea en la cuenca de Atacama **Figura 8**.



Fuente: Grosjean et al., (1996)

Figura 8

Durante el período 14.000-12.000 A.P. Grosjean et al (op. cit) constataron la formación de grandes cuerpos de agua subterránea y extensos lagos durante el Glaciar Tardío, (15.000-11.000 A.P.), los cuales son sincrónicos con el Paleolago Tauca, en el Sur del Altiplano Boliviano. Los aumentos de precipitación fueron del orden del 120 %, también con componente de verano, y a lo menos con dos períodos de fuerte cubierta nubosa. Interesa la constatación del polen típico de los Andes bolivianos, encontrado en los estratos de dicho período en Lejía y Tuyagto, lo que evidenciaría transporte por la circulación del Este **Foto 2**.

Foto 2: Perfil estratisgráfico, en sedimentos de laguna Lejía, Puna de Atacama.

En base a dichas conclusiones, se postula un cambio de condiciones secas y frías imperantes en el Máximo Glaciar (LGM) hacia húmedas en el Glacial Tardío. Lo que en términos climáticos significaría un aumento de las lluvias de verano, de fuente Este.

Las evidencias paleohidrológicas provenientes del Altiplano Peruano-Boliviano, indican que entre 12.500 y 11.000 A.P. los Paleolagos (Tauca) cubrieron un área 4 veces más extensa que en la actualidad, lo que indicaría un aumento de 30-50% de las precipitaciones anuales. Estas tendrían su origen en lluvias tropicales de verano, asociadas al desplazamiento hacia el Sur, de la Convergencia Intertropical (Seltzer 1991).

Esto significa en términos climáticos, que la componente zonal de la circulación atmosférica fue poderosamente fuerte. Las precipitaciones conectadas a los vientos del Oeste fueron más intensas para las latitudes medias, pero su influencia no significó cambios más al Norte de Copiapó.

En este sentido, el escenario climático del Tardiglacial, con aumento de precipitaciones fuente Este en el Altiplano y Norte Grande, persistencia de lluvias de fuente Oeste en el Norte Chico y Centro Sur, sólo tendría coherencia si se concibe el Tardiglacial, como una muy peculiar interfase en Sudamérica: paulatina relajación del modo glacial de circulación, con calentamiento gradual del borde Este del Pacífico Sur y progresivo debilitamiento del Anticiclón Subtropical. Estas condiciones podrían ser calificadas de precursoras del fenómeno El Niño (Villagrán 1995).

Estudios recientes (Mörner 1992), plantean que en el contexto de una glaciación como la que se dio en el planeta entorno a los 18.000 AP, sería imposible concebir la presencia de fenómenos el Niño.

Si se considera que hubo mantención de condiciones glaciales, en numerosos sitios de Chile y el planeta hasta los 13.000 AP, con reavances entre los 12.000 y 11.500 en el younger Dryas, el fenómeno del Niño dificilmente, pudo haber surgido antes del tardiglacial.

En el mismo sentido, Mörner (1992) plantea que el tardiglacial puede corresponder a un periodo de grandes cambios climáticos a nivel planetario, lo cual podría ser definido como un Mega Niño, con duración de 4.000 años.

2.1.2 Dotación y manejo de recursos prehispánicos

Con posterioridad al tardiglacial, el registro climático comienza a confundirse con el arqueológico. Los datos climáticos poseen una fuente de información muy diversa y compleja, de acuerdo a las progresivas etapas de ocupación del territorio. En sus inicios, el hombre sólo pudo someterse bajo una naturaleza dominante y por ende se vio determinado físicamente. Los sitios y aleros donde se ubicó, se localizaban en quebradas con abundante agua, pero escaso desarrollo edáfico y condiciones térmicas poco auspiciosas. Con posterioridad, el hombre va desarrollando una relación posibilista, donde ocupa mejores sitios, ubicados en lugares más bajos, con mayor temperatura e irrigación, lo que va potenciando la agricultura y la domesticación, sin perder de vista los otros pisos ecológicos que siguen proporcionando un importante suplemento para su sustento.

El análisis de los sitios arqueológicos y sus características culturales, es importante para entender la evolución climática durante esos milenios y la evolución cultural en la concepción y aprovechamiento del territorio y su clima.

2.1.2.1.- El período Arcáico (9.000 a.C. a ± 1.500 a.C.)

La ocurrencia de períodos ambientalmente favorables como los descritos en el capítulo anterior, significaron una mayor dotación de recursos hídricos, cobertura vegetacional y fauna a finales del tardiglacial, lo que permitió el surgimiento de las primeras poblaciones de cazadores y recolectores (Nuñez 1992).

Las primeras evidencias de poblamiento en la región de Antofagasta, datan de los 9.000 a.C., período en el cual se sitúa al oriente de Calama a unos 2.800 m.s.n.m. el Alero de Tuina, donde un grupo de cazadores pernoctaban temporalmente dentro de una alta movilidad espacial Alta Puna-oasis piedmontanos, tras manadas de camélidos. Otros sitios en la cuenca del Loa medio y Alto, así como en el río Salado y en la fosa de Atacama, evidencian para este mismo período un desarrollo similar, constituyendo el llamado Arcáico temprano. Otro sitio importante, es San Lorenzo, ubicado en la cuenca del río Salado, fechado en más o menos 8.000 a.C., con antecedentes de cazadores y recolectores.

En la costa están los sitios Las Conchas un poco al norte de Antofagasta y Huelen en la desembocadura del río Loa, de más o menos 8.000 a.C., con características de recolectores de productos del mar, y en el caso de Huelen, con contactos con tierras altas del interior de Antofagasta.

En torno a los 4.000 a.C. comienzan a existir campamentos abiertos en el río Loa Medio y por los 3.000 - 2.000 a.C. se detecta una densa población de cazadores recolectores en campamentos-base semipermanentes en enclaves de convergencia de recursos y contexto de sedentarismo inicial (Núñez 1980).

Uno de los sitios característicos de este período es Quebrada de Tulán (Sur del salar de Atacama) y campamento Calarcoco (Toconao interior), para cuyos pobladores se postula una hipótesis de movilidad transhumántica incipiente, con uso estival y primaveral de la alta Puna para luego descender por las quebradas a las márgenes del Salar de Atacama (Núñez 1980), lo que redundaría en un manejo alternado de diversos pisos ecológicos, como respuesta a una dotación diferencial de recursos naturales a nivel altitudinal y estacional.

En este perfil Este Oeste, se han detectado numerosos sitios arqueológicos, los que se repiten en la mayoría de las quebradas que comunican la Puna de Atacama con el fondo de la fosa de Atacama, donde los cazadores recolectores muestran una mayor especialización, que progresivamente va generando un manejo de camélidos y sedentarización, produciendo algunos conjuntos semialdeanos.

La zona del salar de Atacama (Tulán) y la cuenca del río San Pedro (Puripica) , serían un centro de domesticación de camélidos, que se habría desarrollado en forma independiente y poco después que el principal centro de domesticación localizado en la Puna húmeda del centro de Perú (Núñez 1980).

Según Grosjean y Núñez, (1994) períodos de sequía junto a un aumento de población, significaron una reducción de forraje, animales y plantas, lo que habría motivado intensificación de la crianza, algunos cultivos y viajes a zonas distantes en busca de recursos: por ejemplo a la desembocadura del río Loa (Huelen), donde hubo campamentos similares a Tulán y Puripica. Huelen, se vinculaba con la alta puna, para intercambiar obsidiana y conchas decorativas, algunas de las cuales se han encontrado en Tulán.

2.1.2.2.- El período Formativo (± 1.500 a.C. a ± 100 d.C.)

El paso de una sociedad de cazadores y recolectores a una agrícola, fue un proceso gradual y lento que involucró entre otros, una tendencia a la concentración de la población en espacios habitacionales (aldeas), manejo y protección de las áreas de cultivo, mayor aprovechamiento de los recursos naturales existentes en la región y domesticación de camélidos.

Esta tendencia se complementó con mayor organización y especialización laboral de los pueblos, lo que implicó un enriquecimiento de la cultura, introduciéndose artefactos cerámicos y metalúrgicos, se perfeccionó además utensilios y surgieron nuevos cultos al agua y tierra (elementos preponderantes de esta nueva forma de subsistencia). Hubo además expansión de niveles poblacionales aumentando diferencias sociales intra aldeas.

En términos del manejo de recursos, se pasa de una economía depredadora a una que involucra la producción. Los principales cultivos que permiten esta nueva etapa son para las tierras altas; Quinoa, papas, ulluco, oca, cañihua. Para la costa; leguminosas, cucurbitáceas y algodón, finalmente para los valles y oasis; maíz, yuca, camote y papas.

La ganadería experimenta un salto cualitativo de magnitud, fruto de la domesticación de llamas, alpacas y cuyes, entre los habitantes de la precordillera y altiplano (Muñoz 1989).

Al interior de Antofagasta, este período tuvo carácter marginal y periférico, por lo que sólo se alcanzó una historia aldeana, lo que se explica básicamente porque en esta área no hubo un gran nivel de intercambio con la tradición circuntiticaca, la que sí tuvo un alto grado de vinculación, vía complementariedad económica Altiplano-Costa, con la región de Tarapacá (Rivera 1980).

Las primeras sociedades aldeanas-agroalfareras, en la IIª Región de Antofagasta, se dan alrededor de los oasis de la fosa de Atacama y en la cuenca media del Loa y Salado.

La costa de Antofagasta presenta algunos sitios como Huelen y Cobija, los que no presentan un alto grado de desarrollo, debido a la falta de influencias foráneas (circuntiticaca) y de intercambio con las poblaciones del interior, especialmente al Sur del Loa, donde no existen cursos de agua permanentes que conecten la costa con el interior. Sin embargo, en Tulán y otros sitios de este período se han encontrado conchas marinas y ciertas técnicas decorativas similares a la cultura Pukara lo que evidenciarían un nivel básico de intercambio con el altiplano (Rivera 1980).

En la parte Sur del salar de Atacama, Tulán y Tilocalar, son muestras de mayor sedentarismo, con cría de llamas y autoproducción de alimentos cultivados. Las cerámicas allí encontradas, muestran similitudes con las de las selvas orientales de San Francisco.

Los pobladores de Tilocalar, conocían la metalurgia y la cerámica, sin embargo aún complementaban actividades pastoriles con agrícolas, por lo que mantenían niveles importantes de movilidad espacial, que según Núñez (1992) dan inicio a la verdadera transhumancia ganadera alrededor de los 500 a.C.

En la zona de pérdida de pendiente del río San Pedro en su desembocadura en el salar de Atacama, lugar donde las aguas se esparcen lateralmente permitiendo la mantención de mayor humedad subterránea y pequeños bosques de algarrobo y chañares, junto a totoras y matorrales, se desarrolló la llamada etapa Toconao, caracterizada por una mayor concentración poblacional, construcción de obras de regadío y un ambiente más favorable para la agricultura. La mayor expresión de este período está en la construcción de Tulor Aldea (500 a.C.), considerada como precursora de la cultura San Pedro.

En la zona de San Pedro de Atacama, este período está representado por un poblamiento más sostenido de los ayllos de Quitor, Larache, Sequitor, Solor y del oasis de Toconao oriente, todos los cuales presentan cerámica corrugada y hachas de piedra, las que según Nuñez (1992) son evidencias de contactos recíprocos, entre las tierras bajas de Oriente y la Puna Atacameña. Algunos ajuares funerarios de personajes sobresalientes, compuestos por jarras negras pulidas, cuentas de liparita, cinceles de cobre, placas de oro, adornos de cobre, hachas de piedra y cobre, mantas, cestería y tabletas para alucinógenos, muestran la creciente importancia y especialización metalúrgica que se da en la zona, junto con elementos mágicos provenientes del altiplano nuclear.

Otro sitio de convergencia de recursos, fue la confluencia del río Salado con el Loa, donde se dio otro importante asentamiento en las vegas de Chiu Chiu, el que tuvo carácter semipermanente debido a los intercambios entre el Loa y el Salado, donde se cultivó maíz gracias a una agricultura de regadío.

En el Loa superior, los primeros sitios con actividad agrícola son alero Toconce y Chulqui aldea, ocupados por horticultores que se desplazaban desde pisos ecológicos superiores, debido a que su economía era básicamente pastoril. Aldea Turi, ubicada varios kilómetros más abajo que Toconce, tuvo una población agrícola, pero con mayor énfasis en la ganadería. En este sitio Aldunate et al. (1986) encontró gran cantidad de cerámica no local, por lo que habría habido una alta movilidad espacial para esa época.

Según Muñoz (1989) la Puna de Atacama, y cuenca media y alta del Loa, tendrían influencia altiplánica (circuntiticaca), valleserrana e incluso de las selvas occidentales (Bolivia- Brasil- Norte argentino), la que habría llegado hasta la costa por el río loa. Este contacto generó una estructuración agrícola-pecuario, lo que favoreció la movilización fuera del ámbito local, buscando recursos complementarios a través del intercambio. Las rutas de intercambio se extendían desde la zona de cultura San Francisco, pasando por Humahuaca, Yavi, Tulor y Poconche, con derivaciones a San Antonio de los Cobres y la sierras Calchaquíes.

2.1.2.3.- La cultura San Pedro de Atacama y la influencia Tiwanaku (100 d.C. a 900 d.C.)

El desarrollo de las actividades agrícolas y ganaderas en los ayllos de San Pedro, así como a lo largo de las principales vegas y quebradas de la fosa de Atacama, tuvieron un sorprendente auge a partir del segundo siglo de nuestra era.

La construcción de habitaciones con tecnología quincha y adobones (Núñez 1992), se fue concentrando en aldeas rodeadas de predios agrícolas donde apoyados por regadío artificial, se producía en forma estable maíz, porotos, zapallos, ajíes y calabazas, así como se recolectaban frutos de Chañar y Algarrobo. Estos ayllos, estaban (y están) rodeados de vastas extensiones desérticas, por lo que cada pequeño oasis lograba sustentar una población limitada, la que además de las actividades agrícolas, realizaban artesanías que se diversificaron por el creciente uso de metales, maderas, huesos, vegetales y lanas, lo que junto a la alfarería negra pulida, constituyen lo más clásico de San Pedro de Atacama.

Uno de los más importantes asentamientos poblados de este período se localizó en el ayllo de Tulor, donde se construyó una aldea de adobones circulares, que cobijaba a agricultores, ganaderos, artesanos y metalurgistas. La cerámica allí encontrada aún no presenta influencia Tiwanaku, la que se extenderá a partir de los 400 d.C. por la zona.

Tulor se ubica en el sitio donde el río San Pedro pierde fuerza y su cauce pierde pendiente, inundando un sector fértil. Este punto está justo al Este de las menores alturas de la Cordillera de la Sal, por lo que la intensidad de los vientos locales es mucho mayor allí que en otros de los ayllos de San Pedro **Foto 3**.

Seguramente una reversión climática, o mayor aridización producida entorno a los 300 años d.C., aportó una mayor cantidad de arenas y polvo, las cuales fueron arrastradas por fuertes vientos provenientes del llano de la Paciencia, volcándose dentro de la cuenca del Salar de Atacama, justo frente a Tulor. Este proceso natural implicó la formación de una duna, la que progresivamente avanzó en dirección del Ayllo, comenzando su cubrimiento.

Los habitantes, construyeron una muralla defensiva, la que fue impotente ante la fuerza de las arenas, por lo que definitivamente, debieron abandonar las casas y tierras de cultivo, desplazándose un poco más al Norte a los otros sectores fértiles de la fosa de Atacama.

Esta movilidad forzada marca el fin del nomadismo, asociado al determinismo natural, puesto que los habitantes lograron sortear la inclemencia climática, mediante una adaptación cultural, graficada en el cambio de localización hacia San Pedro de Atacama.

A los 400 años d.C. en la zona de San Pedro de Atacama, existe una población con alta complejidad social, sofisticado uso de recursos naturales, gran conocimiento del territorio y una gran tradición de intercambio vía caravanas de llamas, destinadas a comerciar con culturas distantes y complementar el uso de diversos pisos ecológicos.

Foto 3 : Sitio arqueológico Tulor, Ayllo de Tulor, San Pedro de Atacama.

En este contexto, la llegada de las influencias tiwanakotas provenientes del altiplano del lago Titicaca, provocan una serie de innovaciones que progresivamente son adoptadas por la floreciente cultura de San Pedro **Figura 9**.

La presencia de Tiwanaku en el Norte Grande de Chile, ha sido ampliamente documentada durante este siglo, sin embargo existen varias interpretaciones respecto del origen y tipo de influencia.

Queda claro que los dos centros principales de cultura en el primer milenio de nuestra era en el Norte de Chile, fueron Arica y San Pedro de Atacama. Si bien ambos poseen patrones Tiwanakotas, las diferencias entre sí son remarcables.

Arica posee una localización mucho más cercana al centro Tiwanaku en el altiplano boliviano, de hecho el ubicarse en valles fértiles en medio de un vasto desierto improductivo, la convierte en una zona estratégica, más aún debido a la contiguidad del mar, lo que completa un cuadro de producción diversa y complementaria, fundamental para el altiplano nuclear.

La baja frecuencia de rasgos cúlticos o mágico-religiosos junto con una alta preponderancia de indicadores de naturaleza socioeconómica, conducen a interpretar la situación, como una colonización Tiwanaku bajo una modalidad incipiente de "verticalidad" (Berenguer et. al 1980). De esta forma, Tiwanaku mediante este tipo de enclaves, aseguraba el abastecimiento de productos, y asentaba su poder político y social, en áreas desprovistas de centros locales de poder que operasen conflictivamente. De esta forma Arica y los valles principales pueden ser considerados archipiélagos productivos con destino en el altiplano nuclear.

En San Pedro de Atacama, no habría un patrón colonizador de Tiwanaku, debido a que hay una difusión selectiva del estilo y parafernalia ceremonial, con implicancias ideológicas, esta es la primera fase denominada Quitor que va del 400 al 700 d.C.

Para Benavente et al. (1986), la evidencia encontrada en distintos ayllos "apuntan hacia una caracterización ceremonial del impacto Tiwanaku en el área de San Pedro ", fenómeno que estaría circunscrito a un segmento menor de la sociedad atacameña.

El carácter religioso de la influencia Tiwanaku, implica también la adquisición de rasgos materiales detectables en la iconografía local, así como la presencia de los portadores de dicha influencia. En este sentido, el complejo alucinógenos, con las tabletas de rapé, las sustancias inhaladas y los morteros para triturar las drogas, tienen una gran difusión en la zona de San Pedro.

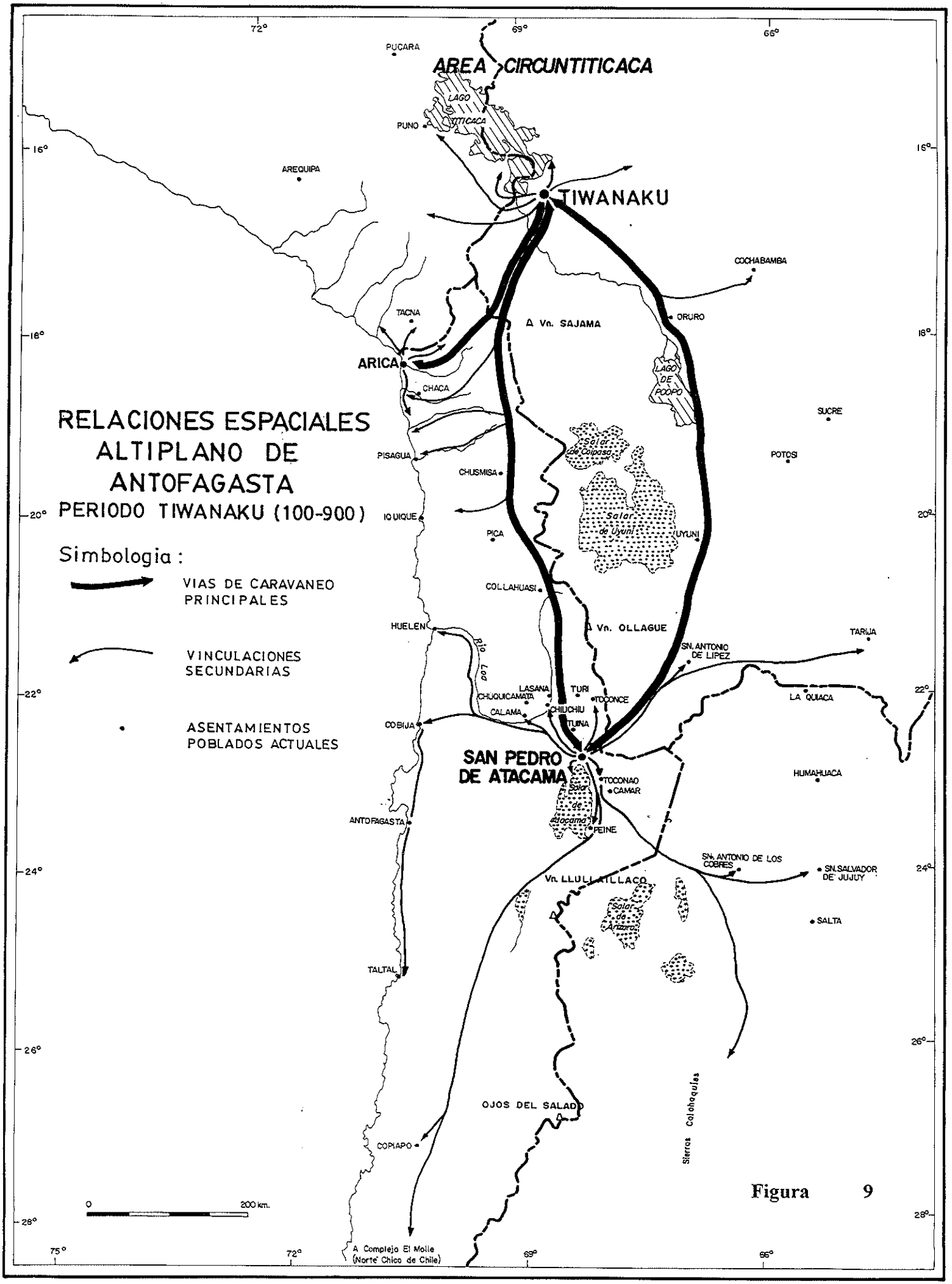

RELACIONES ESPACIALES
ALTIPLANO DE
ANTOFAGASTA
PERIODO TIWANAKU (100-900)
Simbologia :
VIAS DE CARAVANEO PRINCIPALES
VINCULACIONES SECUNDARIAS
ASENTAMIENTOS POBLADOS ACTUALES
AREA CIRCUNTITICACA
TIWANAKU
ARICA
SAN PEDRO DE ATACAMA
Vn. SAJAMA
Vn. OLLAGUE
Vn. LLULLAILLACO
PUCARA
LAGO TITICACA
PUNO
AREQUIPA
TACNA
CHACA
PISAGUA
CHUSMISA
IQUIQUE
PICA
HUELEN
COLLAHUASI
COBIJA
ANTOFAGASTA
TALTAL
COPIAPO
OJOS DEL SALADO
Sierras Colohaques
COCHABAMBA
ORURO
LAGO DE POOPO
SUCRE
POTOSI
Salar de Coipasa
Salar de Uyuni
UYUNI
SN. ANTONIO DE LIPEZ
TARIJA
LA QUIACA
HUMAHUACA
SN. ANTONIO DE LOS COBRES
SN. SALVADOR DE JUJUY
SALTA
Salar de Atacama
Salar de Arizaro
Río Loa
LASANA
CHIUCHIU
CALAMA
TURI
TOCONCE
TUINA
CHUQUICAMATA
TOCONAO
CAMAR
PEINE
0
200 km.
A Complejo El Molle (Norte Chico de Chile)
75°
72°
69°
66°
16°
18°
20°
22°
24°
26°
28°

Figura 9

En este mismo sentido, Berenguer et al. (op. cit) conciben a San Pedro dentro de una "esfera de interacción religiosa", con un rol principal en los intercambios de jefes. Las interacciones entre jefes locales de San Pedro y los del altiplano de Bolivia, se potenciaron por las caravanas de intercambio, que regularmente cruzaron la Cordillera en ambos sentidos, facilitando una diferenciación social intracomunidades, contactando a los hombres destacados con elementos culturales y personajes Tiwanaku.

Dichas caravanas facilitaron la movilización de bienes y servicios, capitalizando favorablemente las opciones entregadas por la diversidad ecológica (Berenguer et al., op. cit). Obviamente es difícil apreciar hoy en día en los registros arqueológicos muchos de esos productos, debido a que eran consumidos, sin embargo se han detectado bienes funcionales, tales como plumas, objetos elaborados de cerámica, madera, huesos, metales preciosos, coca, tabaco y otros vegetales narcotizantes.

Además del gran nivel de intercambio con Tiwanaku, habría habido una ampliación hacia otras zonas culturales de la época, como el N.O. argentino, los valles Calchaquíes, el Complejo El Molle (Norte Chico) y Sur Boliviano.

A pesar de lo poco probable del intercambio de alimentos, secos o frescos, debido a la gran distancia que debían recorrer, lo fundamental sería la capacidad de aprovisionamiento de productos en San Pedro y su capacidad de proveer piedras preciosas, Chañar y maíz para fabricar bebida alcohólicas, elementos claves en la reciprocidad asimétrica (Berenguer et al., op. cit).

Para Núñez y Dillehay (1978), los niveles de intercambio en los Andes del Centro y Sur, habrían operado como una formidable red de complementariedad económica, que aprovechaba la gran diversidad de pisos ecológicos, con recursos diferentes, dispersos y complementarios.

En este modelo, cada circuito de caravanas lo hacia entre asentamientos ejes, cada uno de los cuales servía como paradero, recepción, redistribución de productos y como sitios de aprovisionamiento para la continuidad de la marcha.

San Pedro de Atacama, está localizado en un punto estratégico en las rutas de intercambio de la época, especialmente por su carácter de oasis productivo y con diversidad de recursos hídricos, agrícolas, pastoriles y culturales, lo que lo convirtió en un paso obligado de una vasta red de conexiones, permitiendo a sus habitantes el acceso a un conjunto de bienes que se necesitaban pero no producían.

En el modelo de "movilidad complementaria convergente " de Núñez y Dillehay (1978), Tiwanaku habría surgido a partir de "la convergencia de los segmentos de mayor altura de múltiples giros agroganaderos de carácter multidireccional, con tráfico de caravanas bien consolidado". Esta movilidad se habría extendido gradualmente a nivel espacial, capturando para sí el flujo de bienes de un área vastísima (Muñoz op. cit).

Según Núñez y Dillehay (op. cit), esta movilidad se desarrolló al margen del modelo urbano de los Andes centrales, por lo que se intensificó una relación interétnica en armonía social, consolidando un modelo aldeano centralizado. Este sistema originó según los mismos autores, un desarrollo armónico y más eficiente, tanto en términos de presión demográfica como de manejo extensivo del espacio, asegurando de paso un acceso igualitario a los bienes en circulación. Esto último ha sido criticado entre otros por Rivera (1980) y Muñoz (op. cit).

Hacia finales del primer milenio después de nuestra era (fase Coyo 700-900 años d.C.), las influencias Tiwanaku se consolidan en lo que para Muñoz (op. cit), es el proyecto de intercambio de ultraperiferia en el borde occidental de la Puna, el cual consistía en un alto nivel de intercambio entre San Pedro y el centro hegemónico de Tiwanaku, lo que se traducía en una mayor estratificación social, complejidad social y demandas de bienes (y de información en general), especialmente suntuarios.

La mayor similitud de la iconografía local con la de Tiwanaku. es interpretada como un proceso de mayor alienación de la población local, frente a la influencia circuntiticaca, lo que rompería con la tradición local (Thomas et al., 1984).

Uno de los aspectos más destacados para esta etapa, es que se aprecia en los enterramientos, que probablemente hubo llegada de colonias de Tiwanaku, así como de visitantes del Sur de Bolivia y eventualmente grupos multiétnicos, que vendrían a proveerse directamente de los recursos más deseados, a los ayllos de la fosa de Atacama (Núñez 1992). Todos estos contactos extraterritoriales, significaron un gran desarrollo económico y cultural, que son interpretados como una incipiente nación atacameña, con lengua, vestuario, cerámica y producción con excedentes propia.

Este polo de desarrollo, estable y atractivo para los pueblos limítrofes, no se repitió a lo largo del río Loa, donde sólo contados sitios muestran vinculación altiplánica (Chiu Chiu).

De esta manera surge una pregunta clave. Cuáles fueron los productos con excedentes en la zona, factibles de ser exportados? Qué productos de origen local, podían atraer e interesar a caravanas provenientes de numerosos y distantes confines de los Andes centrales ?

Mucho se ha especulado con la exportación de productos agrícolas, sin embargo no es lógico que culturas con agricultura propia en condiciones de producir iguales productos e incluso en mayores cantidades, fuesen a San Pedro a buscar lo mismo. Uno de los productos locales difíciles de encontrar en otras zonas en contacto, eran los frutos del Algarrobo y Chañar, de los cuales es posible hacer harina, chicha e incluso alucinógenos (Gajardo in Muñoz op. cit).

Los frutos mencionados, si bien pueden haber tenido una gran importancia, no pueden explicar por si sólos los niveles de intercambio al que se llegó en dicha época.

Se postula que la metalurgia habría tenido un rol fundamental en la explicación de los niveles y montos de intercambio de San Pedro con sus vecinos.

La gran dotación de recursos mineros es aún hoy en día un atractivo económico de primer orden en la región, por lo que parece obvio que ya en dicha etapa de la prehistoria, existiesen explotaciones mineras y metalurgia artesanal de renombre en la región.

Se han encontrado faenas mineras en la costa de Taltal, donde minas de cobre nativo de fácil laboreo, fueron explotadas por colonias de mineros provenientes de los oasis atacameños, quienes llevaban tabletas de alucinógenos y cerámica típica de esta etapa. Hubo además un aumento de la extracción de piedras semipreciosas, que se insertaban en objetos de madera, que se exportaban a Tiwanaku (Núñez 1992).

En la zona de San Pedro, existen grandes depósitos de sal que podían interesar a comunidades lejanas. También existen minas de Onix en la Puna de Atacama, al interior de Socaire, la cual debe haber sido aprovechada por habitantes de la cultura San Pedro. Otros ítems atacameños demandados y redistribuidos posteriormente por Tiwanaku, fueron la Malaquita y la Turquesa.

Según Muñoz (op. cit) el principal atractivo de la región Atacameña para un estado como Tiwanaku, fueron las riquezas del subsuelo y también la red de tráfico que había allí, en especial de bienes rituales.

El "Hombre de Cobre" encontrado en Chuquicamata ha sido fechado entre 500 y 700 años d.C., época levemente anterior al incremento masivo de artefactos de Cobre y Bronce en las tumbas locales.

La explotación minera de la región, que más interesó a Tiwanaku, fue de bronce cuproarsenical (domeykita, olivenita y chenevixita) que se encuentra sólo en Corocoro (Bolivia), Collahuasi, Chuquicamata y Copiapó (Chile).

Si bien San Pedro no posee directamente una explotación minera, y es básicamente un asentamiento agrícola con actividad pecuaria, es el único centro poblado de importancia en la región, con el desarrollo suficiente como para concentrar los excedentes mineros, los que posteriormente se enviaban a Bolivia o al noroeste argentino, junto con otros productos de interés, como tabletas para alucinógenos o cerámica.

La funcionalidad de San Pedro habría excedido el concepto de una aldea-oasis marginal, para convertirse en un centro clave para la parte Sur del hinterland Tiwanaku, en el intercambio de materias primas, abastecimiento de caravanas y exportación de minerales al altiplano nuclear.

No está claro si el intercambio era de materias primas minerales, o se exportaban objetos elaborados por artesanos metalúrgicos de los oasis, que con motivos locales y en algunos casos sincretisados con la cultura Tiwanaku, lograron un alto grado de refinamiento y probablemente funcionalidad, que fue altamente demandada por los poderes centrales de la época.

2.1.2.4.- Los desarrollos regionales de la etapa Pukara (900-1450 años d.C.).

Este período se caracteriza por el fin de la etapa expansiva de Tiwanaku, con el consiguiente término de la influencia religiosa y también económica en el tráfico de mercancías, lo que conllevó al surgimiento de una mayor autonomía de las comunidades locales o curacazgos o señoríos étnicos, con un mayor nivel de conflicto entre ellas.

Entorno a los 900 - 1.000 años d.C., cuando los motivos estilo Tiwanaku escaseaban en toda la región, la cuenca del Loa comenzará a recibir una importante presencia altiplánica.

La arquitectura de más amplia distribución durante esta etapa, es conocida como Pukara, construcciones habitacionales y defensivas, que evidencian un aumento de conflictos latentes o manifiestos, los que también se expresan en el arte rupestre y los contextos funerarios (CONSECOL, 1988).

En la cuenca del Loa, destaca el Pukara de Lasana y el de Chiu Chiu, ambos rodeados de extensiones agrícolas con acueductos y cultivo de maíz. Se calcula en 300 has. la superficie irrigada en esa época (Schiapacase et al., 1989).

En las cercanías de Calama se calcula que existían cerca de 2.500 has. disponibles para la agricultura, siendo cerca de 1.000 has. las irrigadas. Un factor restrictivo importante es que aguas abajo de Chiu Chiu, el río Loa es más salobre, por los aportes del río Salado y otras quebradas salobres (Schiappacase et al., 1989).

En la cuenca del Salado, está el complejo Toconce-Mallku, que tiene presencia en el Sur de Bolivia en la región de Lípez. Esta zona presenta una arquitectura muy distinta de la tradición del desierto (San Pedro de Atacama) y se denomina tradición altiplánica, más ligada a culturas aymarás del sur de Bolivia.

Una de las características principales de esta tradición, es la asociación de un asentamiento compuesto de tres áreas bien definidas: poblado, chullpas y áreas de depósitos, con una extensa superficie de cultivo, por abruptas laderas montañosas, con andenerías, depósitos y canalización compleja. Uno de los más importantes sitios de este complejo es Likán, ubicado cerca de Toconce.

De esta forma se ocupó distintos pisos ecológicos a nivel altitudinal, denotando una planificación que buscó optimizar la agricultura del maíz en las quebradas y de Quinoa en éstas y la alta puna. De igual forma se disponía del forraje derivados del Tolar, el pajonal y el bofedal, con lo que las recuas de llamas se alimentaban a diversos pisos, favoreciendo la movilidad y la recolección de plantas y aves (CONSECOL op. cit). Dos sitios característicos de esta condición agrícola son Paniri y Toconce.

El origen de la tradición del altiplano en Toconce, está poco claro, pero podría responder a que grandes naciones aymarás, una vez disuelta la hegemonía Tiwanaku, se desplazaron a regiones distantes mediante la modalidad de colonias, evolucionando hasta convertirse en comunidades independientes, las que ante una fuerte presión demográfica en este período, tendieron a consolidar un territorio vital, donde los pukaras adquieren un rol importante (CONSECOL op. cit).

Una vez superado el estado inicial de conflicto y logrando cierta armonía interétnica, los pukaras pasaron a convertirse en puntos claves para el tráfico de caravanas, que desde la costa, por el Loa y las quebradas principales, conectó las culturas del interior de Antofagasta con las selvas bolivianas, el área circuntiticaca y el noroeste argentino (Núñez 1985).

En la fosa de Atacama, esta fase denominada Solor, posee uno de los sitios más destacados de la llamada tradición del desierto, en el pukará de Quitor, ubicado a 3 kilómetros del poblado de San Pedro, en los contrafuertes de la Cordillera de la Sal, a la salida del río San Pedro desde los cordones montañosos hacia el fondo de la fosa.

Durante este período se postula que la tradición del desierto, que había tenido una fuerte vinculación con regiones distantes, habrían perdido dichos lazos, en especial con la región circuntiticaca. Sin embargo se mantuvieron relaciones estrechas con la costa, el altiplano meridional y el noroeste argentino.

El menor contacto con Tiwanaku, implicó un cambio de la producción, desde bienes vinculados con el culto funerario a otras manufacturas domésticas , lo que es interpretado como un "empobrecimiento cultural" lo que habría estado acompañado de una carencia de alimentos (Núñez, 1992).

La población vivió en diversos pueblos fortificados dentro de la fosa de Atacama (Quitor, Toconao, Vilama), en la cuenca del Salado (Turi y Toconce) y en la Cuenca del Loa (Lasana y Chiu Chiu), lo que puede deberse a una necesidad de protección y defensa del territorio frente a la expansión aymara, que logró penetrar hasta Toconce. Hay indicios de que el señorío atacameño, habría disputado territorios a las etnias del noroeste argentino, en lo que parece un estado bélico general en la región andina (desde Tarapacá hasta el Norte argentino).

El estado de conflicto, afianzó una mayor autonomía cultural, lo que para San Pedro de Atacama, se grafica en la cerámica Dupont y roja pintada, la que se extiende por el Loa hasta Calama y Chiu Chiu, por la Costa hasta Taltal y por las caravanas de intercambio, hasta las selvas y valles del noroeste argentino.

Hacia finales de este período, se habría consolidado una cierta armonía y equilibrio interétnico, lo que permitió coexistencia de asentamientos aymaras en Toconce e incluso en Quillagua, con otras colonias atacameños en Chuquicamata y otros puntos del río Loa.

Esta mayor armonía fortaleció las rutas de intercambio, que acentuaron el tráfico entre los oasis atacameños con los del sur boliviano, de la cultura Mallku en sud Lípez y con el noroeste argentino.

Otros poblados del interior que interactuaban con San Pedro, eran Toconao, Camar y Peine, este último con minas de Plata (Schiappacase op. cit)

Otra actividad destacada en San Pedro siguió siendo la minería, en especial la mina de Sal ubicada cerca del poblado y las posibles colonias de mineros como la de Chuquicamata y Taltal. A pesar de que la funcionalidad de San Pedro no era directamente minera, se postula que el poblado sirvió de centro de intercambio de materias primas minerales y artesanías metalúrgicas, las que eran enviadas a lugares distantes allende los Andes.

2.1.2.5.- La invasión Inca 1450 - 1536 años d.C.

En la época donde los poblados del interior de Antofagasta mantenían un importante nivel de autonomía, con rutas de intercambio interregionales permanentes, con grandes superficies de andenerías, canalización y producción agrícola, así como con el desarrollo lingüístico en el área de San Pedro en base al Kunza, el Inca Tupak Yupanki incorporó esta región al imperio incaico.

De esta forma el Tawantinsuyu, quedó conformado en el Sur por la provincia que denominó Collasuyu, con centro administrativo principal en Catarpe y de menor importancia en Turi. En este último poblado perteneciente a la tradición del desierto, fue acondicionado un gran edificio de adobe (kallanka) que cumplió funciones ceremoniales, de protección y administración similares a los de Catarpe. Por Turi pasa el camino del inca, lo que potenció su edificación.

Al igual que con la época de influencia Tiwanaku, en este período no hubo una invasión militar con derrota bélica de las aldeas de Antofagasta, más bien hubo una cierta dominación política, funcional a los intereses imperiales de abastecimiento de pastos, aguas, alimento y animales en su ruta de conquista en dirección a Copiapó.

Las mayores evidencias de dominación se dan en el reorganizamiento de la población, en base a una administración central, el nuevo culto al Sol y la introducción del idioma Quechua.

En el caso de la fosa de Atacama, el principal centro Inca está en Catarpe, centro administrativo localizado a pocos kilómetros de Quitor, centro político atacameño. En Catarpe se preparaban y planificaban la conducción del tráfico multiétnico preexistente.

La Mita o trabajo obligatorio local, impuesto a los habitantes atacameños, sirvió para acopiar riquezas locales, las que eran enviadas a los centros del imperio.

En Catarpe se regulaba el tráfico de tributos provenientes de Chile, lo que sumado al alimento (charqui, papas, harina) metales (cobre y oro), piedras semipreciosas (malaquita y ónix), madera y cerámica, de la fosa de Atacama, constituían bienes altamente demandados por el status cuzqueño (Núñez, 1992).

Se postula que durante esta época, el envío de productos derivados de la minería se habría incrementado, estimulando una mayor especialización productiva y mayor nivel de intercambio con el centro administrativo del Perú.

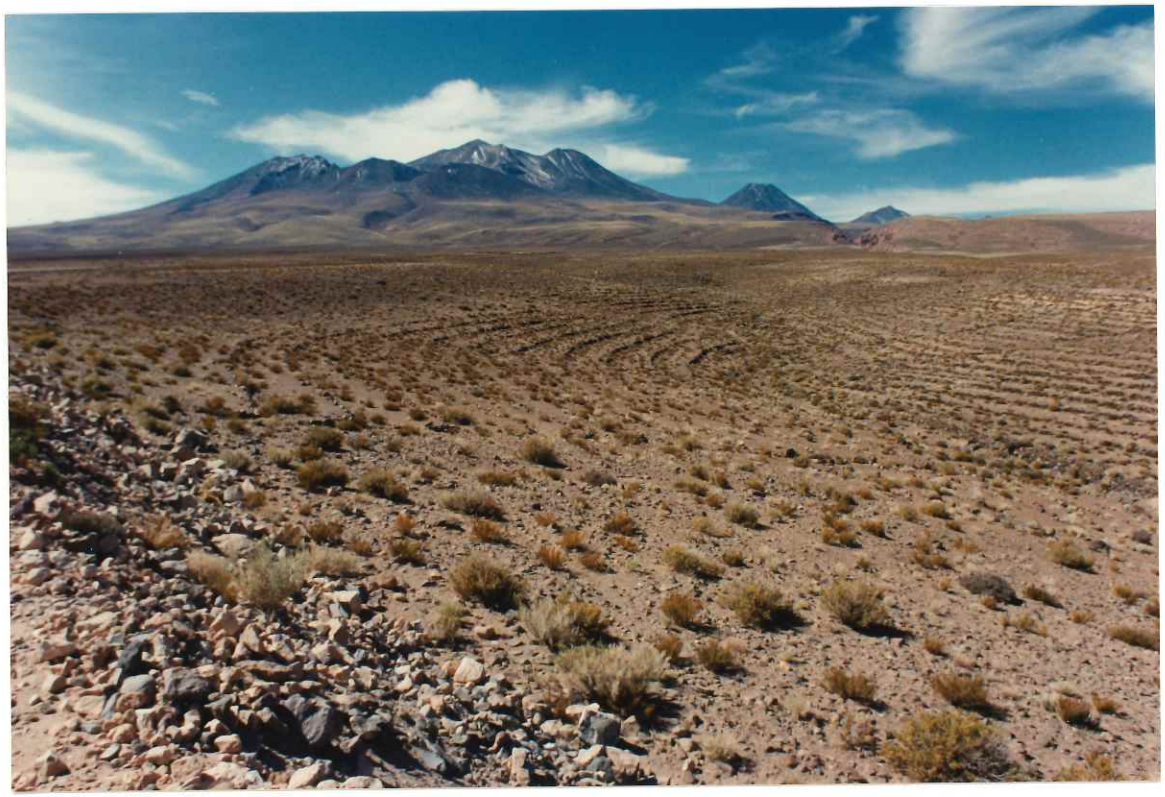
Un elemento característico de este período, es el entrecruzamiento de cerámicas provenientes del área de Jujuy, puna argentina, Sur de Bolivia y los oasis atacameños, lo que evidencia un afianzamiento de los flujos de intercambio, esta vez reorientados hacia el área cuzqueña y con énfasis en la minería.

Culturalmente, se aprecia una reducción del complejo alucinógenos, que es reemplazado por el uso de la hoja de coca, al igual que ciertos ritos locales que son reemplazados por el culto al Sol, con la edificación de centros ceremoniales en las cumbres de los volcanes más preeminentes, "Santuarios de altura " como el del Vn. Licancabur y Pili.

Las principales actividades en San Pedro de Atacama siguieron siendo las agrícolas, con cultivos entre otros de maíz y zapallos, sin embargo la falta de forraje influyó a sus habitantes a ampliarse y diversificarse hacia localidades aledañas dentro de la fosa. Socaire fue uno de esos casos, donde existen cerca de 2.000 has. de andenerías ubicadas en el piso vegetacional privilegiado para el pastoreo de camélidos, las que eran irrigadas en este período **Foto 4**.

En este cuadro se produce la inesperada invasión española, que marca el fin de la autonomía atacameña y aymara en la región de Antofagasta.

Foto 4: Terrazas de cultivo precolombinas abandonadas de Socaire.



2.1.3 Dotación y manejo de recursos en períodos históricos

2.1.3.1 La colonia

La invasión española, desarticuló e impactó gran parte de las actividades indígenas en la región de Antofagasta.

La lejanía y aislamiento de los poblados del interior, facilitaron la mantención de la guerra durante más años que en otros sectores más accesibles. Para ello, los habitantes huyeron a sitios aún más lejanos, escondieron y quemaron la producción.

En cuanto se calmó un poco la situación, se constituyó en San Pedro de Atacama (Atacama la Alta) una doctrina de indios, con parroquia bajo cuya jurisdicción se encontraba Toconao, Socaire y Peine (Casassas, in CONSECOL, 1988).

Al poco andar de la ocupación española, empiezan a coexistir en los oasis del interior, cultivos precolombinos (maíz, algarroba, papa) con los de trigo, uva y frutos de origen español (Zapater, 1977).

A finales del siglo XVI, las rutas de intercambio entre Chile (Copiapó al sur) y Perú, así como la de Chuquisaca (Sucre) y Cobija, ambas con paso obligado por el área de estudio, se fueron consolidando con puntos de reabastecimiento, de pastos y agua, así como alimentos y descanso, en los oasis atacameños y loinos. A principios de siglo XVII, se empiezan a desarrollar los primeros rebaños de ovejas, cabras y algunos vacunos y mulares.

En estas fechas, el descubrimiento de minas en el noroeste argentino y en Bolivia (Cochinoco cerca de Jujui y Potosí), potencia el intercambio de mercaderías por los oasis atacameños, donde la población hablaba además del kunza (su propia lengua hoy desaparecida), el aymara, quechua y español. Los atacameños se convierten en los nuevos "chasquis".

Una de las mercancías que más se transportó por manos atacameñas, fue el congrio seco, desde el litoral hasta las altiplanicies potosinas. La antigua tradición de intercambio regional, fue aprovechada por el encomendero Velázquez, para profitar del conocimiento de las rutas y técnicas atacameñas.

No obstante la tradicional actividad minera y las grandes riquezas existentes en la región atacameña, los españoles no se vieron especialmente enriquecidos, debido a que los yacimientos tarapaqueños y transandinos, concentraron sus esfuerzos (Villalobos, 1979).

Comprendiendo los atacameños que las minas descubiertas y/o explotadas por los españoles, implicaba para ellos pérdida de tierras, autonomía y propiedad, se negaron a colaborar con los europeos en su búsqueda, a pesar de sus grandes conocimientos orfebres y de metalurgia (Núñez, 1992).

En el siglo XVII, los cultivos de origen español, se extendieron por toda la región, en especial entorno a Chiu Chiu, con la alfalfa, las vides en Toconao y el trigo y alfalfa en San Pedro. No obstante los nuevos cultivos, el cobro de tributos y la estructura administrativa española, favorecieron el despoblamiento de los oasis, aumentando la aridez en las chacras.

Tanto por la costumbre de intercambiar productos a gran distancia, como por las imposiciones tributarias, los atacameños comenzaron a abandonar tierras, y a principios del siglo XVIII, hay declaraciones de que la tierra atacameña no proporciona todos los recursos necesarios (Núñez op. cit). Esto último no está claro si se debió a una estrategia de las haciendas atacameñas para atraer población, una aridización climática que obligó a una migración de la población autóctona, o sólo el impacto del caravaneo, la arriería y ganadería generadas por Potosí.

En el siglo XVIII, la principal característica de la población atacameña es su alta movilidad espacial. De hecho cerca del 60% de la población pagaba sus tributos al corregidor y sin embargo no vivía en Atacama la alta, sino en diversos oasis, a lo largo de los andes centrales (Hidalgo, 1984).

Este siglo puede ser considerado como de una gran crisis en la región atacameña. En Atacama la baja (Chiu Chiu) se empiezan a acentuar períodos de sequía y la población va perdiendo el conocimiento de cómo cultivar la tierra. En Atacama la alta, gran parte de la población está ausente y se ha dirigido a los valles húmedos del noroeste argentino o Lípez. Sin embargo, vuelven a San Pedro a pagar sus tributos, básicamente con productos agrícolas, y no quieren perder sus derechos, propiedades ni vinculaciones con la tierra atacameña.

A fines del siglo XVIII, el tipo de tributación según origen y no residencia, entró en crisis. Los corregidores de Tucumán y Jujuy, empiezan a cobrar tributos directamente, reduciéndose aún más el ingreso de mercancías a San Pedro, redundando en mayor abandono de tierras. Influyó también en la crisis, los cambios en la tenencia de las tierras, que empezaron a pasar a manos de españoles, terminándose con su carácter comunitario, lo que se asoció a represión contra los indios y aumento de tributos.

A estos cambios, se sumó un proceso que venía desarrollándose desde la llegada de los españoles, consistente en el quiebre de la complementariedad en el uso y manejo de los distintos pisos ecológicos, el cual nunca desapareció por completo, pero se vio seriamente afectado, por la concentración de las actividades comerciales, la ruptura de propiedades interpisos, el control de la movilidad de la población y del trueque (Misetic, 1990).

La crisis de finales de siglo, alcanzó su punto máximo con la rebelión andina de Tupaj amaru, que impulsó a las comunidades de la región a rebelarse contra el régimen opresor de los corregidores.

Con posterioridad a algunas escaramuzas y hechos de sangre, la rebelión fracasó y las comunidades altoandinas, supieron reconciliarse con los españoles sin ser avasalladas, obteniendo el perdón para los sublevados. Una vez más supieron adaptarse a las condiciones negativas y mantenerse incluso con algunos avances, respecto de los corregidores.

2.1.3.2 Siglos XIX y XX.

La llegada de la independencia favoreció en cierta medida a los oasis atacameños y loinos. La inserción de Atacama La Alta y La Baja en los nuevos países independizados, indujo a los gobernantes de Argentina y Bolivia, que se disputaban el territorio, a proponer la eximición de tributos a los deprimidos oasis.

Sin embargo, junto a la independencia se dio el decaimiento final de las minas del sur de Bolivia, lo que condujo al término de la arriería macroregional. Las haciendas dedicadas al forraje y engorda de vacunos, mulares y caballares, decayeron y debieron volver a dedicarse a la agricultura. Para ello, una primera ola de modernidad, favoreció la entrega de tierras en arriendo y la llegada de cada vez más numerosos, burócratas y políticos provenientes de Bolivia.

El cobro de tributos retornó, con el objeto de financiar un estado naciente. La política citadina empezó a imponer los criterios de una sociedad basada en el comercio y la plusvalía, contradiciéndose irreversiblemente con el trueque y la complementariedad preexistente.

El nuevo modelo impulsó el término de las tierras comunitarias, entregando títulos de propiedad individual, con el fin de aumentar y asegurar los tributos. Políticas divagantes, fueron perjudicando a los aborígenes, concentrando la tierra en manos foráneas, terminándose con la estructura tradicional.

Junto con esta nueva situación, el impulso estatal al mejoramiento de los cultivos, en especial con bueyes, arados, redistribución de la tierra y la extensión de los tapiales, para reducir la insolación directa, favoreciendo los cultivos de alfalfa, trigo y maíz, generó un progresivo incremento de la superficie cultivada.

A mediados del siglo XIX, se ve un floreciente incremento de la actividad agrícola, con plantación de frutales en Toconao y San Pedro, así como un aumento de la autosustentación alimentaria. En esto influyó el rol proteccionista del gobierno boliviano.

Uno de los principales esfuerzos del gobierno boliviano, fue mantener y potenciar la ruta Potosí Cobija, para lo cual aplicó políticas de apoyo a la ganadería y agricultura de Calama y el Loa. Entregó semillas, mulas sanas y técnicas de herrería.

A diferencia del Sur de Bolivia, la minería de la región de Antofagasta comenzó a crecer y expandirse. El decaimiento de Potosí, se vio contrapesado con el descubrimiento o explotación de numerosos yacimientos, como Mejillones y Chuquicamata. En todos ellos, la población del interior, encontró sustento, tanto por sus capacidades físicas resistentes a las características climáticas en el desierto, como por su tradición de orfebres y mineros.

El control de la gran riqueza salitrera condujo a los países de la región a la guerra del Pacífico. A ella se sumó una larga seguidilla de rebeliones y conflictos bélicos limítrofes, que afectaron a la región, en especial por la confiscación de los forrajes y aguas, por las tropas beligerantes. No obstante ello, la actividad ganadera se acentuó, en desmedro de la agricultura tradicional, que se vio relegada a un segundo plano.

Con el triunfo de Chile y la ocupación militar, se potenció la actividad salitrera y minera, apoyada por los capitales extranjeros, en especial ingleses.

Esto indujo a los sectores agrícolas del interior, en especial en la cuenca media del Loa, a un importante aumento de la actividad ganadera, que potenció las alfalfas de Calama. La llegada de ganado con destino a los cantones salitreros desde el noroeste argentino, se vio facilitada por postas y vegas a lo largo de la ruta. La combinación de aguas dulces y saladas, potenciaba el crecimiento de pastos, que aseguraba la engorda del ganado en 60 días. Así la región, volvió a convertirse en paso obligado de las recuas de mulas, caballares y vacunos, desde Argentina, hacia Perú y Chile **Figura 10**.

De acuerdo a los relatos de Bertrand, (1885), fuertes lluvias de verano perjudicaron actividades agrícolas en los oasis. Todo lo anterior deja la impresión que un ciclo climático relativamente húmedo pero concentrado afectó la región, favoreciendo la aparición de aguadas y vegas, que facilitaron el incremento de los arreos de ganado desde Salta en Argentina.

A finales del siglo XIX, cerca de 1260 hectáreas, eran cultivadas en los ayllos de San Pedro. A principios de este siglo, Calama poseía cerca de 1780 has. regadas, mientras que Chiu Chiu, 590 has., Lira (1921).

Las crecientes demandas de carnes, eran suplidas por la ya consolidada ruta Chaco, Salta, Puna de Atacama, San Pedro, Calama, oficinas salitreras. Los oasis eran los puntos de engorda y recuperación de las extenuantes jornadas de arreo altoandino, donde la muerte de animales por deshidratación era alta.

A la carne se sumaban las necesidades de mulares para el trabajo de carga pesado en las faenas mineras, tiro de carretas y acarreo de minerales, agua y leña. Estas necesidades fueron suplidas, tanto por lo oasis atacameños, como desde el Loa y las quebradas tarapaqueñas.

Los arrieros y baqueanos atacameños, eran irremplazables, por su experiencia en el manejo de animales, así como por su conocimiento de las rutas, aguadas y vegas altoandinas. El acarreo de ganado desde el valle Calchaquí, tomaba cerca de 20 días, cubriendo unos 1.000 kilómetros, el cual se desarrollaba en todas las estaciones del año, incluso en pleno invierno, donde los más altos pasos fronterizos, acostumbraban estar cubiertos por nieve y afectados por viento blanco, que provocaba grandes estragos entre los piños. No eran extraños ciertos inviernos excepcionalmente adversos (Núñez, op. cit).

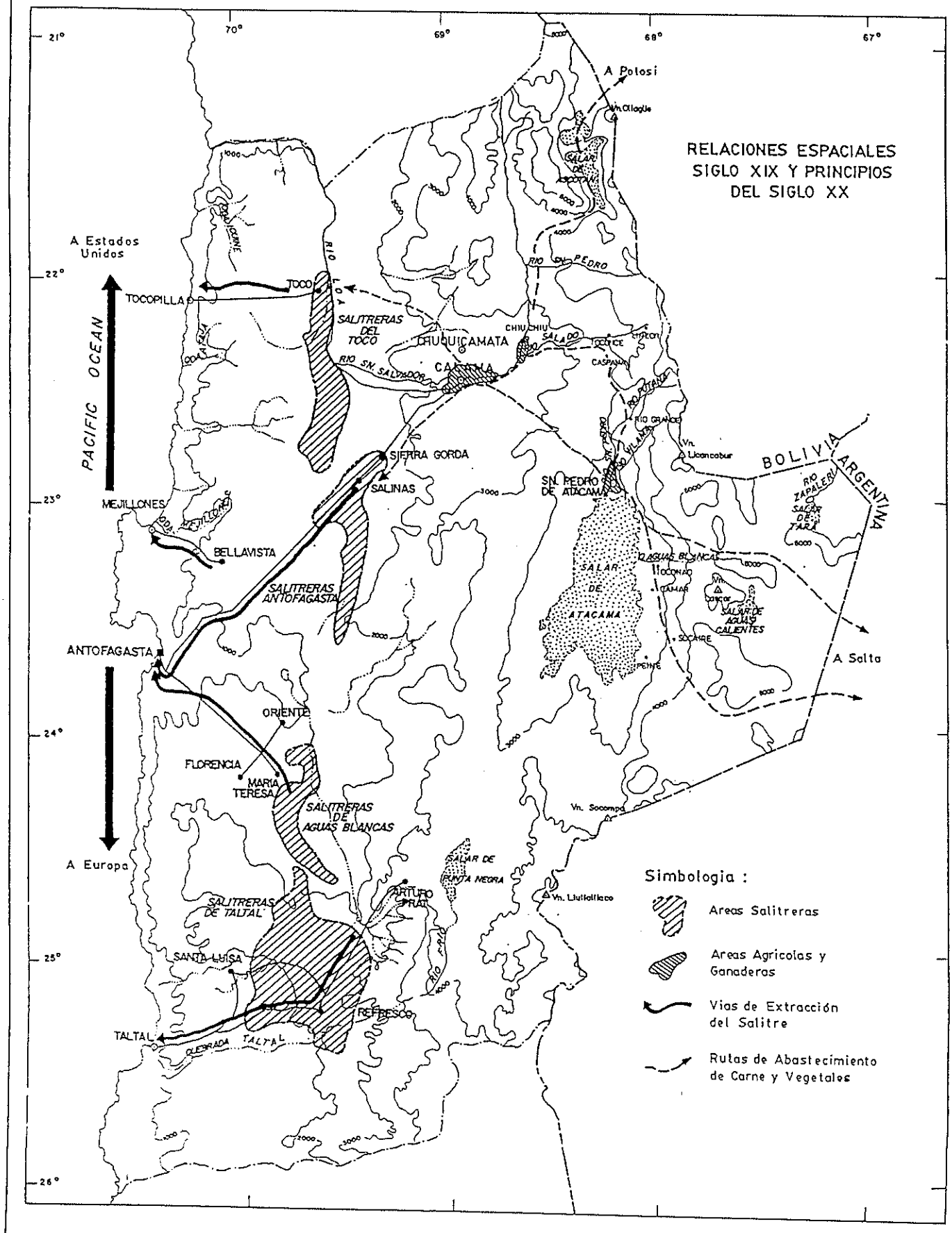

RELACIONES ESPACIALES
SIGLO XIX Y PRINCIPIOS
DEL SIGLO XX
A Potosi
A Estados Unidos
PACIFIC OCEAN
TOCOPILLA
TOCO
SALITRERAS DEL TOCO
CHUQUICAMATA
CHIU CHIU
CALAMA
SIERRA GORDA
SALINAS
MEJILLONES
BELLAVISTA
SALITRERAS ANTOFAGASTA
ANTOFAGASTA
ORIENTE
FLORENCIA
MARIA TERESA
SALITRERAS DE AGUAS BLANCAS
A Europa
SALITRERAS DE TALTAL
SANTA LUISA
TALTAL
QUEBRADA TALTAL
REFRESCO
ARTURO PRAT
SALAR DE PUNTA NEGRA
SAN PEDRO DE ATACAMA
SALAR DE ATACAMA
AGUAS BLANCAS
TOCONAO
CAMAR
SOCAIRE
PEINE
SALAR DE AGUAS CALIENTES
SALAR DE TARA
BOLIVIA
ARGENTINA
A Salta
Vn. Llullaillaco
Vn. Socompa
Vn. Licancabur
Simbologia :
Areas Salitreras
Areas Agricolas y Ganaderas
Vias de Extracción del Salitre
Rutas de Abastecimiento de Carne y Vegetales

Figura 10

La construcción del ferrocarril de Antofagasta a Calama a fines del siglo XIX, redujo la importancia de los mulares y los arreos, que comenzaron a transportarse vía La Quiaca, Uyuni y en tren a Calama **(Foto 5)**

Al quedar San Pedro al margen del ferrocarril, los excedentes de la alfalfa destinada al ganado en pié, debió dirigirse hacia las salitreras, que mantenían una importante demanda de pastos por el uso de mulas en las faenas extractivas.

De todas maneras, a principios de siglo, las actividades laborales primordiales en la zona, eran por un lado la ganadería y los servicios al ganado y por otro la creciente actividad minera en Chuquicamata, al alero de la cual, Calama fue transformándose en una bullante ciudad.

La actividad salitrera mantenía una gran relevancia regional. Numerosos cantones se ubicaban en la pampa central **Figura 10**, los que se relacionaban con los oasis del interior, por la adquisición de algunos productos agrícolas frescos y para la engorda de ganado proveniente de Salta.

Sin embargo el principal recurso altiplánico que era aprovechado por la actividad minera a principios de siglo, era el agua.

Sólo en la cuenca del río Loa se extraían ca. 100 lts/seg para distintos cantones y oficinas salitreras. En esa época, Chuquicamata Chile Exploration Co., extraía 91 lts/seg del río San Pedro para lixiviación y tratamiento eléctrico de minerales cupríferos (Lira, 1921).

Foto 5: Estación semiabandonada de San Pedro de Conchi. Ferrocarril Antofagasta-Uyuni.

Estas extracciones y las proyecciones de la población, junto con el incremento de la actividad salitrera prevista en aquel entonces, destacaban la necesidad de restringir el derroche de aguas en las vegas de Calama y Chiu Chiu, con el fin de optimizar su uso en otros rubros (Lira, 1921). De esta forma, el conflicto del agua muestra tempranamente las contradicciones de una sociedad moderna emergente.

A finales del siglo XIX, principios del siglo XX, nuevamente hay indicios de cambios climáticos perjudiciales para la actividad agrícola en los oasis, debido al aumento de las sequías, aparición de heladas y nevazones que afectaron incluso los oasis del fondo de la fosa, como la ocurrida en 1911 (Núñez, op. cit). En verano la espera de lluvias estivales benéficas, eran reemplazadas por grandes avalanchas o inundaciones provenientes del río San Pedro, debido a la alta concentración e intensidad de lluvias, en contexto de sequías prolongadas.

Las demandas de forraje de las salitreras, empezaron a decaer con la progresiva automatización de las faenas y principalmente con el creciente cierre de las oficinas, lo que redujo vertiginosamente la orientación ganadera de gran escala que en algún momento llegó a tener San Pedro. En los oasis de Calama, nuevamente el reemplazo de la actividad salitrera por la cuprífera salvó la ganadería local, que siguió activa para satisfacer las demandas de carne de la población minera.

El ferrocarril y el advenimiento de la actividad cuprífera, trajo consigo un aumento de la demanda de agua para fines extractivos, de transporte y de consumo en los pujantes centros mineros, lo que redundó en la solicitud de aprovechamiento y consumo de importantes y crecientes volúmenes de agua de los ríos y quebradas regionales, tradicionalmente en manos comunitarias. El inicio a principios de siglo, de esta aguda competencia por el vital elemento favoreció la tendencia de despoblamiento y depresión de la actividad agrícola de los oasis.

Entre los oasis más perjudicados, destacan los de la cuenca del Loa, que fueron cediendo los derechos de agua en forma más rápida, debido a su mayor cercanía a los nuevos polos de desarrollo regional, su tradicional menor capacidad adaptativa frente a imposiciones productivas y culturales, así como su mayor mestizaje y condiciones ambientales menos favorables para la autosustentación alimentaria, lo que implicaba mayor dependencia económica de las ventas de pastos y carne a la minería y consumos urbanos.

El siglo XX, ha sido un período de quiebre definitivo de algunas de las últimas tradiciones prehispánicas, como el caravaneo de larga distancia, el trueque con las comunidades altoandinas argentinas y bolivianas, la movilidad a través de las cada vez más rígidas fronteras internacionales, la distribución del trabajo familiar, el cultivo tradicional en los oasis, la tenencia del agua sin intervenciones de empresas mineras o de agua potable, etc.

El aumento de la emigración hacia los grandes centros urbanos regionales de Calama y Antofagasta, junto con el decaimiento estratégico de la agricultura, han empezado a revertirse recién en los 90, debido a la creciente actividad turística, que está generando visitas superiores a los 25.000 personas al año, lo que obviamente plantea numerosas interrogantes para el futuro de los oasis, respecto de su capacidad de carga, disponibilidad de agua, transculturación y sustentación a largo plazo.

2.2 Topoclimatología de la Puna de Atacama, Región de Antofagasta

2.2.1 Climatología sinóptica

El área de estudio enfrenta la mayor profundidad de la fosa marina de Atacama en la frontera Chile-Perú (7-8 Km.), la cual está limitada por el Norte y Sur por abruptos escarpes correspondientes a los "ridges" o lomos de Nazca y Juan Fernández. Dicha fosa tectónica grafica la fuerte subducción existente de la placa de Nazca, sin una cuenca marginal al estilo de las Marianas, sino con un arco magmático activo instalado directamente sobre el borde continental (Mpodozis 1986). La zona de subducción señalada tiene características agudas, con zona sísmica inclinada entre 25° y 30° al Oeste lo que explica el fuerte volcanismo Cuaternario (Gardeweg y Ramírez, 1986).

Las anteriores variables estructurales, caracterizan al gran bloque solevantado altiplánico, dinámico en términos tectónicos y volcánicos, el cual se antepuso a la gran cuenca central del Continente, modificando la circulación general atmosférica en estas latitudes, generando en términos generales su actual configuración.

