ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

MULTIESCALARIDAD, RELACIONES ESPACIALES Y DESAFÍOS ECOLÓGICO-SOCIALES DE LA CLIMATOLOGÍA SUDAMERICANA. El caso del Desierto de Atacama.

ROMERO, Hugo - hromero@uchilefau.cl
Dept de Geografia - Universidad de Chile / Chile
MENDONÇA, Magaly - magaclimatologica@gmail.com
Dep de Geografia - Universidad Federal de Santa Catarina / Brasil
MENDEZ, Manuel - mmendez@gmail.com
Deptde Geografia - Universidad de Chile / Chile
SMITH, Pamela - pamelasmit@gmail.com
Dept de Geografia - Universidad de Chile / Chile

Resumen
Desde una geográfica perspectiva multiescalar son analizados cualitativamente los factores y componentes que otorgan especificidad climática al Desierto de Atacama, el más árido del mundo y las montañas y altiplanos andinos de las cuales dependen sus fuentes de agua, la ocupación humana y las actividades económicas, especialmente la minería, que constituye la principal base del crecimiento económico de este país. El monzón sudamericano, que asocia las masas y flujos de aire del Interior del continente con el altiplano y la costa del océano Pacífico actúa como el componente macroclimático más relevante, mientras a meso escala son las condiciones topoclimáticas, asociadas a la altura, exposición y orografía de los relieves las que determinan la disponibilidad de agua en los paisajes. La demanda de recursos hídricos generada por el auge minero y las estrategias de adaptación de las comunidades indígenas ante los cambios y variabilidades Climáticas condicionan el significado de los socioclimas, en que los elementos naturales y socioeconómicos deben ser integrados.
Palabras claves: Multiescalaridad, climatología, Monzón Sudamericano, Desierto de Atacama

MULTIESCALARIDADE, RELAÇÕES ESPACIAIS E DESAFIOS ECOLÓGICO-SOCIAIS DA CLIMATOLOGIA SULAMERICANA. O caso do Deserto de Atacama.

Resumo
A partir de uma perspectiva geográfica são analisados à multiescala fatores qualitativos e componentes que dão especificidade ao clima no deserto de Atacama, o mais seco do mundo, e montanhas e planaltos andinos dos quais dependem as fontes de água, a ocupação humana e as atividades econômicas, especialmente a mineração, que é a principal base para o crescimento econômico neste país. A monção da América do Sul, que associa as massas e os fluxos de ar do interior do continente, com o altiplano e as costas do Pacífico atua como o componente macroclimático mais importante, enquanto na mesoescala, as condições topoclimáticas, associadas à exposição, altitude e orografia dos relevos determinam o conteúdo de água nas paisagens. A demanda por água gerada pelo boom de mineração e as estratégias de adaptação das comunidades indígenas ante a mudança e variabilidade climática condicionam o significado dos socioclimas, cujos elementos naturais e socioeconômicos devem ser integrados interdisciplinaria e escalarmente.
Palavras Chave: Multiescalaridade, climatologia, Monção da América do Sul, Deserto do Atacama

MULTI-SCALES, SPATIAL RELATIONSHIPS AND ECOLOGICAL-SOCIAL CHALLENGES OF SOUTHAMERICAN CLIMATOLOGY. The case of the Atacama's desert.

Abstract
From a geographical perspective are multiscalarly analized qualitative factors and components that give specificity to the climate of the Atacama Desert, the driest in the world, and to Andean mountains and plateaus from which depend on water sources, human settlement and economic activities, especially mining, which is the main basis for economic growth of Chile. The South American monsoon, which brings together air masses and flows from continental inland, towards altiplanos and the Pacific coast, acts as the most important macroclimatic component, while meso-scale topoclimatic conditions, associated with exposure, altitude and topography of the relieves, determine the water in the landscapes. The demand for water generated by mining boom and the adaptation strategies of indigenous communities to cope with climate change and variability provide the meaning and significance to socioclimates, which natural and socio-economic elements should be interdisciplinary and scalarly integrated.
Keywords: Multiscalarity, Climatology, Tropical Monzoon, Desierto de Atacama.

Introducción

El Desierto de Atacama, localizado en el Norte de Chile, constituye una paradoja geográfica en la medida que conjuga por un lado, lugares donde nunca llueve y por lo tanto el agua no es sólo el recurso natural más escaso, sino que constituye una severa limitación para su ocupación biológica y humana; mientras por otro lado, concentra una las mayores riquezas minerales del mundo respecto a cobre, molibdeno, plata y oro, cuya explotación requiere grandes cantidades de recursos hídricos y atrae a las más grandes inversiones económicas de las empresas transnacionales. Adicionalmente, ha

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

sido testigo de la más antigua ocupación humana por parte de las etnias aymaras y atacameñas que se instalaron en esos parajes hace más de 10.000 años.
El Desierto de Atacama es mucho más que el paisaje árido más seco del mundo en la medida que constituye, al mismo tiempo, el territorio chileno más relevante para explicar el nivel de desarrollo socio-económico alcanzado por este país, uno de los primeros de la región latinoamericana en desarrollo humano, ingreso per cápita y menores tasas de pobreza (aunque también mayores tasas de desigualdad socioeconómica).
La climatología del Desierto de Atacama es uno de sus rasgos geográfico-ambientales más relevantes y resultado de un complejo y dinámico sistema de relaciones multiescalares, comandadas a macroescala por el Monzón de América del Sur y sus interacciones espacio-temporales (teleconexiones) con la Oscilación del Sur (Fenómenos El Niño-La Niña causados por las diferencias de presión atmosférica en ambas riberas del Océano Pacífico). Este complejo sistema océano-atmósfera, explica a su vez, entre múltiples y variados efectos regionales y locales sobre los diversos paisajes climáticos del continente-, la ocurrencia de lluvias y nevazones sobre las montañas y altiplanos andinos, que bordean por el oriente el Desierto de Atacama, que aunque muestran una gran irregularidad pluviométrica interanual, constituyen, sin embargo, las únicas fuentes de agua dulce que hacen factible la ocupación humana de estos territorios.
A mesoescala, la topoclimatología de cuencas destaca el rol de factores geográficos más específicos de los lugares, tales como la altura, exposición y coherencia del relieve, así como la continuidad espacial de los sistemas de drenaje superficiales y subterráneos entre las tierras altas y bajas, que hace que el agua alcance las depresiones interiores, e incluso la costa del hiperárido Desierto de Atacama, permitiendo el crecimiento de ciudades como Arica, Iquique, Antofagasta, Calama y Copiapó y los asentamientos humanos de oasis como Quillagua, Pica o San Pedro de Atacama. A escala local, hondonadas y cerros, laderas y planicies, salares y lagunas, valles y mesetas, generan condiciones topoclimáticas que son percibidas y pretenden ser permanentemente apropiadas por los inversionistas públicos y privados y por las comunidades indígenas y rurales, generando un territorio de competencias y colisiones –especialmente por la posesión del agua-, que aún espera un ordenamiento por parte de las autoridades y políticas públicas, que asegure su sustentabilidad en medio de un proceso generalizado de privatizaciones (de las tierras, minerales, aguas, paisajes, culturas y biodiversidad). La dialéctica territorial entre los espacios geoestratégicos del capital transnacional minero y los espacios agrícolas o circuitos de trashumancia ganadera de las comunidades indígenas expresan finalmente una humanización de los climas, o la generación y apropiación de socioclimas, cuyas transformaciones desaprensivas pueden implicar el desaparecimiento de la factibilidad de ocupación del Desierto de Atacama en el corto plazo.
El análisis climático sudamericano no resulta posible sino se cuenta con una perspectiva multiescalar y ecológica social (o ecológica política), para lo cual ceñirse a las fronteras de las disciplinas o de los países, es lo menos adecuado. Los desafíos del desarrollo de Chile, basados grandemente en la suerte del Desierto de Atacama, como muchos otros desafíos semejantes planteados en Sudamérica, exigen un esfuerzo de investigación científica coordinado e integrado en redes, entre los diversos países, cuya circulación atmosférica manifiesta una extraordinaria unidad, que se impone sobre visiones geopolíticas desgastadas que insisten en fortalecer las fronteras y la separación geográfica de nuestros países.

1. Materiales y métodos

Las actividades llevadas a cabo para este trabajo se desarrollaron en dos fases. En la primera de ellas se abordaron las características climáticas a escalas globales, regionales y locales. A escala global se han utilizado Modelos de Circulación General de la Atmósfera. A escala regional, se consideran métodos y modelos de downscalling y scaling up (escalamiento hacia abajo y hacia arriba), mediante los primeros de los cuáles, los modelos de Circulación Atmosférica General, que cubren grandes espacios, deben ser complementados con redes locales de estaciones meteorológicas a escalas de cuencas y subcuencas, con la finalidad de sistematizar el rol de los factores topoclimáticos,

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

especialmente de la continentalidad, elevación, presencia de montañas, quebradas y planicies andinas.

La falta de estaciones meteorológicas con observaciones de largo plazo constituye una limitación insuperable para referirse a las tendencias de cambio y variabilidad climática en el Desierto de Atacama. Son sólo cinco las estaciones meteorológicas que cuentan con series de datos de temperatura de más de 30 años y pertenecen a la Dirección Meteorológica de Chile. A pesar de su denominación, este organismo en realidad concentra su actuación en el conocimiento meteorológico que facilita la operación de los aeropuertos y posee una mal entendida definición de servicio público, vendiendo a precios inalcanzables datos que son recopilados con los tributos que pagan todos los chilenos (sistema de doble pago no permitido en la mayoría de los países) De norte a sur corresponden a Arica (18°20´S.; 58 m.s.n.m.), Iquique (20°32´S.; 52 m.s.n.m.), Antofagasta (23°27´S.; 135 m.s.n.m.), Calama (23°30´S.; 2270 m.s.n.m) y Copiapó (27°18´S.; 297 m.s.n.m.). Las tres primeras corresponden a ciudades costeras y no pueden de ninguna manera ser extrapoladas para conocer las condiciones continentales ni altiplánicas de los climas, que son totalmente diferentes en términos de oscilación térmica diaria y anual, humedad relativa, precipitaciones, nubosidad e insolación. Si bien la ciudad de Calama se ubica al interior del Desierto y sobre los 2000 metros de altura, sólo registra muy levemente los climas de alturas o altiplánicos, que se elevan por sobre 4000 m.s.n.m. Las estaciones de Copiapó y Calama muestran series de datos con vacíos que, en el caso de la primera, significan la inexistencia de éstos a partir del año 2005, que corresponde al abandono de las operaciones de navegación aérea en dicho lugar. Increíblemente, en Chile como en numerosos países del continente se ha producido el abandono y desmantelamiento de estaciones meteorológicas, por considerarlas inútiles y costosas frente a los modelos económicos neoliberales aplicados, exactamente cuándo el mundo redescubre la importancia de los cambios climáticos y sus impactos sociales.

Para abordar el estudio del comportamiento pluviométrico del corazón y borde altiplánico del Desierto de Atacama se cuenta con más de veinte estaciones que se adicionan a las cinco consideradas para las temperaturas. De este total de estaciones, han sido seleccionadas para el análisis aquellas que cuenten con series de datos completas a partir del año 1980 o bien que los vacíos de información que presenten no superen los cinco años.

En la región de Tarapacá, que sin duda es el centro geográfico y ambiental del Desierto de Atacama, el número de estaciones pluviométricas disponibles se reduce a cinco y ninguna de ellas se encuentra localizada bajo los 2000 m.s.n.m., salvo Iquique, que corresponde a una estación costera y que al igual que Arica – ubicada a similar altura, pero a distinta latitud -, prácticamente no registra precipitaciones.

A continuación, las características multiescalares de la variabilidad climática, se relacionan espacialmente con los procesos y fenómenos mesoescalares socioeconómicos que se desarrollan en el altiplano chileno. Para esto último se consideró la espacialización de los yacimientos mineros y los paisajes pertenecientes al Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Estado (SNASPE), como parques nacionales y reservas naturales. Los proyectos de inversión económica han sido obtenidos del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), clasificándolos por sectores. La información y localización de los yacimientos mineros por tipo, corresponde a los mapas publicados por el Ministerio de Minería. En este mismo sentido, y a microescala (subcuenca), se reconocen los mecanismos de adaptación del pastoreo que practica la comunidad indígena de Caquena ante la variabilidad hidrometeorológica, localizada en la subcuenca del río Cosapilla, región de Arica y Parinacota. Esta información fue levantada mediante entrevistas sostenidas con la comunidad, llevadas a cabo en enero del año 2011, para posteriormente ser espacializadas junto con la red hídrica, bofedales (pastizales húmedos de altura), topografía, entre otros antecedentes físico-naturales.

