

Ministerio de Planificación del Desarrollo
Viceministerio de Planificación Territorial y Ambiental
Programa Nacional de Cambios Climáticos

EL CAMBIO CLIMÁTICO EN BOLIVIA

(Análisis, síntesis de impactos y adaptación)





MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO - BOLIVIA
VICEMINISTERIO DE PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y MEDIO AMBIENTE
PROGRAMA NACIONAL DE CAMBIOS CLIMÁTICOS

El Cambio Climático en Bolivia
(Análisis, síntesis de impactos y adaptación)

(Documento en edición)



La Paz, 2007



© 2007 Programa Nacional de cambios climáticos

Título: El Cambio Climático en Bolivia (Análisis, síntesis de impactos y adaptación)

Autores: Ivar Arana Pardo
Magalí García Cárdenas
Marilyn Aparicio Effen

Revisión: Oscar Paz Rada
David Cruz Choque
Javier Gonzales Iwanciw

Apoyo logístico Marcelo Cabrera Montaña

Comentarios adicionales: Miguel Angel Ontiveros
Tesoro Michel
Jorge Apaza.
Jorge Cusicanqui

Edición y revisión: Oscar Paz, Ivar Arana y Gustavo Cardoso

Depósito legal:

Impreso en Bolivia por: Quality, SRL

La Paz – Bolivia

PRESENTACION

El incremento de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero de origen antrópico, está elevando la temperatura media de la superficie terrestre, conduciendo a modificaciones en la interrelación entre los componentes del sistema climático. Se prevén consecuencias como aumentos en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos u otros efectos crónicos que van agudizando la crisis de los sistemas naturales y humanos. En esta perspectiva Bolivia, tiene una reducida capacidad de respuesta ante los impactos de cambio climático, mostrando, así, una elevada vulnerabilidad en las zonas donde éstos han impactado.

Cada año, en ese sentido, las pérdidas por efecto de los fenómenos climáticos ascienden a millones de dólares; de acuerdo a estimaciones del Gobierno Nacional, las lluvias acaecidas durante el periodo Diciembre-Enero de 2005/06 han afectado a más de 13.000 familias provocando pérdidas de cultivos, ganado e infraestructura de consideración; empero es imprescindible hacer notar que todavía no se cuentan con un evaluación completa del presente año. De acuerdo a una estimación del BID, durante el periodo 1970-1999, las pérdidas por desastres alcanzan en Bolivia al 21% del PIB. Adicionalmente, el país, es susceptible a las sequías recurrentes y a las consecuencias de intensas tormentas. A causa de éstos procesos se han producido masivas migraciones a las ciudades provocando serios problemas de vivienda, vacíos o secuelas sociales y problemas de Estado que adicionalmente inducen a la habilitación de áreas no aptas para la construcción.

Los efectos más trascendentales, de éstos impactos, son aquellos previstos a más largo plazo pues tendrán una naturaleza casi irreversible y por tanto determinarán una vulnerabilidad mucho mayor que la actual. En este contexto se prevé que muchas zonas que al presente se consideran áridas, incrementen aún más su aridez o que muchos ecosistemas tiendan a la desaparición o a la migración hacia zonas más benignas. También se espera que los ecosistemas y especies que no puedan adaptarse, pudieran perecer como los bosques nublados que son sensibles a sequías estacionales, provocando el deterioro de los hábitats de diversas especies.

La investigación sobre la verdadera magnitud del cambio climático en el mundo y en Bolivia, en particular, tiene altas incertidumbres debido a la limitada cantidad de información sistemática y los bajos niveles de resolución en los escenarios de cambio climático. Sin embargo, es importante realizar algunas estimaciones sobre los posibles escenarios de cambio en las características climáticas para determinar con cierto grado de certidumbre cuales serán las condiciones futuras de otros recursos o sectores críticos fuertemente dependientes del clima. Es así que el presente trabajo concentra algunos estudios realizados sobre la vulnerabilidad de algunos sectores y recursos del país y propone realizar otros de manera que se puedan prever algunas situaciones de vulnerabilidad para intervenir en un futuro inmediato.

Cada capítulo incluye el análisis de un sector o recurso en forma independiente y a través de metodologías relacionadas pero separadas, por lo que puede ser revisado en forma aislada o como un todo. Se espera que el presente documento sirva de guía para acciones y proyectos destinados a reducir la vulnerabilidad identificada y a incrementar la adaptabilidad del país al cambio climático.

Cada capítulo incluye el análisis de un sector o recurso en forma independiente, aunque se relacionan con metodologías afines, razón para que pueda hacerse la revisión en forma aislada o en conjunto; esperándose que el documento sirva de guía para acciones y proyectos destinados a reducir la vulnerabilidad identificada, como para incrementar la capacidad de adaptación al cambio climático.

Resumen Ejecutivo

Las diversas formas de vida en el planeta están influenciadas principalmente por el Clima y tiempo; los ecosistemas y sistemas humanos; son el resultado de las interacciones del entorno; donde el clima juega un papel importante y de alguna manera incide en su configuración. El país es vulnerable al cambio climático, hecho que se pone de manifiesto por las pérdidas económicas registradas cada año y daños irreversibles en los ecosistemas. Debido a estas razones, la adaptación es una de las más importantes estrategias de respuesta y además de constituir en una herramienta de negociación a través de los Planes Nacionales de Adaptación al Cambio Climático, debiendo promover la adaptación planificada especialmente para países en desarrollo. Es en este entendido, el Programa Nacional de Cambio Climático pone en consideración, el presente documento que en el primer Capítulo analiza de manera general los impactos de la variabilidad y el cambio climático en Bolivia; mostrando algunas corridas del modelo MAGICC/GSCENGEN con escenarios de cambio climático.

Posteriormente, presenta un análisis por sectores, en cuatro Capítulos resultado de la vulnerabilidad el país al cambio climático donde los ecosistemas muestran modificaciones evidentes, dando lugar a pérdidas en la biodiversidad y la fragmentación del hábitat con consecuencias negativas sobre las poblaciones de aves, mamíferos, anfibios y determinadas especies vegetales. Uno de los importantes sectores sensibles a los cambios en los patrones de comportamiento climático es la agricultura, donde las condiciones de precipitación son más importantes que los cambios en las temperaturas. Sin embargo, los efectos crónicos, son tan importantes en la identificación de medidas de adaptación como los eventos súbitos particulares de fenómenos de variabilidad climática. El cambio climático es un fenómeno de carácter global, afectando también de manera transversal a diversos sectores; de tal forma que un análisis sectorial muchas veces implica entender que unos sectores son afectados independientemente; cosa que no ocurre, puesto que algunos sectores pueden ser afectados desatando un efecto en cadena, como es el caso de los recursos hídricos.

Es conocido por los resultados del Instituto de Hidráulica e Hidrología el acelerado proceso de retroceso de los glaciares, el volumen total de aguas de escorrentía de las tres cuencas del país es abundante e incluso en un futuro cercano podría incrementarse en algunas cuencas, probablemente debido a este fusión de los hielos de la cordillera; este hecho muestra que los sistemas de abastecimiento estarían gastando el agua del futuro. El impacto de la disponibilidad de los recursos hídricos en Bolivia tiene un efecto transversal afectando a diversos sectores productivos y de servicios. Gran parte, de suministro de energía, proviene de las lagunas glaciares a través de generadoras hidroeléctricas.

Por otra parte, si bien el suministro de agua afecta a la salud; el cambio climático directamente incide sobre ciertas enfermedades, este es el caso de la malaria, que ha reaparecido en extensas zonas en las que ya no había transmisión y se han presentado brotes, en áreas que tradicionalmente por sus condiciones de altitud y climáticas, no permitían el desarrollo de este tipo de dolencia, tal es el caso del brote de malaria no importada, presentado en 1998 en la comunidad de Tuntunani en Carabuco del Departamento de La Paz, probablemente debido al incremento de la temperatura que ha permitido la adaptación del mosquito vector; la distribución de otras enfermedades también han cambiado significativamente, es el caso de la Leishmaniasis, las Infecciones Respiratorias Agudas, Enfermedades Diarreicas Agudas, entre otras siendo la vulnerabilidad al cambio climático en el país totalmente heterogénea.

Las limitaciones en el conocimiento de las interrelaciones climáticas, tanto, en la variabilidad como en el cambio de clima, destacan la necesidad de continuar profundizando el estudio de los efectos climáticos sobre el proceso salud-Enfermedad. Este conocimiento, es de utilidad para desarrollar sistemas de alerta temprana, orientados a la prevención de las enfermedades sensibles al clima. Al

hablar del impacto de clima en la salud, no sólo se considera la identificación de la vulnerabilidad y la medida del impacto sobre la salud, sino la necesidad de establecer estrategias de reducción de dicha vulnerabilidad, el diseño de políticas, estrategias y medidas de adaptación con resultados obvios sobre los sectores sociales y económicos (Dados los costos que infringen sobre el Sistema Nacional de Salud las enfermedades sensibles al clima).

Los resultado presentando en el documento, no son todos los existentes en materia de cambio climático, se ha visto esta como una tarea de nunca acabar y las herramienta son cada vez más sofisticadas, pero también, limitadas en su aplicación por los vacíos de información epidemiológica, agrometeorológica e hidrológica para entender estos complejos procesos, cuanto más completa es la herramienta para evaluar los impactos del cambio climático, más exigente es la demanda de información. Finalmente, es importante resaltar, que no es posible hacer una planificación y generación de política públicas a largo plazo, sin considerar los riesgos que implica la amenaza del cambio climático, sea estos de carácter súbito o crónico.

Summary

Diverse forms of life in the Earth are influenced by the Climate and weather in some way; the ecosystems and human systems they are environment interactions result; where the climate determines its configuration. The country is vulnerable to the change climate fact that shows for the registered economic losses every year, irreversible damages in the ecosystems, because the adaptation is a most important response strategies and a negotiation tool is also especially the National Adaptation Plan Actions to Climate Change for that the planned adaptation is important for developing countries.

It is understood that The Climate Change National Programme puts in consideration this document that analyzes in a general way the impacts of the variability and the climate change in Bolivia in the first Chapter present some resultant running MAGICC/SCENGEN model that shows some climate change scenarios. After that it shows resultants of vulnerability analysis for sectors, in four Chapters. The ecosystems show evident modifications, giving place to losses in the biodiversity, annually the fragmentation of the ecosystems exacerbating the reduction of important populations of birds, mammals and amphibians. One of the important sensitive sectors to the change in the patterns of climate behaviours is the agriculture, where the precipitation conditions are more important than the change in the temperature. However, the chronic effects are so important in the identification adaptation measures, like the sudden events peculiar of phenomena of climate variability. Although, the climate change is a phenomenon of global character, It also has a traverse effect affecting to diverse sectors and separated It always implies sometimes to understand that some sectors are affected independently; sew that it doesn't happen, since some sectors can be affected untying an effect in chain, this is peculiar in water resources. It is known by the result of The Hydraulics and Hydrology Institute the quick process of setback of the glaciers the total volume of waters of runoff of the three basins of the country it is abundant and even in a near future it could be increased in some basins, probably due to this coalition of the ice of the mountain range this fact shows that the supply system would be spending the water of the future. The impact on the water supply in Bolivia is variable and it has a traverse effect affecting to diverse productive sectors and of services. Great part of energy supply comes from the lagoons glaciers through generating hydroelectric. On the other hand, although the supply of water affects to the human health; the climate change directly impacts on certain illnesses this it is the case of the malaria, it has reappeared in extensive areas in those that there was no longer transmission and buds have been presented, in areas that traditionally for their conditions highland and climate they did not allow the development of this ailment type, such the case of the bud of not cared malaria, presented in 1998 Tuntunani community near Carabuco La Paz Departament, (Rutar, 2000) above the 2800 m.s.n.m. this probably due to temperature increasing the distribution of another diseases has changed also significantly it is the case of the Leishmaniasis, the Sharp Breathing Infections, Illnesses Sharp Diarrheic, among others. The vulnerability to the climate change in the country is completely heterogeneous. The interrelations knowledge boundaries of the climate as much in their variability like in their change highlight the necessity to continue deepening the study of the climate effects on the process health - Illness. This knowledge is utility to develop systems of alert early, for the prevention of the sensitive illnesses to climate. When we speaking of the climate impact in the health, it is not only considered the identification of the vulnerability and the measure of the impact about the health, but the necessity of establishing strategies of reduction of this vulnerability and the design of political,

strategies and measures of adaptation with obvious results on the social and economic sectors (dice the costs that infringe on the National System of Health the sensitive illnesses to the climate). The result presenting in the document is not everything it exists a lot as regards climate change to know, one has seen this it is a task of never to end up and the tools are more and more sophisticated, but also, limited in their application for information gaps about epidemic, agro-meteorology and hydrological to understand these complex processes, the more complete it is the tool to evaluate the impacts of the most demanding climate change they are this in the demand of information. Finally, it is important to stand out that or it is possible to make a planning and long time public politics generation, without considering the risks that it implies the threat of the climate change, be these of sudden or chronic character.

Índice

| | |
|---|-----|
| Resumen Ejecutivo..... | iii |
| Summary..... | v |
| Índice..... | vii |
| ANÁLISIS GENERAL DE LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO EN BOLIVIA..... | 1 |
| Introducción..... | 1 |
| Circulación general, regional y el Cambio climático..... | 2 |
| Oscilación del Sur (SO) ciclo transición de episodios calientes a fríos..... | 4 |
| Impactos de Anomalías climáticas frecuentes en Bolivia..... | 5 |
| Fenómeno del niño..... | 5 |
| La Niña..... | 7 |
| Escenarios climáticos y las condiciones de los impactos..... | 9 |
| Análisis general de la vulnerabilidad al cambio climático..... | 11 |
| Incremento en la vulnerabilidad por mala planificación de asentamientos humanos..... | 14 |
| VULNERABILIDAD DE LOS ECOSISTEMAS AL CAMBIO CLIMÁTICO..... | 18 |
| MATERIALES Y MÉTODOS..... | 20 |
| Caracterización de las Zonas de Vida..... | 21 |
| 1. Bosque húmedo subtropical..... | 22 |
| 2. Bosque seco tropical..... | 23 |
| 3. Bosque húmedo tropical..... | 23 |
| 4. Bosque húmedo templado..... | 23 |
| 5. Bosque seco templado..... | 23 |
| 7. Bosque seco subtropical..... | 23 |
| 8. Bosque pluvial subtropical..... | 23 |
| 9. Bosque muy húmedo tropical..... | 24 |
| 10. Bosque húmedo templado frío..... | 24 |
| 11. Monte espinoso subtropical..... | 24 |
| 12. Bosque muy seco tropical..... | 24 |
| 13. Estepa templada fría..... | 24 |
| 14. Matorral desértico templado frío..... | 24 |
| 15. Desierto templado frío..... | 24 |
| Impactos del cambio climático sobre los humedales..... | 32 |
| CONCLUSIONES..... | 37 |
| IMPACTOS SOCIOECONÓMICOS..... | 38 |
| ANÁLISIS DE ADAPTACIÓN..... | 39 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 41 |
| IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA PRODUCCION AGROPECUARIA..... | 44 |
| INTRODUCCIÓN..... | 44 |
| EL SECTOR AGROPECUARIO EN BOLIVIA..... | 46 |
| PRODUCCION AGROPECUARIA Y CAMBIO CLIMÁTICO..... | 49 |
| VULNERABILIDAD DE LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA POR LA ARIDEZ PROVOCADA POR EL CAMBIO CLIMÁTICO..... | 53 |
| IMPACTOS PRODUCTIVOS ADICIONALES..... | 61 |
| EFECTOS FAVORABLES DEL CAMBIO CLIMÁTICO..... | 63 |
| CONCLUSIONES..... | 64 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 65 |
| IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LOS RECURSOS HÍDRICOS..... | 67 |
| RESULTADOS DE OTROS ESTUDIOS..... | 70 |
| APROXIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO..... | 71 |
| Cálculo del Balance Hidrológico por cuenca..... | 72 |
| Calidad del agua..... | 80 |
| LA ADAPTACIÓN EN EL SECTOR DE LOS RECURSOS HÍDRICOS..... | 84 |
| Consideraciones institucionales para favorecer la adaptación del sector recursos hídricos..... | 86 |
| Acciones de adaptación..... | 87 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 89 |

| | |
|--|-----|
| VULNERABILIDAD DE LA SALUD HUMANA A LA VARIABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO EN BOLIVIA | 90 |
| Complejidad del estudio de los efectos del Cambio Climático sobre la salud..... | 92 |
| Efectos directos e indirectos del Cambio Climático..... | 92 |
| Enfermedades relacionadas con el Cambio Climático..... | 93 |
| Enfermedades Transmitidas por Vectores..... | 93 |
| Enfermedades Relacionadas con Temperaturas Extremas | 93 |
| Cambio Climático y enfermedades infecciosas..... | 94 |
| Enfermedades transmitidas por el agua..... | 94 |
| Enfermedades nuevas, emergentes y re-emergentes..... | 95 |
| Los Desastres y la Salud Humana | 96 |
| Enfermedades Relacionadas con la Variabilidad Climática..... | 97 |
| Cólera..... | 97 |
| Dengue..... | 98 |
| Fiebre Amarilla..... | 98 |
| Malaria..... | 98 |
| VULNERABILIDAD DE LA SALUD HUMANA EN BOLIVIA | 98 |
| Enfermedades sensibles al clima en Bolivia..... | 98 |
| Dengue..... | 98 |
| Malaria..... | 100 |
| Enfermedades Diarreicas Agudas (EDAs) | 100 |
| Infecciones Respiratorias Agudas..... | 101 |
| Impactos de la variabilidad climática evidenciados en Bolivia | 101 |
| Estudio de Indicadores Tempranos del Cambio Climático..... | 108 |
| Uso de modelos predictivos para estudiar enfermedades en escenarios de Cambio Climático..... | 111 |
| CONCLUSIONES..... | 114 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 115 |

Índice de cuadros

| | |
|---|----|
| Cuadro 1. Pérdidas humanas asociados a la presencia de eventos extremos exacerbados por la variabilidad interanual del fenómeno El Niño | 6 |
| Cuadro 2. Pérdidas económicas el fenómeno El Niño en los años 1982-1983 y 1997-1998 por sectores (En millones de dólares Americanos) | 6 |
| Cuadro 3. Secuencia de eventos El Niño (fase caliente) y La Niña (fase fría) entre 1968 y 1991 según distintos autores. | 8 |
| Cuadro 4. Integración de la Vulnerabilidad y Evaluación de la Adaptación al cambio climático | 12 |
| Cuadro 5. Matriz de análisis de sensibilidad por peso de variables climáticas claves y comparación relacionada del clima con actividades económica basadas en de unidades exposición | 13 |
| Cuadro 6. Resultado de la matriz de sensibilidad mostrado a las variables meteorológicas como agentes de forzamiento de las actividades humanas como sensibilidad al cambio climático. | 14 |
| Cuadro 7. Eventos extremos registrados en el país con severos impactos sobre la infraestructura urbana y vertebración caminera..... | 15 |
| Cuadro 8. Condiciones supuestas para el desarrollo del escenario IS92a | 21 |
| Cuadro 9. Magnitud de cambio de los ecosistemas bajo el escenario IS92a para el año 2050..... | 29 |
| Cuadro 10. Magnitud de cambio de los ecosistemas bajo el escenario IS92a para el año 2100..... | 30 |
| Cuadro 11. Balance de áreas modificadas por el cambio climático bajo el escenario IS92a respecto al año base..... | 31 |

| | | |
|------------|--|-----|
| Cuadro 12. | Superficie (has) y producción agrícola (T.M.) por departamentos | 47 |
| Cuadro 13. | Variación de temperatura y precipitación asumidas para evaluar el cambio de las condiciones de aridez en las distintas áreas del país | 54 |
| Cuadro 14. | Acumulación de horas frío en estaciones seleccionadas de los valles interandinos entre mayo y agosto | 62 |
| Cuadro 15. | Inicio y final de la época de heladas y periodo libre de heladas en 4 estaciones agroclimáticas del altiplano boliviano con un 50 % de probabilidad..... | 63 |
| Cuadro 16. | Acumulación de Unidades Calor (UC) para estaciones del altiplano boliviano bajo condiciones actuales y de cambio climático desde octubre hasta marzo. | 64 |
| Cuadro 17. | Impactos esperados por regiones debido al cambio climático | 69 |
| Cuadro 18. | Población de Bolivia diferenciada por departamentos y por áreas urbanas y rurales y consumo de agua correspondiente bajo condiciones actuales. | 73 |
| Cuadro 19. | Consumo humano y total estimado por cuencas bajo condiciones actuales..... | 74 |
| Cuadro 20. | Balance de agua en las principales cuencas de Bolivia bajo condiciones actuales | 74 |
| Cuadro 21. | Proyección de la población en Bolivia para el año 2050 y consumo humano de agua correspondiente. | 75 |
| Cuadro 22. | Consumo humano y total estimado por cuencas bajo condiciones de cambio climático | 75 |
| Cuadro 23. | Balance anual de agua en las principales cuencas de Bolivia bajo escenario de cambio climático..... | 75 |
| Cuadro 24. | Balance hídrico por cuencas bajo un escenario de cambio climático durante la época de estiaje. | 76 |
| Cuadro 25. | Variaciones termo pluviométricas asumidas en el estudio..... | 78 |
| Cuadro 26. | Tipo de fuente y caudal ofertado de las empresas de agua potable de las capitales de departamento..... | 80 |
| Cuadro 27. | Tendencia del dengue en relación a la variabilidad interanual..... | 109 |
| Cuadro 28. | Contribución de cada variable al índice IB | 109 |
| Cuadro 29. | Valor de los estadígrafos de tendencia para la leishmaniasis..... | 111 |