Entre las características climáticas típicas a nivel del mar, destaca la subsidencia anticiclonal, que genera cielos despejados y secos predominantes, ligado a una persistente inversión térmica de la región, verdadera barrera al acceso de frentes de Baja con precipitaciones del occidente (Aceituno, 1983 y Romero, 1985). Sin embargo la fuerte radiación implica altos niveles de evaporación, más aún por la sequedad de la masa de aire superficial y por el gradiente generado con las azonales bajas temperaturas superficiales del mar, (surgencias de la corriente de Humboldt). Esta humedad litoral, se explica por la capa límite descrita por Fuenzalida, (1983), por lo que la ocurrencia de días nublados (camanchacas) pareciera estar ligada a un debilitamiento de la subsidencia de escala sinóptica, que no sería capaz de deprimir la capa límite por debajo del nivel de condensación.

En dirección al Este, en particular hacia la Pampa Central, se da la mayor sequedad absoluta, ya que la Cordillera de la Costa impide la penetración de las influencias marinas y porque las precipitaciones convectivas altiplánicas, descargan sus reservas en el Altiplano y precordillera. Sin embargo, este sector se transforma en un receptáculo importante de las aguas subterráneas generadas en los niveles topográficos superiores.

Por lo anterior, el clima general típico de la zona en que se ubica la mayor parte de la región, corresponde a un sistema Arido definido por Romero, (1985), como un clima " con influencias anticiclonales cálidas predominantes durante la mayor parte del año", cuya extensión abarca en términos latitudinales una superficie que tiene por el Norte la ciudad de Arica y por el Sur la ciudad de Chañaral, presentando como principal rasgo la falta casi absoluta de precipitaciones, con ligeras modificaciones en la franja costera, las que se manifiestan por una sucesión diaria y regular de alta nubosidad y humedad relativa. En términos longitudinales, las influencias anticiclonales, alcanzan las estribaciones precordilleranas, donde empiezan a sentirse los efectos

de las precipitaciones estivales orientales, denominadas "Invierno Boliviano" el cual puede ser descrito como un clima de "influencias ciclonales de origen amazónico estival".

Una vez que dichas masas de aire cargadas de humedad, entran en contacto con la cordillera andina, los efectos locales se acentúan, lo que implica alta variabilidad de los montos de precipitación y una distribución no sólo ligada a la topografía . Por ello se hace necesario una comprensión más detallada de los cursos probables a seguir por las masas potencialmente precipitables, al igual que como la exposición, geometría de las laderas, pendientes, redes de drenaje, relaciones estructurales con las geoformas existentes y otras características del modelo de terreno, que inciden sobre el régimen pluviométrico.

2.2.1.1 Circulación atmosférica estival

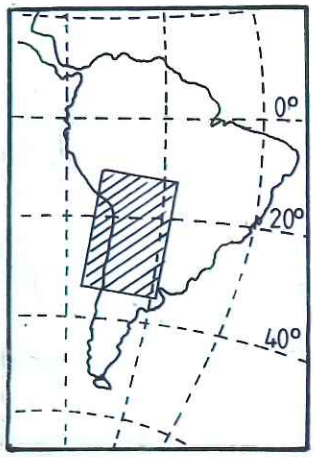
La zonalidad latitudinal que caracteriza a esta región, queda definida por su posición subtropical, con fuertes montos de radiación incidente, ligada a la desviación del Ecuador Térmico que alcanza su máxima expresión en la Estación de La Quiaca en la frontera Argentino-Boliviana, para el mes de Enero.

Esta célula de altas temperaturas implica el posicionamiento de una fuerte Baja presión superficial en el interior del Continente, mientras que los patrones de circulación general de la alta atmósfera en los meses de verano (Diciembre a Marzo), se caracterizan por la localización sobre las mesetas altiplánicas y montañas subtropicales, de una célula de altas presiones denominada "Alta de Bolivia", que a 200 mb favorece el desplazamiento en dirección al Sur de masas de aire cargadas de humedad, provenientes de la fuerte actividad convectiva en el centro del continente.

Comparando períodos húmedos y secos, en base a los campos medios de altura geopotencial a 200 hpa, Aceituno y Montecinos, (1992), plantean que los eventos húmedos estivales, están asociados con una alta de Bolivia relativamente más intensa y desplazada al Sur. La posición de dicha célula, desvía los anillos de vientos del Oeste, por lo que pantanos barométricos sobre el altiplano chileno, favorecen la penetración de flujos húmedos desde el Norte y Este.

En la **Figura 11** puede apreciarse una secuencia de imágenes de satélite en Febrero de 1993. Numerosos focos de actividad convectiva son discernibles a lo largo de los Andes centrales, alcanzando hasta la latitud de Copiapó por el margen Oriental de la Cordillera. La mayoría de los centros de convección surgen al oriente de los Andes y son desplazados hacia el Occidente, favoreciendo la alimentación de humedad hacia el altiplano chileno. Los pantanos barométricos se grafican por la escasa distorsión de las columnas convectivas y la ausencia de lineamientos nubosos típicos de la activación del Jet Stream subtropical

En el radiosonda de Antofagasta, la advección de humedad es graficada **Figura 12a** por la saturación del aire alrededor de los 5.000 mts, con vientos moderados desde el este y gran inestabilidad de la columna, que favorece la convección.



SECUENCIA DE IMAGENES
SINOPTICAS DE VERANO
NORTE DE CHILE
(ENERO FEBRERO 1993)

21/01/93	36/01/93	31/01/93	01/02/93	02/02/93
02/03/93	04/02/93	05/02/93	06/02/93	07/02/93
08/02/93	09/02/93	10/02/93	11/02/93	14/02/93

Fuente: Vuille, 1996

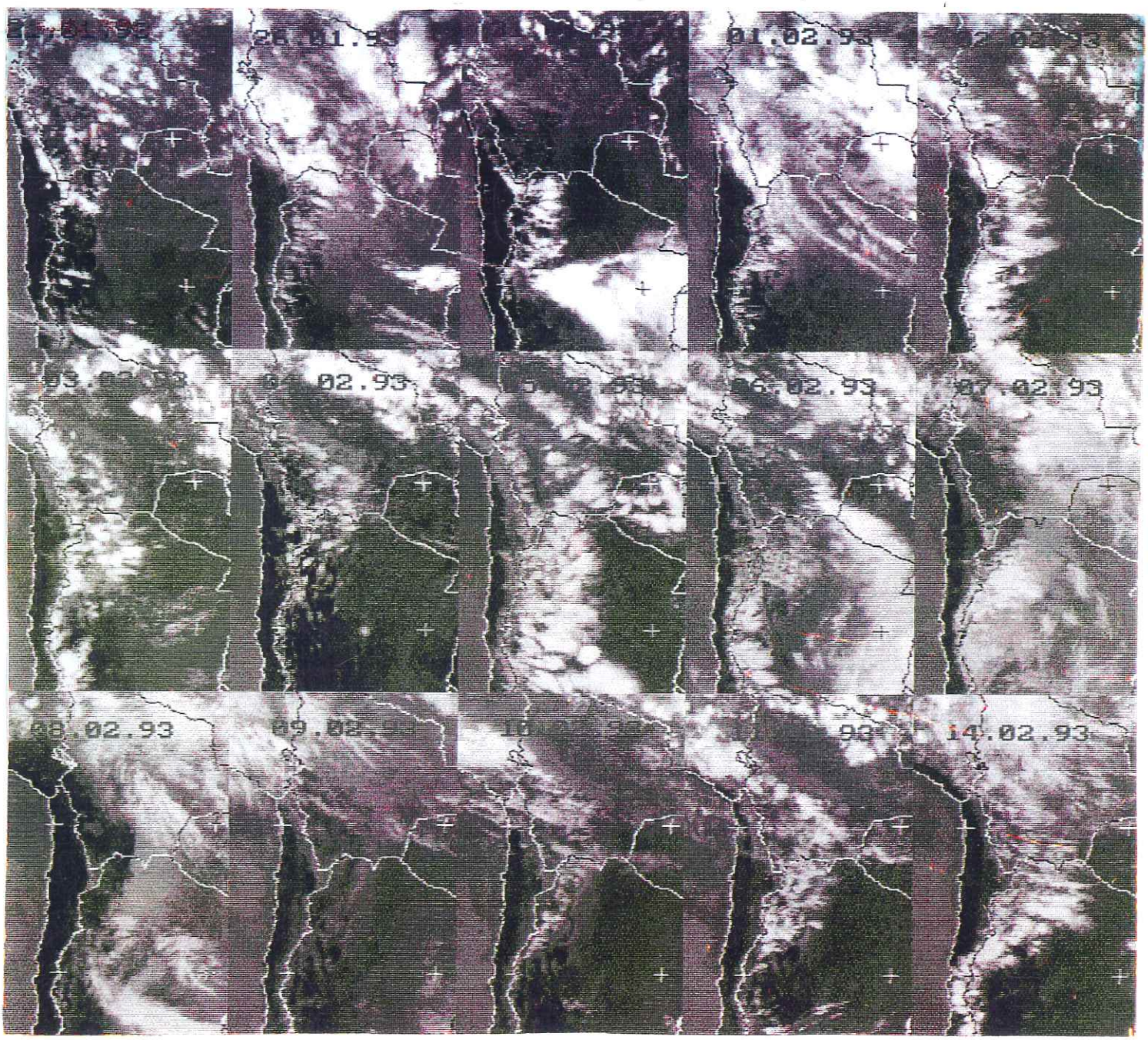
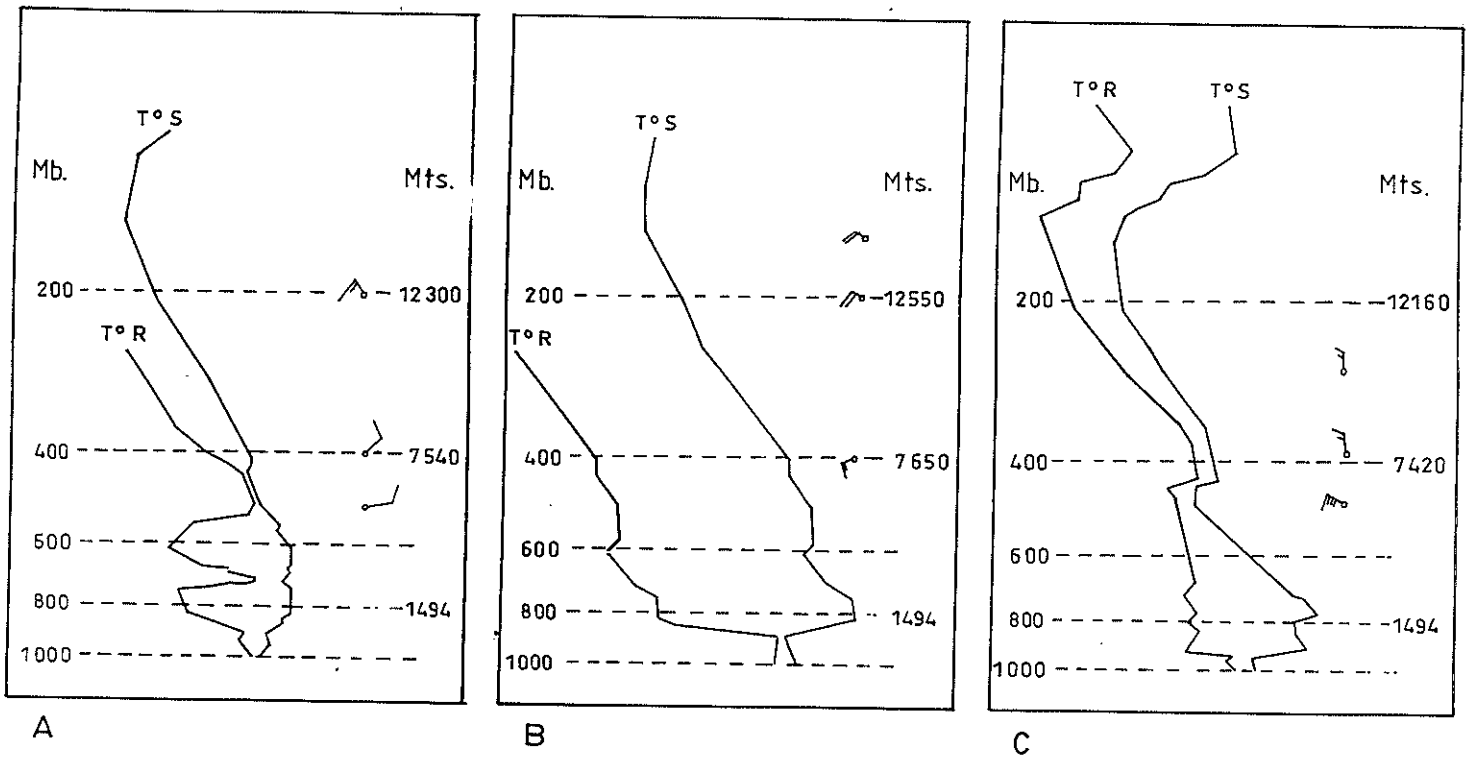


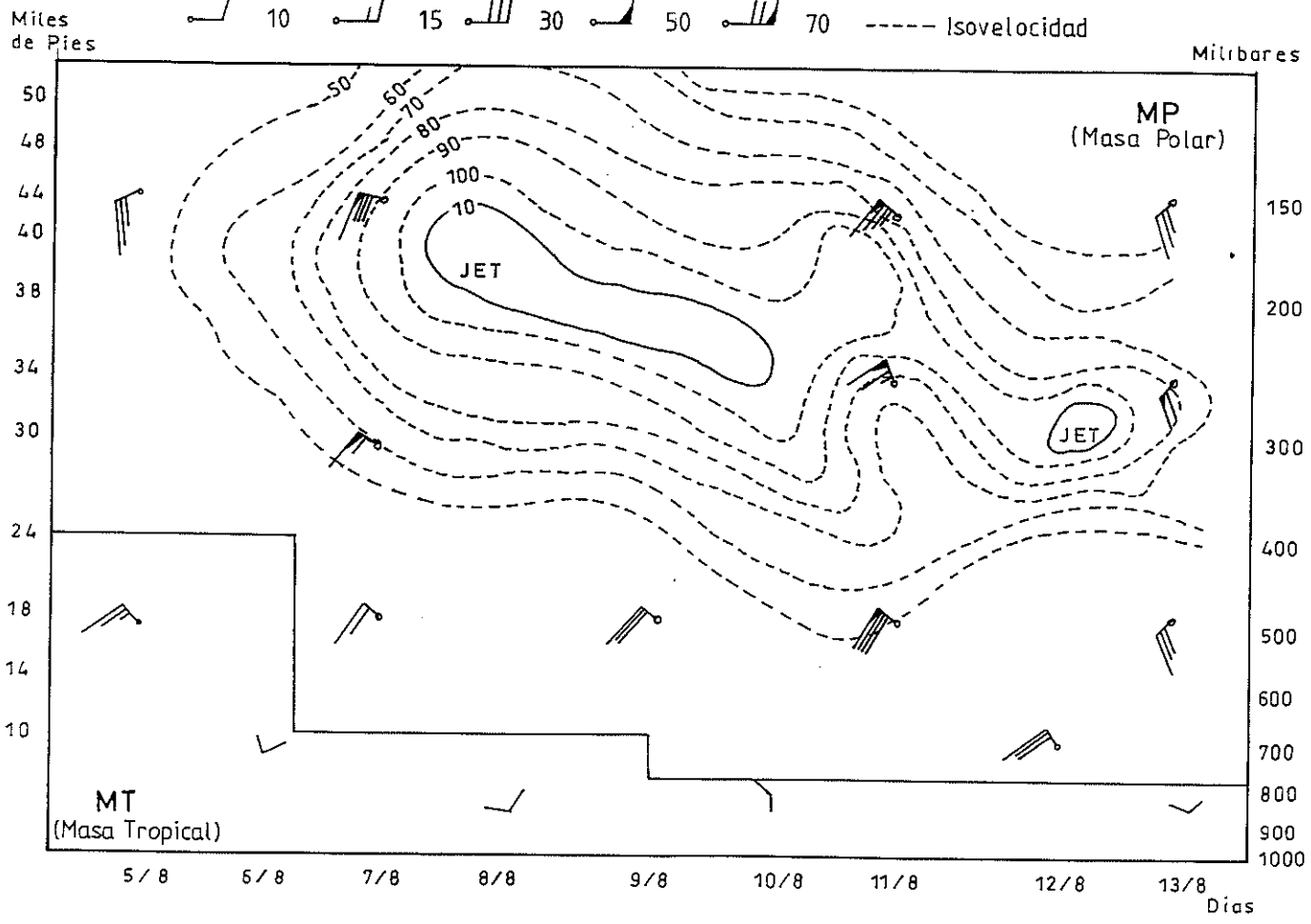
Figura 11



[T°S = Temperatura Aire Seco ; T°R = Temperatura de Rocio]

Velocidad del Viento (nudos/segundo):

10 15 30 50 70 ----- Isovelocidad



D

Figura 12

En este contexto de circulación general desde el cuadrante Norte y Este, las masas de aire acceden al altiplano de Antofagasta a gran altura, donde son interceptadas por cordones volcánicos cordilleranos allí emplazados, los que favorecen su desplazamiento al Sur. En esta dinámica, la localización de islas de calor, centros convectivos con gradientes superadiabáticos por fuerte insolación superficial, potencia la ocurrencia de precipitaciones con gran intensidad horaria, por lo general en las tardes y con gran variabilidad espacial, relacionada directamente con la altura e intensidad de las islas térmicas, e inversamente con la latitud.

Estas lluvias de carácter convectivo, se concentran espacialmente en torno a fosas tectónicas con salares y laderas con fuerte insolación e importantes desniveles altimétricos, lo que favorece la acumulación de grandes cantidades de calor, las que se observan como anomalías térmicas positivas en la Cuenca Alta del río Loa y Salado y las laderas orientales del Salar de Atacama, sobre los 3.500 m (**Figura 19**).

2.2.1.2 Circulación atmosférica invernal

En el invierno austral, la posición normal en superficie del Anticiclón del Pacífico, bloquea masas frontales occidentales, desviándolas al Sur.

La **Figura 13** corresponde a una imagen GOES de Mayo de 1990, donde aparece la condición típica del norte de Chile en este período. Masas frontales cruzan el país, a la latitud de Concepción, mientras que en el Norte grande, la ausencia de nubosidad evidencia predominio anticiclónico en superficie y vientos del Oeste en altura, que impiden cualquier aproximación de la humedad tropical, caracterizada como núcleos convectivos ubicados al Norte de Perú, Ecuador y Colombia.

En la **Figura 12b** es posible apreciar la estructura vertical de la atmósfera normal de la mayor parte del año en Antofagasta, con inversión térmica en los niveles más bajos (hasta ± 1500 m.s.n.m.) y con subsidencia anticiclonal en toda la columna, con bajísima humedad relativa del aire y vientos predominantes del Oeste.

Según Aceituno y Montecinos (op. cit), los períodos secos de invierno se caracterizan por una Alta de Bolivia menos intensa y centrada más al Norte, por lo que las condiciones normales en el altiplano de Antofagasta evidencian un recrudecimiento de alisios occidentales, con carácter seco y frío (**Figura 12b**).

En presencia de la anterior circulación en altura, en superficie y en forma ocasional, el anticiclón del Pacífico puede presentarse menos intenso y desplazado al Norte o dividido en dos células, lo que facilita la penetración de centros de baja presión segregados en altura provenientes del Occidente (**Figura 12c**).

SITUACION SINOPTICA TIPICA DE INVIERNO [MAYO 1990]

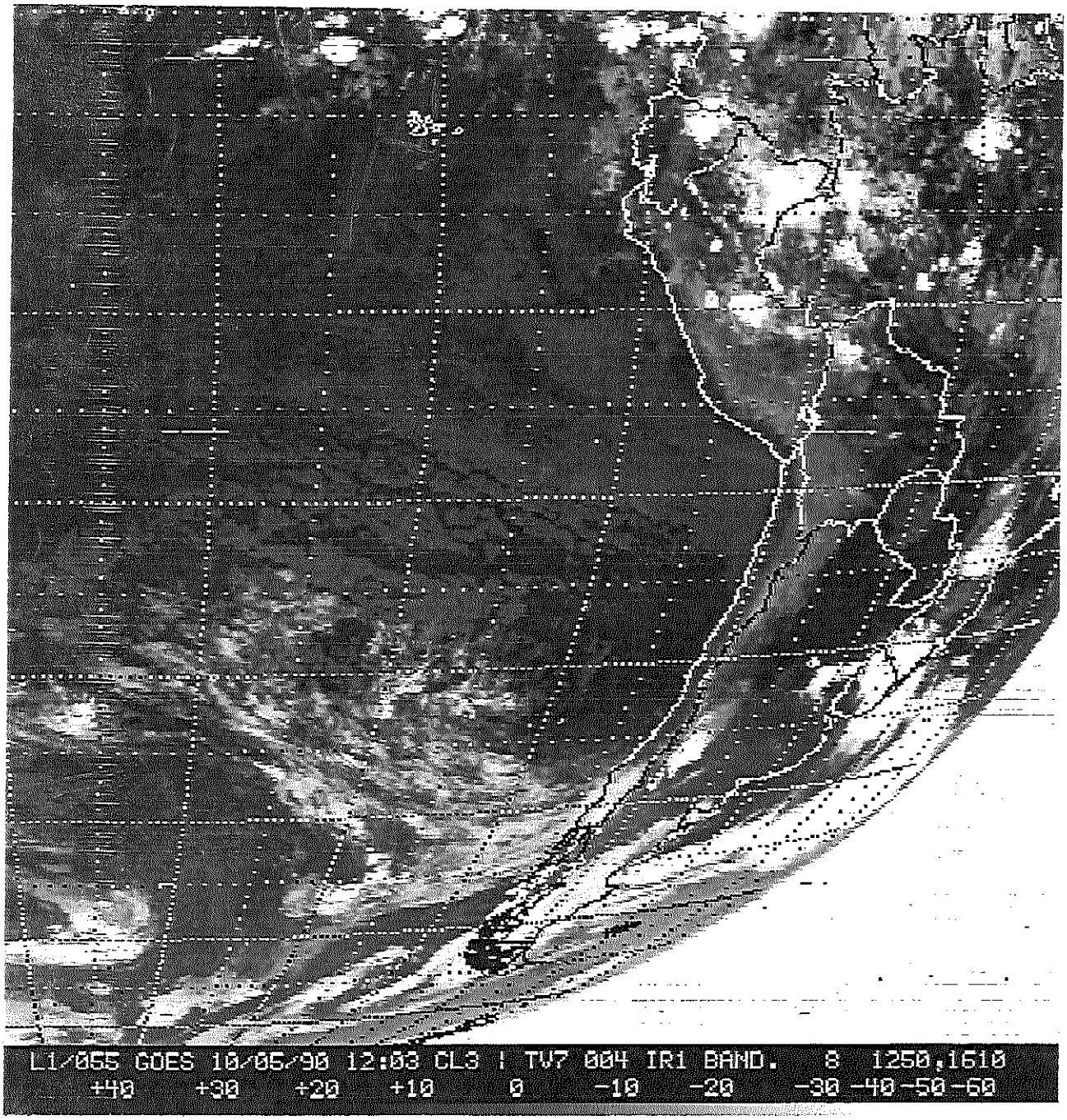


Figura 13

La penetración de dichos núcleos de masas frías genera un importante descenso del nivel de la Tropopausa, que a su vez gatilla un descenso de temperaturas, comprimiendo la masa tropical superficial característica de esta zona, gestando fuertes gradientes de presión con vientos potentes en superficie (**Figura 12d**).

La masa frontal que penetra al continente en estas latitudes, va acompañada de una intensa corriente en chorro de componente Norte y Oeste, que facilita la desviación de la masa frontal hacia el Sur a barlovento de la Cordillera andina (**Figura 12d**).

En estas condiciones, durante 1990, 1991, 1992 y 1993 importantes nevazones invernales afectaron al altiplano, las que fueron causadas por una ciclogénesis a barlovento de la cordillera andina que afectó a frentes que se desplazan de Norte a Sur, después de haber migrado más al Norte por la alta atmósfera, durante la activación del Jet Streams subtropical.

Las precipitaciones ocasionales como las descritas, han tenido carácter líquido en la zona costera, provocando fuertes aluviones con catastróficos resultados para ciudades como Antofagasta y Taltal (17 de Junio de 1991), mientras que en el Altiplano han tenido carácter nivoso, con un importante aporte a las napas y cuencas en altura, las que son objeto de recientes estudios (Vuille, 1996).

Junto al anterior tipo de penetración frontal, que evoluciona de Norte a Sur (Marzo-Abril 1992, Agosto 1993), se han producido ingresos de masas frontales frías, que han evolucionado de Sur a Norte (Mayo, 1990 y Junio 1992), las que se han asociado a debilitamiento y/o desplazamiento al Norte del Anticiclón del Pacífico.

Otra alternativa de evolución de Sur a Norte, se genera por el desprendimiento de una baja en altura o segregada, desde una masa frontal que no puede evolucionar al Sur, por la localización de una célula de Alta presión en latitudes patagónicas, por lo que hacia el Norte se comprime la masa tropical superficial, con fuertes vientos y precipitaciones.

2.2.1.3 Macrounidades climáticas

Los patrones de distribución de las precipitaciones se ligan fuertemente a la topografía, en particular a la altura. Una delimitación altitudinal de los niveles topográficos o macrounidades del relieve, con carácter funcional (Morfológico- climático-Hídrico-Vegetacional) implica una distribución Norte- Sur, semipermanente, y típica Oste-Este:

1 **Farellón costero.** De 0 a ± 1100 m.s.n.m. en una estrecha franja. Caracterizado por neblinas, altos contenidos salinos, escasas o nulas precipitaciones frontales invernales; gran cantidad de material fino superficial, que se desplaza por gravedad. Laderas planas y suaves con fuertes pendientes y escaso disectamiento, salvo el generado por las grandes quebradas.

2 **Cordillera de la Costa.** Con alturas culminantes ± 1500 m.s.n.m. Escaso disectamiento y extensión, gran discontinuidad y débil modelado actual de laderas. Nula humedad, ya que está fuera del alcance de las neblinas y de precipitaciones , salvo las muy ocasionales lluvias invernales.

3 **Pampa central.** Sector sólo disectado por el río Loa y escasas quebradas de funcionamiento muy ocasional , en un plano inclinado de 1000 a ± 2000 m.s.n.m. Los procesos actuales más importantes se ligan a las esporádicas fuertes precipitaciones cordilleranas que generan aluviones en las distintas quebradas que aportan material fino y grueso, depositados por mecanismos laminares de distribución del agua. En los fondos de las quebradas se aprecia sedimentación importante y generación de suelos con alternancias en sus características químicas.

4 **Precordillera** Desde ± 2000 m.s.n.m. a la divisoria de aguas continental. Con aumentos progresivos de precipitación estival, de grandes máximas ocasionales, que implican un altísimo disectamiento. Morfología de Sierras, las que se reducen en altura por mayor retención vegetativa y por el progresivo surgimiento del volcanismo, existencia de numerosas fosas controladas estructuralmente y la única red hídrica permanente constituida por el río Loa.

5 **Altiplano.** Con los cordones volcánicos principales y plateaux orientales con un promedio mayor a 4000 m.s.n.m. Gran alternancia de: fosas (con salares, bofedales y redes de drenaje con dirección al Este y endorréicas) con cordones volcánicos. Fuertes precipitaciones estivales, localmente influenciadas por las alturas dominantes y distancia a las fuentes de masas convectivas orientales.

Esta macrounidad está definida además por la altura regional de la línea de nieves permanentes, que se ubica entre los 4.500 y 5.000 m.s.n.m. (DGA, 1987 y Nogamy, 1976), lo que explica la escasa presencia de glaciares (Garín, 1987).

2.2.2 Topoclimatología

2.2.2.1 Régimen térmico

2.2.2.1.1 Control orográfico del régimen Térmico

Para las regiones del Norte grande del país, se plantea que las temperaturas medias anuales presentan un gradiente altimétrico de -0.54°C/100m para la primera Región, -0.65°/100 m para la segunda Región y de -0.63°/100 m para la Tercera región (MOP, 1987 y Grilli, 1989). Sin embargo la variabilidad espacial de los gradientes térmicos es muy elevada, dependiendo de las condiciones locales de acumulación de energía radiativa y ventilación.

Analizando la región de Antofagasta en términos de macrounidades climáticas, es posible asociar las temperaturas medias anuales de la **Costa** a unos 17 a 19°C, con escasas variaciones interanuales. Las mínimas se ubican por sobre 12°C, lo que implica baja recurrencia de heladas, y por ende ideales condiciones agroclimáticas, siempre y cuando se provea de regadío, tal como ocurre en La Chimba y en el kilómetro 13, cerca de la ciudad de Antofagasta.

En la **Pampa central**, se dan medias anuales que varían entre 10 y 18°C con escasa amplitud anual, no así diaria, la que puede ser mayor a 30°C. Esta fuerte amplitud implica una fuerte Termoclastía, que acentúa las condiciones desérticas.

En la **Precordillera** aumentan las amplitudes anuales y diarias. La relación altura temperatura es inversamente proporcional, quedando comprendida entre los 13 y 0°C en las cercanías de los 4000 metros. La humedad se mantiene baja por la alta absorción de vapor del aire subsidente, lo que varía inversamente con la altura.

En el **Altiplano**, la media anual está comprendida entre los 5 y 0°C, incluso con valores negativos. Existe fuerte amplitud diaria, debido a la transparencia atmosférica, en particular durante las noches. Las potencialidades agroclimáticas son escasas.

Esta variación térmica se acentúa, si dentro de una o dos de las anteriores macrounidades, se analizan algunas estaciones representativas, como pueden ser para el área comprendida entre el Loa medio y Alto, en la cuenca del Salado, las de Linzor (altiplano), Caspana y Chiu Chiu (Precordillera).

La estación de Linzor, ubicada a 4.096 m.s.n.m. en la zona cordillerana **Foto 6**, presenta las temperaturas mínimas de la región. La media anual sólo alcanza a 4,8°C, con una media de las máximas anuales de 7°C y una mínima media anual de -3,8°C. La mínima absoluta para el período 1985-1989, fue de -16,2°C, en Julio de 1987. La máxima absoluta alcanzó a 25,8°C en Diciembre de 1985 **Figura 14** .

Foto 6: Estación meteorológica de Linzor, Dirección General de Aguas, Región de Antofagasta

Comparando las temperatura a nivel interanual, destaca el año 1987 como el más cálido con 4,5°C, mientras que el más frío fue 1986.

A nivel intermensual la presencia de heladas es recurrente. La recuperación de condiciones térmicas más cálidas, es más lenta en primavera que en otoño.

La amplitud diaria promedio supera los 15°C, caracterizando la gran pérdida radiativa nocturna versus la fuerte insolación diaria.

La estación de Caspana ubicada a 3260 m.s.n.m. en la cuenca media alta del río Loa, posee una media anual de 10,3 °C, con una media de las máximas de 16,9 °C y una media de las mínimas de 2,4 °C.

La mínima absoluta fue en agosto de 1985 con -7°C. La máxima absoluta fue en diciembre de 1987 y alcanzó 25,6°C **Figura 15**.

A nivel interanual, destaca lo parejo de las temperaturas anuales, con un leve descenso en 1988. El año más cálido fue 1985, con 11,5 °C.

Las amplitudes diarias son superiores a los 15°C, con mayores extremos en primavera y verano.

En la parte más baja de la Puna de Atacama, Chiu Chiu a 2200 m.s.n.m. presenta una media anual de 10,1 °C, con una media máxima de 12,2 °C y una mínima media de sólo 1,1 °C. Las máximas absolutas fueron en enero de 1989 con 28,3 °C. La mínima absoluta se dio en septiembre de 1989 con -8,1°C.

La variación interanual de temperaturas, muestra que los años 1986 y 87, fueron los más cálidos con 12,4 °C.

Las amplitudes diarias son las máximas de las estaciones consideradas, con más de 25 grados diarios promedio, de diferencia entre las temperaturas extremas **Figura 16**.

Como es posible apreciar de la comparación de las estaciones anterior, no existe una relación lineal entre temperatura y altura. Las zonas más bajas de la puna, presentan medias mínimas significativas, debido al apozamiento de las masas de aire que generan condiciones de isla de frío. A la inversa, algunas quebradas y microcuencas precordilleranas, están mejor protegidas, con ventilación más regular, fuerte radiación, junto con mayor cobertura vegetacional, permitiéndose la generación de islas de calor.

De igual forma las amplitudes diarias y mensuales, son más elevadas en las partes más bajas, en comparación con la precordillera. El altiplano sigue siendo el más frío, pero con amplitudes moderadas.

Figura 14

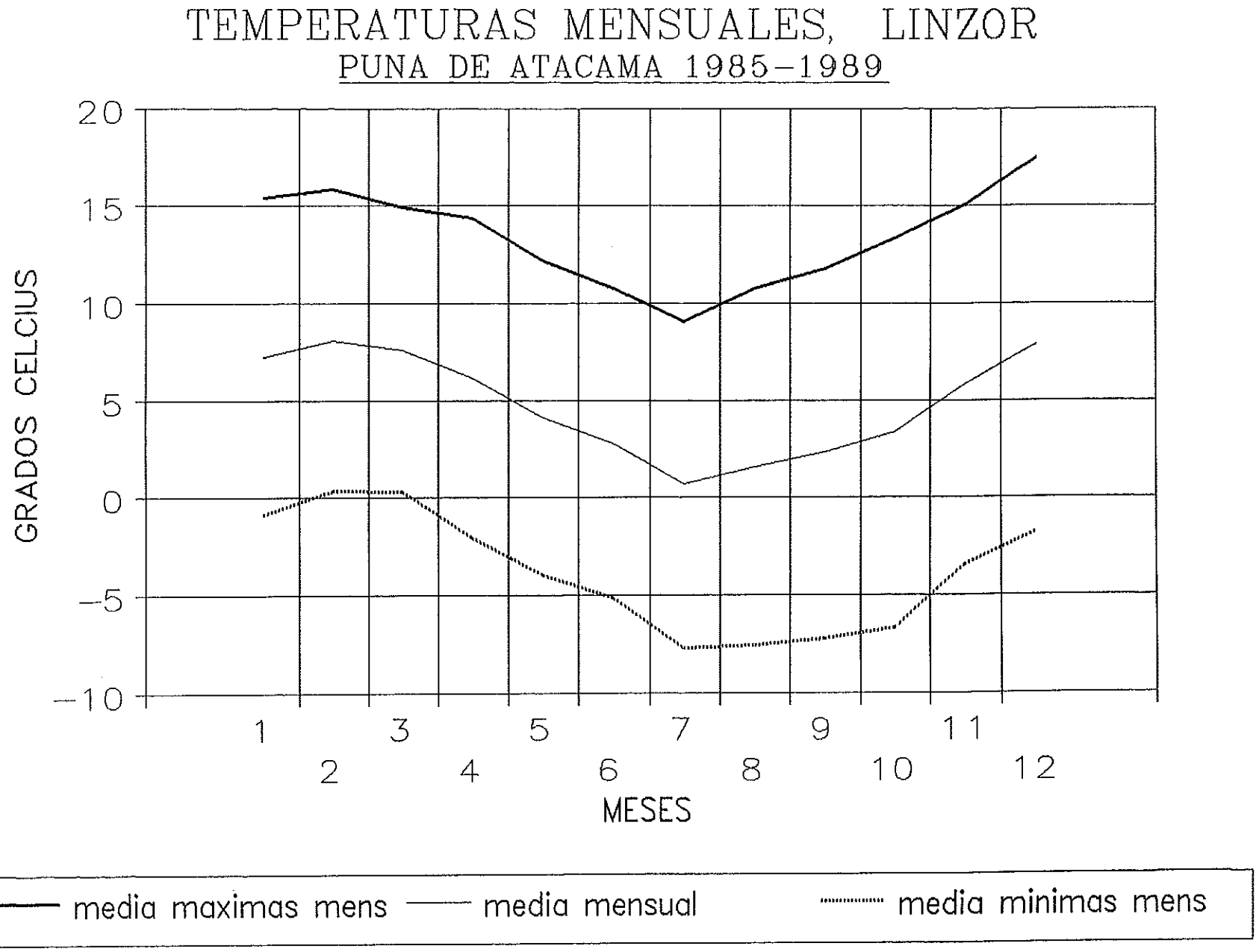

TEMPERATURAS MENSUALES, LINZOR
PUNA DE ATACAMA 1985-1989
GRADOS CELCIUS
20
15
10
5
0
-5
-10
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
MESES
media maximas mens
media mensual
media minimas mens

Figura 15

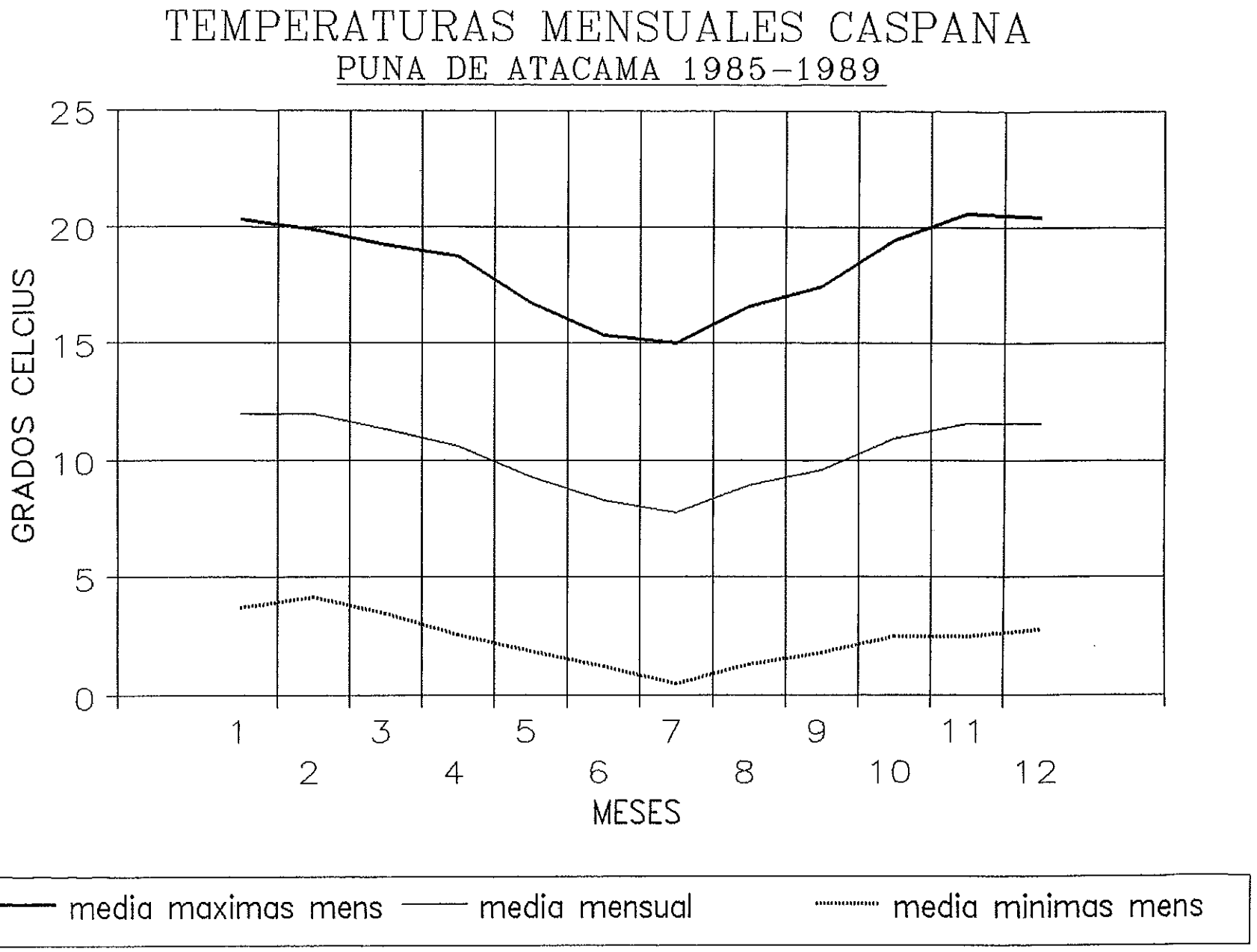
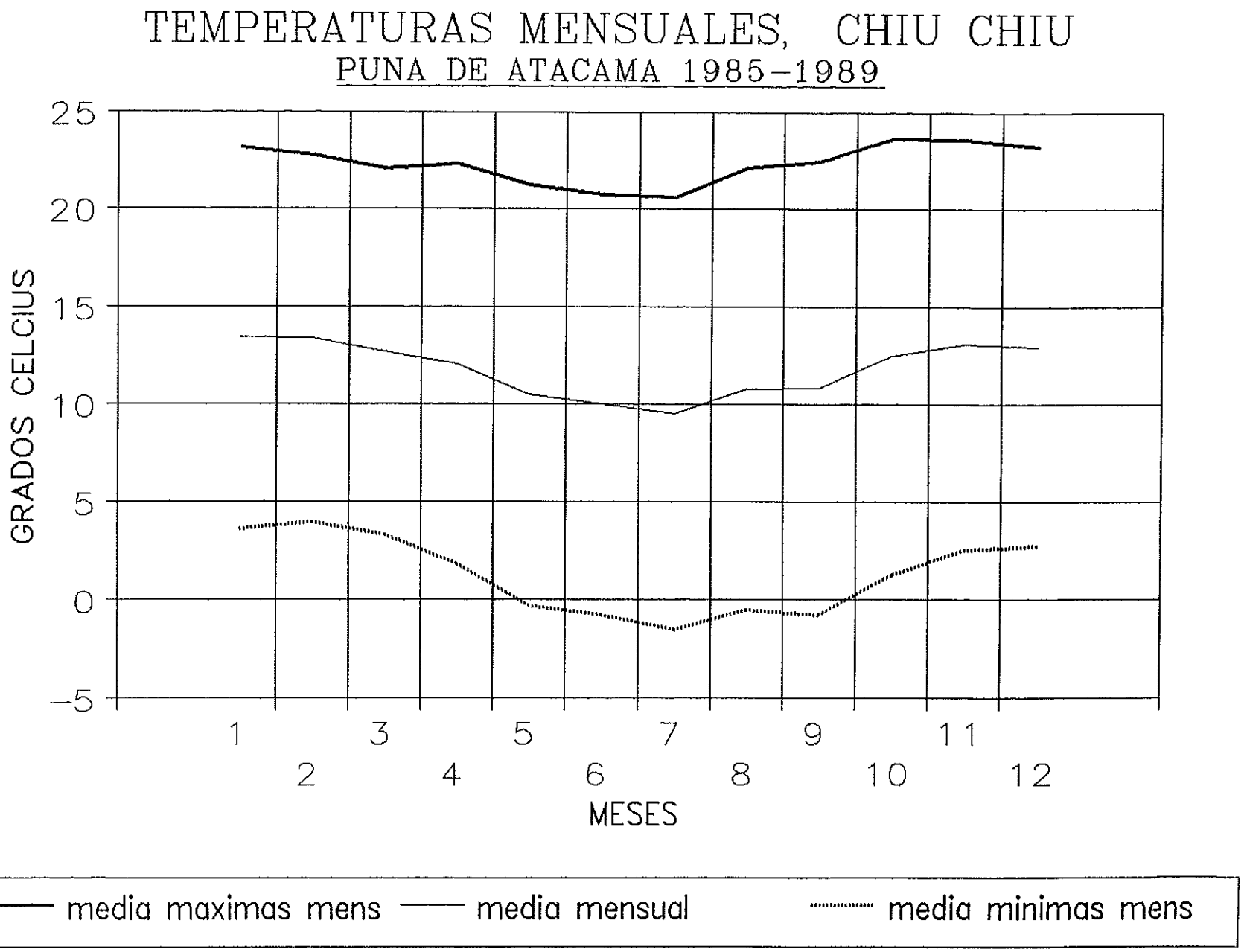

TEMPERATURAS MENSUALES CASPANA
PUNA DE ATACAMA 1985-1989
GRADOS CELCIUS
25
20
15
10
5
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
MESES
media maximas mens
media mensual
media minimas mens

Figura 16


TEMPERATURAS MENSUALES, CHIU CHIU
PUNA DE ATACAMA 1985-1989
GRADOS CELCIUS
25
20
15
10
5
0
-5
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
MESES
media maximas mens
media mensual
media minimas mens

Constatándose la alta variabilidad espacial de las temperaturas y requiriéndose una mayor precisión y cobertura espacial de las mismas, se hace necesario introducir herramientas metodológicas y fuentes de información de formato digital y carácter remoto.

En este sentido, se adquirió y georeferenció las bandas termales del satélite NOAA, para distintas fechas de la década de los 80, con el fin de determinar una condición promedio de temperaturas superficiales de invierno y de verano.

2.2.2.1.2 Régimen térmico invernal

Para analizar las condiciones térmicas de invierno se empleó la imagen del 5 de Julio de 1987 **Figura 17**, que fue tomada a pocas horas de la puesta del sol, lo que sumado a la estación del año, implican bajos montos de radiación incidente acumulada. La escala de temperaturas oscila entre menos de -15°C y más de 9°C, con intervalos de 1°C.

La isoterma que marca los mayores valores de temperatura se dan en la parte sur de la fosa del Salar de Atacama, que corresponde a la parte más baja de toda el área de estudio.

El llano de la Paciencia y los sectores al Sur de Peine, tienen temperaturas claramente inferiores, englobadas por la isoterma de 1.5 °C, denotando el descenso de temperaturas con la altura, sin embargo existe un bolsón frío entre la isla cálida ubicada al sur del salar de Atacama y el poblado de San Pedro.

En términos generales la isoterma de 1.5°C se distribuye siguiendo la curva de 3.000 metros en torno al conjunto de la fosa del Salar. Es interesante destacar que hay un relativo aumento de temperatura entre el límite del salar con la ruptura de pendiente (más frío) y la cota de 3.500-4.000 metros. Esta isla cálida se localiza cerca de Peine y es recurrente en otras imágenes, pudiendo expresar la existencia de una inversión térmica local.

En el valle del río Loa y Salado, destacan varias islas de calor, que no responden directamente a patrones altitudinales, como en las cercanías de Aiquina y Caspana. Interesante resultan los bolsones térmicos positivos localizados en el Loa alto, al Norte y Sur de Lequena.

La isoterma de -2.5°C se distribuye en torno a la curva de 4.000- 5.000 metros a lo largo de toda el área al occidente de la Cordillera y al Oriente de Puna de Atacama, en Sud Lípez (Bolivia) y Argentina.

Algunas islas de calor (bolsones térmicos positivos) se localizan al interior de Puna de Atacama, destacándose la del Salar de Tara, Ascotán y Carcote. El Lago Miscanti, aparece con temperaturas cercanas a 0°C rodeada por cordones montañosos con temperaturas muy inferiores. Laguna Lejía aparece con temperaturas cercanas a -10°C, al igual que el salar de Pujsa.

Todos los cordones montañosos que superan los 5.000 metros aparecen con temperaturas inferiores a -13°C.

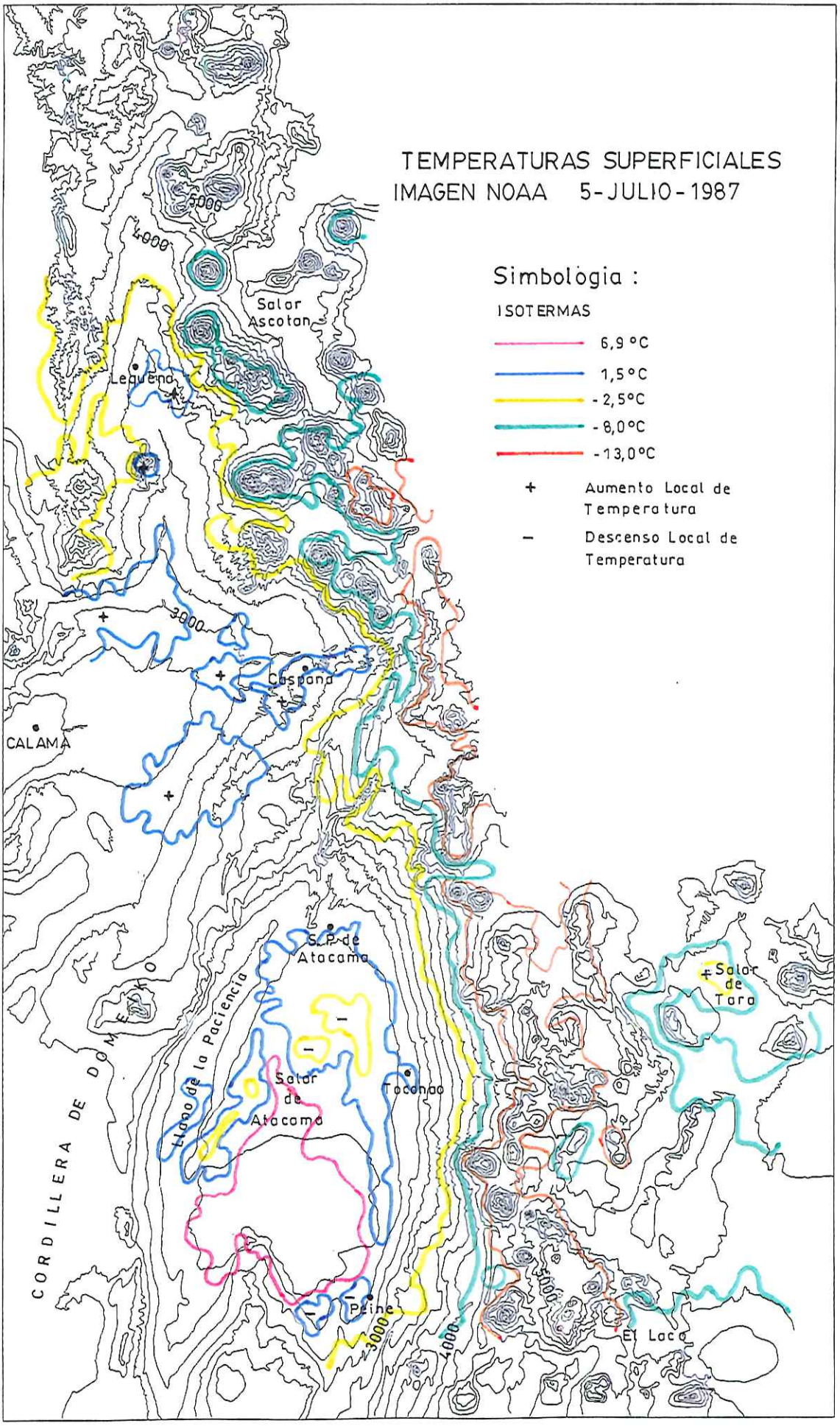

TEMPERATURAS SUPERFICIALES
IMAGEN NOAA 5-JULIO-1987
Simbología :
ISOTERMAS
6,9 °C
1,5 °C
- 2,5°C
- 8,0°C
-13,0°C
+ Aumento Local de Temperatura
- Descenso Local de Temperatura
5000
4000
Salar Ascotan
Lequena
3000
Caspana
CALAMA
S.P. de Atacama
Llano de la Paciencia
Salar de Atacama
Toconao
+Salar de Tara
CORDILLERA DE DOMEYKO
Peine
El Laco

Figura 17

2.2.2.1.3 Régimen térmico estival

Para la descripción de las condiciones estivales, una de las imágenes analizadas corresponde al 4 de Enero de 1989 (3 de Enero según la hora local), tomada a poco más de 2 horas de la puesta del sol. La escala de temperaturas fluctúa entre los -4.0°C y los 19.9°C, con intervalos cada 1°C **Figura 18**.

Las zonas más cálidas se localizan en la parte más baja del Salar de Atacama (2.300 m.s.n.m.), donde se estima que las temperaturas superan los 20°C.

Otro sector cálido, es el Llano de la Paciencia, depresión tectónica entre la Cordillera de la Sal y la de Domeyko, con altura mínima de 2.400 m.s.n.m.

Al noreste del poblado de Peine, se localiza una tercera isla térmica por sobre los 19°C. Esta se desprende del salar por su lado Sur en sectores sin cobertura salina. Esta área tiene pendiente uniforme de unos 25° con un aumento progresivo de altura en dirección al Este. Su exposición es NW, lo cual podría explicar su temperatura, junto con otras propiedades geológicas del sector.

La isoterma de 12.6°C se distribuye aproximadamente a través de la curva de 4.000 metros, dibujando los contornos de la fosa de Atacama, por su vertiente Norte y Este, no así en su ladera Oeste donde coincide con la curva de 3.000 metros. Al Norte de la Cordillera de la Sal, vuelve a presentarse esta isoterma en forma discontinua, localizándose preferencialmente en los sectores más bajos colindantes con los valles del río Loa y Salado.

Nuevamente, alrededor de Lequena, Caspana y la cuenca del Salado, se destacan algunas islas de calor que se diferencian de los patrones térmicos controlados por la altura.

La isoterma de 6.4°C coincide con la curva de 4.000 metros en la mayor parte de la imagen, excepto en la fosa de Atacama, donde se eleva a los 4.500 y 5.000 m.

Por sobre los 4.000 metros, las temperaturas se reducen progresivamente, notándose el control altitudinal especialmente en los conos volcánicos, la mayor parte de los cuales tiene temperaturas inferiores a -3°C. La isoterma de 0°C se corresponde con mayor frecuencia con la curva de los 5.000 metros. Las únicas zonas donde la temperatura se mantiene claramente por sobre 0°C corresponde a las fosas interiores, la mayor parte de las cuales está cubiertas por salares, que contienen distintas superficies estacionales y fluctuantes de agua. En aquellos sectores donde el agua tiene carácter más permanente, las temperaturas son muy superiores al entorno de la Puna, a pesar de estar por sobre los 4.000 metros. Caso característico es la laguna Miscanti-Miñiquez, el Salar de Tara, la Laguna Lejía y Ascotán. El Salar de Pujsa, ubicado en una fosa de +- 4.000 metros, muestra un ascenso de temperaturas importante en relación a su entorno que está por sobre los 5.000 metros. En dirección al Oeste y una vez superada la Cordillera de los Andes, la curva de 4.000 metros se correlaciona con la isoterma de 6.5°C.

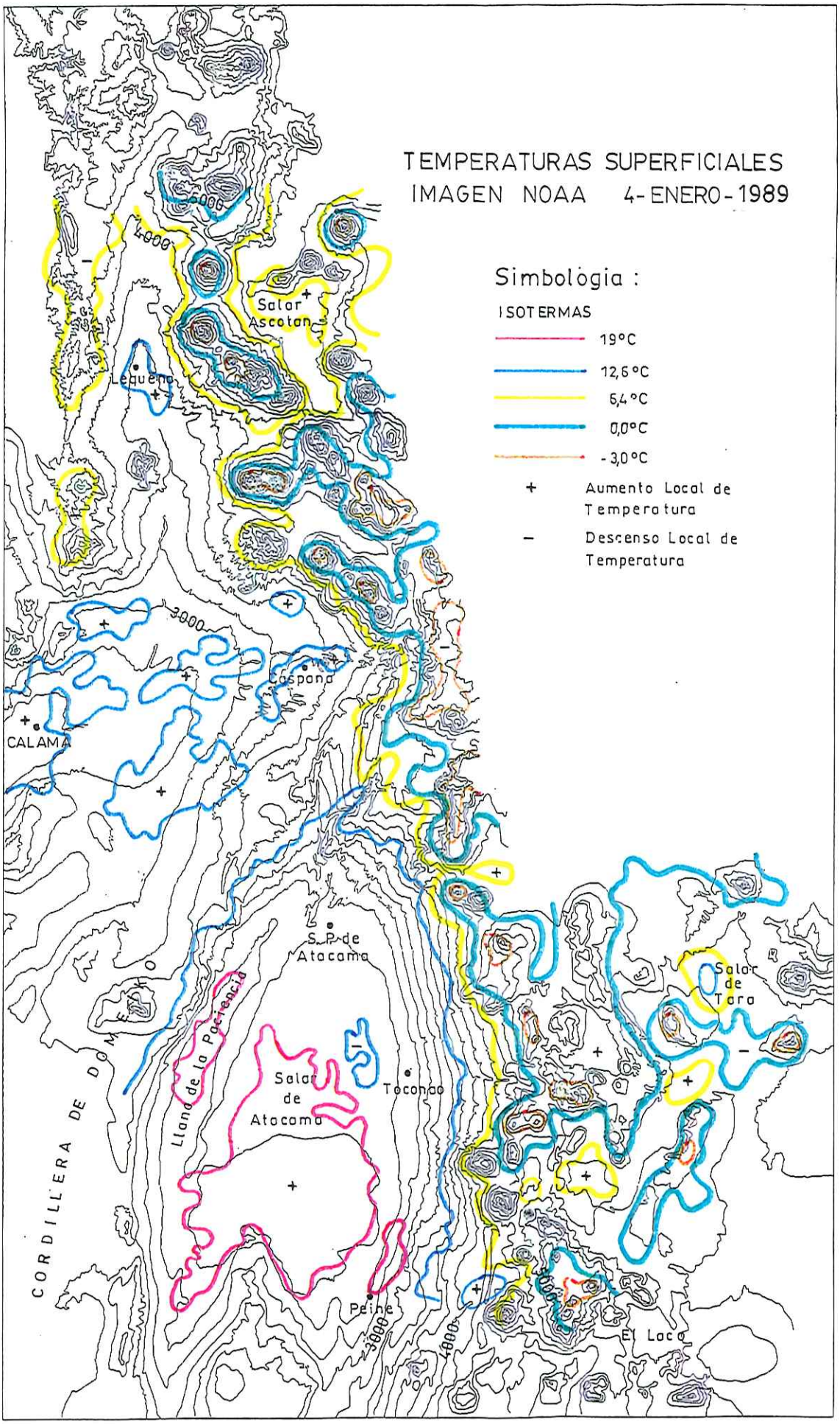

TEMPERATURAS SUPERFICIALES
IMAGEN NOAA 4-ENERO-1989
Simbología :
ISOTERMAS
19°C
12,6°C
6,4°C
0,0°C
-3,0°C
+ Aumento Local de Temperatura
– Descenso Local de Temperatura
Salar Ascotan
Lequena
Caspana
CALAMA
S. P. de Atacama
Llano de la Paciencia
Salar de Atacama
Toconao
Peine
Salar de Tara
El Laco
CORDILLERA DE DOMEYKO
3000
4000
5000

Figura 18

2.2.2.1.4 Comparación térmica entre invierno y verano

Para la obtención de una imagen representativa de las temperaturas superficiales en verano, se promedió imágenes de distintas años para el mes de Diciembre y Febrero (1986, 1987 y 1990). La imagen promedio, fue estandarizada en base a la media y su desviación standard, obteniéndose los puntajes Z para el período estacional.

Para la obtención de una imagen representativa de las condiciones térmicas superficiales en Invierno, se promedió imágenes de los años 1984 y 1986 para el mes de Junio. Esta imagen promedio fue standarizada para obtener los puntajes Z de invierno. **Figura 19.**

En verano las anomalías térmicas muestran una gran amplitud, con mayores desviaciones standard. Hay valores mayores a 3 desviaciones positivas y por debajo de -2.5 desviaciones. El coeficiente de variación general es de un 21%. Esto implica que las temperaturas son más contrastadas, con gradientes fuertes y sin un patrón regional definido **Figura 20**. La distribución es unimodal, la que contrastada con las alturas **Figura 21** que presentan una distribución bimodal, resalta el calentamiento de sectores altos, por sobre un gradiente típico. De hecho la correlación entre temperaturas y altura es sólo de 0.847, indicando una relación significativa pero no concluyente.

Destacan como islas de calor positivas, las laderas orientales inclinadas de exposición este, de la fosa de Atacama. Otros sectores importantes se ubican en la cuenca media del Loa, en las cercanías de Caspana, en la cuenca alta del Loa entorno a Lequena y en algunas fosas de altura, como Ascotán-Carcote. Los sectores más fríos se localizan en las cumbres más nevadas en verano, ubicadas al Norte del área de estudio. Dentro de la Puna de Atacama, con temperaturas bajas durante el verano, destacan las lagunas y fosas con salares, como acumuladores térmicos.

En invierno el patrón térmico es completamente distinto, no en términos de los valores absolutos, donde claramente se ve un descenso de las temperaturas, sino en términos de su distribución espacial. El histograma de las frecuencias de invierno **Figura 22** muestra un patrón más similar al histograma altitudinal, denotando una distribución bimodal. El coeficiente de variación general alcanza a un 17%, menor que en verano.

Los sectores bajos presentan una temperatura alta, pero con menor amplitud general que aquellos sectores altos. El quiebre altitudinal es diferente a nivel espacial, sin embargo en la parte Sur, a los 3.200 metros empieza el descenso de temperaturas por debajo de la media. En la parte Norte, el umbral se ubica cerca de los 3.500 metros.

La correlación entre temperaturas de invierno y alturas es muy superior, con un índice de correlación de 0.91 R^2 de 83,34%. Esto demuestra que ante condiciones de mayor estabilidad atmosférica en invierno, la altura es el principal factor explicativo de las temperaturas.