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

2. Resultados y Discusión

2.1. Macroclimatología de las relaciones entre la circulación atmosférica altiplánica y amazónica.

La alta Cordillera de los Andes representa una frontera para la circulación atmosférica, separando casi completamente el sector Este o continental, dependiente de la Amazonia, del Oeste u oceánico, asociado al Océano Pacífico. El tramo de la Cordillera de los Andes que se extiende entre las latitudes 18° y 27°S – abarcando desde el límite norte de Chile con Perú hasta el límite sur del Desierto en la Región de Atacama - permite el desarrollo de una zona de condiciones climáticas específicas principalmente controladas por la altitud (3700 m.s.n.m., en promedio). Su posición latitudinal en las zonas inter y subtropicales y su localización marginal en el borde occidental del altiplano andino propiamente tal (ACEITUNO, 1996), le otorga importantes niveles de especificidad climática y lo distingue completamente de las demás regiones de Chile. Los sistemas atmosféricos que se desplazan desde la cuenca del Amazonas influencian la variación de los valores de la humedad atmosférica y de las precipitaciones, que se registran en verano. En el invierno, cuando predominan los vientos del Oeste, la humedad relativa es menor (ACEITUNO, 1996; ROMERO, 1985) y si bien, en general en las regiones Nor-Orientales del altiplano andino precipita en otras fechas, para el sector chileno, las lluvias y nevazones se registran casi exclusivamente en el verano

2.1.1 Variabilidad estacional

La ondulación de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), actúa transfiriendo calor y humedad desde los niveles inferiores de la atmósfera de las regiones tropicales hacia los niveles superiores de la tropósfera de latitudes medias y altas (FERREIRA, 2011). La ZCIT puede avanzar desde 14ºN en el mes de agosto-septiembre a los 2ºS en los meses de marzo-abril; sin embargo, si alcanza hasta 5ºS, proporciona elevados montos de precipitaciones en el norte y nordeste brasileño. Un mayor tiempo de permanencia de la ZCIT en su posición más meridional puede determinar la calidad de la estación lluviosa en las áreas más australes bajo su alcance. Esta situación fue verificada en 2008, proporcionando elevados totales de precipitaciones cerca de la costa del nordeste brasileño (MELO, CAVALCANTI Y SOUZA, 2009) y en el altiplano andino, donde los totales de precipitaciones variaron desde casi 100 a más de 200 mm , caracterizando un año lluvioso.

El fuerte calentamiento convectivo (debido a la transformación de calor latente en sensible) de la Amazonía en verano, resulta en un sistema típico y cuasi estacionario de circulación atmosférica en los altos niveles, conocido como la Alta de Bolivia (AB), asociada, en los bajos niveles atmosféricos a la Baja del Chaco. En la estación cálida, la AB se posiciona entre Bolivia y el estado brasileño de Mato Grosso del Sur, después de localizarse sobre Perú y oeste da Amazonía (ALVES, 2009). El aumento de la convección continental está relacionado con el avance meridional de la ZCIT, que en conjunto con la Corriente del Jet Subtropical y el establecimiento de la AB atraen más hacia el sur el cinturón ecuatorial de los vientos del Este. En el corazón del verano ocurre una transición del flujo del oeste a uno del este a 200 hPa cerca de los 20ºS. La concentración de las lluvias en el altiplano andino en los meses estivales depende del contenido de humedad de la planicie continental ubicada hacia el este. Sin embargo, la humedad continental es igualmente alta en la estación del invierno, lo que demuestra que la disponibilidad de humedad atmosférica está controlada por cambios en la dirección del transporte del aire y no por el contenido de humedad de la región de origen (GARREAUD, VUILLE y CLEMENT, 2003).

Si la planicie continental situada al este de la Cordillera de los Andes es la fuente de humedad para las precipitaciones registradas en el altiplano y el suministro de ésta es estacional, ¿Qué mecanismos llevarían a la humedad desde el este para el oeste, sabiendo que el transporte preferencial de las masas de aire en superficie ocurre en sentido inverso, es decir del oeste para el este, además de considerar necesariamente las posibilidades que éstas traspasen las montañas de la cordillera, que pueden superar los 6000 m de altura? Gan, Rodrigues y Rao (2009) argumentan sobre la existencia de una circulación de monzón sobre América del Sur, basados en la definición de Moran y

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

Morgan (1986) para los cuales se trata de reversiones estacionales en la dirección de los vientos que causan veranos lluviosos e inviernos secos, lo que se verifica tanto en la región Centro Oeste del Brasil como en el Altiplano andino. En el caso de la región brasileña se caracteriza por el registro de seis meses secos y seis meses lluviosos, con 90% de las lluvias ocurriendo durante el verano. Mientras tanto, los vientos de los bajos niveles atmosféricos no revierten sus direcciones durante los cambios de estación. Los autores explican que el desarrollo del sistema del monzón se inicia durante la primavera, debido al aumento de la convección sobre el noroeste de la cuenca Amazónica, que avanza en dirección al sureste de Brasil en noviembre y causa máximos totales de precipitaciones entre los meses de diciembre y febrero, por el desarrollo de una convección profunda sobre la mayor parte de la región tropical de América del Sur. Citan trabajos de Gan, Kousky y Ropelewsky (2004) que al estudiar los períodos de transición de la estación seca para la lluviosa y vice versa encontraron variaciones en la circulación atmosférica, como la inversión de los vientos zonales al inicio y término de la estación lluviosa. Como resultado de sus análisis muestran que los vientos son del este (oeste) en los bajos (altos) niveles atmosféricos durante la estación seca, y del oeste (del este) en la estación lluviosa. O sea, en la estación húmeda los vientos de los altos niveles atmosféricos, suministran el aire húmedo de la convección tropical profunda que ocurre en la planicie continental, posibilitando las precipitaciones en el corazón del verano a través del llamado "invierno altiplánico o invierno boliviano" (que tiene lugar en los meses de diciembre, enero y febrero), rasgo típico y único de los climas altiplánicos en un país como Chile, dónde las precipitaciones ocurren casi exclusivamente en la estación del invierno (mayo, junio y julio), por la activación de los frentes polares que se desplazan sobre el océano Pacífico. Además de eso, el flujo de humedad que en la estación seca es perpendicular a la Cordillera de los Andes al norte de los 10º S, diez días antes del inicio de la estación lluviosa, comienza a girar para el suroeste, favoreciendo el transporte de la humedad de la Amazonía para el Centro-Oeste brasileño (GAN, RODRÍGUES y RAO,2009).

La circulación del monzón sudamericano (como sucede con su homólogo asiático), está relacionada con las diferencias de calentamiento entre tierras y mares, que en los meses más calientes contribuyen para la formación de un centro de baja presión relativa sobre el continente, creando un gradiente horizontal de presión que transporta el aire húmedo oriundo del océano para el continente, donde en contacto con la superficie recalentada, asciende, se enfría adiabáticamente y condensa su humedad, liberando calor latente que intensifica la convección y las precipitaciones. En los altos niveles atmosféricos, esta porción de aire diverge y desciende sobre el océano más frío (las aguas subantárticas del Pacífico transportadas por la Corriente de Humboldt que alcanzan la superficie por activos procesos de surgencia (*upwelling*)), completando la circulación del este al oeste, dinámica que sobre la región central de América del Sur caracteriza la circulación típica de los monzones.

La reversión estacional de los vientos, otra característica de los monzones, se presenta solo en relación a los vientos zonales medios, con dirección del este en los bajos niveles (hasta 800 hPa) y con vientos del oeste en los niveles atmosféricos medios y altos antes del inicio de la estación lluviosa. Esta última tiene inicio y finaliza exactamente en el momento en que ocurre la inversión en la dirección de los vientos. Otras definiciones no aceptan que América del Sur tenga una circulación de monzones (GAN, RODRIGUES y RAO, 2009), debido a que en el invierno no se establece un centro permanente de alta presión sobre el continente como ocurre en la región asiática.

En el verano, las lluvias en el altiplano andino tienden a concentrarse en una semana, seguidas por un período de estiaje de la misma duración. Las tempestades convectivas se organizan a mesoescala, abarcando los Andes Centrales y también a escala topoclimática, diferenciando el comportamiento de las mesetas, laderas y ejes de drenaje fluviales de cada una de las cuencas altiplánicas. La condición episódica de las lluvias demuestra un incremento de la humedad que permite a las corrientes ascendentes locales generar precipitaciones. Los vientos zonales tienen una fuerte relación con los húmedos del este y los secos del oeste. Flujos zonales anómalos han sido asociados con cambios en la posición e intensidad de la AB con centro cerca de los 15ºS y 65ºW

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

durante el verano, que a su vez se relaciona con el cuasi estacionamiento de las ondas de Rossby que arriban desde las latitudes medias del Pacífico Sur y se amplifican sobre América del Sur subtropical.

Las anomalías de precipitación que ocurren simultáneamente en el Altiplano, Sur de Bolivia y centro de Argentina tienen lugar en discordancia con el lado este del continente y del océano Atlántico subtropical. El transporte de humedad es producido por la circulación regional que desde el este de la vertiente de los Andes aspira el aire húmedo de la capa limite atmosférica (CLA) de la planicie continental. Lo mismo ocurre en el lado oeste con el transporte de aire seco del desierto costero hasta el altiplano. Estas circulaciones de escala regional son desencadenadas por el calentamiento de las vertientes cordilleranas, pero el flujo de gran escala puede modular su intensidad y duración impulsando la mezcla en el tope de la CLA, y sobre los Andes Centrales se torna más fuerte o más débil el flujo medio sobre la vertiente (occidental) y los vientos del bajo nivel de la CLA, aumentando el transporte de humedad de la planicie continental que alimenta la convección profunda. Las precipitaciones también pueden surgir de la variabilidad de las lluvias sobre la depresión al este de los Andes, pero alcanzan sólo a la mitad del Altiplano y ocurren en escalas de tiempo más cortas de 2 a 5 días (GARREAUD, VUILLE y CLEMENT, 2003).

Gan, Rodrigues y Rao (2009) han señalado que el monzón no es continuo durante toda la estación lluviosa, teniendo una secuencia de fases activas e inactivas, como la precipitación episódica del Altiplano descrita por Garreaud, Vuille y Clement (2003). Las fases activas e inactivas varían en frecuencia e intensidad de un año para otro, por las cuales la estación lluviosa puede presentar lluvias por sobre o bajo lo normal. Esta característica del monzón sudamericano identifica por lo menos uno de los mecanismos actuantes en la producción de precipitaciones en el Altiplano. Aún más, cuando el monzón está en la fase activa ocurren días con poca o con mucha precipitación. Los períodos asociados al viento zonal del este en los bajos niveles son secos, mientras que aquellos asociados a los vientos zonales del oeste son lluviosos (GAN, RODRÍGUES E RAO, 2009). En los períodos en que los vientos soplan del oeste en los niveles bajos, en altura son del este y constituyen flujos zonales que llevan humedad al Altiplano. Para los referidos autores los períodos secos pueden estar asociados a la intensificación de las Corrientes de Chorro de los Bajos Niveles (al este de los Andes). La fase activa también puede estar asociada a la actuación de sistemas sinópticos como sistemas frontales y vórtices ciclónicos en los altos niveles, que embutidos en la Zona de Convección Tropical (ZCT) aumentan el total de las precipitaciones en la región monzónica. La ausencia de los sistemas sinópticos disminuiría el total de precipitaciones caracterizando la fase inactiva. En el período activo también ha sido observada una anomalía negativa en el campo de la presión atmosférica, anomalía ciclónica en la circulación en bajos niveles y anomalía anticiclónica en la circulación de altos niveles, observándose lo opuesto en el período inactivo. Anomalías de los vientos del oeste han sido asociadas al período activo y las del este al período inactivo del monzón, desde la región amazónica hasta la región Sudeste del Brasil (Figura 1).

Los aportes de la ZCIT sobre la climatología del altiplano pueden ser reforzados por las Corrientes del Chorro de Bajos Niveles de América del Sur, que conforman un fuerte flujo meridional de aire tropical observado en la baja atmósfera (3 km) al Este de los Andes. Este viento, que alcanza velocidades máximas en torno a los 2000 m actúa como una correa transportadora de humedad desde las regiones tropicales a las subtropicales. La humedad es oriunda de los flujos de vientos alisios que pasan sobre Amazonía y de la evapotranspiración de la selva. En el desplazamiento de las corrientes de chorro del Este al Oeste, sufren cambios en la dirección, debido al bloqueo ejercido por la cordillera, corriendo paralelamente a ella. En el verano, entre noviembre y febrero, los flujos de la Amazonía están más intensificados, mientras que en invierno son más débiles y la humedad transportada hacia el sur es de origen oceánico asociada al ciclo anual de la alta subtropical del Atlántico Sur (MARENGO, AMBRIZZI y SOARES, 2009).

La Corriente de El Chorro de Bajo Nivel aumenta la convergencia del flujo de humedad y las precipitaciones en la región de la baja térmica del Chaco, sobre la cual, en los altos niveles atmosféricos se observa la AB próxima a la región de precipitación máxima. La

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

subsidencia atmosférica sobre el Pacífico también está asociada con la circulación de los monzones, creando una capa de estratos cúmulos en el lado oeste de América del Sur, que se asemeja a las características observadas en las regiones del monzón de otras partes del globo (figura 2) (GAN, RODRIGUES y RAO, 2009).