Índice de mapas

| | | |
|----------------|---|----|
| Mapa 1. | Zonas de Vida de Bolivia generadas con el modelo HOLDRIDGE | 22 |
| Mapa 2. | Zonas de Vida de Holdridge bajo el escenario IS92a para el año 2010..... | 25 |
| Mapa 3. | Zonas de Vida de Holdridge bajo el escenario IS92a para el año 2050..... | 26 |
| Mapa 4. | Zonas de Vida de Holdridge bajo el escenario IS92a para el año 2100..... | 27 |
| Mapa 5. | Áreas agrícolas y ganaderas, según el Mapa de Uso actual de la tierra de la Dirección de Ordenamiento Territorial (2001). | 50 |
| Mapa 6. | Índices de aridez para Bolivia bajo condiciones climáticas actuales. (Cuanto más bajo el valor mayor es la aridez presentada por la zona evaluada) | 55 |
| Mapa 7. | Índices de aridez para Bolivia bajo condiciones de escenario de elevación de 1.5 ° C de temperatura para todo el territorio. (Cuanto mas bajo el valor mayor es la aridez presentada por la zona evaluada) | 56 |
| Mapa 8. | Índices de aridez para Bolivia bajo condiciones de escenario de elevación de 1.5 ° C de temperatura e incremento de 15 % de precipitación para los llanos y reducción del 15 % de precipitación para valles y altiplano. (Cuanto más bajo el valor, mayor es la aridez presentada por la zona evaluada) | 57 |

| | | |
|-----------------|--|-----|
| Mapa 9. | Zonificación de la vulnerabilidad integrada a la inseguridad alimentaria de los Municipios de Bolivia (PMA, 2002). La zonificación integra los factores de producción, riesgos climáticos y variables socioeconómicas de los Municipios que afectan a la seguridad alimentaria. | 60 |
| Mapa 10. | Ubicación de los centros poblados de Bolivia Fuente: Elaborado en base a la información del Instituto Nacional de Estadística, (2002)..... | 79 |
| Mapa 11. | Distribución de <i>Aedes aegypti</i> en América en 1970 y 1997..... | 99 |
| Mapa 12. | Áreas endémicas de malaria en el Departamento del Beni. | 105 |
| Mapa 13. | NDVI en Bolivia durante la segunda quincena de Febrero de 1998..... | 106 |

Índice de figuras

| | | |
|-------------------|---|----|
| Figura 1. | Modelo simplificado de los patrones de circulación general atmosférica (Fuente: Creado por Michael Pidwirny, University of British Columbia Okanagan, 2005).... | 4 |
| Figura 2. | Temperatura Superficial del Mar global entre el 20 de agosto 16 de septiembre del 2006. (Fuente: NOA, 2006)..... | 7 |
| Figura 3. | Comportamiento del rendimiento del cultivo de papa (<i>Solanum sp</i>) bajo condiciones del evento Oscilación Sur La Niña. Fuente: Elaboración Propia con datos del Ministerio de Agricultura (2005). | 9 |
| Figura 4. | Incremento de las temperaturas para Sud América bajo escenarios de B2-AIM en el periodo 1990 al 2050..... | 10 |
| Figura 5. | Incrementos de la temperatura generados por el modelo MAGICC/ SCENGEN bajo los escenarios de emisiones supuestos por el Modelo Asian Pacific Integrated Model bajo el supuesto B2-AIM para el período 1765 al 2050. | 10 |
| Figura 6. | Incremento de las concentraciones atmosféricas de CO ₂ bajo los supuestos del escenario B2-AIM. | 10 |
| Figura 7. | Probabilidad de incremento en las precipitaciones anuales bajo el Escenario B2-AIM generado tres modelos CSM-98 ECH-395; ECH498 GFDL90 y HAD295 HAD300. Modelo MAGICC/SCENGEN | 11 |
| Figura 8. | Probabilidad de incremento en la precipitación del mes de enero bajo el escenario B2-AIM. | 11 |
| Figura 9. | Bosques montanos húmedos de los Yungas y vista del Glaciar Churquina proceso de retroceso ecosistemas peculiares y sensibles a la elevación de la temperatura .. | 18 |
| Figura 10. | El pastoreo en humedales alto andinos, sensibles al retroceso de glaciares camino a Ambaná región no endémica de malaria donde se presenta la enfermedad por efectos del cambio climático..... | 33 |
| Figura 11. | Cauce seco. Una embarcación encallada yace sobre el lecho del río Manaquiri en el Brasil durante la intensa sequía que afectó al Estado de Amazonas en 2005 (Foto reportes de prensa- Brazil). | 34 |
| Figura 12. | Imagen de satélite de la NOAA de sequías exacerbadas por el cambio climático durante el periodo de huracanes del 2005, intensificando causas sobre el tiempo a nivel local que induce a periodos más secos, por el efecto de aerosoles que evitan la formación de nubes actuando como núcleos de condensación (Imagen GOES-INPE, 2005)..... | 35 |
| Figura 13. | Incendios en la sabana y bosques en la región Amazónica del norte de Bolivia en la imagen de satélite NOAA-GOES de septiembre de 2005 que incluye focos de calor (a) Las partículas producidas por el fuego (estimadas por los puntos de fuego) son | |

| | |
|--|-----|
| inyectadas en modelos de transporte atmosférico (b) que muestran el efecto las quemas. (GOES-NOA, 2005; PNCC, 2005)..... | 36 |
| Figura 14. Impactos del cambio climático sobre la producción agropecuaria | 45 |
| Figura 15. Los extremos climáticos pueden afectar fuertemente la producción agrícola, especialmente referente a la falta o el exceso de agua | 46 |
| Figura 16. Impacto del retroceso de los glaciares y sus connotaciones en los sectores sociales y económicos..... | 68 |
| Figura 17. El acceso al agua potable es muy deficiente para las poblaciones rurales de Bolivia, las que incrementarían su déficit bajo condiciones de cambio climático. Foto: NCAP,2006 | 81 |
| Figura 18. Estructura actual de la industria eléctrica en Bolivia | 83 |
| Figura 19. Caída del puente Chapare muestra que eventos extremos climático pueden superar cualquier tipo de construcción..... | 85 |
| Figura 20. El alto patrón estacional de las EDA's en niños de 1 a 4 años | 102 |
| Figura 21. Patrón estacional de las IRA's más neumonías..... | 103 |
| Figura 22. Patrón estacional de la malaria en Guayaramerín..... | 105 |
| Figura 23. Pozos de agua que se convierten en criaderos de vectores qu por la elevación de la temperatura se conviertes en agentes de transmisión de las enfermedades vectoriales..... | 107 |
| Figura 24. Incidencia de la leishmaniasis en el norte de La Paz, Pando y Beni durante las gestiones 1995 – 1999. | 108 |
| Figura 25. Estacionalidad de la leishmaniasis en el Departamento del Beni. | 108 |
| Figura 26. Tendencia del comportamiento de los casos de EDA's en niños de 1-4 años en Santa Cruz de la Sierra. Fuente: Elaboración Propia. | 108 |
| Figura 27. Estacionalidad de la malaria por <i>P. falciparum</i> y <i>vivax</i> en la región Norte de Bolivia. | 109 |
| Figura 28. Estacionalidad de la leishmaniasis en la región de estudio | 111 |
| Figura 29. Comportamiento de las condiciones medias actuales y de la línea de base respecto al valor del IB en la región de estudio..... | 112 |
| Figura 30. Línea de base, situación actual y proyección al 2010 para la incidencia de malaria producida por <i>P. falciparum</i> | 112 |
| Figura 31. Comportamiento de la leishmaniasis, línea de base, situación actual y proyección al 2010..... | 113 |

ANÁLISIS GENERAL DE LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO EN BOLIVIA

Introducción

Las diversas formas de vida en el planeta están fuertemente influenciadas por el Clima y tiempo; la salud humana, los ecosistemas y sistemas productivos; son el resultado de las interacciones del entorno, donde la condición atmosférica media determina su configuración biológica resultado la interacción de los componentes del sistema climático que son: Hidrósfera, Atmósfera, Geósfera, Criósfera y Biosfera que se encuentran en constante interacción y con intercambio de masa y energía constante, de su fuente principal el sol, con aproximadamente 342 Wm^{-2} de radiación directa (IPCC, 2001a). Durante la segunda mitad del siglo pasado, el incremento de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero (GEI) producto de las actividades antrópicas tiene una fuerte interferencia del sistema climático, provocando un crecimiento constante de la temperatura media del planeta con impactos sobre los diferentes sectores.

La sensibilidad y vulnerabilidad de los ecosistemas y sistemas de la subsistencia humana al cambio climático, en el país representan pérdidas económicas de consideración, daños irreversibles sobre los ecosistemas, modificando sus características; aunque la observación sistemática, no muestra cambios significativos durante períodos cortos en los patrones de comportamiento climático. Esto se debe probablemente, a que la información histórica disponible en el país, es de 50 años, justo en el periodo donde se muestra inflexión de la curva de cambios en las variables meteorológicas, además de existir una fuerte variabilidad climática que esconde estos rangos en el comportamiento climático de origen antrópico. Es decir,

debido al incremento de los gases de efecto invernadero por las actividades humanas.

Las condiciones de desarrollo del país incrementan el nivel de vulnerabilidad al cambio climático; existen frecuentes asentamientos humanos no planificados, que ha costado importantes pérdidas, por la ocurrencia de eventos climáticos extremos y pérdidas humanas irreparables; condición social que incrementa los niveles de marginalidad en centros urbanos.

El desarrollo tiene una relación inversamente proporcional a la vulnerabilidad, lo que determina que el país es altamente vulnerable al cambio climático, fenómeno de carácter global, por la interferencia antrópica del sistema climático. Estos cambios, muestran que las temperaturas se incrementan más que lo previsto por los Modelos de Circulación General, lo que incide fuertemente en la circulación general y patrones de comportamiento en el clima regional exacerbando la incidencia de fenómenos de variabilidad climática con mayor frecuencia e intensidad. Se tienen en el país, en los últimos años record de precipitaciones máximas en 24 horas no observados en periodos de 50 años.

Anualmente la infraestructura caminera se interrumpe con frecuencia, con pérdidas que ascienden a millones de dólares Americanos cada año; del mismo modo las pérdidas en la producción agropecuaria y especialmente en pequeños productores representan amenazas para la seguridad alimentaria de importantes sectores de la población rural.

A pesar los esfuerzos del país por reducir emisiones de gases de efecto invernadero,

aunque no es su responsabilidad ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, la contribución del país al calentamiento global es insignificante. Sin embargo, los impactos representan una amenaza creciente en el futuro bajo escenarios de desarrollo económico, consumo de energía y crecimiento poblacional podrían incrementarse a un más. Actualmente las pérdidas por el comportamiento climático anómalo, son grandes.

Es por esto, que la medida urgente para responder a los impactos del cambio climático es la adaptación; puesto que las concentraciones actuales de gases de efecto invernadero ya están forzando el clima terrestre y las medidas que se vayan a tomar no tendrán efecto inmediato, debido al largo tiempo de permanencia en la atmósfera.

Estas condiciones de vulnerabilidad existente, solo se pueden entender a partir de los estudios de vulnerabilidad al cambio climático; el país ha avanzado en este tema, pero a pesar de los grandes esfuerzos del Programa Nacional de Cambios Climáticos, los resultados son de carácter preliminares, por la dificultad que representa interpretar el clima en las diversas regiones de Bolivia, por su compleja fisiografía y la deficiente información sistemática existente y la ausencia de series largas de información en superficie y la ausencia de información de alta atmósfera que permitan mayor precisión en los resultados, para entender como el cambio climático puede afectar a los sistemas productivos y la salud humana.

Es por esto, que el Programa pone a consideración una compilación y aporte nuevos reveladores de los impactos del cambio climático sobre sectores críticos; que a pesar de sus altas incertidumbres, producto de la baja resolución de los escenarios climáticos utilizados y la

carencia de información sistemática, son un referente importante para la toma de decisiones e impulsar acciones de adaptación articulada a los diferentes sectores asegurando un desarrollo sustentable que garantice crecimiento económico constante.

Circulación general, regional y el Cambio climático

Es reconocido por el IPCC (2001 a) que cambios o fluctuaciones en la circulación marina son importantes elementos del clima, de ahí que los cambios en la circulación general constituyen principales causas de la variabilidad de elementos climáticos algunas veces mediatizado por cambios en la superficie de la tierra. El motor de la termodinámica del planeta, es el ingreso constante de radiación solar sobre su superficie, siendo parte de esta reflejada por la misma en forma de radiación difusa de onda larga. Este proceso, permanece en equilibrio en un promedio de 210 Wm^{-2} . (Te Chow, *et al.* 1994) Sin embargo, el calentamiento de la tierra no uniforme, producto de la incidencia de los rayos en el Ecuador casi perpendicularmente con un promedio de radiación incidente de 270 Wm^{-2} y con un ángulo de inclinación bajo en los polos que alcanza un valor promedio de 90 Wm^{-2} de radiación incidente, debido a que la tasa de radiación, es directamente proporcional a la temperatura absoluta de la superficie terrestre, la radiación emitida por la tierra es más uniforme que la recibida. Como respuesta a esta desproporción, la atmósfera juega un importante rol en el transporte de energía del Ecuador a los Polos en un promedio cercano a $4 \times 10^9 \text{ MW}$. (Te Chow, *et al.* 1994).

El sistema atmosférico está conectado, la zona de convergencia es modulada por el movimiento aparente del sol sobre el Pacífico, desplazándose con un mes de

demora en relación a la declinación solar, el descenso de la zona de convergencia va acompañado del desplazamiento del anticiclón del Pacífico hacia el sur y consecuentemente un debilitamiento gradual de los vientos alisios del sureste (Martínez¹, 2006).

Sin embargo, el sistema no es perfecto a veces la zona de convergencia y el anticiclón son modulados por otro tipo de señales, como las oscilaciones Madden Julian (40-60 días) que rompen el patrón y lo descompensan, además también se presentan efectos perturbadores desde la baja amazónica que influyen en este patrón.

La circulación general de la atmósfera, tiene el comportamiento de los gases reales donde los incrementos en las presiones son sensibles al sobre calentamiento del planeta debido al efecto invernadero inducido por las acciones humanas y las interferencias del sistema climático provocan también cambios en este comportamiento que es función no solo de la fuerza de *Coriolis* sino de aspectos relacionado a las interferencias de este complejo sistema de circulación que es la base para la modelación del sistema climático, entender los patrones del comportamiento del balance térmico a nivel global y regional, son importantes para la generación de modelos de circulación general atmosférica, siendo esta, una representación tridimensional de la atmósfera acoplada a la superficie terrestre, criósfera y océano. La lógica, en estos es similar a modelos numéricos usados para la predicción de tiempo, para la generación de proyecciones durante décadas o siglos en lugar de días usa un nivel más grueso de detalle. Estos modelos tienen que ser alimentados con los

datos de la temperatura de la superficie del mar y la cobertura de hielo. Los modelos Atmosféricos de circulación general son útiles para estudiar los procesos atmosféricos, la variabilidad de clima y su respuesta a los cambios en la temperatura de la superficie del mar (Hadley Centre, 2006).

La circulación atmosférica tiene tres celdas en cada hemisferio, tal como se muestra en el esquema de la Figura 1. En la celda tropical el aire caliente asciende en el Ecuador, se mueve a hacia los polos en la capa superior, pierde calor y desciende hacia el suelo en una latitud de 30°. Cerca de la superficie del suelo, se divide en 2 ramas, una de las cuales se mueve hacia el ecuador y la otra hacia el polo. En la celda polar el aire asciende hasta la latitud 60° y fluye hacia los polos en capas superiores, luego se enfría y se devuelve a hasta una latitud de 60° cerca de la superficie de la tierra. La celda central se mueve por la fricción de las otras dos; su aire superficial fluye hacia el polo produciendo un flujo de aire prevaleciente desde el oeste en las latitudes medias.

La distribución no uniforme de la superficie del océano y la plataforma continental en la superficie del planeta, asociada con sus diferentes propiedades térmicas, crean variaciones espaciales adicionales en a circulación atmosférica. Los cambios anuales del ecuador térmico debido al movimiento de traslación de la tierra alrededor del sol producen una oscilación correspondiente del patrón de circulación de las tres celdas. Con una oscilación grande denominada de Hadley, celdas de Ferrel y las celdas Polares. Los cambios de aire entre dos celdas adyacentes pueden, ser más frecuentes y completos, ocasionar inundaciones con el tiempo. Debido a que la circulación atmosférica es compleja solo se pueden identificar patrones generales de

¹ Rodney Martínez Es Oceanógrafo coordinador de investigación en la Centro Internacional de Investigación del Fenómeno de “El Niño” CIIFEN

movimiento, en los patrones de circulación general. (Te Chow, *et al*, 1994; Pidwirny, 2006)

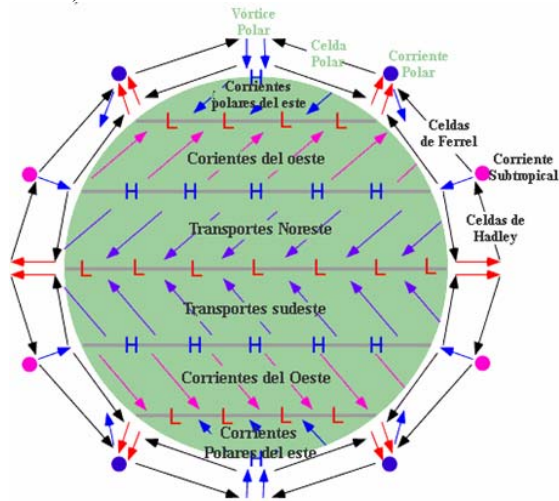


Figura 1. Modelo simplificado de los patrones de circulación general atmosférica (Fuente: Creado por Michael Pidwirny, University of British Columbia Okanagan, 2005)

Verticalmente la atmósfera, se divide en varios niveles. Los patrones de circulación atmosférica descritas anteriormente tienen lugar en la troposfera, que varía desde los 8 Km. en los polos y 16 Km. en el ecuador. La temperatura en la troposfera disminuye con la altitud a una tasa que varía con la humedad en la atmósfera (Te Chow, *et al*, 1994)

Sin embargo, estos patrones de circulación general se ven fuertemente alterados por el incremento de los gases de efecto invernadero producto de las actividades antrópicas. Los incrementos acelerados en las concentraciones de Gases de efecto invernadero desde la década de los 50 del siglo anterior, interfieren en el sistema climático debido al crecimiento económico, consumo de energía, crecimiento poblacional actividades que emiten gases de efecto invernadero. El efecto invernadero incremental afectan los incrementos en la temperatura superficial media de la tierra

generando una serie que involucra el transporte anómalo de masa y energía para el balance termodinámico del planeta.

Estas alteraciones en la circulación general coinciden con sequía en lugares poco frecuentes; ecosistemas normalmente con altos niveles de precipitación son sensibles al déficit de precipitación incidiendo en la pérdida de la biodiversidad por impactos de los cambios en la circulación general alterando sensiblemente su composición.

El efecto invernadero incremental es el responsable de las alteraciones del sistema climático y sus consecuentes impactos que inciden en la presencia más frecuente de fenómenos atmosféricos con impactos de gran magnitud, de ahí que los fenómenos presentan a los sistemas de glaciares de la alta montaña como los ecosistemas más sensibles a los cambios de temperatura y además de ser exacerbados por la configuración de rocas y el color de estas que aceleran proceso de derretimiento de los mismos, es así que los pequeños glaciares en gran parte del mundo están disminuyendo los sistema de almacenamiento de hielo.

Oscilación del Sur (SO) ciclo transición de episodios calientes a fríos²

La oscilación del sur es la irregular fluctuación de la presión superficial del mar (PSM) entre el Pacífico oeste tropical, la región Este del océano Índico y el sudeste tropical del Pacífico. Fases opuestas a la Oscilación Sur OS son acompañados por patrones de comportamientos anómalos de vientos, convección tropical anómala y Temperatura Superficial del mar anómala; que generalmente expanden, en todo el

² Extractado de la Organización Meteorológica Mundial: "The Global Climate System" Review December, 1993 to May 1996

pacífico ecuatorial y a regiones en latitudes medias adyacentes. (Organización Meteorológica Mundial, 1998)

Colectivamente estos patrones anómalos, son una consecuencia de fuertes acoples entre la interacción atmósfera-océano como la causa dominante de la variabilidad interanual en muchas regiones tropicales del globo terráqueo. Las fases negativas de la Oscilación del Sur (SO) representan presiones superficial del mar PSM por debajo de lo normal en todo el este ecuatorial del pacífico y presiones sobre lo normal en el oeste con anomalías débiles a través del este del pacífico tropical. Estas fases son generalmente acompañadas por anomalías positivas en todo el pacífico tropical desde la línea Este, hasta la costa de Sudamérica y por intensificarse la convección sobre la parte central del pacífico y el este-central del pacífico ecuatorial todas estas condiciones caracterizan a El Niño Oscilación del Sur (ENOS). El término El Niño involucra lo referido a la fase caliente a lo largo del océano de la temperatura superficial del mar (TSM) en el pacífico ecuatorial. Otro nombre comúnmente usado para un fenómeno ENSO es “Episodio Calientes del Pacífico”. En contraste, la fase positiva de la Oscilación Sur (OS) es asociada con patrones opuestos anómalos de la Presión Superficial del Mar (PSM) vientos, Temperatura Superficial del Mar (TSM) y convección tropical. Estas condiciones son conocidas como “Episodio Frío del Pacífico” o “La Niña”. Referirse a los episodios calientes de la OS ocurre en promedio cada tres a seis años. Los episodios fríos tienden a aparecer más radicalmente con fenómenos convectivos más frecuentes; Los impactos más frecuentes como fenómenos de variabilidad climática en el país se analizara en el próximo acápite.

Impactos de Anomalías climáticas frecuentes en Bolivia

Fenómeno del niño

Los efectos de las diferentes fases en los fenómenos El Niño Oscilación Sur (ENSO) son transmitidos a la circulación subtropical y extratropical primariamente a través del acompañamiento a gran escala de cambios en la convección tropical, específicamente, hay tres grandes cambios en la distribución tropical de la convección de los valores climáticos medios durante este período. (Organización Meteorológica Mundial WMO, 1994)

Durante episodios calientes hay una profunda convección hacia la extensión este y calentamiento troposférico hacia las partes central y central-Este del pacífico Ecuatorial, un desplazamiento hacia el ecuador prolongándose hacia el Este de la Zona de convergencia del pacífico sur con cambios en a zona de convergencia intertropical, con anomalías positivas de la temperatura superficial del mar. Estos cambios estructurales en la Zona de Convergencia del Pacífico Sur (ZCPS) y Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) también contribuyen a la concentración observada y profunda amplificación de convección tropical a lo largo de la línea del ecuador. Todos estos cambios en la convección resultan en un comportamiento anómalo en los periodos secos en el norte de Australia y condiciones anómalas en la humedad sobre el pacífico central. (WMO, 1994)

Estos estudios realizados en la Revisión del Sistema Climático, (WMO, 1994) no muestran cual es el comportamiento de los precipitaciones y temperaturas durante la fase caliente de la Oscilación Sur. Sin embargo, las temperatura y precipitación de acuerdo al análisis de información climática

de la red de observación meteorológica presenta índices de precipitación inferiores a lo normal en la región sur del país y excesos de precipitación en la región norte, paralelamente se presenta elevaciones anómalas de observaciones en superficie en temperaturas máximas lo que agudiza la problemática del retroceso de glaciares y comportamiento de algunas enfermedades emergentes del cambio climático como la Malaria en zonas no endémicas³ esto tiene que ver con los valores de los estudio de índices de precipitación en los que se observan incrementos durante estos periodos de la fase caliente del ENSO los meses de Diciembre y Enero.