ANOMALIAS TERMICAS DE VERANO Y DE INVIERNO

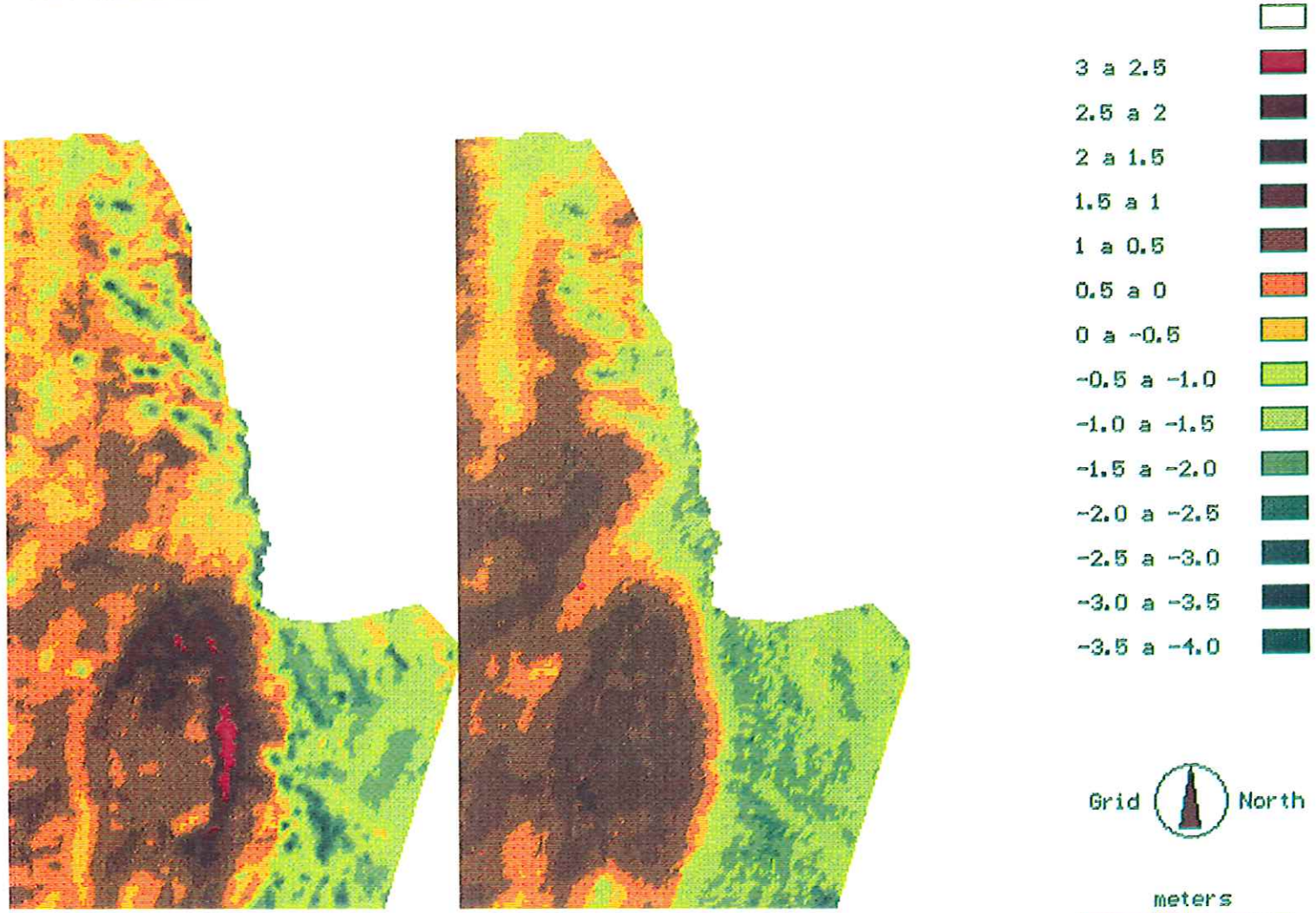


Figura 19

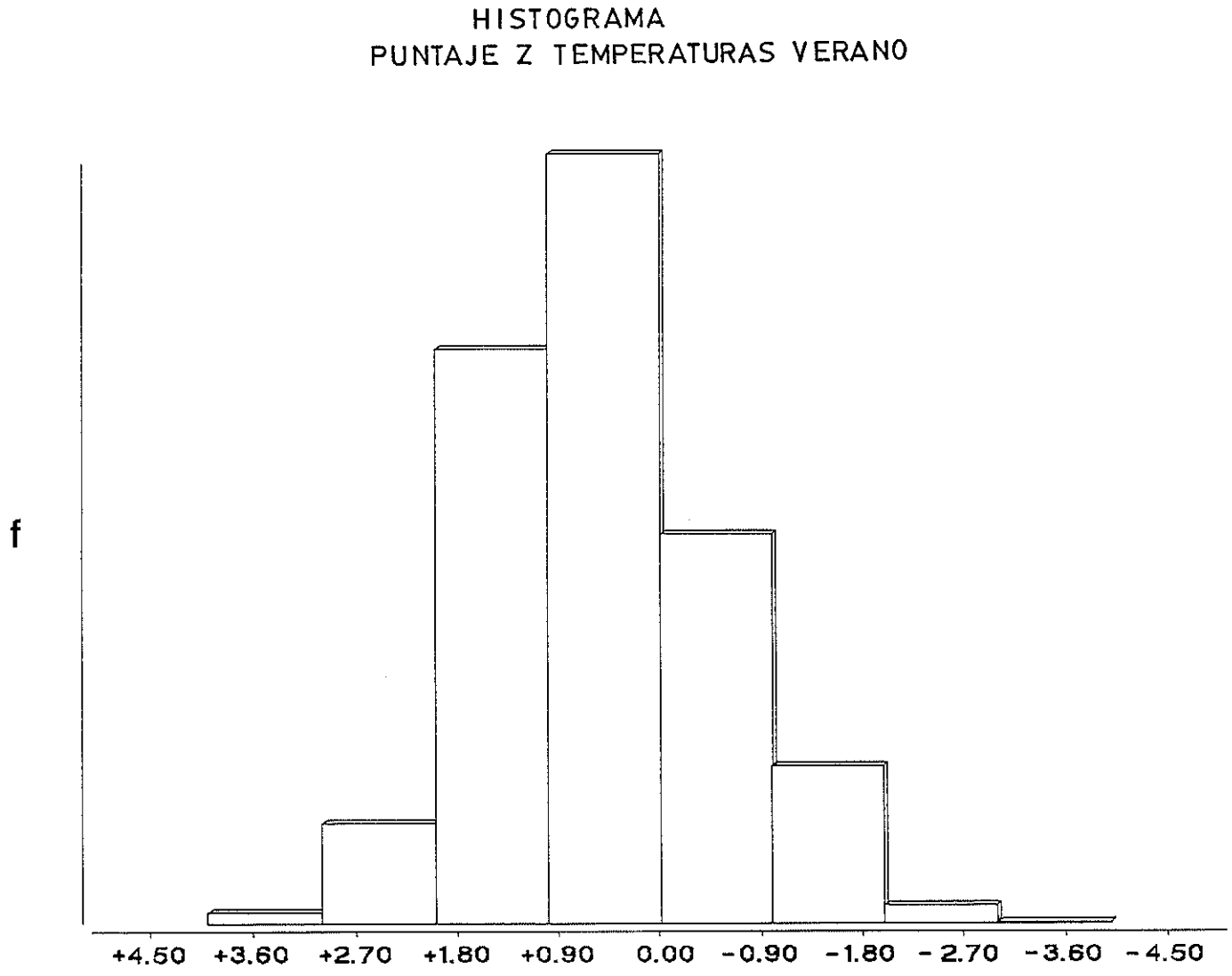

HISTOGRAMA
PUNTAJE Z TEMPERATURAS VERANO
f
+4.50
+3.60
+2.70
+1.80
+0.90
0.00
-0.90
-1.80
-2.70
-3.60
-4.50

Figura 20

HISTOGRAMA
MODELO DIGITAL DE TERRENO

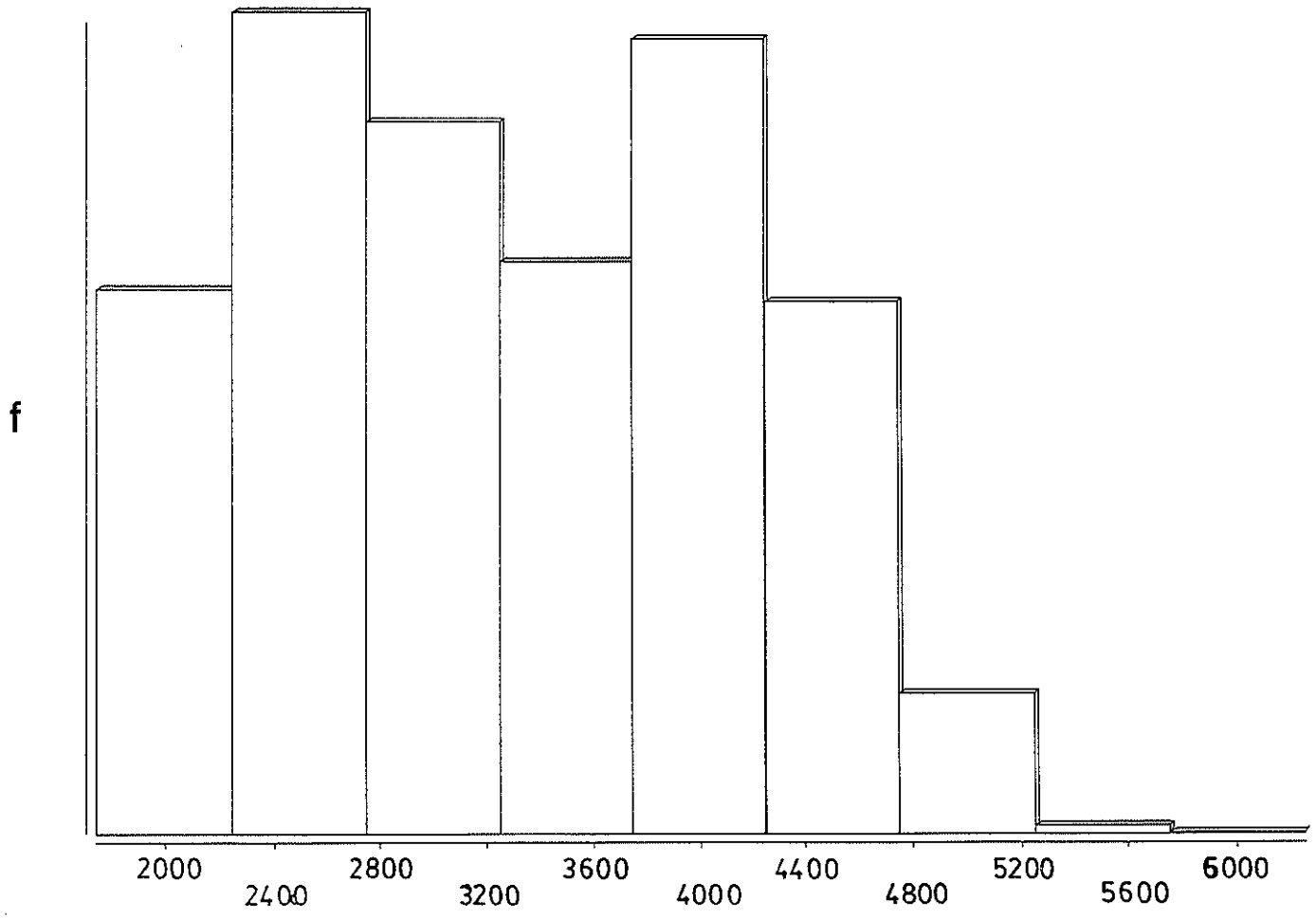


Figura 21

HISTOGRAMA
PUNTAJE Z TEMPERATURAS INVIERNO

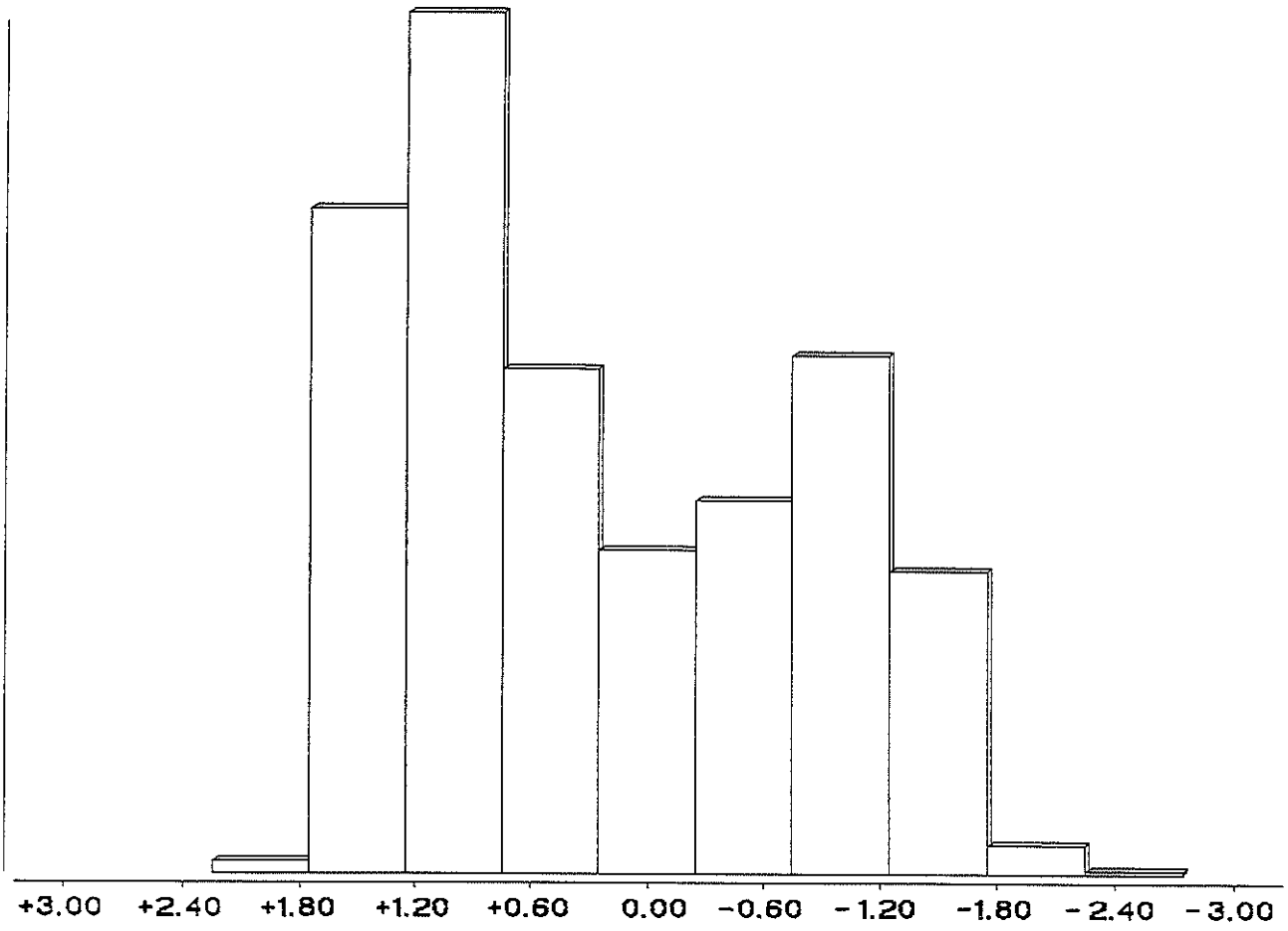


Figura 22

Algunas imágenes muestran coberturas de nieve, en los sectores meridionales del área de estudio, que indican la presencia de episodios frontales ocasionales invernales. Estos eventos, hacen disminuir la temperatura de los sectores sobre los 3.500 metros y de exposición prodominante occidental. Incluso en estos casos, las amplitudes no son tan elevadas como en verano.

La principal isla de calor invernal, sigue siendo la fosa de Atacama, en su parte suroccidental. El Llano de la Paciencia también se destaca y la cuenca media baja del Loa. En la parte Norte de la región, el gradiente altitudinal es muy marcado, mientras que en sur, la nieve genera temperaturas más homogéneas.

Analizando las clases de cambio de las temperatura entre verano e invierno **Figura 23**, destaca en general que toda el área muestra distintos niveles de descenso térmico. No obstante lo anterior, destacan algunos sectores con leves incrementos de temperatura. En invierno son más cálidos que en verano.

Previamente, es necesario descartar pequeños sectores que debido a la cobertura nubosa más frecuente en verano, generan distorsiones en los patrones térmicos. Entre estos, se incluye la parte Norte del área de estudio, al oeste de la cuenca del Loa y pequeños bolsones en la cuenca baja del Loa.

Entre las áreas sin nubes que presentan aumento de temperaturas, destacan los conos volcánicos de la parte Norte, que son más afectados por precipitaciones sólidas estivales que invernales. Los conos de más al sur, presentan pocas nevadas en verano pero más en invierno. La cuenca alta del Salado, indica la transición del régimen de precipitaciones sólidas estivales versus invernales. En verde **Figura 23**, los sectores altos con descenso muy fuerte de temperaturas, indica nieve en invierno. En rojo, sectores con precipitación nivosa en verano.

Respecto de las áreas que muestran un descenso de temperatura, destacan las áreas bajas con mayor estabilidad y baja amplitud. El descenso en la fosa de Atacama es leve, al igual que en la cuenca baja de Calama.

Las áreas con descenso fuerte se localizan predominantemente en exposiciones Oeste y Sur. Estas superficies, reciben fuerte insolación en verano, pero en invierno, la menor duración de los días y los mayores ángulos, impiden un calentamiento similar. Aquí se retoman los gradientes normales de reducción de temperatura con la altura.

Las áreas con descenso máximo de temperatura en invierno, son aquellas donde se deposita la nieve (4.500 a 5.000 m.s.n.m.), con laderas predominantes oeste y en el margen occidental de los Andes. Hacia el Norte, la recurrencia de estas áreas es cada vez menor.

CLASES DE CAMBIO DE TEMPERATURA VERANO-INVIERNO

LEGENDA
AUMENTO Y ES
DESCENSO M L
DESCENSO L
DESCENSO F
DESCENSO M F
RIOS

Grid North

meters

93603.5

GEO-CLIMA

Figura 23

2.2.2.1.5 Modelo de insolación potencial

Se aplicó el modelo de Insolación Potencial para 2 fechas, una en verano (Febrero 11) y otra en invierno (Junio 28).

El modelo para el mes de Febrero **Figura 24** , indica montos de insolación potencial elevados para el área de estudio, con máximos de 1,38 ly/m. El contraste areal no es muy elevado, debido a que los ángulos zenitales varían entre 6 y 9 grados. De hecho las pendientes y exposiciones generan un contraste Norte Sur no muy acentuado.

Los sectores más insolados se ubican en la parte Norte (con menores ángulos zenitales) y en los sectores más bajos. Entre los sectores de mayor altura con mayores montos de insolación, destacan los conos con laderas Norte y algunas fosas con salares.

Al comparar la insolación en puntajes Z y las temperaturas de la misma fecha, es posible advertir una correlación de 0.65, la que si bien es baja, representa casi la mitad de la explicación de la variable, lo que es bastante significativa si se considera que la temperatura superficial, es explicada por muchos otros factores no incluidos en el modelo (estado del tiempo, humedad, coberturas del suelo, masas de aire, etc.).

Algunos sectores que presentan insolaciones potenciales por sobre la media, son concordantes con las islas de calor no altitudinales, descritas en la imagen termal. Uno de ellos está en la cuenca alta del Loa, en las cercanías de Lequena. Otro lugar concordante entre isla de calor e insolación alta, está alrededor de Peine.

En ambos casos, sería factible concluir que las islas de calor, son generadas por fuerte insolación basal, favorecidas por factores topográficos (altura, exposición, pendientes) y por posiciones solares estivales propicias.

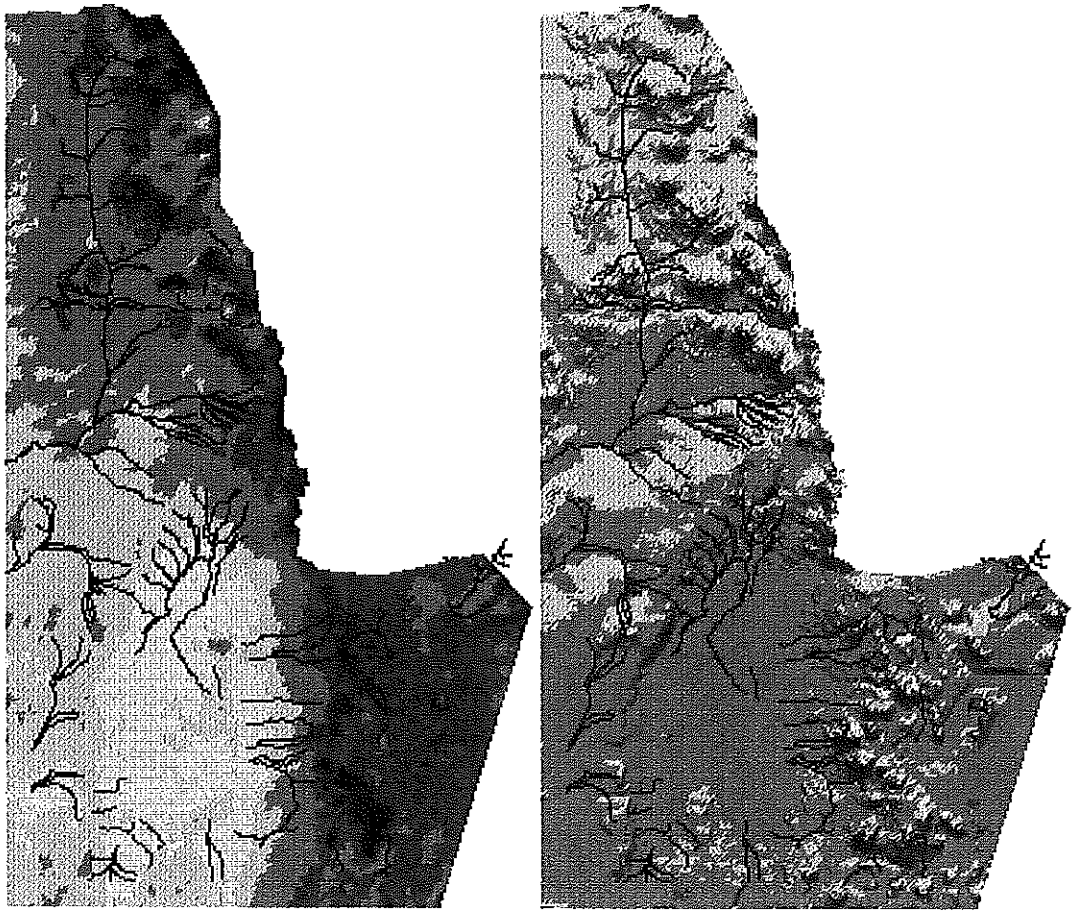
Para Junio, la insolación se reduce significativamente, con valores máximos del orden de 1.1 ly/m. Los ángulos zenitales varían entre 42 y 46 grados, acentuándose los contrastes Norte Sur **Figura 25**.

Las áreas más insoladas corresponden a laderas Norte de los conos volcánicos más prominentes, especialmente en la parte Norte. Otros sectores con insolación elevada, se ubican en la cuenca media del Loa y en los sectores más bajos.

Al correlacionar las temperaturas superficiales con la insolación potencial de la misma fecha, es posible concluir que no existe ninguna relación entre ambas. El índice de correlación es 0.

Considerando que en invierno las temperaturas superficiales poseen una alta correlación con la altura, es posible concluir que la insolación no es un factor explicativo principal en la espacialidad de la variable. La diferenciación Norte Sur de las laderas, no se traduce en una ganancia neta de calor, debido a la fuerte irradiación de las superficies. En estas laderas, la mayor insolación se ve reflectada por las coberturas de nieve o de algunos pequeños glaciares, reduciendo la absorción.

TEMPERATURA E INSOLACION POT. FEBRERO, 11



> DE +1.0
+1.0 A +0.5
+0.5 A -0.5
-0.5 A -1.5
-1.5 A -2.5
< DE -2.5
DRENAJE

Grid North

meters

93603.5

Figura 24

GEO-CLIMA

TEMPERATURA E INSOLACION POTENCIAL JUNIO

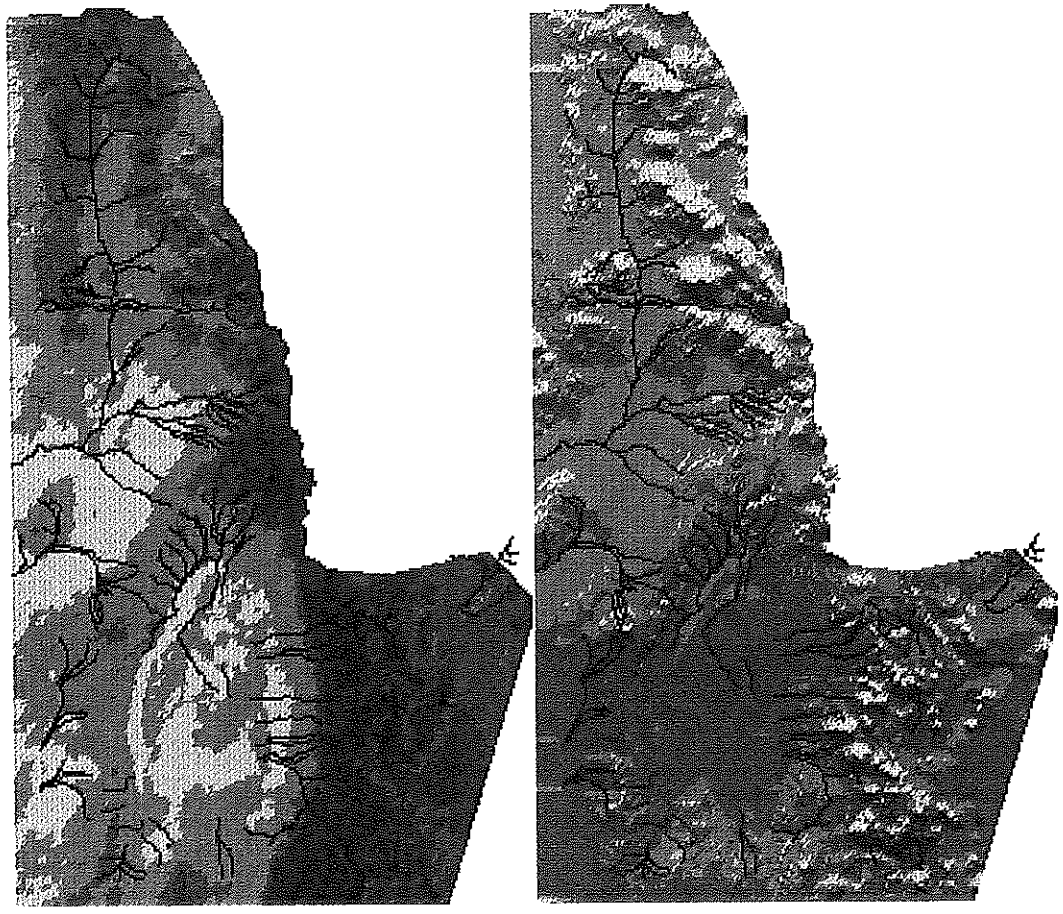


Figura 25

2.2.2.2 Régimen pluviométrico

2.2.2.2.1 Distribución espacial

De la totalidad de estaciones de la DGA localizadas en la región, se emplearon 14 de las más representativas, con mejor localización, calidad de datos y continuidad en las series, para lo cual se definió un período de estudio de 16 años 1975-1990, tal como aparece en la **Tabla 8**.

Las precipitaciones medias anuales, muestran un rango de fluctuación entre los 6.3 mm en Calama, la estación más baja y más occidental, hasta los 188 mm en Linzor, la más alta y en pleno sector cordillerano.

TABLA 8 Resumen pluviométrico

ESTACIONES DGA*	Latitud	Longitud	Altura (m.s.s.m.)	Precipitación media anual (mm)	Coeficiente de variación
Lequena	21°39'	68°40'	3320	119	1.41
S.Pedro de Conchi	21°56'	68°32'	3217	39	0.89
Parshall N°2	21°57'	68°31'	3318	31	0.57
Inacaliri	22°00'	68°04'	4100	121	0.63
Conchi Embalse	22°03'	68°38'	3010	19	0.64
Linzor	22°12'	67°59'	4096	188	0.62
Toconce	22°16'	68°11'	3350	111	0.75
Ayquina	22°17'	68°19'	3031	43	0.74
Caspana	22°20'	68°14'	3260	78	0.72
Calama	22°28'	68°55'	2260	6	1.36
S.Pedro Atacama**	22°55'	68°12'	2450	28	0.58
Toconao Experimental	23°11'	68°02'	2430	49	0.65
Socaire	23°36'	67°52'	3251	57	0.68
Peine	23°41'	68°05'	2480	23	0.76

* El período considerado es Enero 1975 a Diciembre 1990
** El período considerado es Enero 1975 a Diciembre 1989

Ordenando las estaciones a nivel latitudinal **Figura 26**, es posible definir una tendencia general de descenso de precipitaciones en dirección al sur. Sin embargo un conjunto de estaciones ubicadas al Norte del área de estudio, pero más al occidente, distorsionan esta tendencia, con bajos montos de precipitaciones medias anuales.

Esta variable puede tener importancia, debido a que las precipitaciones estivales tienen un origen continental, con masas de aire provenientes del cuadrante Norte y Este. En este sentido, la latitud más baja, debiera relacionarse con mayores precipitaciones.

Al analizar la componente longitudinal, destaca la tendencia de aumento exponencial de los coeficientes de variación, con el aumento de la longitud. Esto implica que a mayor distancia de las estaciones respecto de la alta cordillera, la variabilidad interanual se incrementa en valores exponenciales. El umbral lo marcan aproximadamente los 68,6 grados oeste. **Figura 27**.

Figura 26

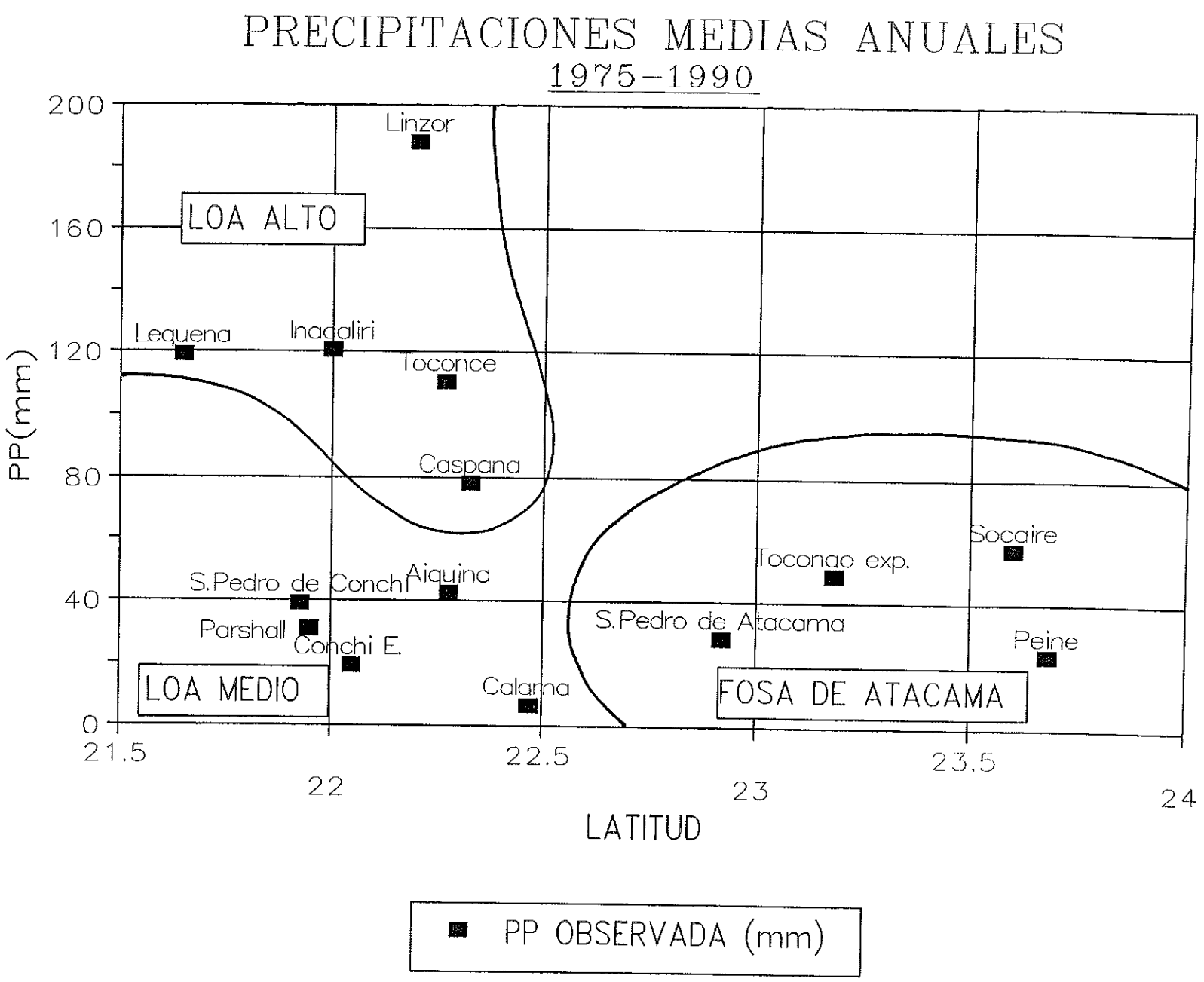
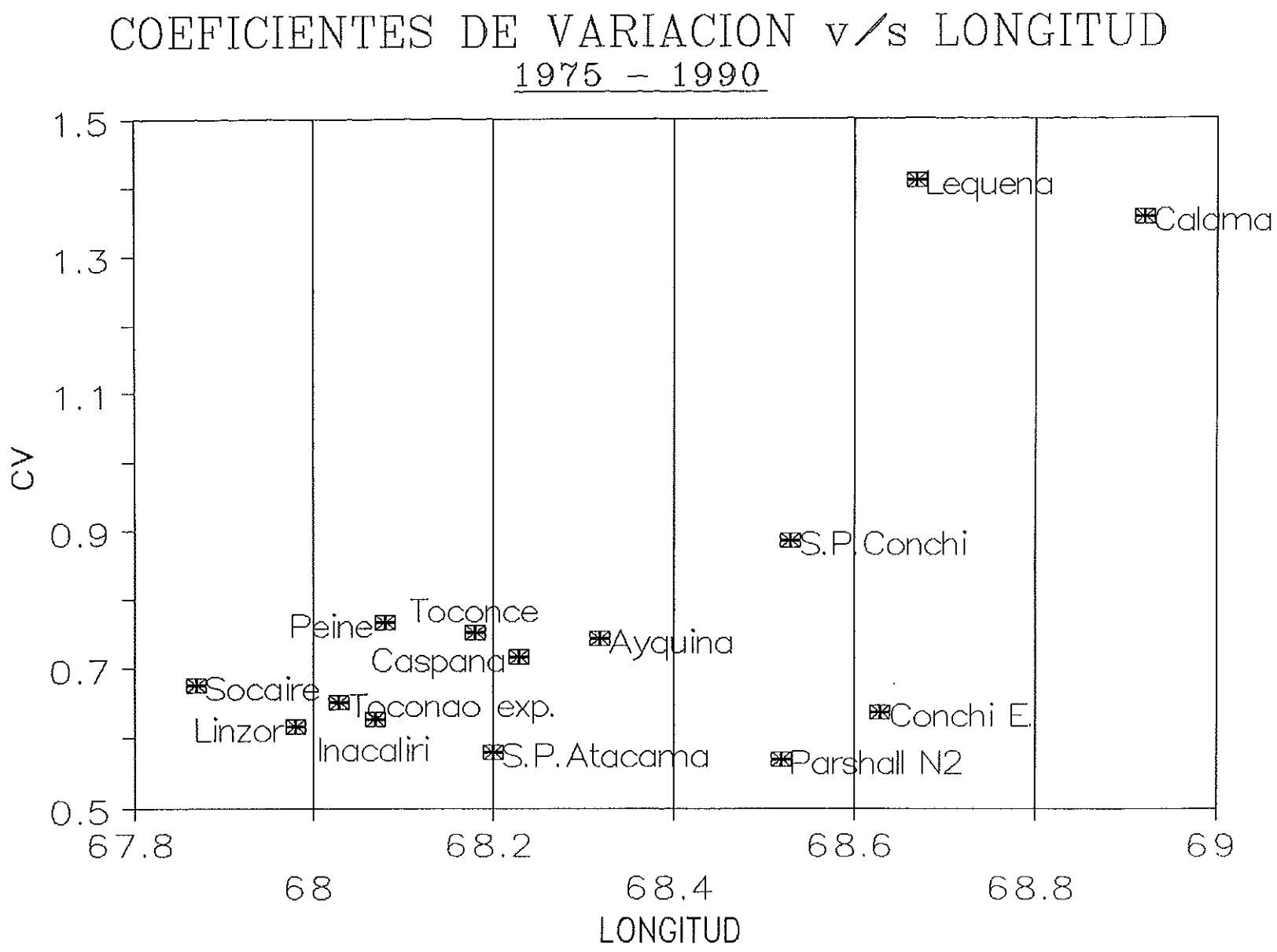

PRECIPITACIONES MEDIAS ANUALES
1975-1990
200
160
120
80
40
0
PP(mm)
Linzor
LOA ALTO
Lequena
Inacaliri
Toconce
Caspana
Aiquina
S.Pedro de Conchi
Parshall
Conchi E.
LOA MEDIO
Calama
Socaire
Toconao exp.
S.Pedro de Atacama
Peine
FOSA DE ATACAMA
21.5
22
22.5
23
23.5
24
LATITUD
PP OBSERVADA (mm)

Figura 27


COEFICIENTES DE VARIACION v/s LONGITUD
1975 - 1990
1.5
1.3
1.1
0.9
0.7
0.5
CV
67.8
68
68.2
68.4
68.6
68.8
69
LONGITUD
Lequena
Calama
S.P.Conchi
Peine
Toconce
Ayquina
Caspana
Socaire
Toconao exp.
Conchi E.
Linzor
Inacaliri
S.P.Atacama
Parshall N2

Considerando que la altura siempre tiene un peso significativo en la distribución pluviométrica, se correlacionó la altura de las estaciones con la precipitación media anual **Tabla 9**. Sin embargo el coeficiente de correlación no es muy elevado.

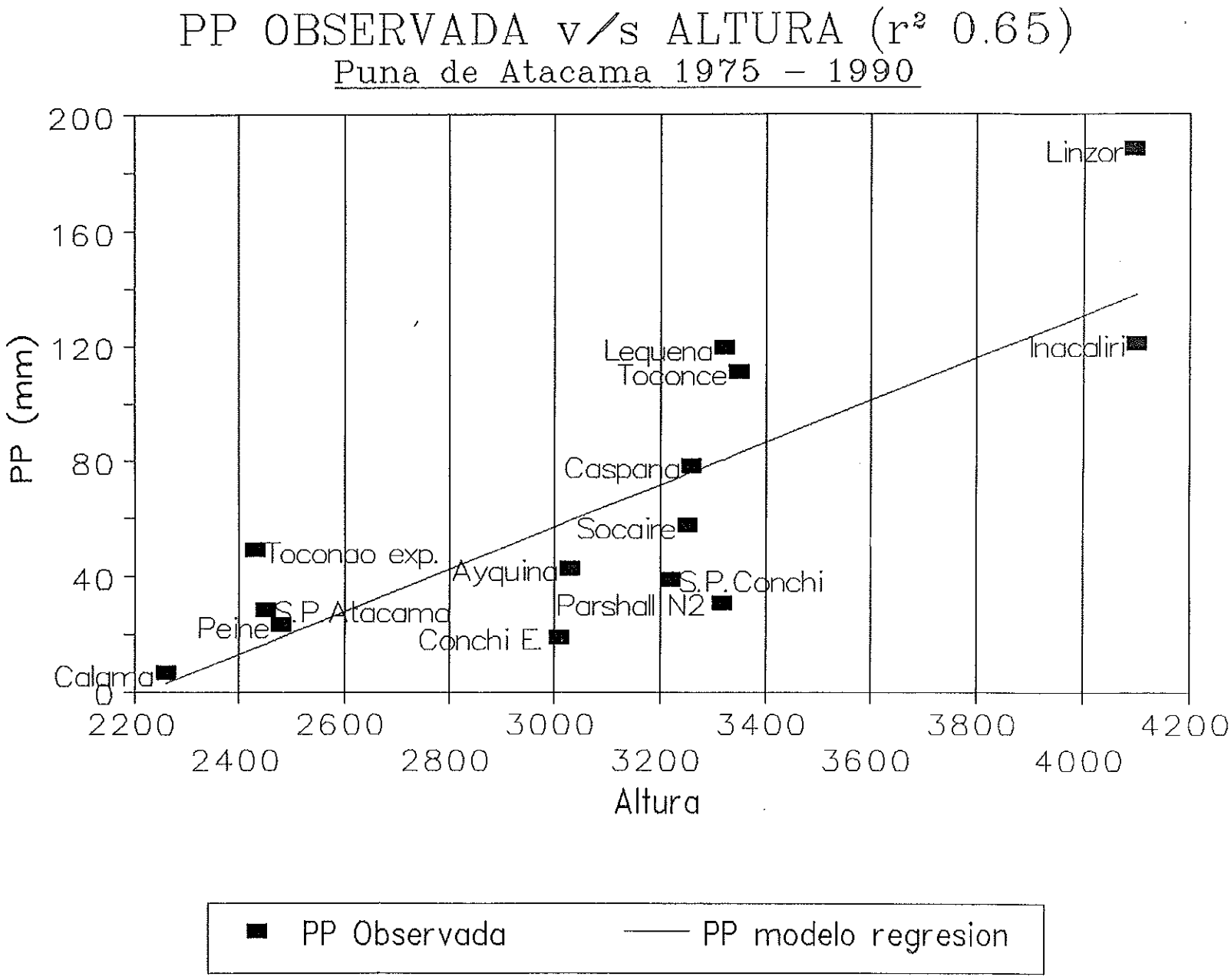
De los residuos obtenidos, destacan las estaciones más bajas y al Norte como las con mayores diferencias con el modelo. Las estaciones a mayor altura presentan alta correspondencia con el modelo y las del salar de Atacama, son diferenciales, pero en general ajustadas.

Al aplicar un test estadístico para dos muestras (data observada y esperada), que mide las diferencias entre las medias y varianzas de los datos observados y los esperados (generados por la ecuación de regresión entre altura y precipitación), se confirmó la hipótesis nula de que ambas series son similares, con un intervalo de confianza del 95%.

TABLA 9

REGRESION: ALTURA Y PRECIPITACIONES MEDIAS ANUALES					
			Regression Output:		
Constant			-163.66		
Std Err of Y Est			31.80		
R Squared			0.65		
No. of Observations			14		
Degrees of Freedom			12		
X Coefficient(s)			0.074		
Std Err of Coef.			0.016		
ESTACION	ALTURA mts	PP OBSER mm	PP MODEL mm	RESIDUOS	CV
Calama	2260	6.29	2.47	3.82	0.61
Toconao	2430	48.69	14.97	33.72	0.69
S.P.Atama	2450	28.27	16.44	11.84	0.42
Peine	2480	23.24	18.64	4.60	0.20
Conchi E.	3010	18.85	57.60	-38.75	-2.06
Ayquina	3031	42.72	59.14	-16.43	-0.38
S.P.Conchi	3217	38.98	72.82	-33.84	-0.87
Socaire	3251	57.39	75.32	-17.92	-0.31
Caspana	3260	78.13	75.98	2.15	0.03
Parshal	3318	30.79	80.24	-49.45	-1.61
Lequena	3320	119.23	80.39	38.84	0.33
Toconce	3350	110.52	82.59	27.93	0.25
Linzor	4096	187.99	137.43	50.56	0.27
Inacaliri	4100	120.68	137.72	-17.05	-0.14
PP=-163.66+(ALTURA*0.074)					

Figura 28


PP OBSERVADA v/s ALTURA (r² 0.65)
Puna de Atacama 1975 - 1990
PP (mm)
200
160
120
80
40
0
2200
2400
2600
2800
3000
3200
3400
3600
3800
4000
4200
Altura
Linzor
Inacaliri
Lequena
Toconce
Caspana
Socaire
Toconao exp.
Ayquina
S.P.Conchi
Parshall N2
S.P.Atacama
Peine
Conchi E.
Calama
PP Observada
PP modelo regresion

Ploteando las estaciones versus la recta generada por el modelo **Figura 28**, es posible apreciar que algunas estaciones como Lequena y Toconce, destacan por sus altos montos de precipitación, comparados con los valores teóricos derivados de sus alturas.

Algunas de las estaciones con montos por debajo de la recta teórica de precipitaciones, son Conchi, Parshall y San Pedro de Conchi. Todas estas se ubican en sectores bajos, occidentales y en sectores relativamente planos y distantes de centros montañosos.

Ante la insuficiente explicación de las precipitaciones en base a la altura, se generó una ecuación de regresión múltiple, que incluyó la Latitud y Longitud de cada estación.

Como es posible apreciar de la **Tabla 10**, el coeficiente de determinación aumentó de 0.65 a 0.7, lo que es significativo por el resultado de aplicar el test de adecuación para dos muestras, que confirmó la aceptación de la hipótesis nula (PP observada = PP esperada) a un intervalo de confianza del 95%.

Los residuos generados con este modelo, siguen siendo elevados pero inferiores a los de la regresión lineal entre precipitaciones y altura. Destacan por sus altos residuos, las estaciones Parshall, Conchi, Calama y San Pedro de Conchi. Todas presentan montos muy por debajo de la curva teórica.

La **Figura 29** presenta el ploteo de los valores observados y los esperados de acuerdo a la ecuación de regresión múltiple. Aquí es posible caracterizar las estaciones de la fosa de Atacama, como cercanas al modelo. Las estaciones de la cuenca baja del Loa se ubican muy por debajo de la curva y las estaciones de la cuenca alta por sobre ella (llueve más de la predicción).

De acuerdo a la localización de las estaciones, las ecuaciones generadas y las características desprendidas de los estadígrafos hasta aquí reseñados, es posible distinguir 3 agrupaciones espaciales de datos **Figura 26**:

1.- **Cuenca alta del Loa**:

Esta primera agrupación, está compuesta por las estaciones Linzor, Lequena, Inacaliri, Toconce y Caspana, caracterizadas por presentar las precipitaciones anuales máximas. Estas estaciones están ubicadas al Norte y oriente del área de estudio, por sobre los 3260 m.s.n.m., presentando precipitaciones por sobre los modelos aplicados, con residuos relativamente bajos.

Destaca en esta agrupación, la estación Lequena, que presenta una precipitación muy elevada para su localización y altura. Un factor importante en la explicación de estos montos, radica en la localización de una isla de calor en las cercanías de la estación. Esta isla, descrita en el capítulo sobre el régimen térmico, potenciaría la convección de masas de aire que provenientes del Norte, son encauzadas por el valle del río Loa en dirección al Sur, hasta las laderas de barlovento de los cerros Pajonal y Cardonal (unos kilómetros al sur de Lequena), donde precipitan. Este factor incrementaría las lluvias, por sobre la tendencia regional. Este proceso es similar para las estaciones Toconce y Linzor.

2.- **Cuenca media del Loa**:

En esta zona fueron agrupadas las estaciones San Pedro de Conchi, Parshall, Aiquina, Conchi Embalse y Calama, que se ubican en la parte Norte del área de estudio, con alturas más bajas (menos de 3.000 m.s.n.m.) y localizadas más al occidente. Estas presentan las mayores diferencias con los modelos generados, debido a que en ellas precipita mucho menos de lo estimado.

3.- **Fosa de Atacama**:

Esta agrupación contempla las estaciones San Pedro de Atacama, Toconao Experimental, Socaire y Peine, ubicadas en la unidad geomorfológica fosa de Atacama, caracterizada por ubicarse al sur del área de estudio y por lo general en alturas moderadas. Sus montos pluviométricos son bajos, con residuos significativos, que en todo caso no invalidan que la distribución espacial en esta zona se ajusta al modelo.

En base a lo explicitado hasta aquí, se procedió a espacializar la variable pluviométrica media anual, asignando a todos los píxeles del área de estudio, un monto de precipitación. Para ello se aplicó la ecuación de regresión múltiple **Tabla 10**, multiplicando al modelo digital de terreno (archivo de alturas **Figura 3)** la constante 0,04. Luego se repitió el procedimiento, multiplicando al archivo con Latitudes, la constante -28,76. Finalmente se multiplicó el archivo digital de longitudes por píxel, por la constante -78,19.

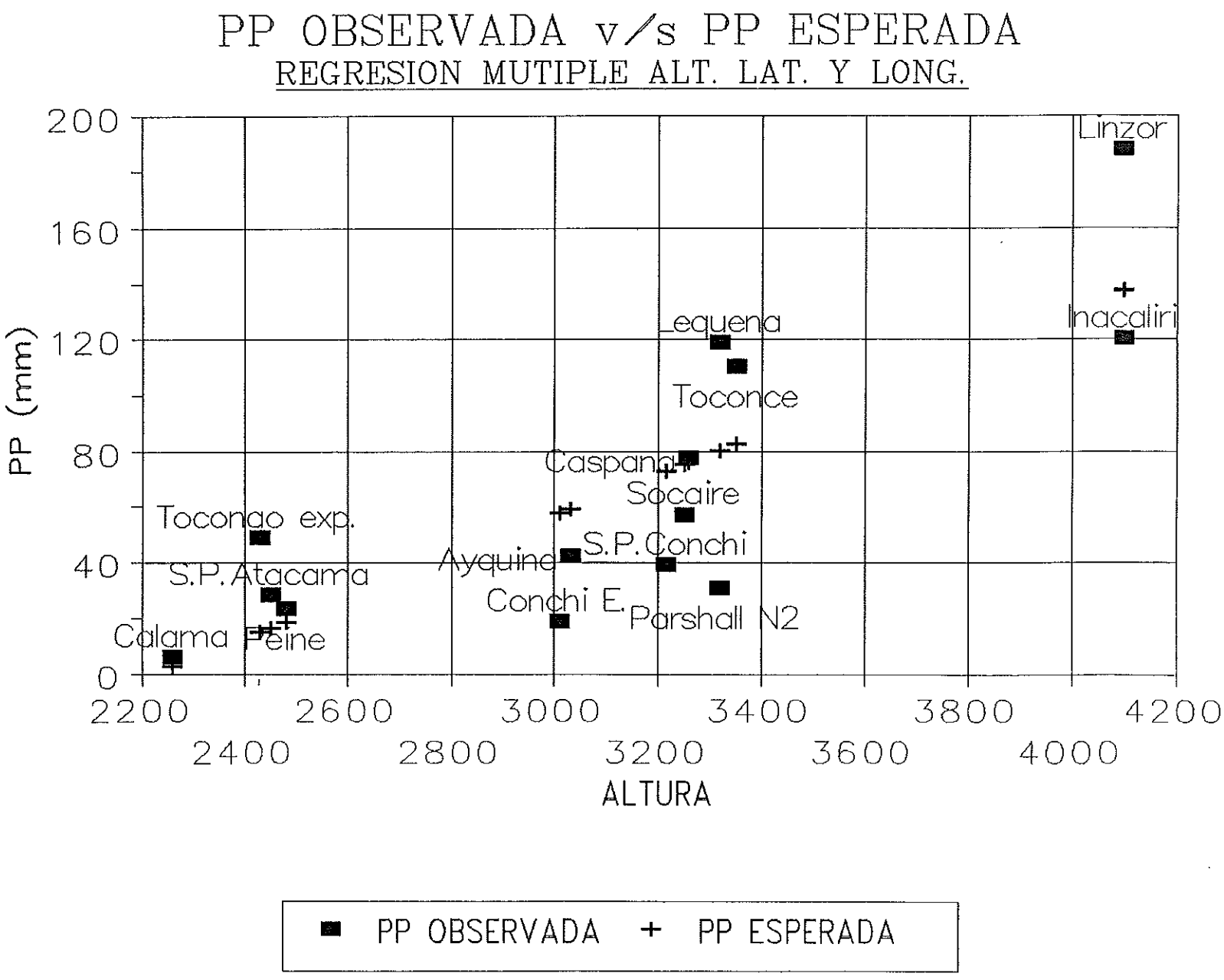
Superponiendo la totalidad de los archivos resultantes, mediante el comando OVERLAY (IDRISI, 1992) y adicionando la constante (intersección de la ecuación con el eje Y) 5914,27, se obtuvo como resultado el modelo pluviométrico digital de la Puna de Atacama **Figura 30**.

Como es posible apreciar, el modelo de regresión múltiple, genera los montos máximos en los Nevados de Puquios, en el extremo oriental de la Puna de Atacama. Los valores máximos bordean los 235 mm y los mínimos alcanzan a 0 mm en la parte suroriental del área.

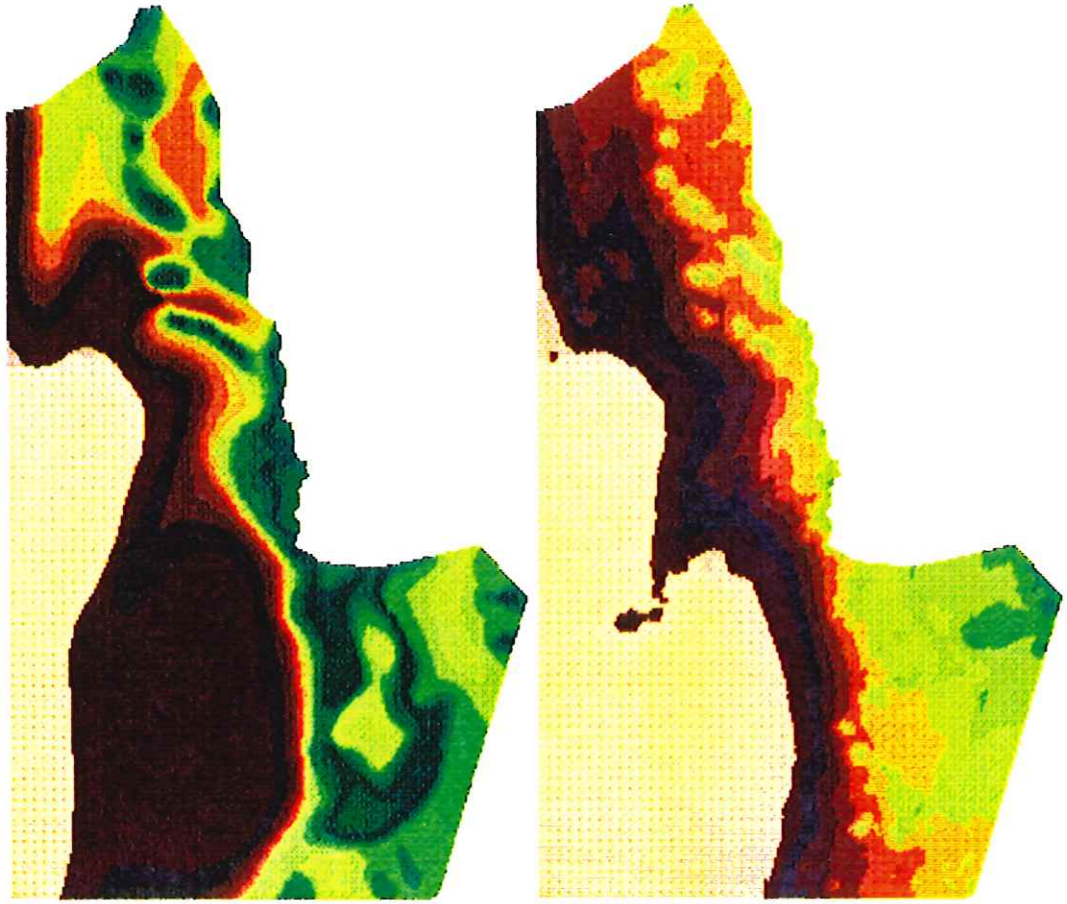
Uno de los trabajos más completos sobre la climatología regional, fue publicado por la DGA (1986), cuando se realizó el balance hídrico regional. Ese estudio sirvió de base para incorporar a la región en el Balance Hídrico Nacional (DGA, 1987). En ese estudio se publicó un mapa con isoyetas escala 1:250.000, que fue confeccionado, en lo que a la región de Antofagasta compete, mediante la interpolación y extrapolación de datos, provenientes de diversos estudios y basándose en un gradiente regional de aumento de precipitaciones con la altura, excepción hecha de las cuencas del Salado y San Pedro, que presentaban gradientes distintos del promedio regional.

Para este estudio, fueron digitalizadas las isoyetas medias anuales de DGA (1987), las cuales fueron rasterizadas, interpoladas, rellenadas y filtradas, con el fin de generar el un modelo pluviométrico digital, donde a cada píxel se le asignó un valor en milímetros **Figura 30**.

Figura 29


PP OBSERVADA v/s PP ESPERADA
REGRESION MUTIPLE ALT. LAT. Y LONG.
PP (mm)
200
160
120
80
40
0
2200
2400
2600
2800
3000
3200
3400
3600
3800
4000
4200
ALTURA
Linzor
Inacaliri
Lequena
Toconce
Caspana
Socaire
Toconao exp.
S.P.Conchi
Ayquina
S.P.Atacama
Conchi E.
Parshall N2
Calama
Peine
PP OBSERVADA
PP ESPERADA

PPMEDIAS DGA (1987) Y MODELO DE REGRESION



CLASES
0 A 20
20 A 40
40 A 60
60 A 80
80 A 100
100 A 120
120 A 140
140 A 160
160 A 180
180 A 200
200 A 220
220 A 240
240 A 260
260 A 280
280 A 300

Grid North

meters

93603.5

GEO-CLIMA

Figura 30

TABLA 10

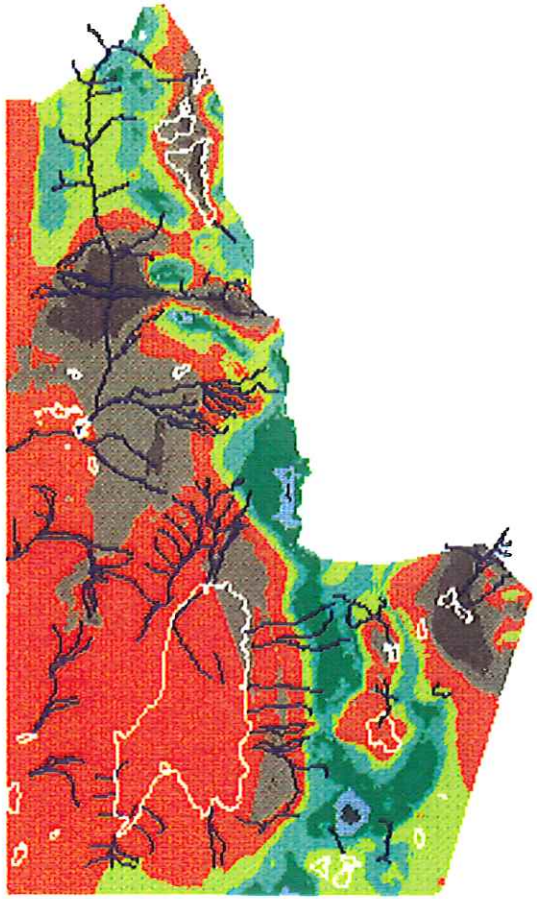
REGRESION MULTIPLE PP SEGUN: LATITUD, LONGITUD y ALTURA							
		Regression Output:					
Constant		5914.27					
Std Err of Y Est		32.30					
R Squared		0.70					
No. of Observations		14.00					
Degrees of Freedom		10.00					
X Coefficient(s)	-28.76		-78.19		0.04		
Std Err of Coef.	36.87		68.01		0.04		
ESTACION	LATITUD	LONGITUD	ALTURA	PP MEDIA	PP MODELO	RESIDUOS	CV
Lequena	21.65	68.67	3320	119.20	68.96	50.24	0.42
S.Pedro C	21.93	68.53	3217	39.00	67.31	-28.31	-0.73
Parshall	21.95	68.52	3318	30.80	71.97	-41.17	-1.34
Inacaliri	22.00	68.07	4100	120.70	140.19	-19.49	-0.16
Conchi E.	22.05	68.63	3010	18.92	46.92	-28.00	-1.48
Linzor	22.20	67.98	4096	188.00	141.30	46.70	0.25
Toconce	22.27	68.18	3350	110.50	90.76	19.74	0.18
Ayquina	22.28	68.32	3031	42.70	65.47	-22.77	-0.53
Caspana	22.33	68.23	3260	78.10	81.16	-3.06	-0.04
Calama	22.47	68.92	2260	6.30	0.00	6.30	1.00
S.Pedro A	22.92	68.20	2450	28.30	30.83	-2.53	-0.09
Toconao E.	23.18	68.03	2430	48.70	35.76	12.94	0.27
Socaire	23.60	67.87	3251	57.40	72.39	-14.99	-0.26
Peine	23.68	68.08	2480	23.20	19.68	3.52	0.15
PP = 5914,27 + (LATITUD* -28,76) + (LONGITUD * -78,19) + (ALTURA * 0.04)							

El modelo digital derivado de las curvas de la DGA, presenta sus máximos en la mayor parte de los conos volcánicos con alturas superiores a los 5.000 metros de altura. Los valores máximos se alcanzaron en la Puna de Atacama, al sur del salar Aguas Calientes, con valores de 300 mm. Los mínimos llegan a 10 mm y se localizan en la parte oriental del área de estudio.

Para comparar ambos modelos pluviométricos, es necesario considerar previamente, que las curvas de DGA (1987), ploteadas sobre cartografía regular pero con coordenadas geográficas, debió ser rectificada para homologar los sistemas de referencia a UTM, de los otros planos de información de este estudio. Este procedimiento, puede generar distorsiones o desplazamientos de las isoyetas originales, respecto de la topografía.

En general, los valores de precipitación del modelo DGA, son superiores a los del modelo de regresión múltiple **Figura 31**. Destacan como las mayores diferencias, algunos cordones montañosos ubicados al Norte del Licancabur y al sur del salar de Aguas Calientes, donde la sobrevaloración de DGA es del orden de 130 a 190 mm.

CLASES DE DIFERENCIAS PPMOP-PPMODELO (mm)



LEGENDA
-40 A -10
-10 A 10
10 A 40
40 A 70
70 A 100
100 A 130
130 A 160
160 A 190

Grid North

meters

93603.5

GEO-CLIMA

Figura 31

A la inversa, algunos sectores poseen mayores estimaciones en el modelo pluviométrico derivado de la regresión múltiple, como son la fosa del salar de Tara, la cuenca media-alta del Loa y la fosa de Ascotán.

En síntesis, el modelo de regresión múltiple, puede ser útil para destacar y precisar el rol de la topografía en la distribución pluviométrica, sin embargo el modelo de interpolación de DGA, es más detallado, en la medida que diferencia los gradientes para un par de cuencas.

Se podría caracterizar a los sectores como sobrevalorados por el modelo de regresión múltiple, como aquellos que presentan menores lluvias que las que les corresponderían según la altura, esto quiere decir que son más secos que lo normal y se encuentran en sombras pluviométricas, mientras que para los sectores sobrevalorados en el modelo DGA, se podría inducir una sobrestimación del componente invernal en las lluvias.

2.2.2.2.2 Distribución temporal

Además de la mencionada variabilidad espacial descrita en el capítulo anterior, durante las últimas décadas la frecuencia e intensidad de las lluvias ha tenido una alta variabilidad interanual, destacándose largos períodos de sequía (1978-1983, 1988-1992), así como veranos extremadamente lluviosos (1975-1977, 1983-1984) **Tabla 11**.

En la **Figura 32** aparecen los promedios anuales para las 14 estaciones seleccionadas, incluyéndose también los coeficientes de variación (CV) para cada año. Como es posible apreciar, los CV son elevados para toda la serie, destacan sin embargo, el bajo CV de 1987, año de fuerte precipitación para toda la región. De igual forma destaca 1988, 1981 y 1985, como años con altos CV y bajas precipitaciones. El año 1975 presenta la máxima precipitación media anual regional, sin embargo su CV evidencia que no todas las estaciones recibieron montos muy altos de precipitación.

Ordenando las precipitaciones medias anuales de acuerdo a un orden decreciente para cada estación y aplicando un análisis de probabilidad en base a Weibul (INYGE, 1991), es posible caracterizar a los años 1975, 1984 y 1977, como los de más alta precipitación en la serie completa, con probabilidades del orden de 12 a 6 % **Tabla 12**.

Considerando ahora los años con menores precipitaciones medias anuales de la serie, destacan 1988, 1982, 1980 y 1981, como los más secos. Es necesario considerar que estos años secos son consecutivos, lo que agravó más la condición de sequía del área a principios de la década de los 80 **Tabla 12**.

Debido a que las anomalías pluviométricas interanuales dependen en gran medida de la localización de las estaciones, se consideraron las 3 agrupaciones de estaciones descritas en el capítulo precedente, con el fin de calcular los puntajes Z.

En la **Figura 33** se han ploteado las anomalías para las estaciones del Loa Alto, Loa Medio y de la Fosa de Atacama.