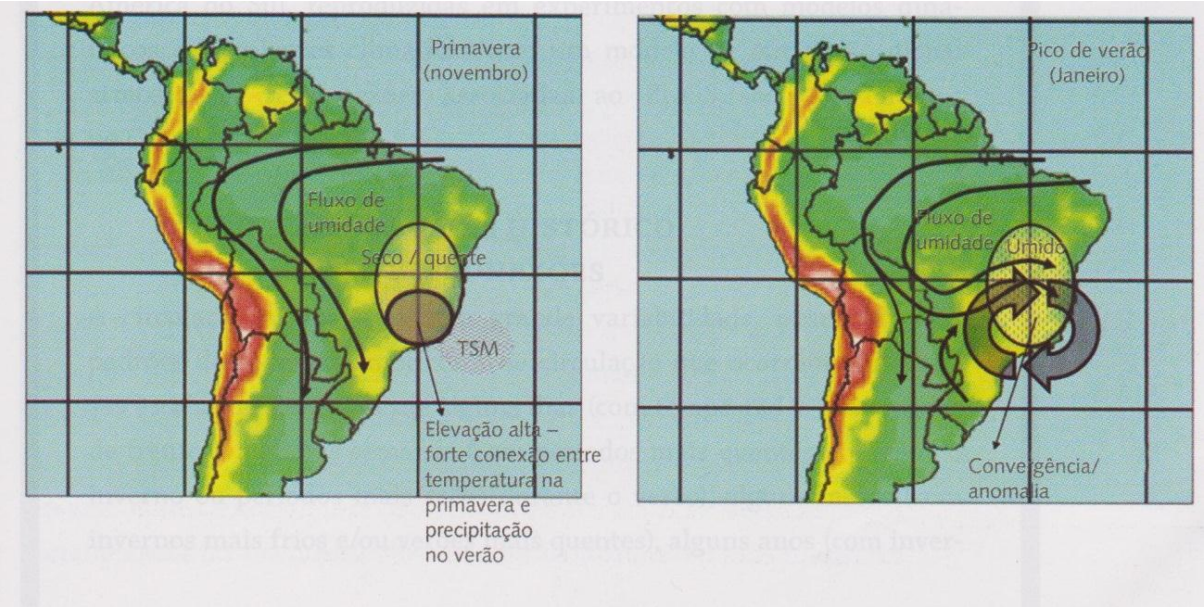


Figura1. Evolución esquemática de los flujos de humedad de las masas de aire de la primavera seca (izquierda) para el verano lluvioso de enero (derecha). El desplazamiento de aire desde el noreste en los bajos niveles asociados a la Alta Subtropical del Atlántico Norte, entra en la región tropical de América del Sur causando el cambio del viento del noreste para noroeste, debido en parte al efecto de la Cordillera de los Andes y convergiendo para la llanura central de América del Sur, donde se encuentra la Baja del Chaco.
Fuente: Gan, Rodrigues y Rao, 2009, adaptada de Grimm, Pal y Giorgi, 2007.

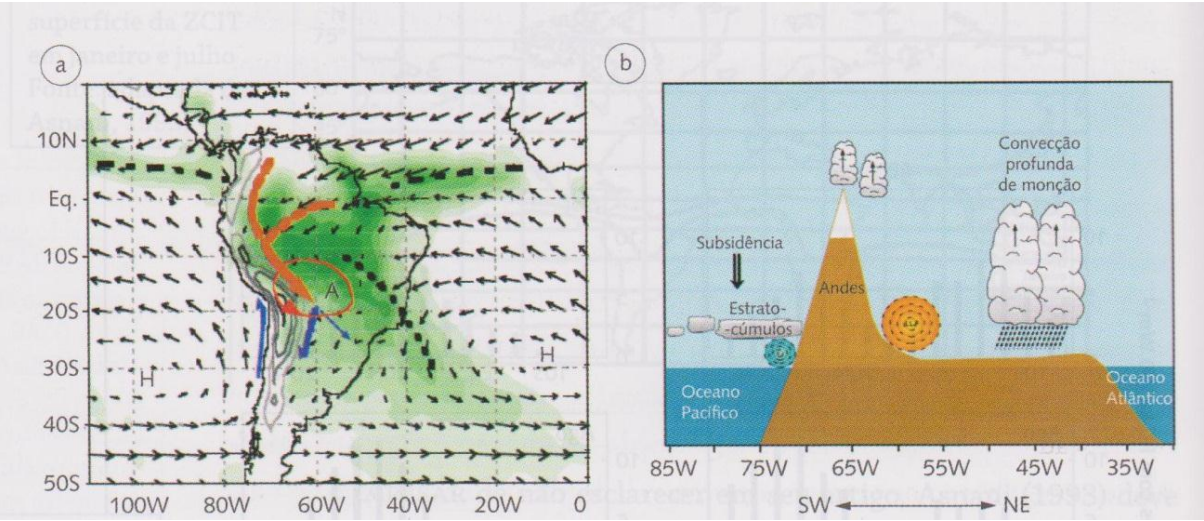


Figura 2.(a) Esquema ilustrativo del sistema de monzón en América del Sur. La parte sombreada indica las precipitaciones y líneas de trazo las zonas de convergencia. Los vectores menores indican el viento en los bajos niveles (900 hPa); el vector mayor indica la Corriente de Chorro de los Bajos Niveles; H indica los anticiclones subtropicales y A la Alta da Bolivia. (b) Esquema de la sección vertical del monzón de América del Sur sobre una línea noreste-suroeste de este continente.
Fuente: Compilado de Gan, Rodrigues y Rao, 2009 apud Mechoso *et al.*, 2005.

Las anomalías de vientos del este observadas en la temporada de lluvias representarían una disminución en la fuerza de El Chorro de Bajo Nivel en la dirección del sureste de

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

Brasil y un aumento de la misma en la dirección del sur de Brasil (GAN, RODRÍGUES y RAO, 2009). Jones y Carvalho (2002) también observaron un campo dipolar en la anomalía positiva de precipitación entre las regiones centrales y del noroeste de América del Sur. En la fase activa del monzón (anomalías de vientos del oeste), se observaron anomalías positivas de precipitación en la región del centro de Sudamérica y negativas en la región noroeste. Lo contrario ocurrió durante el régimen de vientos del este, tanto en la región noroeste del continente como en el Altiplano, con registro de anomalías positivas de precipitación (GAN, RODRIGUES y RAO, 2009).
La ZCIT en el Océano Pacífico, al inicio de la temporada de lluvias, que se encuentra aproximadamente a 10ºN, actúa en la desestabilización de la atmósfera y la organización de la convección sobre el continente, específicamente la región noroeste de la Amazonía. Esta convección sobre el continente comienza a extenderse desde el noroeste hacia el sureste, desplazándose en dirección sureste a noroeste hacia el final de la estación de lluvias, cuando está conectada a la ZCIT del Atlántico (GAN, RODRIGUES y RAO, 2009). Es decir, la precipitación resultante de la circulación del monzón de América del Sur se asocia con la ZCIT del Atlántico y del Pacífico, así como con las Corrientes de Chorro de Bajos Niveles, integrando la circulación amazónica y altiplánica, demostrando la importancia de la primera como uno de los más relevantes controles macroclimáticos de Sudamérica.

2.1.2 Variabilidad interanual

La precipitación en los Andes Centrales muestra una fuerte relación lineal con los vientos zonales de 200 hPa sobre el Altiplano, es decir, los veranos húmedos (secos) están relacionados con los flujos medios del este (oeste) en la troposfera superior, lo que sugiere que los mecanismos responsables de episodios húmedos en la escala intraestacional también actúan a escala interanual. Hay veranos que registran una mayor proporción de días del viento del este y por lo tanto de lluvias. La variabilidad interanual de las precipitaciones se expresa, por lo tanto, principalmente en un incremento en el número de días de lluvia (secos) en la temporada de lluvias y no en una mayor (menor) intensidad de las precipitaciones. Las anomalías de viento zonal y el comportamiento del Océano Pacífico no son independientes. Los vientos del nivel superior son parte de la amplitud de la respuesta atmosférica al patrón espacial de la temperatura superficial del mar (TSM) en el Pacífico Tropical y proporcionan la conexión física entre la forzante oceánica y el clima de los Andes centrales. Las correlaciones entre las series temporales de precipitación del Altiplano y la TSM contemporánea del Pacífico, a la altura geopotencial de 200 hPa y los vientos, muestran una influencia significativa de El Niño Oscilación del Sur (ENSO) en la precipitación registrada en los meses de diciembre, enero y febrero en el Altiplano (Figura 3). Existe una relación significativa entre la precipitación en el Altiplano y las anomalías en los vientos zonales antes y después de El Niño, lo que es resultado de un fuerte gradiente de presión entre las latitudes tropicales y subtropicales del sur, consistente con las relaciones este/húmedo y oeste/seco derivadas de la escala sinóptica. Con el enfriamiento de la zona tropical del Pacífico (Fenómeno La Niña) hay un estrechamiento de la troposfera tropical y por lo tanto un mayor aumento en el flujo del este hacia el Altiplano, en respuesta a las diferencias de presión y temperatura entre las latitudes tropicales y subtropicales del sur, revirtiendo el patrón durante los veranos secos. Por lo tanto la disponibilidad de humedad en las tierras bajas tropicales no es un factor dominante para regular la precipitación en el Altiplano (GARREAUD, VUILLE y CLEMENT, 2003).

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

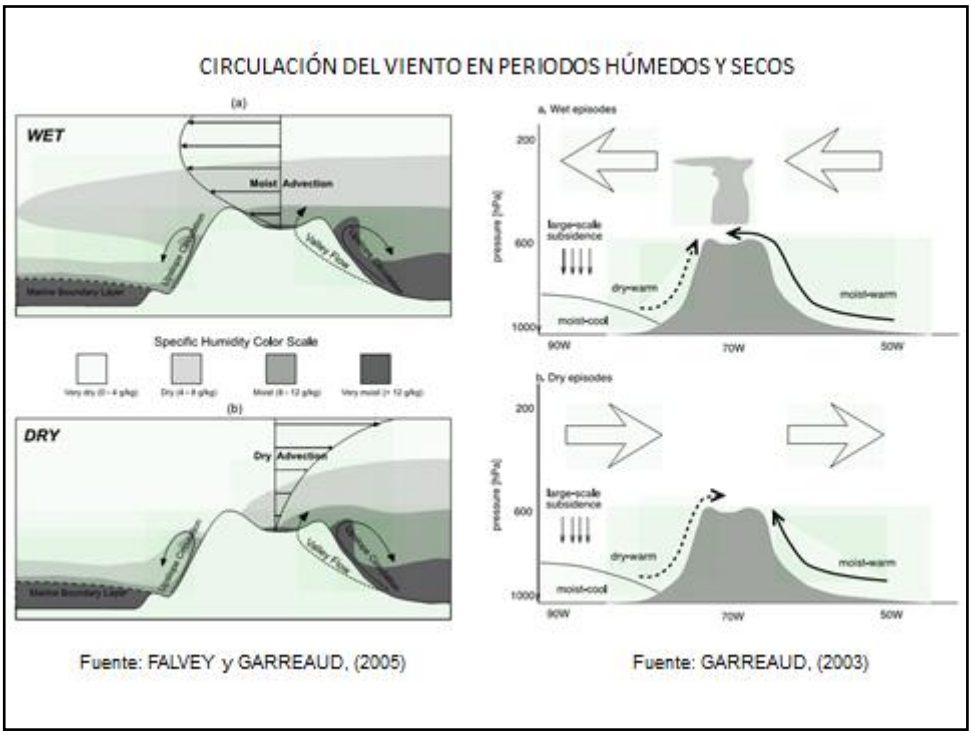


Figura 3. Dirección de los flujos atmosféricos de gran escala sobre la Cordillera de los Andes en los años El Niño (a) y La Niña(b), influenciado el transporte de humedad y las precipitaciones sobre el Altiplano.