Estos comportamientos anómalos también tiene una fuerte correlación con los presencia de episodios destructivos asociados a la vulnerabilidad de los sistemas de la subsistencia humana y los ecosistemas.

El Niño, como fenómeno de variabilidad climática, tiene una incidencia en los diferentes sectores; los años que se ha puesto de manifiesto cobró pérdidas humanas de importancia, como se muestra en el Cuadro 1. Siendo gran parte, debido a eventos súbitos a la variabilidad climática, producidas en ambos fenómenos ENSO (1982/1983 y 1997/1998) como inundaciones y riadas, dejando un saldo de 700 personas heridas y con pérdidas materiales de consideración ascendiendo en términos económicos a un valor de 837.000 Dólares Americanos (OPS, et al., 2003).

³ El reporte de la ciencia el cambio climático muestran cambios en el escudo epidemiológico distribuidos geográficamente.

Cuadro 1. Pérdidas humanas asociados a la presencia de eventos extremos exacerbados por la variabilidad interanual del fenómeno El Niño

| | Muertos 1982-1983 | Muertos 1997-1998 | Heridos 1997-1998 | Desaparecidos 1997-1998 |
|---------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------------|
| Bolivia | 50 | 43 | 400 | 40 |

Fuente: Organización Panamericana de la Salud (OPS); Oficina de Coordinación de las Naciones Unidas para el Socorro en Caso de Desastres (UNDRO); Comisión Económica para América Latina (CEPAL), 2003.

Del mismo modo, las pérdidas por variabilidad climática en el país, durante eventos niño considerados como severos, comparativamente presentan pérdidas mayores durante el periodo 1982-1983 respecto a los datos de 1997-1998, siendo afectado en ambos casos los sectores productivos asociados a la agricultura y el sector transporte ascendiendo a mayores costos. Las pérdidas en el sector transporte durante la ocurrencia de “El Niño 1997-1998”, fueron por daños en la infraestructura caminera como se ilustra en el Cuadro 2. Las pérdidas sociales asociado a pérdida de vivienda y enseres es mayor en el niño 1982-1983 en la que se produjeron migraciones masivas a la ciudades del eje central (La Paz, El Alto, Cochabamba y Santa Cruz) incrementando los niveles de marginalidad y números de indigentes en las calles de las cuatro ciudades.

Cuadro 2. Pérdidas económicas el fenómeno El Niño en los años 1982-1983 y 1997-1998 por sectores (En millones de dólares Americanos)

| Sector | 1982-1983 | 1997-1998 |
|-----------------------|-------------|------------|
| Total Nacional | 1372 | 527 |
| Sectores sociales | 37 | 15 |
| Sectores productivos | 1174 | 282 |
| Transporte | 161 | 288 |
| Otros Gastos | 0 | 12 |

Fuente: Organización Panamericana de la Salud (OPS); Oficina de Coordinación de las Naciones Unidas para el Socorro en Caso de Desastres (UNDRO); Comisión Económica para América Latina (CEPAL), 2003

El fenómeno El Niño en el territorio boliviano muestra un comportamiento variable con cambios en la distribución temporal de la precipitación y presencia de temperaturas superiores a los 2 grados de los valores normales. La región Amazónica, es sensible a los cambios del fenómeno de “El Niño”, por lo general los estudios y evaluaciones se realizan en regiones con población. Sin embargo, las condiciones de precipitación en la región Amazónica superiores a lo normal al igual que las temperaturas, y producen importantes inundaciones especialmente en ciudades como Trinidad y Cobija con mayor impacto en poblaciones de colonos que se asientan en regiones bajas. Contrariamente a estos comportamientos el déficit de precipitación coinciden a condiciones de sequía moderada, con significativas pérdidas en la producción agropecuaria siendo mucho mayor el impacto en la región del Chaco y el altiplano sur según datos de la CEPAL, (2003).

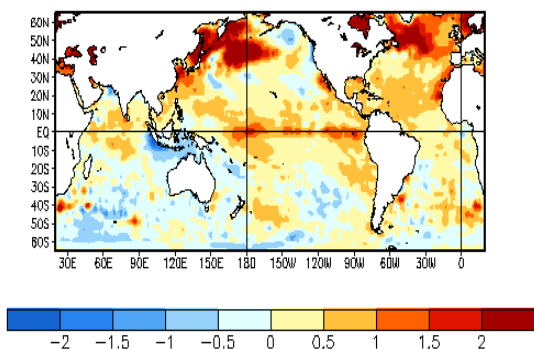


Figura 2. Temperatura Superficial del Mar global entre el 20 de agosto y el 16 de septiembre del 2006. (Fuente: NOA, 2006)

La Niña

El evento “La Niña”, es un proceso opuesto al ENOS, en la que la Temperaturas Superficiales del Mar TSM alcanzando bajo condiciones normales alrededor de 25°C, disminuyendo entre 2 a 3 °C es decir de 23° y 22°C, extendiéndose las aguas más frías

como una estrecha faja con una amplitud cercana a 10° de latitud oeste sobre la línea del Ecuador desde las costas del Perú hasta cerca de 180° de Longitud Oeste en el Pacífico central por el incremento de la fuerza de los vientos alisios siendo estos más intensos. (Pantoja, 2006)

Este fenómeno es también conocido como anti ENOS o "El Viejo". Sin embargo, el término “Niña” se hizo más usual; siendo la secuencia histórica de la ocurrencia del mismo en 1904-1905, 1908-1909, 1910-1911, 1916-1917, 1924-1925, 1928-1929, 1938-1939, 1950-1951, 1955-1956, 1964-1965, 1970-1971, 1973-1974, 1975-1976, 1988-1989, 1995-1996 y el evento persistente 1998-2001. Similar al ENOS, “La Niña” también varía en intensidad, habiéndose presentado episodios de 1988-1989 respecto al débil episodio 1995-1996: en el intenso evento 1988-1989 el enfriamiento de las aguas superficiales fue más lento, demorando dos meses para que la temperatura superficial del Pacífico disminuya 3,5°C; destacando además el desarrollo similar notado en el Pacífico Tropical a inicios del evento 1998-2001, aunque el enfriamiento se produjo aceleradamente en un mes.

Durante eventos “La Niña” los vientos Alisios son más intensos que bajo condiciones normales, la OS presenta valores positivos, indicando la intensificación de la presión en el Pacífico central y oriental respecto a la presión en el Pacífico occidental; iniciando en general el desarrollo del evento a mediados de año, alcanzando su máxima intensidad a fines de año y acabando su evolución a mediados del siguiente año. Según análisis históricos de caracterización de eventos “La Niña” se nota que éstos revelan una mayor variación, mientras que los eventos ENOS revelan un patrón más consistente.

Luego de una rápida culminación del evento ENOS en mayo y junio 1998, se observó el súbito enfriamiento de las aguas en el Pacífico ecuatorial central, iniciándose desde junio 1998 un nuevo evento “La Niña”, caracterizado por el desarrollo de aguas más frías en el Pacífico ecuatorial central y oriental, intensos vientos alisios e intensificación de la presión atmosférica en la zona oriental del Pacífico y debilitamiento de presiones en sectores occidentales.

Además cabe anotar que, en las 2 décadas pasadas, fueron 4 ocasiones en que “La Niña” sucedió a ENOS: al excepcional intenso evento ENOS 1982-83 le continuó el débil evento “La Niña 1984-1985”, a ENOS moderado 1986-87 le siguió una fuerte “La Niña” en 1988-1989, a la extensa fase cálida 1991-95 que incluyó al ENOS 1991-1993 de débil a moderada intensidad le continuó el débil episodio “La Niña” 1995-1996 y finalmente al excepcional e intenso ENOS 1997-1998 le siguió el persistente y moderado evento “La Niña” 1998-2001 (OMM, 2003).

Durante enero continuó la tendencia descrita en el mes anterior, reforzándose aún más el patrón de anomalías típicas de nubosidad convectiva de un evento La Niña. En particular se intensificaron las anomalías positivas de Radiación Infrarroja Emergente (RIE) alrededor de 180° longitud O, ampliándose además el área de anomalías positivas de RIE en este sector. Sin embargo, el avance hacia el Este de un núcleo de nubosidad convectiva desde el océano Indico hacia el Pacífico ecuatorial occidental durante las primeras dos semanas de febrero, en lo que parece ser una típica perturbación de carácter intraestacional (onda de Madden-Julian), podría favorecer el desarrollo de nubosidad convectiva en la región ecuatorial vecina a

la línea de la fecha en las próximas semanas. (Aceituno y Montecinos, 2001)

Cuadro 3. Secuencia de eventos El Niño (fase caliente) y La Niña (fase fría) entre 1968 y 1991 según distintos autores.

| Autor | Evento | Año inicial/final del evento | | | | | |
|----------------------------|---------|------------------------------|---------|---------|---------|---------|--|
| Van Loon y Shea (1985) | El Niño | 1969/70 | 1972/73 | 1976/77 | 1982/83 | 1986/87 | |
| | La Niña | 1970/71 | 1973/73 | np | 1978/79 | 1988/89 | |
| Ampliada por Lucero (1991) | El Niño | 1969/70 | 1972/73 | 1976/77 | 1982/83 | 1986/87 | |
| | La Niña | 1970/71 | 1973/74 | 1975/76 | np | 1988/89 | |

Fuente: De la Casa A, et al. 2000.

Esta fase se manifiesta en el país con precipitaciones superiores a lo normal, por el arrastre de aire húmedo de la región Atlántica y por el incremento en la fuerza y velocidad de los vientos Alisios que adquieren mayor intensidad por el enfriamiento superficial del Mar en la zona del pacífico ecuatorial.

Este fenómeno se presenta, con anomalías positivas en cuanto al incremento de la producción agrícola por el incremento en las precipitaciones, que inciden positivamente en el rendimiento de los cultivos; por ejemplo se ha registrado rendimiento del cultivo de papa el año 1998/1999 con un valor de 6.5 ton/ha con una tasa de incremento de 58.5 toneladas respecto al año Base (MACA, 2000) en la que la incidencia de estos incrementos están manifiestos también el año la campaña agrícola 1998/1999; 1999/00; 2000/2001 periodo coincidente con la presencia de eventos la Niña. (De la Casa, *et al.*, 2000) Sin embargo, muchas regiones con áreas inundables sufren pérdidas por el anegamiento de este mismo cultivo, ascendiendo las pérdidas cada año a cifras significativas en la producción que no han sido cuantificados con precisión, aunque existen valores estimados.

Por otra parte, las intensidad de la precipitaciones dan lugar a severos daños

en la infraestructura caminera y asentamientos humanos en zonas urbanas de alto riesgo, los mismos que presentan baja cobertura de servicios básicos a nivel de las ciudades de altas pendientes especialmente la Ciudad de La Paz, con incremento del grado de vulnerabilidad, por la intensidad de la amenazas del incremento en intensidad y frecuencia de registros históricos superiores a lo normal.

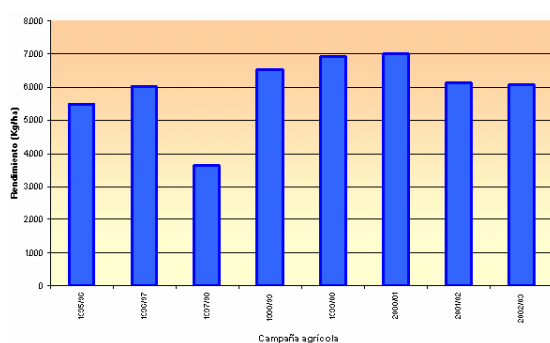


Figura 3. Comportamiento del rendimiento del cultivo de papa (*Solanum sp*) bajo condiciones del evento Oscilación Sur La Niña. Fuente: Elaboración Propia con datos del Ministerio de Agricultura (2005).

Escenarios climáticos y las condiciones de los impactos

En el forzamiento del sistema climático, tiene mucho que ver el acelerado proceso de desarrollo económico y social; el mismo que se produce en forma heterogénea, inequitativa y es fuertemente reflejada en las emisiones de gases de efecto invernadero. La interferencia antrópica del sistema climático tiene diversas fuentes y las categorías identificadas por el Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático, (2000), y reconocidas por la Convención Marco de la Nacional Unidas sobre el Cambio Climático son: Energía, Procesos industriales, Agricultura, Residuos y Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura. Los mismos

que son reportados por la Convención del Clima de manera periódica, en el marco de las responsabilidades comunes pero diferenciadas a través de los inventarios Nacionales de emisiones de gases de efecto invernadero.

Los escenarios son imágenes futuras o alternativas futuras que no pueden ser considerados ni predicciones o pronósticos de los avances tecnológicos y buscan cada vez mayor precisión en prospección del clima futuro. Aunque los niveles de incertidumbre son todavía muy altos, estos ya muestran aproximaciones más probables de cambio en el comportamiento de la circulación general atmosférica y la distribución de las precipitaciones, asociadas al calentamiento global.

Los escenarios generados recientemente por los modelos de circulación general utilizan diversas estimaciones futura del factores de forzamiento del sistema climático siendo el MAGICC (**M**odel for the **A**ssessment of **G**reenhouse-gas **I**nduced **C**limate **C**hange) (Hume, et al, 2000) un modelo de circulación general generador de escenarios inducidos por los gases de efecto invernadero en la atmósfera. Este modelo va acoplado al generador de escenarios climáticos regionales denominado SCENGEN **SCEN**arios **GEN**erator. Este es un esfuerzo adicional para entender el clima futuro a nivel local.

Los escenarios de emisiones publicados por el IPCC (2000) para luego ser usados en el Tercer Reporte de Evaluación Científica del IPCC (2001b) muestran altos grados de incertidumbre aunque éstos están asociados a las complejidad del sistema climático y las estimación de las concentraciones de gases de efecto invernadero proyectadas bajo ciertos patrones de crecimiento económico, crecimiento poblacional e incremento de los consumos de energía.

Incrementos de la temperatura

Los cambios de temperatura observados bajo el modelo Regional B2-AIM⁴ generado por el Asian Pacific Integrated Model, presenta incremento de la temperatura superficial media hasta el año 2050 en aproximadamente 1.5 °C, no existiendo mucha diferencia entre escenarios de referencia y escenarios de mejores supuestos de políticas; éstos últimos bajo los supuestos del Escenario B2-AIM recién mostraran un forzamiento radiativo del sistema climático el 2060 incrementando las diferencias entre ambos.

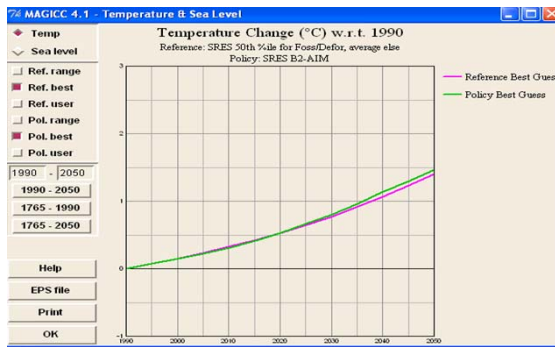


Figura 4. Incremento de las temperaturas para Sud América bajo escenarios de B2-AIM en el periodo 1990 al 2050

La inflexión de la curva hacia un crecimiento exponencial, se produce en la segunda mitad del siglo pasado con incrementos mucho más acelerados a los observados en tiempos geológicos incluso en periodos de glaciación. Estos resultados muestran incrementos moderados que permitirán generar los escenarios regionales.

⁴ Esta hace la familia de escenarios de emisiones del IPCC, B2 generados por el modelo Japonés Asian Pacific Integrated Model (AIM)

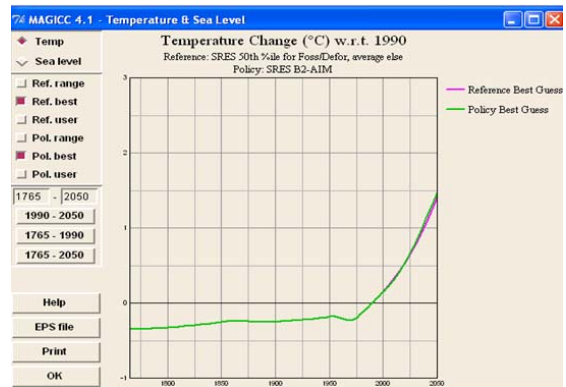


Figura 5. Incrementos de la temperatura generados por el modelo MAGICC/SCENGEN bajo los escenarios de emisiones supuestos por el Modelo Asian Pacific Integrated Model bajo el supuesto B2-AIM para el periodo 1765 al 2050.

Las concentraciones de CO₂ bajo el supuesto de política y bajo el escenario de referencia generado por el MAGICC/SCENGEN ascienden de 350 a 530 ppm en el periodo de 60 años (1990-2050)

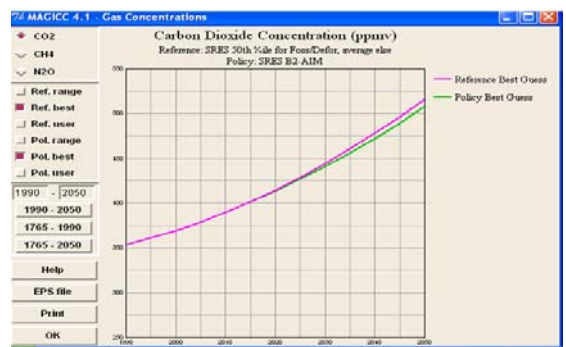


Figura 6. Incremento de las concentraciones atmosféricas de CO₂ bajo los supuestos del escenario B2-AIM.

Respecto a las precipitaciones regionales existe un incremento de las probabilidades de ocurrencia de estas en todas las grillas generadas para Bolivia una probabilidad de incremento de 0.8

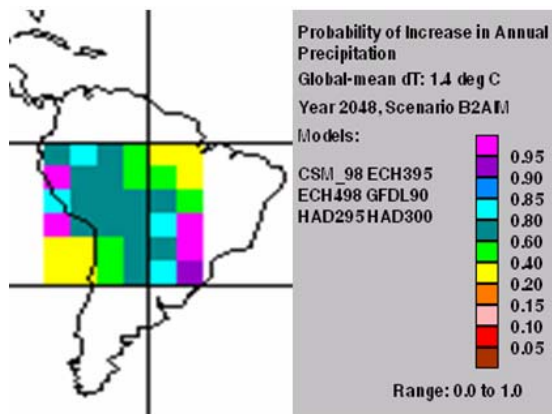


Figura 7. Probabilidad de incremento en las precipitaciones anuales bajo el Escenario B2-AIM generado tres modelos CSM-98 ECH-395; ECH498 GFDL90 y HAD295 HAD300. Modelo MAGICC/SCENGEN

Sin embargo, las distribución temporal de las mismas, se muestra mucho más crítica para la actividades productivas y de servicios relacionadas con la disponibilidad de precipitación factor que incide fuertemente en la recarga de acuíferos. Este hecho se pone de manifiesto en la Figura 7 donde la probabilidad de incremento en la precipitación el mes de enero, es menor cambiando la configuración del mapa.

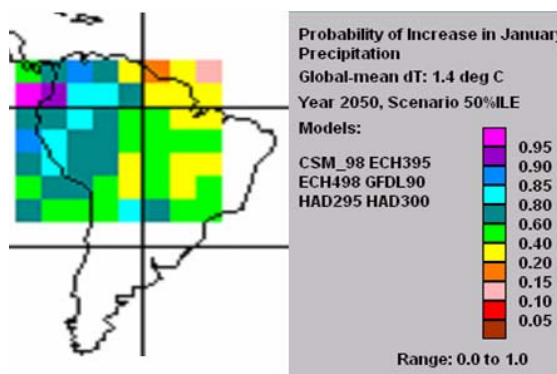


Figura 8. Probabilidad de incremento en la precipitación del mes de enero bajo el escenario B2-AIM.

Se muestran los mayores registros de precipitación tendiendo a expandirse hacia el área integrada del departamento de Santa

Cruz con probabilidades más bajas de incremento en la precipitación.

Análisis general de la vulnerabilidad al cambio climático

Es difícil entender y cuantificar los impactos del cambio climático sobre todo aquellos de carácter crónico que van sistemáticamente afectando los aspectos más intrínsecos de los sistemas productivos sobre todo aquellos de subsistencia donde el valor de la mano de obra no es considerado en los costos de producción.

Los sistemas de planificación en el país no consideraban el cambio climático como una amenaza al desarrollo, producto de esto ha incrementado las pérdidas solo por eventos extremos y fenómenos asociados a la variabilidad climática como el fenómeno de “El Niño”.

Muchas estrategias de respuestas están orientadas a la atención a la emergencia; a pesar de los grandes esfuerzos realizados en el país.; todavía el enfoque de gestión de la reducción del riesgo es la atención a la emergencia más que la inserción en las políticas sectoriales del cambio climático y la gestión para la reducción del riesgo de forma transversal.

Basado en la metodología generada para los países no incluidos en el Anexo I, para el reporte de sus segundas comunicaciones nacionales, se establece que los impactos sectoriales económicos y sociales pueden incidir sobre las políticas nacionales. En el caso del país mayormente la incidencia es negativa, como se muestra en el Cuadro 4. Un análisis sectorial integrado a los aspectos de la variables climáticas, sobre todo acompañado a la vulnerabilidad y los impactos del cambio climático, sobre las estrategias de desarrollo sectorial, los mismos que inciden en el crecimiento

económico y el desarrollo humano, se presentan en la matriz de integración de impactos del cambio climático en políticas nacionales considerando aspectos relacionados con lo económico social y ambiental.

Cuadro 4. Integración de la Vulnerabilidad y Evaluación de la Adaptación al cambio climático

| | Vulnerabilidad, Impactos y Adaptación | | | |
|---|---------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------|
| | Económicos | | Ambientales | Sociales |
| | (1) Producción Agrícola | (2) Actividad Industrial | (3) Recursos hídricos | (4) Salud |
| (+) Benéfico (-) Adverso | | | | |
| 3: Alto 2: Moderado 1: Bajo | | | | |
| (SO) Estado (Solo variabilidad natural) | -2 | -1 | -1 | -1 |
| (SI) Estado (Con cambio climático) | -3 | -2 | -2 | -2 |
| Desarrollo de Metas/Políticas | | | | |
| (A) Crecimiento | -2 | -1 | -2 | -1 |
| (B) Plan Nacional de Desarrollo | -2 | -1 | -3 | -2 |
| (B) Alivia a la pobreza | -2 | 0 | -2 | -3 |
| (D) Seguridad alimentaria | -2 | -1 | -2 | -2 |
| (E) Empleo | -1 | -1 | -1 | -1 |

Fuente: Elaboración propia.

Los estudios de vulnerabilidad en general presentan altos niveles de incertidumbres asociados los escenarios climáticos generados a partir de modelos de circulación General y los vacíos en información sistemática de la observación del tiempo y del clima.