Figura 32

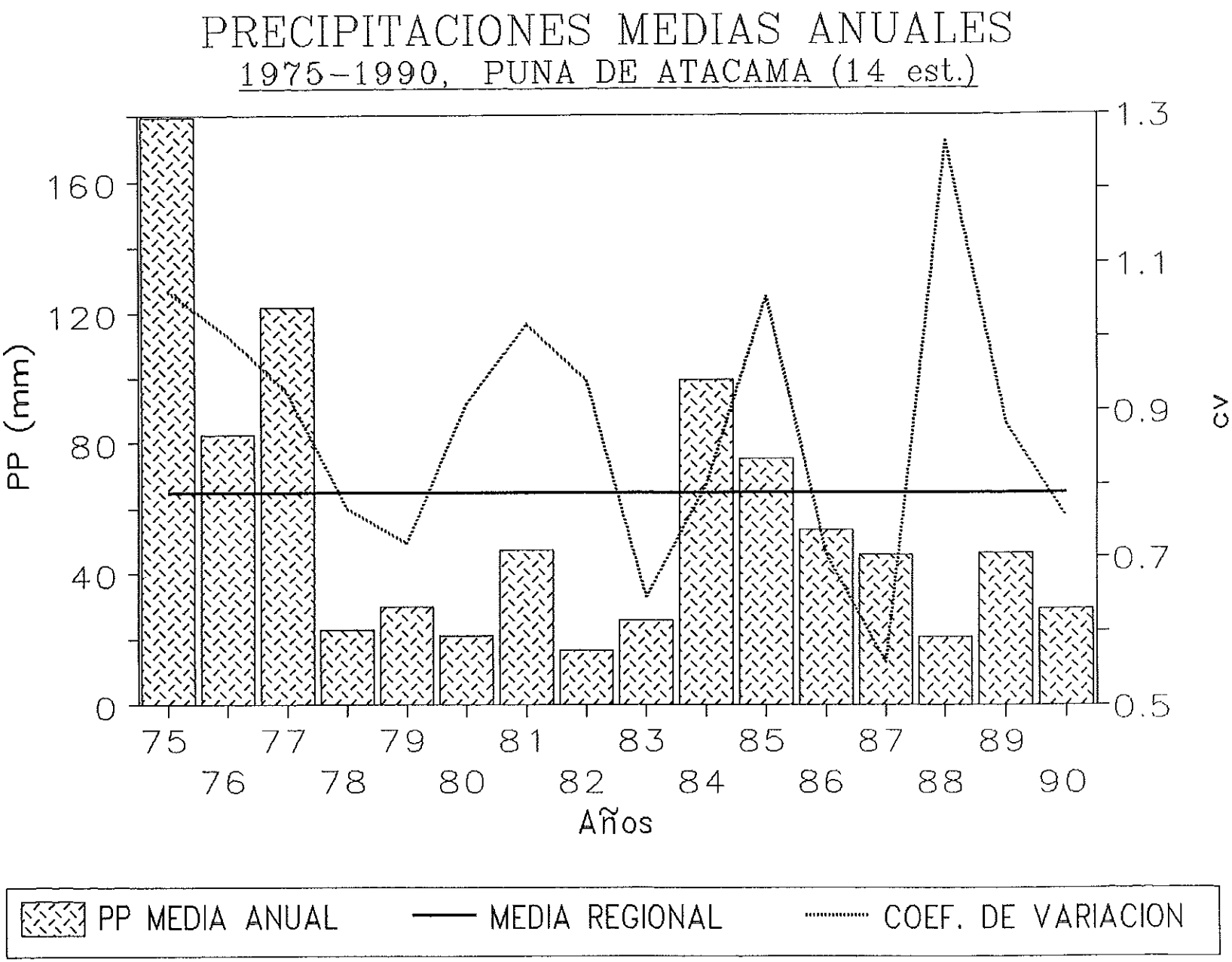

PRECIPITACIONES MEDIAS ANUALES
1975-1990, PUNA DE ATACAMA (14 est.)
PP (mm)
160
120
80
40
0
1.3
1.1
0.9
0.7
0.5
cv
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
Años
PP MEDIA ANUAL
MEDIA REGIONAL
COEF. DE VARIACION

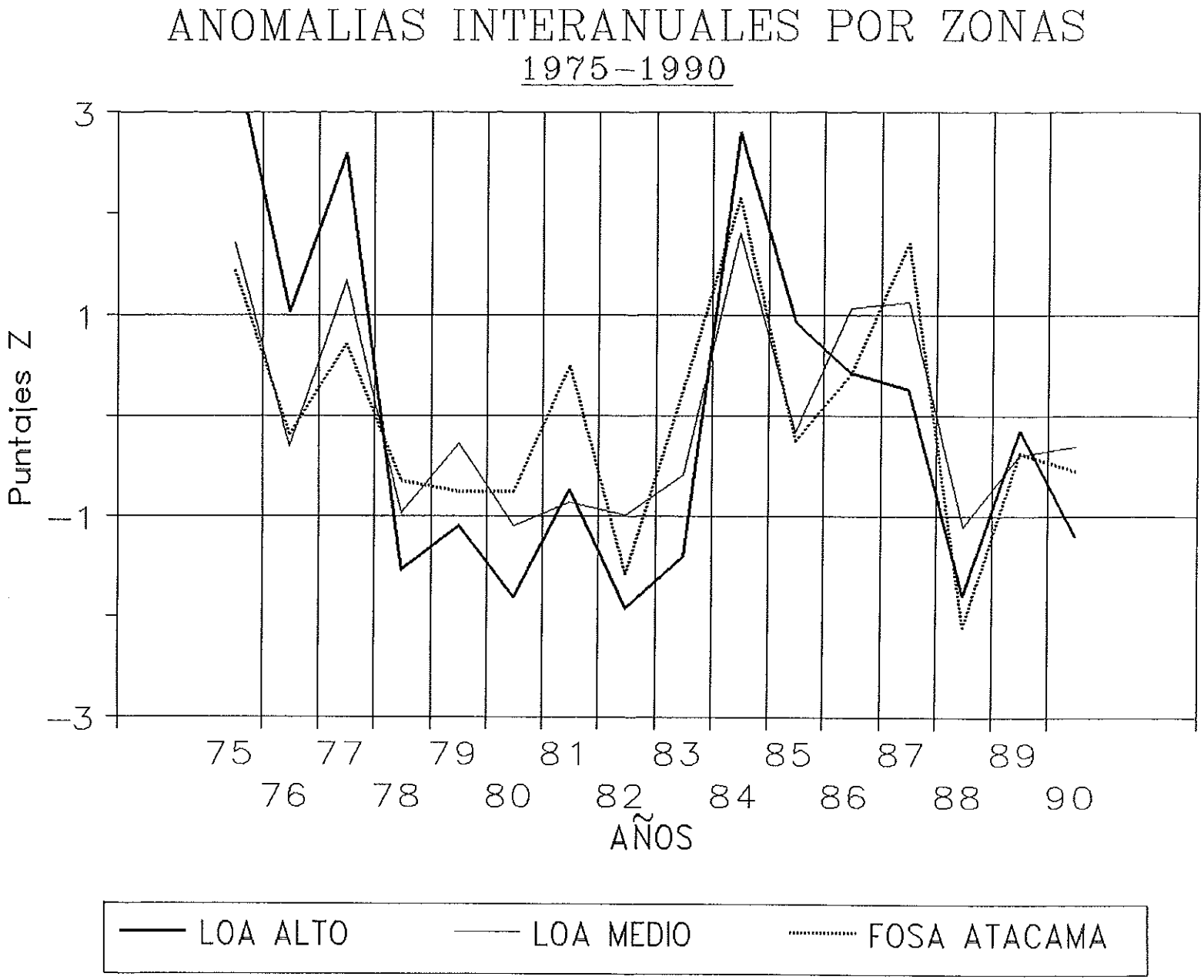
TABLA 11 PRECIPITACIONES MEDIAS ANUALES POR ESTACION 1975 - 1990

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Años	Lequena	S.P. Conchi	Parshall	Inacaliri	Conchi Emb.	Linzor	Toconce	Ayquina	Caspana	Calama	S.P. Atacama	Toconao	Socaire	Peine	Media
75	654.8	115.0	53.0	279.1	15.8	432.5	278.3	91.5	170.0	7.0	40.0	73.0	128.1	24.0	168.7
76	211.0	30.0	17.8	166.5	8.8	284.9	125.0	44.0	111.7	11.5	39.0	44.2	45.8	14.0	82.4
77	405.0	46.8	62.2	197.3	35.0	334.5	264.0	104.2	180.5	2.7	61.0	72.0	72.0	5.5	131.6
78	36.0	10.0	10.8	69.3	15.5	82.5	25.0	18.5	38.5	0.0	18.0	9.5	43.5	39.0	29.7
79	70.0	28.9	22.5	123.3	32.0	81.0	44.7	23.0	46.5	8.6	23.6	16.5	40.5	21.0	41.6
80	15.9	6.0	19.0	46.1	2.0	85.0	20.1	17.6	12.0	0.0	12.5	38.0	29.0	21.5	23.2
81	26.0	6.0	15.0	37.1	16.0	181.5	68.6	28.0	74.5	0.0	23.5	100.8	59.0	11.5	46.3
82	10.2	20.4	21.5	45.1	4.5	62.0	24.3	7.0	11.1	0.5	8.0	5.0	20.7	6.5	17.6
83	51.0	20.0	11.0	39.0	21.0	114.9	46.6	22.0	40.1	14.2	23.0	56.5	58.0	40.5	39.8
84	118.1	110.0	44.5	228.2	42.5	380.0	232.1	82.5	172.0	10.7	10.5	100.0	157.9	50.0	124.2
85	67.2	37.5	40.0	218.5	17.5	255.1	147.0	28.7	48.0	0.0	35.0	28.5	48.0	27.2	71.3
86	70.2	93.0	40.8	128.8	19.0	202.0	141.3	72.5	102.6	2.4	40.0	86.3	46.6	15.5	75.8
87	86.0	43.0	66.3	112.2	38.5	201.0	131.5	82.0	101.5	3.0	47.5	71.5	97.2	69.5	82.2
88	20.0	11.5	16.7	32.0	3.5	77.1	40.5	9.5	15.5	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	16.4
89	34.5	18.0	30.0	79.8	10.5	171.9	122.8	43.0	95.0	2.5	42.5	36.0	40.0	12.0	52.8
90	31.7	27.5	21.5	128.5	19.5	61.9	56.5	9.5	30.5	34.5		41.2	32.0	14.1	39.1
MEDIAS	119.2	39.0	30.8	120.7	18.9	188.0	110.5	42.7	78.1	6.3	28.3	48.7	57.4	23.2	65.2
STD	168.3	34.5	17.5	75.6	12.0	116.0	83.1	31.7	56.1	8.5	16.4	31.7	38.8	17.8	42.9
CV	1.4	0.9	0.6	0.6	0.6	0.6	0.8	0.7	0.7	1.4	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8

TABLA 12 AÑOS CON PROBABILIDADES DE EXCEDENCIA POR ESTACION (13 est. 1975 - 1990)

Calificacion MODA	Probabilidad	Lequena	S.P. Conchi	Parshall	Inacaliri	Conchi Emb.	Linzor	Toconce	Ayquina	Caspana	Calama	Toconao	Socaire	Peine
EXTRA LLUVIOSO 1975(5)/1977(3)	5.9	75	75	87	75	84	75	75	77	77	90	81	84	87
MUY LLUVIOSO	11.8	77	84	77	84	87	84	77	75	84	83	84	75	84
1984(6)/1977(3)	17.6	76	86	75	85	77	77	84	84	75	76	86	87	83
LLUVIOSOS	23.5	84	77	84	77	79	76	85	87	76	84	75	77	78
	29.4	87	87	86	76	83	85	86	86	86	79	77	81	85
	35.3	86	85	85	86	90	86	87	76	87	75	87	83	75
NORMALES	41.2	79	76	89	90	86	87	76	89	89	88	83	85	80
	47.1	85	79	79	79	85	81	89	85	81	87	76	86	79
	52.9	83	90	90	87	81	89	81	81	85	77	90	76	86
	58.8	78	82	82	89	75	83	90	79	79	89	80	78	90
SECOS	64.7	89	83	80	78	78	80	83	83	83	86	89	79	76
	70.6	90	89	76	80	89	78	79	78	78	82	85	89	89
	76.5	81	88	88	82	76	79	88	80	90	80	79	90	81
MUY SECOS	82.4	88	78	81	83	82	88	78	88	88	78	78	80	82
1982(4) 1980, 1981(2)	88.2	80	81	83	81	88	82	82	90	80	85	82	82	77
EXTRA SECO 1988(4) 1980, 1982(3)	94.1	82	80	78	88	80	90	80	82	82	81	88	88	88

Figura 33


ANOMALIAS INTERANUALES POR ZONAS
1975-1990
Puntajes Z
3
1
-1
-3
75 77 79 81 83 85 87 89
76 78 80 82 84 86 88 90
AÑOS
LOA ALTO
LOA MEDIO
FOSA ATACAMA

Como es posible apreciar, la primera agrupación, que presenta los montos mayores de precipitación, presenta además las mayores anomalías. Destacan entre las positivas, la secuencia 1975-1977, como la máxima de toda la serie. Esta primera gran anomalía, está presente en las otras dos agrupaciones, pero no con la potencia que se presenta en el Loa alto.

Desde 1978 a 1983, toda el área de estudio se encuentra bajo la media, con anomalías negativas. De este período destaca 1981, como un año de leve normalidad positiva para la fosa de Atacama, generado exclusivamente por un verano muy lluvioso en Toconao.

Desde el verano 1983-84, la situación se revierte y comienza un ciclo positivo en las precipitaciones regionales. En este ciclo destaca 1984, como un año lluvioso con una anomalía similar para las tres agrupaciones. El año 1985 se producen una leve disminución de las lluvias, sin embargo no alcanza para constituir una anomalía negativa. En 1986, las precipitaciones son variables para las tres agrupaciones, pero se mantiene la tendencia positiva, para que finalmente en 1987, vuelven a producirse fuertes precipitaciones en casi toda la región. En este último año, las anomalías positivas son más fuertes en la Fosa de Atacama y Loa Medio, mientras que para el Loa Alto, la condición es normal.

Con posterioridad a 1987, un ciclo de precipitaciones exiguas se extiende por toda la región, destacándose 1988 como uno de los más secos de toda la serie y para todas las agrupaciones.

Este ciclo de sequía iniciado en 1988 sólo culminó en 1992, cuando precipitaciones de invierno comenzaron a revertir la situación. El verano 1992-93 fue normal.

Al analizar los datos pluviométricos a nivel mensual, destaca el mes de Febrero con el 32,7% de las lluvias para el período 1975- 1990. Le sigue Enero con un 27,5 y luego Marzo con un 19,1% de las precipitaciones totales anuales **Tabla 13**.

Para analizar las precipitaciones por períodos mensuales, se agruparon los datos por tres períodos homogéneos:

Un período estival, desde Diciembre a Marzo, que representa el 85,4% de las precipitaciones totales anuales;

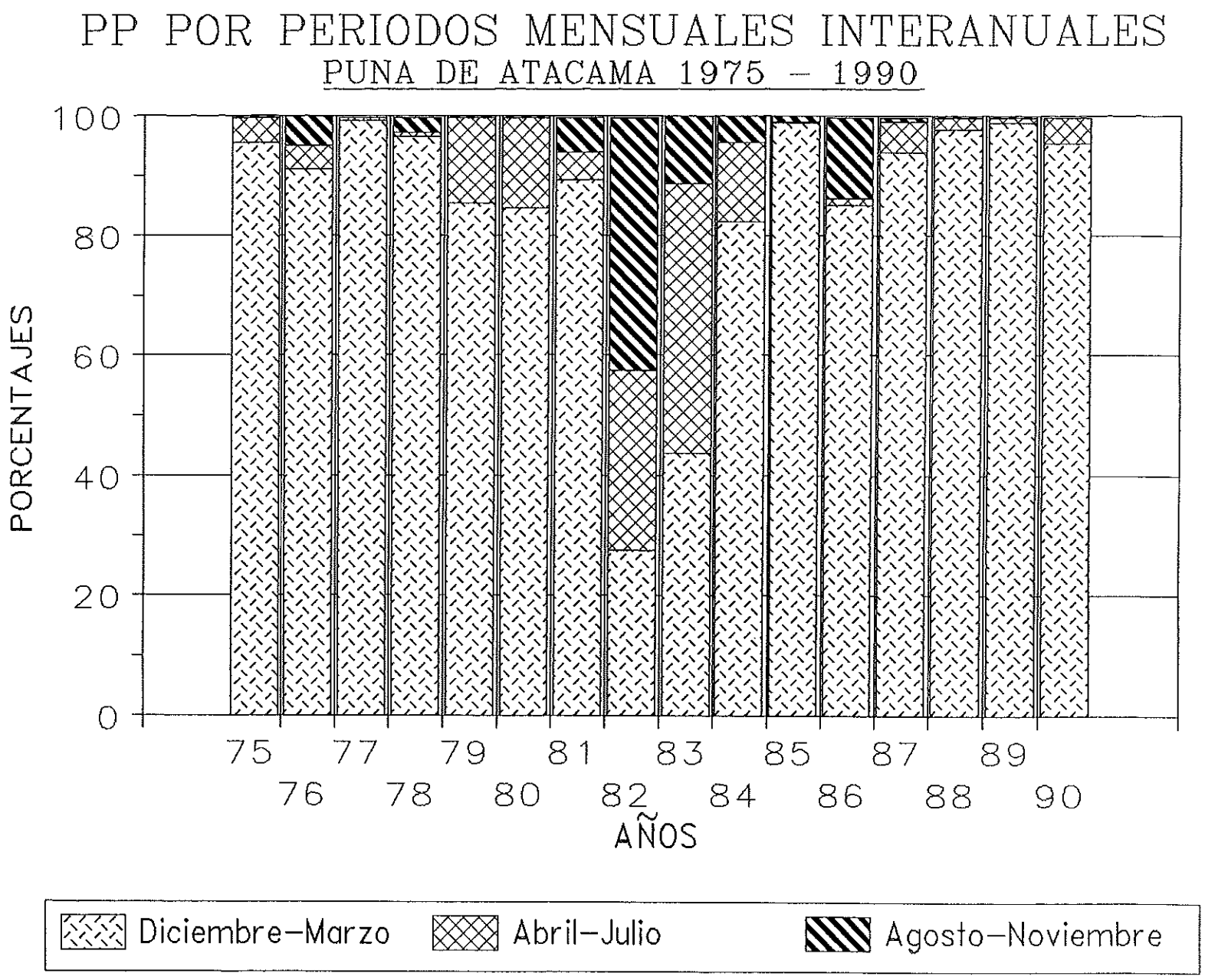
Un período otoño-invierno, desde Abril a Julio, que representa un 10.9% del total de precipitaciones anuales
y
un período invernal-primaveral desde los meses de Agosto a Noviembre, que sólo representa un 4,9 % del total.

La evolución de las precipitaciones por período mensual porcentual, muestra que la mayoría de los años presenta más de un 85% de lluvias estivales. Las principales excepciones la constituyen los años 1982, 1983 y 1984, donde aumentan considerablemente las precipitaciones invernales y primaverales **Figura 34**.

TABLA 13 PRECIPITACION PORCENTUAL MENSUAL POR AÑO (1975-1990)

	AÑOS																
MESES	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	MEDIA
ENERO	33.5	64.5	8.7	27.6	65.5	10.9	8.1	0.0	13.8	61.0	2.1	48.9	44.0	33.4	0.9	16.6	27.5
FEBRERO	34.7	13.8	78.6	65.1	5.0	11.0	78.2	2.4	13.0	15.7	63.1	19.2	21.3	0.7	93.5	7.4	32.7
MARZO	25.4	12.0	11.5	3.5	14.4	62.6	3.0	8.7	12.8	5.6	29.7	2.8	28.6	61.6	4.4	18.8	19.1
ABRIL	0.3	0.0	0.5	0.0	0.0	1.4	4.5	0.4	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.6
MAYO	2.0	3.9	0.1	0.0	0.0	11.2	0.0	24.2	16.7	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	2.6	3.8
JUNIO	1.6	0.0	0.0	0.8	14.6	0.0	0.2	5.5	24.5	13.3	0.2	1.3	4.5	0.9	1.2	1.4	4.4
JULIO	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	0.0	2.9	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.5	0.4
AGOSTO	0.0	0.7	0.0	0.2	0.0	0.0	2.4	2.4	0.0	0.0	0.0	6.4	0.0	0.0	0.0	0.1	0.8
SEPTIEMBRE	0.3	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	39.9	11.3	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.1	3.8
OCTUBRE	0.0	0.0	0.1	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
NOVIEMBRE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.0	7.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
DICIEMBRE	2.0	0.8	0.5	0.3	0.5	0.2	0.0	16.5	4.2	0.0	3.9	14.1	0.0	2.0	0.0	52.5	6.1
%Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Figura 34


PP POR PERIODOS MENSUALES INTERANUALES
PUNA DE ATACAMA 1975 – 1990
PORCENTAJES
100
80
60
40
20
0
75 77 79 81 83 85 87 89
76 78 80 82 84 86 88 90
AÑOS
Diciembre–Marzo
Abril–Julio
Agosto–Noviembre

El año 1982 es la máxima anomalía desde este punto de vista. Ese año, en términos de su probabilidad de excedencia, ha sido considerado uno de los más secos de la serie y sin embargo la poca precipitación que hubo, acaeció principalmente en Mayo y Septiembre. En Enero de ese año no hubo precipitaciones en toda el área de estudio, caso único en toda la serie.

Para analizar más detalladamente la evolución de los períodos mensuales a lo largo de la serie de 15 años , se estandarizaron las precipitaciones por período, tal como se aprecia en las **Figuras 35 y 36**.

En la **Figura 35** es posible apreciar las anomalías pluviométricas de verano, destacándose entre los veranos más lluviosos, los de 1975, 1976-77, 1983-84 y 1986-87. El período estival de 1975 no incluyó el mes de Diciembre de 1974 inexistente en las estadísticas, sin embargo es el verano más lluvioso de toda la serie, con más de 2 desviaciones standard por sobre la media.

Los veranos de 1977-78 a 1982-83, marcan un largo período de sequía, que alcanzó su máximo en 1981-82, el verano más seco de la serie.

Entre los veranos de 1983-84 y 1986-87 vuelven a repetirse anomalías positivas, interrumpidas levemente en el verano de 1985-86.

Después de 1987, la sequía vuelve a imponerse.

En la **Figura 36** pueden apreciarse las anomalías para los períodos mensuales de Abril-Julio y Agosto-Noviembre.

Por lo general en toda la serie las precipitaciones en estos meses son reducidas, sin embargo para el período de Abril-Julio, el ciclo 1982-1984, define un aumento significativo de las precipitaciones intermensuales. El año 1983 y 1984, se dan las mayores precipitaciones invernales de toda la serie.

Para el período Agosto-Noviembre, los años con mayores anomalías positivas son 1982-1984 y 1986. La tendencia general es similar para el período Abril-Julio, sin embargo la magnitud de las anomalías para el ciclo 82-84 es inferior en primavera. La anomalía de primavera de 1986, es la más significativa de toda la serie y se da un año considerado como lluvioso **Tabla 12**.

Al analizar la distribución porcentual por estación, (**Figura 37**) se ve un progresivo descenso de las lluvias estivales en dirección al Sur, en favor de las del período Abril-Julio.

Destaca la estación de Calama, donde casi el 40% de las lluvias son no estivales, constituyéndose en la bisagra del régimen estival continental versus el invernal frontal. Obviamente no hay que olvidar que su promedio interanual sólo llega a 6,3 mm.

La mayoría de las estaciones presenta porcentajes similares para primavera, sin embargo en invierno los cambios son más consistentes, en especial en la agrupación de estaciones de la fosa de Atacama.

Figura 35

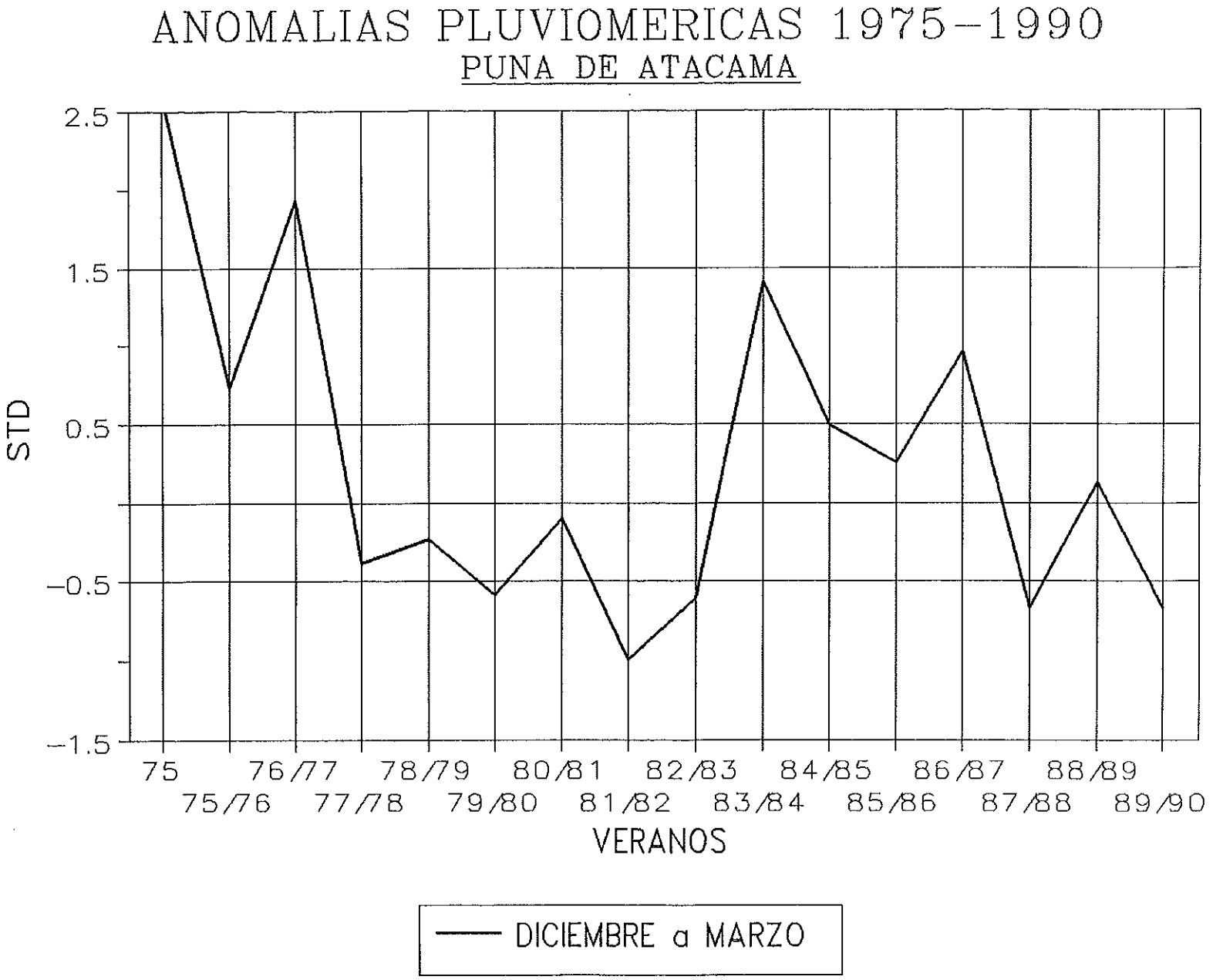

ANOMALIAS PLUVIOMERICAS 1975-1990
PUNA DE ATACAMA
2.5
1.5
0.5
-0.5
-1.5
STD
75
75/76
76/77
77/78
78/79
79/80
80/81
81/82
82/83
83/84
84/85
85/86
86/87
87/88
88/89
89/90
VERANOS
DICIEMBRE a MARZO

Figura 36

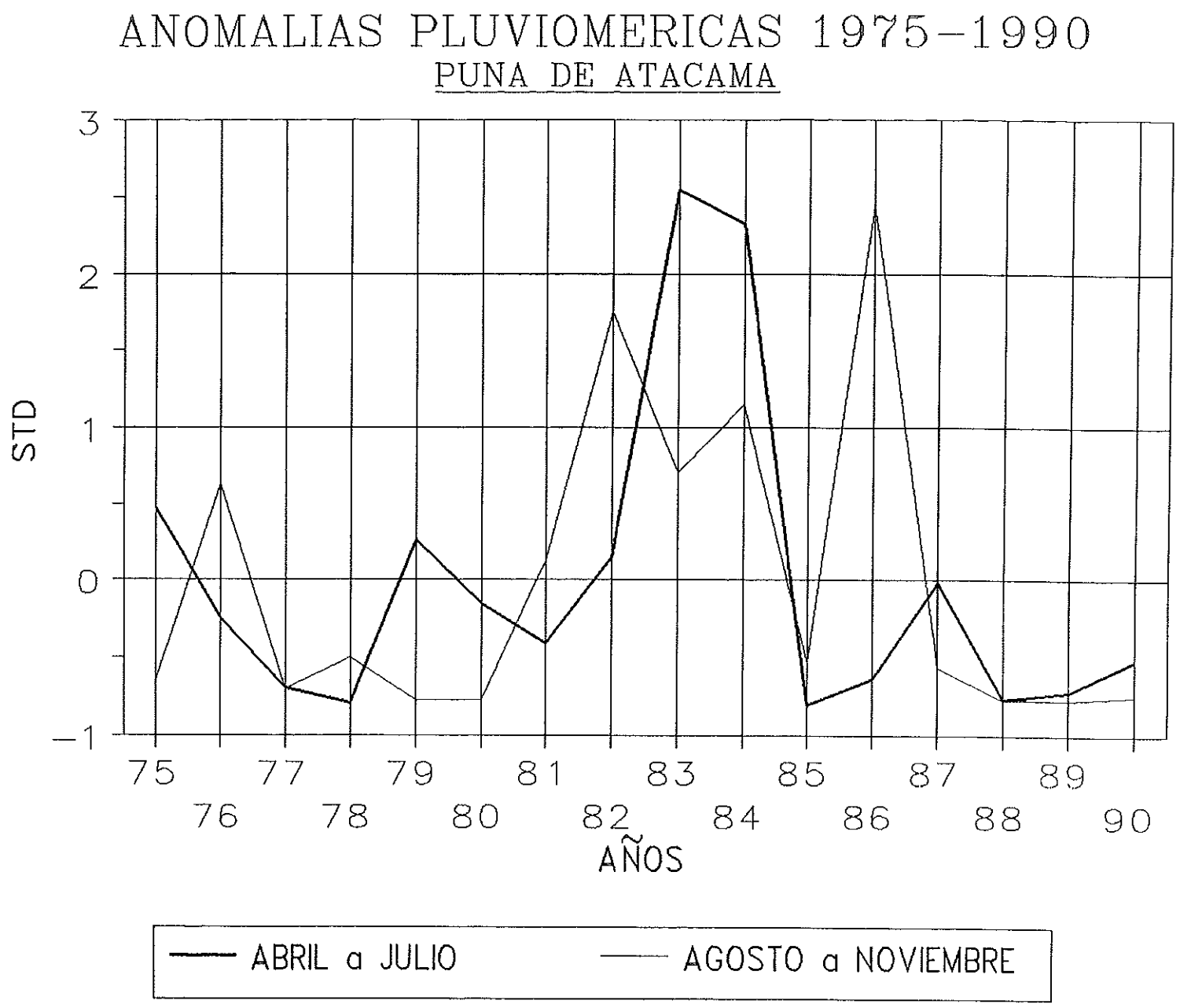
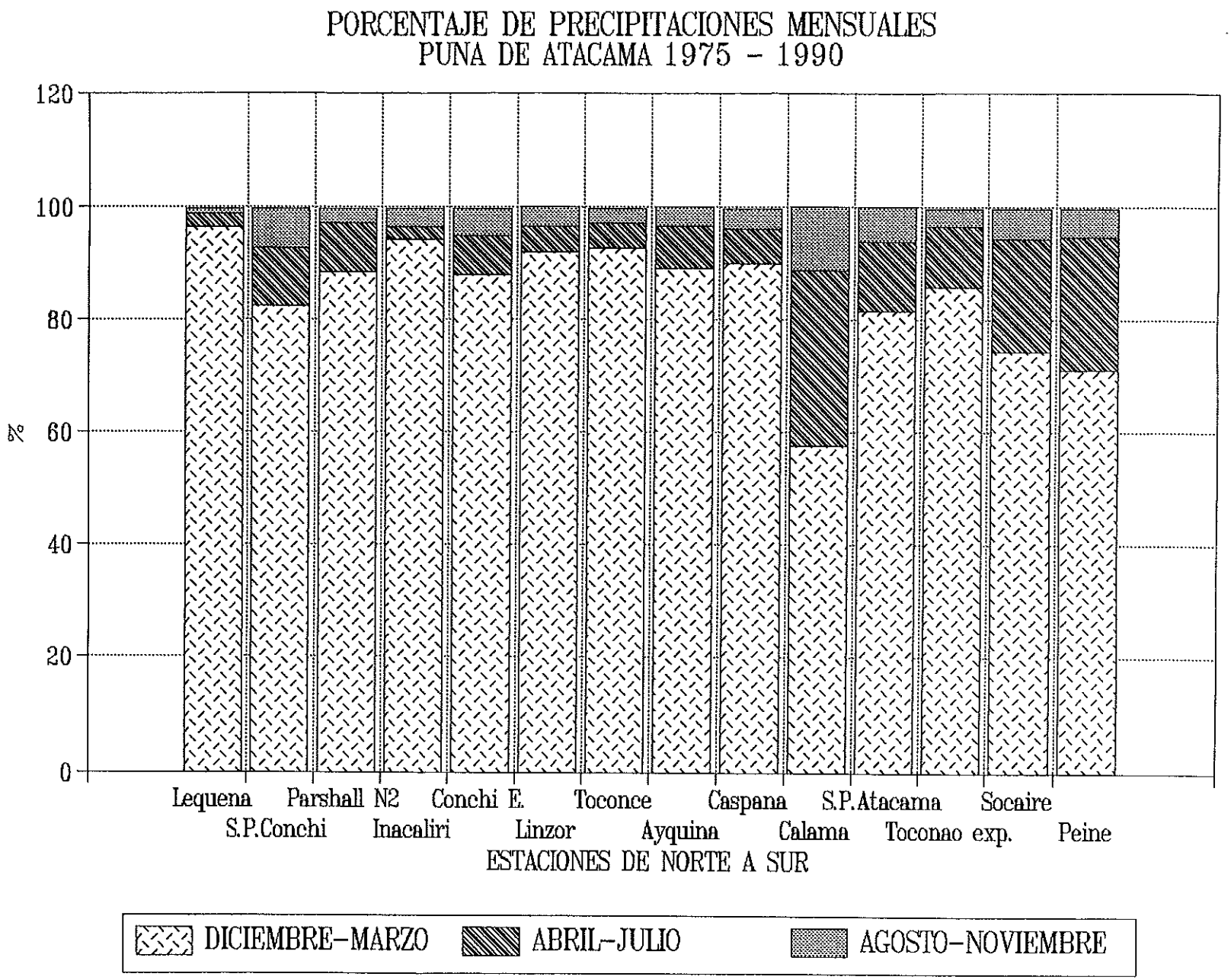

ANOMALIAS PLUVIOMERICAS 1975-1990
PUNA DE ATACAMA
STD
3
2
1
0
-1
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
AÑOS
ABRIL a JULIO
AGOSTO a NOVIEMBRE

Figura 37


PORCENTAJE DE PRECIPITACIONES MENSUALES
PUNA DE ATACAMA 1975 - 1990
120
100
80
60
40
20
0
%
Lequena
S.P.Conchi
Parshall
Inacaliri
N2
Conchi E.
Linzor
Toconce
Ayquina
Caspana
Calama
S.P.Atacama
Toconao exp.
Socaire
Peine
ESTACIONES DE NORTE A SUR
DICIEMBRE-MARZO
ABRIL-JULIO
AGOSTO-NOVIEMBRE

Respecto de la concentración diaria de las precipitaciones, se analizó 9 estaciones **Tabla 14**, que muestran montos máximos de concentración en 24, 48 y 72 horas.

El porcentaje de las precipitaciones máximas en 24 horas respecto del total anual, tiene una relación inversa respecto de la media anual de precipitaciones. Las estaciones con mayores montos medios anuales, tienen menor concentración del total en un sólo día.

Lequena escapa a la tendencia general, mostrando un monto mayor de precipitación diaria, respecto del total. En ella han llovido hasta 128 mm en 72 horas, más que la media anual.

En términos porcentuales, todas las estaciones presentan una media superior al 30% de precipitaciones máximas en 24 horas, respecto del promedio anual. En 72 horas, este porcentaje llega a 46% del promedio anual.

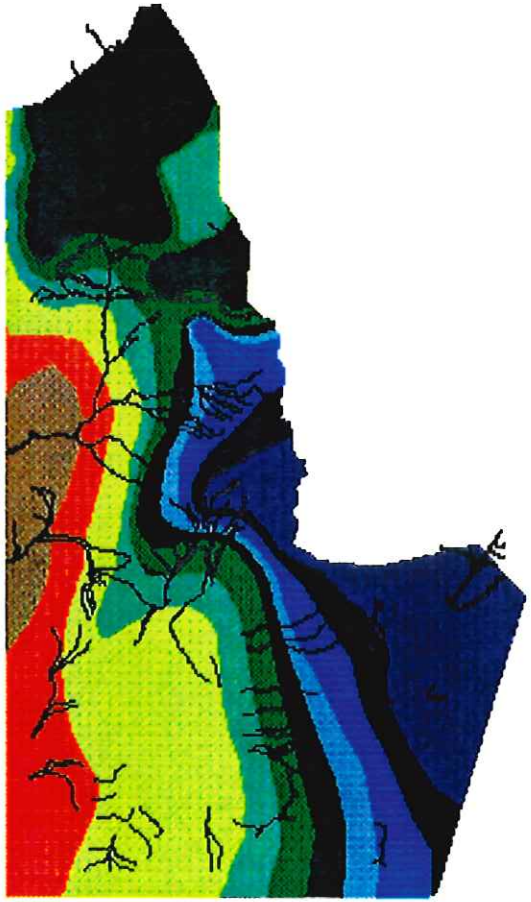
Para espacializar esta variable, se digitalizó las isoyetas máximas en 24 horas con recurrencia de 10 años publicadas en DGA (1991), las cuales fueron rasterizadas y filtradas con el fin de determinar el modelo pluviométrico digital de las máximas en 24 horas de la región.

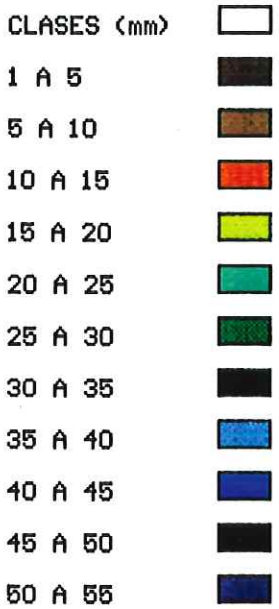
La **Figura 38** muestra las clases resultantes de precipitación máxima en 24 horas del área de estudio. Destaca la Puna de Atacama, al interior de la Fosa de Atacama, como la zona con mayores precipitaciones en 24 horas, alcanzando hasta 55 mm promedios anuales con recurrencia de 10 años.

El patrón altitudinal es muy marcado, con un mayor gradiente desde el río Salado al Sur. La fosa de los salares de Ascotán Carcote, muestran un leve descenso de las precipitaciones máximas, debido a la sombra pluviométrica generada por los cordones montañosos que la rodean.

Los valores mínimos, se dan en la cuenca de Calama y el poniente de la Fosa de Atacama, con máximas de hasta 15 mm por cada 24 horas.

CLASES DE PP24 PUNA DE ATACAMA DGA (1991)





meters

93603.5

GEO-CLIMA

Figura 38

TABLA 14 PRECIPITACIONES MAXIMAS EN 24, 48 Y 72 HORAS

	ESTACIONES								
PRECIPITACION	LEQUENA	S.PEDRO DE CONCHI	PARSHALL	INACALIRI	LINZOR	TOCONCE	AYQUINA	TOCONAO EXP.	SOCAIRE
Media Anual	119.2	39.0	30.8	120.7	188.0	110.5	42.7	48.7	57.4
máxima 24hr (mm)	50.0	40.0	22.0	32.0	50.0	64.0	44.5	32.0	30.5
máxima 48hr (mm)	80.0	45.0	22.5	43.1	75.5	94.0	53.5	46.0	32.5
máxima 72hr (mm)	128.0	65.0	33.0	57.0	93.0	148.0	66.0	64.5	36.5
% MEDIO en 24hr	27.8	40.7	35.7	21.5	16.9	23.8	38.8	40.0	30.7
% MEDIO en 48hr	36.6	51.3	46.1	28.2	23.3	33.0	48.2	51.9	41.0
% MEDIO en 72hr	41.1	56.6	50.6	35.6	28.0	40.8	56.6	59.8	44.9

2.2.2.2.3 Régimen pluviométrico estival

Se analizó el verano de 1984, uno de los años más lluviosos en al altiplano. Este período lluvioso comenzó para algunas estaciones en diciembre de 1983, y tuvo dos ciclos principales, uno en Enero y otro entre el 14 y 22 de Febrero de 1984.

En la **Tabla 15**, se presentan las precipitaciones para 11 estaciones seleccionadas. En este evento hubo fuertes precipitaciones en la agrupación Loa Alto, escasas en el Loa Medio y nulas en la Fosa de Atacama.

La **Figura 39** muestra las precipitaciones diarias para las estaciones de la agrupación de Loa Alto, las más afectadas durante este evento. Destaca Linzor, como la estación de mayores y más constantes precipitaciones durante los 10 días de este ciclo.

Las lluvias comenzaron en Linzor, para luego extenderse al día siguiente a todo el altiplano por precipitaciones en Inacaliri. El día 16 empieza a llover en las estaciones más bajas lo que se mantiene hasta el final de este evento el día 21. Caspana, la estación más baja de esta agrupación presenta lluvias discontinuas, los días 16, 19 y 20, al igual que Lequena, donde llueve el 16, 18 y 21.

Se estudiaron para cada día, las cartas sinópticas Superficie, las cartas sinópticas de 500 hp y los radiosondajes de Antofagasta.

Durante los días previos a la aparición de las precipitaciones, las cartas de superficie mostraban una posición normal del Anticiclón del Pacífico Sudoriental (APS), sobre la costa chilena con su borde en el continente. En el interior del continente, a la altura de La Quiaca, se localizó un centro de Bajas presiones. Al Sur del APS, masas frontales surcaban chile en dirección del Atlántico.

Las cartas de 500 hp, mostraban vientos del W, desde los 30° de Latitud al Sur. En la zona altiplánica, se aprecia un pantano barométrico, con vientos débiles del W.

El radiosonda mostraba estabilidad de la columna completa, sin humedad ni saturación con vientos del W de moderada intensidad.

A partir del día 14 de Febrero, las condiciones comienzan a cambiar, especialmente en el radiosonda, puesto que la columna se inestabiliza progresivamente, evidenciando intromisiones de humedad a 500 hp, con vientos de componente Este, pero de escasa intensidad.

Algunas estaciones muestran el inicio del ciclo de precipitaciones, en especial las más orientales, como Ollagüe y Linzor.

La isoterma se ubicó a 5200 metros con fuerte calentamiento basal. Al oriente de la cordillera en Salta, vientos del Este.

Figura 39

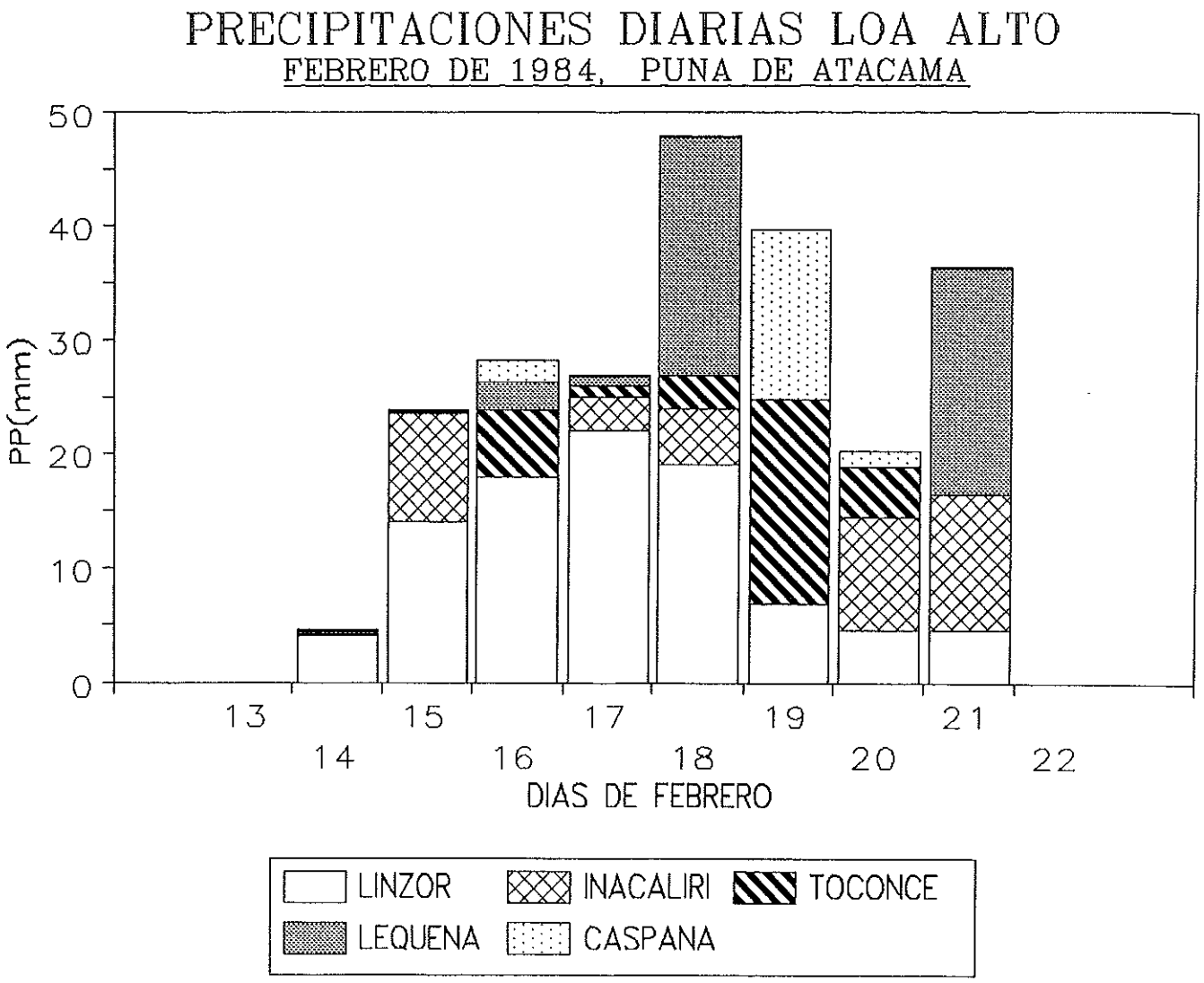

PRECIPITACIONES DIARIAS LOA ALTO
FEBRERO DE 1984, PUNA DE ATACAMA
PP(mm)
0
10
20
30
40
50
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
DIAS DE FEBRERO
LINZOR
INACALIRI
TOCONCE
LEQUENA
CASPANA

TABLA 15 PP.(mm) DIARIA II REGION, PUNA DE ATACAMA: FEBRERO 1984

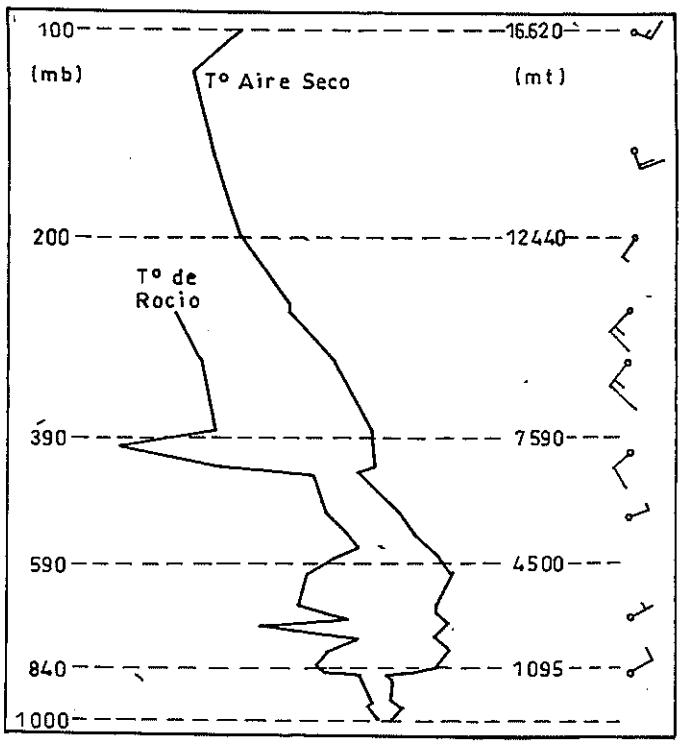
	LEQUENA	CONCHI EMB	INACALIRI	LINZOR	TOCONCE	AIQUINA	CALAMA	CASPANA	S PEDRO ATACAMA	TOCONAO EXP.	SOCAIRE	TOTAL DIARIO	% DIA
LATITUD	21°39'	22°03'	22°00'	22°12'	22°16'	22°17'	22°28'	22°20'	22°55'	23°11'	23°36'		
LONGITUD	68°40'	68°38'	68°04'	67°59'	68°11'	68°19'	68°55'	68°14'	68°12'	68°02'	67°52'		
ALTURA	3320	3010	4100	4096	3350	3031	2260	3260	2450	2430	3251		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	7	3
8	0	0	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0.3	0
9	0	0	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0.3	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	4.5	0	0	0	0	0	0	0	4.5	2
15	0	0	10	14	0	0	0	0	0	0	0	24	9
16	2.5	0.5	0	10	5	0	0	2	0	0	0	29	11
17	1	0	3	22	1	0	0	0	0	0	0	27	10
18	21	0	5	19	3	0	0	0	0	0	0	48	19
19	0	9.5	0	7	18	4	0	15	0	0	0	53.5	21
20	0	0	10	4.5	4.5	0	0	1.5	0	0	0	20.5	8
21	20	0	12	4.5	0	0	0	0	0	0	0	36.5	14
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	2.8	0	0	0	0	0	0	0	2.8	1
26	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	5	2
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	44.5	10	47	101.3	33.1	4	0	18.5	0	0	0	258.4	100

El día 15 aparece la Baja Continental en Argentina. EL APS sigue intenso con borde sobre el continente. Aumenta la humedad a 6.000 mts con vientos del Este a 500 hp. La isoterma de 0°C sigue a 5200 mts. A 500 mb se acentúa un pantano barométrico, con vientos muy débiles y predominio de convección.

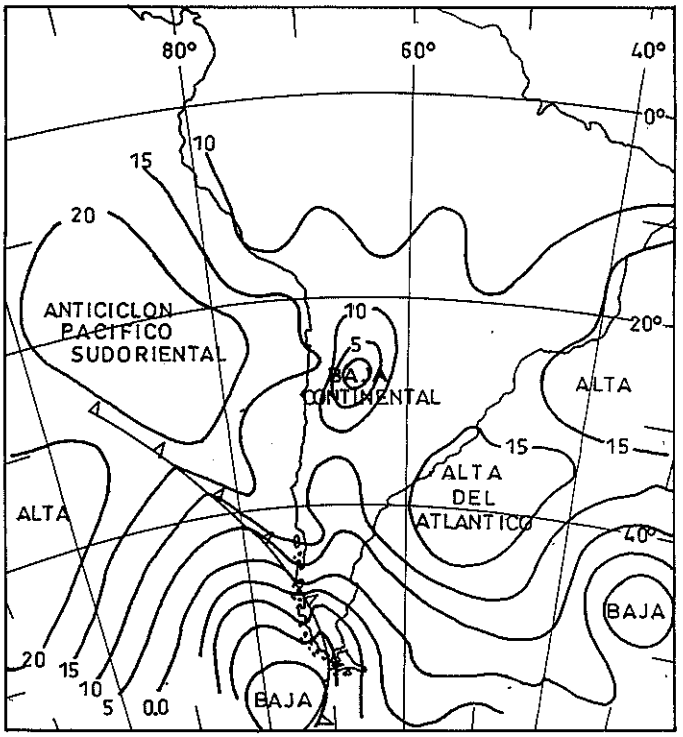
El día 16 de Febrero **Figura 40**, la Baja Continental está muy intensa sobre Argentina y parte de la cordillera. El APS disminuye su intensidad por el paso de un Sistema Frontal al Sur.

El radiosondaje se inestabiliza entre los 500 y 850 hp, con vientos débiles de componente Este. A mayor altura los vientos siguen siendo del Suroeste con mucha humedad en comparación con el día anterior. La isoterma de 0°C bajó hasta 4.800 mts **Foto 7**.

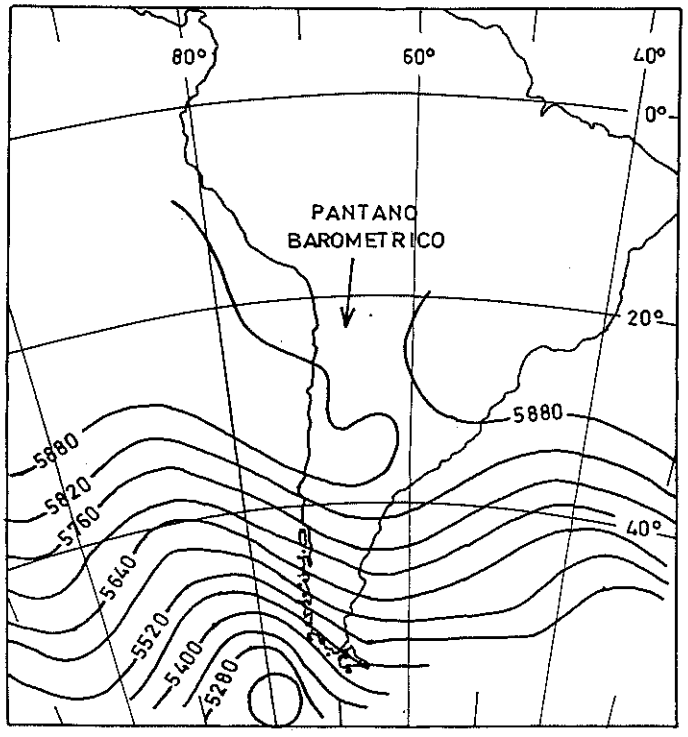
Foto 7: Nubosidad de verano en fosa de Atacama, antes de evento pluviométrico.



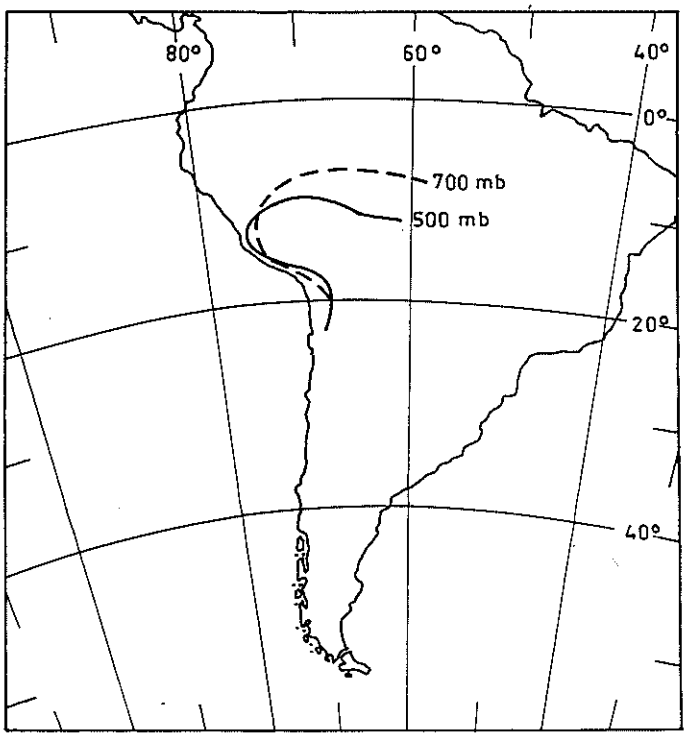
Radiosondaje Antofagasta



Carta Sinoptica de Superficie



Carta Sinoptica 500 mb



Trayectorias (Fuenzalida & Rutlland, 1986)

CONDICION SINOPTICA 16-FEBRERO-1984

Figura 40

A 500 hp, el gradiente es débil. Hay flujo desde el Oeste desde los 35° de latitud Sur hacia el Sur. El nivel de condensación está a 5700 mts.

El día 17, a nivel superficial la Baja continental sigue intensa y el APS sin modificaciones. La estructura vertical de la atmósfera sobre Antofagasta, es inestable entre los 4.000 y 3.000 mts, con vientos desde el Este. El nivel de condensación bajó a 3.600 mts, con el tope de las nubes a 4.300 mts. La isoterma de 0°C se ubica a 4.600 mts, por lo que se evidencia calor con vientos húmedos débiles y de direcciones variables.

El día 18 la Baja Continental es menos intensa que el día precedente. El APS está desplazado y cubre todo Chile, hay vientos fuertes del Oeste muy al Sur. A 500 hp hay una vaguada débil asociada al sistema frontal del día anterior.

El radiosonda muestra saturación desde los 5000 a 6500 mts. EL nivel de condensación está a 3500-3800 mts, con tope de nubes a 6500 mts. Hay vientos del noreste entre los 300 y 850 hp.

En dichas condiciones, las precipitaciones altiplánicas fueron las máximas del evento. Se produjeron en casi todas las estaciones, sin alcanzar las partes más occidentales y bajas del área. Los ciclos diarios, mostraron gran concentración de 24 horas en las estaciones más altas y en Lequena, Toconce y Caspana.

Con posterioridad al 20 de Febrero, las características sinópticas se restablecen, con mayor estabilidad de la columna sin humedad y vientos de W. Las precipitaciones cesaron.

En general todos los días con masas de aire inestables sobre Antofagasta entre los 3.000 y 5.000 mts, favorece convección. El aporte de humedad se da durante la acentuación de la Baja Continental, pantanos barométricos en altura y advección con vientos débiles del Este.

Las trayectorias de masas de aire que precipitaron durante este período, fueron analizadas por Fuenzalida y Rutlland (1986), para el altiplano de Iquique, mostrando un componente predominante Norte y Noroeste, debido a la circulación de altura que acarrea la humedad hacia el altiplano, forzada en algunos casos por un desplazamiento al NW del anticiclón del Atlántico, que advecta humedad al altiplano desde el NW.

Este componente Noroeste, puede explicar el cubrimiento total del Cerro Quimal, como indicador de precipitaciones en la Fosa de Atacama. En este evento sin embargo, las masas de aire se concentraron al Norte del Salado, no precipitando en la fosa.

La fuerte variabilidad espacial no puede ser atribuida a estas condiciones sinópticas generales. Las principales diferencias, radican en la potencia convectiva que adquieren ciertos lugares, que facilitan las precipitaciones, en contextos de alimentación de humedad generalizada.

Considerando lo estipulado por Fuenzalida & Rutllant (1986), es posible sintetizar lo siguiente:

a) La existencia en verano de un anticiclón cálido sobre la alta tropósfera sobre las montañas de Perú y Bolivia, bloquea el desplazamiento del anillo circumpolar de los oestes australes, permitiendo la alimentación de humedad desde el interior del continente.

b) La presencia de un gradiente superadiabático debido a la alta radiación solar entre 500 y 1000 mts sobre la superficie, provoca una intensa convección húmeda y precipitación. La liberación de calor latente supera al calor sensible transmitido desde la superficie en 2:1. La convección es compensada por advección lateral fría desde el Este y por el enfriamiento radiativo en el tope de la atmósfera.

c) Las lluvias altiplánicas ocurren cuando la vaguada tropical avanza hacia el sur, permitiendo la penetración de las masas húmedas del N y NE o bien cuando el anticiclón Atlántico se extiende como dorsal hacia el Pacífico.

Por el contrario, no ocurren lluvias cuando es la vaguada polar y las masas de aire del W las que llegan a la región.

Durante el mes de febrero de 1984 se observaron lluvias entre los días 14 y 23. En todos los casos se localizó una vaguada continental generada entre los anticiclones del Pacífico y del Atlántico, que predominaban ampliamente sobre Chile y Argentina.

2.2.2.2.4 Régimen pluviométrico invernal

Después de varios años de sequía, en el otoño de 1990, se produjo una fuerte nevazón en el altiplano de Antofagasta.

Los días previos a las lluvias, las condiciones sinópticas eran normales en el Norte grande del país. El día 11 de Mayo de 1990 **Figura 41** el Norte estaba despejado, con predominio anticiclónico en superficie y vientos del oeste en altura.

Actividad convectiva se registraba en el amazonas peruano y Colombiano.

Desde La Serena al sur un frente de mal tiempo afectaba la mayor parte del país. El centro de bajas presiones se localizaba muy al sur a la latitud del Golfo de Penas, sin embargo la cola del frente alcanzaba el Norte chico. En el océano, a la latitud de Chile central, se precia la proximidad de un nuevo frente frío acercándose al continente.

El día 13 de Mayo, dicho frente frío ha llegado al continente y afecta predominantemente Chile central y el Norte Chico hasta Copiapó.

El anticiclón del Pacífico se aprecia dividido en dos células, la principal desplazada al Norte, incluyendo hasta la región de Antofagasta. La segunda está al sur de la masa frontal y desplazada hacia el interior del océano.

SECUENCIA DE IMAGENES SINOPTICAS DE INVIERNO
NORTE DE CHILE (MAYO 1990)

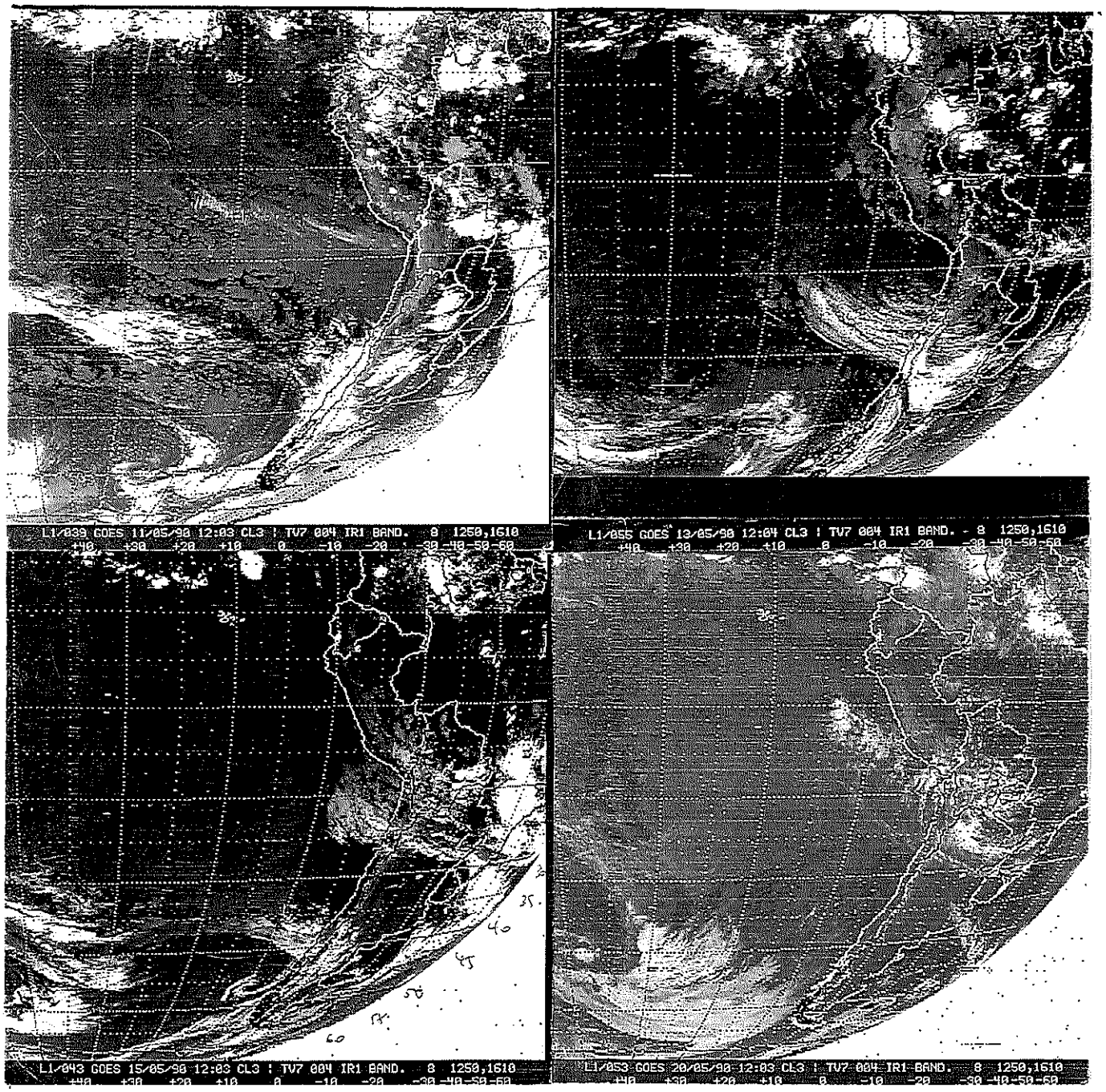


Figura 41

La masa frontal, al cruzar la cordillera de los Andes en dirección de Argentina, se ve acelerada por una corriente en Chorro que la desplaza al Sur con gran velocidad por el margen cordillerano. Hay lluvias en el Norte chico y chile central.

El día 15 de Mayo, la región de Antofagasta se ve afectada por el paso de la masa frontal que aún no debilitada plenamente, logra generar precipitaciones en el interior. En esta fecha, el núcleo principal del frente se encuentra sobre el sur brasileño y en el Norte de Chile, tiene carácter de baja segregada en altura. Esta se explica principalmente porque el anticiclón del pacífico está aún dividido en dos células y desplazado al Norte. La masa frontal afecta sólo las mayores alturas cordilleranas, donde se producen ascensos orográficos regionales.

EL día 20 de Mayo, las condiciones normales se han restablecido completamente, con predominio anticlónico en casi todo Chile y aproximación frontal sólo al sur de la Península de Taitao. En el Norte grande aparecían vientos típicos del oeste, sin nubosidad.

Dentro del área de estudio, no hubo precipitaciones significativas al Norte del Salado, excepción hecha de Inacaliri y Ojos de San Pedro, ambas con 5 mm.

En la Fosa de Atacama **Figura 42**, hubo precipitaciones líquidas hasta Socaire (3350 m.s.n.m.), desde 0.5 mm en Toconao hasta 3 mm en Peine y Socaire, ratificándose un gradiente altimétrico y latitudinal regional normales. En el Laco (4.400 m.s.n.m.) nevó durante la noche del 15 y madrugada del 16, hasta completar unos 60 cm., graficando lo ocurrido en la mayor parte de la Puna de Atacama **Foto 8**.

En la estación de EL Laco, las condiciones térmicas eran normales hasta que el día 15 en la mañana comenzó a aumentar la humedad atmosférica **Figura 43** que llegó casi al 100% el 15 en la noche. La temperatura tuvo su mínima el 17 en la madrugada cuando alcanzó a los -13°C. La nieve duró sólo 48 horas, a partir de lo cual la fusión y sublimación eliminó mayor parte de la nieve.

Considerando este y otros eventos analizados por el Romero y Rivera (1995b) y Bello et al. (1992), es posible sintetizar lo siguiente:

a) Las precipitaciones invernales en el altiplano de Antofagasta se asocian a desplazamientos al Norte del Anticiclón del Pacífico Suroriental, que permiten el ingreso de masas frontales frías.

b) El ingreso de estas masas frías genera un descenso del nivel de la Tropopausa, que gatilla un descenso de temperaturas, comprimiéndose la masa tropical superficial, acentuándose los gradientes barométricos.

c) El ingreso de estos sistemas frontales va acompañado de una intensa corriente en chorro (Jet Stream) con componente Norte.

d) El tipo de desplazamiento de masas frontales hacia el Norte es de dos tipos:

-En contexto de un Anticiclón del Pacífico desplazado al Norte o dividido en dos células, un sistema frontal muy intenso que evoluciona desde el sur hacia el Norte, alcanza hasta Antofagasta y precipita con fuertes vientos del oeste y Norte.

-Un sistema frontal que no alcanza a penetrar hacia zonas más septentrionales , pero del cual se desprende una baja en altura (baja segregada), que evoluciona hacia el Norte en altura comprimiendo la masa tropical superficial, precipitando con vientos fuertes del Norte.

Foto 8: Actividades de investigación después de eventos invernales en El Laco. Mathias Vuille de la Universidad de Berna, midiendo densidad y temperatura de la nieve.