Una evidencia de la contribución de las corrientes de Chorro a la convección de las masas de aire en el altiplano fue constatada por Lau y Zhou (2000) considerando una gran reducción de las precipitaciones sobre la Amazonía, durante El Niño de 1997-98, asociada al desplazamiento hacia el sur de la circulación monzónica del verano de América del Sur y de sus sistemas causantes de lluvias. En esta situación, la Alta de Bolivia fue hidrostáticamente aumentada por un camellón de altos niveles atmosféricos que se extendía desde la región de El Niño-3, en el Pacífico, hasta el altiplano andino. Esto indicaba que un intenso Chorro de Bajos Niveles penetró hasta los extra trópicos y al encontrarse con los chorros subtropicales, generaron condiciones dinámicas propicias para un aumento de la convección en el altiplano (MELO, CAVALCANTI y SOUZA, 2009). En la figura 4 se observan totales de hasta 300 mm registrados el año 1997, cuando cabría esperar cifras inferiores debido a la correlación negativa que existe entre la caída de lluvias y el Niño en el altiplano. Ello podría estar indicando la actuación de la Corriente del Chorro y la mayor complejidad de las causas de las condiciones climáticas.
Algunos hechos meteorológicos de gran escala influencian acentuando o inhibiendo el desempeño de la ZCIT, en la medida que modifican los alisios del nordeste, asociados al desplazamiento meridional de la misma. Así, con relación a las variabilidades interanuales, todo indica que la ZCIT se mantiene al norte del Ecuador en condiciones de "dipolo caliente" (aguas más calientes en el Atlántico Norte), tanto en los años de la Niña como de Niños, influenciando precipitaciones por debajo de la media en el Nordeste de Brasil. En condiciones de dipolo frío (aguas más calientes en el Atlántico Sur), la ZCIT se localiza al sur del Ecuador, tanto en los años de El Niño como de La Niña, por lo cual en los primeros las precipitaciones sobre la media sólo ocurren en el extremo norte de la región, mientras que en las demás áreas predominan las sequías. Bajo las condiciones de La Niña, toda la región registra anomalías positivas. Las anomalías de precipitación en el noreste brasileño también están relacionadas con los mecanismos asociados a los movimientos ascendentes y subsidentes de las células de Hadley y de Walker (MELO, CAVALCANTI y SOUZA, 2009). Los datos disponibles (figura 4) evidencian anomalías positivas de precipitación en los años de El Niño. En el período 1978-1980 y 2004-2006, ellas ocurrieron en años de El Niño débil y en los años 1992-1993 y 1997-1998, lo

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

hicieron bajo condiciones de El Niño fuerte. Estas anomalías sugieren la influencia del dipolo del Atlántico, que debería ser mejor investigado para avalar sus correlaciones con el clima del Altiplano.

2.2. Mesoclimatología: Efectos de la latitud, altura y continentalidad sobre el comportamiento de las temperaturas y precipitaciones.

2.2.1. Comportamiento de las temperaturas

Se observa una mayor temperatura promedio en aquellas estaciones más septentrionales, valores que disminuyen conforme se avanza al sur desde las zonas intertropicales a las subtropicales (figura 4). Los valores moderados que se registran en las zonas costeras del Desierto de Atacama (un hecho climático azonal tratándose de un desierto esencialmente intertropical), se deben al alcance de la Corriente de Humboldt, por la cual masas de agua fría subantárticas son trasladadas a lo largo del litoral sudamericano (hasta Colombia). Respecto al rol de la continentalidad y altura, es posible observar las diferencias entre Antofagasta y Calama, ubicadas a una latitud semejante, pero con más de 2000 metros de diferencia.

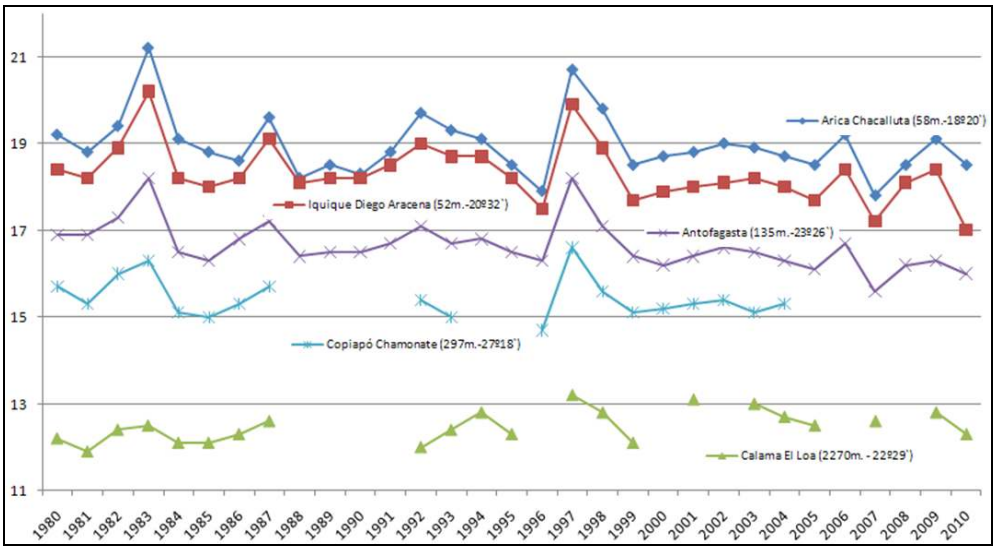


Figura 4. Temperatura promedio anual de estaciones localizadas en el Desierto de Atacama.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los Anuarios Meteorológicos de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC).

En cuanto al comportamiento de las temperaturas mínimas y máximas promedios (figura 5), la oscilación térmica diaria y estacional aumenta gradualmente desde la costa hacia el interior del Desierto de Atacama, obedeciendo a la mayor continentalidad y altura, como lo muestran los 20°C aproximadamente, registrados en Calama. Las estaciones costeras no superan los 8°C de amplitud térmica anual promedio, mientras que Copiapó, ubicado a aproximadamente 70 Km. de la costa, alcanza 14 °C.

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

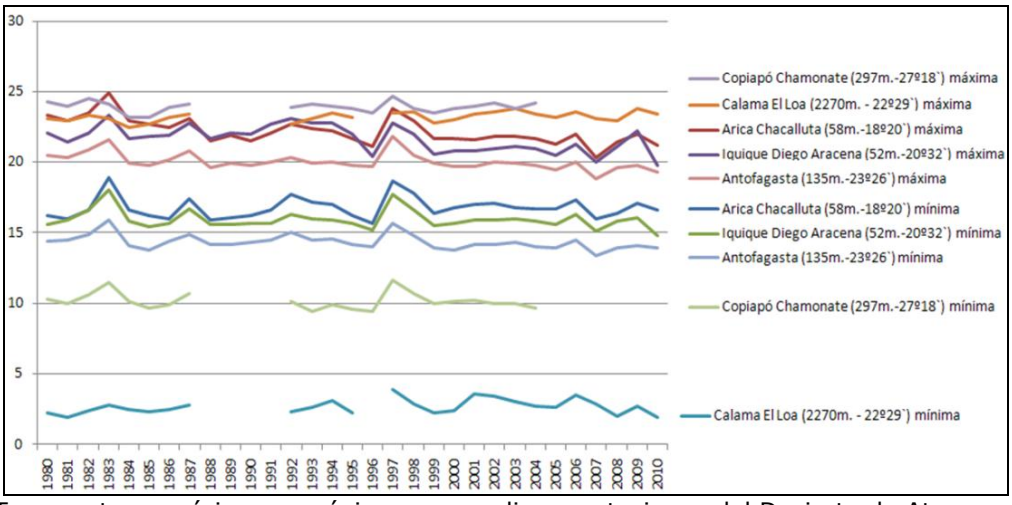


Figura 5. Temperaturas mínimas y máximas promedio en estaciones del Desierto de Atacama.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los Anuarios Meteorológicos de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC).

3.2.2. Distribución regional de las precipitaciones

El control pluviométrico ejercido por las altas presiones asociadas al Anticiclón Semipermanente del Pacífico del Sudeste y sus inversiones térmicas de subsidencia y radiación (que se deben al predominio constante de las surgencias de aguas subantárticas de la Corriente de Humboldt) impiden completamente la formación de nubes de altura y por lo tanto de ocurrencia de precipitaciones desde la costa hasta una franja interior de influencia que no supera los 200 Km ni los 2000 m de altura.

Las estaciones ubicadas a menor altura y bajo la influencia de la circulación del Pacífico, como es el caso de Arica (58 m.s.n.m.) y Codpa (1837 m.s.n.m.) apenas registran lluvias, pero en las estaciones de mayor altura, bajo la influencia del monzón sudamericano, los montos anuales pueden superar los 600 mm. Los montos de precipitación aumentan definitivamente a partir de los 3000 m.s.n.m (figura 6).

Tal como se ha señalado con anterioridad, en el altiplano andino del Desierto de Atacama, las precipitaciones se concentran en los meses estivales, como producto del monzón sudamericano, es decir, de las influencias amazónicas, escapándose de esta forma del comportamiento generalizado de los climas chilenos, siempre bajo el área de influencia del océano Pacífico. Chile presenta en su parte central (27-38ºS) climas de tipo mediterráneo, con precipitaciones exclusivamente en los meses invernales (mayo-agosto) provocadas por los frentes polares y en la sección más autral (38-56ºS), precipitaciones durante todo el año debido a la circulación de los Oestes de latitudes templadas y subantárticas.

La extrema variabilidad interanual de las precipitaciones altiplánicas se manifiesta en la ocurrencia de años completamente secos hasta otros, que en función del aumento de la altura, pueden aproximarse a 1000 mm anuales. Los datos existentes no sólo impiden registrar tendencia alguna de variación, sino que implican además una altísima incertidumbre sobre la existencia de agua superficial y por ello, un aumento creciente de la presión sobre los recursos subterráneos, muchos de los cuáles son de carácter fósil y por ello, no renovables.

Al avanzar hacia el sur, hacia la llamada región de Tarapacá (figura 7), se produce una reducción cercana al 50% de las precipitaciones en la medida que se aleja de las influencias amazónicas. La altura en que comienzan las precipitaciones es, al igual que en el caso anterior, sobre los 3000 m.s.n.m. Sólo Huatacondo se encuentra sobre esa altura, registrando montos en general superiores a 150 milímetros anuales. Las estaciones restantes poseen montos anuales inferiores a los 80 milímetros, con excepciones que coinciden con la presencia de la fase cálida del ENSO, como por ejemplo ocurrió el año 1982, en que se observó un evento El Niño fuerte, que resultó en

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

un monto total de precipitaciones superior a 350 milímetros en Camiña, valor no alcanzado nuevamente durante el período observado.

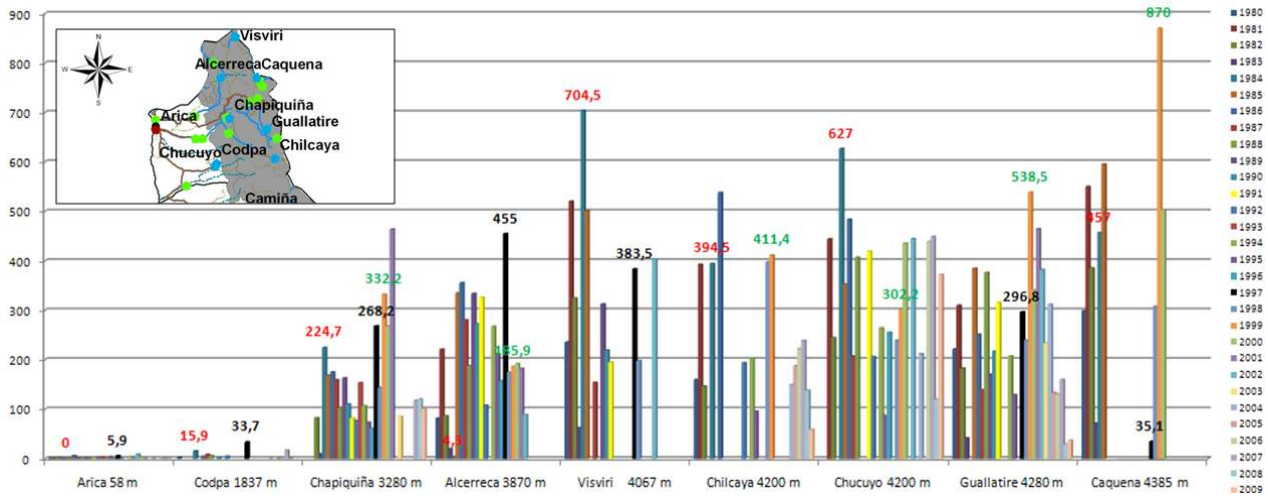


Figura 6. Precipitación total anual en la sección Norte del Desierto de Atacama.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los Anuarios Meteorológicos de la Dirección Meteorológica de Chile.

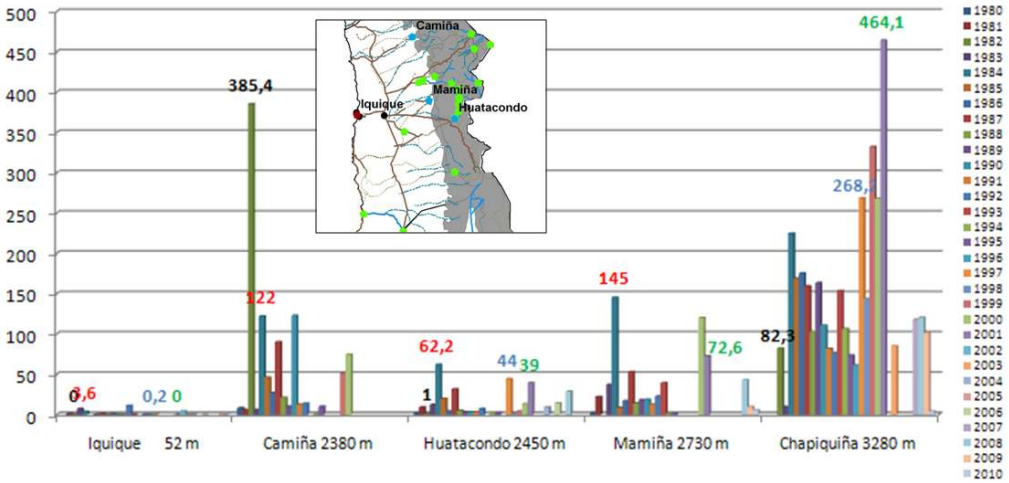


Figura 7. Precipitación total anual en la sección central del Desierto de Atacama.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los Anuarios Meteorológicos de la Dirección Meteorológica de Chile.