La sistematización de las variables meteorológica sensibles a los agentes de forzamiento radiativo ante cuyo comportamiento, se presentan impactos sobre los diferentes sistemas naturales y humanos; que para objeto del análisis de sensibilidad han sido agrupados en tres categorías: a) Seguridad alimentaria; que engloba las actividades relacionadas con la producción alimentaria más importantes existentes en el país en los que el cambio climático afecta sensiblemente; b) Los recursos hídricos y ecosistemas; englobando suministro de aguas, manejo de ríos tierras secas/salinidad por irrigación bosques y biodiversidad que tienen una estrecha interrelación entre sí c) Sistemas humanos en el que se incluye la infraestructura urbana, Calidad del aire,

gestión de residuos sólidos, salud, industria y energía.

El análisis de sensibilidad, se realizó estableciendo variables por peso, dando un valor a los factores de clima afectados por el forzamiento radiativo con alta incidencia sobre una determinada actividad con un valor 3; si el impacto es moderado el valor asignado es de 2 y si este es leve se asignan un valor de 1, como se muestra en el Cuadro 5. Evaluados los pesos de cada una de las variables se procede a sintetizar el total del peso de las variables climáticas y su incidencia sobre las diferentes actividades económicas, por otra parte se tiene la sensibilidad de cada actividad totalizadas en una fila en la parte baja de la matriz de sensibilidad.

Estos resultados de las columnas, donde se han totalizados los valores, son transferidos al Cuadro 6 asignando rangos basados en la el Documento de Adaptation Policy Framework (Lim, *et al.*, 2005) estableciendo las categorías de sensibilidad y forzamiento en rangos por peso de 21-30 como alta 11 -20 como media y baja en una rango de 1-10, la categoría con alto grado de sensibilidad se encuentra los grupos de seguridad alimentaria (ganadería, pasturas y cultivos); Recursos hídricos y ecosistemas (Suministro de agua, manejo de ríos Tierras secas y salinidad por irrigación, bosques y biodiversidad) Mientras que el grupo de Sistemas humanos las actividades Infraestructura urbana, salud y energía industria; son altamente sensibles, mientras que las de calidad del aire, residuos presentan una sensibilidad media.

Cuadro 5. Matriz de análisis de sensibilidad por peso de variables climáticas claves y comparación relacionada del clima con actividades económica basadas en de unidades exposición

| Matriz de sensibilidad ligada al clima | Actividades | Seguridad alimentaria | | | Recursos hídricos y ecosistemas | | | | Sistemas humanos | | | | Total forzamiento | |
|--|-------------|-----------------------|-----------|-----------|---------------------------------|----------------|--|-------------------------|------------------------|------------------|-----------|-----------|-------------------|----------------------|
| | | Ganadería | Pasturas | Cultivos | Suministro de agua | manejo de ríos | Tierras secas/salinidad por irrigación | Bosques y biodiversidad | Infraestructura urbana | Calidad del aire | Residuos | Salud | | Industria, y energía |
| Factores del clima | | | | | | | | | | | | | | |
| Precipitación Media | | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | | | 1 | 17 |
| Precipitación Extrema | | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | | 2 | 2 | 1 | 23 |
| Variabilidad de la Precipitación | | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | | | 2 | 3 | 23 |
| Sequía | | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | | 2 | | 3 | 3 | 26 |
| Temperatura media | | 2 | 2 | 2 | | 2 | 1 | 2 | | 1 | 1 | | 1 | 14 |
| Temperatura Mínima | | 2 | 2 | 2 | | 2 | | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 13 |
| Temperatura Máxima | | 2 | 2 | 2 | | 2 | 1 | 2 | | 2 | 2 | 2 | 2 | 19 |
| CO2 | | 1 | 2 | 1 | | | | 2 | | | | | | 6 |
| Tormentas | | | 1 | | | | | | 1 | 1 | | | | 3 |
| Presión | | | | | | | | | | 1 | | 1 | | 2 |
| Humedad Relativa | | 1 | | | | | | 1 | 2 | | | 2 | 1 | 7 |
| Vientos | | 1 | | 1 | | | | 1 | 2 | 2 | | 1 | | 8 |
| Evaporación | | | | | 2 | 1 | 2 | 1 | | | 1 | | | 7 |
| Humedad del suelo | | 3 | 3 | 3 | 1 | | | 2 | 1 | | 2 | | | 15 |
| Riadas | | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | | 2 | 3 | | | 3 | 2 | 22 |
| Inundaciones | | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 3 | | 2 | 3 | 1 | 24 |
| Colmatación de suelos por agua | | | | | 1 | 3 | 1 | 1 | 3 | | 2 | 2 | | 13 |
| Salinidad de aguas | | | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | | | | 2 | 1 | 13 |
| Riego | | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | | | | | | | 11 |
| Tormentas de viento | | | | 1 | 2 | 2 | | | 1 | | | | 1 | 7 |
| Relampagos | | | | | | | | 1 | 1 | | | | 1 | 3 |
| Granizada | | 1 | | 1 | | | | | 2 | | | 1 | | 5 |
| Incendios | | | 2 | | | | | 3 | 1 | 3 | | 2 | 2 | 13 |
| Sensibilidad Total | | 26 | 30 | 30 | 30 | 30 | 21 | 30 | 27 | 14 | 13 | 27 | 21 | |

Fuente: Elaboración propia basado en APFW (Lim, *et al.*, 2005)

Esto se debe a que los sistemas productivos en gran parte del país son predominantemente dependientes de las condiciones del tiempo y gran parte del suministro de la energía proviene de fuentes hidroeléctricas que provienen del deshielo de los glaciares, que están retrayéndose aceleradamente.

Por otra parte, el retroceso de los glaciares esta fuertemente afectado por la elevación de la temperatura, como uno de los principales factores para su desaparición; el

mismo incide en el suministro de agua para diversos usos, éste hecho se refleja en las industrias de energía que muestran alto grado de sensibilidad a los cambios en los patrones de comportamiento meteorológico.

Cuadro 6. Resultado de la matriz de sensibilidad mostrado a las variables meteorológicas como agentes de forzamiento de las actividades humanas como sensibilidad al cambio climático.

| Categorías de forzamiento y sensibilidad valores rangos por peso | Clima relacionado con variables (forzamiento) | Actividades (sensibilidad) |
|--|---|---|
| Alta (21-31) | Precipitación extrema Variabilidad de la precipitación Sequía Riadas Inundación | Ganadería Pasturas cultivos Suministro de agua Manejo de ríos Tierras secas salinidad por irrigación bosques y biodiversidad Salud infraestructura urbana |
| Moderada (11-20) | Precipitación media Temperatura media Temperatura mínima Temperaturas máximas Colmatacion de suelos por agua Humedad del suelo Salinidad de aguas Riego Incendios | Calidad del aire Residuos Industria y energía |
| Baja (1-10) | CO2 Tormentas Presión humedad relativa Vientos Evaporación Torementas de viento Relampagos Granizadas | |

Fuente: Elaboración propia basada en los rangos establecidos por el Adaptation Policy Framework for Climate Change (Lim, *et al.*, 2005)

Incremento en la vulnerabilidad por mala planificación de asentamientos humanos

El incremento de la vulnerabilidad de los sistemas humanos, se dan por la falta de planificación de los flujos migratorio y asentamiento clandestinos en áreas de alto riesgo, consideraciones que se incrementan en mayor proporción por la provisión de servicios básicos incompletos por ejemplo: muchos de los asentamientos humanos nuevos cuentan con servicio de agua potable pero no con alcantarillado lo que incrementa la vulnerabilidad no solo al cambio climático sino a otros tipos de

amenazas, debido a que la en presencia de precipitaciones extremas incrementa la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos en asentamientos urbanos de alto riesgo.

Las ciudades y poblaciones en el país se han caracterizado por la frecuente presencia de deslizamientos, inundaciones y riadas; anualmente representan importante pérdidas con daños en la infraestructura, los mismos que se incrementan sustancialmente en áreas altamente probables de inundación. Este es el caso de la ciudad de Trinidad que los asentamientos humanos se han

extendido fuera del anillo de circunvalación, zona conocida por su alta probabilidad de inundación, otros ejemplos de esta naturaleza se ponen de manifiesto en diferentes ciudades del Oriente del país como es el caso de Cobija que anualmente

presentan inundaciones de 3 metros sobre el espejo de agua promedio registrado en las región exacerbando la presencia de brotes de enfermedades endémicas e incremento de picadura de serpientes.

Cuadro 7. Eventos extremos registrados en el país con severos impactos sobre la infraestructura urbana y vertebración caminera

| Fecha | Descripción |
|---------------|---|
| 2004 | Fuertes tormentas de nieve en el departamento de Potosí. Nevada continua por 12 horas afectando a las provincias del sur con severos daños en la infraestructura turística y la ganadería. |
| 2003 | Lluvias intensas e inundaciones en diferentes regiones de país afectando a gran parte del territorio nacional generando severas situaciones de emergencia. Localidad de Chima provincia del norte del departamento de La Paz deslizamientos en las faldas del cerro afectando gran parte del poblado. Destrucción del puente Tunari en la región tropical del Chapare que conecta las ciudades de Santa Cruz y Cochabamba. Lluvias intensas afectan la conexión entre Achocalla y la ciudad de La Paz |
| Febrero 2001: | Viacha y La Paz lluvias intensas e inundaciones afectan a la localidad de Viacha en el altiplano de Bolivia humedad y Viacha and La Paz. alta humedad y bajas temperaturas incrementan las enfermedades respiratorias precario sistema de manejo de residuos produce rápidamente las enfermedades infecciosas; en 50 minutos de granizo 70 personas muertas y 100 heridas |
| 2000 | Efecto de la oscilación decadal del Pacífico 26000 familias afectada por ella sequía e inundación en gran parte del país In la cuenca del río desaguadero se estima se produce la ruptura de un ducto de transpote de Petróleo produciendo un derrame afectando a cultivos de forraje para el ganado y alto impacto ambiental |
| 1998 y 2001 | Lluvias intensas y deslizamiento en la ciudad de La Paz |
| 1998 | Deslizamiento en la región de Cotahuma 370 familias afectadas y 7 causalidades |
| 2001 | Inundaciones en el Río Mamoré, |
| 2001 | Deslizamiento en la Zona de Kupini de la Ciudad de La Paz 110 familias afectadas |
| 1996 | Inundaciones por el desborde del Río Mamoré, la Ciudad de Trinidad y poblaciones en las riveras del Río |
| 1998 | Inundaciones en el extremo bajo del Río Grande, Inundaciones en la región del Chaco el desborde del río Grande afecta la comunicación bloqueando la Línea férrea |
| 1986 | Inundaciones en el Río Beni, Inundaciones en las localidades de Santa Ana de Yacuma en las provincias del Beni |
| 1982 – 1983 | El Niño * Sequías afectando a 1,5 millones de personas y generación de emergencia por inundación principalmente en las regiones montañosas |
| | Inundación por el desborde del Río Pirá con pérdidas humanas. Después del desastre se dio lugar a la creación del Servicio de Alerta Temprana del Río Pirá SEARPI el mismo ha sido consolidado. |

Fuente: Extractado del Artículo: “Promoting Social Adaptation to Climate Change and Variability through Knowledge, Experiential and Co-learning Networks In Bolivia REPORT” (Gonzales, 2004)

Conclusiones

- La condición de vulnerabilidad al cambio climático en el país se manifiesta de forma totalmente heterogénea donde los sectores de menores ingresos cuya actividad económica se relaciona con la actividad agropecuaria son los más vulnerables.
- Los escenarios climáticos desarrollados muestran tendencias a incrementos en la temperatura y precipitación bajo supuestos de escenarios de emisiones que afectan mayormente al hemisferio sur.
- La alteración de la composición atmosférica a nivel global incide fuerte mete en la circulación global y regional acentuando la incidencia de los fenómenos de Oscilación del Sur en sus fases positiva y negativas en diferentes intensidades (el Niño / la Niña)
- En General las actividades económicas del país son sensibles al cambio climático siendo en las categorías la seguridad alimentaria más sensible que otras.
- El crecimiento de las urbanizaciones en ciudades con alto flujo migratorio incrementa la vulnerabilidad al cambio climático y son responsables de importantes pérdidas a nivel de la infraestructura Urbana.
- La Niña también trae consigo eventos de convección que pueden dar lugar a eventos extremos del clima.

Bibliografía

Aceituno P.; Montecinos A. 2001. Boletín Climático Enero 2001. Sección de meteorología del Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile. Web Site:

<http://met.dgf.uchile.cl/clima/old/0101.html>

- De la Casa, A. C. y Ovando, G. G. 2006. Influencia de Episodios El Niño-Oscilación Sur (ENOS) Sobre la Precipitación y el Rendimiento de Maíz en la Provincia de Córdoba, Argentina. . Agric. Téc. [Online]. Mar. 2006, vol. 66, No.1, p.80-89. Web Site: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072006000100009&lng=es&nrm=iso.ISSN 0365-2807.
- Gonzales, I J. 2004. Promoting Social Adaptation to Climate Change and Variability through Knowledge, Experiential and Co-learning Networks In Bolivia REPORT". Shell foundation.
- Hume, M (UK); Widley T (USA); Barrow E (Canadá) Raper S (UK); Centellas A (Cuba); Smith Steve Chipanshi A. 2006. Using a climate scenario generator for Vulnerability and adaptation assessments MAGICC and SCENGEN Version "4 Workbook Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001. Climate Change 2001. Scientific bases. Cambridge University, WWO, UNEP. PP 1000.
- , 2000. Climate Change 2001. vulnerability, impact and adaptation. WMO; UNEP and Cambridge University Press.
- , 2000. Special Report on Emission Scenarios. WMO; UNEP and Cambridge University Press.
- Lim. B; Spanger E ; Burton I ; Molone E ; Huq S, 2005. Adaptation Police Frameworks for Climate Change: Developing strategies, Police and Measures. United nations Development Programme; Cambridge University, Global Environment Found (GEF).
- Martinez, 2006. Comunicación personal.

- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) 2006. ENSO Cycle: Recent Evolution, Current Status and Predictions. Web site: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/
- Organización Panamericana de la Salud, 2000. Crónica de Desastres Fenómeno de “El Niño” 1997-1998. Washington, D.C. Pág. 17-23.
- Pantoja T H. 2006. El evento El Niño-Oscilación Sur 1997 - 1998: su impacto en el departamento de Lambayeque (Perú). En Revista de aficionados a la Meteorología. Web Site: <http://www.meteored.com/RAM/numero20/ninho.asp>.
- Pidwirny M, 2006. Fundamentals of Physical Geography (2nd Edition).
- Te Chow V, Maidment D; Mays L, 1994. Hidrología aplicada. Ed. Mc Graw – Hill. Santa Fe de Bogotá (Colombia) pág. 54-57.
- United Nation Framework Convention on Climate Change UNFCCC, 2006.
- World Meteorological Organization, 1994. The Global Climate System Review
- World Meteorological Organization, 2003. El Niño y La Niña

VULNERABILIDAD DE LOS ECOSISTEMAS AL CAMBIO CLIMATICO

INTRODUCCIÓN

Conservación de bosques y cambio climático, son dos aspectos ambientales de consideración urgente (Moore, *et al.*, 1999). Las poblaciones humanas dependen por completo de los ecosistemas terrestres y de los servicios que éstos proporcionan, como los alimentos, el agua, la gestión de las enfermedades, la regulación del clima, y otros (Reid *et al.*, 2002). En los últimos 50 años, los seres humanos, han transformado los ecosistemas, más rápida y extensamente que en ningún otro período de la historia humana con el que se pueda comparar, en gran medida orientado a resolver rápidamente las demandas crecientes de

alimentos, agua dulce, madera, fibra y combustible.

Esta transformación, aporta considerables beneficios netos para el bienestar humano y el desarrollo económico. Sin embargo, no todas las regiones, ni todos los grupos sociales, se han beneficiado de este proceso; contrariamente, a muchos los ha perjudicado. Los impactos de las actividades antrópicas sobre el comportamiento climático y las modificaciones de los ecosistemas con sus potenciales consecuencias socioeconómicas se han puesto de manifiesto en una periodo reciente, sólo ahora se están poniendo de manifiesto los verdaderos costos asociados con esos beneficios. (Reid *et al.*, 2002)



Figura 9. Bosques montanos húmedos de los Yungas y vista del Glaciar Churquina proceso de retroceso ecosistemas peculiares y sensibles a la elevación de la temperatura **Fotos:** Edwing Lima (bosque nublado) Edson Ramírez (Glaciar Churquina) Gentileza Agradecida.

De acuerdo a los informes del milenio tres problemas principales están relacionados con los ecosistemas: (Reid *et al.*, 2002):

- a) El acelerado proceso de degradación ambiental por el uso no sostenible de

los recursos, incluyendo agua dulce, calidad del agua y aire con la consecuente influencia sobre la regulación del clima regional, riesgos naturales, enfermedades y plagas.

- b) Los cambios en los ecosistemas no cuentan con información. Estos están sufriendo un proceso rápido de cambio no lineal (incluyendo cambio abruptos y potencialmente irreversibles) los mismos que se manifiestan con el brote de enfermedades, alteraciones repentinas en la calidad del agua, colapso en la pesca, cambios en el clima regional entre otras.
- c) La degradación de los servicios que brindan los ecosistemas esta incrementando el desequilibrio entre grupos sociales, la pobreza, conflictos sociales y problemas de tenencia de la tierra, lo que a su turno ocasiona mayor presión sobre los ecosistemas, especialmente por poblaciones desplazadas o de bajos recursos.

Se calcula que debido a la deforestación y a la alteración de los hábitat naturales, hoy en día entre 0,2 y 0,3 % de las especies existentes en el mundo, se extinguen cada año; equivalente, a cerca de una de cada 400. Si suponemos que en el mundo hay dos millones de especies en los bosques del Trópico, número con seguridad muy inferior al real, unas 4.000 especies estarían desapareciendo cada año, es decir diez al día, debido a la destrucción de los bosques tropicales. Si esta tendencia continua, antes de 50 años podría haber desaparecido la cuarta parte del total mundial de especies.

El cambio climático constituye un factor de fuerte incidencia sobre la configuración de los ecosistemas y como amenaza potencial para la biodiversidad a nivel global (Thomas, *et al.* 2004). La persistencia de muchos ecosistemas y especies está en peligro, debido al incremento en la temperatura, cambios de humedad relativa atmosférica o inestabilidad general, factores a los que muchos ecosistemas no pueden adaptarse con la rapidez suficiente.

Conservación internacional (CI) define a Bolivia como un *Hotspot*, (del inglés, zona importante que refiere a la existencia de un área con un alto porcentaje de biodiversidad y endemismo de especies silvestres, es decir, que sólo habitan en el área delimitada), ubicado en el extremo este de los Andes, hasta bordear con la Amazonía. Esta área representa solamente el 0.2% de superficie del mundo, y alrededor de 3.5% de bosque primario, pero contiene entre 30% y 40% de la diversidad biológica total y más de tres cuartas partes de todas las especies de flora del planeta. Ese hecho se produce debido a la gran variación altitudinal de la cadena montañosa de los Andes, con sus elevados picos de nieve, sus pronunciadas pendientes, cañones profundos y valles aislados que han llevado a la evolución de una impresionante diversidad de micro hábitat y especies. Dentro del hotspot, bosques húmedos y tropicales, bosques lluviosos y secos y el sistema de pastizales y matorrales (grassland and scrubland) contribuyen a un ecosistema diverso. El endemismo de estos, determina precisamente su elevada vulnerabilidad y el delicado equilibrio con su ambiente el cual puede ser fácilmente alterado por perturbaciones externas.

La velocidad con la que cambiarán las condiciones climáticas determinará la velocidad de desplazamiento necesarias de las especies de los ecosistemas y, por ende su capacidad de seguir existiendo (Watson *et al.*, 1996). La fuerte interrelación y dependencia de los ecosistemas hacia sus condiciones ambientales, (entre ellas las condiciones climáticas predominantes), los hacen sensibles a los impactos del cambio climático. Estas modificaciones producirán cambios en la configuración de los ecosistemas a los cuales en muchos casos deberá adaptarse el ser humano. Sin embargo, también podrían llevarse adelante acciones para evitar los impactos negativos

del cambio climático sobre los ecosistemas o para favorecer la adaptación de estos por medio de un manejo adecuado si se tuvieran referencias concretas de los efectos del cambio climático. En este entendido, el presente capítulo tiene el objetivo lograr una aproximación de los impactos del cambio

MATERIALES Y MÉTODOS

Estudios realizados por el Programa Nacional de Cambios Climáticos, en colaboración con el Instituto de Ecología de la UMSA, tomando como año base el 1990 y escenarios futuros desarrollados con modelos de Circulación general tales como: GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory), GISS (Goddard Institute for Spaces Studies), UKMO (United Kingdom Meteorological Office) y CCCM (Canadian Climate Centre Meteorological), y los modelos de simulación de Holdridge (para la Clasificación de Zonas de Vida) han identificado las zonas de vida en Bolivia al presente y bajo escenarios de cambio climático. A partir de las diferencias observadas en los resultados entre las condiciones actuales de los ecosistemas y las proyectadas bajo escenarios de cambio climático, se evaluó la vulnerabilidad de los ecosistemas para los años 2010, 2030, 2050 y 2100.

La metodología utilizada consistió en la elaboración de una base de datos a partir de información primaria del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) de 15 estaciones meteorológicas, con el 86 % de las series incompletas y 29 estaciones meteorológicas de la Administración Autónoma de Servicios de Apoyo a la Navegación Aérea (AASANA) con registros de 30 años, comprendida entre los años de 1964–1994.

Adicionalmente, se utilizó información teórica de temperatura y precipitación para

climático sobre los ecosistemas de Bolivia en base a los resultados de estudios previos realizados aplicando modelos de simulación, bajo escenarios climáticos desarrollados por el Programa Nacional de Cambios Climáticos en los supuestos del IPCC para 1992.

cada 0.5° geográficos del IIASA, la misma que fue aplicada para la determinación de las zonas de vida de acuerdo a los parámetros establecidos por Holdridge. También se extrapolaron valores para algunas zonas de vida donde no se contaba con estaciones meteorológicas a partir de mapas de isotermas e isoyetas elaborados por el SENAMHI. Con la información depurada y complementada, se elaboró la base de datos de entrada al modelo HOLDRIDGE desarrollado en base a la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1947). La base de datos incluyó información de latitud, longitud, altitud, temperatura y los diferentes escenarios climáticos, de esta manera el modelo clasifica las zonas de vida para las condiciones incluidas como datos de entrada.

Con la información previamente descrita se utilizó el modelo HOLDRIDGE para las condiciones climáticas actuales y bajo el escenario climático IS92a⁵ propuesto por el IPCC. Este escenario integra las tendencias mundiales de desarrollo económico, crecimiento poblacional, consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero.