Figura 42

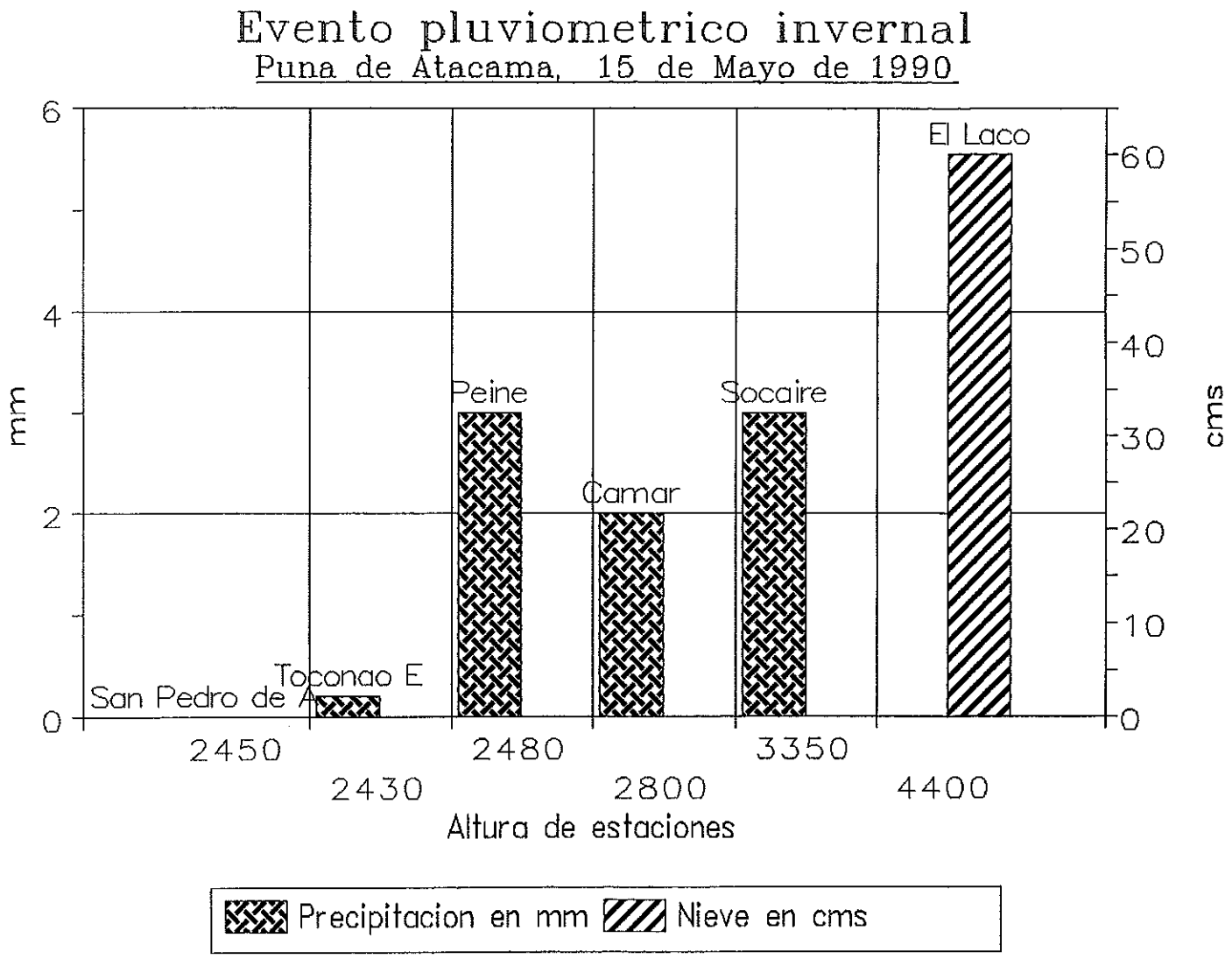
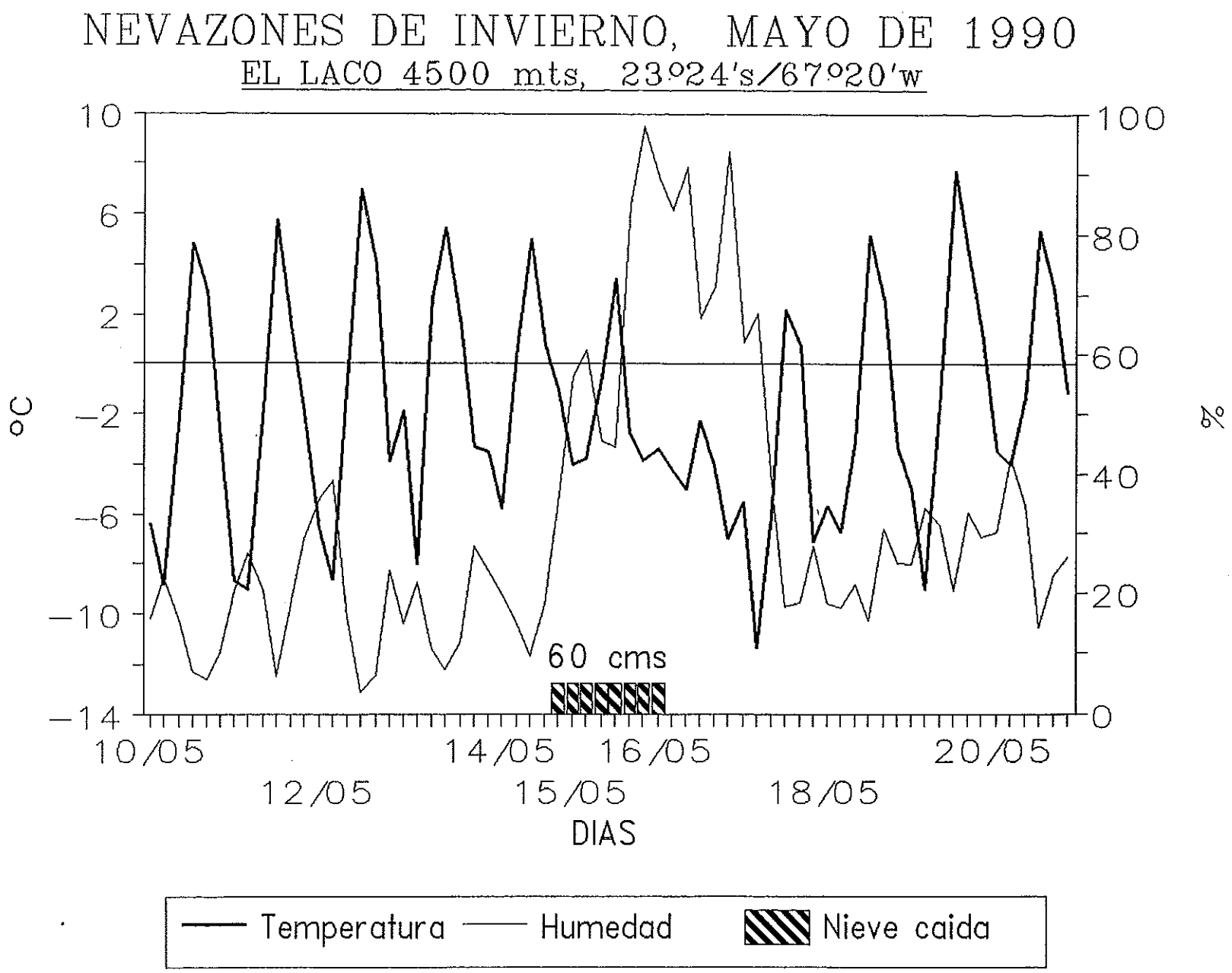

Evento pluviometrico invernal
Puna de Atacama, 15 de Mayo de 1990
6
4
2
0
mm
60
50
40
30
20
10
0
cms
El Laco
Peine
Socaire
Camar
Toconao E
San Pedro de A
2450
2480
3350
2430
2800
4400
Altura de estaciones
Precipitacion en mm
Nieve en cms

Figura 43


NEVAZONES DE INVIERNO, MAYO DE 1990
EL LACO 4500 mts, 23º24's/67º20'w
10
6
2
−2
−6
−10
−14
°C
100
80
60
40
20
0
%
60 cms
10/05
12/05
14/05
15/05
16/05
18/05
20/05
DIAS
Temperatura
Humedad
Nieve caida

2.2.2.3 Régimen de vientos

En el área de estudio, el régimen de vientos predominantes, está altamente influenciado por la presencia de los vientos del cuadrante de los Oestes, que afectan la región durante gran parte del año. Tal como se discutió al analizar la estructura vertical de la atmósfera sobre la ciudad de Antofagasta, la mayor parte del año, los vientos del Oeste son predominantes, aumentando su potencia en altura, en especial en invierno. Durante el verano se constató menor intensidad de los oestes y mayor recurrencia de vientos débiles del Norte y Este. Esta condición de carácter sinóptico será analizada en superficie, gracias a algunas de las principales estaciones localizadas en la región.

La región posee pocas estaciones con medición automática de viento. La mayoría de las estaciones, pertenecientes a la Dirección General de Aguas, sólo poseen una veleta de tres posiciones para velocidad instantánea y estimación visual de dirección, la cual se hace cada 1 hora.

Los datos de la DGA, no son muy confiables respecto de esta variable, sin embargo permiten una estimación general de las variaciones interanuales.

Tal es el caso de la estación de Chiu Chiu, con una de las más completas series de datos para los años 80, localizada en la cuenca media alta del Loa, cerca de la confluencia con el río Salado a 2524 m.s.n.m..

Analizando los vientos a las 14:00 p.m. de Chiu Chiu para un año seco, como fue 1988 **Figura 44**, es posible apreciar que durante el verano, prácticamente no hubo variación en los vientos, todos los cuales provenían del Suroeste. Las velocidades en superficie fueron similares e intensas entorno a los 20 y 30 km./hora.

Para el período Mayo Agosto, se aprecia una leve reducción de la presencia de los vientos del Suroeste, en favor de los vientos del Norte en el mes de Junio y del sur en Agosto.

La velocidad también experimenta una leve reducción, sin embargo se dan períodos de mayores intensidades, en especial con presencia de vientos Norte y noroeste.

En septiembre vuelven a aparecer frecuencias de vientos con direcciones del Norte y noroeste, las que van acompañadas de vientos muy intensos, por sobre los 45 km./hora. En octubre y los meses siguientes, la predominancia de vientos sur y suroestes con intensidades parejas se restablece.

Analizando ahora un año con presencia de evento ENOS y precipitaciones significativas en la región, como fue 1986 **Figura 45**, es posible apreciar que en verano hubo una mayor variabilidad de vientos entre componentes Suroeste y sur, con mayores intensidades que en 1988.

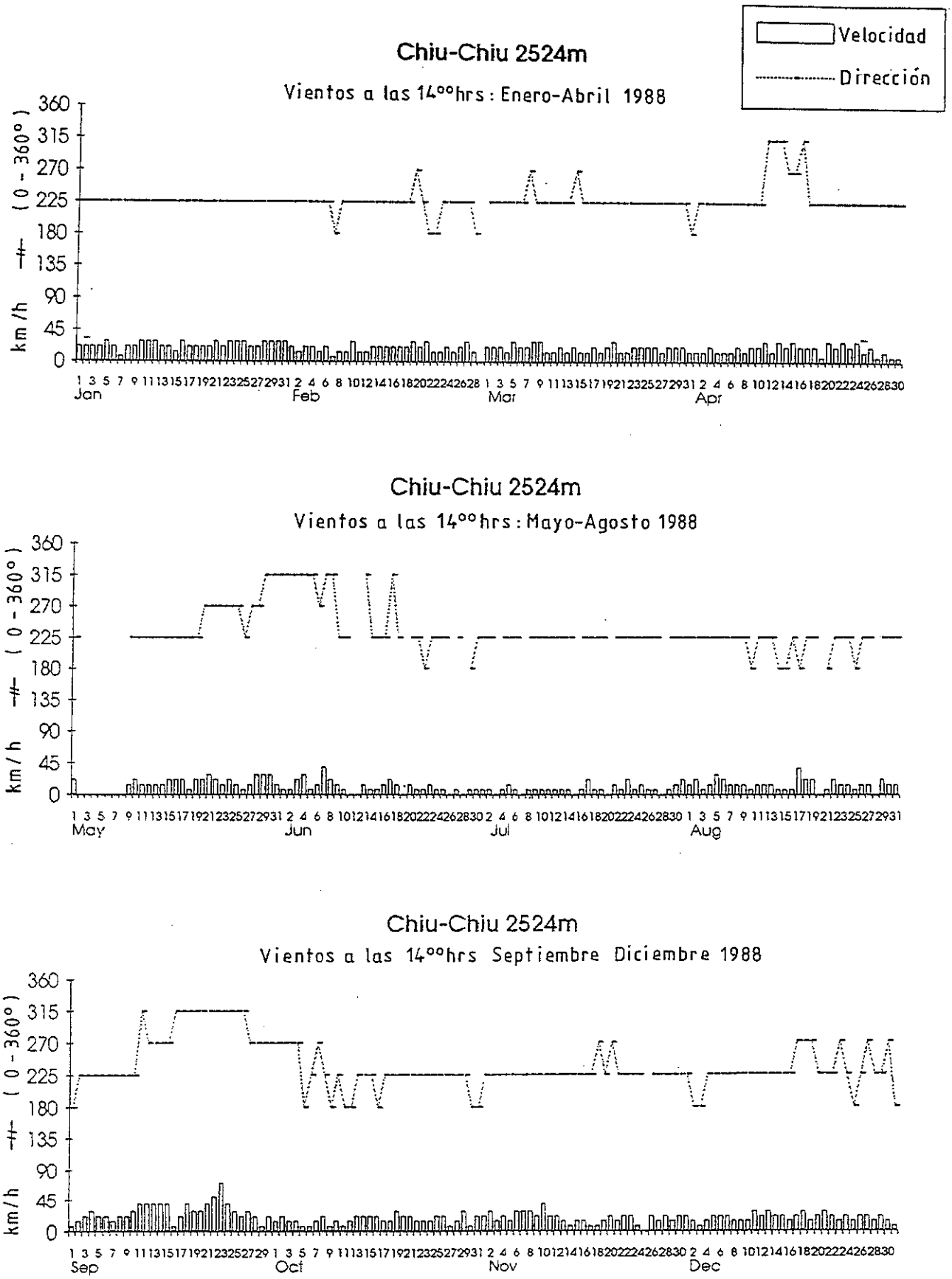

Velocidad
Dirección
Chiu-Chiu 2524m
Vientos a las 14°°hrs : Enero-Abril 1988
km/h +- (0 - 360°)
360
315
270
225
180
135
90
45
0
Jan
Feb
Mar
Apr
Chiu-Chiu 2524m
Vientos a las 14°°hrs : Mayo-Agosto 1988
km/h +- (0 - 360°)
May
Jun
Jul
Aug
Chiu-Chiu 2524m
Vientos a las 14°°hrs Septiembre Diciembre 1988
km/h +- (0 - 360°)
Sep
Oct
Nov
Dec

Figura 44

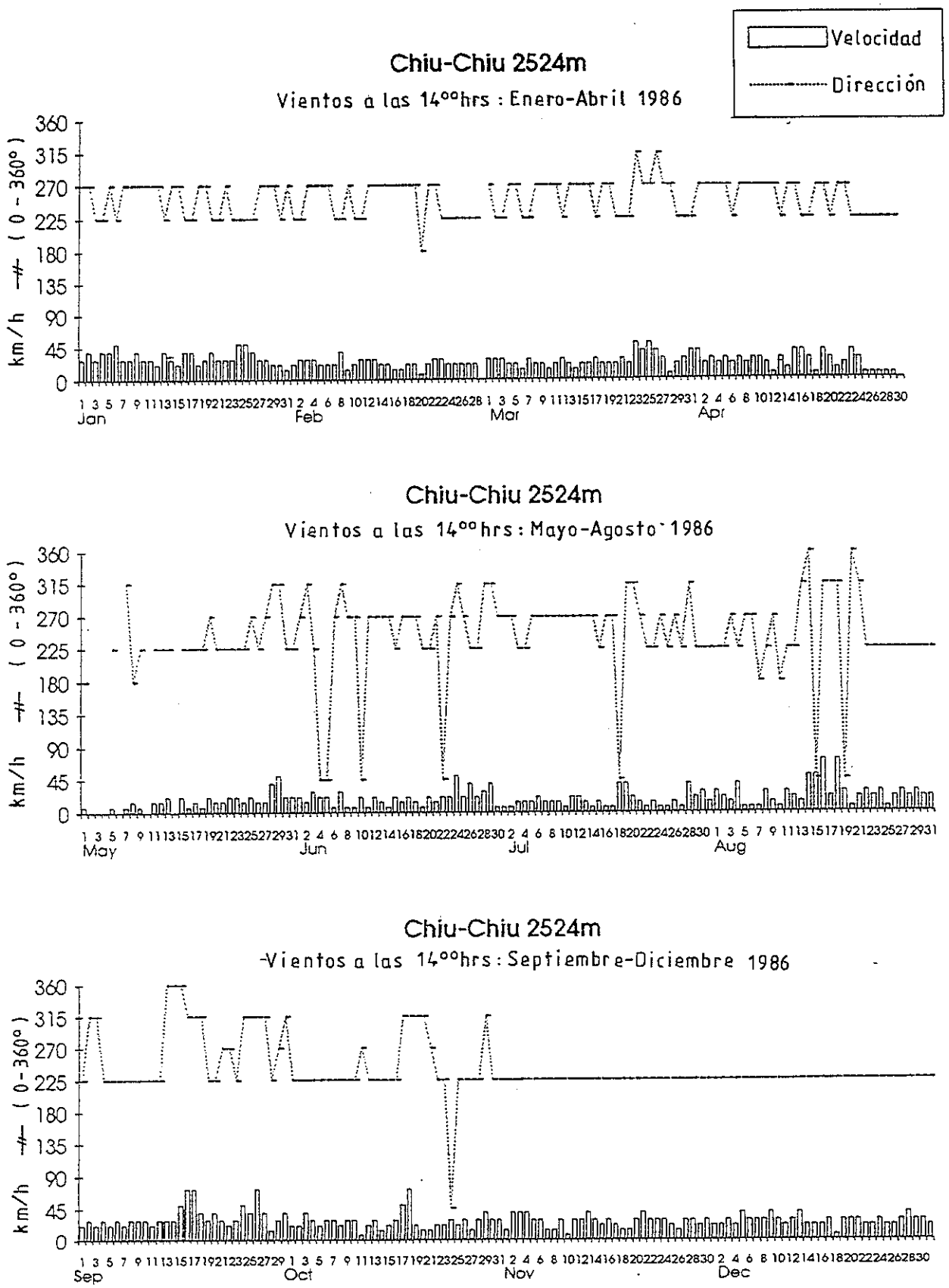

Velocidad
Dirección
Chiu-Chiu 2524m
Vientos a las 14°°hrs : Enero-Abril 1986
km/h -+- (0 - 360°)
360
315
270
225
180
135
90
45
0
Jan
Feb
Mar
Apr
Chiu-Chiu 2524m
Vientos a las 14°°hrs : Mayo-Agosto 1986
km/h -+- (0 - 360°)
May
Jun
Jul
Aug
Chiu-Chiu 2524m
Vientos a las 14°°hrs : Septiembre-Diciembre 1986
km/h -+- (0 - 360°)
Sep
Oct
Nov
Dec

Figura 45

El mes de mayo fue el de menores intensidades del viento con las mismas direcciones, sin embargo a partir de Junio, se dan varios episodios de fuertes velocidades, con vientos del Noreste y Norte, los que fueron acompañados de precipitaciones sólidas en la región, sin embargo en Chiu Chiu sólo precipitaron 0.5 mm el día 29 de Junio.

El mes de agosto mantuvo las fuertes anomalías de viento, con varios episodios de vientos Norte y Noreste, en especial entre el 15 y 19, cuando nevó en el altiplano.

En septiembre aún se observan algunos eventos con vientos del Norte y fuertes intensidades, pero a partir de noviembre la situación vuelve completamente a la normalidad con vientos exclusivamente del Suroeste.

Del análisis de esta estación es posible concluir que a nivel interanual, las variaciones en el campo de los vientos, está ligada principalmente al paso de condiciones frontales, que son acompañadas de vientos Norte y noreste, de fuertes intensidades y precipitaciones en altura, que se dan principalmente con presencia de eventos ENOS y que interrumpen los vientos del sur y Suroeste.

La variación de los vientos a mediodía en verano es menos ostensible, debido a que las mayores diferencias debieran darse en las mañanas, con vientos de componente este.

A nivel de variaciones mensuales, se empleó una de las pocas estaciones automáticas en la región, pertenecientes Schmidt (1995).

La estación Sairecabur, se localizó en la cúspide del volcán homónimo a 5750 m.s.n.m. (22°44'S/67°53'W)(**Figura 1**), la cual almacenó datos en formato digital de dirección y velocidad de vientos para el período diciembre 1991- abril 1994.

Se analizó la distribución de vientos para el año 1992, uno de los más completos de la serie y con presencia de evento ENOS (Ortlieb, 1995).

En la **Figura 46**, pueden apreciarse las distribuciones para el mes de Enero, las cuales tuvieron una media de 6,8 m/s de velocidad y dirección predominante del Suroeste. Destaca en este mes la presencia de un significativo porcentaje de frecuencias de componente Este, con velocidades inferiores a 7,5 m/s. Estas frecuencias del oriente, debieran constituir importantes fuentes de aporte de humedad provenientes del altiplano boliviano de sud Lípez. No se detectaron vientos con velocidades superiores a 15 m/s, mientras que el número de calmas llegó al 3,5%, graficando la condición de pantano barométrico descrito para estas altitudes durante episodios pluviométricos estivales.

En las **Figura 47**, se aprecia la distribución de vientos para el mes de abril, donde la principal frecuencia proviene del Oeste y levemente Noroeste. Las intensidades aumentan significativamente, desapareciendo las calmas y aminorándose completamente los vientos con velocidades inferiores a 7,5 m/s. No existen vientos del Este ni sur.

Distribución de Vientos

SAIRECABUR (5) 5750m

5.1.92 17:00:00 _ 31.1.92 23:30:00

Numero de Observaciones
1262 [100%]

Numero de calmas
44 [3.5%]

Datos Faltantes
0

Velocidad Promedio del Viento
6.8 m/s

Velocidades
< 7.5 m/s
7.5 - 15 m/s
> 15 m/s

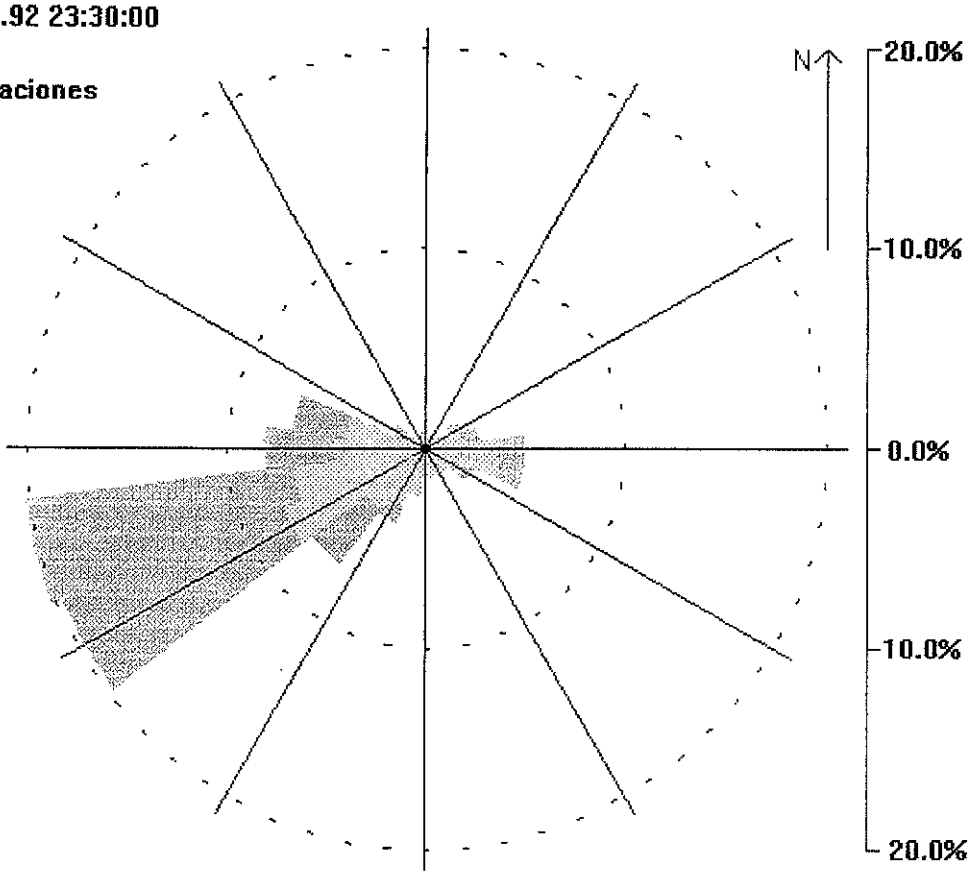


Figura 46

Distribucción de Vientos
Sairecabur (5), 5750m

1.4.92 12:50:00 _ 30.4.92 23:50:00

Numero de Observaciones
1415 (100%)
Numero de Calmas
0
Datos Faltantes
0
Velocidad promedio del Viento
10.2 m/s
Velocidades
< 7.5 m/s
7.5 - 15 m/s
> 7.5 m/s

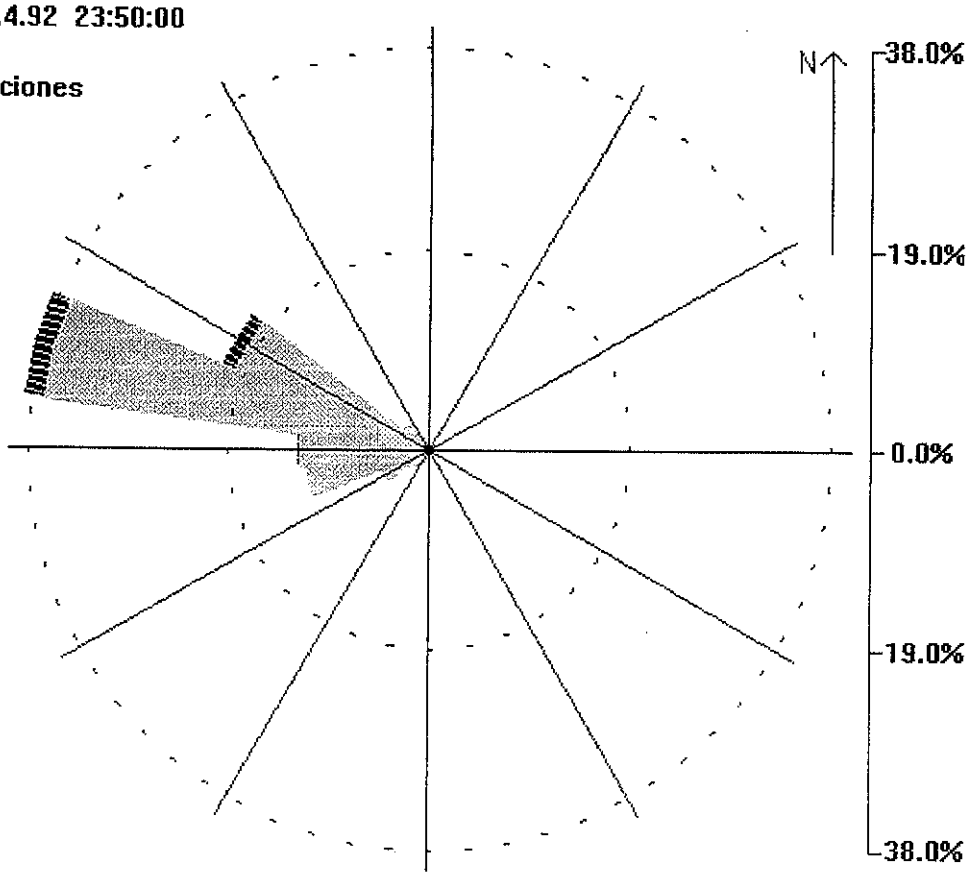


Figura 47

En la **Figura 48**, se aprecia la distribución de vientos para el mes de julio, donde la tendencia descrita en abril se acentúa, debido a que sólo hay componentes Oeste, con leve predominio del noroeste. Las intensidades son muy elevadas y existe una leve frecuencia de calmas. No hay vientos del este, Norte o Sur.

En la **Figura 49** correspondiente a las frecuencias de Octubre, puede apreciarse un cambio de giro en los vientos, que ahora son predominantes desde el Sur y Suroeste. Las intensidades son altas pero levemente inferiores a las descritas para el mes anterior. No existen calmas ni vientos de componentes Este o Norte.

De los datos descritos para esta estación, poco sujeta a variaciones locales y correspondiente al nivel de no divergencia de los 400-500 mb, puede apreciarse claramente que los componentes Este se concentran en verano y con velocidades menores . La posible ocurrencia de eventos frontales, se da en otoño-invierno, con vientos potentes del Oeste y noroeste.

Al analizar datos provenientes de otra estación automática, localizada en el Co. El Laco a 5.000 m.s.n.m. en la parte sur del área de estudio (**Figura 1**), para el mes de Enero de 1992 **Figura 50**, puede constatarse la misma tendencia descrita para Sairecabur, debido a que se mantiene la predominancia de vientos Oestes y suroestes, pero persisten las frecuencias del Este, con velocidades moderadas y altas.

Para el mes de Julio en El Laco **Figura 51**, la tendencia regional se acentúa, con gran predominancia de vientos Oestes y Suroeste.

Analizando la variación de velocidades y direcciones a nivel horario, en base a la estación El Laco **Figura 52**, es posible apreciar que para el mes de enero, las velocidades experimentan un incremento progresivo con el avance del día.

Durante la media noche las velocidades promedio oscilan entre 1 y 4 m/s, con direcciones variables pero predominantes desde el oeste y Suroeste.

Antes del amanecer, las velocidades se han reducido levemente, mientras que las direcciones presentan una mayor amplitud, desde el Norte hasta el sur, con predominio desde el Suroeste.

A las 9 de la mañana, cuando la superficie está calentándose pero antes de la mayor insolación potencial, las velocidades experimentan un leve incremento, sin embargo lo más destacado es que las direcciones son predominantes desde el este, noreste y sureste. Las direcciones Suroeste y oeste han desaparecido.

Poco después del mediodía, a las 13 horas, los vientos han incrementado significativamente su velocidad, mientras que las direcciones si bien son de gran amplitud, son predominantes desde el sur.

A las 17 horas, antes del atardecer, las condiciones evidencian las mayores velocidades del día, de hasta 10 m/s con una alta concentración de las direcciones Suroeste.

Distribución de Vientos

Sairecabur (5), 5750m

1.7.92 0:15:00 _ 28.7.92 13:45:00

Numero de Observaciones
1324 [100%]

Numero de Calmas
39 [2.9%]

Datos Faltantes
0

Velocidad Promedio del Viento
9.8 m/s

Velocidades
< 7.5 m/s
7.5 - 15 m/s
> 15 m/s

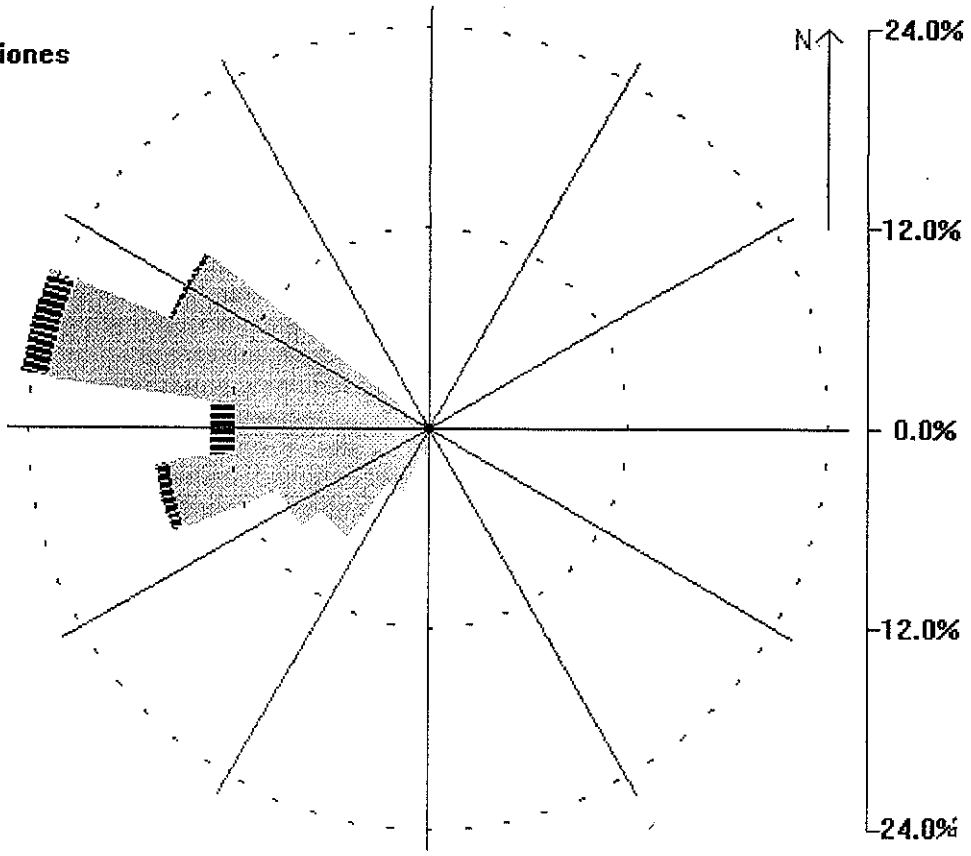


Figura 48

Distribución de Vientos

Sairecabur (5), 5750m

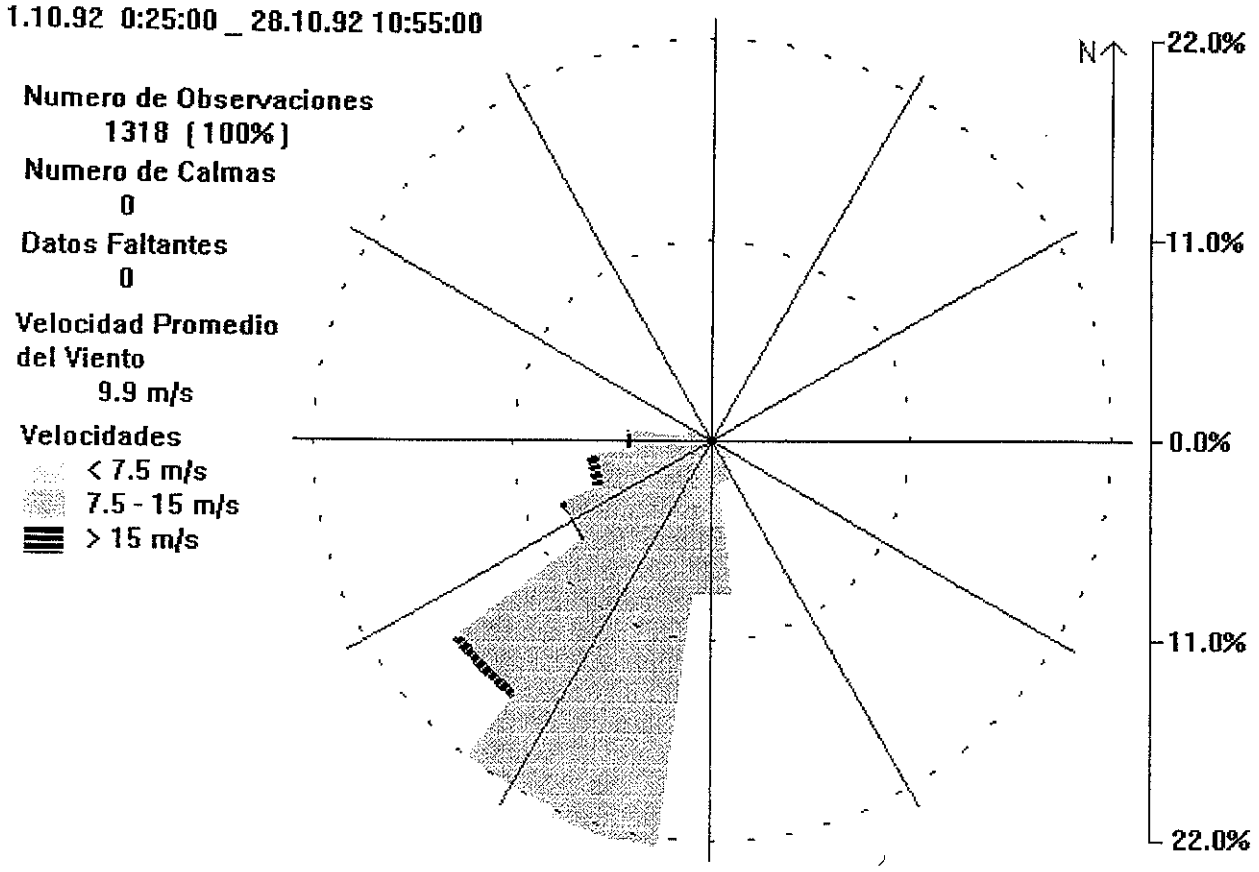


Figura 49

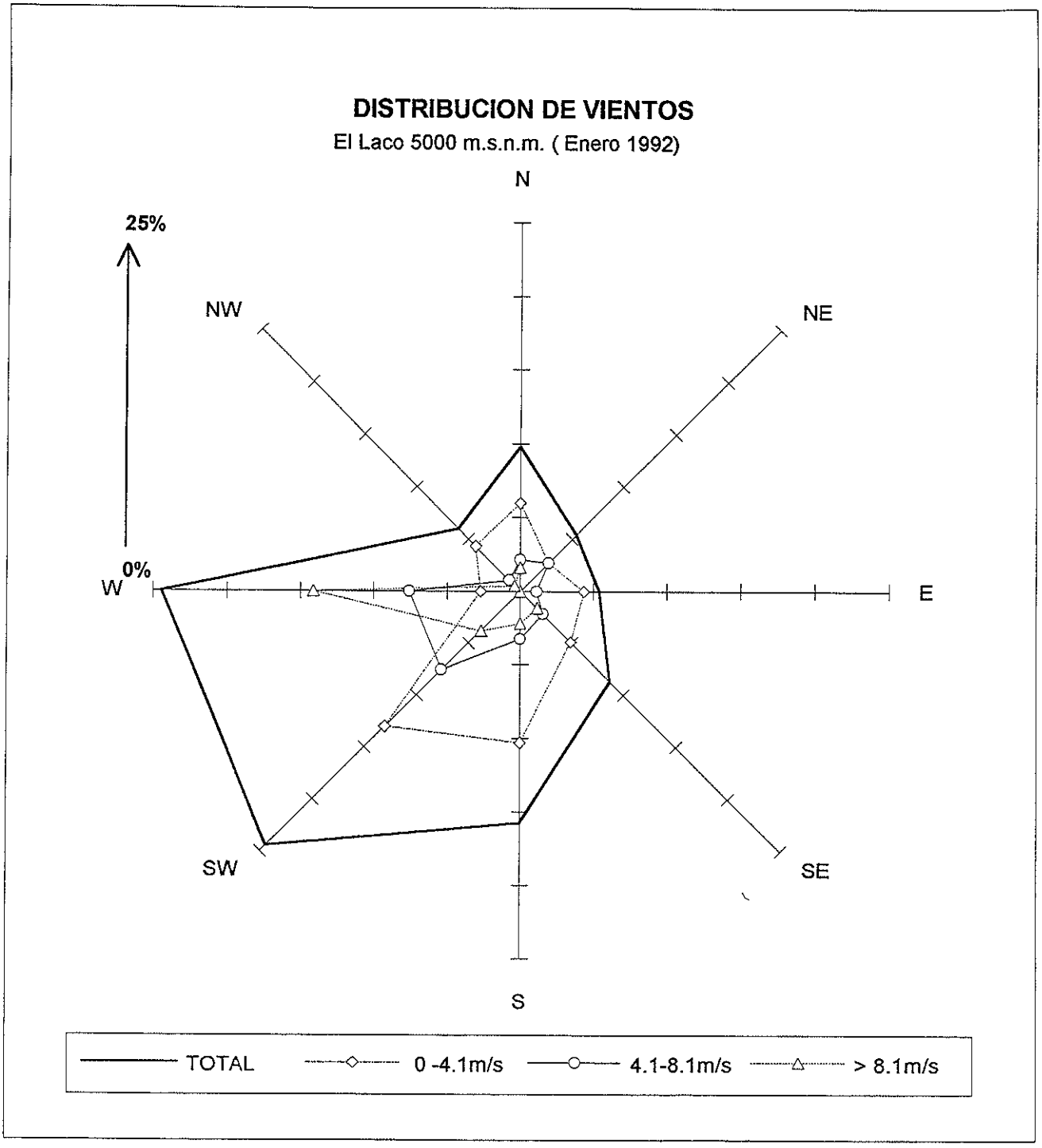

DISTRIBUCION DE VIENTOS
El Laco 5000 m.s.n.m. (Enero 1992)
N
25%
NW
NE
0%
W
E
SW
SE
S
TOTAL
0 -4.1m/s
4.1-8.1m/s
> 8.1m/s

Figura 50

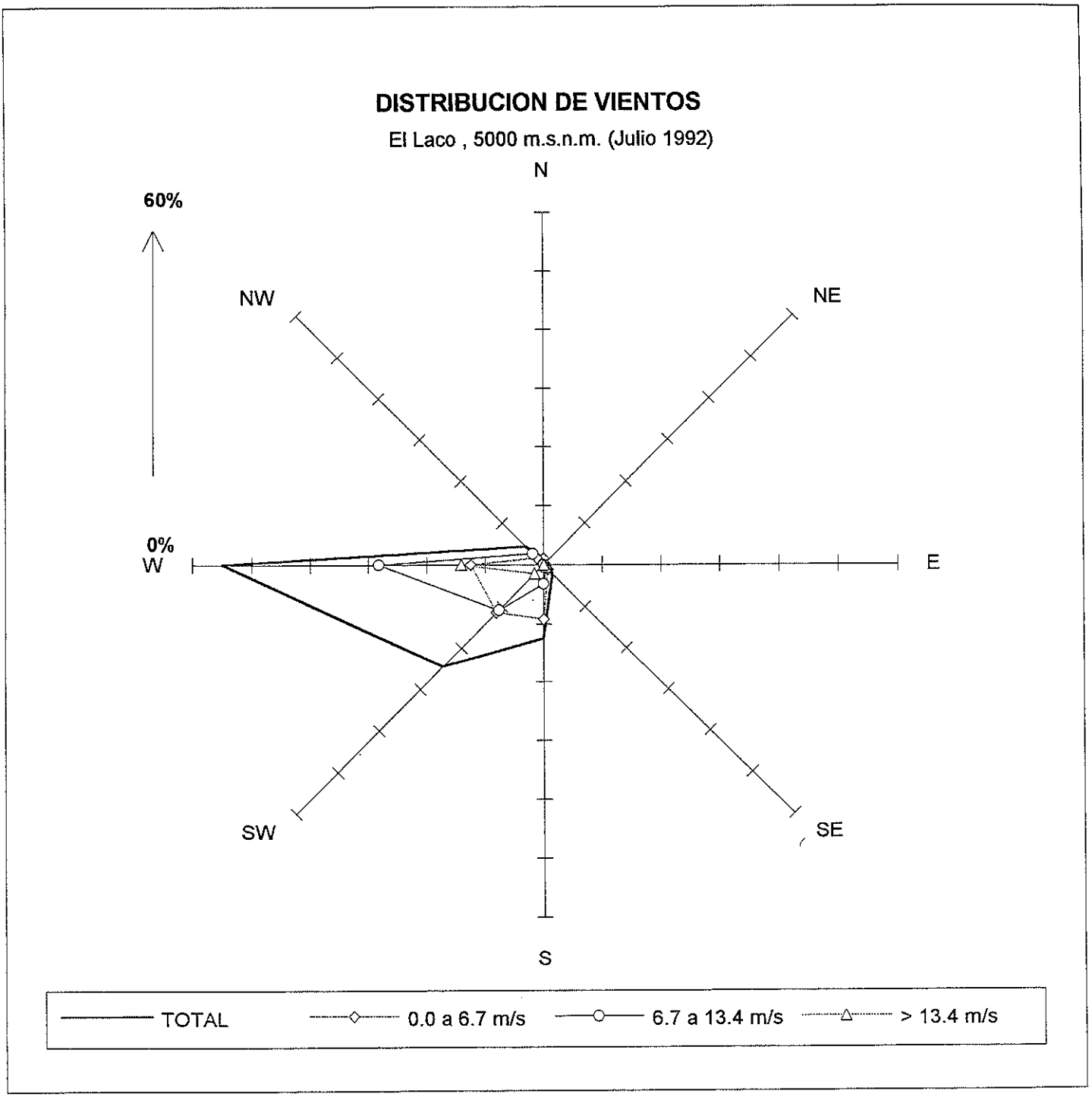

DISTRIBUCION DE VIENTOS
El Laco , 5000 m.s.n.m. (Julio 1992)
N
60%
NW
NE
0%
W
E
SW
SE
S
TOTAL
0.0 a 6.7 m/s
6.7 a 13.4 m/s
> 13.4 m/s

Figura 51

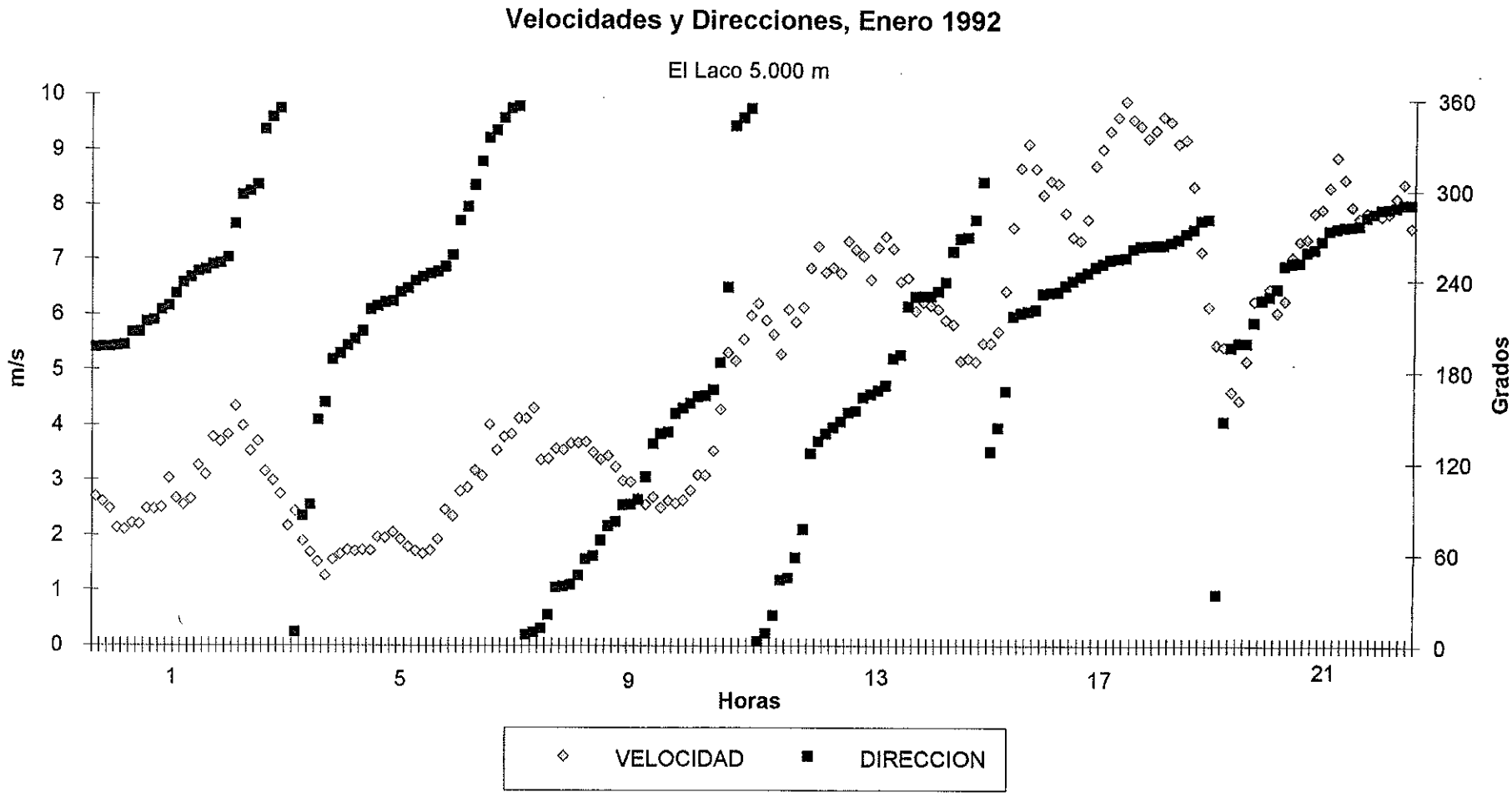

Velocidades y Direcciones, Enero 1992
El Laco 5.000 m
m/s
Grados
Horas
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
0
60
120
180
240
300
360
1
5
9
13
17
21
VELOCIDAD
DIRECCION

Figura 52

A las 21 horas, poco después del atardecer, las velocidades han descendido levemente y las direcciones se mantienen concentradas esta vez en componentes Suroeste hasta noroeste.

Al analizar las direcciones y velocidades horarias para El Laco en el mes de julio de 1992 **Figura 53**, puede apreciarse gran homogeneidad para las distintas horas, con componentes predominantes del oeste y Suroeste. Las velocidades son variables, con mínimos en la noche y en la mañana y máximos a mediodía y en la tarde. No existen vientos desde el este o sureste.

Los vientos matinales descritos para El Laco en verano (desde el este), son una clara evidencia de la presencia de advección desde el interior del continente que afectan también las partes bajas de las fosas y cuencas, con carácter de viento catabático húmedo, denominado por los lugareños "Terral".

En las partes bajas del área de estudio la inexistencia de estaciones automáticas, impide un análisis detallado. No obstante, las tendencias descritas para las estaciones anteriores, se manifiestan también en las partes bajas.

Las plumas de contaminación provenientes de la fundición de Chuquicamata, presentan variaciones horarias, que pueden llegar a ser muy perjudiciales para la población, debido a que en las mañanas, los vientos descendentes esparcen los contaminantes sobre Calama y el campamento de Chuquicamata, para luego con el aumento de temperatura por insolación creciente, gira los vientos y los distribuye hacia el Este y Norte.

Debido a las fuertes velocidades y permanencia en el tiempo de las frecuencias del oeste y Suroeste, el área de estudio, en especial la zona de Calama y Puna de Atacama, son consideradas como de gran potencialidad para su aprovechamiento en la generación de energía eólica, de hecho se han calculado para estas zonas densidades de potencia media anual de 410-470 W/m^2 para Calama, de 430 W/m^2 en Sairecabur y de 553 W/m^2 en El Laco (Corfo, 1993), una de las más altas de todo Chile.

2.2.2.4 Relación con eventos ENOS

Durante las últimas dos décadas, la recurrencia de fenómenos El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) se ha incrementado, afectando numerosas regiones del planeta en forma muy diferencial.

En 1982-1983 se produjo el evento más intenso del siglo, el cual tuvo serias repercusiones en la pluviometría de Chile Central y del Norte del país. La persistencia de teleconexciones entre la convección anómala en el Pacífico y la presencia de masas frontales más intensas en Chile, repercutió en fuertes precipitaciones (Rutland et al. 1994).

Cada evento ENOS posee una caracterización y repercusión distinta, dependiendo del parámetro que se considere en su evaluación; Temperatura superficial del mar, Diferencia de presión atmosférica Tahíti-Darwin, nivel del Lago Titicaca etc., Enfield (1989).

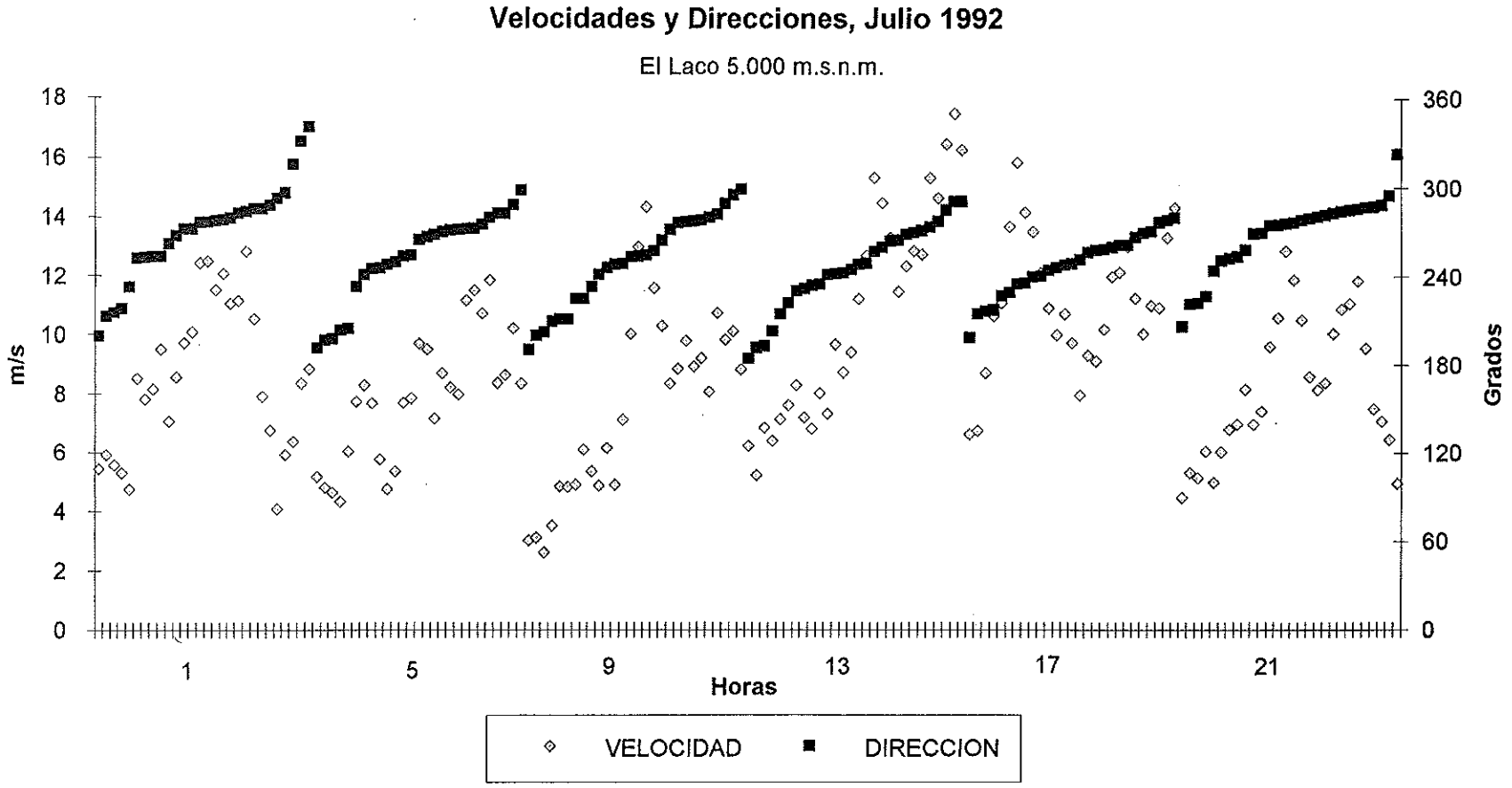

Velocidades y Direcciones, Julio 1992
El Laco 5.000 m.s.n.m.
m/s
Grados
Horas
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
0
60
120
180
240
300
360
1
5
9
13
17
21
VELOCIDAD
DIRECCION

Figura 53

La respuesta del altiplano de Antofagasta ante la aparición de estos eventos ha sido poco analizada, sin embargo se estima que cada ENOS genera impactos relevantes en el altiplano sudamericano, en especial asociados a sequías y escasez de lluvias (Caviedes & Waylen 1991).

En la **Figura 54** pueden apreciarse las anomalías pluviométricas para las 14 estaciones seleccionadas en este estudio, desde 1975 hasta 1990. Se indican además los años con eventos ENOS, según la categorización de Rivera, (1987), Rutlland et al., (1994), Quinn, (1993) y Ortlieb, (1995).

En general puede destacarse que no hay una respuesta única para cada evento. Durante el ENOS moderado de 1976, hubo precipitaciones por sobre la media. Sin embargo, en el año anterior y posterior, hubo un fuertes incrementos de precipitaciones.

El ENOS del siglo (82-83), está dentro de un ciclo de anomalías negativas, provenientes desde 1978. En 1982, se dan unas de las menores lluvias de la serie. A fines de 1983 comienzan a aumentar las lluvias, transformando a 1984 en uno de los más lluviosos de la serie.

El evento de 1986-87, tuvo una respuesta moderada en precipitaciones, ya que a nivel regional puede ser considerado un año normal. El año siguiente del fin del evento, las lluvias descendieron bruscamente.

El último evento que afectó la región fue el de 1991-1993, el cual puede ser definido como un período con oscilaciones intraestacionales, pero con mayores similitudes al evento de 1982-83, debido a que la sequía comenzada en 1988 se mantuvo hasta finales de 1993, con varias penetraciones frontales invernales, hasta que durante el verano 93-94 reaparecieron las lluvias.

Si bien a nivel regional se aprecia una gran variabilidad de las lluvias durante cada evento, después de ellos, la región parece experimentar cambios bruscos, debido a un aumento significativo de precipitaciones en dos eventos y descenso significativo descenso después del otro.

Se analizaron los montos de precipitación medios mensuales para todas las estaciones, desde 1975-1990 y se compararon con los montos de los años con ENOS y posteriores **Tabla 16**.

Durante el evento de 1976, hubo un aumento de las lluvias respecto de las medias mensuales interanuales, en los meses de enero, mayo y septiembre. Los otros meses presentaron montos bastante por debajo de la media, con excepción de marzo y agosto que fueron normales.

Durante 1977, el año posterior a este primer evento, se dio una media muy alta, de casi el doble de la normal, sin embargo a nivel mensual casi todos los meses fueron secos. Sólo destacan las fuertes y concentradas lluvias de febrero, que se extendieron por toda la región, entre el 17 y el 21, con montos muy por sobre la media, alcanzándose máximas en 24 horas elevadas.

Figura 54

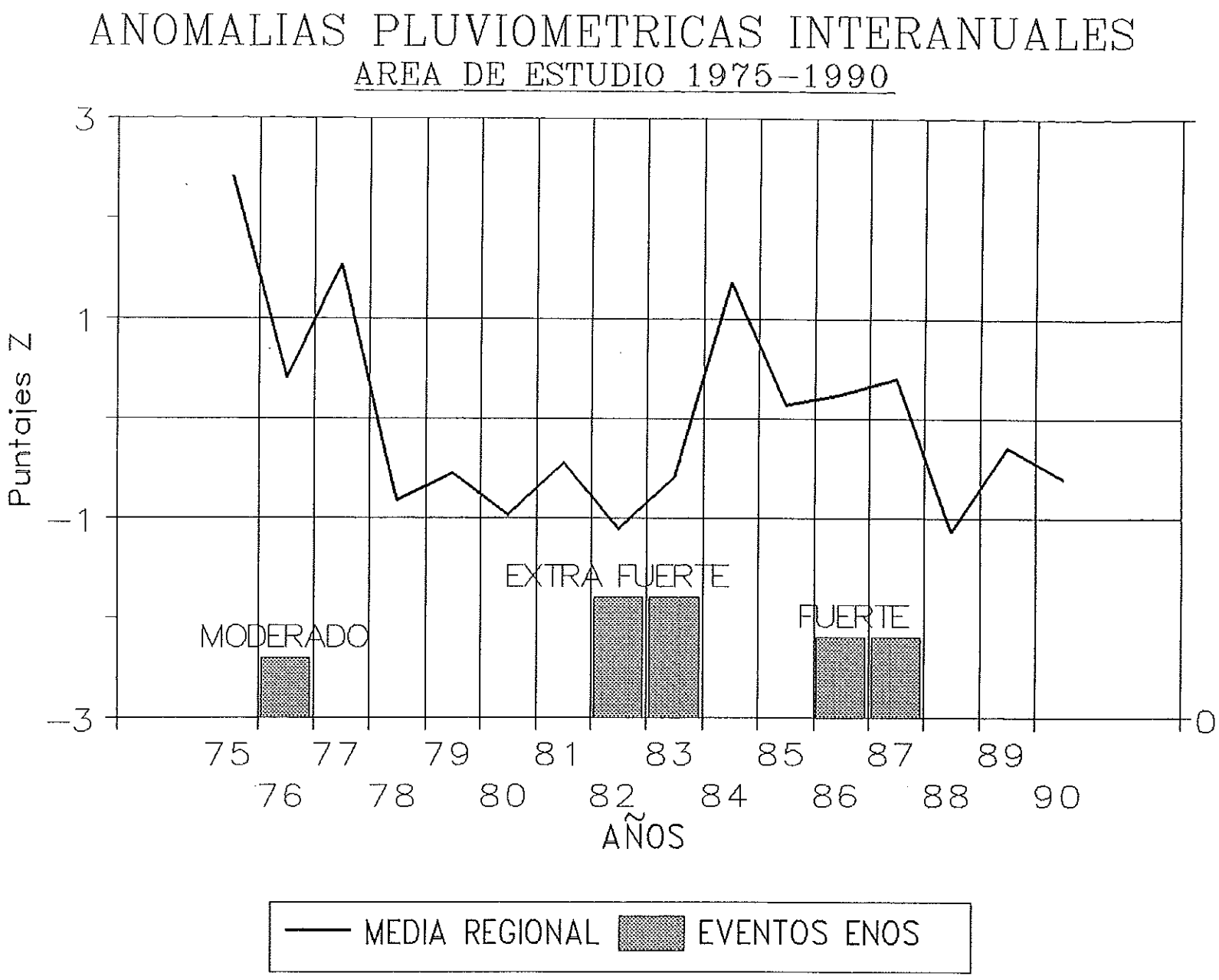

ANOMALIAS PLUVIOMETRICAS INTERANUALES
AREA DE ESTUDIO 1975-1990
Puntajes Z
3
1
-1
-3
0
MODERADO
EXTRA FUERTE
FUERTE
75 77 79 81 83 85 87 89
76 78 80 82 84 86 88 90
AÑOS
MEDIA REGIONAL
EVENTOS ENOS

TABLA 16 COMPARACION DE PP MENSUAL MEDIA (mm), CON AÑOS NIÑO Y POSTERIOR

	PP MEDIAS	NIÑO 76	1977	NIÑO 82	NIÑO 83	1984	NIÑO 86	NIÑO 87	1988
ENERO	20.71	53.2	11.5	0.0	5.5	75.8	37.1	36.2	5.5
FEBRERO	24.25	11.4	103.4	0.4	5.2	19.5	14.6	17.5	0.1
MARZO	10.69	9.9	15.1	1.5	5.1	7.0	2.2	23.5	10.1
ABRIL	0.26	0.0	0.6	0.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.3
MAYO	1.36	3.2	0.1	4.3	6.7	0.0	0.0	0.5	0.0
JUNIO	2.65	0.0	0.0	1.0	9.7	16.5	1.0	3.7	0.1
JULIO	0.16	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.1	0.0
AGOSTO	0.44	0.6	0.0	0.4	0.0	0.0	4.8	0.0	0.0
SEPTIEMBRE	1.11	3.4	0.0	7.0	4.5	0.0	0.0	0.7	0.0
OCTUBRE	0.39	0.0	0.2	0.0	0.0	5.3	0.0	0.0	0.0
NOVIEMBRE	0.40	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	5.4	0.0	0.0
DICIEMBRE	2.75	0.7	0.6	2.9	1.7	0.0	10.7	0.0	0.3
TOTAL	65.17	82.44	131.62	17.63	39.84	124.21	75.79	82.19	16.39

Durante el ENOS de 1982-83, prácticamente no hubo lluvias de verano, sin embargo hubo un marcado incremento de precipitaciones en Mayo, Junio y Septiembre, especialmente en 1983, donde se triplicaron las precipitaciones medias.

Al año siguiente, hubo un incremento de precipitaciones de gran magnitud en casi todos los meses, especialmente en Enero, (3,7 veces la media), Junio (6,1 veces la media) y Octubre (13,3 veces la media).

Durante 1986, hubo fuertes precipitaciones en Enero y Agosto (12 veces la media).

En el verano de 1986-87, hubo fuertes precipitaciones que se extendieron hasta Marzo de 1987. Durante Junio de este año se produjeron importantes lluvias, que alcanzaron a 1,4 veces la media.

En 1988 todos los meses presentaron valores por debajo de las medias, constituyéndose en el año más seco de la serie.

Debido a que el área de estudio, presenta fuertes contrastes orográficos y pluviométricos, se analizó las precipitaciones por períodos mensuales para cada agrupación de estaciones descritas en capítulos precedentes. El objetivo es detectar con más detalle si todas las estaciones responden a un mismo patrón y si a nivel mensual existen mayores contrastes.

Para todas las agrupaciones y todos los años, las precipitaciones del período Abril-Mayo fueron poco significativas y sin tendencia clara en comparación con los eventos ENOS, por lo que se concentró el análisis en los otros dos períodos mensuales.

En la **Figura 55**, se presentan las precipitaciones del período Agosto-Noviembre para la agrupación del Loa Alto. En ella es posible distinguir que durante todos los años con ENOS, se produjo un aumento significativo de precipitaciones primaverales. Las únicas excepciones a esta tendencia, se presentan en 1983 y 1987, donde hay importantes descensos de las lluvias. Esto puede deberse a que acercándose a etapas finales del evento, los efectos sobre la región se aminoran. Destaca 1984, como un año con fuertes lluvias a pesar de no encontrase bajo los efectos del evento ENOS.

En la **Figura 56**, se aprecian las precipitaciones para el período mensual estival, de la agrupación Loa Alto.

Lo más relevante es el fuerte descenso de precipitaciones estivales durante el ENOS 82-83. Los otros dos eventos no presentan una tendencia muy clara.

Los años posteriores marcan un incremento significativo a excepción de 1988 que se mantiene bajo.