El efecto de la altitud sobre los montos de precipitaciones puede ser observado en la figura 8, siendo notable el comportamiento entre las estaciones costeras, dominadas por la circulación atmosférica del Pacífico y las altiplánicas, bajo la influencia del monzón sudamericano. Arica e Iquique sólo pueden experimentar precipitaciones causadas por un alcance septentrional excepcional de los frentes polares, lluvias altiplánicas escasísimas y marginales o bien neblinas costeras ("camanchacas"). Copiapó registra ya el comienzo de las lluvias tipo mediterráneas, que ocurren en los meses invernales y que dependen del desplazamiento hacia el norte del Anticiclón del Pacífico Sur, de las aguas cálidas del Fenómeno El Niño y del arribo de frentes con masas de aire polares de superficie o altura.
Por el contrario, las estaciones meteorológicas del altiplano reducen los montos de precipitaciones a medida que se avanza hacia el sur, debido a su alejamiento del centro de influencia del monzón sudamericano, hasta desaparecer casi completamente entre los

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

25-27ºS, desde donde las montañas andinas comienzan a recibir también las lluvias y nevazones de invierno propias del régimen mediterráneo.

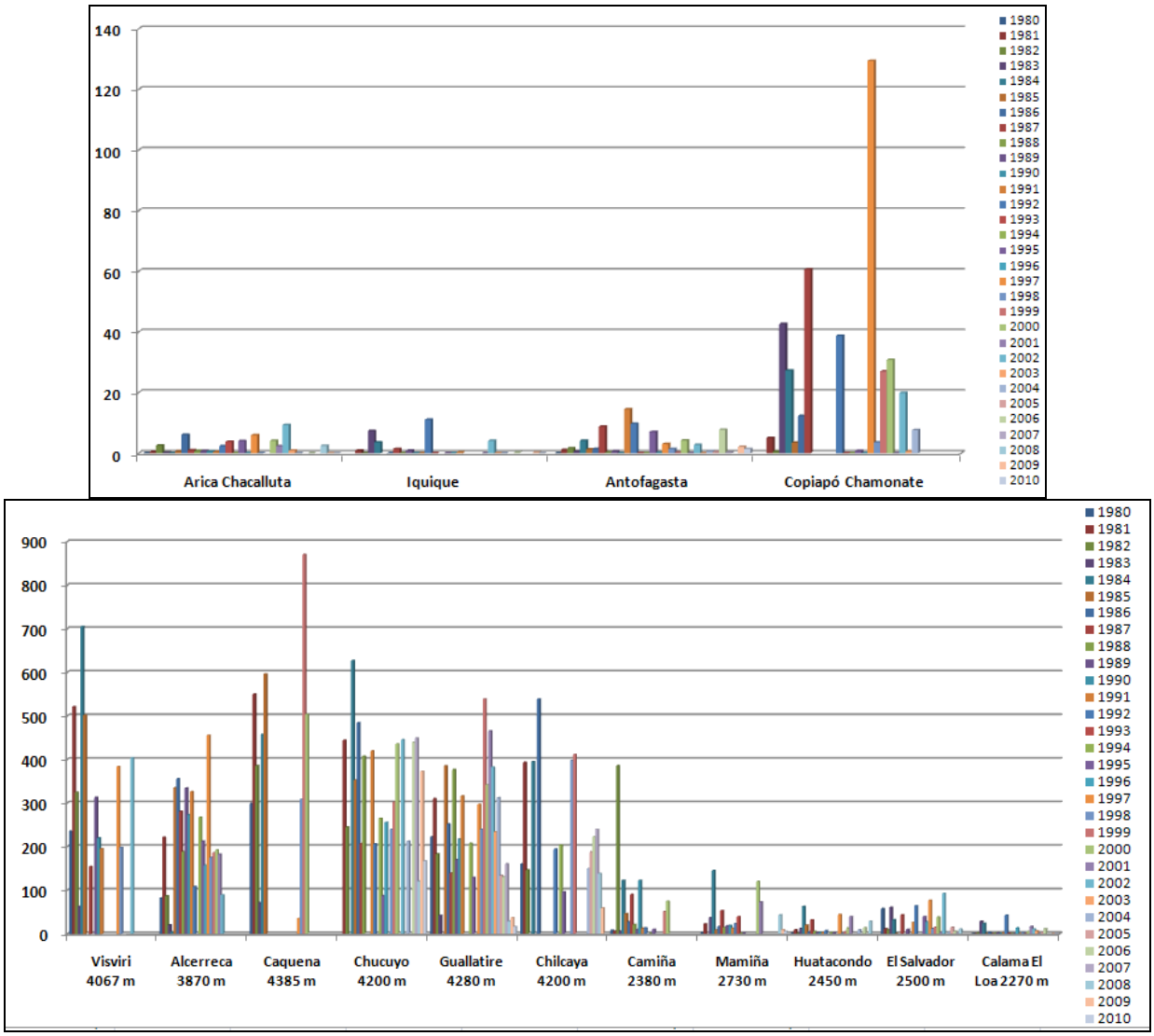


Figura 8. Precipitación total anual en el Desierto de Atacama, ubicadas según latitud norte a sur y en la costa (gráfico superior) y en altura, sobre 2000 m.s.n.m. (gráfico inferior).
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de los Anuarios Meteorológicos de la Dirección Meteorológica de Chile.

2.3. Topoclimatología de cuencas seleccionadas y sus efectos sobre los climas locales: caso de los Salares de Huasco y Coposa.

La ausencia de estaciones meteorológicas en el altiplano andino impide no sólo conocer la mayor parte de sus rasgos climáticos regionales, sino que también disponer de muy pocas informaciones sobre los efectos topoclimáticos locales, especialmente al interior y alrededor de los lagos, lagunas, salares y humedales, que constituyen las más significativas fuentes de agua y recarga de los acuíferos, además de ser *hot spots* de biodiversidad y centros culturales de importancia. La figura 9 presenta datos de un conjunto de estaciones que representan a la Cuenca del Salar del Huasco, una de las más importantes del altiplano de la región de Tarapacá. Este salar, ubicado a aproximadamente 4000 m de alturas es uno de los mayores de la zona y desde hace una década encuentra amenazado por la petición de una compañía minera para extraer 1.400 lt/seg de su laguna, que ha siso rechazada por las autoridades ambientales, las que, en cambio, han declarado a esta última como Parque Nacional.

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

Las estaciones chilenas de Poroma, Lagunillas y Collacahua permiten conocer parcialmente las precipitaciones registradas en la sección más occidental del altiplano, mientras que las bolivianas de Todos Los Santos y Colcha, facilitan ampliar dicho conocimiento a los sectores orientales. Todas las estaciones consultadas se ubican entre 3000 y 4000 m de altura y sobre el relieve planiforme que caracteriza propiamente al altiplano.

En términos de las variabilidades mensuales de las precipitaciones, la figura 9 presenta los registros de las lluvias ocurridas entre los años 1983 y 2008 en las estaciones de Lagunillas (4020 m), Coyacahua, ubicada a 3950 m., entre los años 1970 y 2008, y en Poroma, a 2880 m., entre los años 1978 y 2008. De las tres estaciones, Lagunillas es la más alta y la que presenta los mayores totales anuales de precipitaciones. Coyacahua registró una distribución semejante pero valores totales menos elevados. Las precipitaciones se concentran en los primeros meses del año, pero sumas totales en torno o mayores de 10 mm ya suceden en el mes de diciembre del año anterior.

En poquísimos años llueve en el invierno, en especial en el mes de agosto. Poroma registra una mayor cantidad de lluvias en esta época del año, lo que indicaría el alcance septentrional máximo de los frentes polares del Pacífico, , aún hasta el centro del Desierto de Atacama, aunque la ocurrencia de un episodio lluvioso en agosto de 1993, se debe considerar excepcional por su cantidad.

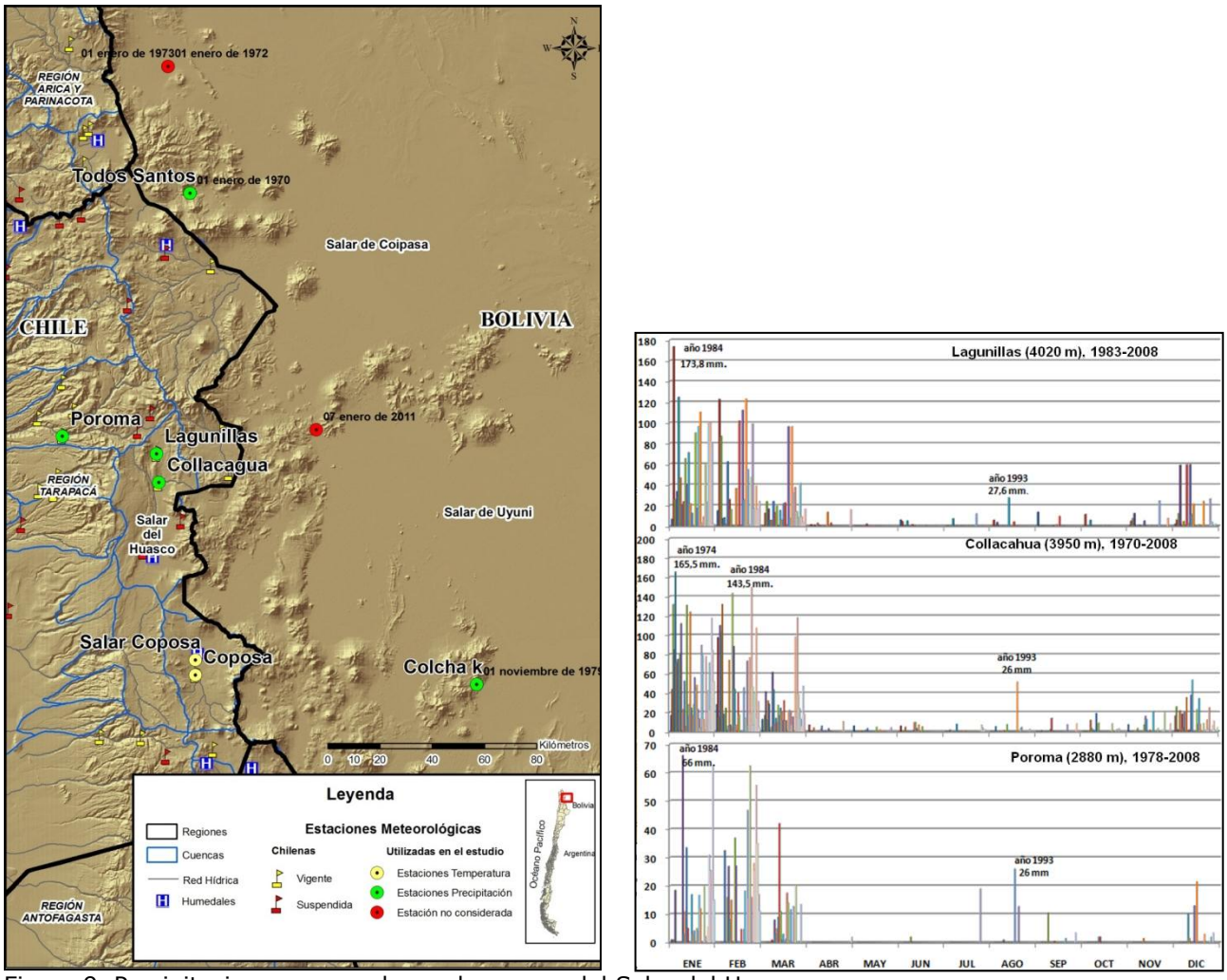


Figura 9. Precipitaciones mensuales en la cuenca del Salar del Huasco.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por el Centro de Estudios del Desarrollo (CED) y la página del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Bolivia.

Una ilustración más específica sobre el rol topoclimático en las variaciones de las temperaturas se presenta en la figura 10, que corresponde a dos lugares vecinos,

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

ubicados al interior del Salar de Coposa, pero con una diferencia de altura de sesenta metros entre ambos. Este salar ha sido intensamente explotado por la industria minera y por los daños ambientales advertidos se encuentra en la actualidad sometido a planes de restauración. La estación ubicada a menor altura (llamasa Salar de Coposa propiamente tal) registra temperaturas generalizadamente más bajas en los valores diarios del año 2005, lo que debe obedecer a su posición topológica, es decir a su exposición a vientos más fríos o en un área de empozamiento de aire *(cold swimming pool)* en las depresiones topográficas.