⁵ El IPCC ha elaborado una serie de escenarios, IS92a-f, para las emisiones futuras precursoras de gases de efecto invernadero y aerosoles, basándose en hipótesis relativas al crecimiento demográfico y económico, la utilización de las tierras, los cambios tecnológicos, la disponibilidad de energía y mezclas de combustibles durante el período 1990 a 2100. En el presente estudio se reporta los análisis del escenario IS92a considerado el escenario “business as usual” de la tendencia de emisión de Gases de Efecto Invernadero con sus consecuencias obvias.

Los valores considerados son aquellos mostrados en el Cuadro 1 para los años 2010, 2030, 2050 y 2100. A partir de estos resultados, se realizó el análisis de vulnerabilidad de los ecosistemas al cambio climático.

RESULTADOS

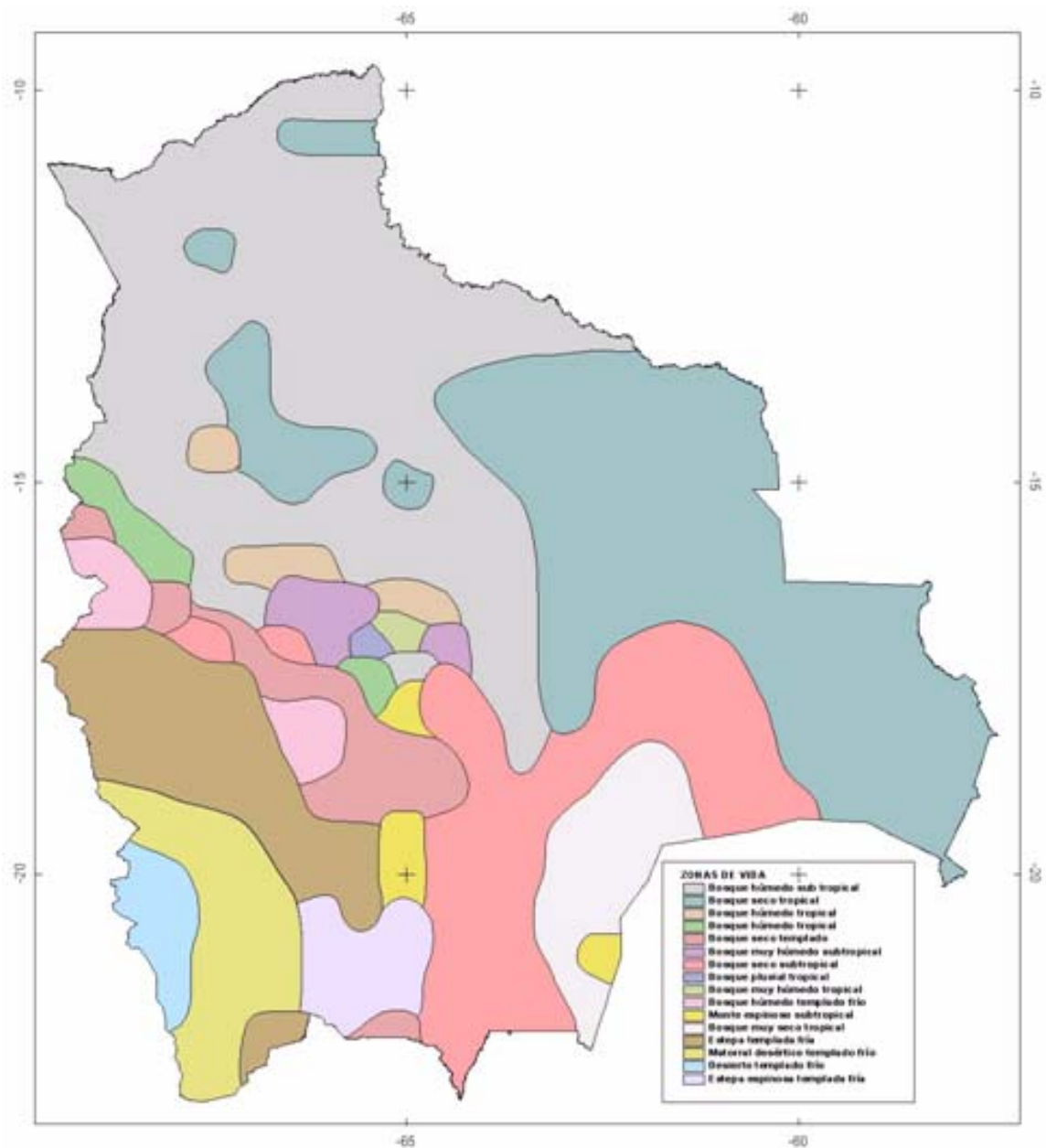
Cuadro 8. Condiciones supuestas para el desarrollo del escenario IS92a

| Población | Crecimiento económico | Suministros de energía | Otras medidas |
|--|-----------------------|---|---|
| Según el Banco Mundial (1991): 11.3 mil millones al 2100 | 1990-2025: 2.9% | <ul style="list-style-type: none"> • 12 000 EJ de Gasolina convencional. • 13 000 EJ de gas natural. • 0.075 \$ kWh. • 191 EJ/año de biocombustibles valorados en 70\$/barril | <ul style="list-style-type: none"> • Las emisiones de SO_x, NO_x y NMVOC estarían legalmente sancionadas y acordadas internacionalmente. • Esfuerzos por reducir las emisiones de SO_x, NO_x y CO₂ en países desarrollados para el 2050. |

Fuente: Tercer Reporte de Evaluación del IPCC, 2001

Caracterización de las Zonas de Vida

Los resultados del modelo Holdridge, complementados con datos del Mapa Ecológico de Bolivia (1979) identificaron, para las condiciones actuales, 16 Zonas de Vida existentes en el país, presentadas en el Mapa 1.



Mapa 1. Zonas de Vida de Bolivia generadas con el modelo HOLDRIDGE

1. Bosque húmedo subtropical

Esta categoría de zonas de vida abarca una extensión aproximada de 317.489 km² constituyendo el 28.9% del territorio nacional. Por su extensión, su composición florística, la riqueza en diversidad genética de plantas y animales y condiciones de disponibilidad de agua, los Bosques húmedos subtropicales constituyen una de las unidades

de ecosistemas más importantes del país. Esta categoría abarca los departamentos de La Paz, Santa Cruz y gran parte de los departamentos del Beni y Pando. La precipitación de esta zona se encuentra por encima de los 1500 mm por año y las temperaturas medias anuales por encima de los 22°C.

2. Bosque seco tropical

Esta categoría constituye una zona de vida muy seca identificada en tierras bajas. Abarca una superficie de 283.433 km², representando el 25.8 % del territorio nacional. Presenta características climáticas con precipitaciones anuales mayores a 1200 mm concentradas en verano y temperaturas medias de 23°C pudiendo alcanzar máximas de hasta 40 °C con períodos secos marcados y largos con relación a otras zonas de vida.

3. Bosque húmedo tropical

Representa un área de 17.985 km², con 1.6 % del territorio nacional. Forma una faja larga pero estrecha entre formaciones subtropicales húmedas y muy húmedas, cercana al fondo de la vertiente de los Andes. Según la información de las isotermas e isoyetas se tiene un promedio que oscila entre 24 – 26 ° C de temperatura, habiendo poca variación en temperatura media mensual a través del año. No se experimentan temperaturas máximas ni mínimas muy exageradas. La precipitación es mayor a los 1.900 mm como promedio anual, con ligeras variantes entre años.

4. Bosque húmedo templado

Ubicado en la vertiente oriental de los Andes, tiene un área de 13.922 km², correspondiendo al 1.3% del territorio boliviano. Las líneas isotérmicas e isoyetas, indican que se tiene una temperatura de 14-16 °C y una precipitación de 700 a 1000 mm.

5. Bosque seco templado

Tiene un área de 41.556 km² y corresponde a 3.8 % del territorio nacional. Se encuentra ubicada al centro del país, una sección por la región de Ulla Ulla y otra por el valle de Inquisivi-Tapacari. Esta zona de vida se caracteriza por clima con temperaturas

medias de 14.9°C y precipitaciones de 680 mm. Presenta formaciones morfológicas variables con alto grado de disección, suelos predominantemente francos a franco-arenosos en las planicies y en laderas suelos de texturas de Franco-arcillosos a arcillosos.

6. Bosque muy húmedo subtropical

Está zona de vida tiene un área de 14.934 km², representando el 1.4 % del territorio nacional, está ubicado en el sector central del país, a lo largo del pie de monte de las vertientes andinas Orientales. Según mapas de isotermas e isoyetas, se tiene un promedio anual de temperatura de 24°C y una precipitación de 3200 mm. El informe de la estación experimental de Chimoré, reporta que el área se caracteriza por un elevado porcentaje de días nublados y un alto grado de humedad atmosférica lo que reduce la evaporación y transpiración.

7. Bosque seco subtropical

Es una zona de vida que tiene una extensión de 141.426 km² representando el 25.8 % del territorio nacional. Se halla ubicada en las tierras bajas del este, bordeada por el bosque húmedo Subtropical por el oeste norte y este y por el bosque seco Templado al sur. Típicamente subtropical en cuanto a la biotemperatura y su distribución a través del año, experimenta temperaturas estacionalmente altas en las tierras bajas del este, pero sus biotemperaturas varían entre 22° y 24°C. Gran parte de esta zona de vida soporta fuertes presiones y en esta categoría de bosque se presenta típicamente una vegetación modificada por el hombre.

8. Bosque pluvial subtropical

La zona de vida tiene un área de 3.000 km², representando un porcentaje de 0.3 % del territorio nacional. En esta zona los efectos orográficos llegan a su mayor expresión y

obstaculizan el traspaso de humedad de la Amazonía hacia el Altiplano por lo que la atmósfera, la vegetación y el suelo casi siempre están saturados de agua. Se produce precipitación casi todos los días o al menos se presenta elevados valores de nubosidad. De acuerdo a la líneas de isotermas e isoyetas se tiene una temperatura que oscila entre 20-22 °C y una precipitación anual de 5.500 mm.

9. Bosque muy húmedo tropical

Tiene un área de 3054 km², correspondiendo al 0.3 % del territorio nacional. Se encuentra en las últimas estribaciones de la Cordillera Real. De acuerdo a las líneas de isotermas e isoyetas se tiene una temperatura media anual de 24 °C y una precipitación anual de 4.500 mm.

10. Bosque húmedo templado frío

Abarca una superficie de 3.054 km², que corresponden al 0.3 %, del territorio nacional y está ubicado en la región circundante al lago Titicaca más precisamente en la parte Noreste. Presenta un temperatura entre 8 y 12 °C y una precipitación promedio anual de 700 mm.

11. Monte espinoso subtropical

Cuenta con una superficie de 11.692 km² constituye el 1.2 % del área total del país. De acuerdo a los mapas de isotermas e isoyetas presenta temperaturas entre 14 a 16 °C de temperatura media anual y una precipitación anual de 500-600 mm. La aridez de esta región obedece al resultado de condiciones atmosféricas especiales, determinadas por circulaciones locales debido a fenómenos orográficos que impiden el paso de masas de aire húmedo. Debido a las altas temperaturas y escasa precipitación, se presenta un desequilibrio entre el agua que precipita y la evapotranspirada, aspecto que se refleja en

cobertura vegetal.

12. Bosque muy seco tropical

Esta zona de vida tiene un área de 43.943 km², y representa un 4 % del territorio nacional. De acuerdo los mapas de isotermas e isoyetas se tiene una temperatura comprendida entre 16 a 18° C y una precipitación promedio anual de 400 mm.

13. Estepa templada fría

Comprende una superficie de 93.542 km², que corresponde al 8.5 % del territorio de Bolivia. Esta zona de vida está situada en el altiplano central y parte del altiplano del sur. Las características climáticas del área reflejan temperaturas de 9 °C y precipitación de 400 mm.

14. Matorral desértico templado frío

Abarca un área de 55.533 km² y representa el 5.1 % del territorio boliviano. Se encuentra situado al sur oeste del altiplano. Son zonas extremadamente secas, aunque su biodiversidad es única. Los mapas de isotermas e isoyetas, permiten estimar una temperatura promedio anual que oscila entre 7 °C y una precipitación de 200 mm.

15. Desierto templado frío

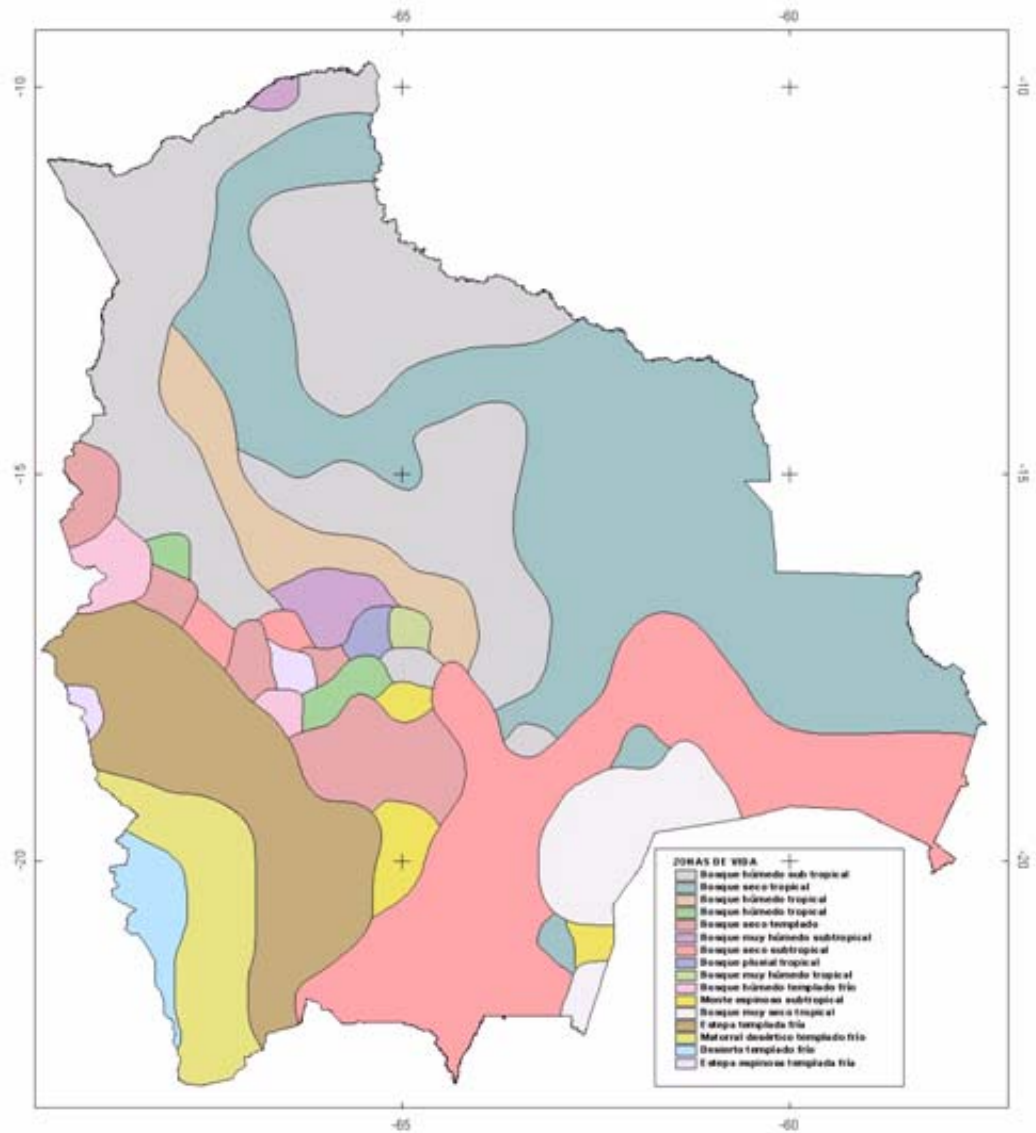
Esta zona de vida tiene un área de 14.053 km² y representa al 1.3 % del territorio nacional. La información de las líneas de isotermas e isoyetas, indican que tienen un rango de temperatura media anual entre 10 y 12 °C y una precipitación anual de 400 mm.

16. Estepa espinosa templada fría

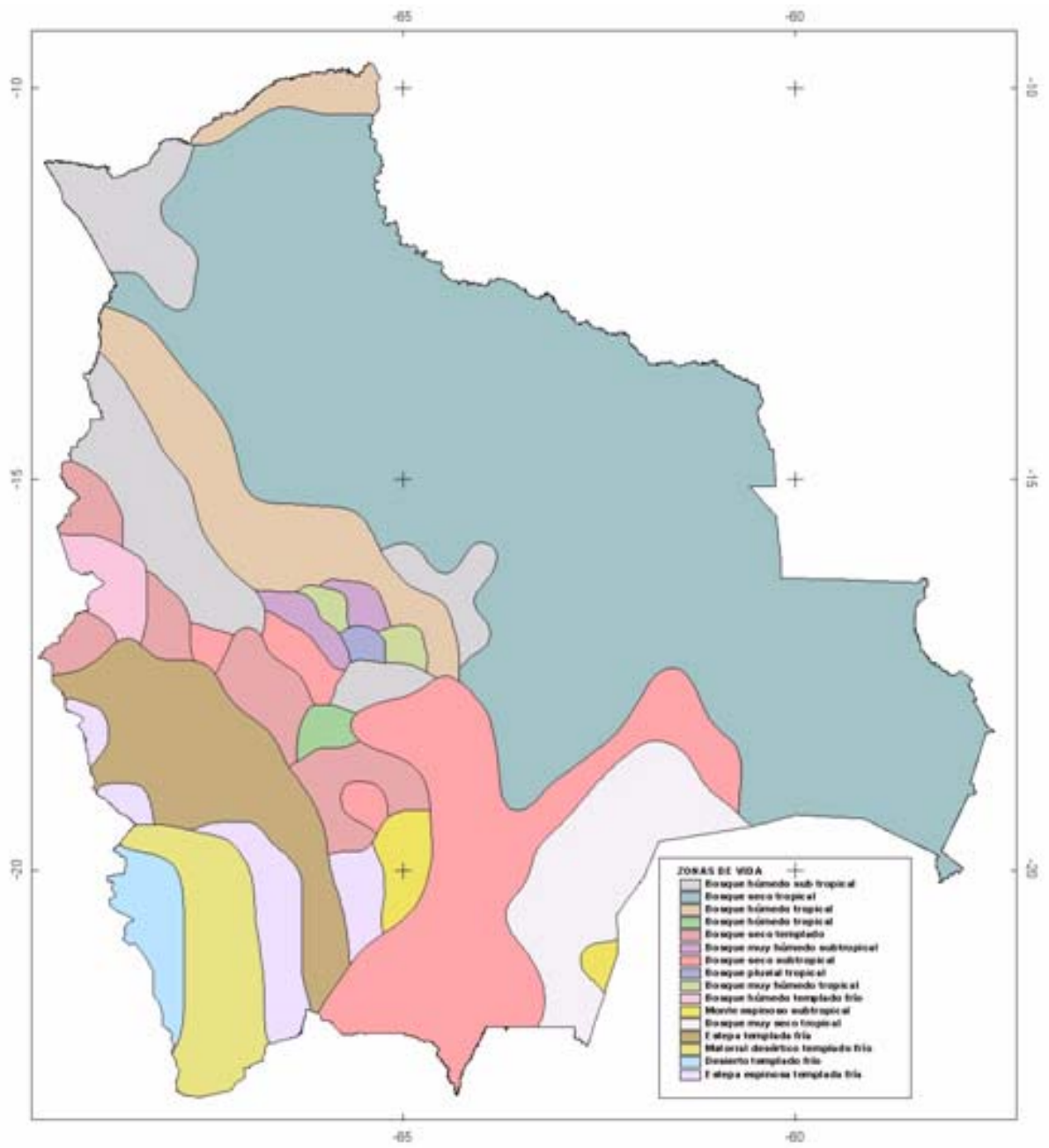
Tiene un área de 25.526 km² y cubre el 2.3% del territorio nacional. Se encuentra al sur del altiplano y tiene una temperatura media anual de 6-10 °C y una precipitación anual de

200-300 mm. La zona se caracteriza por ser muy fría, con alta incidencia de radiación nocturna. Los días son frescos con radiación solar directa. En general la precipitación que cae es muy escasa o nula, a excepción de algunos años cuando cae en forma de cortos o ligeros chubascos durante el verano. Cuando el modelo fue aplicado considerando

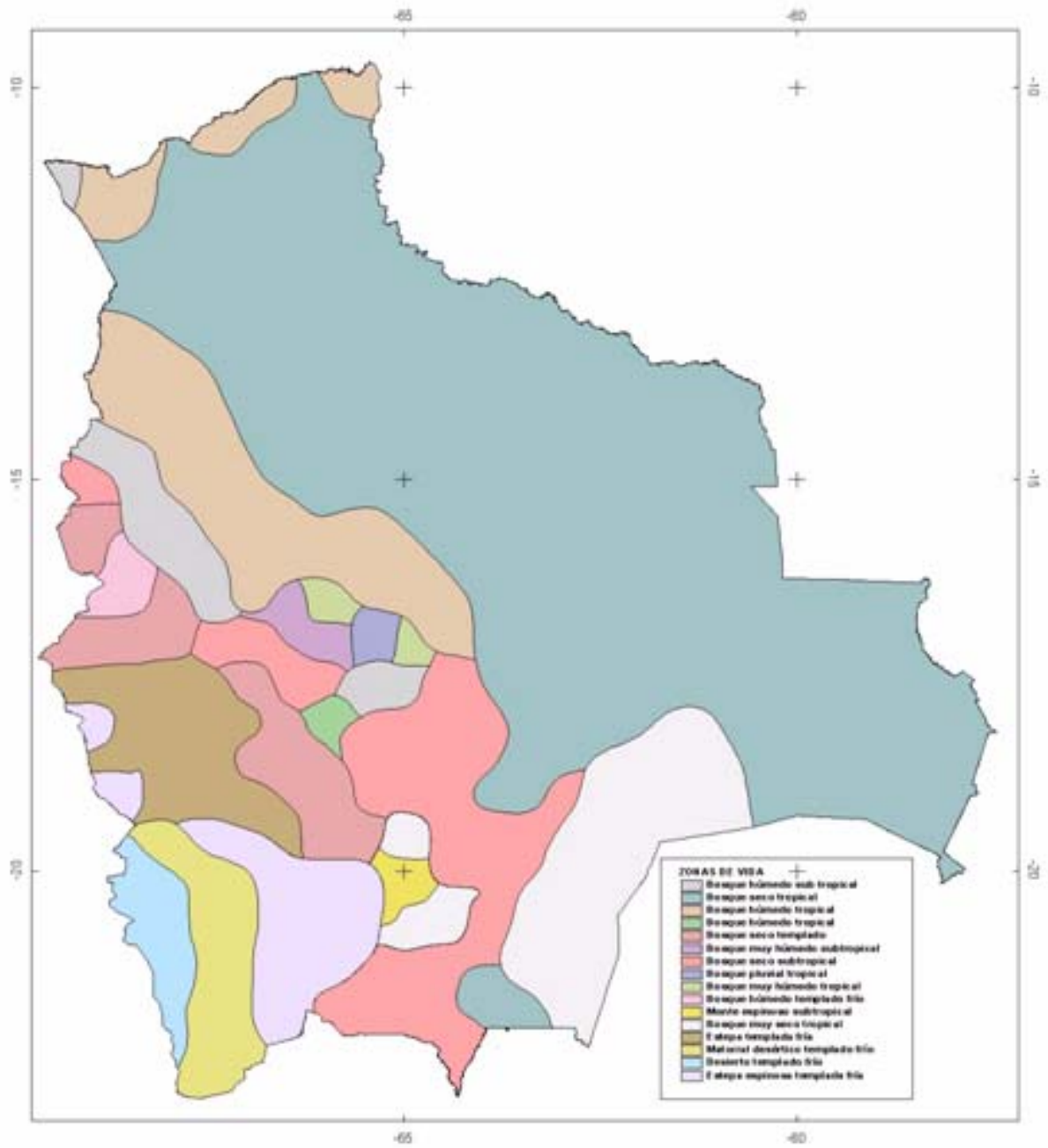
el escenario IS92 a para los años 2010, 2050 y 2100 Mapas 2, 3 y 4 presenta fuertes cambios en la distribución de los ecosistemas con relación al escenario base de 1990. Sin embargo, algunos ecosistemas se mantuvieron constantes.