Figura 55

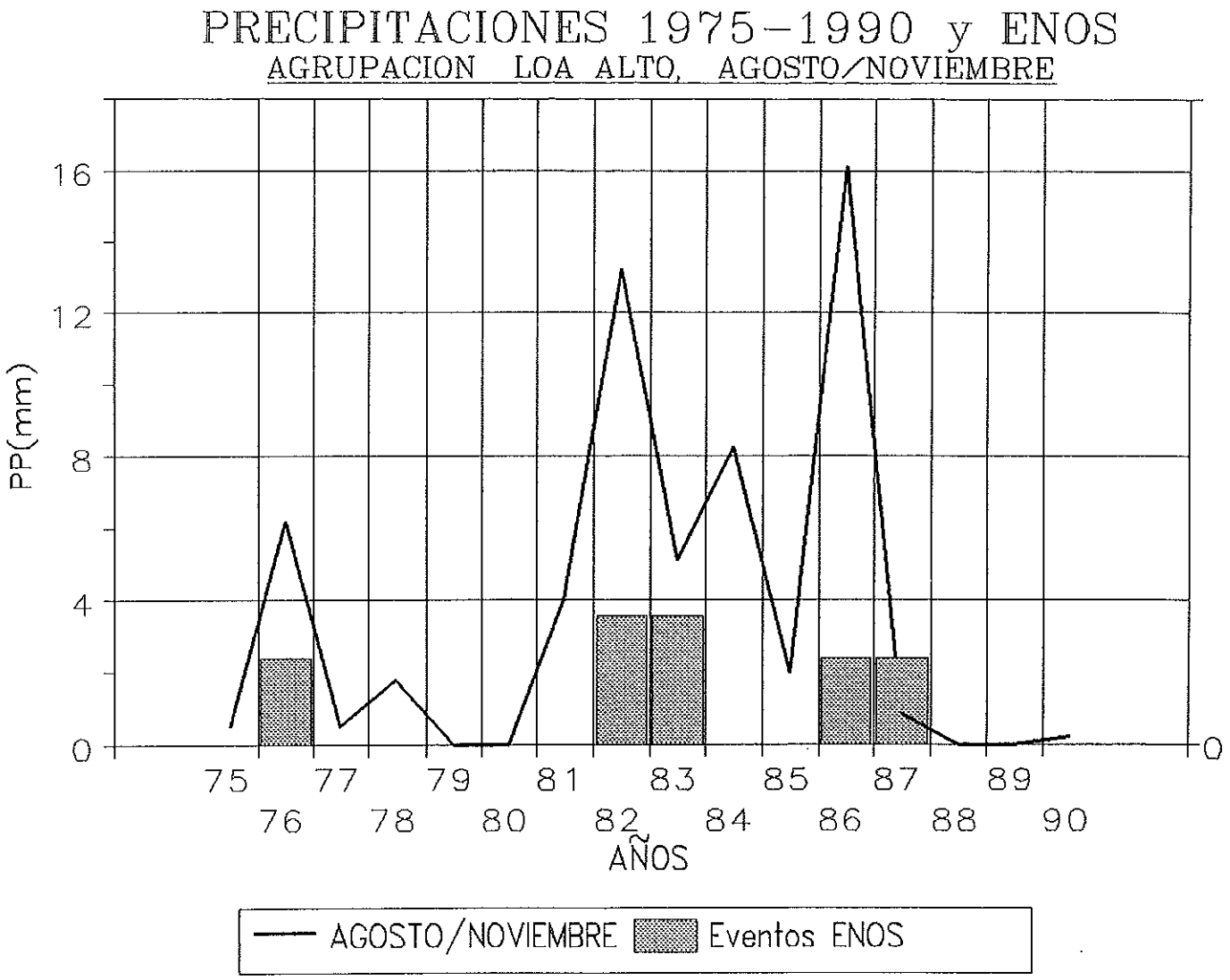
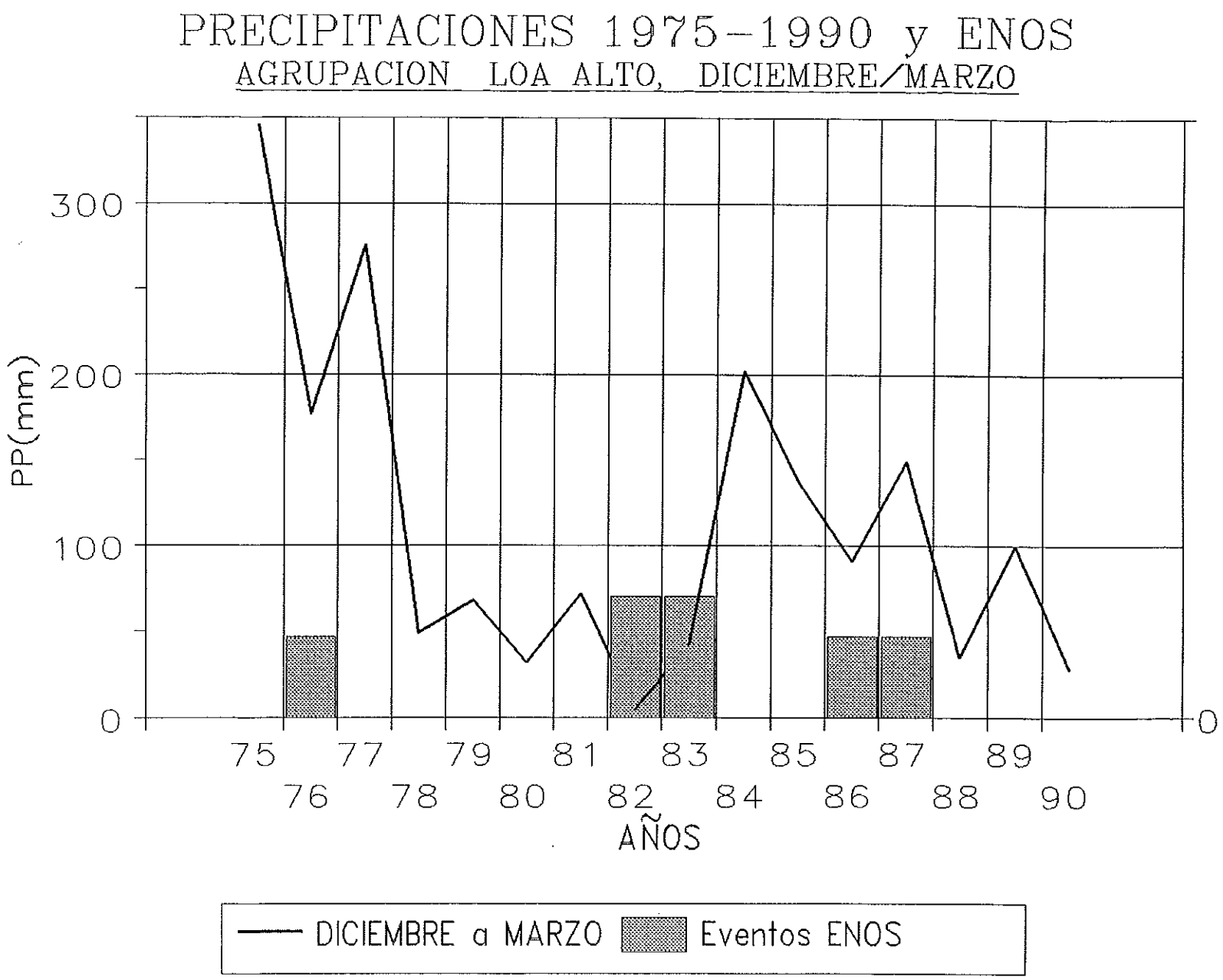

PRECIPITACIONES 1975-1990 y ENOS
AGRUPACION LOA ALTO, AGOSTO/NOVIEMBRE
PP(mm)
16
12
8
4
0
0
75 77 79 81 83 85 87 89
76 78 80 82 84 86 88 90
AÑOS
AGOSTO/NOVIEMBRE
Eventos ENOS

Figura 56


PRECIPITACIONES 1975-1990 y ENOS
AGRUPACION LOA ALTO, DICIEMBRE/MARZO
PP(mm)
300
200
100
0
0
75 77 79 81 83 85 87 89
76 78 80 82 84 86 88 90
AÑOS
DICIEMBRE a MARZO
Eventos ENOS

En la **Figura 57** se parecían las precipitaciones para la agrupación Loa medio, para el período mensual Agosto-Noviembre. Aquí la tendencia vuelve a ser marcada. Durante los años con eventos ENOS, las precipitaciones son elevadas. El resto de los años son prácticamente secos, con excepción de 1984, que mantiene la tendencia de incremento derivada del ENOS 82-83. En 1987, nuevamente las precipitaciones han descendido bruscamente a la media de sequedad casi absoluta.

En la **Figura 58**, se aprecian las precipitaciones medias del período Diciembre-Marzo, de la agrupación Loa medio.

Para los ENOS de 1976 y 1982-83, las precipitaciones experimentaron un descenso significativo y mayor al de la agrupación anterior. En los años posteriores (1977 y 1984), los incrementos fueron muy significativos.

Respecto del ENOS de 1986-87, las precipitaciones se mantuvieron elevadas y al año siguiente hubo un descenso.

En dirección al sur, la agrupación Fosa de Atacama **Figura 59** para el período Agosto-Noviembre, muestra un impacto pluviométrico positivo sólo en los ENOS 1982-83 y para 1986. Los años posteriores son secos a excepción de 1984.

En el período mensual diciembre-marzo **Figura 60**, la Fosa de Atacama muestra una tendencia muy variable. Sólo destaca parcialmente, que los años 1977, 1984 y 1987 son de los más lluviosos de la serie.

En síntesis, no hay una respuesta única a nivel espacial ni temporal.

Durante los eventos ENOS, la aparición de aguas cálidas en el Pacífico oriental, ha favorecido el debilitamiento anticiclónico superficial, lo que se ha traducido en penetraciones frontales frías en la región, las que poseen carácter sólido sobre los 3.500 m.s.n.m. y líquido, especialmente en el litoral.

Estas penetraciones han sido recurrentes en el período agosto- noviembre, con un incremento de precipitaciones para los años con ENOS. Este incremento es más marcado para la agrupación Loa Medio.

En verano sólo existe recurrencia en el descenso de precipitaciones para el ENOS 1982-83 y 1991-93. Los años posteriores a los principales eventos ENOS (1977, 1984, 1987 y 1993) fueron lluviosos en toda la región.

El ENOS de 1976 fue similar para el Loa alto y medio, pero casi no se manifestó en la fosa de Atacama.

EL ENOS 82-83, fue similar para toda la región e impactó por igual a 1984.

El ENOS 1986-87 tuvo su mayor impacto en el período agosto- noviembre de 1986 y en el verano de 1987, lo que lleva a pensar que si este evento tuvo su máxima expresión en 1986 y luego fue muy débil.

La tendencia de respuesta regional sería:

Descenso de las lluvias convectivas durante el verano de cada evento y aumento de precipitaciones frontales en primavera. Con posterioridad a cada evento, cambios bruscos en las precipitaciones con tendencia a su aumento en los veranos siguientes

La mantención de condiciones similares a las de años Niño por períodos de tiempo prolongado, implicaría períodos de bajas precipitaciones estivales y un significativo aumento de las invernales, por lo que se esperarían menores temperaturas y descensos en la altura de los pisos nivales y periglaciales.

Figura 57

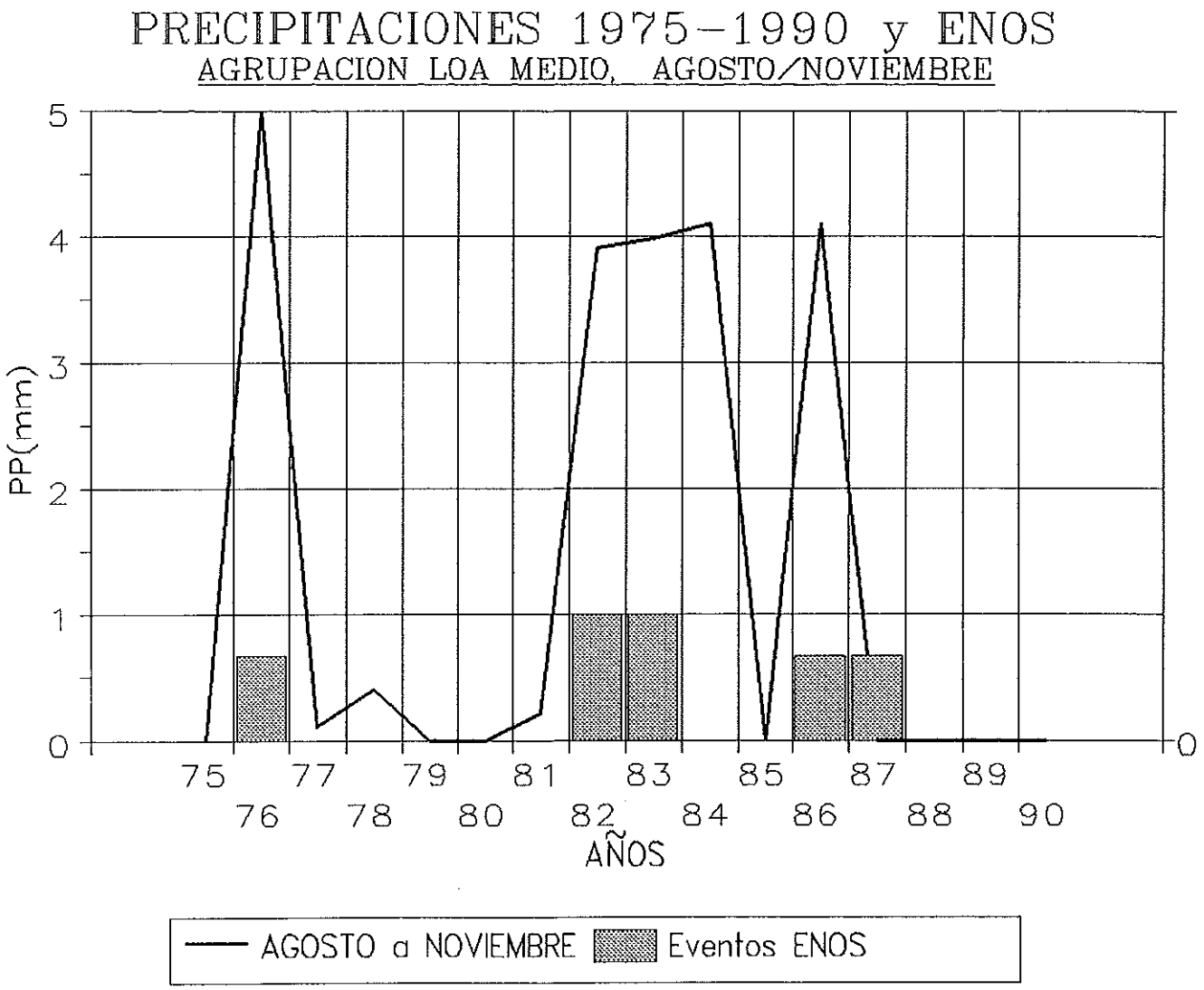

PRECIPITACIONES 1975-1990 y ENOS
AGRUPACION LOA MEDIO, AGOSTO/NOVIEMBRE
PP(mm)
5
4
3
2
1
0
0
75 77 79 81 83 85 87 89
76 78 80 82 84 86 88 90
AÑOS
AGOSTO a NOVIEMBRE
Eventos ENOS

Figura 58

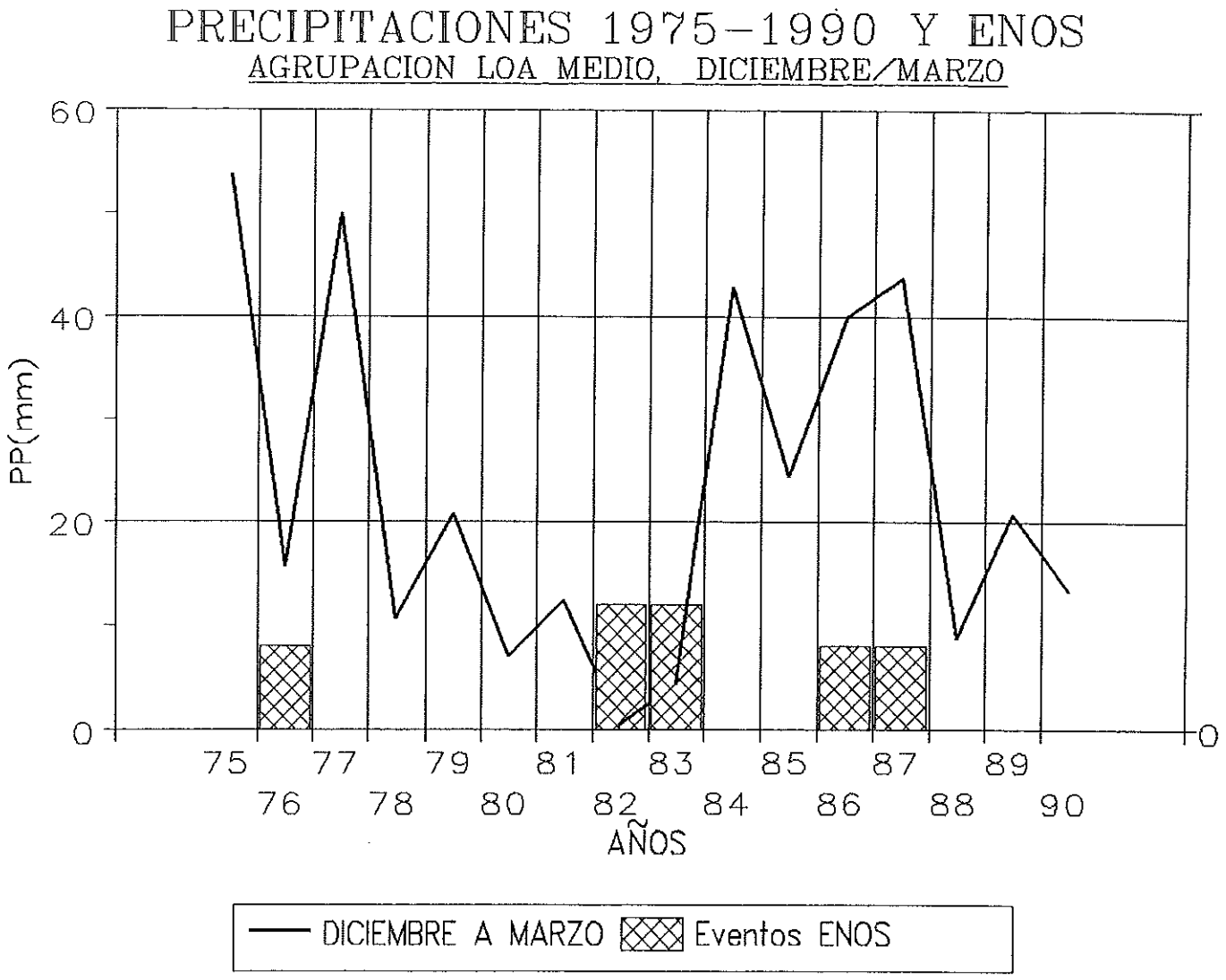

PRECIPITACIONES 1975-1990 Y ENOS
AGRUPACION LOA MEDIO, DICIEMBRE/MARZO
60
40
20
0
PP(mm)
0
75 77 79 81 83 85 87 89
76 78 80 82 84 86 88 90
AÑOS
DICIEMBRE A MARZO
Eventos ENOS

Figura 59

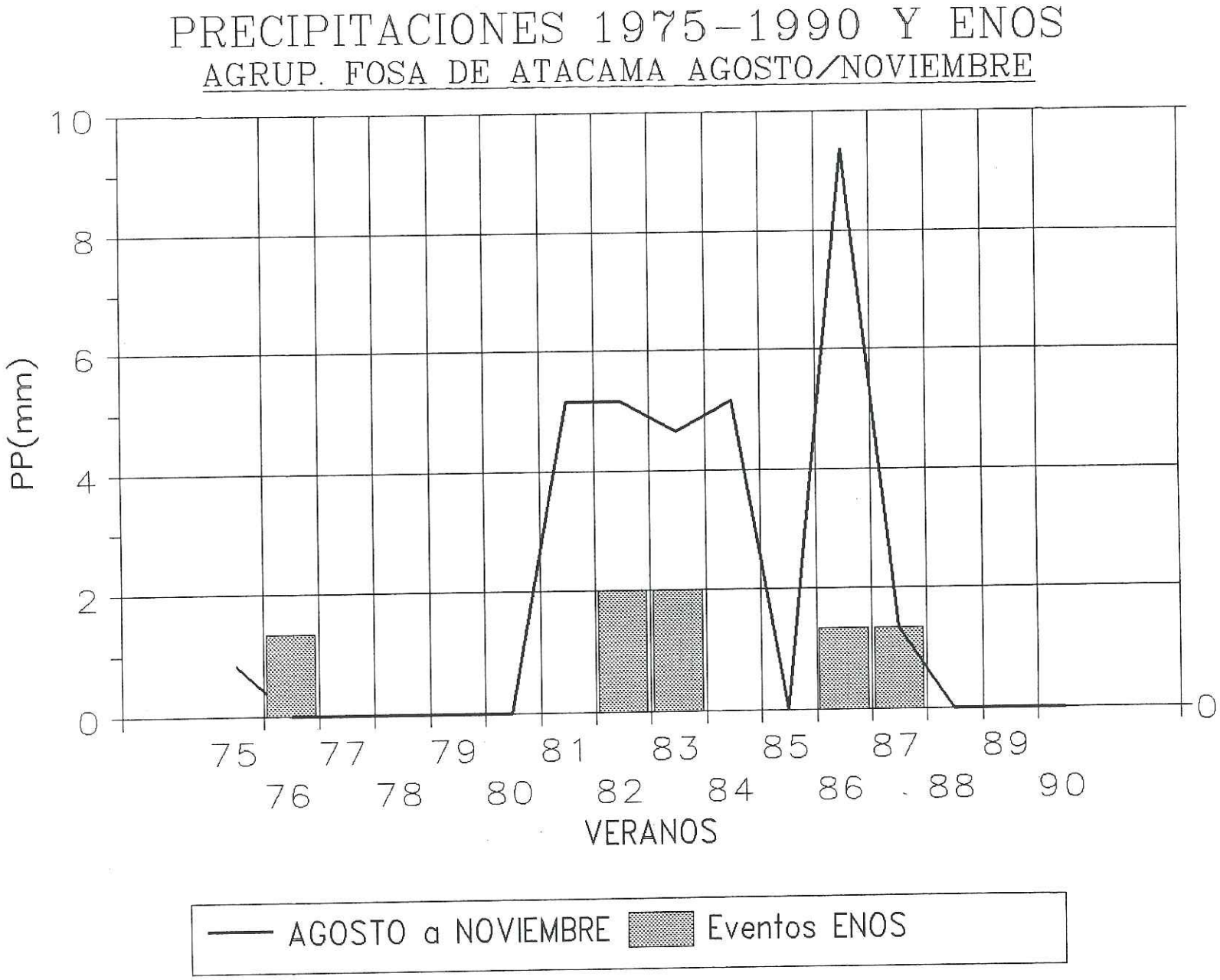
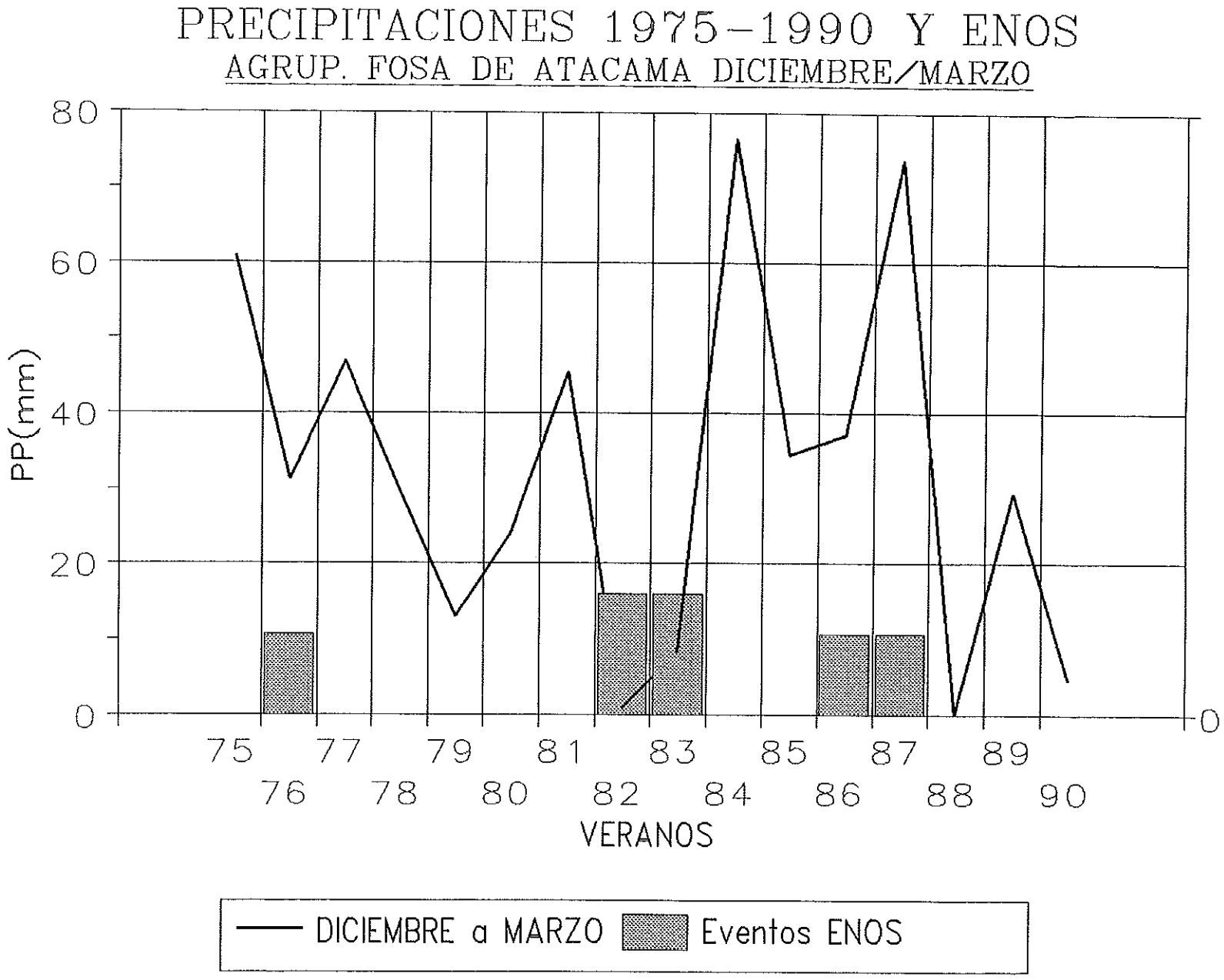

PRECIPITACIONES 1975-1990 Y ENOS
AGRUP. FOSA DE ATACAMA AGOSTO/NOVIEMBRE
PP(mm)
10
8
6
4
2
0
0
75 77 79 81 83 85 87 89
76 78 80 82 84 86 88 90
VERANOS
AGOSTO a NOVIEMBRE
Eventos ENOS

Figura 60


PRECIPITACIONES 1975-1990 Y ENOS
AGRUP. FOSA DE ATACAMA DICIEMBRE/MARZO
PP(mm)
80
60
40
20
0
0
75 77 79 81 83 85 87 89
76 78 80 82 84 86 88 90
VERANOS
DICIEMBRE a MARZO
Eventos ENOS

2.2.2.5 Distribución y variabilidad de la vegetación.

La vegetación en una región desértica como es la de Antofagasta, juega un rol preponderante para el sustento de la actividad ganadera de las comunidades ancestrales, así como para la pedogénesis y la protección de las laderas ante los usuales eventos pluviométricos extremos **Foto 9**.

Foto 9: Formación de Tolar en Puna de Atacama.

Analizando las formaciones vegetacionales de Quintanilla (1977), MOP (1991) y Gajardo (1983) puede apreciarse que gran parte del área de estudio **Figura 61** está desprovista de cobertura vegetacional. Sin embargo, a partir de alturas diferenciales según latitud y morfología, pero cercanas a los 3.000 m.s.n.m. empieza a surgir una poco densa y muy esparcida vegetación compuesta de Tolas y Cactáceas. En la cuenca alta del Loa aparecen también algunas Queñoas (*Polylepis tarapacana*) junto a pajas bravas y estepa. A mayor altura, el Tolar es progresivamente reemplazado por la estepa altoandina, compuesta por gramíneas, para finalmente en los pisos inmediatamente por debajo de la línea de nieves permanentes en la Puna de Atacama aparece el Pajonal.

Analizando más en detalle las formaciones vegetacionales en la fosa de Atacama Baumann (1995), describe los siguientes pisos:

Piso subandino: 2900 a más o menos 3.400 m.s.n.m., con coberturas inferiores al 1%, compuesto por *Ambrosia artemisiades*, *Atriplex imbricata* y *Opuntia sp.*

Piso Andino inferior: 3.400 a más o menos 3.900 m.s.n.m. compuesta por *Fabiana denudata* y LLaretilla (*Junellia mínima*), caracterizado como arbustibo.

Piso alto andino: 3.800 - 4.500 m.s.n.m. compuesto por gramíneas, tales como Paja Brava (*Festuca ortophylla*), Tolas (*Parastrephia lucida* y *quadrangularis*), Adesmia y Stipa en las partes altas.

Piso subnival: sobre los 4.500 hasta los más o menos 5.000 m.s.n.m. compuesto por *Senecio rosmarinus*, *Perezia atacamensis* y *Deyeuxia curvula*.

Para la cuenca alta del río Salado, Villagrán et al (1981) describen los siguientes pisos:

Pre Puna (2700-3150 m.s.n.m.): caracterizado por una muy poco densa cobertura de plantas xerófitas como *Acantholippia deserticola* (sobre arenas en Turi) o *Helianthocereus atacamensis* en quebradas y cañones.

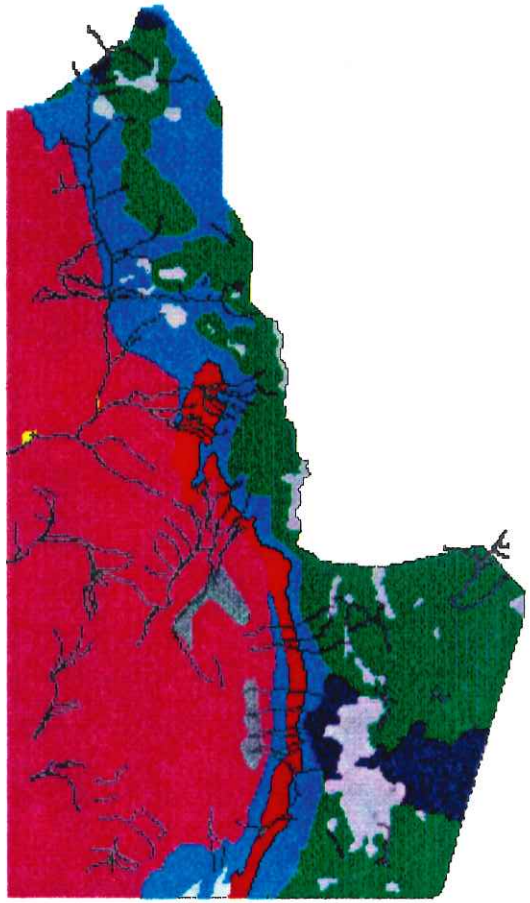
El cinturón de la Puna (3150- 3850 m.s.n.m.): fisionomicamente dominado por arbustos y con la mayor cobertura vegetacional, incluyendo las asociaciones *Fabiana densa con Baccharis boliviensis* y *Junellia seriphioides con Lampaya medicinalis y Baccharis incarum*.

El piso alto andino (3850-4380 m.s.n.m.): que incluye los géneros Fabiana, Adesmia y Oxalis.

y

Piso subnival (sobre 4.380 m.s.n.m.): semi desértico con una vegetación pobremente desarrollada.

FORMACIONES VEGETACIONALES Puna de Atacama



FORMACIONES
Oasis
Hiperdesiert
Tolar, Cacta
Tolar
Estepa andin
Pajonal
halofitas
estepa rala

Grid North

meters

93603.5

Figura 61

GEO–CLIMA

Al intentar espacializar con mayor detalle la variable vegetacional, se incorporó el Indice vegetacional NDVI calculado en base a imágenes NOAA de los meses de Diciembre de 1987 y 1990.

Si bien la floración y el período de crecimiento vegetativo en estas latitudes comienza en septiembre, el mes de Diciembre es buen indicador de la mayor actividad clorofílica de la vegetación, debido al inicio de las precipitaciones estivales, que terminan con el strees hídrico de los meses invernales. Al mismo tiempo, el aumento de temperatura es ostensible, facilitando la acumulación de calor por parte de las plantas que permite su crecimiento.

Para seleccionar los años, se consideró vital su condición pluviométrica, en función de definir condiciones extremas de máximas (1987) y mínimas (1990) potencialidades para la productividad de biomasa de la vegetación.

En la **Figura 62**, se aprecian los NDVI de ambos años, caracterizados como niveles de intensidad del índice vegetacional.

En primer lugar destacan los sectores desprovistos de toda vegetación, localizados en todos los pisos altitudinales, con preeminencia en los salares regionales y la cordillera de la Sal en la fosa de Atacama.

Comparando el año lluvioso (1987) y el seco (1990), puede apreciarse el fuerte incremento de áreas sin vegetación en el año seco, en especial entorno al río Loa y la rampa oriental de la fosa de Atacama.

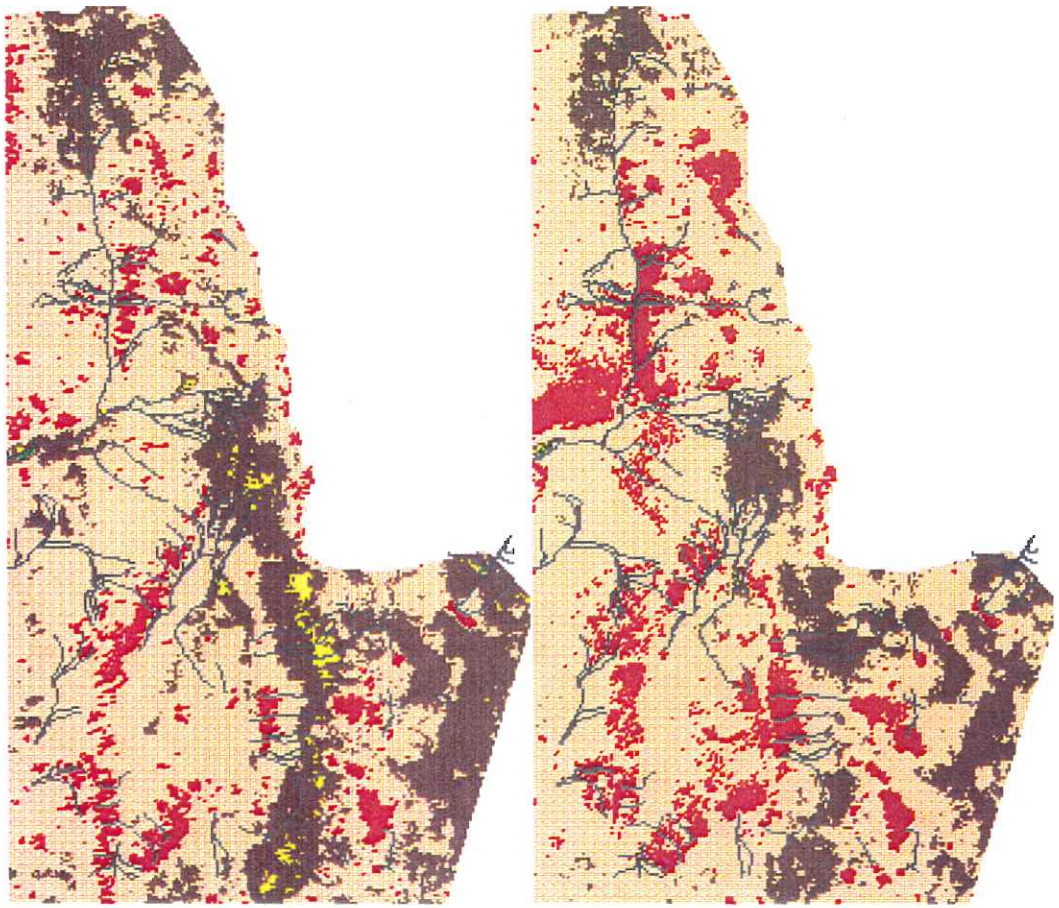
La mayor parte de la región en ambos años, presenta la mayor superficie como de muy bajo NDVI. En desmedro de esta categoría, el año lluvioso presenta un fuerte aumento de las categorías de Bajo y Alto NDVI.

En 1990, la categoría de bajo NDVI, está circunscrita a la cuenca alta del Loa, alta del Salado y sectores dentro de la Puna de Atacama. En 1987, todos estos núcleos vegetacionales se han extendido, adquiriendo continuidad espacial en la vertiente oriental de la fosa de Atacama, entre 3500 y 4500 m.s.n.m. Al interior de la Puna de Atacama, en especial en la vertiente más oriental, las condiciones vegetacionales mejoran substantivamente, sólo destacándose las áreas cubiertas por salares, que mantienen su condición desvegetada.

La categoría de NDVI alto y muy alto, es prácticamente inexistente en 1990 y restringida a los oasis de Calama y San Pedro de Atacama. En 1987, las superficies con alto NDVI están desarrolladas especialmente en la cuenca alta del río San Pedro y en la rampa oriental de la Fosa de Atacama. Las superficies con muy alto NDVI están restringidas a los oasis de Calama, San Pedro de Atacama, Chiu Chiu y Caspana-Toconce.

Destaca a nivel interanual, la importante respuesta del piso arbustivo del Tolar y las partes bajas de la estepa andina, frente a la ocurrencia de años húmedos.

NDVI 1987 & NDVI 1990



NDVI
SIN VEG
MUY BAJO
BAJO
ALTO
MUY ALTO

Grid North

meters

93603.5

GEO-CLIMA

Figura 62

Destacan también, algunos núcleos vegetacionales que a pesar de las extremas condiciones ambientales después de 3 años de sequía, se mantienen activos sin desaparecer pero jibarizados y sin un continuo espacial, que tiene severas implicancias faunísticas y antrópicas.

Uno de estos núcleos más relevantes, es el de la cuenca alta del Loa, al Norte de Lequena Vn. Miño y Co. Aucanquilcha, compuesto principalmente por arbustos y Queñoas.

Otro núcleo de reserva vegetacional se localiza en el interfluvio Salado-San Pedro alrededor de El Tatio, compuesto principalmente por Tolar y cactáceas.

En Puna de Atacama, existen varios núcleos vegetacionales, destacando el de las márgenes del salar de Tara, río Zapalieri compuesto por gramíneas y el de la rampa de oriental de la fosa de Atacama, entre Co. Toco Toco y la Quebrada de Talabre, compuesto por Tolas y gramíneas.

En la **Figura 63** se han graficado las variaciones de NDVI, calculado mediante la comparación de el índice para cada píxel en las dos fechas y asociando dicho cambio a las formaciones vegetacionales del área.

Destaca como la principal categoría, la que no presenta variación entre ambas fechas, compuesta principalmente por sectores sin o con muy escasa vegetación.

Alrededor del río Loa, en especial cerca de los oasis de Chiu Chiu, Lasana y Calama, se aprecian numerosos sectores qué en 1990 no tenían vegetación pero que ante años húmedos desarrollan un cobertura de gramíneas temporales. Estos sectores son de gran importancia para la población, puesto que representan la tierra cultivable por oasis y la posibilidad de incrementar la actividad agropastoril.

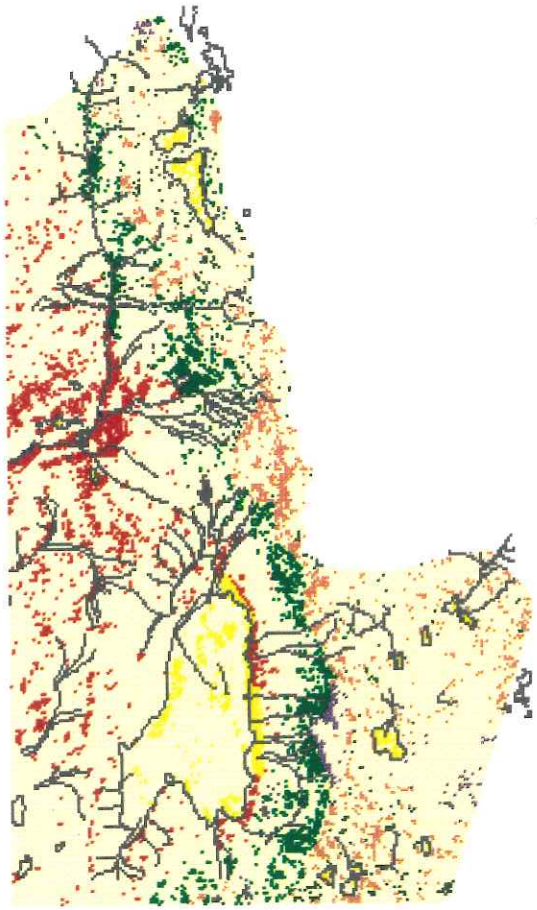
De igual forma, alrededor de todos los salares de la región, se da un incremento en los NDVI para los años húmedos, lo que debiera interpretarse como aumento de las superficies lagunares, tal como lo describió Vuille (1993 y 1996) y también como incremento de las superficies con vegetación halófita que crece alrededor de las vegas y salares.

Entre las especies en vegas con alta salinidad destacan la Chepica (*Distichlis sp.*) el 'Unco (*Scirpus californicus*) y la Brea (*Tessaria absinthioides*), (Castro et al. 1993).

Entre los bofedales de gran altitud, según Castro et. al (1993) destacan diversos tipos de Pako (*Oxychloe andina*).

La variabilidad interanual de la vegetación y superficies lagunares alrededor de los salares y fosas de la región, impacta especialmente a las especies animales que se habitan estos nichos ecológicos que en algunos casos tienen carácter único. Por ejemplo, años excesivamente húmedos, que incrementen demasiado las superficies lagunares en sitios de nidificación de la Parina Chica (*Phoenicoparrus jamesi*), pueden cubrir los nidos interrumpiendo la nidificación, fenómeno observado en el salar de Tara por Parada (1987).

CAMBIO DE NDVI POR FORMACION VEGETACIONAL



DELTA NDVI
SIN VARIACIO
H DESIERT +
SALARES +
TOLAR -
TOLAR +
PAJONAL +
ESTEPA -
ESTEPA +
OASIS +

Grid North

meters

93603.5

Figura 63

GEO-CLIMA

Años excesivamente secos o fríos, pueden hacer desaparecer o congelar las superficies lagunares, obligando a la migración de especies tal como ocurrió en el frío invierno de 1976, que congeló la laguna Lejía, obligando a más de 600 Phoenicoparrus andinus a migrar hacia el sur de Perú, Bolivia y el Noroeste argentino, regiones con mayor estabilidad y acumulación hídrica (Hurlbert & Keith, 1979).

Respecto a la variación de las otras formaciones vegetacionales, destaca el fuerte incremento de superficie del Tolar durante el año húmedo, el cual se marca como una franja altitudinal para toda la región desde el Loa hasta Peine, alrededor de los 3800 m.s.n.m.

A mayor altura, sobre los 4.000 m.s.n.m., la estepa andina y altoandina de gramíneas, también se ve favorecida por el incremento de las lluvias, sin adquirir una continuidad espacial destacada, a excepción hecha de la cuenca alta del río Vilama y San Pedro en la parte Norte de la fosa de Atacama.

Analizando en detalle las variaciones de NDVI según las especies más representativas para el área de estudio, se seleccionó tres transectos vegetacionales de Baumann (1995), correspondientes al Vn. San Pedro, Vn. Sairecabur y Vn. Licancabur **Figura 64**.

En el Vn. San Pedro, el límite superior de la vegetación está a los 4.800-5.000 m.s.n.m. y el límite inferior entre 3.000 y 3.300 m.s.n.m. En esta transecta, el principal aumento de NDVI se da en el piso alto andino entre 3.800 y 4.600, el de mayor cobertura y representado por los géneros Festuca, Senecio, Valeriana, Azorella, Parastrephia, Baccharis y Adesmia.

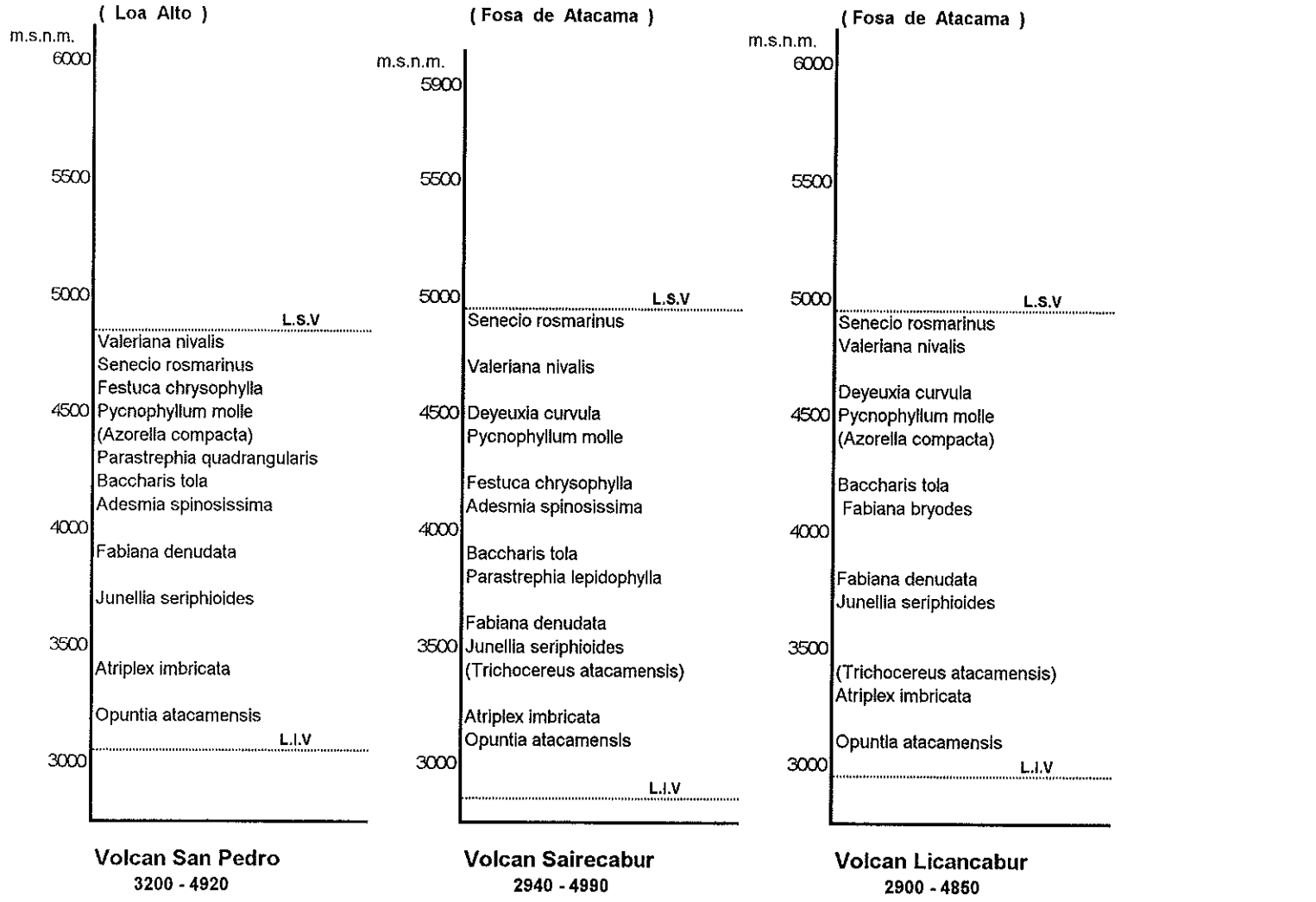
En menor grado y en forma más dispersa, el Tolar también se ve favorecido, entre 3.400 y 3.500, compuesto por los géneros Atriplex y Opuntia.

En la transecta del Vn. Sairecabur existe un leve descenso en el límite inferior de la vegetación, mientras que el límite superior se mantiene sin variación. Los mayores aumentos de NDVI en años húmedos se da en el piso sub nival desde los 4.600 a 4.800 m.s.n.m., representado por Senecios y Valerianas. Otro segmento con aumento de NDVI es el de 4.000 a 4.200 m.s.n.m. compuesto por Festucas y Adesmia.

En la transecta del Vn. Licancabur, los límites inferiores y superiores de la vegetación, se mantienen sin gran variación, destacando el incremento de NDVI en el piso entre 3.900 y 4.400 m.s.n.m. compuesto por Fabianas y Baccharis.

Estas variaciones interanuales de la vegetación, producto de la fluctuación de las precipitaciones y otras condiciones topoclimáticas, tiene y ha tenido una gran importancia para la población local, debido a que la vegetación constituye una fuente importante de satisfacción de numerosas necesidades medicinales, de construcción, combustible y alimentación.

PISOS ALTITUDINALES POR TRANSECTAS VEGETACIONALES



L.S.V : Limite Superior de la Vegetación
L.I.V : Limite Inferior de la Vegetación

Baumann (1995)

Figura 64

En esta perspectiva destacan por sus usos medicinales, la Tola (*Baccharis bolivienses*), usado para afecciones estomacales, la LLaretilla (*Junellia mínima*), para el dolor de estómago, la LLareta (*Azorella compacta*) para bronquios, refrios, asma y diabetes y la Tola supu (*Parastrephia quadrangularis*) para quebraduras y tos, de igual forma para usos rituales y sahumerios se usa la Tola supu (Castro et al, 1982).

Algunas de estas especies son muy sensibles a cambios interanuales de las precipitaciones, por lo que la protección de los núcleos de reserva caracterizados para años secos, debiera acentuarse.

Otras especies, como la LLareta y la Queñoa, han sido usadas como combustible y material de construcción durante los últimos cientos de años, lo que ha conllevado a su sobre explotación, en especial durante la época del salitre y del florecimiento del Cobre a principios de siglo, tendiéndose a su reducción y en algunos sitios desaparición, lo que debiera alertar a las instituciones responsables, incentivándolas a ejercer prácticas destinadas a su protección.

2.2.3 Concepciones etnoclimáticas

Dado que el área de estudio posee una vasta riqueza cultural, la población autóctona posee una concepción propia del clima, su dinámica y circunstancias.

Estas tienen su raíz en desarrollos culturales prehispánicos, los cuales, con el transcurso de los años, se han ido sincretizando con la fuerte influencia europea y posteriormente republicana.

La incorporación de esta concepción local, se estima vital a la hora de concebir una aproximación integral respecto del uso y manejo de los recursos, en especial hídricos.

Gran parte de los estudios referentes a los recursos hídricos altiplánicos, hacen hincapié en el problema de introducir una concepción moderna sobre el uso y manejo del agua, que reduce la cuestión hídrica, a las relaciones agua-planta (Coolman, 1990), separándose otros vitales componentes de tipo cultural, que explican en forma más integral la concepción indígena. De esta forma se aplican planes de transferencia tecnológica y productiva que no siempre tienen éxito y generan transculturación, lo que favorece la emigración (Castro, 1996).

Una propuesta de abordaje más integral al problema del agua, está definida en el concepto "Cultura hídrica" , que da cuenta del conjunto de componentes culturales que intervienen en el recurso hídrico (UNESCO 1986).

Este conjunto de componentes es adquirido históricamente, constituyendo un sistema de símbolos, lenguaje, costumbres, códigos e ideas, todo lo cual se da y genera en un espacio geográfico, donde se desenvuelve el hombre y se generan los recursos que permiten su sustento.

Este espacio geográfico, en especial la interacción de la atmósfera y el relieve a nivel local (topoclima), es aprehendido por las sociedades que lo ocupan, generándose una concepción simbólica, arraigada en la tierra, con metáforas y ritos, todo lo cual se traduce en una técnica de trabajo, uso y manejo de recursos hídricos y un modo de vida particular.

Tres planos sintetizan los componentes culturales: El plano ideacional, el organizacional y el tecnológico-material (Castro, 1996).

Dentro del plano ideacional, la concepción de cómo se comporta el clima, cuáles son sus ciclos, qué significado tiene cada elemento y cómo se pueden manejar, constituyen la etnoclimatología regional.

Dentro del plano organizacional, destaca la estructura social de las comunidades, su organización, administración y configuración.

Del plano tecnológico material, destacan los medios de producción agrícola, las técnicas de laboreo de tierras, el uso del agua, la construcción de canales y acueductos.

De acuerdo a los capítulos precedentes sobre la evolución de los recursos y su manejo en la región, es dable asumir que básicamente existen 2 grupos étnicos predominantes en el interior de Antofagasta, el de raíz atacameña y el de raíz aymara. Ambos han construido una marco conceptual diferencial, pero se topan y confunden en varios puntos.

Se concentrarán los esfuerzos en describir y explicar la concepción etnoclimática atacameña, con el fin posterior de testear y contrastar las metáforas y creencias, con los resultados topoclimáticos producidos en este trabajo.

2.2.3.1 Simbolismo atacameño

La región atacameña ha sufrido decenas de contactos, choques culturales, invasiones e imposiciones culturales, sin que hasta ahora haya perdido plenamente su autonomía, conservando gran parte de su patrimonio cultural. Esta característica de adaptación restringida, les ha permitido sortear con éxito una sumisión plena, que afectó y desintegró a otras comunidades, permitiéndoles desarrollar patrones cognitivos-simbólicos básicos de tiempo, espacio, movimiento, número, color, mitos y rituales (Grebe & Hidalgo, 1988), que perduran hasta el día de hoy.

Para los atacameños, la naturaleza está viva y la tierra es todo. Los cerros (*Tata-mayllko*), la tierra (*pachamama*) y el agua (*Tata- putarajni*) tienen vida y fuerza propia, constituyéndose en espíritus mitológicos naturales. En ella radican los espíritus de la gente antigua, antepasados prehispánicos que también poseen gran poder (*Tata-abuelos*) (Grebe & Hidalgo, 1988).

Dentro de esta simbología, el clima ocupa un lugar importante pero no en cuanto sistema natural separado de los principales componentes culturales étnicos, sino que como parte integrante de la naturaleza toda.

El principal componente climático representado en el simbolismo atacameño, es Tata-putarajni (espíritu del agua), que reside en diversos espacios regionales, proporcionando el agua que fertiliza los cultivos y da la vida al hombre y ganado. El agua llega allí, proveniente del Tata-mayllko, espíritu de los cerros, montañas y volcanes.

A los tres espíritus de la naturaleza, se les invoca en conjunto, debido a que son todo uno: el cerro genera el agua, y ésta fertiliza la tierra.

A esta concepción de naturaleza, se suma la de espacio, el cual es concebido como todo lo humanizado, lleno, en el sentido que está repleto de significados.

El espacio se caracteriza, por un círculo cuya orientación predominante es hacia el Este (hacia arriba, salud, fuerza, superioridad), producto entre numerosas cosas, a que de allí proviene el agua y el sol.

Al igual que el espacio, el tiempo, es representado por un círculo cuyo movimiento es contrario a las manecillas del reloj, donde arriba o el principio, está en el Este, en el amanecer y por el contrario abajo está el poniente o entrante.

Esta concepción cíclica se asocia tanto al espacio y tiempo, como al agua, el riego y la vida.

Respecto del agua, lo cíclico se manifiesta en la presencia de 2 pares de componentes básicos, que son antagónicos y luchan por la supremacía, pero se sintetizan y equilibran en el ciclo:

Astros
Mar - Cordillera
Tierra

El mar es quién activa el flujo hídrico que es traspasado a los astros (en algunos casos la beben), quienes la depositan o precipitan sobre las cordilleras, que origina las aguas que van a nutrir la tierra (Castro, 1996).

El hombre, obligado por las variaciones climáticas, en especial las sequías, realiza ritos para convocar a las lluvias, las que tienen por objetivo acelerar el ciclo natural del agua, motivando a los tatas (agua, cerros, tierra) a generar las condiciones ambientales favorables para el hombre.

Uno de las ceremonias más importantes de la cultura atacameña, es el de la limpia de canales y el culto al agua, practicado en todos los oasis de la fosa de Atacama. Dentro de ella, destaca Socaire, donde se ha conservado el texto kunza del "*Talatur*", baile del agua, realizado cuando la siembra está dispuesta y los canales secos y limpios, en espera del primer riego de primavera (Núñez, 1992).

Allí se ruega a los cerros tutelares, dadores de agua, por más lluvia. Luego se ruega por la multiplicación de la tierra cultivada y finalmente por la reproducción humana y de la tierra, así como por la convivencia en la comunidad.

Respecto de las lluvias, se invoca a numerosos cerros visibles en la fosa, destacándose, los cerros Moyar, Solar, Hécar, Laúsua, Chiliques, Tumisa y Quimal. Todos ellos tienen el poder para hacer llover, atrayendo nubes y truenos, para desde allí hacer fluir las aguas hacia las tierras cultivables (Mostny (1954), Grebe & Hidalgo (1988) y Núñez (1992)).

2.2.3.2 Percepción climática de la población

Durante 1992-1993 se realizaron numerosas entrevistas a personas de origen principalmente Atacameño, residentes en las aldeas del área de estudio, desde Peine por el sur, hasta Ollagüe por el Norte. Sus niveles educacionales son elementales, sin embargo su conocimiento del territorio, dinámica y procesos, es evidentemente superior. Lo más interesante, es que las perspectivas epistemológicas de los entrevistados, tienen muy poco que ver con las concepciones modernas de la civilización occidental.

Lo primero que destaca es el elevado nivel de sincretismo, observado en los entrevistados. La combinación y simbiosis de la fe católica, con elementos culturales nativos, de larga data y origen prehispánico, se grafican en sus ritos, experiencias y formas de enfrentar la vida.

La relación que ellos tienen con su medio ambiente, es radicalmente distinta a la que se puede observar en regiones más transculturizadas o donde priman valores economicistas.

El alto nivel de sinergismo, con el que analizan y se explican los procesos naturales, sobrepasa una concepción holista clásica. Lo que para la ciencia moderna tiene carácter objetivo, en cuanto objeto de estudio, para ellos no es más que una extensión de si mismos en su entorno.

La información recopilada de las entrevistas será expuesta por cada localidad visitada.

Fosa de Atacama

Peine:

Por lo general perciben que las lluvias de verano son en las tardes. "Cerca de las 16:00 empiezan descargas eléctricas y hay **lucha en los cielos, con grandes nubes, con truenos y relámpagos,** (cúmulo-nimbus) **hasta que gana la nube y llueve**". Cuando esto ocurre, hay calor en los días previos y hay viento del Este. El Terral anuncia la lluvia.

En invierno, llueve en las noches con mucho frío, nieve y vientos desde el Oeste. La nieve se funde en las mañanas y no alcanza a mantenerse.

La percepción recogida, es que hay sequía de verano, mientras que ha aumentado el viento desde el salar en el invierno, con frío y a veces nieve.

Se destaca un ciclo diario de vientos: Desde el Este en las mañanas, y del Oeste en las tardes.

Camar:

Llevan 5 años de sequía de lluvias de verano. Las lluvias cuando aparecían eran anunciadas por "nubes gruesas" como algodón negro y a baja altura.

La lluvia (sólo líquida en verano) se da en las tardes, tipo 15 o 16:00, viene desde San Pedro y el Licancabur (Norte) y son precedidas por "harto calor". "**Cuando hace mucho calor quemante, se presume lluvias**". El viento corre en las mañanas desde el Este al Oeste (el Terral es indicador de lluvias), acarreando las nubes hacia el oeste, las que en la tarde se vuelven a la cordillera, lo cubren todo y así puede llover por 8 o 9 horas.

En invierno han aparecido nevazones de hasta 20 cm., con vientos del Suroeste y Norte. La nubosidad es más alta y provienen del Suroeste

Toconao:

También han tenido bajas precipitaciones en los últimos años, lo que ha perjudicado los cultivos en la quebrada de Jerez.

Las lluvias de verano son anunciadas por el Terral, viento que desciende de la montaña en las mañanas. Luego hace mucho calor durante el resto del día.

Uno de los indicadores principales que ellos poseen, es la aparición de "**culebras en el salar**". Torbellinos de arena que se movilizan y desaparecen por doquier, en vísperas de lluvias.

Otro elemento vital a la hora de predecir las lluvias es el cubrimiento parcial o total de algunos cerros destacados, en especial en la cordillera de Domeyko, al Oeste del salar de Atacama. **"Si se cubre el Quimal, seguro que llueve".**

El Co. Quimal, es el punto culminante de la cordillera que rodea por el este la fosa del salar de Atacama. Es visto desde casi todas las aldeas de la fosa y posee un significado relevante para las culturas locales.

Cuenca media del Loa

Toconce

Llevan 5 años de sequía, donde no ha nevado ni llovido.

En verano, las lluvias son a fines de Enero y mediados de Marzo. Las nubes vienen de Conchi-Chuquicamata, las que se asocian a calor en los días previos. Esos días viene un "**olor a lluvia con el Terral**", viento descendente mañanero, poco frecuente y predominante en verano. Cuando hay olor a lluvia, en las tardes empiezan los granizos, truenos y relámpagos. Las nubes son blancas pero se transforman en negras, gruesas y llueve poco parejo, "de a poco por aquí y luego por allá"

Los inviernos son secos. Cuando va a nevar, se nubla el día antes y en la noche nieva con mucho frío, heladas y viento del oeste.

Caspana

También están sufriendo una sequía por los últimos 5 años.

En verano las lluvias son de Diciembre a Marzo. Comienzan como a las 14:00 y pueden durar hasta la noche.

Hace calor sofocante antes de la lluvia, mientras que después de ellas viene el frío.

Los días de lluvia hay viento desde las 06:00 a las 08:00 de la mañana, desde la cordillera al valle que trae "olor a lluvia".

Le llaman "Sereno" a un viento de Marzo a Abril, como neblina con frío.

Mientras que el Terral, es un viento húmedo de cordillera más fuerte y asociado a lluvias.

Las nubes aparecen de repente, se cubre el cielo pero no todo y llueve una o dos horas, con truenos y relámpagos.

En invierno no hay terral y puede caer mucha nieve.

"Como no han habido lluvias, nuestra comunidad, que es muy católica y unida, me encomendó por ser de los más antiguos y respetados del pueblo, que fuera a Antofagasta a buscar agua de mar. Allá, después de pedir permiso al mar, llené una vasija que traje al pueblo, donde junto a la comunidad llevamos a una apacheta localizada a la entrada de la quebrada, donde se depositó. Allí sacrificamos un llamo y se mezcló la sangre con el agua, para pedir por un año con lluvias". Foto 10

Foto 10: Agricultor en el oasis de Caspana.

San Pedro de Conchi

En general llueve poco y en verano. Cuando llueve, "el viento viene de Ojos de San Pedro (Este), con olor a lluvia (Terral) y en las mañanas". Luego las lluvias pueden venir desde Conchi viejo, pero de todas maneras llueve en las tardes.

La lluvia dura 3 horas más o menos y hace frío antes de la lluvia.

Por lo general en las mañanas viene viento desde Lequena (Norte) y luego desde Chuquicamata (sur).

Conchi embalse

No han habido lluvias ni crecidas del río desde 1987.

Durante el día el viento es sur y en la noche Norte. El terral es un viento bajo con tierra y no asociado a lluvias. El viento de lluvias es el NNW.

Cuenca alta del Loa y salares

Lequena

Llevan 4 años de sequía, por lo que todo está seco y las vertientes no dan agua y los pastos se secan. En invierno han aparecido algunas nevazones en el Oeste pero no en el oriente.

Cuando está helado no llueve, por eso antes de la lluvia hacía calor, con mucha pelea de truenos y relámpagos. Luego se cubría el Co. Palpana (al este) que anuncia la llegada del agua. Lo más importante es que después tiene que cubrirse el Co. Pajonal (al Suroeste), lo que anunciaba la lluvia segura desde el oriente. No hay una hora especial, sin embargo duraba 3 o 4 horas. Algunas veces era muy fuerte y duraba sólo media hora. No llueve parejo, sino de a poco y muy distinto según la localidad.

En invierno hay mucho viento, el que se ha incrementado en los últimos años. Por lo general en el día el viento viene de Chuquicamata (sur) y en la noche viene del Norte. Cuando hay mucho viento del sur, "bota las nubes". Cuando hay viento del Norte y este, las nubes se forman.

Un último indicador de lluvia, lo constituye el Vn. San Pedro, ubicado al sureste de la localidad. Dice Don. José "**Cuando el Vn. San Pedro humeaba siempre se anunciaba lluvia**".

El Tatio

No ha habido lluvia en 2 años. Tampoco había nevado en los últimos años, por lo que estaban con sequía.

En verano la lluvia es intermitente y con sol, debido a que las nubes son espesas pero locales, durando 1 o 2 horas, sin una hora fija o predilecta. El viento predominante durante las lluvias es desde el este

Linzor

Las lluvias comienzan en las tardes después de las 15:00 y duran hasta la noche. Son diarias y no se extienden por varios días.

Antes de la lluvia hace calor y viene en la noche y mañana el terral desde la cordillera, pasando a Toconce, trayendo la humedad. El Co. Paniri es el más indicador de lluvias.

Mientras menos lluvias, más helado y viento desde Toconce (oeste).

Ascotán

En verano las lluvias se dan en las tardes, antes de lo cual se nubla con viento cálido desde el Norte. No llueve con sol, mientras que cuando lo hace, las nubes vienen del Norte. EL principal indicador es el Co. Araral (al este).

Cebollar

Las nubes que traen lluvia vienen de Bolivia (este) y los vientos son tibios. Cuando llueve hay poco viento, se cubre con nubes a mediodía y en la tarde llovía. El terral no siempre viene con nubes, pero cuando las trae, puede llover.

Ollagüe

En los últimos dos años ha cambiado el clima, porque ha aumentado mucho el viento desde el oeste, con frío y mucho polvo. Llevan 4 años sin lluvias y se han formado dunas de arenas en algunas tapias y rejas.

En la década del 50 fue la última nevada de invierno.

Antes de las lluvias de verano, hacía mucho calor con viento fuerte del Norte, que traía las lluvias las que aparecían en las tardes, durando 2 o 3 horas.

2.2.3.3 Algunas interpretaciones

Cuándo llueve ?

Por lo general en todas las entrevistas, queda clara la diferenciación entre un régimen invernal y otro estival.