En las estaciones meteorológicas del Salar de Coposa, situadas alrededor de 3700 m, la amplitud media anual de las temperaturas alcanza aproximadamente a 20ºC. La máxima (14ºC) se registró en Coposa (3765 m) en la segunda semana de enero y la mínima (-6ºC) en la tercera semana de julio en Salar de Coposa. Estas estaciones registran entre ellas diferencias de temperatura de hasta 6º C, principalmente en el invierno. En febrero, ambas estaciones igualan sus temperaturas y es posible que ello se deba al aumento de la humedad atmosférica en virtud de la ocurrencia de lluvias. La amplitud diaria es significativa pudiendo sobrepasar los 6ºC. Entre los meses de mayo y septiembre las temperaturas en Coposa raramente superan los 4º C y las del Salar de Coposa se mantienen la mayor parte del tempo bajo cero grado. En los meses de marzo y diciembre y abril y noviembre, las variaciones de temperatura alcanzan valores semejantes en ambas estaciones, manteniéndose siempre más elevados en Coposa, ubicada a mayor altura relativa.

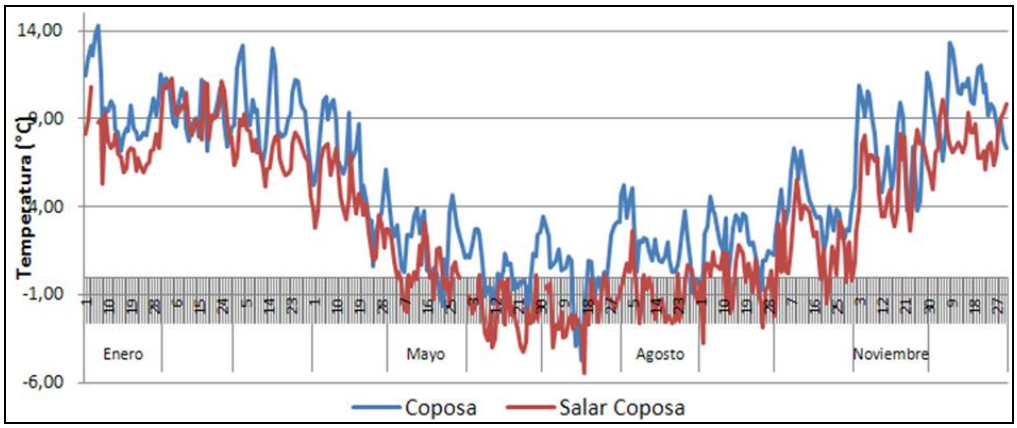


Figura 10. Temperatura promedio diaria estaciones del Salar de Coposa. Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por el Centro de Estudios del Desarrollo (CED).

2.4 Socioclimas y Relaciones Ecológico-Sociales.

En pocos lugares del mundo el clima es tan valioso como en el Desierto de Atacama y las montañas tan imprescindibles como "torres de agua". Tal como se ha visto, las precipitaciones sólidas y líquidas sobre las montañas dependen de complejas relaciones climáticas multiescalares. Uno de los efectos más relevantes de las condiciones climáticas es, por supuesto, la escasez de agua y con ello la existencia de grandes limitaciones para sostener la vida, sus habitantes y actividades económicas –que como en el caso de la minería- son vitales para Chile. La minería del Desierto de Atacama provee al país de las divisas necesarias para financiar su crecimiento y cuando los precios de los minerales son altos en el mercado internacional -como sucede en la actualidad-, realizar ahorros que le han permitido significativas inversiones en infraestructura y disponer de liquidez monetaria en medio de las crisis internacionales. Sin embargo, y tal como se ha señalado, la ocurrencia de precipitaciones y por ello, la oferta de recursos hídricos alcanza extraordinarios niveles de incertidumbre debido a la alta variabilidad interanual y eventualmente a las tendencias derivadas de los procesos de cambio climático, cuyos modelos aplicados en esta zona del país, indican una mayor aridez que se hará presente desde mediados del presente siglo, afectando severamente las fuentes de agua altiplánicas (ROMERO *et al.*, 2011).

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

En medio de la incertidumbre que rodea las predicciones sobre la oferta de recursos hídricos debido a la falta de información científica, la atención se encuentra focalizada sobre la demanda, especialmente porque en Chile el agua ha sido privatizada desde 1981 y constituye un bien que se transa en el mercado, sin mayor intervención del Estado ni de las políticas e instituciones públicas en su asignación. Consecuentemente, el conocimiento sobre los climas de los lugares en que se producen las precipitaciones y de aquellos en que se almacenan las aguas, superficial o subterráneamente, es una información geográfica de carácter estratégico, de la cual el Estado y la sociedad normalmente no disponen. La falta de estaciones meteorológicas, la carencia de modelos hidrogeológicos precisos o la ausencia de balances hídricos por cuencas, no son hechos que puedan ser comprendidos sin recurrir a los argumentos de la ecología política. En Chile las instituciones públicas desconocen las cantidades reales de agua que existen en sus cuencas y los modelos carecen de validez; la demanda de agua supera varias veces la recarga de muchos ríos y las extracciones clandestinas de aguas subterráneas impiden disponer de cualquier estimación acertada sobre la conveniencia de seguir o no otorgando derechos de agua por medio de los cuáles las empresas privadas se transforman en propietarias de los recursos a perpetuidad. Muchas fuentes de agua se han visto completa o parcialmente dañadas por las extracciones ilegales o por errores flagrantes en los modelos hidrogeológicos. Otras veces, comunidades rurales e indígenas han perdido parte o la totalidad de sus recursos hídricos. Para la ecología política, estos problemas socioinstitucionales son elementos relevantes de los sistemas ecológico-sociales y demuestran claramente el ejercicio del poder de los actores. La inexistencia de información científica o la debilidad de las instituciones públicas para realizar una adecuada gestión del agua forma parte de la aplicación de los principios económicos neoliberales, por los cuáles se debe reducir tanto como sea posible el rol de los organismos estatales, la fortaleza de los servicios público y aún el financiamiento de las instituciones de investigación, tales como las universidades (ROMERO, *et al.*, 2010). El clima y el agua no son más sólo recursos naturales sino que se trata de bienes sociales *comodificados*, privatizados y transformados en propiedad privada, sometidos al mercado y a la hegemonía de los sectores sociales más poderosos desde el punto de vista político, cultural y económico (BUDD, 2009ª y b; PRUDHAN, 2009).

La apropiación de los climas por parte de los actores globales de la economía, en este caso minera, se observa en la figura 11, que localiza geográficamente los proyectos de inversión que se ejecutaban entre los años 2008 y 2010 en el Desierto de Atacama. Mientras en la década de 1990 las inversiones mineras más relevantes se ubicaron en las regiones más septentrionales del Desierto, Tarapacá y Antofagasta, las que se ejecutan en la actualidad implican un desplazamiento hacia el sur, al incorporar activamente a la región de Atacama, en gran medida en búsqueda de nuevas reservas minerales y ante la escasez de agua.

Un primer hecho geográfico que resalta es la existencia de áreas de conservación de la naturaleza, como parques nacionales y reservas naturales en el área altiplánica y en torno a las fuentes de agua, lugar de residencia además de los pueblos indígenas y dónde practican la agricultura y ganadería de auquénidos. Siendo estas las únicas fuentes de agua, su mantención y aún fortalecimiento, cubriendo áreas que actualmente no están protegidas, es un asunto muy relevante. También lo es la ocupación intensiva de las aguas superficiales y subterráneas para llevar adelante los procesos de extracción, producción, transporte y disposición final de los minerales. En el caso de la minería del cobre, los montos necesitados son muy variables y dependientes del tipo de veta que se esté explotando (oxido o sulfuro) y las condiciones geográficas del yacimiento en sí. Según estimaciones de Lagos (1997) el consumo de agua varía entre 38,5 a 193,3 m³ por tonelada de cobre fino producido, dependiendo de la tecnología de la empresa y el volumen de producción. Las compañías mineras son dueñas del 49,4% de todos los derechos de aprovechamiento de aguas otorgados entre 1990 y 2010 (ROMERO, *et al.*, 2011). Además y dada la escasez o inexistencia de recargas superficiales, las aguas son extraídas crecientemente desde el subsuelo, mediante pozos profundos que muchas veces se localizan en la cuenca de captura de salares y lagunas o bien en las nacientes de los sistemas de drenaje superficial. Es igualmente importante

señalar que la mayor parte de las aguas son almacenadas en las tierras altas y se desplazan hacia las tierras bajas como parte de acuíferos subterráneos que emergen en áreas que atraen las inversiones los cuerpos de agua ubicados en el altiplano de Chile dependen principalmente de surgencias de aguas subterráneas cuyas fuentes actuales y pasadas (recursos hídricos "azonales") y no del clima donde se localizan (MESSERLI *et al..,* 1997; AHUMADA y FAÚNDEZ, 2009). Desde el punto de vista sociocultural, las escasas comunidades indígenas asentadas en las vertientes más altas de los Andes chilenos descansan en una actividad predominantemente agropastoril, por lo que el desecamiento de los humedales y lagunas, afecta directamente la abundancia y disposición de la vegetación de la cual se alimentan sus animales, lo cual ya ha ocurrido en algunas cuencas de la región de Tarapacá. En otro aspecto, las comunidades indígenas localizadas a menor altura, dependen principalmente de la agricultura, por lo que el desecamiento de las vertientes, que a su vez se alimentan de los acuíferos situados en las cuencas de mayor altura (SUZUKI y ARAVENA, 1984; RUZ, *et al..*, 2008), afectaría el desarrollo y permanencia de esta cultura en los sectores rurales del Desierto de Atacama.

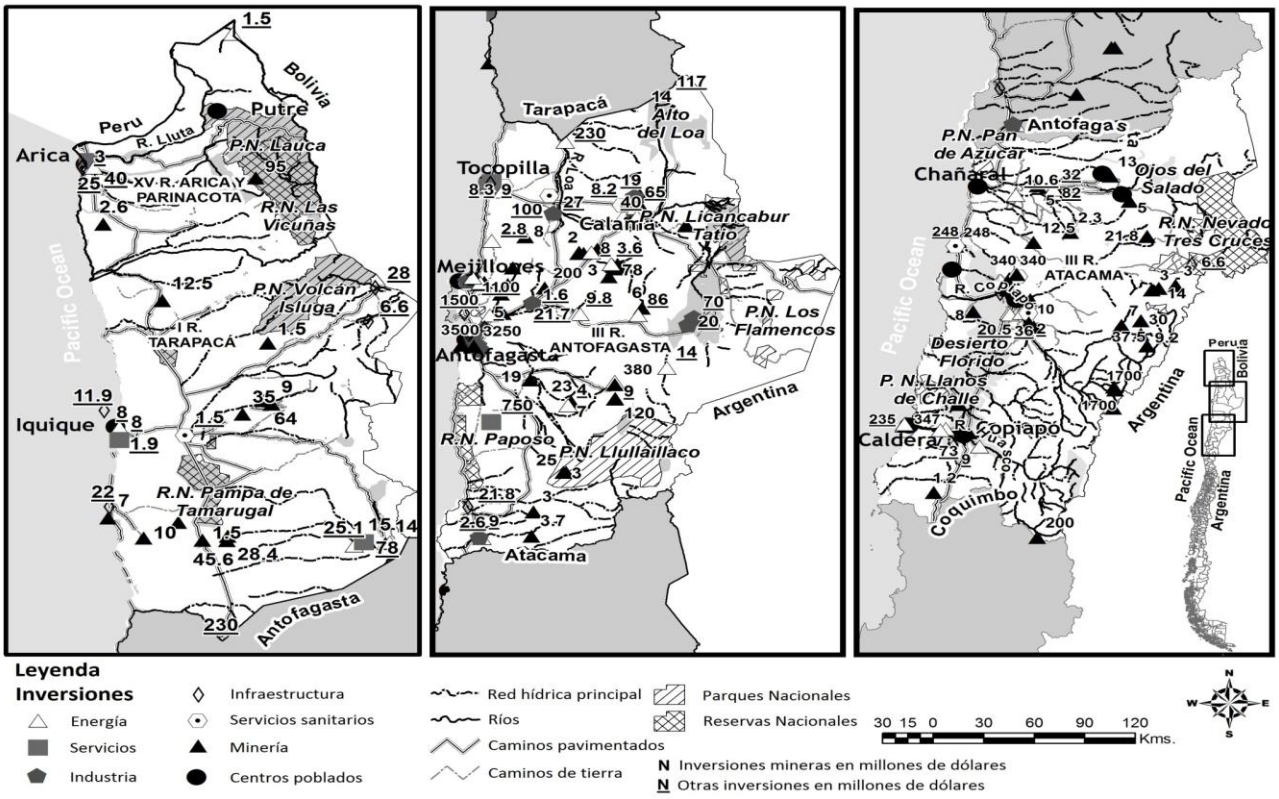


Figura 11. Localización de inversiones mineras (en millones de dólares) en el Desierto de Atacama el año 2010 y su relación espacial con las áreas de protección y conservación de la naturaleza. Fuente: Elaboración propia.