Mapa 2. Zonas de Vida de Holdridge bajo el escenario IS92a para el año 2010



Mapa 3. Zonas de Vida de Holdridge bajo el escenario IS92a para el año 2050



Mapa 4. Zonas de Vida de Holdridge bajo el escenario IS92a para el año 2100.

En el contexto de este escenario, calificado como “continuista” de la situación actual, los ecosistemas vulnerables, los que se adaptan y los que presentan algún cambio se observan claramente en las Figuras 1.4 a 1.6. Sin embargo, en forma general se puede deducir que los bosques húmedos subtropicales existentes en el país son los que muestran mayor grado de vulnerabilidad al cambio climático, puesto que bajo condiciones de escenarios climáticos (IS92a), los mismos muestran una tendencia a convertirse en bosques secos subtropicales en el año 2100.

Magnitud de cambio en los ecosistemas

Los cambios observados en los diferentes ecosistemas bajo el escenario IS92a, según resultado del modelo Holdridge, muestran que el impacto del cambio climático puede ser variable de acuerdo al ecosistema. Así por ejemplo destaca que el ecosistema Desierto templado frío (15) no presenta ninguna modificación para los escenarios de cambio climático en el 2010, 2030, 2050 y 2100. Sin embargo la zona de vida bosque húmedo tropical (3) llegaría a incrementarse en más del 100 % el año 2100 posiblemente debido a que muchas corrientes de aire

cargado de humedad no podrán atravesar la vertiente de los Andes incrementando la cantidad de precipitación en estas zonas y aumentando la extensión de este ecosistema. Otros importantes cambios, se observan en las zonas de vida bosque muy húmedo subtropical (6), el bosque húmedo templado frío (10) y el matorral desértico frío (14) que presentan una tasa sostenida de reducción de su área. También se puede destacar que las zonas de vida de bosque muy seco tropical (12) y bosque seco tropical (2) experimentarán fuertes incrementos en sus áreas a partir del año 2010 muy posiblemente debido a descensos previstos en la precipitación en dichas áreas. Sin embargo también se percibe que algunos ecosistemas podrían desaparecer completamente como es el caso del bosque húmedo templado (4).

Como ejemplo, en el Cuadro 9, se presenta la tasa de reducción de las áreas de cada ecosistema prevista para el año 2050. En la segunda columna se menciona el porcentaje de reducción en orden descendente y en la tercera columna se indica el porcentaje del área que corresponde la zona de vida para el año base.

Cuadro 9. Magnitud de cambio de los ecosistemas bajo el escenario IS92a para el año 2050.

| CATEGORÍA DE ZONAS DE VIDA | REDUCCION (%) | PROPORCIÓN DE LA ZONA DE VIDA RESPECTO AL TERRITORIO NACIONAL PARA EL AÑO BASE (%) |
|---|-----------------------------|--|
| Zona de vida con mayor magnitud de cambio | | |
| Bosque húmedo templado (4) | 100 | 1.4 |
| Zonas de vida con moderada magnitud de reducción | | |
| Estepa espinosa templada fría (16) | 94.1 | 2.3 |
| Bosque húmedo subtropical (1) | 78.3 | 28.9 |
| Bosque húmedo templado frío (10) | 50.4 | 0.4 |
| Bosque seco templado (5) | 40.8 | 3.9 |
| Bosque muy húmedo subtropical (6) | 40.1 | 1.5 |
| Bosque seco subtropical (7) | 33.0 | 12.9 |
| Bosque pluvial subtropical (8) | 31.0 | 0.4 |
| Bosque muy húmedo tropical (9) | 27.9 | 0.4 |
| Zonas de vida sin reducción : | | |
| Bosque seco tropical (2), | 0 | 25.8 |
| Bosque húmedo tropical (3), | 0 | 1.6 |
| Bosque muy seco tropical (12) | 0 | 4.0 |
| Desierto templado frío (15) | 0 | 1.4 |
| Otros | 0 | 16.5 |

Cuadro 10. Magnitud de cambio de los ecosistemas bajo el escenario IS92a para el año 2100.

| CATEGORÍA DE ZONAS DE VIDA | REDUCCION (%) | PROPORCIÓN DE LA ZONA DE VIDA RESPECTO AL TERRITORIO NACIONAL PARA EL AÑO BASE (%) |
|---|-------------------------|--|
| Zona de vida con mayor magnitud de reducción | | |
| Bosque húmedo templado (4) | 100 | 1.4 |
| Zonas de vida con moderada magnitud de reducción | | |
| Bosque húmedo subtropical (1), | 92.8 | 28.9 |
| Bosque seco templado (5), | 77.0 | 3.9 |
| Bosque húmedo templado frío (10), | 68.0 | 0.4 |
| Monte espinoso subtropical (11), | 66.5 | 1.2 |
| Estepa espinosa templada fría (16), | 64.6 | 2.3 |
| Bosque muy húmedo subtropical (6), | 60.5 | 1.5 |
| Bosque seco subtropical (7), | 59.6 | 12.9 |
| Estepa templada fría (13) y | 48.5 | 8.7 |
| Matorral desértico templado frío (14). | 33.2 | 5.2 |
| Zonas de vida sin reducción | | |
| Bosque seco tropical (2), | 0 | 25.8 |
| Bosque húmedo tropical (3), | 0 | 1.6 |
| Bosque pluvial subtropical (8), | 0 | 0.4 |
| Bosque muy húmedo tropical (9), | 0 | 0.4 |
| Bosque muy seco tropical (12) | 0 | 4.0 |
| Desierto templado frío (15). | 0 | 1.4 |
| Otros | 0 | 16.5 |

Los Cuadros 9 y 10, muestran que los cambios bajo el escenario IS92a afectará fuertemente a los bosques húmedos templados y fríos, como un fuerte efecto debido al incremento de las temperaturas que provocará una reducción de sus áreas en el país. Estos ecosistemas en particular que deben merecer especial consideración que se consideran parte de los bosques montanos húmedos nublados en sus diferentes estratos forman parte de núcleos de condensación de la saturación de vapor de agua, produciendo un proceso de formación de rocío que incrementa la humedad de la vegetación y el suelo haciendo que muchas especies epifíticas aprovechen esta humedad. También se debe considerar a los bosques húmedos tropicales y subtropicales que tenderán a transformarse en bosque seco tropical. Este tipo de ecosistemas se constituyen en particularmente sensibles a las variaciones de precipitación pues disminuciones de 100 o 200 mm podrían conducir a la reducción de la productividad

primaria neta de ellos. Estos casos ya se han percibido en los últimos años, especialmente considerando el aumento de la sequía de los meses de estiaje lo que ha incrementado la ocurrencia de incendios forestales. Este fenómeno se produce con mayor intensidad durante la ocurrencia de los eventos ENSO u otras alteraciones en el sistema climático por perturbaciones en la circulación general atmosférica (Watson, et al., 2001; Ilbisch; 2003). Este tipo de bosques podrían sufrir cambios en el ecosistema orientándose hacia especies con mayor resistencia a condiciones menos húmedas con la consecuente pérdida de numerosas especies que no podrán resistir las nuevas condiciones y la presión de la aparición de nuevas especies.

Al impacto local del cambio climático global inducido por la actividad antrópica, se debe añadir el efecto de las acciones locales que pueden potenciar estos impactos. En este caso se considera como muy importantes los efectos del cambio en la cobertura del suelo,

mal manejo de cuencas, desertificación, etc., que dan lugar a modificaciones microclimáticas de consideración (por ejemplo incremento en las temperaturas máximas, cambios en el albedo y fácil pérdida en la humedad del suelos por decremento en el infiltración y aumento de la escorrentía superficial) (Ibisch, 2003).

Las modificaciones en la configuración de los ecosistemas son la evidencia de los impactos del cambio climático, patrones de cambio que dan lugar a pérdidas importantes en la biodiversidad, anualmente por estos cambio muchas especies de ven con

limitadas posibilidad de adaptación por la fuerte presión antrópica adicional que fragmenta los ecosistemas exacerbando la reducción de importantes poblaciones de aves, mamíferos y anfibios. El Cuadro 11 muestra los cambios bajo los escenarios estudiados respecto al año base en la que se muestra tendencias de degradación de los ecosistemas incrementándose los bosques secos y desiertos templados y frío que acompañada a la degradación de suelos significa mayor aridez que está complementada en el plano espacial en el Mapas 6 y 7.

Cuadro 11. Balance de áreas modificadas por el cambio climático bajo el escenario IS92a respecto al año base.

| CATEGORÍA DE ZONAS DE VIDA | Proporción | Proporción reducida | |
|---|---------------|---------------------|---------------|
| | 1990 (%) | 2050 (%) | 2100 (%) |
| Zona de vida con mayor magnitud de reducción | | | |
| Bosque húmedo templado (4) | 1,4 | 0 | 0 |
| Zonas de vida con moderada magnitud de | | | |
| Bosque húmedo subtropical (1), | 28,90 | 26,82 | 24,89 |
| Bosque seco templado (5), | 3,90 | 3,00 | 2,31 |
| Bosque húmedo templado frío (10), | 0,40 | 0,27 | 0,18 |
| Monte espinoso subtropical (11), | 1,20 | 0,80 | 0,53 |
| Estepa espinosa templada fría (16), | 2,30 | 1,49 | 0,96 |
| Bosque muy húmedo subtropical (6), | 1,50 | 0,91 | 0,55 |
| Bosque seco subtropical (7), | 12,90 | 7,69 | 4,58 |
| Estepa templada fría (13) y | 8,70 | 4,22 | 2,05 |
| Matorral desértico templado frío (14). | 5,20 | 1,73 | 0,57 |
| Zonas de vida sin reducción | | | |
| Bosque seco tropical (2), | 25,80 | (+) 23 | (+) 23,1 |
| Bosque húmedo tropical (3), | 1,60 | 0,00 | 0,00 |
| Bosque pluvial subtropical (8), | 0,40 | 0,00 | 0,00 |
| Bosque muy húmedo tropical (9), | 0,40 | 0,00 | 0,00 |
| Bosque muy seco tropical (12) | 4,00 | (+) 22 | (+) 23,5 |
| Desierto templado frío (15). | 1,40 | (+) 8,08 | (+) 16,77 |
| Otros | 1,40 | 0,00 | 0,00 |
| Total | 100,00 | 100,00 | 100,00 |

Fuente elaboración propia

(+) Valores en los que se observa incremento en superficies

Otros resultados

Otro estudio que ha analizado la influencia del cambio climático sobre los ecosistemas es el llevado adelante por el SERNAP

(Muller, 2003) que se basa en la consideración del gradiente térmico negativo, típico de los primeros 12 kilómetros de altitud de la atmósfera. Esta premisa se basa en la característica de la

troposfera de presentar un descenso en aproximadamente 5 grados centígrados por cada mil metros de ascenso. En este sentido cuanto mas elevado esté un punto geográfico, mas baja será su temperatura. Este estudio asume que las nuevas condiciones bajo un escenario de cambio climático equivaldrían a un descenso en altitud de 200 m, lo cual representaría el típico ascenso de temperatura previsto bajo escenarios de cambio climático.

En el estudio mencionado, los valores de cambios en las temperaturas, fueron obtenidos a partir de la diferencia entre temperatura predicha y temperatura actual en cada punto geográfico. Adicionalmente y con el objeto de definir los posibles cambios de aridez, se aplicó la fórmula desarrollada para la ecoregión de los Yungas por el mismo autor, que se muestra a continuación para la situación actual y para el año 2055. De esta manera la Figura No. 1.7 presenta la variación en el número de meses áridos bajo el escenario de cambio es decir bajo el incremento de temperaturas previsto.

$$MA = \frac{6}{\left(\frac{prec_{anual} + (alt * 0.15)}{1000} \right)^{1.5}}$$

Donde:

- MA*: es el número de meses áridos
- prec_{an}*: es la precipitación anual en mm
- alt*: la altitud en msnm.

Las tendencias mostrada por Müller *et al* son que las zonas situadas al Sudoeste del país una mayor aridez, mientras que las zonas situadas en el Noreste, no presentarán modificaciones sustanciales en su régimen hidrológico. El estudio también ha tratado de cruzar los resultados obtenidos con la ubicación de algunas áreas protegidas coordinadas por el SERNAP. Las áreas situadas en el sur del país serán las más

afectadas por el cambio climático, requiriendo una consideración adicional de vulnerabilidad al cambio climático en su administración.

Impactos del cambio climático sobre los humedales

Los humedales forman parte de una importante superficie de ecosistemas, incluyendo tierras cubiertas o saturadas por agua gran parte del año (IPCC, 1995); estos ecosistemas son según RAMSAR (2002), aquellos que almacenen cerca al 40 % del carbono terrestre mundial. Por tanto, la supervivencia de estos ecosistemas casi cerrados es vital para evitar el incremento de la cantidad de Gases de Efecto Invernadero y la intensificación del Cambio Climático. Sin embargo, la importancia de estos ecosistemas no se reduce solamente a la cantidad de Dióxido de Carbono y otros gases que podrían ser emitidos si ellos desaparecieran sino también a la gran cantidad de especies endémicas que ellos albergan las cuales no podrían adaptarse a condiciones secas y desaparecerían irremediamente. A pesar de que no todos los ecosistemas acuáticos se verán afectados por igual, muchos estudiosos advierten que los humedales sufrirán cambios en su permanencia, superficie o extensión, así como en los ciclos biogeoquímicos y en la biota (flora y fauna). En este sentido los humedales más vulnerables son los pertenecientes a los ambientes endorreicos, lagos, lagunas, ríos y arroyos de alta montaña y ambientes dependientes de las aguas subterráneas tales como los que posee Bolivia. Este efecto se producirá debido al incremento de la estacionalidad prevista en las precipitaciones que provocará la disminución temporal y espacial de la superficie inundada y una menor recarga de los acuíferos, actualmente sometidos a una fuerte presión. Su fuerte dependencia de la disponibilidad de agua hace que cualquier modificación en el ciclo

hidrológico de la cuenca a la que pertenecen puede alterar sensiblemente la configuración

de estos.



Figura 10. El pastoreo en humedales alto andinos, sensibles al retroceso de glaciares comunidad Uma Phusa Curahuara de Caranga Oruro humedales (Foto: Ivar Arana)

Bolivia es un país rico en humedales, desde los bofedales alto andinos hasta los bosques inundables de la Amazonía. Los humedales, se reparten en todo el territorio en una gran variedad en altitud. La región más extensiva de humedales se encuentra, en los Llanos de Moxos en el noreste del país, bosques y sabanas inundadas de alta diversidad biológica, donde existen importantes poblaciones especies amenazadas como el Ciervo de los pantanos (*Blastoceros dichotomus*), el Caimán negro (*Melanosuchus niger*) y la Paraba garganta azul (*Ara glaucogularis*). De acuerdo a información proporcionada por el SNIDS, Bolivia cuenta con 8 humedales principales que pueden ser considerados sitios RAMSAR cuya área total abarca 6.518.073 ha variando en altitud desde los 100 hasta los 3810 m.s.n.m., los cuales albergan una gran cantidad de especies de gran valor.

Aunque no existen estudios concretos sobre la influencia del cambio climático sobre los humedales de Bolivia, se puede prever con

elevada certeza que el incremento de la temperatura ambiental provocará una desecación de estos con escasas probabilidades de recarga debido precisamente al incremento térmico, constituyéndose entonces en un círculo vicioso que debe ser detalladamente analizado.

Impactos del cambio climático sobre la región Amazónica en Bolivia

Este hábitat, es altamente sensible a reducciones de la precipitación, cambios que representan significativas modificación en la configuración de los ecosistemas dando lugar a la reducción sustancial de especies de anfibios, los mismos que producen modificaciones de la dinámica de poblaciones de insectos vectores de enfermedades.

Si la variación interanual del clima hace estos tipos de ecosistemas, reduzcan importantes poblaciones de diversas

especies; la presión antrópica sobre los recursos forestales agudiza esta situación, limitando sustancialmente procesos de adaptación natural a través de la migración por la fragmentación forestal (Ilbisch, 2003).

En este contexto, el cambio climático acentúa los procesos de degradación forestal y erosión genética en los bosques pluviales de la Amazonía. Otro efecto de los cambios en la precipitación y degradación forestal afecta también a la regulación del ciclo hidrológico al interior y al exterior de la cuenca del Amazónica (alterando el ciclo hidrológico), reduciendo sustancialmente los stocks de carbono mundial.

Los extensos bosques de la Amazonía mantienen un amplio almacenamiento de Carbono. Datos confirmados sobre la cantidad de Carbono mantenido en la zona amazónica brasileña demuestra que esta

contiene cerca de 70 Pg de Carbono (C), que constituye entre el 10% y el 15% de la biomasa global (Brown *et al.*, 1995; Houghton *et al.*, 2001; Keller *et al.*, 2001; Malhi *et al.*, 2002).

Los efectos de las quemaduras y los incendios forestales en la zona amazónica han sido documentados y los resultados son muy preocupantes debido a su efecto climático local. Estos se concentran durante la época seca incrementando la posibilidad de que las zonas sufran sequías fuertes y persistentes. El humo de los incendios tiene efectos locales pero también es transportado largas distancias contribuyendo a la contaminación del aire en otras zonas del país, aunque también se reciben las emisiones de los incendios forestales que ocurren en otros países amazónicos de acuerdo a lo investigado por Longo *et al.*, (1999) y Freitas *et al.*, (2004).



Figura 11. Cauce seco. Una embarcación encallada yace sobre el lecho del río Manaquiri en el Brasil durante la intensa sequía que afectó al Estado de Amazonas en 2005 (Foto reportes de prensa- Brasil).

El humo proveniente de las quemaduras de los incendios forestales tiene efectos directos e indirectos sobre las propiedades radiativas de la atmósfera. Los aerosoles del humo pueden absorber y dispersar la radiación solar entrante y la radiación emitida por la superficie del suelo. El humo contiene una

considerable concentración de carbono mineral y material orgánico que son oscuros y absorbentes. Por ejemplo durante un periodo de máxima actividad de quema de biomasa en Agosto-Septiembre de 1999 en Matto Grosso en Brasil, Schafer *et al.* (2002) midieron la reducción de la

recepción de radiación esperada para ese periodo, resultando en un valor de entre 30 a 50 % menos de la radiación esperada. El efecto neto de estos aerosoles absorbentes es el calentamiento de la atmósfera y el enfriamiento de la superficie, lo cual lleva a una mayor estabilidad atmosférica y una reducida convección en la atmósfera. Esto posteriormente produce una reducción de las nubes cumulus normalmente formadas gracias a la presencia de los vientos alisios sobre grandes áreas de la cuenca amazónica durante la estación con humareda (Koren *et al.*, 2004).

El humo generado localmente también afecta el balance radiativo de la atmósfera por medio de dos efectos. El primero de estos efectos es el incremento en el número y subsecuente disminución en tamaño de las gotas de agua de las nubes. El mayor número de gotas provoca que las nubes sean más reflectivas llevando a un enfriamiento de la zona. Por otra parte el tamaño reducido de las gotas de las nubes reduce el proceso de formación de lluvia que ocurre normalmente por coalescencia. Este proceso de reducción de tamaño de las gotas por efecto de los incendios forestales

ha sido documentado por satélite (Kaufman and Fraser, 1997) así como la consecuente reducción de la precipitación en Indonesia por Rosenfeld (1999) y por Andreae *et al.*, (2004) en la amazonía durante el periodo Septiembre-Noviembre de 2002.

El año 2005 se ha reportado la frecuente presencia de tormentas tropicales y déficit en la precipitación en la gran parte de la región Amazónica, lo que ha incrementado la secuencia de incendios forestales. De hecho en Octubre de 2005, el gobierno boliviano declaró la zona amazónica del Beni como zona de “desastre nacional” pues atravesaba la peor sequía desde 1963. Esta condición provocó que la zona de la Provincia Vaca Díez del Beni sufra uno de los peores incendios de su historia el cual durante 15 días devoró más de 100.000 hectáreas de bosque con la consecuente pérdida de numerosas especies de la zona. De esta manera se puede concluir que la mayor actividad de deforestación provoca un efecto más intenso del cambio climático incrementando la vulnerabilidad de los ecosistemas de la zona y siendo parte de un cada vez más perturbador círculo vicioso.

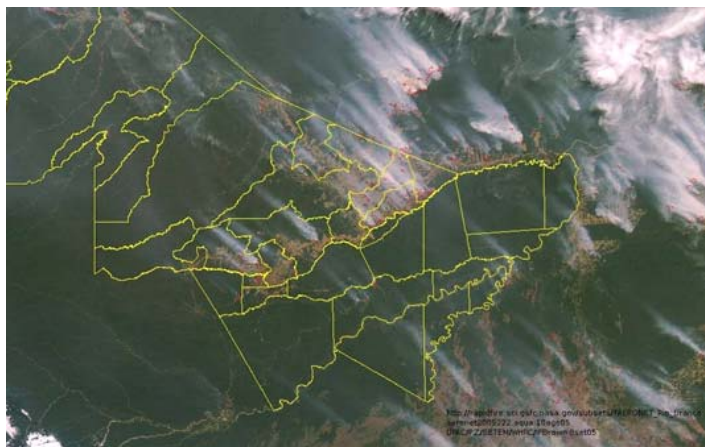


Figura 12. Imagen de satélite de la NOAA de sequías exacerbadas por el cambio climático durante el periodo de huracanes del 2005, intensificando causas sobre el tiempo a nivel local que induce a periodos más secos, por el efecto de aerosoles que evitan la formación de nubes actuando como núcleos de condensación (Imagen GOES- INPE, 2005).