El régimen invernal es asociado a las nubes del oeste, con frío, nieve y la noche.

El verano es la época primordial de lluvias y es asociada a calor, día, vientos tibios del Norte, Noreste y Este. Las tardes son las predilectas y la duración es breve, dependiendo de la intensidad.

Cómo saber si lloverá o no ? Qué símbolos usan ?

No hay claves, símbolos ni metáforas para predecir las condiciones invernales, lo que se explica por su baja recurrencia.

Para las lluvias de verano, cada localidad posee símbolos y fenómenos que permiten predecir su aparición.

En el salar de Atacama y cuenca media del Loa, destaca el Terral como viento mañanero, que es asociado a alimentación de humedad para las lluvias desde la cordillera a la fosa.

Las características térmicas también son en general vitales. El calor agobiante y anómalo, existente en las mañanas, es sintomático de lluvias en la tarde.

Entre los principales símbolos, destacan las relaciones entre algunos cerros o volcanes prominentes y su cubrimiento total o parcial.

En cada localidad, existe un hito orográfico decidor, ubicado tanto al Este como al Oeste de los pueblos. En el caso de la fosa de Atacama, el hito corresponde al cerro Quimal (al oeste del salar) que tiene importancia incluso hasta Caspana, donde si bien no tienen una visual directa hacia el cerro, existe la tradición atacameña común.

Otro cerros importantes, son el Pajonal y el Araral (al este de los pueblos), para las localidades de más al Norte.

Los cerros no sólo importan como indicadores de una situación futura, sino que alimentan de agua a las masas de aire de las tierras bajas, mediante la activación de vientos descendentes húmedos o con "olor a lluvia". Aquí nuevamente se produce una asociación, entre un proceso natural y una noción cultural.

Otro signo interesante, son las culebras en el salar de Atacama. Estos torbellinos de arena que divagan en gran número, son asociados a lluvias, sin una metáfora especial, sino sólo constatando una relación de hecho.

Un fenómeno natural recurrente en las descripciones, es la presencia de truenos y relámpagos antes de las lluvias. Estos son interpretados como luchas o peleas entre los elementos, hasta que gana la nube y llueve.

En la dicotomía de componentes naturales, se supone que la lucha se da entre el agua y los astros (el cielo, la atmósfera), que o impide la presencia de lluvias o si pierde la batalla, entrega generosa el agua, para provecho de la población.

Los ritos de petición de lluvia.

El principal rito rescatado de las entrevistas, fue el recogido en Caspana. Este coincide bien con las descripciones de rituales de Castro (1996).

Al traer el agua desde el mar, se acelera el ciclo normal de los elementos. No se trata de que las lluvias vengan del oeste. Les queda claro que vienen del este, sin embargo conciben al mar como la fuente primigenia del recurso. En los cerros, donde el agua se desarrolla, almacena y distribuye, el agua de mar generaría una especie de pelea o lucha, que debiera desencadenar en un triunfo del mar, que atraerá a las aguas hacia las costas, fluyendo por las tierras, fertilizándolas.

Percepción del cambio climático.

Todos los entrevistados expresan su consternación por el descenso significativo de las lluvias de verano. Junto a lo anterior, se percibe claramente que en invierno se ha producido una mayor frecuencia de nevadas.

Junto a las sequías, se percibe que los vientos fríos del oeste se han acentuado, desarmándose las nubes y por ende dificultando las lluvias.

Comparando con la teoría

La presencia de fuertes temperaturas previas a la aparición de las lluvias, más la hora de ocurrencia, la presencia de truenos y relámpagos, la lluvia torrencial y diferencial a nivel espacial, así como la presencia de sol durante los eventos, ratifica la idea de fuerte actividad radiativa, calentamiento basal de las masas de aire, convección y precipitación.

La convección es descrita como una lucha entre los elementos, que dependiendo del tipo de viento existente en altura, se refuerza o decae. Los vientos desde el sur y oeste, desparraman y desarman las nubes, lo que se explica por su carácter seco y frío. Los vientos del Norte y este, son positivos porque arman las nubes, lo que ratificaría la noción sinóptica de alimentación de humedad amazónica en la región.

La presencia del terral, como alimentador de agua de la cordillera al valle, (el olor a lluvia), ratifica la importancia de la advección en la alimentación de humedad y en el potenciamiento de la actividad convectiva.

Las "culebras en la fosa", son verdaderos microcentros de baja presión, donde la convección se extrema por medio de torbellinos. Este tipo de fenómenos debiera ratificar, la potencia y localización de islas de calor, que se traducen en convección. A mayor presencia de culebras en la fosa, mayor calor y por ende precursión de condiciones favorables para la lluvia.

El cubrimiento de algunos cerros destacados como indicadores de lluvias , por lo general al oeste de las localidades, puede interpretarse como una generalización de condiciones favorables a la convección, que excede con creces las márgenes estrictas de los Andes, para abarcar los oasis y valles más bajos.

Cuando la circulación sinóptica es favorable a las lluvias, las vías de penetración de las masas de aire cargadas de humedad, no sólo se dan desde el este, sino que abarca un mayor grado de vectores, desde el noroeste, hasta el este. Cuando esta situación se produce, se cubren los cerros que son indicativos de lluvia y que se localizan al oeste. Como en esta condición por lo general llueve, cada año que esto ocurre, se afianza la tradición y el cerro adquiere mayor poder predictivo y por ende mágico.

2.3 Competencia por los recursos hídricos

2.3.1 Características hidrológicas generales

Consecuentes con la condición hiperárida de la región de Antofagasta, las cuencas hidrográficas aquí existentes son endorréicas, a excepción de la cuenca del río Loa que con escaso caudal logra llegar al Océano Pacífico.

En el interior de gran parte de las cuencas cerradas de la región, se localizan extensas superficies salinas que responden directamente a las precipitaciones estacionales incrementando superficies lagunares, con sectores de bofedales (sobre 3.500 m.s.n.m.) y vegas (bajo 3.500 m.s.n.m.), que permiten el desarrollo de una rica biodiversidad (Castro et al. , 1993). Las fluctuaciones de los niveles de agua de las lagunas de los fondos de las fosas, están controladas por la alta evaporación, escasa infiltración y principalmente por la variabilidad pluviométrica. Según Messerli et al. (1993), Grosjean & Vuille (1991) y Vuille (1993), durante períodos de sequía, dichas superficies lagunares tienden a desaparecer, lo que implica una gran fragilidad de los ecosistemas que allí se desarrollan. De igual forma períodos muy fríos congelan las márgenes de las lagunas impidiendo la nidificación de Parinas. **Foto 11**.

Foto 11: Laguna Lejía en Puna de Atacama, congelada en sus márgenes en invierno, impidiendo la nidificación de miles de Parinas que la habitan.

Estas cuencas altoandinas, presentan las mayores disponibilidades de agua en la región, fundamentalmente por sus napas subterráneas. Sin embargo, los montos de recarga están en función de las lluvias registradas, las que al ser muy variables de año en año, producen altas variaciones de los aportes hídricos. Lo anterior ha llevado a diferentes autores a postular que ciertos sectores del Altiplano de la región poseerían aguas calificadas como fósiles, pues provendrían en sus orígenes, de las paleolagunas que aquí se desarrollaron en el tardiglacial.

En este sentido, Messerli et al. (1993) y Grosjean et. al (1996) al analizar las aguas de la zona del salar de Atacama en base al método de Tritium, detectó que las descargas regionales bajo los 4.000 m.s.n.m., no contienen componentes de agua meteórica de los últimos 40 años, lo que estaría indicando la muy lenta recarga y largo tiempo de residencia de las moléculas de agua en los cuerpos subterráneos.

Respecto al análisis químico, los recursos hídricos que están disponibles en la Región de Antofagasta, son en su gran mayoría no potables, por el alto contenido de diversos componentes tóxicos (arsénico y boro), los cuales se encuentran ligados fundamentalmente a rocas volcánicas cenozoicas que prevalecen en el territorio andino oriental, particularmente de centros volcánicos más recientes o con actividad latente. El arsénico estaría principalmente relacionado con el volcanismo andesítico, mientras que el boro, al volcanismo riolítico-dacítico. Ambos se incrementan extraordinariamente en áreas de volcanismo activo, como en el caso de las aguas de los geyseres de El Tatio (ESSAN, 1992) **Foto 12**.

Foto 12: Geyseres de El Tatio en plena actividad matinal.

Las contaminaciones por sólidos disueltos, con la inclusión de cloruros y sulfatos, resultan de baja cuantía en las cabeceras de las hoyas altoandinas y se incrementan gradualmente aguas abajo.

Las aguas subterráneas poseen una característica hidroquímica bastante similar a las aguas superficiales, con importantes cantidades de Arsénico, Boro, sulfatos, cloruros y sólidos disueltos. Estas aguas no son en general de gran profundidad y cuando se trata de aguas subterráneas con recorridos cortos o poco distantes, poseen una buena calidad química.

De lo anterior se puede concluir que a los problemas de la cantidad de agua, deben agregarse consideraciones sobre su calidad, las que limitan su uso a propósitos específicos, impiden en algunos casos su reciclaje y re-uso para otros fines y pueden contaminar suelos con potencialidad agrícola.

Para el análisis de la cantidad de agua disponible a nivel regional, es necesario considerar que de las 52 cuencas existentes, gran parte del agua producida por ellas son poco aprovechables debido a su mala calidad, gran distancia de los centros de demanda, carácter binacional y escaso caudal.

En base a probabilidades de excedencia y ocurrencia del 50%, las producciones potenciales totales para algunas cuencas pueden ser analizadas en la **Tabla 17**.

Tabla 17 Producción Potencial Total (Litros/segundo):

SECTOR	lts/seg.	SECTOR	lts/seg.
Río Loa	9.473	Salar de Quisquiro	964
Salar de Atacama	7.636	Laguna Helada	327
Quebrada de Tara	1.633	Quebrada Taltal	116

Fuente: INYGE (1991)

De las anteriores, la cuenca del río Loa es la más importante, por caudal, extensión, única de carácter exorréico y con un alto aprovechamiento de sus aguas.

No obstante la gran importancia de esta cuenca, en una región hiperárida como la de Antofagasta, no existe consenso aún en los estudios hidrológicos realizados, respecto de la cantidad de agua disponible para la expansión de la demanda.

La cuenca del Loa posee aproximadamente 33.570 km², de los cuales sólo un 20% contribuye efectivamente con precipitaciones a su caudal (Niemeyer y Cereceda, 1984). El régimen es principalmente nivopluvial, con un caudal promedio de 1,5 m^3/s, con crecidas violentas en verano y mayores caudales en otoño e invierno. Las crecidas más importantes se dan a fines de Febrero principios de marzo, las únicas que logran detectarse en los gastos medios mensuales. Los caudales de estiaje se dan en primavera (DGA, 1989).

Las crecidas se producen con baja recurrencia. Entre 1948 y 1968 se detectaron 11 crecidas, de las cuales sólo 4 corresponden a gastos superiores a 10 m^3/s e inferiores a 90 m^3/s. Estas crecidas tienen un peak del orden de 1 hora y recesiones que duran entre 10 y 24 horas. Históricamente la mayor crecida se produjo en 1888 y es posible que haya alcanzado un valor cercano a los 140 m^3/s. Para un período de retorno de aproximadamente 100 años, se calculan valores del orden de los 80 a 90 m^3/s (DGA, 1988).

El río Salado ha registrado sus mayores crecidas con montos de hasta 120 m^3/s. Aguas abajo del Salado, nuevos aportes de caudales al Loa son prácticamente nulos, por lo que los peak de las crecidas de la cuenca alta no son propagados.

El río Loa está sometido a numerosas extracciones de agua no agrícolas que totalizan 1.250 m^3/s antes de Conchi, donde es embalsado en el embalse homónimo en funcionamiento desde 1979. Analizando la curva de volúmenes promedios mensuales para el período 1977-1987 es posible aseverar que los montos mínimos de almacenamiento se dan en verano, lo que es coincidente con las máximas entregas de agua en bocatoma. Los años con menores volúmenes almacenados corresponden en Enero a 1982 y en julio a 1980, los años más secos de la serie. De igual forma, los caudales máximos en Enero se dan en 1984, mientras que para julio, 1979 **Figura 65**.

2.3.2 Características por sector y demanda de agua

Dada la actual legislación chilena, que considera al agua como un bien nacional de uso público y se otorga a particulares el derecho de aprovechamiento (Muñoz, 1994), gran parte de los recursos hídricos de las cuencas de la región de Antofagasta están asignadas a particulares por medio de acciones, cuyo monto ha sido definido según las hectáreas cultivadas, el agua utilizada para faenas mineras o de transporte y la relación existente entre superficie/cultivo, definidas a la fecha de implementación del nuevo código en el año 1981.

De acuerdo a lo anterior, en la cuenca del Loa se han otorgado según COREDE (1989) gran parte de los recursos hídricos superficiales, a empresas mineras, industriales, de agua potable y agrícolas, (**Tabla 18**).

Del caudal total del río Loa según COREDE (1989), entre los derechos otorgados a particulares o empresas, destaca la Minería ligada a la Corporación Estatal de Cobre (CODELCO- Chile), la que junto a otras actividades mineras menores, representa el 34,3 %. Le sigue la agricultura con un 28,5% y el consumo de agua potable con un 27,6% (**Tabla 18**).

Figura 65

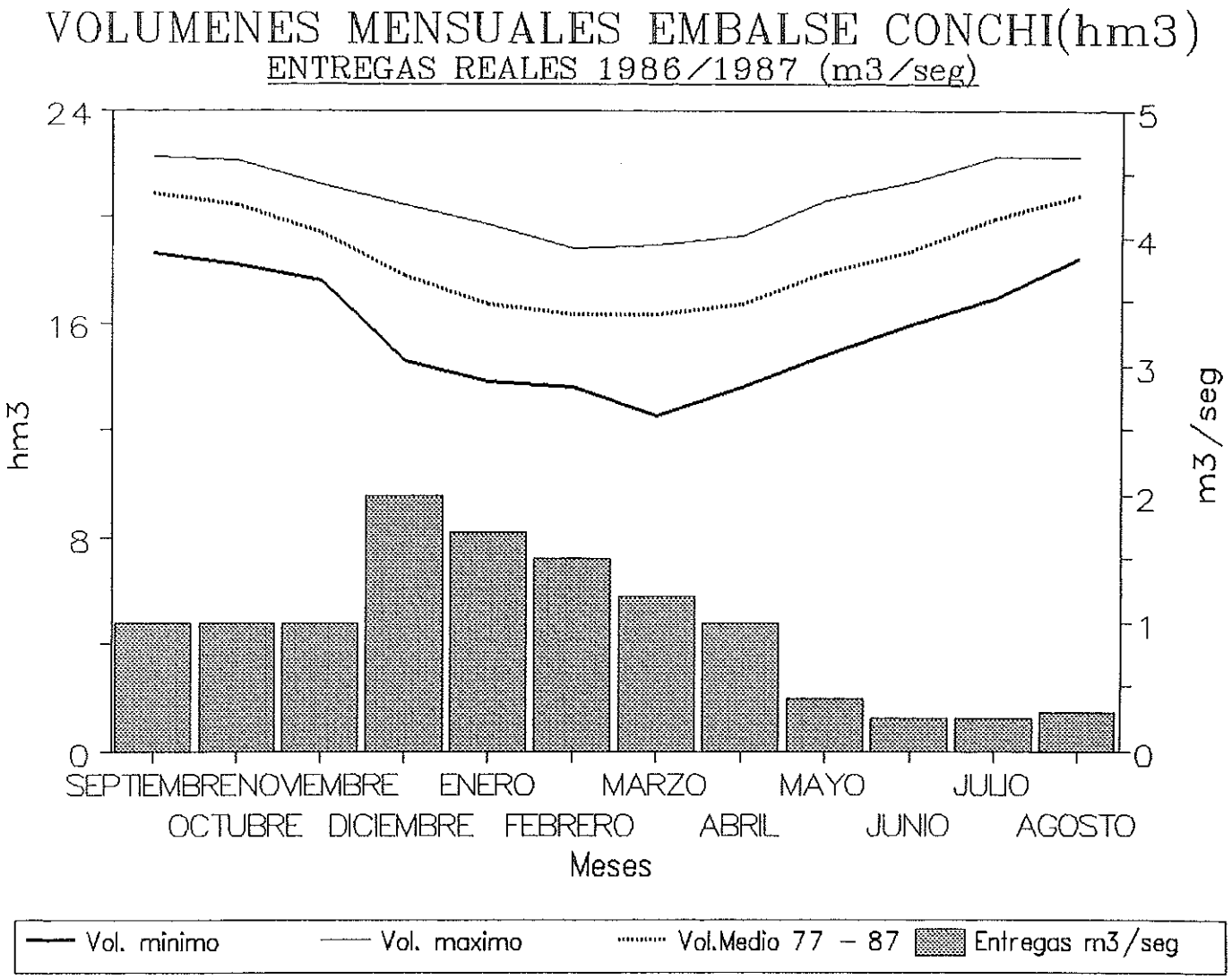

VOLUMENES MENSUALES EMBALSE CONCHI(hm3)
ENTREGAS REALES 1986/1987 (m3/seg)
24
16
8
0
hm3
5
4
3
2
1
0
m3/seg
SEPTIEMBRE
OCTUBRE
NOVIEMBRE
DICIEMBRE
ENERO
FEBRERO
MARZO
ABRIL
MAYO
JUNIO
JULIO
AGOSTO
Meses
Vol. minimo
Vol. maximo
Vol.Medio 77 - 87
Entregas m3/seg

Tabla 18 DERECHOS DE AGUA Y EXTRACCIONES MEDIAS CUENCA DEL LOA (lts/seg.)

FUENTE- LUGAR	DESTINO	FECHA DE CONCESION	DERECHO CONCEDIDO*	EXTRACCIONES **
RIO TOCONCE-CASPANA	AGUA POTABLE	1958	470,9	490
LOA EN LEQUENA	AGUA POTABLE	1972	550	500
LOA EN QUINCHAMALE	AGUA POTABLE	1989	300	350
RIO TOCONCE-LINZOR	CHUQUICAMATA	1927	50	50
LOA EN POLAPI	FERROCARRIL	1914	14	16
LOA EN SILOLI	FERROCARRIL	1892	128	124
		Subtotal de agua potable	**1.512,9**	**1.530**

FUENTE-LUGAR	DESTINO	FECHA DE CONCESION	DERECHO CONCEDIDO *	EXTRACCIONES *
RIO SALADO	CODELCO	1956	540	700
RIO CABAÑAS	AZUFRERA	1956	10	
RIO SAN PEDRO INACALIRI	CODELCO	1956	175	
RIO SAN PEDRO INACALIRI	CODELCO	1956	119	
RIO SAN PEDRO INACALIRI	CODELCO		50	
RIO SAN PEDRO INACALIRI	CODELCO	POST 1979	450	900
RIO LOA-SAN SALVADOR	SOQUIMICH	POST 1979	436	300
RIO LOA-SAN SALVADOR	SOQUIMICH		100	
		Subtotal Minero-Industrial	**1.880**	**1.900**
RIO LOA (en trámite)	CODELCO	(1989)	224	

FUENTE-LUGAR	DESTINO	DERECHO CONCEDIDO *	EXTRACCIONES **
LASANA+CHIU CHIU	AGRICOLA	203	424
CALAMA	AGRICOLA	997	2.100
QUILLAGUA	AGRICOLA	144,6	225
CASPANA	AGRICOLA	49,1	
TOCONCE	AGRICOLA	15***	
CUPO	AGRICOLA	5***	105
VEGAS ANDINAS	VEGAS O PASTOREOS	150	75
LASANA+CHIU CHIU	VEGAS O PASTOREOS		325
CALAMA	VEGAS O PASTOREOS		625
QUILLAGUA	VEGAS O PASTOREOS		175
	Subtotal agrícola	**1.563,7**	**4.054**

FUENTES:* COREDE 1989, ** INYGE 1991, *** CONSECOL 1988

2.3.2.1 Sector agrícola

Las extracciones de agua con fines agrícolas son un punto crucial en cualquier evaluación para la zona . De hecho la principal discrepancia en los montos de agua utilizada se encuentran en la agricultura, básicamente porque las tasas de riego aplicadas a los cultivos de oasis son muy diferentes, **Tabla 19** .

Tabla 19 Tasas de riego en bocatoma y consumo específico de agua por estudio y oasis en lts/seg./ha

OASIS	INYGE 91 *	NIEMEYER 79 **	DGA 86 **	CONSECOL 88 **
CALAMA	2	0.9	0.9	1.1
LASANA	2	0.9	0.9	0.9
CHIU CHIU	2	1	0.9	0.9
QUILLAGUA	2.5	1.6	1	1.5
TOCONCE	1.5		0.9	
VEGAS	0.5			

* Consumo específico de agua. ** Tasas de riego en bocatoma.

Además de las tasas de riego, no hay consenso en los caudales de uso consuntivo en las zonas cultivadas, los que en todos los estudios son descritos como muy altos, en especial para Quillagua y Calama **Tabla 20**.

Analizando los derechos de agua y las extracciones efectivas entregadas a la agricultura en el río Loa, se puede concluir que estas últimas exceden en 2,6 veces las primeras, según INYGE (1991) **Tabla 18**. Sin embargo, según comunicación verbal del Departamento de Explotación y Planificación de la Dirección de Riego del Ministerio de Obras Públicas, el agua efectivamente entregada a los agricultores y medida en las bocatomas, no puede exceder los derechos de uso asignados.

Tabla 20 Uso consuntivo de agua en zonas cultivadas

OASIS	CAUDAL MEDIO ANUAL lts/seg./ha	FUENTE
LASANA	0.497	1
CHIU CHIU	0.568	1
TURI	0.5	1
CALAMA	0.672	1
QUILLAGUA	0.904	1
SAN PEDRO DE ATACAMA	0.5	2
SOCAIRE	0.5	3
TILOMONTE	0.5	3

FUENTE: (1) Niemeyer, H. (1979), (2) CHI-535 (1978) & (3) DGA (1986)

Se plantea de esta forma, que los derechos asignados no satisfacen la demanda de agua de los agricultores, tal como lo han denunciado públicamente desde hace varios años. En este sentido, es necesario considerar que las vegas o superficies de pastoreo, no están plenamente consideradas en los derechos de los agricultores, lo que sumado a las distintas tasas de riego y de uso consuntivo de agua, podría reducir la brecha entre oferta y demanda efectiva en este subsistema.

Junto a esta insatisfacción, la agricultura se ha deteriorado en los últimos años, entre otros factores, porque la mayoría de las acciones de agua generadas por la construcción del Embalse Conchi, puesto en funcionamiento en 1979, han sido asignadas a usos principalmente mineros. De igual forma, la voluntad de aumentar la superficie regada y su seguridad con la construcción del embalse, se ha materializado en forma muy poco efectiva, **Tabla 21**. De hecho, la mayor parte de los oasis de la cuenca del río Loa, han reducido sus superficies regadas, lo que ha sido explicado básicamente, por la falta de seguridad en el riego, la bajísima rentabilidad de los productos y técnicas de producción arcaicas y poco eficientes (CONSECOL 1988).

Tabla 21 Superficie regada-cultivada por oasis

OASIS	1921(1)	1967(2)	1979(3)	1980(4)	1986(5)	1991(6)
LASANA		86	42,78	80	54,32	
CHIU CHIU	590	350	114,73	120	175,97	
CALAMA	1.780		1.112,35	1.290	1.103,12	1.050
QUILLAGUA			120	109,7(5)	143,10	90
LASANA+CHIU CHIU		436				212

FUENTES:
(1)Lira, (1921), (2) Meneses,C. (1967), (3) Niemeyer,H.(1979), (4) SAG 1980 in CONSECOL (1988), (5) CONSECOL (1988), (6) INYGE (1991)

El oasis de Calama, el más grande de la región y junto a una de las ciudades con mayor crecimiento en la década (**Tabla 24**), ha estado sometido a fuertes presiones para la adquisición de sus recursos hídricos.

Según los representantes de sus 280 agricultores, el oasis posee en la actualidad unas 1.100 ha de riego, con un período de producción que va de Octubre a Abril, compuesta principalmente por :

750 ha de alfalfa que ha reducido su tamaño de 1.1 cm a 0.5 cm.
350 ha de maíz choclero, el cual ha reducido su tamaño en un 15%

Además existe la crianza de ganado de subsistencia en cerca de 700 ha. de vegas ubicadas al poniente de Calama.

Según la misma fuente (agricultores de Calama, comunicación verbal), el riego con altos niveles de salinidad ha reducido la productividad de sus tierras. Sin embargo, aún satisfacen las demandas de las avícolas de Antofagasta y del ganado en pié que viene del Sur. Esto no se compara con los volúmenes de antaño, donde mantenían más de 2.000 novillos destinados a la gran minería del cobre provenientes de Argentina.

Otros oasis del Loa que están afectados por la mala calidad y baja cantidad de agua, así como por su depreciación sociocultural, son aquellos donde la población es mayoritariamente de descendencia indígena y con técnicas antiguas de trabajo, como Lasana y Chiu Chiu.

Chiu Chiu, ha servido de polo de atracción de la población proveniente de poblados más pequeños ubicados en el interior, los cuales han tendido a desaparecer. El cultivo que ha mantenido la mano de obra es el de zanahorias, que venden en Antofagasta, Calama e incluso en la Iª y IIIª regiones. No obstante esta actividad, los bajos precios de comercialización, el costo de los abonos, mano de obra y pesticidas, junto con un bajo rendimiento derivado de las prácticas agrícolas tradicionales, permiten escasos excedentes que impiden un mejoramiento sustancial de los ingresos locales.

En la cuenca del Salado, dos casos muy contrastados y significativos son los de Caspana y Toconce, que han experimentado procesos diferentes en varios aspectos. Caspana mantiene una importante actividad agrícola en andenerías y terrazas, cultivadas con métodos tradicionales y con una calendarización regida por su tradición sincrética, católica- indígena. Los derechos de agua alcanzan a 49,1 lts/seg., que sirven para producir principalmente maíz, alfalfa, ajos y frutales. Considerando una tasa de riego de 27.800 m^3/ha/año, la superficie a regar sería de 56,7 ha, lo que dejaría sólo 2.2 has. sin regadío.

Toconce, ubicado a pocos kilómetros y con similares condiciones naturales, perdió gran parte de su actividad agrícola debido a que del caudal que poseía el río que cruza el poblado, cerca de 124 lts/seg. fueron asignados para agua potable de Antofagasta en el año 1942. Con posterioridad, en 1958, fueron asignados cerca de 457 lts/seg., que junto a el caudal anterior, fueron enviados vía acueducto hasta Antofagasta. Actualmente estos caudales son extraídos por la Empresa de Servicios Sanitarios de Antofagasta S.A., la que dado el escaso caudal remanente del río, entrega cerca de 15 lts/seg. para la agricultura de esa comunidad.

Comparativamente hablando, Caspana ha experimentado un ascenso leve pero progresivo del número de habitantes, principalmente porque no ha perdido sus recursos hídricos. Toconce es el poblado que presenta la mayor contracción de población desde 1920, cuando contaba con 120 habitantes. En el censo de 1982 sólo contaba con 196 habitantes. La principal explicación de este fenómeno, radica en la pérdida de recursos hídricos para la agricultura, así como el desecamiento de las vegas de Inacaliri, que redujo la actividad pecuaria por falta de forraje.

Las aducciones de agua para la minería y el consumo urbano han implicado la casi completa desaparición de poblados como Cupo, Ojos de San Pedro, Paniri y Toconce (CONSECOL 1988).

Entre los centros poblados de la Fosa de Atacama destaca San Pedro de Atacama, localizado en la cabecera Norte del Salar de Atacama, que basa su actividad económica en la producción agrícola y pastoril de subsistencia. Adicionalmente, en los últimos años se han generado actividades turísticas que permiten apreciar una revalorización del patrimonio natural y cultural del altiplano. De hecho en la actualidad existen numerosos proyectos de inversión en este sector, tales como la construcción de hoteles y campings, que permitan satisfacer a los más de 25.000

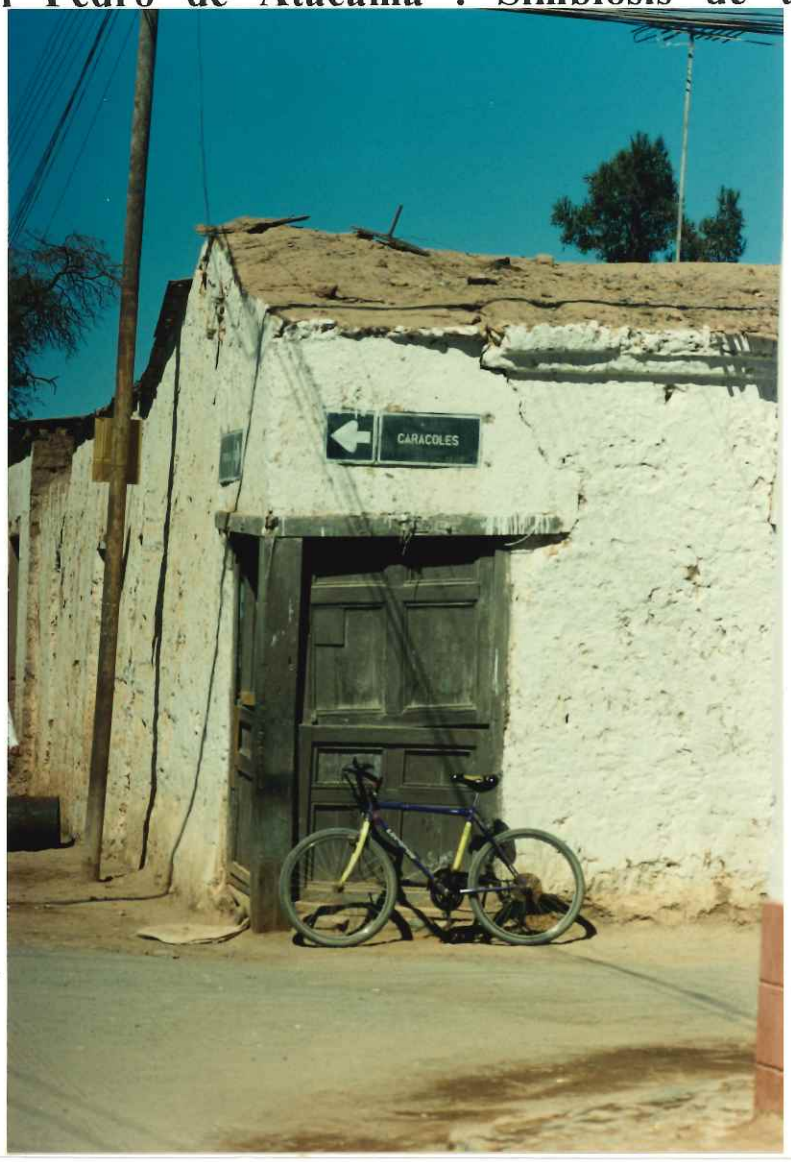
turistas que anualmente llegan a San Pedro (comunicación verbal Municipalidad de San Pedro de Atacama), cuya población permanente llega a 955 habitantes. (INE 1992) **Foto 13**.

En las márgenes orientales del Salar de Atacama se desarrollan también pequeños pueblos (Toconao, Peine, y Camar). Estos pueblos altiplánicos están sufriendo un proceso de depresión socioeconómica de características preocupantes, causada por la falta de trabajo permanente y bien remunerada y por una estructura de propiedad y tenencia de la tierra que no favorece a los agricultores jóvenes, lo que asociado a la escasez de agua, los impulsa a emigrar hacia los centros urbanos e industriales donde muchas veces no superan condiciones de marginalidad

Según Misetic (1996) el flujo migratorio desde los asentamientos poblados del interior hacia Calama y Antofagasta, ha hecho disminuir entre un 30 % y 60 % la cantidad de población, de asentamientos como Toconce, Aiquina, Chiu Chiu y Río Grande.

San Pedro de Atacama también ha visto disminuida su población rural, aunque gracias al turismo, ha captado crecientes sumas de población provenientes de pequeñas aldeas del interior, tales como Talabre y Camar.

Foto 13: San Pedro de Atacama . Simbiosis de tradición y modernidad.



Otros poblados destinados irremediablemente a desaparecer, como Peine, han logrado revertir la tendencia gracias al surgimiento de la minería del Litio, lo que evidencia el impacto de las nuevas actividades económicas sobre la retención de población local.

5.6.2.2 Sector minero

La estrategia para resolver el problema de la crisis en la disponibilidad de agua, ha sido diferencial según cada empresa involucrada. Por un lado las grandes empresas mineras, en especial la estatal Corporación del Cobre (CODELCO), han desarrollado una activa tarea de exploración de nuevos recursos hidrológicos, destacando las peticiones de agua formuladas en la comuna de Ollagüe, para la extracción de agua desde la cuenca de los salares Ascotán y Carcote (**Tabla 22**).

Tabla 22 Solicitudes Derechos de Aprovechamiento de Aguas para las Comunas de Calama, Ollagüe y San Pedro de Atacama en 1993

COMUNA DE CALAMA (lts/seg.)	COMUNA DE OLLAGUE (lts/seg.)	COMUNA S. PEDRO ATACAMA (lts/seg.)
FF.CC.AA.BB.....45	CODELCO.....915	Particular.....10
Compañía Minera Leonor....182		Minera Zaldivar...362,9
Particular.....100		Municipalidad 10
Particular.....33		Soc. Ch.Litio..... 20

En este caso, existen interrogantes respecto a posibles vinculaciones de la cuenca de Ascotán con la cuenca alta del río Loa. Es un hecho que bajo la bocatoma de Lequena, el río recupera una importante cantidad de su caudal original con agua que proviene de alimentación subterránea poco conocida .

Según Fernández (1995), antecedentes recopilados en la región, aseveran que la principal fuente de alimentación de las napas subterráneas de Ascotán se encuentran en una caldera volcánica denominada Pastos Largos, localizada cerca del límite internacional, en Bolivia.

Si dichos antecedentes pudieran ratificarse, lo más probable es que el flujo direccional de aguas provenientes del Oriente, continúe hacia el Loa. No hay antecedentes que prueben que las aguas de Ascotán están confinadas en napas impermeables, sin salida subterránea. De hecho si se proyecta el flujo, lo más probable es que las recuperaciones del Loa, bajo Lequena, sean explicadas por el agua proveniente de Ascotán.

En este sentido, es necesario realizar una cuidadosa evaluación del impacto ambiental de las asignaciones locales de Ascotán y los potenciales efectos sobre las aguas ya completamente utilizadas del Loa, lo que obviamente es mucho más complejo, que la consideración de los efectos locales sobre vegas y bofedales, con escasa población humana y pequeñas colonias de avifauna.

La promulgación en Chile de la Ley Marco de Medio Ambiente en marzo de 1994 obligó a que los diversos proyectos mineros, urbanos e industriales presenten evaluaciones de impacto ambiental. Sin embargo, difícilmente estas se pronunciarán sobre los efectos acumulativos de los proyectos de desarrollo económico, o respecto a recursos naturales que son producto de una

larga evolución temporal, o en cuanto a relaciones espaciales que vinculan directamente a las tierras bajas con las regiones montañosas.

En forma complementaria al problema del agua, una de las principales problemáticas ambientales del sector minero radica en la contaminación atmosférica y de suelos, derivado de las emanaciones tóxicas a la atmósfera y a la evacuación de aguas servidas y contaminadas, producto de los tratamientos industriales.

En este sentido, la megafuente de contaminación de la refinería de Chuquicamata ha descargado a la atmósfera regional cerca de 364 ton/día de SO_2 y 1,1 ton/día de arsénico en los últimos años (Arteaga y Durán, 1995), contaminando más de 2.000 ha de suelos con SO_2, material particulado, Cu, Mo, Cd, Pb y As (Ministerio de Agricultura, 1994). Los efectos de esta contaminación aún han sido poco analizados, sin embargo la población de Calama y Chuquicamata, se ve sometida cada año a elevados índices de contaminantes, lo que obliga a las autoridades a declarar estados de emergencia, en especial durante los desfavorables eventos mañaneros de circulación de vientos hacia el oeste **Foto 14**.

Foto 14: Chimenea de la fundición de Cobre de Chuquicamata.

Considerando los graves perjuicios que ha traído consigo la contaminación, así como la pérdida de aguas en los procesos productivos, algunas empresas mineras han iniciado cambios productivos para satisfacer sus necesidades de agua sin contaminación o reduciéndola. Minera Zaldivar, Quebrada Blanca y Cerro Colorado, entre otras, han modificado las técnicas de producción de minerales, reemplazando la flotación por lixiviación, demostrando que el consumo del agua puede reducirse muy significativamente, permitiendo la mantención de usos alternativos.

Además de estas circunstancias actuales, la mayoría de los grandes proyectos mineros de la región pretenden incrementar su producción al corto y mediano plazo, debido tanto a las previsibles reducciones de las leyes de cabeza del mineral (Chuquicamata reducirá su ley de Cobre de 2,1% en 1980 a 0.9% en el año 2.000), tanto como a las expectativas de mejores precios en el futuro. Este incremento implica obligatoriamente un aumento en las demandas de agua (**Tabla 23**), sin embargo cada empresa intenta reducir sus consumos específicos, reutilizando las aguas, o cambiando procesos productivos.

Minera La Escondida, que pretende expandir su producción en el corto plazo desde 55.000 ton/día a 115.000 ton/día, deberá reducir su consumo de agua desde 1,1 m3/ton a 0,7 m3/ton, con el fin de reducir costos y ajustar sus extracciones a los derechos asignados en la cuenca del salar de Punta Negra (Ojeda,J. 1995).

La división Chuquicamata de CODELCO, también está convencida de la necesidad de reducir sus consumos de agua, lo que implica bajar el caudal de agua fresca desde 1,76 m3/ton utilizados en 1980 a 0,91 m3/ton en 1994. (Lizarraga y Hernández, 1995).

Minera Mantos Blancos, que posee escasos recursos hídricos propios, firmó un contrato de abastecimiento de agua con ESSAN S.A. por 80 lts/seg. y el Ferrocarril de Antofagasta a Bolivia por 15 lts/seg., que permitirán incrementar la producción y asegurar el abastecimiento, el cual ha venido reduciéndose desde mediados de los años 80, alcanzándose un consumo actual de 0,45 m3/ton, lo que ha permitido a la empresa ahorrar cerca de medio millón de dólares anuales, permitiéndole ampliar la capacidad productiva y sortear con éxito el continuo descenso de la ley del mineral (Arias, 1995).

Tabla 23 Demanda de Agua para los principales Proyectos de Inversión minera:

PROYECTO	DEMANDA DE AGUA 1993	DEMANDA DE AGUA AL AÑO 2000
EL ABRA *	1.600 lts/seg.	2.000 lts/seg.
ZALDIVAR*	250 lts/seg.	500 lts/seg.
ESCONDIDA**	700 lts/seg.	1.464 lts/seg.
TOTAL	**2.550 lts/seg.**	**3.964 lts/seg.**

Fuente: * ESSAN (1992), ** Ojeda,J. (1995)

5.6.2.3 Sector urbano

Este sector es de gran relevancia en la competencia por el recurso hídrico, en especial si se analizan las tasas de crecimiento anual de la población regional y de las dos principales ciudades de la Región. (**Tabla 24**).

Antofagasta y Calama, se encuentran entre las ciudades con mayor crecimiento del país. De hecho, Calama creció más de un 50% entre 1950 y 1980, como consecuencia de la operación del mineral de Chuquicamata (Bähr, 1985).

La región en su conjunto también muestra tasas de crecimiento de la población elevadas, superando a las nacionales desde 1970.

No obstante lo anterior, la Superintendencia de Servicios Sanitarios en Junio de 1990, estimó para la región, una tasa de crecimiento lineal y constante de la población de sólo 1,4% para el período 1989-2004. En el mismo sentido, según estimaciones del INE elaboradas en 1989, la tasa de crecimiento para el período 1982-1989, debía ser de sólo 1,6% .

Promediando las anteriores tasas, INYGE (1991) calculó una tasa de crecimiento anual de sólo un 1,5%, con la cual se estimó que la población abastecida por el sistema Toconce-Lequena-Quinchamale, compuesta por Antofagasta, Mejillones, Calama, Pampa y Tocopilla, aumentaría desde 353.600 habitantes en 1989 a 560.995 habitantes en el año 2.020, lo que implica un consiguiente aumento de la demanda de agua potable, generándose un déficit de aproximadamente 814 lts/seg., en base a la capacidad máxima de las fuentes actuales.

Las anteriores cifras no se compadecen con las altísimas tasas reales, por lo que se estima que la crisis futura de agua, superará con creces los déficits descritos.

Tabla 24 Evolución intercensal de la población regional y Tasas de Crecimiento

AÑO	POBLACION NACIONAL	POBLACION REGIONAL	TASA DE CRECIMIENTO (%)	
			NACIONAL	REGIONAL
1960	7.374.000	223.574		
1970	8.885.000	264.804	1,88	1,71
1982	11.330.000	341.702	2,05	2,15
1992	13.348.401	410.724	1,65	1,86

POBLACION POR CIUDADES	AÑOS		TASA DE CRECIMIENTO (%)
	1982	**1992**	
ANTOFAGASTA	185.486	225.136	1,96
CALAMA	81.684	106.970	2,73

Fuente: INE , (1992)

Para el cálculo de las tasas de crecimiento se aplicó la ecuación:

$$TC\% = \left(Pf / Pi \right)^{1/n} - 1 * 100 \qquad (12)$$

Donde,

TC%,	es la Tasa de crecimiento de la población para el período considerado, en %
Pf,	es el número de habitantes, en el último año del período considerado
Pi,	es el número de habitantes, en el año inicial del período considerado
n,	es el número de años del período considerado

Para enfrentar estas poco auspiciosas perspectivas desde el punto de vista hídrico, que seguramente se agudizarán con el aumento de los proyectos de inversión que están llegando a la región (**Tabla 25**), la empresa de agua potable de Antofagasta, ha intentado resolver los déficits futuros , por la vía de megaproyectos de extracción desde el río Zapalieri, donde ya posee numerosas asignaciones de agua y desde el río Putana (**Figura 66 y 67**).

La alternativa de captación desde el río Zapalieri, implica la construcción de un acueducto hasta Antofagasta, con una capacidad de extracción de 800 lts/seg. Dicho proyecto tendría efectos aún poco analizados sobre el salar de Tara, uno de los focos de mayor biodiversidad dentro de la Puna de Atacama.

Este sitio en Tara al igual que otras áreas silvestres y protegidas de la región están siendo presionadas, para la exploración y aprovechamiento de sus aguas, las que sólo entre 1990 y junio de 1995, llegaron a más de 14.000 lts/s **Tabla 26**.

La segunda alternativa de captación, está circunscrita al río Putana, en la cuenca media-alta del río San Pedro, que está completamente en manos de las comunidades agrícolas del oasis. La imposibilidad de solicitar dichos recursos legalmente, ha llevado a la empresa a manejar la alternativa de canje de aguas con las comunidades de San Pedro. Esto incluiría un tranque que regularía las aguas que llegan a dicho oasis.

Otra de las políticas desarrolladas por ESSAN ha sido la compra de las acciones de agua a comunidades agrícolas **Tabla 27**. Es sabido que la baja rentabilidad económica de la agricultura y la falta de una planificación estratégica ambiental regional, ha favorecido la venta de las mismas. En la actualidad, se realizan transacciones en las Vegas de Turi, sector de pastoreo de Aiquina. En caso de materializarse dicha venta, es probable que se abandonen las tierras, como ha sucedido anteriormente en las aldeas de Cupo y Toconce.

Una de las principales transacciones se dio en Enero de 1995, con la venta por parte de Ganadera Abaroa, de 32,76 lts/seg. por U$ 2,55 millones de dólares a ESSAN **Tabla 27**.

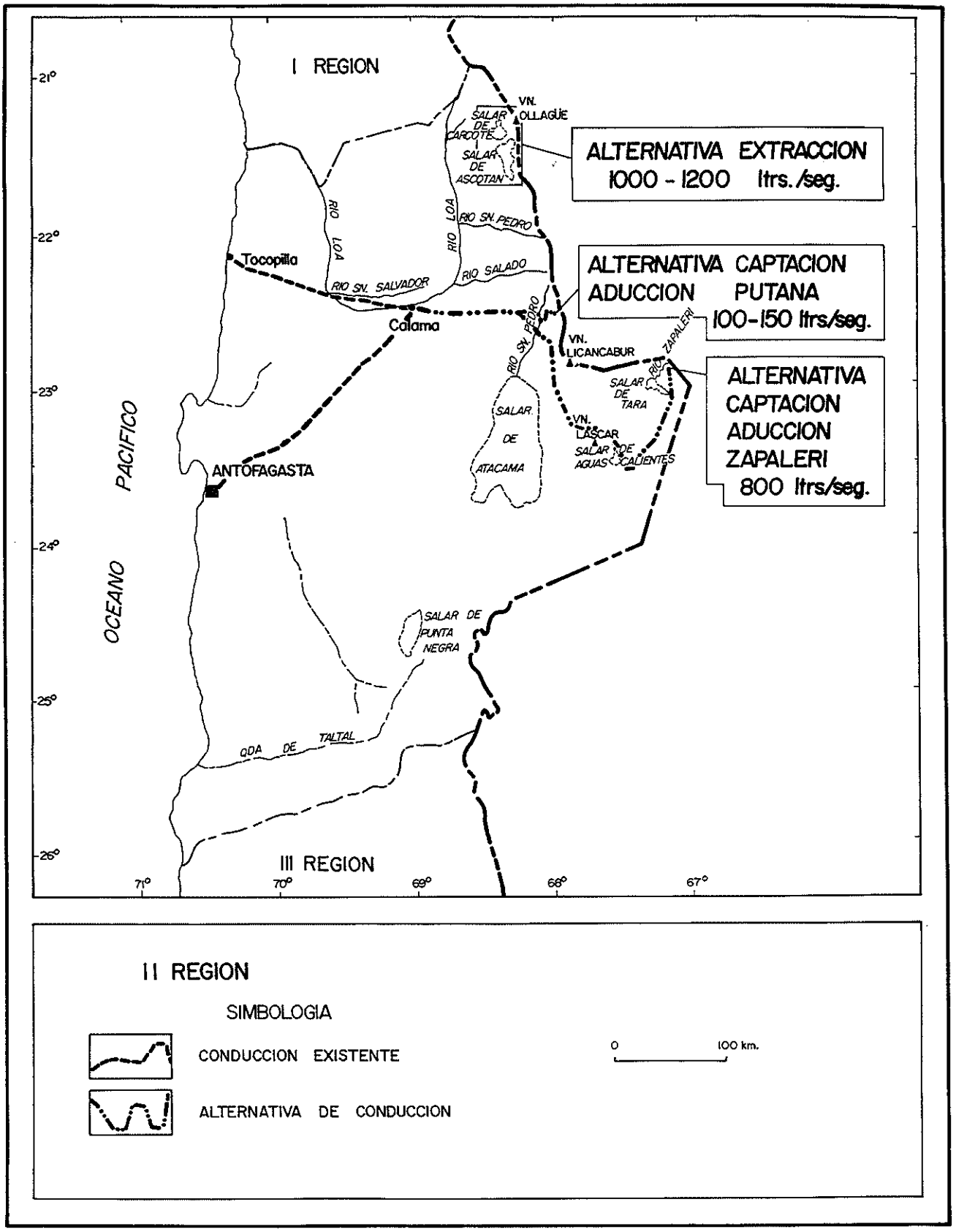

I REGION
VN. OLLAGÜE
SALAR DE CARCOTE
SALAR DE ASCOTAN
ALTERNATIVA EXTRACCION
1000 - 1200 ltrs./seg.
RIO LOA
RIO SN. PEDRO
RIO SALADO
Tocopilla
RIO SN. SALVADOR
ALTERNATIVA CAPTACION
ADUCCION PUTANA
100-150 ltrs/seg.
Calama
VN. LICANCABUR
RIO ZAPALERI
SALAR DE TARA
ALTERNATIVA
CAPTACION
ADUCCION
ZAPALERI
800 ltrs/seg.
SALAR DE ATACAMA
VN. LASCAR
SALAR DE AGUAS CALIENTES
ANTOFAGASTA
PACIFICO
OCEANO
SALAR DE PUNTA NEGRA
QDA DE TALTAL
III REGION
II REGION
SIMBOLOGIA
CONDUCCION EXISTENTE
ALTERNATIVA DE CONDUCCION
0
100 km.
21°
22°
23°
24°
25°
26°
71°
70°
69°
68°
67°

Figura 66

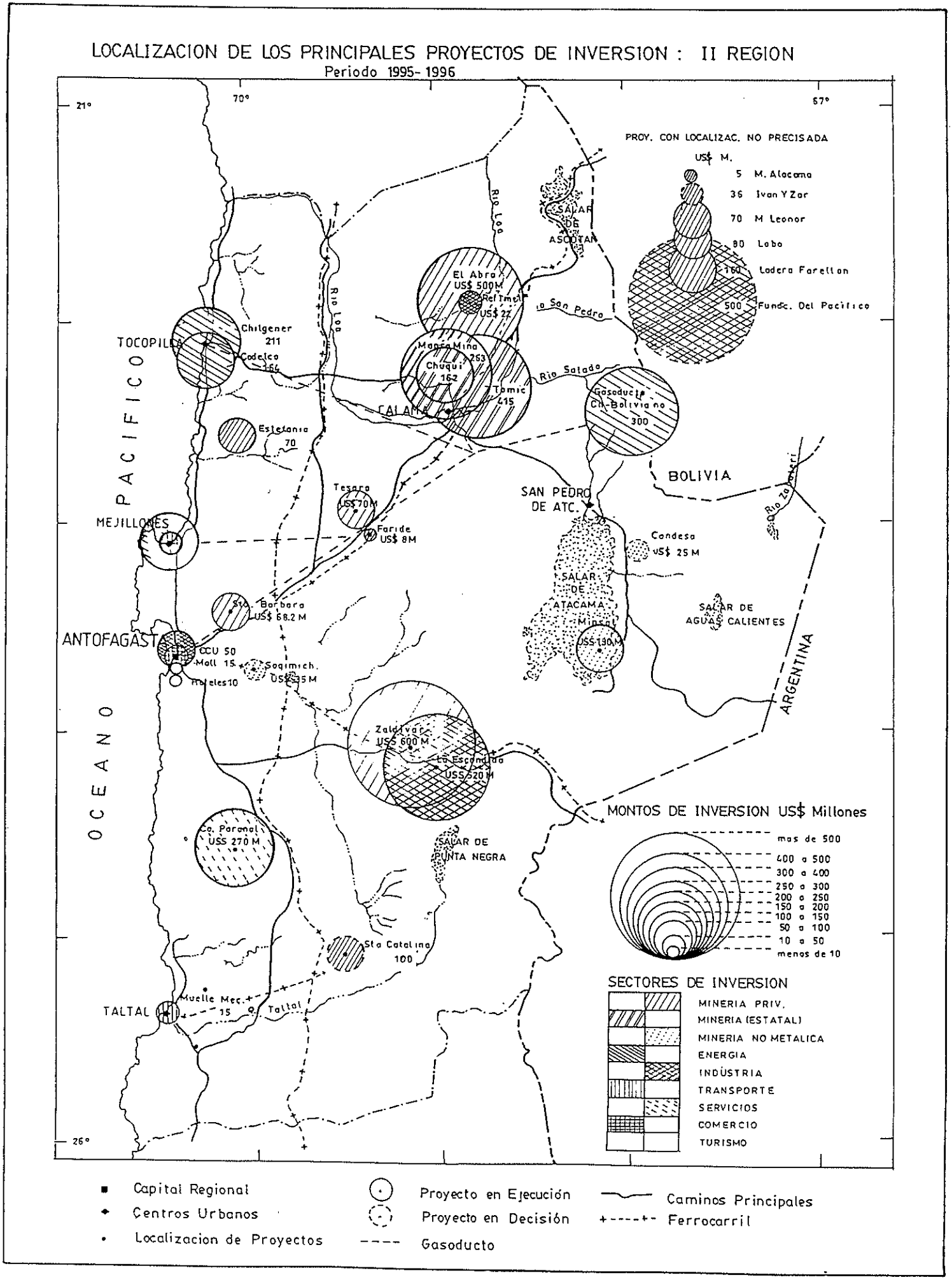

LOCALIZACION DE LOS PRINCIPALES PROYECTOS DE INVERSION : II REGION
Periodo 1995- 1996
21°
70°
67°
26°
PROY. CON LOCALIZAC. NO PRECISADA
US$ M.
5 M. Alacama
36 Ivan Y Zar
70 M Leonor
80 Lobo
160 Ladera Farellon
500 Fundc. Del Pacifico
PACIFICO
OCEANO
TOCOPILLA
MEJILLONES
ANTOFAGASTA
TALTAL
CALAMA
SAN PEDRO DE ATC.
BOLIVIA
ARGENTINA
Rio Loa
Rio Salado
Rio Zapaleri
SALAR DE ASCOTAN
SALAR DE ATACAMA
SALAR DE AGUAS CALIENTES
SALAR DE PUNTA NEGRA
El Abra US$ 500M
Refimet US$ 27
Chilgener 211
Codelco 366
Manto Mina 263
Chuqui 162
Tomic 415
Gasoducto Ch-Boliviano 300
Estefania 70
Tesaro US$ 70M
Faride US$ 8M
Sta. Barbara US$ 68.2 M
CCU 50
Mall 15
Soqimich. US$ 35M
Zaldivar US$ 600 M
La Escondida US$ 620 M
Co. Paranal US$ 270 M
Sta Catalina 100
Muelle Mec. 15
Taltal
Condesa US$ 25 M
Minsal US$ 130 M
MONTOS DE INVERSION US$ Millones
mas de 500
400 a 500
300 a 400
250 a 300
200 a 250
150 a 200
100 a 150
50 a 100
10 a 50
menos de 10
SECTORES DE INVERSION
MINERIA PRIV.
MINERIA (ESTATAL)
MINERIA NO METALICA
ENERGIA
INDUSTRIA
TRANSPORTE
SERVICIOS
COMERCIO
TURISMO
Capital Regional
Centros Urbanos
Localizacion de Proyectos
Proyecto en Ejecución
Proyecto en Decisión
Gasoducto
Caminos Principales
Ferrocarril

Figura 67

Tabla 25

PROYECTOS DE INVERSION II REGION
(1995)

Sector	Rubro	US$ M.	Proyecto	Observaciones	Ubicación	Período	Empresa
Industria	I. Almt.	50	C.C.U.	Embotelladora	Antofagasta	94-95	C.C.U.
Industria	I. Quim.	130	MINSAL			95-96	SQM 75%-Corfo 25%
Industria	I. Met.	520	M. Escondida	Transp. concentrado	Ducto 170 km	95-96	BHP 57.5%-RTZ 30%
Industria	I. Met.	22	Refimet	Fundición	El Abra	92-95	Lac. Minerals
I. En Decisión	Cu	500	Del Pacífico	Fundición y Refinería	I o II Región		5 Consorcios
Minería	Cu	600	Zaldívar	Planta de Extracción	Co. Zaldívar	93-95	2 Consorcios
Minería	Cu	500	El Abra	Plnt. de Sulfuros	El Abra	95-98	Ciprus M. 51%-Codelco
Minería	Au	160	Ladera/Farellón	Mina 15 Ton/día	La Coipa	93-96	Placer Dome
Minería	Au	80	Lobo	Yacimiento		91-95	Min.Anglo-Am
Minería	Cu	70	Tesoro	Yacimiento	Sierra Gorda	93-95	Luksic
Minería	Cu	70	Estefanía	Yacimt.-Planta Extrac.	Michilla	93-95	C. Mn. C. de M.-Luksic
Minería	Cu	70	Leonor	Mina Tajo Abierto		94-96	C.M. Leonor
Minería	Cu	62,8	Sta. Bárbara	Ampliación	Mantos Blancos	94-96	Mantos Blancos
Minería	Cu-Ag	8	Faride	Mn. Subterránea	Sierra Gorda	95-	C.M. El Bronce-Ch. Mn. C.
Minería		5	Min. Atacama	Exploraciones		95-	Soc. Mn. de Atacama
M. Etap. Idea	Cu	36	Iván y Zar	M. Tajo Abierto			Discovery Mnr.
M. Etap. Idea	Az	25	Condesa	Plnt.Concnt. y Refinac.			
M En Decisión	Cu	100	Sta. Catalina	Explr. y Explotación	II R.		Mnr. S. Catalina
M En Decisión	K	35	Soquimich-I.Ch.	Sulf. y Clorat. de potasio			Soquimich-Israel Chemic.
Energía Prv.	Eng.	211	Ct. Tocopillá	Térmica	Tocopilla	92-95	Chilgener
Energía Prv.	Eng.	197,7	Ct. Mejillones	Térmica	Mejillones	93-95	Edelnor
Turismo		6	Hampton Hill	Hotel	Antofagasta	93-95	Promo Chile-Ht. Litco
Turismo		4	Holiday Inn	Hotel	Antofagasta	93-95	Ht. Transandinos
Comercio		15	Campanario	Mall Vecinal	Antofagasta	93-94	Aries Hordem S.A.
Servicios		270	Co. Paranal	Observ. Astronómico	Co. Paranal	94-2000	E.S.O.
Transp. Prv.	Gas	300	Gasoducto	Chileno Boliviano	II Región	95-96	YPBF, Enap
Transp. Prv.		16	Muelle Mejillones		Mejillones	94-95	Belfi-Ultramar
Transp. Prv.		15	Muelle	Mecanizado (M. no Met.)	Taltal	95-	Min Northern R.
Emp. del Estd.	Cu	415	M. Tomic		Chuqui-Calama	94-97	Codelco (Chq.)
Emp. del Estd.	Cu	263	Mansa Mina		Chuquicamata	94-97	Codelco (Chq.)
Emp. del Estd.	I. Est.	160	Descontaminac.	Límites emisión contamnt.	Chuquicamata	93-98	Codelco (Chq.)
Emp. del Estd.	I. Est.	12,7	Refinería	Refaccionamiento	Chuquicamata	91-95	Codelco (Chq.)
Emp. del Estd.	Eng.	150	Ct. Eléctrica	Aumento de potencia	Tocopilla	95-98	Codelco (Toc.)
Emp. del Estd.	Eng.	14	Gen. de Elect.	Mejoramiento de procesos	Tocopilla	93-95	Codelco (Toc.)
Tp. y OO.PP.		5,3	Hospitales	Equip. e infraestructura	Antof-Calama	93-98	OO.PP.

Fuente: Sociedad de Fomento Fabril. Enero, 1995

Tabla 26 DEMANDA DE RECURSOS HIDRICOS EN AREAS SILVESTRES Y PROTEGIDAS II REGION lts/seg.

AÑO	DERECHOS EXPLORACION	DERECHOS APROVECHAMIENTO
1990	1150	4915
1991	1850	50
1992	1110	180
1993	3200	250
1994	700	0
1995 (junio)	--	700
Total	8.010	6.095

La empresa de agua potable de Antofagasta, firmó además un contrato con una empresa internacional (BAYESA, S.A.) que aportará una inversión de 7,5 U$ millones para tratar las aguas servidas de Antofagasta, lo que permitirá el reciclaje de una gran cantidad de agua que hoy en día se pierde en el mar estimada en 380 lts/seg. de 1995 que se incrementarán hasta 640 lts/seg. hacia fines del proyecto de 30 años de duración (ESSAN, 1995), limpiando completamente el litoral antofagastino. La rentabilidad de este proyecto radica en que las aguas limpias serán comercializadas a las industrias y agricultura que se espera se desarrollen en la parte Norte de la ciudad.

En la ciudad de Calama, también se está discutiendo la posibilidad de tratar las aguas servidas y re-usarlas en la agricultura. Para este propósito, un acuerdo entre la compañía y los agricultores debe tener lugar, el cual debiera acompañarse de una gran innovación tecnológica en las prácticas agrícolas. Para ello, la confianza entre los actores parece fundamental, lo cual requiere de diálogo y colaboración técnica y financiera, que supere las asperezas existentes en la actualidad.

Otra alternativa que también se ha planteado, es la desalinización de agua de mar, que a primera vista parece poco rentable, sin embargo las inversiones de algunas empresas mineras como Michilla, abren esta perspectiva en un mediano plazo. Uno de los problemas para la inversión en proyectos de esta naturaleza, radica en la legislación actual de las empresas sanitarias que las obliga a autofinanciarse, lo que reduce la posibilidad de inversiones que pueden ser poco rentables y de alto costo, como sería la desalinización.

Estos u otros proyectos de inversión en agua, que afecten directa o indirectamente a las comunidades ecológicas y sociales altoandinas, deben estar incorporados en un plan estratégico de desarrollo regional ambientalmente sustentable, que vele por los intereses locales, respete los ecosistemas y la cultura de los pueblos indígenas y facilite sus beneficios económicos (Romero y Rivera 1995a, Romero y Rivera, 1996).

Tabla 27 Cesiones de derechos de agua, cuenca del Loa 1994-1995

VENDEDOR	COMPRADOR	FECHA	CANTIDAD DE AGUA		MONTO EN PESOS	COMUNIDAD DE AGUAS CANAL
			lts/seg.	m^3/año		
Agricultor	ESSAN	27/10/94	5,460	172.200	7.635.700	Lay Lay Ramal Carvajal
Agricultor	Salvador Mayor Mayor	20/01/95	0, 455	14.350	2.000.000	Coco la Villa Ramal Berna
Soc. Fabrega y Cía. Ltda.	Inmobiliaria el Corregidor	26/01/95	9,1	287.000	32.500.000	La Prensa
Ganadera Abaroa	ESSAN	2/01/95	32,763	1.033.200	1.046.000.000	Coco la Villa, Ramal Tambores y Ramal Bilbao
Agricultor	Inmobiliaria el Corregidor	13/3/95	7,281	229.600	22.500.000	Núñez
Agricultor	Sociedad Tilopozo S.A.	11/7/95	3,487	109.960,6	13.000.000	Chunchuri bajo
Agricultor	Inmobiliaria el Corregidor	12/4/95	9,228	291.000	40.300.000	Núñez y la Prensa
Agricultor	Sociedad Tilopozo S.A.	11/7/95	8,717	274.901,5	50.000.000	Chunchuri bajo
		TOTAL	**76,5**	**2.412.212,1**	**2,97 millones de US dólares**	

2.3.3 Perspectivas de mediano plazo

La valoración económica del agua ha llevado a varios particulares e inmobiliarias, algunos de ellos acusados de especuladores por los agricultores, a comprar acciones de agua, en la perspectiva de un incremento de precios explosivo con la llegada de nuevos proyectos y aumento de la demanda de agua, o para la edificación de nuevas poblaciones y parques en Calama. En este contexto, los pequeños agricultores sin organización, son los más susceptibles a ventas con bajos precios, mientras que las empresas más consolidadas pueden mejorar sus ganancias con un recurso que los agricultores siempre han considerado indisolublemente ligado a la tierra **Figura 68**.

Si se analizan las principales transacciones de agua de la **Tabla 27**, es posible calcular un valor medio por m^3 de agua, para diversos tipos de transacciones según los montos pagados por las agua vendidas y el tipo de vendedor (**Tabla 28**). En ninguno de estos casos se conoce la calidad del agua transada, pero se estima que por provenir de canales dentro de la misma sección del río Loa, son similares. Además los usos para el agua comprada es similar: consumo urbano y en menor grado procesos mineros.

TABLA 28 Valores del m^3 de agua según vendedores

VENDEDOR	COMPRADOR	VALOR del m^3/año (centavos de dólar)
Ganadera Abaroa	ESSAN	246,9
Agricultor pequeño	ESSAN	10,8
6 Agricultores del Loa	Inmobiliarias	27,5

Las diferencias son notorias si se compara el valor medio para Ganadera Abaroa en comparación con un pequeño agricultor. El poder de transacción es vital a la hora de conseguir mejores precios.