Ante estos escenarios, se puede observar en la figura N°11 que en la región de Arica y Parinacota no existen proyectos mineros en ejecución y que en las regiones altiplánicas predominan las áreas de conservación de la naturaleza. Sin embargo, las autoridades de esta región realizan esfuerzos para desafectar 40.000 Há de tierras, actualmente clasificadas como Parques Nacionales o Reservas de la Naturaleza, para localizar proyectos mineros o bien permitir la extracción de agua subterránea que facilitaría su instalación, argumentando que *"El gobierno busca impulsar en Arica una actividad sana y sustentable, responsable con el medioambiente y los derechos indígenas, para acortar distancia con los beneficios que la gran minería ha dado al resto del Norte Grande"* (EL MERCURIO, 2010).

Las situaciones más críticas están localizadas en las regiones de Antofagasta y Atacama, que ocupan el centro y sector derecho de la figura. Por un lado, se trata de las zonas

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

más áridas del altiplano y del Desierto de Atacama, lo que disminuye aún más la disponibilidad de agua y por otro, de las mayores concentraciones de proyectos mineros. En el caso de la región de Antofagasta se encuentran agotados los derechos de agua y la desalinización del agua de mar surge como la única opción para disponer de los recursos hídricos necesarios. Sin embargo, existen numerosos ríos, lagos y salares que se han visto severamente afectados por las extracciones de aguas superficiales y subterráneas y son numerosas las comunidades indígenas y rurales que se han visto obligadas a abandonar sus asentamientos debido a la falta total de este recurso. Oasis como Quillagua y el río Loa, el único que logra alcanzar la costa en medio del Desierto de Atacama, han interrumpido su cauce debido a las extracciones practicadas aguas arriba (BUDD, 2009b). Se espera que las presiones se concentren en esta década sobre áreas de conservación de la naturaleza que se encuentran especialmente en el Salar de Atacama y en cuerpos de agua ubicados en las mayores alturas andinas.

En el caso de la región de Atacama, la cuenca del río Copiapó es una de las más afectadas. Debido a la altísima insolación que se registra en las áreas continentalizadas y al aumento de las precipitaciones sólidas y líquidas que ocurren en la alta cordillera andina, este valle ha logrado desarrollar cerca de 30.000 Há de cultivos de "parronales" dedicados a la producción de uva fresca o de mesa, destinada a los mercados asiáticos, norteamericanos y europeos. La alta insolación recibida por la orientación Norte-Sur de este valle y la presencia permanente de la subsidencia atmosférica, causada por el Anticiclón del Pacífico Sur, generan islas de calor, ubicadas sobre el fondo del valle y laderas de exposición Norte y Oeste, que garantizan no sólo una extraordinaria productividad biológica, sino que también una maduración temprana de la fruta, lo que le permite acceder a los mercados internacionales antes que cualquier otra zona en el mundo. El agua requerida se obtuvo primeramente de los cursos superficiales, favorecidos por la alimentación glaciar de los ríos cordilleranos, nacidos en medio de paisajes climáticos caracterizados por temperaturas muy bajas.

Compañías del "agrobussiness" en manos de empresarios nacionales y extranjeros consiguieron la transformación de paisajes completamente áridos en extensos y continuos campos de cultivo, cuya principal limitación había sido hasta ahora la disponibilidad de agua, para lo cual se le comenzó a extraer masivamente del acuífero subterráneo. Ante la falta de modelos hidrológicos validados por la información de terreno, lo que se discute actualmente en este valle, no es el hecho de que las extracciones de agua superen a la recarga, sino el saber cuántas veces las primeras superan a las segundas. El déficit hídrico permanente ha sido hasta ahora resuelto mediante pozos profundos que han agotado recursos fósiles, presentándose como un ejemplo dramático de insustentabilidad económica, social y ambiental.

Durante las últimas décadas, el desarrollo minero ha irrumpido con gran ímpetu y con ello se ha generado una gran competencia por el uso del agua con la agricultura y más recientemente, por los usos urbanos en ciudades que crecen vertiginosamente por efectos de las demandas de mano de obra y servicios. En septiembre de 2011, se declaró una situación de emergencia hídrica, que significa que no se está pudiendo satisfacer las necesidades de la población y se deberán profundizar los pozos de extracción de agua subterránea. Mientras tanto, las empresas mineras se encuentran empeñadas en construir aducciones que les permitan captar directamente el agua desde pozos ubicados en torno a áreas de conservación de la naturaleza ubicadas en la alta cordillera, como sucede en los salares de Maricunga y Pedernales. Adicionalmente, se ha desencadenado un gran proceso especulativo por transferir derechos privados de agua desde el sector agrícola al minero, para lo cual se han llegado a pagar precios desconocidos en el mercado chileno y seguramente equivalentes a los más altos del mundo.

En una perspectiva multiescalar, en una forma contradictoria con la escala global de las grandes inversiones mineras realizadas por empresas trans o multinacionales, se encuentran las comunidades indígenas ancestrales, donde las relaciones ecológico-sociales a escala local implican necesariamente una organización territorial que no sólo intenta optimizar los beneficios económicos de los usos del suelo, sino que además conseguir una adecuada distribución social de los mismos. De igual forma, las instituciones sociales comunitarias deben conseguir éxito en dividir socialmente la

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

aversión a los riesgos naturales entre todos los miembros de la comunidad, que en el caso del altiplano andino, consiste especialmente en reducir la vulnerabilidad ante tales eventos e incrementar la capacidad de resiliencia frente la ocurrencia de sequías, inundaciones y ondas de frío, asociadas a nevazones y bajísimas temperaturas. Las estrategias de adaptación ante las variabilidades e incertidumbres climáticas deben de haber comenzado con la ocupación misma del territorio, entre 10.000 y 7.000 años A.C. (GUNDERMANN y GONZÁLEZ, 1989; VAN KASSEL, 1996 y 2003; YÁÑEZ y MOLINA, 2008). Van Kassel (2003) expone que alrededor del 4.100 A.C. comienzan a escasear los animales (por cambios climáticos), lo que obligó a estas organizaciones sociales de características tribales a complementar su dieta con alimentos provenientes de la costa, "guarda" (almacenaje) de alimentos, construcción de canales de riego y terrazas de cultivo.

Parte importante de las estrategias territoriales de adaptación de las comunidades consisten en diferenciar las potencialidades y limitaciones climáticas de los pisos ecológicos o cinturones de altitud de las montañas, así como de facetas tales como fondos de valle, laderas según exposición y posición topológica, relieve relativo de las altiplanicies (en especial para evitar ocupar lugares dónde se acumula el aire frío. Murra (1972) llamó a esta construcción territorial como *complementariedad ecológica de los pisos verticales* y Zimmerer (2003) las denominó como *modelo de zonas atadas*. Se trata de categorías integrativas de los factores que determinan la productividad agrícola, como topografía, clima y vegetación. Los habitantes de las comunidades, conocedores de las diferencias topoclimáticas y sus variaciones estacionales e interanuales, trasladan los ganados auquénidos (llamas y alpacas, especialmente) entre las tierras bajas y altas, en la búsqueda de los pastos que se encuentran en las franjas riparianas de arroyos y ríos y sobre las laderas de las montañas, como se representa en la figura 12, correspondiente a la comunidad de Caquena. Obsérvese como las mayores cantidades de animales se concentran en la parte baja del humedal, desde dónde van siendo trasladados según la disponibilidad de pastos, ya sea hacia los terrenos de control exclusivo por parte de la comunidad, o bien sobre áreas que comparten con comunidades vecinas y que se activan ante cualquier déficit en la capacidad de carga ganadera. Durante el invierno, la posibilidad de mantener los animales en las tierras planas se torna inviable debido a la acumulación del aire frío y al congelamiento del agua, suelos y pastos, por lo que se hace necesario trasladarlos hacia sitios más abrigados, no obstante que se pueden localizar a mayor altura. Estas decisiones de evitar los riesgos mayores exigen un conocimiento de las condiciones climáticas por parte de los habitantes locales que difícilmente pudiera encontrarse entre los habitantes urbanos o entre quiénes les sustituyan finalmente en sus áreas de ocupación una vez que hayan migrado definitivamente. La climatología social es parte fundamental de la climatología geográfica.

Estas forma ancestrales de manejo de los recursos naturales asociados a las variaciones locales de los climas o topoclimáticas, al igual que otras, se están viendo amenazadas por el severo despoblamiento y envejecimiento de prácticamente la totalidad de los habitantes de del altiplano chileno, así como por la competencia por el agua entre la minería y la que se requiere para regar los pastizales y cultivos agrícolas de las comunidades indígenas. Por otro lado, el modelo de zonas atadas supone la existencia de terrenos comunitarios o de propiedad común, que facilitan el acceso libre a los pisos altitudinales, componentes socioculturales que se contraponen a la necesidad de privatizar los recursos naturales para asegurar su compra y venta en el mercado.

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

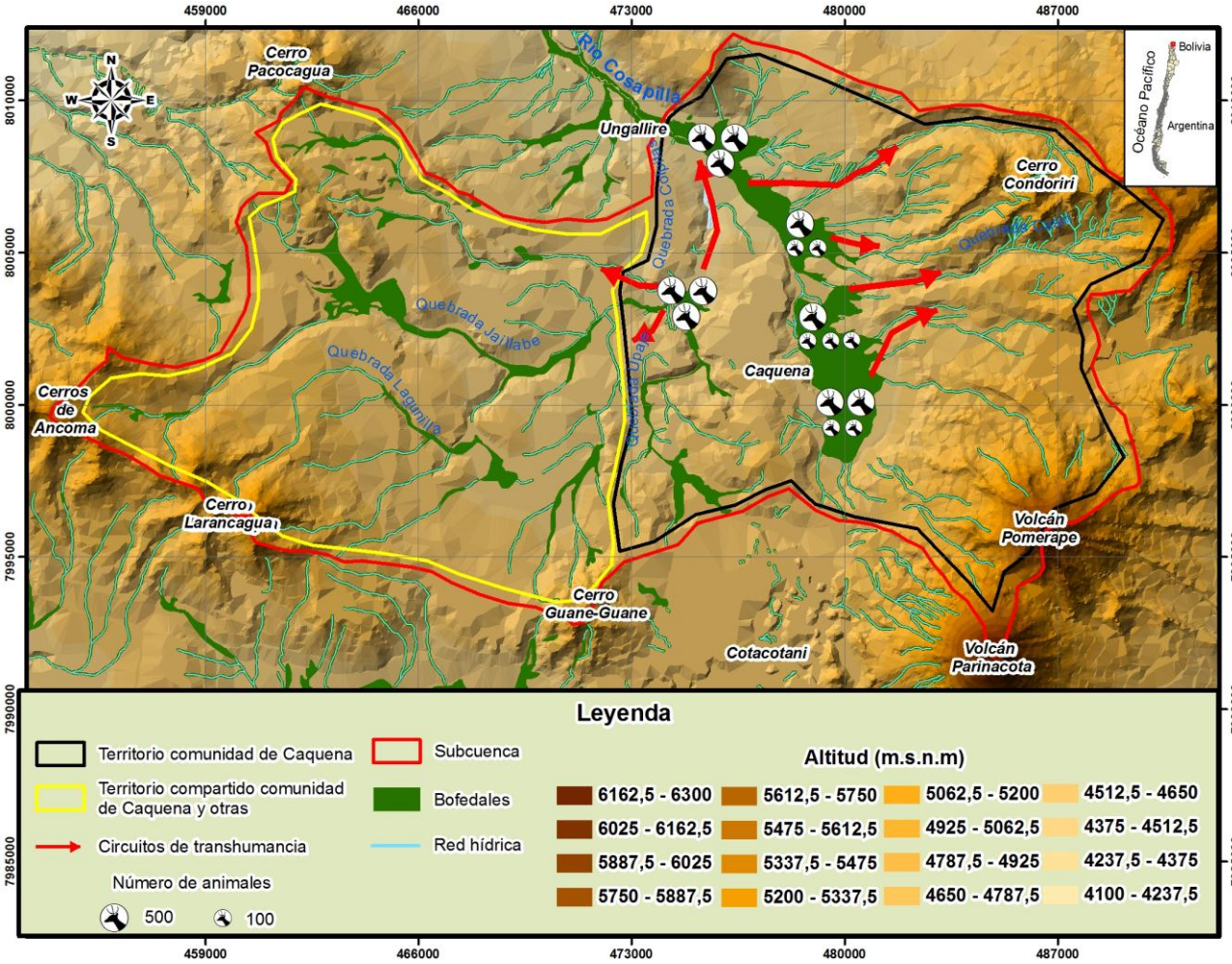


Figura 12. Circuitos de transhumancia ganadera de auquénidos de la comunidad aymara de Caquena.
Fuente: Elaboración propia sobre la base de información de terreno.