Con relación a la asociación bosque/clima, el desarrollo de la informática facilitó la utilización de modelos numéricos de Circulación General de la Atmósfera (MCGAs) para estudiar el efecto de los cambios de energía entre la superficie y la atmósfera. Como herramienta de análisis de la problemática de la deforestación, se realizaron varios estudios de simulación numérica del clima (por ejemplo, Dickinson y Henderson-Sellers, 1988; Lean y Warrilow, 1989, Nobre, 1991; Henderson-Sellers et al., 1993; Lean y Rowtree, 1993; Manzi, 1996), en situaciones de bosque y deforestación (cambio de superficies vegetadas de bosque por pastizales). De un modo general, los resultados obtenidos convergen en que las zonas deforestadas sufrirán un aumento de la temperatura media del aire próximo a la superficie

(variando de 0,6 a 2,0 ° C), una reducción en los totales de precipitación y evapotranspiración real (del 20 al 30% de los valores del bosque) y lo que es más preocupante, una estación de sequía más prolongada, que afectaría la productividad de las zonas deforestadas y afectaría el equilibrio de las zonas boscosas.

Por lo mencionado, se hace necesario identificar acciones que apoyen a la adaptación de ecosistemas muy vulnerables como la amazonía tales como la habilitación de áreas que faciliten la adaptación de fauna silvestre a través de la migración creando “Vías de escape”, o realizando seguimiento permanente al manejo de los ecosistemas con el fin de reducir la presión sobre estos (Müller, 2003).

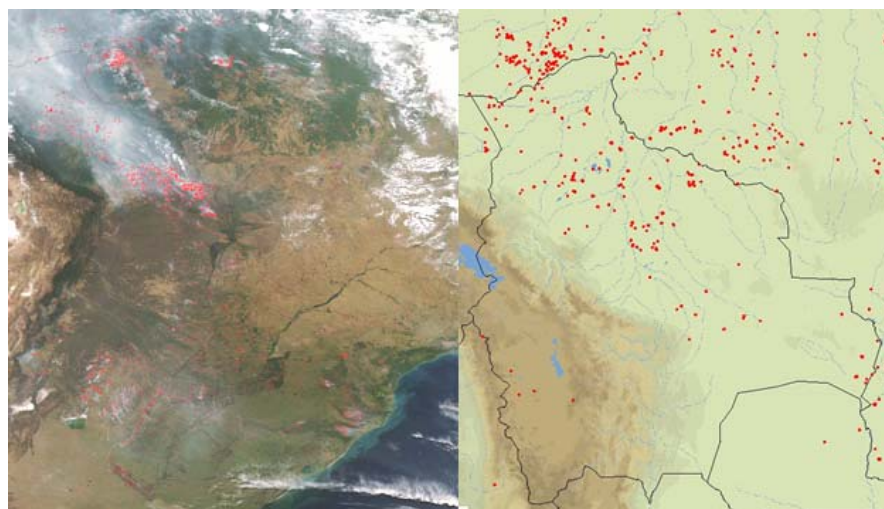


Figura 13. Incendios en la sabana y bosques en la región Amazónica del norte de Bolivia en la imagen de satélite NOAA-GOES de septiembre de 2005 que incluye focos de calor (a) Las partículas producidas por el fuego (estimadas por los puntos de fuego) son inyectadas en modelos de transporte atmosférico (b) que muestran el efecto las quemas. (GOES-NOA, 2005; PNCC, 2005).

CONCLUSIONES

- El mosaico de diversos ecosistemas en Bolivia son vulnerables al cambio climático, degradándose paulatinamente lo que acelera la pérdida de anfibios no cuantificados con precisión.
- La presencia de períodos secos en la región Amazónica incrementa los procesos de degradación forestal por el alto grado de sensibilidad que éstos a la ocurrencia de incendios forestales por el incremento de temperaturas y reducción de la precipitación.
- Ecosistemas, que se formaron a lo largo de varios cientos de años, no podrán responder en periodos cortos a los efectos del cambio climático como respuesta al rápido efecto que tendrán los cambios climáticos originados por la actividad antrópica. Esto podrá llevar a la extinción de muchas especies que no lograrán “escapar a tiempo” especialmente aquellas con mucha sensibilidad al déficit hídrico.
- Los ecosistemas montanos serán menos resistentes a incrementos de temperatura, que los ecosistemas de zonas bajas, ya que tendrán que enfrentar una competencia con especies adaptadas a temperaturas más altas que iniciarán su escape de sus zonas originales hacia zonas más frías. Adicionalmente su cualidad única de presentar bajas temperaturas en zonas tropicales podría ser fuertemente modificada afectando fuertemente a las especies que allí habitan.

El modelo Holdridge muestra que los ecosistemas más afectados por el cambio climático serán los ecosistemas de ladera y los bosques húmedos. En el primer caso esto se deberá a que las especies habitantes de los valles cerrados o aislados muy comunes en Bolivia no encontrarán vías de escape hacia zonas más benignas y por lo

tanto deberán adaptarse o más probablemente desaparecer. En el segundo caso, la inestabilidad y concentración de la precipitación y el incremento de la temperatura provocarán que el balance hidrológico suelo-atmósfera sea alterado modificándose hacia ecosistemas secos.

Por otra parte, los ecosistemas afectados por un aumento de aridez o inestabilidad climática podrían hacerse mucho más susceptibles en cuanto a la intervención del hombre. En todos los ecosistemas de bosque, existe una probabilidad mayor en frecuencia de incendios forestales, debido a la presencia de periodos secos más largos previstos típicamente para escenarios de cambio climático. Esto último, aunado a los cambios en las características en las unidades de bosques (especies de ecosistemas áridos, con facilidad hacia la ignición) o zonas de vida incrementen las condiciones para la ocurrencia de los mismos. La mayor incidencia de incendios forestales se traducirá adicionalmente en pérdidas significativas en la biomasa de bosques y biodiversidad.

Otro factor subyacente a los efectos del cambio climático que afectará fuertemente a la biodiversidad se refiere a los cambios negativos de la capacidad productiva de los ecosistemas en otras regiones que podrían tener efectos catastróficos sobre la agricultura campesina. Efectos de eventos extremos asociados a la variabilidad climática han producido ya, masivas migraciones a otras ecoregiones incrementando sustancialmente la presión sobre los recursos forestales a través de la agricultura de corta y quema de bosques.

Los sistemas de aprovechamiento de los recursos forestales conducen a un proceso de degradación mayor de los bosques por el aprovechamiento selectivo y cambio en el uso de la tierra contribuyendo a las

emisiones de gases de efecto invernadero y provocando la fragmentación forestal. Este último proceso específicamente incrementa los niveles de vulnerabilidad de la biodiversidad, pues se generan limitaciones físicas que dificultan los flujos de intercambio de biodiversidad que las diversas especies animales cumplen en la dispersión de especies vegetales.

En zonas altas, las condiciones de bio-productividad en las praderas nativas podrían verse afectadas con fuertes impactos socioeconómicos, sobre todo por el aumento de inestabilidad de las precipitaciones y el descenso de la recarga a los acuíferos que actualmente ocurre gracias al proceso normal del deshielo de los glaciares, pero que en un escenario de cambio climático se reduciría sustancialmente.

Los siguientes ecosistemas parecen ser los más afectados por cambios climáticos:

- Bosques subtropicales húmedos de las zonas de Tarija y Chuquisaca. El clima parece volverse más cálido y más seco, así que los bosques húmedos del norte reducirían sus extensiones por la presión de avance del bosque seco. A nivel nacional, estos parecen ser los ecosistemas más afectados.
- Los ecosistemas montanos podrían casi desaparecer por efectos de la elevación de temperatura, reduciendo o desapareciendo totalmente toda su biodiversidad.
- Los incrementos de temperatura tienen un efecto sobre el desplazamiento hacia alturas mayores en los Bosques de Yungas en Santa Cruz y Cochabamba y en menor proporción en La Paz.
- Bosques subhúmedos de pie de monte en Tarija y Chuquisaca. En el futuro, posiblemente serán parcialmente

reemplazados por bosques secos similares a los chaqueños.

- Valles secos aislados, en La Paz (Ríos Tuichi, Camata, Consata y Río La Paz), Cochabamba (Río Cotacajes) y Santa Cruz (Río Grande). Posiblemente un aumento de humedad facilitaría la invasión de especies secundarias de zonas más húmedas e incrementaría la erosión en los suelos poco cubiertos. Sin embargo es muy difícil pronosticar sobre cambios del clima local pues su característica fisiográfica los convierte en ecosistemas muy especiales con climas locales singulares. Lo que sí puede preverse es la dificultad que tendrán las especies para escapar de estas zonas por sus características fisiográficas especiales.
- Gran parte de los bosques de llanura, en Santa Cruz y en el noreste de Beni y Pando podrían ser afectados por un aumento en frecuencia e intensidad de incendios forestales en años con épocas secas prolongada debido a una mayor inestabilidad climática y ser invadidos gradualmente por bosques secos.
- Varios ecosistemas actualmente secos serían fuertemente afectados. En el Chaco Tarijeño, debido a un clima futuro más árido, podría aumentar la dominancia de elementos del Chaco más seco como se encuentra en Paraguay. En la pre-puna y la parte sur del altiplano también podrá ocurrir una transición hacia ecosistemas hiper-áridos, ya que las especies dominantes en zonas secas están adaptadas a periodos prolongados de sequía.

IMPACTOS SOCIOECONÓMICOS

La magnitud de los impactos socioeconómicos dependerá de la naturaleza del cambio climático, de la respuesta de los ecosistemas y de la

sensibilidad de las comunidades que desarrollan sus actividades en relación o dependencia de los ecosistemas como lo es la mayor parte de la población rural de Bolivia. En muchos casos comunidades que trabajan y producen en ciertos ecosistemas tendrán que necesariamente cambiar de vocación productiva adaptándose a las nuevas condiciones reinantes o en muchos casos se producirán mayores tasas migratorias debido a la imposibilidad de adaptarse a las nuevas condiciones. Por ello los esfuerzos deben ir orientados a preparar a estas comunidades para futuras condiciones que podrían generarse gracias al cambio climático.

- Se estima que también la industria maderera del país, en despliegue económico, sufra los impactos de los cambios en los ecosistemas directamente en los bosques.
- Comunidades habituadas a manejar ciertos ecosistemas, deberán rediseñar sus enfoques productivos bajo escenarios climáticos.

ANÁLISIS DE ADAPTACIÓN

Los ecosistemas y los bosques, tendrán respuestas reactivas ante el impacto de cambio climático. Esto último significa que se producirán cambios espaciales en la distribución de los ecosistemas como una respuesta a las nuevas condiciones climáticas que reinarán. Sin embargo la velocidad de recuperación o reacción de los ecosistemas podría no ser lo suficiente como para compensar los rápidos efectos del cambio climático, razón por la cual un análisis de adaptación para este recurso deberá orientarse fundamentalmente a ayudar a los ecosistemas ya sea a escapar de las nuevas condiciones o a enfrentarlas con factores externos de soporte.

Por otra parte, el sector productivo forestal, debe anticipar ciertas acciones, desde el punto de vista silvicultural, que ayuden al sector a sobrellevar y sobreponerse a los efectos negativos del cambio climático y más aún a aprovechar las amplias posibilidades que mecanismos como el MDL y el mercado de carbono pueden ofrecerle. En este sentido es claro que la mejora de las condiciones de vida de las poblaciones rurales que dependen de los ecosistemas, se puede transformar rápidamente en un medio para mejorar su capacidad de respuesta al cambio climático.

Muchas de las actividades requeridas para que los bosques puedan responder eficientemente a los impactos del cambio climático ya se consideran dentro de las actividades corrientes silviculturales. Sin embargo, se requiere que algunas de estas actividades se intensifiquen o se extiendan en su área de influencia para que puedan considerarse como reales medidas de adaptación. De acuerdo a los resultados de investigación forestal llevada adelante en Canadá, se puede afirmar que los bosques que están bien manejados se constituyen en menos vulnerables que aquellos que no reciben o reciben un mal manejo.

En este sentido es importante considerar acciones como el manejo y la conservación de la biodiversidad existente ya en los bosques, regular a nivel nacional y hacer cumplir las normas para un adecuado manejo forestal, incluir trabajos de manejo integrado de cuencas en la mayor parte de las cuencas del país, valorar el concepto de los servicios ambientales dentro de las cuencas, etc. Es decir que las opciones de adaptación para los bosques y los ecosistemas deben ser reconocidos como acciones ya existentes que simplemente incluyan un mayor énfasis en un buen manejo y una integración de opciones para

la respuesta al cambio climático y no en nuevos programas que confundan y diluyan los esfuerzos.

Dadas las anteriores consideraciones se sugieren las siguientes líneas de trabajo para apoyar a la adaptación de los ecosistemas y bosques:

- Es importante desarrollar un manejo integral de los recursos naturales en los ecosistemas, considerando las Cuencas como unidad de planificación articulada a los programas de desarrollo.
- Es necesario fomentar el establecimiento de viveros forestales en zonas potenciales de forestación y reforestación, sistemas agroforestales, silvopastoriles o agrosilvopastoriles como alternativas de creación de sumideros en diferentes regiones del país y al mismo tiempo como sistemas de manejo integrado de cuencas que permitan la conservación de suelos de la erosión en laderas.
- Se debe incrementar la investigación sobre la introducción de especies forestales de rápido crecimiento con tolerancia y/o resistencia a bajas temperaturas para las zonas altas del país.
- Es necesario determinar la factibilidad de establecer proyectos forestales dentro del MDL a través de investigación de ganancia de biomasa, secuestro de carbono por especie y otros tópicos potenciales de aprovechamiento para el país.
- En zonas forestales donde la base energética es el consumo de biomasa, es urgente considerar el reemplazo de la matriz energética tanto como una medida de

mitigación como de adaptación pues se prevé una reducción de las emisiones de GEI y al mismo tiempo una mejor capacidad de respuesta ante los impactos del cambio climático, debido al acceso a energía limpia y barata.

- Durante la época seca, la amenaza de incendios forestales es permanente, independientemente de la altitud e incluso el ecosistema a excepción de los bosques pluviales que por su ubicación en el país no presentan este riesgo. Por ello se debe iniciar la consideración de manejo de claros forestales en zonas de riesgo y del manejo de los factores que desencadenan estos eventos (concientización a la población, incremento en la dureza de las sanciones para quienes inicien los fuegos, reglamentación del manejo de fuego en zonas de riesgo, etc). También se debe considerar la necesidad de incrementar la capacidad tecnológica del país para responder a estos procesos que podrían incrementar su frecuencia e intensidad (monitoreo, alerta temprana, equipo de respuesta, etc.)
- Es muy importante contar con estudios precisos y a detalle de la influencia de la variación de la precipitación sobre la recarga de los humedales de manera de llevar adelante acciones que la favorezcan.
- Se debe investigar e iniciar el establecimiento de corredores de escape para las especies de manera de favorecer su proceso de adaptación.
- Se requiere apoyar la investigación para conocer los efectos a largo plazo del cambio climático sobre los bosques y los ecosistemas con estudios en campo (por ejemplo

determinando la influencia interactiva de la elevación de la temperatura, variación de la precipitación y fertilización con CO₂. También se requiere analizar y determinar el impacto del cambio climático sobre la biodiversidad y su importancia en la regulación de los ecosistemas locales.

BIBLIOGRAFÍA

- Andreae, M. O., D. Rosenfeld, P. Artaxo, A. A. Costa, G. P. Franck, K. M. Longo, and M. A. F. Silva-Dias, 2004. Smoking rain clouds over the Amazon, *Science*, 303, 1337–1342.
- Brown, I. F., L. A. Martinelli, W. W. Thomas, M. Z. Moreira, C. A., C. Ferreira, and R. A. Victoria. 1995. Uncertainty in the biomass of Amazonian forests: An example from Rondonia, Brazil, *For. Ecol. and Man.*, 75, 175–189.
- Dickinson, R.E; Henderson-Sellers, 1988. Modelling tropical deforestation: A Study of GCM land surface parametrization , Q,J, *Metorol. Soc.* Pp 440-462. USA.
- Dickinson, R. E., A. Henderson-Seller, and P. J. Kennedy, 1993. Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme (BATS) Version 1e as coupled to the NCAR Community Model, NCAR Tech. Note, NCAR/TN-387+STR, 72 pp., Natl. Cent. Atmos. Res., Boulder, CO,
- Freitas, S., K. M. Longo, M. A. Silva Dias, P. Silva Dias, R. Chatfield, F. Recuero, E. Prins and P. Artaxo,, 2004. Monitoring the transport of biomass burning emissions in South America, *Environ. Fluid Mech.*
- Holdridge, Leslie R. 1947. Determination of World Plant Formations from simple Climatic Data. *Science* 105 (2727): 367-368. 1979. Ecología basada en zonas de vida. Inst. InterAm. de Ciencias Agrícolas, San José, Costa Rica. (Translation of "Life Zone Ecology").
- Houghton, R. A., K. T. Lawrence, J. L. Hackler, and S. Brown. 2001. The spatial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon: a comparison of estimates, *Glob. Change Biol.*, 7, 731–746.
- Ilbisch, P. L. 2003. Desplazamiento acelerado o desaparición de habitats de especies silvestres como consecuencia del cambio climático antropogénico a nivel Local, Regional y Global EN Biodiversidad. La riqueza de Bolivia Estado de conocimiento y conservación. FAN USAID-Bolivia.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, 1995. Climate change Second Assessment Report Scientific Bases.
- Janes, M. L. 2002. The Impact of Global Climate Change on Tropical Forest Biodiversity in Amazonia. University of Leeds Centre for Biodiversity and Conservation School of Geography.
- Kaufman, Y. J. and R. S. Fraser, 1997. The effect of smoke particles on clouds and climate forcing, *Science*, 277, 1636–1639.
- Keller, M., M. Palace, and G. Hurtt, 2001. Biomass estimation in the Tapajos National Forest, Brazil. Estimation of sampling and allometric uncertainties, *For. Ecol. Man.*, 154, 371–382,.
- Koren, I., Y. J. Kaufman, L. A. Remer, and J.V. Martins. 2004. Measurement of the effect of Amazon smoke on inhibition of cloud formation, *Science*, 303, 1342–1345.
- Lean, J., and DA Warrillow, 1989. Simulation of the regional climatic impact of Amazon deforestation. *Nature.*, 342, 411–413. Lean y Rowtree, 1993.

- Lean, J., Rowntree, P. R. 1996. Understanding the Sensitivity of a GCM Simulation of Amazonian Deforestation to the Specification of Vegetation and Soil Characteristics
- Longo, K. M., A. M. Thompson, V. W. J. H. Kirchhoff, L. A. Remer, S. R. de Freitas, M. A. F. Silva Dias, P. Artaxo, W. Hart, J. D. Spinhirne, and M.A. Yamasoe, 1999. Correlation between smoke and tropospheric ozone concentration in Cuiabá during Smoke, Clouds, and Radiation–Brazil (SCAR–B), *J. Geophys. Res.*, 104, p. 12113.
- Malhi, Y., O.L. Phillips, J. Lloyd, T. Baker, J. Wright, S. Almeida, L. Arroyo, T. Frederiksen, J. Grace, N. Higuchi, T. Killen, W. F. Laurance, C. Leano, S. Lewis, P. Meir, A. Monteagudo, D. Neill, N. P. Vargas, S. N. Panfil, S. Patino, N. Q. C. A. Pitman, A. Rudas-Li, R. Salomão, S. Saleska, N. Silva, M. Silveira, W. G. Sombroek, R. Valencia, R. V. Martinez, Vieira I.C.G., and B. Vincenti, 2002. An international network to monitor the structure, composition and dynamics of Amazonian Forests (RAINFOR), *J. Veg. Sci.*, 13, 439–450.
- Manzi, A.O. and S. Planton, 1996. A simulation of Amazonian deforestation using a GCM calibrated with ABRACOS and ARME data. In: *Amazonian Deforestation and Climate* [Gash, J.H.C., C.A. Nobre, J.M. Roberts, and R.L. Victoria (eds.)]. John Wiley and Sons, New York, NY, USA, pp. 505-529.
- Millenium ecosystem assessment, 2002. Living Beyond Our Means. Natuarla Assets and Human well-beging. Stamaentte from the board Milelium Ecosystems Assessment.
- Moore, A. Nadler, I. C. Prentice, W. Sauf, A. L. Schloss, S. Sitch, U. Wittenberg, y G. Wurth., 1999. A first-order analysis of the potential role of CO₂ fertilization to affect the global carbon budget. A comparison of four terrestrial biosphere models. *Tellus* 51B:343–366. Libro de la amazonía y cambio climático
- Muller, 2003. Cambio climático. Manuscrito. SERNAP.
- Nobre C. A., 1991. Possible climatic impacts of Amazonian deforestation. In memorial The International Seminar on Hydrology and Water Management of the Amazon Basin
- Reid. W; Money A; Cooper A. Capistrano D.; Carpenter R. S.; Chopra; Dasgupta; Dietz; Kumar; Mc Michael; Pingali; Saperson; Leemans; May; Tony; Duriappah; Hassan; Leemans; Sapper; Scholes; Watson; Zhao; Shidong;Nenille; Bennet, E.; Kumar P.; Lee, M; Ciara; Simon Thonell, 2002. Un informe sobre evaluaciones del los ecosistemas del milenio. Informe Síntesis. Evaluación de los ecosistemas del Milenio.
- Rosenfeld, D., 1999. TRMM observed first direct evidence of smoke from forest fires inhibiting rainfall, *Geophys. Res. Letts.*, 26, 3105.
- Schafer, J. S., B. N. Holben, T. F. Eck, M. A. Yamasoe, and P. Artaxo, 2002. Atmospheric effects on insolation in the Brazilian Amazon: Observed modification of solar radiation by clouds and smoke and derived single scattering albedo of fire aerosols, *J. Geophys. Res.*, 107, doi:10.1029/2001JD000428.
- Thomas C.D., Cameron A., Green R.E. y otros 16 autores. 2004. Extinction risk from climate change. *Nature* 427: 145-148
- Watson, RT; Zinyowera, MC; Moss, RH. 1996. "Climate change impacts on forest". In *Climate Change 1995; Impacts, Adaptations and Migation of Climate Change: Scientific Technical*

Analyses. IPCC, Cambridge
University Press. p 111-112.
Watson, R.T. and the Core Writing Team
(Eds.) IPCC, 2001. Climate Change

2001: Synthesis Report. Geneva,
Switzerland, pp. 184

IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA PRODUCCION AGROPECUARIA

INTRODUCCIÓN

Debido a que la producción agropecuaria depende directamente del clima de una zona, el cambio climático podría afectar fuertemente a este sector esperándose impactos como el incremento de los requerimientos de agua en los cultivos, la migración de agroecosistemas por inviabilidad de sus zonas originales o la habilitación de nuevas zonas agrícolas. Incluso con el incremento positivo de las concentraciones atmosféricas de CO₂ que se supone tendrá un efecto de fertilización de los cultivos, los eventos de variabilidad climática, pueden ser responsables de importantes pérdidas de la producción agropecuaria a nivel global, por lo cual los países deberán establecer acciones en relación a los probables impactos futuros en diversas regiones (IPCC a, 2001).