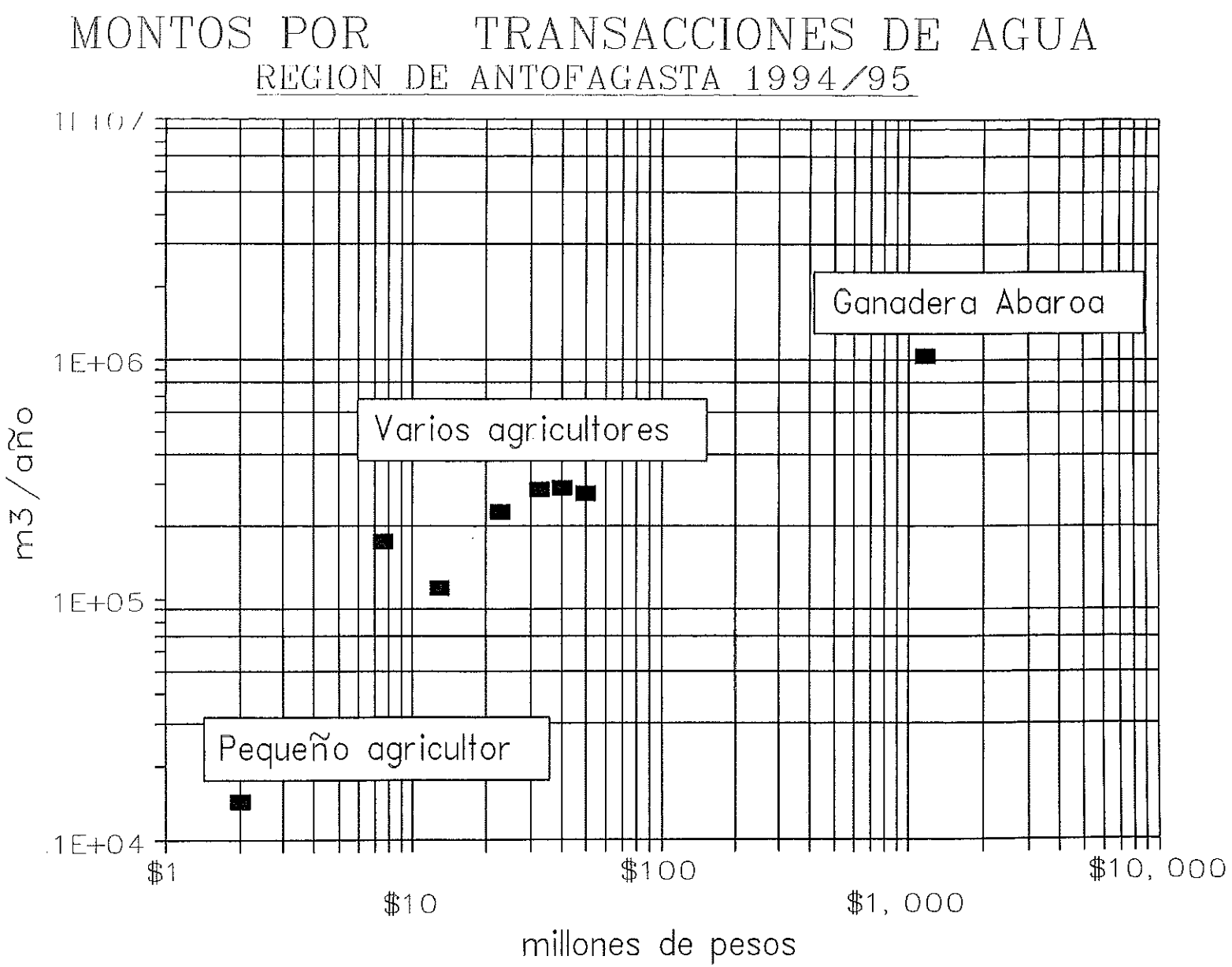
Al comparar estos valores medios transados efectivamente entre 1994 y 1995, con las estimaciones del valor de agua desde la perspectiva minera, calculada en base a la rentabilidad del agua en el sector y en base al precio del cobre internacional **Tabla 29 y Tabla 30**, es posible concluir que la brecha con la agricultura es significativa y que a menos que el estado intervenga, la desaparición del agua de las comunidades agrícolas se avizora en el corto plazo.

TABLA 29 Valor del m^3 de agua según el precio promedio anual de la libra de Cobre

PRECIO DE LA LIBRA DE COBRE EN CENTAVOS DE DOLARES	VALOR DEL m^3/año DE AGUA EN CENTAVOS DE DOLARES
80	154
90	295
100	437

Fuente: Lufin et al. (1995)

Figura 68


MONTOS POR TRANSACCIONES DE AGUA
REGION DE ANTOFAGASTA 1994/95
1E+07
1E+06
1E+05
1E+04
m3/año
Ganadera Abaroa
Varios agricultores
Pequeño agricultor
$1
$10
$100
$1, 000
$10, 000
millones de pesos

De hecho en los últimos 9 años, el precio de la libra de Cobre ha estado por sobre lo 90 centavos de dólar, por lo que el valor del m^3 de agua, está por sobre todos los montos efectivamente pagados a los agricultores del Loa, lo que explica las altas rentabilidades de las empresas y su voluntad de seguir consiguiendo agua desde la agricultura.

Tabla 30 Evolución del precio de la libra de Cobre en la bolsa de metales de Londres

AÑO	CENTAVOS DE DOLAR POR LIBRA DE COBRE
1986	77,5
1987	98,3
1988	137,5
1989	143,4
1990	129,6
1991	113,5
1992	110,2
1993	90,9
1994	108,6
1995	133,2

En este contexto, los agricultores debieran asumir un rol más activo, agrupándose entre los oasis, para defender de mejor forma el escaso recurso hídrico que ha estado en su poder desde hace miles de años.

2.4 Conclusiones y propuestas

El enfoque

El enfoque de Síntesis-especialidad empleado en este trabajo, ha facilitado la integración del sinnúmero de variables que configuran una problemática tan compleja como la topoclimatología y los recursos hídricos en la región.

El análisis topoclimático se ve enriquecido a nivel temporal, al incorporar antecedentes paleoclimáticos, arqueológicos e históricos, que permiten un análisis dinámico de más largo plazo.

La definición de regímenes dentro de la topoclimatología, permite una evaluación sistémica de cada conjunto de variables, enlazando las variaciones espaciales con las temporales, mediante escalas diarias, mensuales, interanuales y seculares.

Estudiar la topoclimatología regional en relación con la climatología sinóptica, la variación de índices vegetacionales, los eventos ENOS, las concepciones etnoclimáticas y las características hidrológicas, permite un salto cualitativo que afianza la síntesis de componentes naturales.

Analizar la competencia por los recursos hídricos entre los tres principales sectores económicos regionales, después de haber desarrollado el análisis topoclimático y evolutivo, tanto a nivel social como natural, permite una aproximación más integral y comprensiva del fenómeno, su dinámica y tendencias, lo que permite concluir y proponer medidas mejor sustentadas.

El empleo de los Sistemas de Información Geográfica, ha sido el soporte metodológico que ha permitido la superposición de variables y la integración de la información. Este conjunto de herramientas han permitido espacializar variables con escasos datos, revelar interacciones poco conocidas y cartografiar los procesos más relevantes.

Elementos centrales de la evolución natural, económica y sociocultural de largo plazo

- Los cambios climáticos de largo plazo en la región

Con los antecedentes recopilados en este estudio, queda claro que en los últimos 20.000 años la región ha tenido un carácter árido semipermanente, respondiendo en forma no lineal a variaciones climáticas tanto del hemisferio Norte como Sur, requiriéndose modelos no actualistas para su explicación.

Esta condición árida ha sido interrumpida en contadas ocasiones con períodos hasta un 200% más húmedos que en la actualidad, especialmente durante el tardiglacial, las que permitieron un importante desarrollo edáfico y vegetacional, así como la acumulación de agua a nivel subterráneo.

Se ha estimado que el último período húmedo de importancia tuvo lugar a fines del tardiglacial, por lo que se ha asumido que de allí provendrían algunos de los recursos hídricos actualmente en uso en las napas subterráneas de la región y que analizadas en base al método del Tritium, revelan períodos de permanencia de las moléculas de agua superiores a 40 años.

No obstante la afirmación referida a la baja renovabilidad de los recursos está completamente sustentada, difícil es asegurar que entre el tardiglacial y la actualidad, no exista una recarga hídrica, por muy limitada que esta sea.

Distintos períodos arqueológicos, como los relacionados con la expansión Tiwanaku o Incaica, podrían estar indicando eventuales períodos húmedos, de menor magnitud, pero relevantes en términos de su aporte al sistema hidrológico regional.

De hecho el desarrollo agrícola de andenerías y terrazas entorno a los oasis regionales, antes de la llegada de los españoles, indicaría condiciones propicias más modernas.

- El paso de una sociedad determinada físicamente a una posibilista

Condiciones climáticas favorables alrededor de los 9.000 años A.P. permitieron la aparición de primeras evidencias humanas con carácter nómade de cazadores y recolectores.

Un deterioro de las condiciones climática entre los 8.000 y los 5.000 años A.P., se grafica en el denominado período de silencio arqueológico, lo que evidencia un sociedad aún determinada físicamente.

Alrededor de los 4.000 años A.P. aumentan las evidencias antrópicas, que progresivamente van transformándose en una sociedad agrícola y ganadera.

Alrededor de los 2.000 años A.P., una sociedad más compleja se ve enfrentada a un deterioro climático, que se evidencia en la destrucción de Tulor aldea. No obstante, las poblaciones que habitaban la región ya poseen un nivel de desarrollo sociocultural que les permite relocalizarse y continuar con su desarrollo, evidenciando el paso de una sociedad determinada físicamente a una de carácter posibilista.

- La base de recursos que han detonado el desarrollo regional.

De los antecedentes arqueológicos recopilados, queda la impresión de que uno de los principales bienes apetecidos desde los inicios de la región, fueron la minería y la metalurgia desarrollada en los oasis. El hombre de Chuquicamata, los restos de artefactos atacameños en minas de Taltal y en la Pampa, denotarían una primaria especialización atacameña en estas labores.

Como ha sido posible apreciar de los intercambios de las comunidades altoandinas, es posible deducir que otro de los recursos apetecidos de la región, es su gran diversidad de pisos ecológicos, que motivaron a las comunidades ancestrales a desplazarse hasta la costa para

conseguir pescado y hasta lo que actualmente se conoce como Bolivia, para intercambiar bienes de interés.

La ganadería fue otro de las actividades destacadas, sin embargo lo más relevante fue la capacidad de caravanear con los productos, abriendo sendas de largo alcance para afianzar el trueque.

- Las sucesivas oleadas de ocupación del territorio y las respuestas de las comunidades.

Las relaciones entre variaciones climáticas y evolución socioeconómica a nivel arqueológico e histórico aún están por dilucidarse, sin embargo se estima que en distintos períodos, el clima incidió directamente en el comportamiento de las comunidades, que frente a sequías prolongadas se vieron forzadas al abandono de las tierras, emigración, guerras y hambrunas, mientras que frente a períodos húmedos recurrentes, incrementaron las superficies regadas, aumentaron la producción y consolidaron el uso de distintos pisos ecológicos.

Durante el primer milenio de nuestra era, destaca el período Tiwanaku, que marca el primer gran intento de dominación del territorio, el cual fue matizado y transformado en una simbiosis cultural por los habitantes atacameños, que evitaron así su colonización forzosa.

Uno de los recursos locales que motivaron la llegada de la influencia tiwanakota, en especial a San Pedro de Atacama, fue la minería y la localización estratégica de los oasis en las rutas de caravaneo e intercambio.

La caída de Tiwanaku, implicó la constitución de dos núcleos de ocupación del territorio regional, claramente diferenciados a nivel cultural. Por un lado la tradición del desierto, ligada a los atacameños en la fosa de Atacama y algunos oasis del Loa, y por el otro la tradición del altiplano, concentrada en Toconce y otros oasis del río Loa y Salado, más ligados a las influencias aymaras. Este período se caracteriza por guerras y hambrunas, lo que podría evidenciar un deterioro de las condiciones climáticas.

La segunda oleada de invasión la materializaron los Incas a mediados del siglo XV, la cual tampoco significó una dominación militar plena, con subyugación de los pueblos atacameños, puesto que nuevamente se adaptaron al nuevo modelo, sin perder su autonomía, incorporando elementos culturales foráneos sin desmedro de los propios. Los principales recursos apetecidos por los Incas, fueron nuevamente los de origen minero. La estratégica localización de los oasis en medio del desierto, influyó decididamente en la consolidación de las rutas de caravaneo e intercambio.

La llegada de los españoles marca un quiebre significativo en las relaciones espaciales prevalecientes hasta aquel entonces. La ocupación del territorio tuvo carácter militar y represivo, la cual fue resistida por los indígenas, quienes en importante número optaron por alejarse de los oasis, ocultar la información sobre posibles yacimientos mineros y trasladarse allende los Andes. Nuevamente los recursos que motivan la ocupación son los mineros y logísticos.

El desplazamiento de los atacameños a los oasis del Noreste argentino y el quiebre en la complementariedad en el uso de los pisos ecológicos, también podría ser motivada por un deterioro de condiciones climáticas, con mayor recurrencia de sequías.

El eje de influencia se volcó completamente a satisfacer las crecientes necesidades de la minería del Plata en Potosí. Frente a ello, el área de estudio se convirtió en un importante eslabón en el caravaneo con el Alto Perú (Bolivia).

El decaimiento de Potosí, fue compensado con el auge minero en las pampas de la región de Antofagasta, gracias al Salitre y Cobre. Nuevamente el eje de influencias viró en esa dirección, ordenando el que hacer de los oasis a satisfacer la nueva minería.

A principios de este siglo la competencia por los recursos hídricos ya era un problema para los oasis, sin embargo las demandas de la minería posibilitaban una importante producción agropecuaria, favorecida por concentrados eventos pluviométricos muchos de ellos con carácter nivoso.

De esta forma las distintas oleadas de ocupación o dominación económica ocurridas en la región, poseen los siguientes elementos comunes;

-En casi todos los casos, los poderes de turno se han caracterizado por explotar o demandar algún recurso minero de la macroregión, definiéndose a los oasis antofagastinos, como puntos de apoyo logístico, fuentes de mano de obra, producción de bienes agropecuarios y abastecimiento de agua.

-En general, los oasis circunscritos a la tradición del desierto han aceptado la ocupación, sin perder autonomía (adaptación relativa), mientras que los oasis de la tradición del altiplano, han sufrido una mayor ocupación y depredación, sin una relación biunívoca destacada.

-Con posterioridad al auge de la actividad de turno (Tiwanaku, Potosí, Salitre), viene un abandono de faenas y decaimiento de la actividad en los oasis, los cuales no experimentan grandes cambios, producto de que no existe un traspaso de los beneficios de dichas actividades a las comunidades.

-Frente a cada período de ocupación o influencia, los habitantes de los oasis se insertaron, aportando sus conocimientos del territorio, productos agropecuarios, técnicas metalúrgicas y de laboreo en minas, así como sus condiciones de arrieros para el caravaneo.

Este proceso del pasado está repitiéndose en la actualidad, producto de la fuerte inversión en minería y su consiguiente incidencia en el crecimiento de la población urbana. A diferencia de los períodos anteriores, hoy en día los oasis sólo interesan en cuanto sus recursos hídricos.

Frente a las nuevas presiones por insertarse en el modelo imperante, los oasis han respondido en forma diferencial, puesto que en Calama, Chiu Chiu, Toconce y Lasana, se han reducido las superficies regadas, y se han vendido los derechos de aguas. Al mismo tiempo, en San Pedro de Atacama sigue adoptándose una estrategia de adaptación relativa, puesto que la comunidad ha

decidido adscribirse a la ley indígena recientemente publicada, constituyendo comunidad de aguas, evitando así la desagregación y venta de los derechos hídricos.

A los argumentos de las empresas mineras y de agua potable, sobre la transculturización de los oasis y la teoría del chorreo como forma de traspaso de los beneficios a las comunidades, estas han respondido defendiendo sus recursos, denunciando las presiones y llamando al consenso en la gestión de los escasos recursos existentes.

Las variaciones climáticas de corto plazo

-Respecto de la Climatología sinóptica

La región de Antofagasta, si bien se localiza en las márgenes del gran altiplano de los Andes centrales de Sudamérica, presenta muchas de las características climáticas que son normales en Chile, algunos grados de latitud más al Sur.

No cabe duda que el régimen pluviométrico principal es estival, ligado a la Alta de Bolivia que acarrea precipitaciones desde el amazonas. Sin embargo, el régimen invernal ha demostrado ser bastante frecuente y potente, en especial al Sur de la cuenca del Salado.

El régimen invernal de circulación sinóptica, se caracteriza por un debilitamiento o división del Anticiclón del Pacífico Sudoriental, permitiendo la penetración de masas frontales, algunas veces con características segregadas en altura, asociadas a la presencia del Jet Stream subtropical, descenso de la Tropopausa y compresión de la masa tropical superficial. Estos eventos tienen características nivosas por sobre los 3.000 m.s.n.m. Por debajo, sólo se dan escasos milímetros de lluvia, los que quedan registrados en las estaciones climáticas regionales, prácticamente como lloviznas. Como se verá más adelante, la relación de las precipitaciones invernales con eventos ENOS es muy fuerte.

En la zona costera, la violencia de estos eventos es mayor. Su condición es completamente líquida, excepto en la cúspide más alta de la Cordillera de la Costa. De allí los grandes caudales que bajan sin ninguna restricción, amenazando los asentamientos poblados ribereños.

Surge de esta forma una pregunta clave, respecto de la localización y calidad de las estaciones meteorológicas regionales. Precisamente en la zona donde comienzan a destacar las influencias invernales, por sobre los 3.300 m.s.n.m, no existen estaciones meteorológicas.

Estas nevazones invernales pueden tener una gran importancia, respecto de los caudales superficiales, la mantención de vegas y bofedales, así como alimentación de napas subterráneas, sin embargo la falta de estudios impide su dimensión y valoración, asumiéndose que la mayor parte de dichos recursos se pierden vía evaporación.

De igual forma, las ocasionales lluvias torrenciales en la zona costera, debiera motivar a las autoridades a desarrollar estudios de mayor detalle, con el fin de evaluar los riesgos inherentes, o las potencialidades de dichos fenómenos.

-Respecto del régimen térmico

La red de estaciones climáticas con sensores de temperatura y sus series de datos térmicos, lamentablemente son escasos y de corta duración. Por ello si se analizan exclusivamente los escasos datos de temperatura existentes, pueden extraerse conclusiones erróneas sobre gradientes regionales y su variabilidad intermensual.

Para suplir estas falencias, se incluyó el análisis de bandas termales de imágenes NOAA. Este análisis permitió espacializar la variable, asignando valores relativos de temperatura a toda la región. Sin embargo, la falta de rectificación radiométrica impidió una estimación estricta de los valores reales de temperatura del aire. Sólo se logró una estimación de diferencias relativas de temperaturas superficiales, las cuales no dejan de ser interesantes y un aporte a la topoclimatología regional.

Estas temperaturas superficiales, evidenciaron una patrón de distribución poco lineal, con numerosas islas de calor y frío, asociadas a elementos topográficos y altimétricos.

Algunas islas de calor que destacaron como anomalías positivas de temperatura en invierno, son las localizadas en la cuenca del Salado, cerca de Lequena y algunas de las fosas con lagunas de altura. Al contrastar estos patrones térmicos con la topografía, queda claro que hay una alta correlación entre las dos variables, por lo que la definición de gradientes es posible.

En verano este patrón se acentúa y se definen islas de calor mucho más extensas y numerosas, destacándose los salares de Tara, la cuenca media del Salado y Lequena. Al contrastar estas temperaturas con la topografía, la correlación se reduce ostensiblemente, evidenciando que otros factores inciden con mayor preponderancia en la temperatura. Los gradientes regionales no tienen sentido.

Precisamente esta heterogeneidad térmica de verano, incidirá directamente en el potenciamiento de masas convectivas asociadas a precipitaciones.

Al aplicar el modelo de Insolación Potencial generado en este estudio a distintas fechas de la región, se ratifica la idea de que en invierno, la altura genera un gradiente normal de las temperaturas, mientras que en verano, la insolación y su relación con la topografía (exposiciones, latitud y pendientes) son más decidoras en la definición de islas de calor.

- La variabilidad espacial de las precipitaciones.

Como se ha enunciado hasta aquí, la distribución espacial de las lluvias de verano está ligada a los patrones térmicos superficiales, lo que genera una alta variabilidad espacial de las mismas. En invierno las lluvias son más homogéneas producto de la presencia de masas frontales de gran magnitud.

En general se aprecia una disminución de las lluvias en dirección al Sur, donde la fosa de Atacama, parecería indicar el más probable término de las influencias continentales. Sin embargo, la localización de las estaciones en esta agrupación podría estar sesgando la interpretación. Faltan datos pluviométricos en la Puna de Atacama.

La variabilidad espacial se acentúa hacia el Oeste, debido a la menor potencia de las lluvias estivales en esa dirección.

La altura es obviamente un factor explicativo de las lluvias de primer orden, sin embargo los residuos de los modelos son elevados, indicando la presencia de otros factores explicativos. Precisamente en aquellos sectores con mayores anomalías pluviométricas positivas, se dan también la mayor frecuencia de anomalías térmicas positivas.

En este sentido, la generación de modelos pluviométricos alternativos a los ya publicados, incorpora distribuciones más detalladas, con mayor incidencia de factores locales y precisiones en algunos montos.

- Variabilidad temporal.

Así como a nivel espacial la variabilidad pluviométrica es elevada, a nivel temporal las variaciones son aún mayores.

Al analizar los 15 años de la serie considerada, se constata que las lluvias no tienen un patrón regular de comportamiento. Lo único regular es la alternancia de años lluviosos, seguidos por años secos, sin períodos claros, en una tendencia de reducción y concentración de lluvias.

A nivel mensual también se aprecia una alta variación de los montos, según las estaciones y año considerado. En general se aprecia que los componentes invernales se acentúan hacia el Sur y en años con eventos ENOS.

La concentración diaria de las lluvias es remarcable. En las estaciones más secas, puede llover en un día hasta el 100% de las lluvias anuales. En general, las estaciones con mayores precipitaciones presentan menor concentración diaria, sin embargo en Linzor, la más lluviosa de la región, presenta un promedio de casi 17% de las lluvias anuales en un sólo día.

Al analizar un evento pluviométrico estival, se comprueba la alta variabilidad y concentración espacial de las lluvias. En general, estos eventos son precedidos por altas temperaturas, baja intensidad de los vientos, y vientos húmedos desde el Este y Norte en las mañanas.

En los eventos pluviométricos invernales, los montos de precipitación son reducidos en las partes bajas, sin embargo en la Puna de Atacama, pueden llegar a nevar cerca de 60 cm en 2 días.

-El régimen de vientos

A diferencia de las precipitaciones, los vientos regionales son mucho más estables a nivel interanual, con ciclos bastante regulares, sólo interrumpidos por eventos pluviométricos excepcionales en invierno o años anómalos, con presencia de eventos ENOS.

A nivel intermensual, la tendencia principal es de vientos desde el Oeste, con escasos componentes Este en verano. Las velocidades son elevadas, destacándose la región por su gran potencialidad para la generación de energía eólica, la cual aún no está siendo aprovechada.

Interesante resulta el análisis de la estación El Laco, donde se ratifica la idea de advección húmeda desde el cuadrante Este en verano entre las 5 y las 9 de la mañana. Este elemento tiene gran relevancia en la generación de las lluvias.

El volumen y calidad de los datos de vientos regionales es limitado. Hay muy pocas estaciones con anemómetros digitales. No sólo se requieren más estaciones en las partes altas, sino también modernizar los instrumentos de las estaciones tradicionales. A esto se debe sumar el serio problema de contaminación atmosférica en Chuquicamata, que requiere más datos y un seguimiento más detallado.

-Las concepciones etnoclimáticas

Las concepciones y percepciones que la población autóctona tiene del clima, su génesis y características, es un buen ejemplo de la simbiosis entre hombre y naturaleza en la región de Antofagasta. La interpretación simbólica, asociando ritos, cerros, figuras y fenómenos naturales a las lluvias, nubes y vientos, da cuenta de una cosmovisión holística donde el sinergismo entre los componentes naturales y el hombre es importante.

Muchas de las descripciones de los lugareños sobre la ocurrencia de precipitaciones, han sido reafirmadas con el análisis topoclimático aquí aplicado. Las asociaciones de altas temperaturas como detonantes de las lluvias o el Terral, o viento con olor a lluvia, que trae la humedad, tienen plena ratificación en el plano científico.

Uno de los aspectos más destacados, es el rol asignado a ciertos cerros o volcanes como descriptores de condiciones climáticas futuras. El cubrimiento del Quimal en la Fosa de Atacama o el Pajonal en El Loa, han orientado a las comunidades en la aparición de lluvias por miles de años, denotando un conocimiento acumulado difícil de igualar en una investigación científica como esta.

Por lo anterior, afirmaciones emitidas por los lugareños sobre la disminución de las lluvias, la crisis del agua, la desaparición de la agricultura y la degradación ambiental, debieran ser consideradas por los tomadores de decisión

- Los eventos ENOS

El período analizado en este estudio, ha coincidido con un aumento de la ocurrencia de eventos El Niño Oscilación del Sur en Chile. Hasta ahora, se habían analizado los efectos de estos eventos sobre la climatología de la región de Tarapacá, sin embargo poco se sabía de las relaciones en la región de Antofagasta.

En el área de estudio, se estimaba que la respuesta climática a eventos ENOS sería similar que en Tarapacá, con aumento de lluvias estivales, en un modelo de interpretación restringido. Sin embargo, en este estudio se reafirma la idea de que la región de Antofagasta, se asocia más a las respuestas de Chile central que a las de más al Norte.

Cada evento tuvo un impacto diferencial en la topoclimatología regional. De los tres eventos del período analizado, el más importante fue el super ENOS del siglo, de 1982-83, donde la región presentó un importante aumento de lluvias invernales, en un contexto de sequía proveniente desde 1978. No obstante, la situación cambió hacia finales del evento, aumentando en forma significativa las lluvias del verano de 1983.

En general, durante la ocurrencia de eventos ENOS, las lluvias de verano son limitadas, sin embargo al año posterior del evento, cuando se restablecen las condiciones normales de circulación, las lluvias aumentan y pueden estar muy por encima de las medias.

Asumiendo que dentro de la región las variaciones espaciales son importantes entre las tres agrupaciones detectadas (loa Alto, Loa Medio y Fosa de Atacama), se analizó la pluviometría durante cada evento, a nivel mensual e interanual. Destaca de este análisis, el que durante los períodos Agosto-Noviembre, para todas las agrupaciones, se da un fuerte incremento de las lluvias durante cada evento. Mientras que en el período Diciembre-Marzo, disminuyen durante cada evento pero aumentan al año siguiente.

El régimen de vientos también se ve afectado durante la presencia de eventos ENOS, debido a que en dichos aumentan considerablemente los vientos de los cuadrantes Norte, evidenciando masas frontales que penetran la región.

En este sentido, la región de Antofagasta reafirmaría su condición de bisagra o transición entre el régimen de lluvias continentales versus uno invernal.

Esto implica además, que al buscar períodos paleoclimáticos como con presencia de eventos ENOS, debieran considerarse condiciones frías y de escasa humedad, con trazas isotópicas provenientes del Pacífico, por sobre elementos continentales (húmedos y cálidos). De esta forma, es posible afirmar que los períodos húmedos del Tardiglacial, no se asociarían a eventos ENOS, sino que a mayores precipitaciones de origen continental, en base modelos de circulación no actualistas.

Desde la perspectiva del problema del agua, la importancia de esta afirmación radica en que con los actuales modelos de circulación, ligados a frecuentes eventos ENOS, no es posible esperar

aumentos significativos de las lluvias, que permitan recargar los acuíferos y aumentar la oferta de recursos hídricos regionales.

- Variabilidad vegetacional

Si bien la región presenta una escasa cobertura vegetacional, su importancia es elevada a la hora de sustentar una gran biodiversidad y permitir la infiltración y retención de las torrenciales lluvias que allí se producen.

El empleo de índices vegetacionales para espacializar esta variable, permitió incluir sectores sin información detallada, pero relevantes en términos areales, tales como el Loa Alto y algunos sectores altiplánicos.

La respuesta de la vegetación a años secos versus años lluviosos, es muy contrastada. El Tolar experimenta un fuerte aumento de su actividad en años húmedos, mientras que en años secos se contrae a núcleos de reserva muy desagregados y de difícil acceso.

La vegetación alrededor de las superficies lagunares y salares en altura, también experimenta fuertes cambios areales entre años secos y lluviosos, impactando directamente a la biodiversidad que allí habita.

La población autóctona también se ve afectada en años secos por la reducción de biomasa disponible para sus ganados, los cuales deben dirigirse a los núcleos de reserva, que a pesar de las restricciones hídricas, permiten satisfacer a una limitado número de animales.

El uso complementario de los distintos pisos ecológicos regionales por parte de las comunidades indígenas evitó una degradación del sistema, sin embargo la excesiva extracción de LLareta y Queñoas entre otras especies, para usos mineros durante los últimos cientos de años, redujo su superficie en forma peligrosa.

La competencia por el agua

El contexto climático e hidrológico regional está constituido por una oferta de agua sometida a fluctuaciones climáticas no controlables, con tendencia a la reducción de los volúmenes y baja renovabilidad de las napas. Esta condición no satisfacerá plenamente las actuales y futuras necesidades del recurso, que se vislumbran a la luz de los montos de las inversiones mineras **(Foto 15)**, energéticas y de servicios, los proyectos en carpeta, la integración macroregional y el crecimiento de la población, por lo que se estima una saturación plena del sistema natural a mediano o corto plazo,

Foto 15: Megaproyecto minero La Escondida

En respuesta a estas perspectivas, estudios como los de INYGE (1991) y ESSAN (1992), han señalado que la única posibilidad factible de conseguir agua, implica la reducción de los usos agrícolas. Incluso en la prensa regional, se ha planteado que los valores culturales de la población atacameña, han desaparecido completamente, por lo que no cabe esperar una mantención de sus actividades tradicionales. Usos más rentables y eficientes, como la minería y el consumo urbano, parecen ser la lógica conclusión de la actual etapa de crecimiento económico de la región, planteando significativos conflictos ambientales, socio-culturales y valóricos a los tomadores de decisiones.

El problema es que no todas las comunidades son iguales. Las diferencias entre la comunidad agrícola del Loa, que está vendiendo el agua y está pobremente organizada, contrasta notoriamente con la comunidad de San Pedro de Atacama, donde no es factible ninguna transacción, debido a que está en trámite la comunidad de aguas, en base a la ley indígena, que impide las ventas a terceros.

La publicación de la ley indígena, está siendo aprovechada por las comunidades atacameñas y aymaras del Loa y San Pedro de Atacama, para oponerse a la venta de los derechos de agua, que deben ser considerados como bienes comunes. Sin embargo, para estos fines el consenso dentro de las comunidades parece vital, el cual ya se ha logrado en San Pedro de Atacama, con una larga tradición de adaptación relativa, que le ha permitido sortear con éxito su disgregación y desaparición. Se estima más difícil el consenso en aquellos oasis de tradición no atacameña, donde la población está más transculturizada y más permeable a las influencias del mercado, que incitan a la venta del agua, tales como Toconce y Calama.

En este contexto y considerando que las estimaciones sobre las demandas de agua potable son muy inciertas, otras fuentes del recurso o revalorizaciones del agua son necesarias.

Entre las nuevas fuentes de agua, destacan los megaproyectos que ESSAN ha diseñado para Tara y Putana. Sin embargo, la connotación de áreas silvestres y protegidas de algunos sectores, obligan evaluaciones de impacto ambiental detallados.

Frente a estas dificultades, las compañías mineras y de agua potable, están cada día más comprometidas con evitar la pérdida del recurso hídrico, tanto por la real escasez existentes, como por las presiones ambientales de las fuentes de financiamiento internacional de los proyectos de inversión. En forma equivalente, la agricultura debiera someterse a estrategias de reducción de consumos excesivos, para evitar presiones indebidas por parte de los otros sectores involucrados.

De igual forma, el estado chileno ha debido acentuar las regulaciones respecto del agua, sin embargo persisten serias deficiencias en la fiscalización, control y estudios en la asignación de nuevos recursos.

Frente a este conflicto, cabe esperar de las autoridades regionales y nacionales, una posición política de defensa y protección de los intereses permanentes de las comunidades agrícolas y ganaderas tradicionales, como única forma de contrarrestar los aplastantes intereses económicos de las empresas mineras y de agua potable. Por otro lado, cabe esperar que las decisiones sobre el uso del agua se basen en sólidos estudios, de conocimiento público y acceso transparente, que no sólo evalúen el impacto ambiental "in situ" de los proyectos mineros o de agua potable, sino que reconozcan las interacciones temporales y espaciales que existen entre las tierras altas y bajas.

En este sentido y como corolario de este trabajo se plantean las siguientes conclusiones-propuestas, para enfrentar el problema de los recursos hídricos regionales:

Dada el alto número de variables existentes y la alta complejidad de las interacciones que intervienen en el problema descrito para la región, se hace necesaria la elaboración de un **plan de desarrollo estratégico y ambiental regional** , tal como lo han propuesto Romero, Rivera e Ihl, (1996) y Romero & Rivera, (1996).

Se plantea la necesidad de un **plan**, debido a que las autoridades regionales y locales, tienen la obligación de proponer un modelo de **desarrollo propio**, en base al crecimiento económico y la redistribución social, considerando las especificidades regionales y sus problemáticas.

Este modelo regional debe insertarse en la política de desarrollo definida a nivel nacional, sin embargo podría adoptarse una estrategia tanto desde arriba hacia abajo, en términos de diseño y propuesta, como también un accionar desde abajo hacia arriba, contemplando la real y democrática participación de los actores regionales, quienes validarán, modificarán e implementarán en la práctica, este plan de desarrollo.

Se define un plan de desarrollo regional con carácter **estratégico**, debido a que la problemática actual está estrechamente relacionada con la generación y evolución de recursos y hábitats en el pasado (evolución paleoclimática, sociocultural y económica), así como con sus tendencias o proyecciones a futuro. El uso pleno de los recursos actuales, hace prever una crisis de proporciones a mediano plazo, por lo tanto es necesario aplicar medidas con efectos de esa magnitud temporal, con el fin de evitar un colapso del sistema.

La connotación **ambiental** de esta propuesta de plan estratégico, se fundamenta en la necesidad de adoptar un abordaje integral, en base a todos los subsistemas integrantes, donde los criterios de evaluación no sean sólo de tipo económicos, sino que se valoricen aspectos sociales, ecológicos y culturales, que en definitiva constituyen la riqueza regional.

Este plan de desarrollo, en términos de los recursos hídricos, debe tener como objetivo central la optimización de su uso. Cada sector debe participar en el proceso de reducir los consumos, incorporando medidas de manejo y usando las cantidades y calidades disponibles de agua, de acuerdo a sus necesidades específicas.

La relación entre la localización de las fuentes de agua y la ubicación y características de los consumos, requiere un abordaje geoecológico que permita una sustentabilidad espacial;

- La empresa de agua potable regional, debiera adoptar políticas consensuales con los otros sectores económicos, en especial la agricultura, con el fin de evitar las desconfianzas mutuas, buscando una solución integral al problema. Para ello, se requeriría entre otras cosas, de una campaña de concientización entre la población, con el fin de introducir prácticas restrictivas en el consumo de agua, apelando a la condición desértica de la región.

A nivel costero, los grandes centros urbanos debieran disminuir sus consumos de agua provenientes del altiplano, incorporando la desalinización de agua de mar y la recirculación de las aguas servidas tratadas. Los centros urbanos del interior, debieran recircular sus aguas servidas, canjeando los excedentes con la agricultura.

- La agricultura debiera reducir drásticamente sus consumos de agua. Para ello es necesaria la reestructuración de las prácticas de manejo y organización comunitaria. Sería necesario además invertir en la infraestructura de riego, con el fin de reducir las pérdidas y evitar la salinización de los suelos, aumentando la productividad de los cultivos. Además podrían canjearse parte de las aguas actualmente usadas en regadío, con las aguas servidas de Calama, con posterioridad a su tratamiento.

- La minería, debiera priorizar aguas salobres en los procesos de lixiviación, liberando recursos frescos, factibles de ser aprovechados en agricultura o consumo urbano. No obstante lo anterior, el principal aporte de la minería debiera ser el apoyo financiero a la agricultura, con el fin de modernizar las técnicas de regadío y aumentar la rentabilidad. De igual forma, la minería podría ayudar a financiar la desalinización de las aguas del mar, con el provecho de la liberación de recursos cordilleranos, factibles de ser aprovechados en sus procesos productivos.

En este contexto, el gobierno regional serviría como ente aglutinador y de organización de todos los sectores, donde se discutirían los alcances de este plan estratégico.

Para el funcionamiento y financiamiento de esta iniciativa, se hace necesaria la implementación de un Fondo de Compensación Permanente. Este fondo, se generaría con los aportes de todas las actividades lucrativas y económicamente exitosas de la región, el cual sería administrado por una comisión regional representativa, con el fin de invertir en recursos humanos, investigación, compensaciones, desalinización, etc.

Esta planificación estratégica, implica la definición e implementación de diversas medidas políticas, con incidencia en el corto, mediano y largo plazo, con el fin de enfrentar la competencia actual por el agua y su disponibilidad futura.

Algunas medidas prioritarias son:

-Financiar proyectos de investigación de especialidad, que completen el conocimiento sobre la dotación y variabilidad de los recursos hídricos, poniendo énfasis en la evaluación de las edades de los acuíferos en exploración y explotación, así como su renovabilidad.

-Implementar un plan de colocación de estaciones meteorológicas automáticas, con el fin de detallar las características climáticas de la región, poniendo énfasis en las zonas altiplánicas.

-Solicitar a las Universidades regionales, nacionales e internacionales, interesadas en la región y sus problemáticas, una mayor presencia y participación en la elaboración de este plan de desarrollo estratégico y ambiental.

-Acotar y detallar los balances hídricos para las cuencas más explotadas, con énfasis en los recursos subterráneos, para evitar la constitución de derechos que sean incompatibles con la dinámica natural.

-Analizar para cada cuenca, salar, bofedal o vega, los caudales ecológicos o mínimos aceptables, para el funcionamiento de los sistemas naturales, en consideración de sus capacidades de carga específica, biodiversidad existente y uso antrópico.

-Analizar la competencia por los recursos hídricos en forma integral, considerando la totalidad de recursos, usos y manejos, tanto a nivel sectorial como espacial.

-Incentivar a los sectores regionales involucrados en la competencia por el agua, a complementar los usos de los recursos existentes, según la localización de las fuentes, los montos de los capitales involucrados, la tenencia de las acciones, la calidad y cantidad de las aguas, y las rentabilidades esperadas de los proyectos de inversión.

-Generar políticas de decisión regional que eviten el libre acceso a las aguas, restringiendo las transacciones actuales hasta una evaluación integral.

-Perfeccionar la legislación nacional sobre exploración y explotación de los recursos hídricos, enfatizándose la necesaria diferenciación geográfica de las normativas y la posibilidad de valorizar económicamente la constitución de derechos de uso.

-Gestar mecanismos que permitan retener en la región, una mayor parte de los excedentes de las actividades económicas más rentables, propiciando la reinversión en aquellos sectores más sensibles para la población no beneficiada por el modelo, como son la educación, salud y calidad-cantidad de agua.

-Materializar inversiones públicas en infraestructura, que permitan hacer partícipes a los sectores altiplánicos y urbanos marginales de los beneficios del sistema, como son la pavimentación de calles, redes de agua potable y alcantarillado.

-Definir proyectos de inversión en obras de regadío, canalización, embalses, pozos, aguadas, bocatomas y acueductos, con el fin de reducir las pérdidas por conducción y almacenamiento.

-Propiciar la materialización de inversiones privadas en asociación con el sector público, en el área de servicios sanitarios, reciclaje de aguas, desalinización y purificación

-Analizar en conjunto con los sectores agrícolas regionales, las alternativas de modernización en el uso del agua, aumentando los rendimientos, modificando técnicas productivas e incorporando cultivos más rentables.

-Entregar mayores recursos y facultades a los organismos públicos regionales, como CONAF, DGA, SAG o INDAP, con el fin de descentralizar su gestión y asegurar la fiscalización y cumplimiento de sus deberes en forma efectiva.

-Conformar una comisión ejecutiva con especialistas del área, con el fin de administrar los recursos hídricos regionales, o en su defecto algunas cuencas más críticas (como el Loa), diseñando un sistema de alerta frente a sequías prolongadas o eventos catastróficos. Esta

comisión serviría para aglutinar a los actores involucrados y debiera realizar campañas permanentes de concientización respecto del agua y su escasez.

-Confeccionar un sistema de información ambiental regional, con énfasis en los recursos hídricos, que esté en permanente actualización y considere las múltiples fuentes de información existentes, en perspectiva de facilitar las tomas de decisiones y también la información de la población potencialmente afectada o interesada.

En síntesis, la experiencia chilena demuestra que el acertado período de crecimiento económico se encuentra amenazado por los cambios y variaciones climáticos de corto plazo; que la disponibilidad de agua se transforma en la variable clave y que los efectos dependen de las actividades económicas y de los niveles tecnológicos, así como de los distintos actores sociales y políticos que habitan el área, muchos de los cuales permanecen ajenos o han sido sistemáticamente excluidos de las estrategias de desarrollo regional. Consecuentemente, que es necesario ajustar los ritmos de la naturaleza y de la sociedad, para que se pueda hablar de un proceso de desarrollo verdaderamente sustentable.

Los resultados de este trabajo generan la base para la elaboración de una política estratégica y ambiental de los recursos hídricos regionales: Esto significa, multidimensional (en términos temporo espaciales), multisectorial (en términos económicos) y multiobjetivo (en términos sociales y culturales), con el fin de propiciar el desarrollo sustentable en la región de Antofagasta.

7.- Bibliografía

Abele, G. 1991: "The influence of age, climate, and relief on the preservation of volcanic landforms in the North Chilean Andes". Bamberg Geographische Schriften, Bamberg, Germany, Bd. 11, pp. 45-57.

Aceituno,P. 1983: Relación entre la posición del Anticiclón subtropical y la precipitación en Chile. Terra Aridae, Vol 2, N°1, pp. 1-11.

Aceituno,P. & Montecino,A. 1992: "Precipitación en el altiplano sudamericano: Variabilidad interanual e intraestacional y mecanismos asociados". Primer Congreso Iberoamericano de Meteorología de España, Octubre.

Aldunate,C., Berenguer,J., Castro,V., Cornejo,L., Martínez,L. & Sinclaire,C. 1986: Sobre la cronología del Loa superior. Rev. Chungará, UTA, Arica, N°16-17, pp. 333-346.

Aninat,E. 1990: Investment Opportunities in Chile. Boletín de difusión, Ministerio RR.EE., Stgo.

Arias, J. 1995: Consumo y manejo del Recurso Hídrico en Mantos Blancos. Actas IV Jornadas "Gestión de Recursos Hídricos en Zonas Aridas", Comité chileno para el Programa Hidrológico Nacional, UCN, Antofagasta, 11 p.

Arteaga, J. & Durán,H. 1995: Contaminación atmosférica en Chile: Antecedentes y Políticas para su control. Perfil Ambiental de Chile. CONAMA, Stgo, pp. 157-170.

Bähr, J. 1985: "Agriculture, cooper mining, and migration in the Andean Cordillera of Northern Chile". Mountain Research and Development, Vol.5, N°3, pp. 279-290.

Baumman, G. 1995: Projektteil vegetation. In:Projektteil klimaökologische Gradienten in Hochgebirgen. Abschlubbericht DFG- Projekt Klimaökologie Atacama, September, pp. 19-48.

Bello, E., Alvial,M., Dehays,J. & Troncoso,J. 1992: Los eventos pluviométricos del Norte de Chile durante el primer semestre de 1992 y su relación con el fenómeno ENOS. Seminario, Magister de Geografía, Dpto. de Geografía, UCH, Stgo.

Benavente, A., Massone,C. & Thomas,C. 1986: Larrache, evidencias atípicas Tiwanaku en San Pedro de Atacama? X Congreso de arqueología chilena, Arica.

Berenguer,J., Aldunate,C. & Castro,V. 1980: Reflexiones acerca de la presencia Tiwanaku en el Norte de Chile, Estudios Arqueológicos 5, Antofagasta.

Barría,P. & Serra,P. 1989: Estimación Captura Total permisible Sardina Año 1989. SUBPESCA/IFOP.

Bertrand,A. 1885: Memoria sobre las Cordilleras del Desierto de Atacama y regiones limítrofes, Imprenta Nacional, Stgo.

Castro,M., Villagrán,C. & Arroyo,M. 1982: Estudio etnobotánico de la pre-cordillera y Altiplano de los Andes de Arica (18-19 S). In: "El Ambiente Natural y las Poblaciones Humanas de los Andes del Norte Grande de Chile (Arica, Lat. 18° 28°S)" (eds. A. Veloso & E. Bustos) n° 2, pp.133-203.

Castro,M. 1996: Riego y cultura en los Andes del Norte de Chile: Un estudio de casos. I Taller Internacional de Geoecología de Montañas y Desarrollo sustentable de los Andes del Sur, Stgo, pp. 401-408,

Castro, M., Bahamondes,M., Azócar,P. & Faúndez,L. 1993: Identificación y ubicación de áreas de vegas y bofedales de las regiones Primera y Segunda. Depto. Estudios DGA S.I.T N° 19, convenio UCH, Santiago, 20 p.

Caviedes,C. & Waylen,P. 1991: Chapters for a climatic history of South America.

CHI-535 1978: Varios informes CORFO/DGA/ONU/C.C.C.

Clapperrton,Ch. 1991: Glacier fluctuations of the last glacial- interglacial cycle in the Andes of South America. Bamberg Geographische Schriften, Bamberg, Germany, Bd. 11, pp. 183-209.

Claude,M. & Pizarro,R. 1996: Indicadores de sustentabilidad y contabilidad ambiental para el caso chileno. In: Sustentabilidad ambiental del crecimiento económico chileno, O. Sunkel, (ed. gral.) Programa de Desarrollo Sustentable, Centro de Análisis de Políticas Públicas, Universidad de Chile, pp. 245-285.

CONSECOL 1988: Diagnóstico agrícola de la Provincia de El Loa. Informe final. SERPLAC Antofagasta, Tomos I, II y III.

Coolman, 1990: Bibliografía sobre manejo de agua en los Andes. En Greslou, F. Dietshy,B., Gelles,P. y Coolman,B. (Eds) Agua. Visión Andina y usos campesinos. Hisbol, La Paz, pp. 177-215.

COREDE 1989: Información Comisión Aguas, Consejo Regional de Desarrollo, Antofagasta. Antofagasta 26 p.

CORFO, 1993: La energía eólica en Chile. Evaluación de su potencial. Serie programas especiales, Gerencia de desarrollo Tecnológico, Stgo, N°2, 58 p.

COSERREN, 1982: "Fotointerpretación de las áreas de Calama, Chiu- Chiu, Lasana y Quillagua". Antofagasta.

DGA, 1986: Balance hidrológico por cuencas, IIª Región de Antofagasta. DGA, Dpto. Hidrología, Sub Dpto. de Estudios Hidrológicos, Santiago, 164 p.

DGA 1987 : Balance Hídrico Nacional, Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Stgo. Chile.

DGA 1988: Informe sobre operación de embalse Conchi para prevenir crecidas. Dcto. técnico, Dirección de riego, MOP, Stgo.

DGA 1989: Informe preliminar por cuencas. MOP/DGA Chile.

Enfield, D. 1989: EL Niño, Past and Present. Reviews of Geophysics, 27,1, pp. 159-187.

ESSAN 1992: "Plan de desarrollo para los servicios de agua potable y alcantarillado de ESSAN S.A. Definición del Proyecto de Inversión Tomo II". Anexo 1. Disponibilidad de fuentes y manejo de recursos Hídricos IIª Región de Antofagasta, Stgo.

ESSAN 1995: Optimización del uso del agua. Proyectos de reciclaje de aguas servidas en la II Región. Actas IV Jornadas "Gestión de Recursos Hídricos en Zonas Aridas", Comité chileno para el Programa Hidrológico Nacional, UCN, Antofagasta, 12 p.

Fernández,P. 1995: Extracción del recurso hídrico en la cuenca Ascotán-Carcote. Altiplano de la región de Antofagasta. Estudio de Impacto Ambiental. Memoria para optar al título de Geógrafo, Departamento de Geografía, Universidad de Chile, Stgo, 176 p.

Figueroa,E. & Núñez,J. 1992: Recursos Naturales y Medio Ambiente: regulación y desarrollo futuro, In: Taller de Coyuntura: Comentarios sobre la Situación Económica, 1992. Depto. de Economía, U de Chile.

Figueroa, E., Donoso,G., Lagos,G., Alvarez,R. & Muñoz,J. 1996: Sustentabilidad ambiental del sector exportador chileno, In: Sustentabilidad ambiental del crecimiento económico chileno, O. Sunkel, (ed. gral.) Programa de Desarrollo Sustentable, Centro de Análisis de Políticas Públicas, Universidad de Chile, pp. 47-87.

Fox,A. & Strecker,M. 1991: Pleistocene and modern snowlines in the Central Andes (24°S). Bamberg Geographische Schriften Bd. 11, Bamberg, Germany, pp. 169-183.

Fuenzalida,H. 1983: Acerca de las fluctuaciones diarias de la capa límite en el litoral del Norte de Chile. Terra Aridae.Vol 2, pp. 12-25.

Fuenzalida,H. & Rutllant,J. 1986: "Estudio sobre el origen del vapor de agua que precipita en el invierno boliviano". Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Gajardo, R. 1983: Sistema Básico de Clasificación de la Vegetación Nativa Chilena. Corporación Nacional Forestal, Departamento de Silvicultura y Manejo, Facultad de Ciencias Agrarias Veterinarias y Forestales de la Universidad de Chile.

Gardeweg,M & Ramírez,C. 1986: Volcanismo Cenozoico superior del Altiplano chileno. In: Seminarios de actualización de la Geología de Chile. Sernageomin, Stgo.

Garleff, K. & Stingl H. 1987: "Investigaciones geomorfológicas sobre aspectos del paleoclima en los Andes argentinos". Investigaciones alemanas recientes en Latinoamérica: Geología, proyectos de la Dt. Forschungsgemeinschaft, Bonn, Alemania.

Garín,C.1987: Inventario de glaciares de los Andes chilenos desde los 18° a los 32° de Latitud Sur. Rev. de Geografia Norte Grande,14, pp.35-48.

Gorman,A. & Mcgregor,J. 1994: Some considerations for using AVHRR data in climatological studies: II. Instrument performance. INT. J. Remote Sensing, Vol. 15, N° 3, pp. 549-565.

Graf,K. 1991:Ein Modell zur eiszeitlichen und heutigen Vergletscherung in der Bolivianischen Westkordillere. Bamberg Geographische Schriften Bd. 11, Bamberg, Germany, pp. 139-154.

Grebe,M. & Hidalgo,B. 1988: Simbolismo atacameño: Un aporte etnológico a la comprensión de significados culturales. Rev. Chilena de Antropología UCH, Stgo, N°7, pp. 75-97.

Grilli,A. 1989: Jornada de análisis de recursos hídricos en las Provincias de Arica y Parinacota. Stgo, Agosto.

Grosjean,M. & Vuille,M. 1991: Monitoreo de cambios recientes en el balance del agua en algunos lagos y salares del Altiplano Chileno utilizando datos LANDSAT y TM. III Encuentro Nacional de Percepción Remota SELPER Chile, IPS.

Grosjean,M., Bonani,G., Bürgi,A., Geyh,M., Graf,K., Messerli,B., Ramseyer,K., Romero,H., Scherier,H., Schotterer,U. & Vuille,M. 1996: Cambio climático y dinámica de los recursos naturales en el altiplano del Norte de Chile durante el Tardiglacial y el Holoceno. I Taller Internacional de Geoecología de Montañas y Desarrollo sustentable de los Andes del Sur, Stgo, pp. 69-78.

Grosjean,M. 1994: Paleohydrology of the Laguna Lejía (north Chilean Altiplano) and climatic implications for late-glacial times. PALALEO 109, pp. 89-100.

Grosjean,M. & Núñez,L. 1994: Lateglacial, Early and Middle Holocene Environments, Human Occupation, and Resource Use in the Atacama (Northern Chile). Geoarchaeology: An International Journal, Vol. 9, N° 4, pp. 271-286.

Hidalgo, J. 1984: Complementariedad ecológica y tributo en Atacama. 1683-1792. Estudios Atacameños Nº 7, Instituto de Investigaciones arqueológicas, Universidad del Norte, San Pedro de Atacama.

Hurlbert,S. & Keith,J. 1979: Distribution and Spatial Patterning of Flamingos in the Andean Altiplano. Results of five Flamingo Censuses Conducted Between November 1975 and December 1977. The Auk 96, pp. 328-342.

ICC 1982: Estudio de las precipitaciones de la Región de Tarapacá. ICC CONIC Ingenieros Consultores/MOP/DGA. Stgo, Chile, 68 p.

IDRISI 1992: Technical reference and User's guide. UNITAR/University of Clark, Worcester, Mass, USA.

IDRISI 1995: GIS and Mountain Environments. De. by K. Schneider & P. Robbins. Vol 5, "Modeling the impact of mountains on regional climates, Puna de Atacama, Chile".

Ihl,M. 1991: Cambios climáticos y patrones locales de los climas del Norte Chico usando imágenes NOAA/AVHRR. Tesis para optar al grado de magister en Geografía, Dpto. de Geografía, Universidad d Chile, 227 p.

INE 1992: Censo Nacional de población y vivienda 1992. Estadísticas nacionales, regionales y comunales, Instituto Nacional de Estadística, Stgo.

INIA 1989: Mapa Agroclimático de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Ed. R. Novoa. Stgo.

INYGE 1991: Primer informe de avance de la etapa I (Informe preliminar) del estudio: "Análisis de los recursos de agua de la primera región de Tarapacá". Ingeniería y Geotecnia Ltda./MOP. Coordinador J. Karzulovic, Antofagasta.

IREN-CORFO, 1976. Inventario de Recursos Naturales por Método de Percepción del Satélite Landsat, II Región-Antofagasta.

Jenny,B., Kammer,K. & Ammann,C. 1996: Climate Change in den trockenen Anden. Jungquartare Vergletscherungen, Institute of Geography, University of Bern, Switzerland, G46 pp. 1-80.

Kates, R. 1987: The human environment: The road not taken, the road still beckoning. Annals of the Association of American Geographers, 77, pp. 525-534.

Lara,A., Donoso,C. & Aravena,J. 1996: La conservación del bosque nativo de Chile: problemas y desafíos. In: Ecología de los bosques nativos de Chile. Armesto,J., Villagrán,C. & Kali,M. (eds). Ed. Universitaria, pp. 335-362.

Le bert,J. 1995 : Descripción de las actividades económicas de Chile. 99-115. In: Perfil Ambiental de Chile, CONAMA, Stgo, pp. 99-115.

Lira,G. 1921: Aguas del río Loa. Instituto científico y cultural del Salitre. Balcells & C. impresores, Stgo. 23 p.

Lizárraga,S. & Hernández,A. 1995: Manejo del recurso hídrico en la división Chuquicamata. Actas IV Jornadas "Gestión de Recursos Hídricos en Zonas Aridas", Comité chileno para el Programa Hidrológico Nacional, UCN, Antofagasta, 13 p.

Lufin,M., Alvarez,F., Cedemartori,J. & Aroca,P. 1995: Propuesta metodológica para la determinación de un valor económico del recurso hídrico en la IIª Región de Antofagasta. In: 5° Encuentro científico sobre el medio ambiente, Tomo I, Inserción global y medio ambiente, CIPMA-U. de la Frontera, Temuco.

Meneses,C. 1967: Problemas geográficos para el desarrollo de Chiu Chiu y Lasana. Boletín de la Asociación de Geógrafos de Chile, N° 3, 14 p.

Messerli,B. 1983: Stability and instability of mountain ecosystems: Introduction to a workshop sponsored by the United Nations University. Mountain Research and Development, Vol 3., N° 2, pp. 81-94.

Messerli,B., Grosjean,M., Bonani,G., Bürgi,A., Geyh,M., Graf,K., Ramseyer,K., Romero,H., Schotterer,U., Scherier,H. & Vuille,M. 1993: "Climate change and natural resource dynamics of the Atacama Altiplano in the last 18.000 years: A preliminary synthesis". Mountain Research and Development, California U. (Berkeley) USA, Vol. 13, N 2, pp. 117-127.

Meyer,P. 1990: Una Perspectiva de Largo Plazo del Desarrollo Económico Chileno. 1880-1990. In: Trayectorias Divergentes. Comparación de un siglo de Desarrollo Económico Latinoamericano y Escandinavo. CIEPLAN-HACHETTE. Ed. Universitaria, Stgo.

Ministerio de Agricultura, 1994: Sistema Medio Ambiental del sector Silvoagropecuario, Marco General de la política ambiental. 253 p.

Misetic,V. 1990: Geografía de Chile. Tomo IIª Región de Antofagasta, IGM, Stgo.

Misetic,V. 1991: "El despoblamiento de los centros poblados precordilleranos de la segunda región. Crisis cultural y colapso ecológico como factores detonantes del proceso." I Taller Internacional sobre Geoecología de Montaña, Stgo, pp. 195-204.

Mpodozis,C. 1986: Dinámica de los márgenes continentales activos. In: Seminarios de actualización de la Geología de Chile. Sernageomin. Stgo.

MOP 1987: Balance Hídrico Nacional 1:250.000.- Dirección General de Aguas, MOP, Stgo.

MOP 1991. Identificación y Caracterización de un Sistema de Unidades Físico Ambientales a Nivel Nacional: Descripción y Caracterización del Sistema Natural II Región. Convenio Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Departamento de Geografía, Universidad de Chile-Ministerio de Obras Públicas.

MOPT 1991 : Guía para la elaboración de estudios del medio físico: Contenido y Metodología. Ministerio de Obras Públicas y Transporte, Madrid, España, 572 p.

Mörner,N. 1992: Present El Niño-Enso events and past Super-ENSO events effects of changes in the earth's rate of rotation. Paleo ENSO Records Intern. Symp. (Lima, March) Extended abstracts, L. Ortlieb & J. machare (Eds.), ORSTOM-CONCYTEC, pp. 201-206.

Mostny,G. 1954: Peine un pueblo atacameño. Publicaciones N°4, Instituto de Geografía, Universidad de chile, Santiago.

Muñoz,I. 1989: El período formativo en el Norte Grande (1000 a.C. a 500 d.C.), In: Culturas de Chile Prehistoria, desde sus orígenes hasta los albores de la conquista. Ed. Andrés Bello, pp. 107-128.

Muñoz, J. & Vidal, F. 1991: Análisis de las rutas de nieve del país. Dpto de Hidrología, Sub-Departamento de Hidrología Aplicada, Ministerio de Obras Públicas. Stgo. Chile.

Muñoz,J. 1994: El código de aguas de la República de Chile, en el marco de una economía social de mercado. In: Uso eficiente del agua. H. Garduño y F. Arreguín (eds.) Ed. UNESCO-ORCYT, IMTA, Montevideo, Uruguay, pp. 323-332.

Nogamy,M. 1976: Altitude of the modern snowline and Pleistocene snowline in the Andes. Geographical reports of Tokyo Metropolitan University, N°11.

Niemeyer,H. 1979: "Estudio de Racionalización del área de riego del río Loa. " Dirección General de Aguas, MOP.

Niemeyer,H. & Cereceda,P. 1984: Hidrografía de Chile, Tomo VIII, Colección Geografía de Chile, IGM, Stgo.

Núñez,L., & Dillehay,T. 1978: Movilidad giratoria, armonía social y desarrollo en los Andes meridionales: Patrones de tráfico e interacción económica. Universidad del Norte, Antofagasta.

Núñez,L. 1980: Hipótesis de movilidad trashumántica en la Puna de Atacama: Quebrada de Tulán en Actas del Congreso de Nacional de Arqueología, Tomo II, San Juan, Argentina .

Núñez,L. 1985: Petroglifos y tráfico en el desierto chileno, en Estudios en Arte Rupestre, C. Castro (Ed) Museo chileno de Arte Precolombino, Santiago.

Núñez,L. 1992: "Cultura y conflicto en los oasis de San Pedro de Atacama". Ed. Universitaria, Stgo, Chile, 275 p.

Ojeda,J. 1995: Gestión y conservación de recursos hídricos en Minera Escondida Limitada. Actas IV Jornadas "Gestión de Recursos Hídricos en Zonas Aridas", Comité chileno para el Programa Hidrológico Nacional, UCN, Antofagasta, 22 p.

Oke,T. 1987: Boundary layer climates. Ed. Routledge, London & New York, 435 p.

Ortlieb, L. 1995: Paleoclimas cuaternarios en el Norte grande de Chile. In: Climas Cuaternarios en América del Sur, J. Argollo & Ph. Mourguiart (eds.), pp. 225-246.

Parada,M. 1987: Conservación de Flamencos en el Norte de Chile, Período Mayo 1985-Abril 1987. CONAF/Chile - New York Zoological Society/USA, Antofagasta.

Quinn,W. 1993: Three large-scale ENSO event, the El Niño, and other important features. Bull. Inst.franc.Et.andines, 22(1), pp. 13-34.

Quintanilla,V. 1977: Zonación altitudinal de la vegetación en el Norte árido chileno, a la latitud del Trópico de Capricornio. Rev.Norte Grande N° 5, pp. 17-39.

Radtke, U. 1991: Marine terraces as indicators of neotectonic movement: Studies from Chile and Argentina. Bamberg Geographische Schriften Bd. 11, Bamberg , pp. 59-65.

Rivera,M. 1980: Algunos fenómenos de la complementariedad económica a través de los datos arqueológicos en el área centro Sur Andina: La fase Alto Ramírez reformulada, en temas Arqueológicos del Norte de Chile, M. Rivera (ed) Antofagasta.

Rivera,T. 1987: Nomenclatura de El Niño según el número índice de cinco estaciones costeras. Boletín Comisión Permanente del Pacífico Sur. Stgo, N°21, pp. 9-18.

Rivera,A. 1992: Aplicación de un Sistema de Información Geográfica al estudio Topoclimático del Norte de Chile. Apunte docente para estudiantes de Geografía. Universidad de Chile, Santiago.

Romero,H. 1985: Geografía de los Climas. Colección IGM Stgo, Chile, 243 p.

Romero,H. & Rivera,A. 1994a: "Antecedentes Paleoambientales para el desarrollo sustentable de la región de Antofagasta, Chile". Review of the department of Geography, University of Bamberg, Germany (in press).

Romero, H. & Rivera,A. 1994b: "El Desarrollo sustentable del Norte de Chile y la crisis del agua". XV Congreso Nacional de Geografía. Universidad de Los Lagos, Osorno, noviembre 3-6, Anales de la Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas, pp. 62-69.

Romero,H. & Rivera,A. 1995a: Escasez y competencia por los recursos hídricos: Necesidad de una evaluación estratégica ambiental". Cuartas jornadas de trabajo Gestión de recursos hídricos en zonas áridas, Comité chileno para el programa hidrológico internacional. UCN, Antofagasta, 13 p.

Romero,H. & Rivera,A. 1995b: Régimen pluviométrico actual del altiplano de Antofagasta: Antecedentes para una evaluación paleoclimática. In: Climas Cuaternarios en América del Sur. J. Argollo & Ph. Mourguiart (eds), La Paz, Bolivia, pp. 215-223.

Romero,H., Rivera,A. & Ihl, M., 1996: La sustentabilidad ambiental y el desarrollo regional. Sustentabilidad ambiental del crecimiento económico chileno. Ed. O. Sunkel, CAPP, U. de Chile, pp.87-122.

Romero,H. & Rivera,A. 1996: Global Changes and Unsustainable Development in the Andes of Northern Chile. In: Umwelt Mensch Gebirge. Beiträge zur Dynamic von Natur-und Lebensraum. Jahrbuch der Geographischen Gesellschaft Bern. Band 59, pp. 103-110.

Rutlland,J., Aceituno,P. & Montecinos,A. 1994: Análisis comparativo de aspectos atmosféricos para los eventos de el Niño/Oscilación del Sur de 1982-83, 1986-87 y 1991-92. Departamento de Geofísica, UCH, Stgo.

Sayago,J., Collantes,M. & Arcuri,C. 1991: El glaciarismo Finipleistocénico-Holoceno y su relación con los depósitos clásticos pedemontanos en la región montañosa de Tucumán (Argentina) Bamberg Geographische Schriften, Bamberg, Germany, Bd. 11, pp. 155-169.

Sayer, A. 1985: Realism and Geography. The Future of Geography, Ed. by R. Johnston, pp. 159-173.

Schmidt, D. 1995: Projektteil Klimatologie. In : Projektteil klimaökologische Gradienten in Hochgebirgen. Abschlubbericht DFG- Projekt Klimaökologie Atacama, September. pp. 4-18.

Schiappacasse,V., Castro,V. & Niemeyer,H. 1989: Los desarrollos regionales en el Norte Grande (1000 a 1400 d.C.) In: Culturas de Chile Prehistoria, desde sus orígenes hasta los albores de la conquista. Ed. Andrés bello, pp. 181-220.

Seltzer,G. 1991: " Late-Quaternary Glaciation and Climate Change in the central andes". Mountain Research and Development. U. California (Berkeley) USA, Vol. 13, N° 2, pp. 129-138.

Thomas,C., Massone,C. & Benavente,A. 1984: Sistematización de la alfarería del área de San Pedro de Atacama, en Revista Chilena de Antropología 4, Santiago.

Turner, B. 1989: The Specialist-Synthesis Approach to the Revival of Geography: The Case of Cultural Ecology. Annals of the Association of American Geographers, 79 (1), pp. 88-100.

UNESCO 1986: Agua, vida y desarrollo. Montevideo, Uruguay, 105 p.

Uribe,G. 1996: Geografía Política. Verdades y falacias de fin de milenio. Ed. Nuestro Tiempo, México, 319 p.

Veit,H. 1996: Aspectos geomorfológicos y pedológicos sobre cambios climáticos durante el cuaternario superior en el Norte Chico, Chile. I Taller Internacional de Geoecología de Montañas y Desarrollo sustentable de los Andes del Sur, Stgo, pp. 43-52.

Villagrán.C., Armesto,J. & Kalin Arroyo,M. 1981: Vegetation in a high Andean transect between Turi and Cerro León in Northern Chile. Vegetatio 48, pp. 3-16.

Villagrán,C. 1991: El Cuaternario en Chile: Evidencias de cambio climático. In: Climas Cuaternarios en América del Sur, J. Argolla & Ph. Mourguiart (eds.), pp. 31-57.

Villalobos,S. 1979: La economía de un desierto. Ed. Nueva Universidad, Stgo, 278 p.

Vuille,M. 1993: " Hydrological Investigations in the North Chilean Altiplano Using Landsat - MSS and TM Data". Geocarto International. A Multi-disciplinary Journal of Remote Sensing. Hong Kong, Vol. 8 (3), pp. 35-45.

Vuille,M. 1996: Zur raumzeitlichen Dynamik von Schneefall und Ausaperung im Bereich des südlichen Altiplano, Südamerika. PHd Thesis, Institute of Geography, University of Bern, Switzerland, 118 p.

Zapater,H. 1977: Cinco relaciones sobre San Pedro de Atacama. Rev. Norte Grande, PUC N° 5, pp. 49-63.