3. Conclusiones

El análisis climático geográfico resulta imprescindible para poder comprender algunos de los problemas ecológico-sociales que afectan a Latinoamérica y que, tal como se ha presentado, requiere de visiones multiescalares y multidisciplinarias que tornen evidente relaciones entre la sociedad y la naturaleza y entre los propios grupos sociales que se han ido estableciendo en el territorio en largos períodos de tiempo y que pueden desaparecer como consecuencias de colisiones y conflictos.

Por otro lado, ejemplo de las relaciones espacio-temporales entre la ocurrencia de lluvias en el altiplano andino y la amazonía, ejecutada a través del Monzón Sudamericano, no sólo dmuestra la estraodinaria complejidad de los eventos climáticos que se presentan en nuestros territorios, sino que además, la necesidad de integrar geográficamente procesos y formas que hasta ahora, han sido abordados al interior de cada uno de los países como si las fronteras político-administrativas, se prolongaran hasta el comportamiento de los climas regionales e implicaran un límite al propio conocimiento de la climatología. Este trabajo constituye una invitación a formar redes de investigación sobre la climatología sudamericana.

El paisaje del Desierto de Atacama, tan diverso de la selva amazónica, no es sino una expresión de un conjunto de procesos desencadenados por los sistemas de circulación atmosférica en sus interrelaciones con la superficie terrestre en la forma en que han evolucionado en los últimos períodos geológicos. Las poblaciones que ocupan históricamente diferentes nichos ecológicos aprendieron a manejar los climas con sus

riesgos y beneficios para poder sobrevivir hasta nuestros días, al margen de la mayor parte de lo que llamamos desarrollo. Durante los últimos 500 años hemos tratado de convencerlos de su ignorancia científica y de nuestra superioridad. Sin embargo, nos enfrentamos con el agotamiento de recursos tan esenciales para nuestra organización social, como para la de ellos, que por ocupar esos espacios por más tiempo y por depender intrínsecamente de sus recursos aprendieron a manejar la productividad y la escasez, sus fortalezas y vulnerabilidades, administrando los riesgos y gestando resiliencia. ¿No sería el momento de la climatología geográfica de buscar las conexiones socio-climáticas? No tendríamos acaso que aprender acerca de los riesgos y los desastres naturales y resiliencia tanto con las poblaciones ascentrales andinas como con las amazónicas?

La dinámica vigente e histórica de los sistemas ambientales y las proyecciones de los cambios climáticos futuros requieren visiones y acciones estratégicas de planificación y gestión ambiental, que identifiquen en el mediano y largo plazo, y en forma amplia, las diversas alternativas que puedan existir para compatibilizar la conservación del agua y la naturaleza de los humedales, con las demandas sociales y económicas que se deberán enfrentar en forma creciente, proponiendo acciones que contribuyan y no contravengan su sustentabilidad.

La salud de los ecosistemas, particularmente de los humedales altoandinos, no sólo es esencial para la conservación de la diversidad biológica sino también para el bienestar de las comunidades humanas y el desarrollo económico de la región. Esta visión reconoce las funciones y los servicios ambientales desde el punto de vista climático, que proveen los humedales como parte integral del desarrollo sustentable y que, por lo tanto, exigen un enfoque de planificación, gestión y valoración mucho más amplio y complejo que el que se tiene en la actualidad, de naturaleza sólo económica. La gestión de estos ecosistemas no debe sólo responder a su condición de recursos naturales necesarios para la sociedad, sino que comprometerse además con la conservación de su riqueza y diversidad biológica, con los procesos ecológicos e hidrológicos y servicios ambientales que prestan sus ecosistemas y con el desarrollo de las comunidades sociales que los han habitado por milenios.

La necesidad de perfeccionar las visiones y objetivos territoriales es uno de los aspectos que debiera contribuir a la sustentabilidad de las regiones y lugares de los humedales localizados en las tierras altas del Desierto de Atacama, que, como se sabe, es considerado uno de los más áridos del mundo y que enfrenta la singular paradoja de que junto a su aparente limitación de recursos hídricos, dispone de ecosistemas de alta riqueza, presenta una de las más interesantes muestras de adaptación y diversidad socio-cultural y como si no fuera suficiente, concentra una de las mayores reservas de minerales metálicos y no metálicos del mundo. Bajo estas circunstancias, es evidente que los planes y programas destinados a conseguir su desarrollo sustentable, deben comenzar reconociendo la unicidad de los paisajes naturales y socioculturales que componen los humedales altoandinos y sus áreas de influencia, que son producto de un sistema socioecológico complejo e incierto, que ha desarrollado mecanismos de adaptación y resiliencia ante los cambios climáticos, incluyendo entre otros factores, la distribución espacial o territorial de los riesgos como un orden primario y fundamental.

Nota

[1] Proyecto de investigación financiado por iniciativa Milenio ns 100022 del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo y FONDECYT nº 1120204

4. REFERENCIAS

.ACEITUNO, P. (1996). Elementos del Clima en el Altiplano Sudamericano. **Rev. Geofisica-IPGH**, 44, 37–55, enero-julio 1996. .

.AHUMADA, M y L. FAÚNDEZ. (2009). **Guía descriptiva de los sistemas vegetacionales azonales hídricos terrestres de la ecorregión altiplánica (SVAHT)**. Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile.

.ALVES, L. M. (2009) Clima da Região Centro-Oeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. de A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J. da y DIAS, M. A. F. da SILVA (orgs) **Tempo e Clima no Brasil.** São Paulo: Oficina de Textos, p . 235-24.

.BUDDS, J. (2009a). Contested H2O: Science, policy and politics in water resources management in Chile. **Geoforum** 40: 418–430.
.BUDDS, J. (2009b). The 1981 water code: The impacts of private tradable water rights on peasant and indigenous communities in Northern Chile. In: Alexander, William L. ed. **Lost in the long transition: Struggles for social justice in neoliberal Chile**. Lanham: Lexington Books.
.COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (2006). "**Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI**". Departamento de Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Informe Final.
.EL MERCURIO (2010). **Nuevo Plan Arica contempla abrir minería en 40.000 hectáreas de su reserva de la biósfera.** 21 de junio de 2010, página 7 cuerpo C.
.FALVEY, M and GARREAUD, R. (2005). Moisture variability over the South American Altiplano during the South American Low Level Jet Experiment (SALLJEX) observing season. **Journal of geophysical research**, Vol. 110, D22105, doi: 10.1029/2005JD006152, 2005.
.FERREIRA, N. S. (2011). Zona de Convergencia Intertropical. Disponible en: http://climanalise.cptec.inpe.br/~rcliman/boletim/cliesp10a/zcit_1.html. Acceso en 17/10/2011
.GAN, M. A.; KOUSKY, V. E.; ROPELEWSKY, C. F. (2004). The South America monsoon circulation and its relationship to rainfall over West-Central Brazil. **Journal of Climate**, v.17, p. 47-66.
.GAN, M.; RODRIGUES, L. C.; RAO, V. B. (2009). Monção na América do Sul. In: CAVALCANTI, I. F. de A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J. da y DIAS, M. A. F. da SILVA (orgs) **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, p . 297-316.
.GARREAUD, R. (2003). The diurnal cycle in circulation and cloudiness over the subtropical southeast Pacific: A modeling study. **Journal of Climate**, Vol. 17, 1699-1710.
.GARREAUD, R., VUILLE, M. and CLEMENTS, A. (2003). The climate of the Altiplano: Observed current conditions and past change mechanisms. **Paleo3**, 3054, 1-18.
.GRIMM, A. M.; PAL, J. y GIORGI, F. (2007). Connection between spring conditions and peak summer monsoon rainfall in South America: Role of soil moisture, surface temperature, and topography in Eastern Brazil, **Journal of Climate**, v.20, p. 5929-5945.
.GUNDERMANN, H. y GONZÁLEZ, H.. (1989). Cultura aymara. Artesanías tradicionales del altiplano. En: Serie Patrimonio cultural chileno, **Colección Culturas Aborígenes**, Departamento de Extensión Cultural del Ministerio de Educación, Museo Chileno de Arte Precolombino.
.INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS (INE), (2002). **Censo Nacional de Población y Vivienda**. Resultados Preliminares, Santiago de Chile.
.JONES, C.; CARVALHO, L. M. V. (2002). Active and break phases in the South American monsoon system. **Journal of Climate**, v. 15, p. 905-914.
.LAGOS, G. (1997). **Eficiencia del uso del agua en la minería del cobre**. Centro de Estudios Públicos. Santiago de Chile.
.LAU, K.M.; ZHOU, E.J. Rainfall regimes and interannual variability of South American summer monsoon. In: VI INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY, Santiago, Chile, 2000. **Extended Abstracts**. Santiago: Amer. Meteor. Soc.,2000. P 153-154.
.MARENGO, J. A., AMBRIZZI, T. e SOARES, W. R. Jato de Baixos Níveis ao longo dos Andes. In: CAVALCANTI, I. F. de A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J. da e DIAS, M. A. F. da SILVA (orgs) **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p. 169-180.global monsoon systems: research. Genebra: World Meteorological Organization. WMO/TD, n.1266 (TMRP Rep. n. 70), 2005.p. 197-206.
.MECHOSO, C. R.; ROBERTSON, A. W.; ROPELEWSKY, C.F.; GRIMM, A. M. The American monsoon systems: An introduction. In: CHANG, C. P.; WANG, B.; LAU, N.-C. G. (Eds.) The .MELO, A. B. C. de; CAVALCANTI, I. F. de A. y SOUZA, P. P. Zona de Convergencia Intertropical do Atlántico. In: CAVALCANTI, I. F. de A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J. da y DIAS, M. A. F. da SILVA (orgs) **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p . 25-41.
.MESSERLI, B., GROSJEAN, M. and VUILLE, M. . (1997). Water availability, protected areas and natural resources in the Andean Desert Altiplano. **Mountain Research and Development**, Vol. 17, N°3: 229 – 238.
.MORAN, J. M.; MORGAN, M. D (1986). **Meteorology; The atmosphere and the science of weather**. Minneapolis: Burgess Publishing.
.MURRA, J. (1972). El 'control vertical' de un máximo de pisos ecológicos en la economía de las sociedades andinas. En **Visita de la Provincia de León de Huánuco en 1562 por Iñigo Ortiz de Zúñiga**, vol. 2, pp. 427-476. Universidad Hermilio Valdizán, Huánuco, Perú.
.PRUDHAN, S. (2009), **Commodification**. A companion to environmental geOGRAPHY. Edited by Noel Castree, David Demeritt, Diana Liverman and Bruce Rhoads. Wiley & Blackwell: London, 123-142.
.ROMERO, H. (1985). **Geografía de los Climas**. Colección Geografía de Chile, Tomo IX, Instituto Geográfico Militar, 1era. Ed., Santiago de Chile.
.ROMERO, H.; FUENTES, C. y SMITH, P. (2010). Dimensiones geográficas territoriales, institucionales y sociales del terremoto de Chile del 27 de febrero de 2010. **Cuadernos de Geografía** Nº 19, 2010, Bogotá, Colombia.
ROMERO, H., M. MÉNDEZ y P. SMITH. (2011). Mining development and environmental injustices in Atacama Desert (Northern Chile). **Revista Enviromental Justice Journal**. New York. (EN PRENSA).
.RUZ, R., DÍAZ, A. yGALDAMES, L. (2008). **Población andina de las Provincias de Arica y Tarapacá**. El censo inédito de 1866. Ediciones Universidad de Tarapacá, Arica, Chile.
.SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL (SEA), (2011). **Sistema electrónico de ingresos al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA**). Descarga de archivos Excel desde página web http://www.sea.gob.cl. Visitada entre el 24 y el 26 de enero de 2011
.SOCIEDAD DE FOMENTO FABRIL (SOFOFA), (2011). **Catastro de proyectos de inversión**. Descarga de archivos desde página web http://www.sofofa.cl/sofofa/index.aspx?channel=4329. Visitada entre el 24 y el 26 de enero de 2011.

ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica)

.SUZUKI, O. y ARAVENA, R. (1984). **Hidrología Isotópica y el Recurso Agua del Sector Esmeralda-Pica-Matilla**. Comisión Chilena de Energía Nuclear, Santiago de Chile
.VAN KASSEL, J. (1996). **La cosmovisión aymara. Etnografía: sociedades indígenas contemporáneas y su ideología**. Ed. Andrés Bello, Santiago de Chile, 302 p..
.VAN KESSEL, J. (2003). **Holocausto al progreso: Los Aymará de Tarapacá**. IECTA-Iquique 4a edición, Chile.
.YÁÑEZ, N. y MOLINA, R. (2008). **La gran minería y los derechos indígenas en el norte de Chile**. Ed. LOM. Santiago de Chile, 250 p.
.ZIMMERER, K. (2003), **Environmental Zonation and Mountain Agriculture in Peru and Bolivia: Socioenvironmental Dynamic of Overlapping Patchworks and Agrodiversity Conservation. Political Ecology. An Integrative Approach to Geography and Environment-Development Studies**. Edited by Karl Zimmerer and Thomas Bassett, The Guilford Press, London: 137-158.