El efecto invernadero incremental producto de la acumulación antrópica de gases de efecto invernadero en la atmósfera, está dando lugar a la elevación de la temperatura media de la superficie terrestre. La temperatura ha subido desde 1861 y nuevos análisis de información en el hemisferio norte indican que el incremento durante el Siglo XX es probable que haya sido mayor que durante los últimos 1000 años. Esta variación provocará mayor estrés en los cultivos, los que requerirán mas agua y en muchas zonas no podrán adaptarse a las nuevas condiciones climáticas. Si bien algún estudios muestran que podrían registrarse mayores rendimientos de los cultivos por las mayores temperaturas y las elevadas concentraciones de dióxido de carbono, los cambios en el comportamiento climático, aparentemente conducirán a una mayor incidencia y frecuencia de eventos

extremos; los mismos que ya han ocasionado importantes pérdidas del sector. Adicionalmente, las elevadas temperaturas están provocando la reducción de importantes masas de hielo en los glaciares de alta montaña que constituyen fuentes de agua para riego de las superficies cultivadas y de agua de recarga de los humedales que se encuentran en las cuencas de los ríos que se generan a partir de los glaciares. Así también, los cambios ocurridos en importantes características del clima, como efecto de los episodios del fenómeno ENSO, están afectando con mayor importancia a los sistemas productivos agrícolas.

De los cuatro pilares de la seguridad alimentaria uno de los más sensibles a los cambios de temperatura y de los regimenes de precipitación es la disponibilidad alimentaria cuya base es la producción agropecuaria. Esta sensibilidad podría afectar tanto a los productores como al país en general. La vulnerabilidad de este sector ocurre por el deficiente desarrollo tecnológico de los sistemas agrícolas en Bolivia que mayormente se desarrollan a secano, con reducido uso de insumos y maquinaria agrícola y sin ningún subsidio nacional o local. Estimaciones globales prevén que la producción agrícola tendrá una variación negativa promedio de 6.6 a 7 % si los impactos del cambio climático no van acompañados de opciones de respuesta, de acuerdo a los impactos esperados. Sin embargo y dependiendo de la vulnerabilidad de los agroecosistemas, las pérdidas reales podrías ser mucho mayores. En algunos estudios se anticipa incluso pérdidas totales de rendimiento si no se toman medidas para ayudar al sector a adaptarse a los efectos del cambio climático.

La evidencia científica es precisa: la frecuencia e intensidad de eventos extremos esta afectando cada vez con mayor intensidad a distintas regiones del país al igual que a todo el planeta. Estos efectos impactarán fuertemente sobre los agroecosistemas y al desarrollo económico nacional dado el gran aporte que tiene el sector sobre la economía. Adicionalmente, el cambio del clima podría interactuar negativamente con los efectos de las medidas que se adopten para incrementar la producción agrícola si estas no incluyen la consideración de la variabilidad climática y de un cambio climático crónico.

Los efectos *directos* más importantes previstos del cambio climático sobre la agricultura se deberán al cambio de factores tales como el incremento de la temperatura, la variación de la precipitación, la duración de la estación de crecimiento de los cultivos, los momentos en que se produzcan fenómenos extremos o se alcancen umbrales críticos que influyan en el desarrollo de los cultivos y otros conexos. Adicionalmente, los cambios en la concentración de CO₂ en la atmósfera

asociados a otros factores de producción como la elevación de la temperatura, tenderían a constituirse en elementos que aceleren el proceso fotosintético incrementando la formación de biomasa en muchos cultivos especialmente en los cultivos C-3. Como efectos *indirectos* se prevé que los procesos de adaptación de organismos patógenos podrían incrementar su incidencia y severidad y muchas plagas secundarias podrían pasar a ser plagas con umbrales de daño económicos muy altos, cuya consecuencia no se han estudiado todavía.

El impacto del cambio climático sobre la seguridad alimentaria tienen lugar en dos pilares de la seguridad como son la disponibilidad y acceso a los alimentos siendo los cultivos sensible a la variables meteorológicas que inciden sobre el rendimiento de los cultivos, los incrementos en la temperatura y el CO₂ atmosférico favorecen los procesos fotosintéticos siempre y cuando la disponibilidad de agua y nutrientes, se modifiquen en la misma proporción como se presentan en el esquema que muestra la Figura 14.

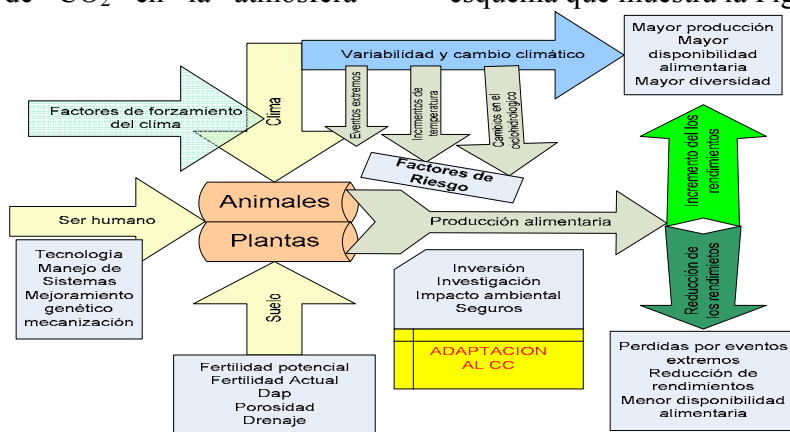


Figura 14. Impactos del cambio climático sobre la producción agropecuaria

La organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2003) afirma que existe un acelerado proceso de reducción de las superficies

cultivadas en 40 países en desarrollo afectando a 2 mil millones de personas. La pérdida de la capacidad productiva de importantes regiones en estos países,

forzada al menos parcialmente por el cambio climático puede elevar en forma dramática la carencia de alimentos.

De acuerdo al Tercer reporte de evaluación del IPCC, (2001,b) a pesar de que los factores de producción agrícola son ampliamente manejados por el ser humano, la producción de alimentos siempre estará influenciada por la disponibilidad de agua y nutrientes, así como por la temperatura. En

esta óptica, incrementos de la temperatura y variaciones de la precipitación podrían provocar que los agroecosistemas busquen nuevas áreas para cultivos si sus áreas originales pierden su aptitud para albergar sistemas productivos. Esta migración, si no es planificada, podrá constituirse en un factor adicional de presión sobre suelos frágiles los que podrían degradarse fácil y rápidamente.



Figura 15. Los extremos climáticos pueden afectar fuertemente la producción agrícola, especialmente referente a la falta o el exceso de agua

También se prevé, que bajo los actuales enfoques de apoyo a la producción agrícola mundial, esta podría mantenerse en el nivel actual, pero para una población en aumento, lo cual podría inducir un déficit en la disponibilidad de alimentos. Además, las conclusiones de este informe especial a nivel latinoamericano refuerzan la preocupación por las posibles consecuencias graves de un aumento del hambre en algunas regiones, particularmente en los trópicos. En términos generales, las latitudes medias a altas podrían experimentar un aumento de la productividad, según el tipo o la estación de cultivo, los cambios en el régimen de temperaturas y la estacionalidad de la precipitación. En cambio en los trópicos, donde algunos cultivos se aproximan a su

nivel máximo de tolerancia de temperaturas extremas, donde predomina la agricultura a secano y la agricultura se desarrolla a niveles extremos es muy probable que disminuya el rendimiento y que la producción resulte muy afectada.

EL SECTOR AGROPECUARIO EN BOLIVIA

El Cuadro 12 presenta la superficie cultivada y la producción de los principales cultivos agrícolas en Bolivia bajo las condiciones actuales. Se percibe que las mayores áreas agrícolas se encuentran en Santa Cruz donde la producción es orientada principalmente para la exportación. Los otros departamentos presentan niveles productivos y áreas de producción reducidas pero que soportan

fundamentalmente al mercado interno nacional.

Cuadro 12. Superficie (has) y producción agrícola (T.M.) por departamentos

| Departamento | SUPERFICIE | | | PRODUCCION | | |
|--------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| | 2000/01 | 2001/02 | 2002/03 | 2000/02 | 2001/02 | 2002/03 |
| Chuquisaca | 177,391 | 177,016 | 177,046 | 489,274 | 411,976 | 410,668 |
| La Paz | 231,518 | 231,316 | 230,908 | 804,690 | 767,555 | 762,534 |
| Cochabamba | 178.112 | 220,815 | 220,019 | 854,357 | 930,839 | 920,447 |
| Oruro | 52,370 | 54,236 | 54,560 | 299,256 | 283,800 | 276,841 |
| Potosí | 121,363 | 122,037 | 121,874 | 299,256 | 283,800 | 276,841 |
| Tarija | 96,025 | 86,771 | 86,659 | 721,483 | 755,978 | 757,133 |
| Santa Cruz | 1,111,875 | 1,303,459 | 1,288,504 | 5.638.162 | 6.798.496 | 7.311.770 |
| Beni | 35,945 | 36,796 | 36,820 | 264,834 | 221,208 | 221.433 |
| Pando | 15,821 | 15,900 | 15,927 | 90,681 | 76,565 | 76,632 |
| Total | 2,020,420 | 2,248,346 | 2,232,317 | 9,461,993 | 10,530,217 | 11,014,298 |

Fuente: Dirección de Estadísticas. DGDR - VMDR – MACA, 2004.

Los datos presentados en el Cuadro 12, reflejan diferentes aptitudes productivas por departamento factor asociado a la densidad poblacional diferenciada. La reforma agraria ha promovido un desarrollo desigual del sector rural con grandes inversiones en el oriente del país, incrementando los problemas de tenencia de tierra especialmente en el sector occidental. Desde hace más de 60 años, a pesar de la reforma agraria, el voto universal, la liberación de los precios agrícolas, la introducción de los conceptos de revolución verde, y las reformas institucionales al Estado, poco ha cambiado en respecto al bienestar de los campesinos, indígenas, originarios y colonizadores del país. El PNUD sostiene que hoy cada habitante del área rural de Bolivia dispone de menos de un dólar por día para vivir. Por otra parte de una población de más de 8.000.000 de habitantes, el 38 % vive en el sector rural (3.109.095 habitantes), de los cuales el 82% es pobre y de ese porcentaje el 59% es indigente y posee no más del 13% de la tierra cultivable (ENDAR, 2005). De esta manera la desigualdad productiva es una consecuencia de la concentración de la propiedad de la tierra, la cual en general va acompañada con menor capacidad de

inversión en las zonas en las que es común el minifundio.

Los factores antes mencionados incrementan la vulnerabilidad natural de los agroecosistemas al cambio climático pues muchos pequeños productores con bajo nivel de inversión en sus sistemas productivos presentan menor capacidad de recuperación ante los eventos extremos que agricultores que poseen grandes extensiones de tierra con sistemas de protección, alerta temprana, subsidios, apoyo gubernamental, etc., con el agravante de que se está presentado una agudización del minifundio en las tierras del altiplano y valles, en las que se generan aproximadamente 16.000 minifundios más por año. Adicionalmente el sector incrementa su vulnerabilidad debido a acelerados procesos de degradación de los agroecosistemas los que bajo las condiciones actuales ya están produciendo una brecha alimentaria del orden de 450 Kcal. (SINSAAT, 2005). A los problemas anteriormente mencionados se suman la contaminación de agua por la minería e industria, que junto a las serias desigualdades e irregularidades en la

tenencia de tierra, se traducen en factores adicionales de vulnerabilidad.

EL EVENTO ENSO Y LA SEQUIA 1982-1983

En la gestión agrícola 1982-1983, la sequía fue devastadora para la agricultura en gran parte de Bolivia, mostrando la vulnerabilidad del país ante eventos climáticos extremos. Los habitantes afectados en las áreas rurales de los departamentos más golpeados por el evento sufrieron la severidad del fenómeno. Estudios realizados por el Instituto Nacional de Estadísticas basados en información de las entonces Corporaciones Departamentales de Desarrollo, estiman que 1.585.686 habitantes del área rural fueron afectados por sequía con impacto en 7 Departamentos: La Paz, Oruro, Potosí, Cochabamba, Chuquisaca, Tarija y Santa Cruz. La superficie afectada fue mayor a 380.000 Km², los cuales afectaron al 90 % del Altiplano, 70 % de los valles y 10 % de las tierras bajas. Reportes de Comités de Emergencia indican que en casos extremos, los agricultores perdieron entre 80 y 100% de su producción, siendo las zonas más afectadas aquellas situadas en Cochabamba, Potosí y Oruro. El presente Cuadro refleja la reducción de la superficie cultivada durante la gestión 1983 resultado del retraso del inicio de la época de lluvias que obligó a los agricultores a cambiar fuertemente su criterio de siembra hacia cultivos más resistentes a la falta de agua como la quinua.

| Productos | Superficie cultivada (has) | |
|------------------|----------------------------|---------|
| | 1982 | 1983 |
| Avena en grano | 7.520 | 4.013 |
| Cebada | 84.460 | 46.743 |
| Haba | 23.015 | 12.581 |
| Quinua | 24.930 | 43.086 |
| Camote | 1.575 | 1.271 |
| Oca | 13.280 | 7.230 |
| Papa | 159.349 | 108.157 |
| Cebolla | 4.640 | 3.551 |
| Maíz para choclo | 17.812 | 10.407 |

La reducción en la precipitación ocasionó una insuficiente reserva de agua para consumo humano y productivo. Adicionalmente se percibió un incremento de temperatura y mayor evapotranspiración con la pérdida casi total del agua. De acuerdo a registros históricos la temperatura media entre julio y febrero es de 9.5 °C en Potosí. Sin embargo, entre 1982 y 1983 la temperatura durante el mismo periodo ascendió hasta 13.5 °C como condición anómala.

Las pérdidas se concentraron en la producción agrícola, erosión del suelo, inseguridad alimentaria por la baja disponibilidad alimentaria, erosión genética debido al consumo de las semillas, etc. Por otra parte, en la producción pecuaria se tuvo importantes pérdidas debido a la muerte de animales por falta de agua, incremento en la infertilidad, abortos y pérdida de peso por falta de alimento; alrededor de 3.4 millones de ovinos, 644.000 llamas y 110.500 alpacas fueron afectadas representando el 27 % de los ovinos y el 32 % de camélidos.

Por otra parte, la producción agrícola en el Altiplano y los valles interandinos (gran parte de la agricultura en los departamentos de La Paz, Oruro, Potosí, Chuquisaca, Cochabamba y Tarija) se desarrolla en función de las variables climáticas. Esto significa que la mayor parte de los agricultores no cuentan con sistemas de riego por lo que esperan las lluvias para sembrar y cultivar, su agricultura es muy vulnerable a las heladas y se hallan casi totalmente desprotegidos contra granizadas. Al presente, de un total de 2.232.317 has cultivadas en los principales cultivos, (MACA, 2004) solamente 226.031 cuentan con aporte de riego adicional (Van Damme, 2003).

La importancia económica de la agricultura en Bolivia radica en que más de la mitad de su población económicamente activa es empleada por esta actividad con un aporte al PIB en el orden de 14.3 % (INE, 2005) con el segundo lugar en importancia para el país (Más de dos tercios agropecuario provienen del aporte de pequeños agricultores que poseen la menor proporción de tierras cultivadas del país como se muestra en el Mapa 5, suministrando gran parte de la disponibilidad alimentaria nacional; con una producción para el mercado interno.

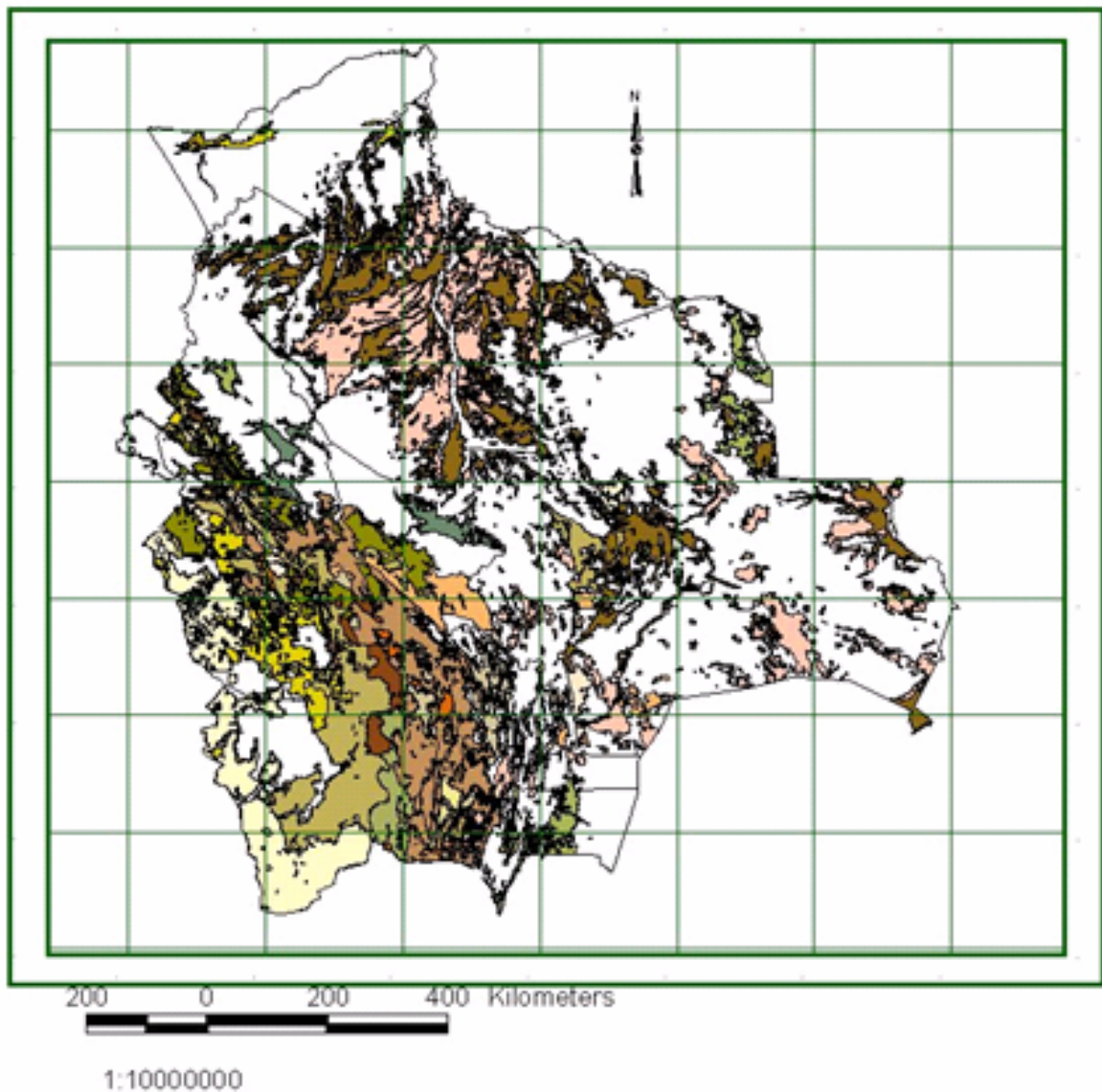
La actividad agrícola y pecuaria es altamente sensible al cambio climático por ser predominantemente dependiente de las condiciones del tiempo tanto para el abastecimiento con productos alimentarios al mercado interno, como para la agricultura de exportación repercutiendo en la estabilidad económica del país.

PRODUCCION AGROPECUARIA Y CAMBIO CLIMÁTICO

A pesar de los esfuerzos realizados por el

país en materia de investigación y generación de información para cuantificar y cualificar los impactos del cambio climático sobre la producción agropecuaria, existen todavía muchos vacíos acerca de la naturaleza y magnitud de este cambio y por tanto sus impactos. Es en este sentido, que el Programa Nacional de Cambios Climáticos viene desarrollando una aproximación de líneas base de los impactos del cambio climático, para lo cual se están utilizando diversas herramientas. Los diferentes estudios realizados en Bolivia y otros países Sudamericanos resaltan que los agroecosistemas se encuentran, ya al presente, expuestos a procesos de degradación por los efectos del manejo inadecuado de los recursos, siendo estos procesos incrementados en su impacto, por efecto del cambio climático.

Desde un punto de vista fisiológico, el aumento de la temperatura global junto con la correspondiente elevación de la concentración del CO₂ tendrá efectos de supresión de la fotorrespiración y en consecuencia se tendría un incremento de la eficiencia hídrica y fotosintética. De esta manera, los estudios previos realizados aplicando el modelo DSAAT V3 en el cultivo de papa en el altiplano (PNCC, 1999), mostraron que el incremento de la temperatura podría tener un efecto favorable en el rendimiento. El aumento de la temperatura mínima reduce la probabilidad de heladas tempranas o tardías. En este caso, el efecto del incremento de la temperatura de hasta 2 °C podría ser de mayor influencia sobre los rendimientos que el de la variación de la precipitación de hasta +/- 20 % pues este incremento permitiría a muchas variedades concluir su ciclo productivo antes de la ocurrencia de las primeras heladas de invierno y estas reducirían en su intensidad.



| Compendio de Usos Actuales | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> Agricultura de secano con cultivos de ciclo largo Agricultura de secano con cultivos de ciclo corto Agricultura de riego con cultivos de ciclo largo Agricultura de riego con cultivos de ciclo corto Agricultura de riego con cultivos de ciclo corto Agricultura de riego con cultivos de ciclo corto Agricultura de riego con cultivos de ciclo corto Agricultura de riego con cultivos de ciclo corto Agricultura de riego con cultivos de ciclo corto Agricultura de riego con cultivos de ciclo corto Agricultura de riego con cultivos de ciclo corto Agricultura de riego con cultivos de ciclo corto Agricultura de riego con cultivos de ciclo corto Agricultura de riego con cultivos de ciclo corto Agricultura de riego con cultivos de ciclo corto | <ul style="list-style-type: none"> Agricultura de secano con cultivos de ciclo largo Agricultura de secano con cultivos de ciclo largo Agricultura de secano con cultivos de ciclo largo Agricultura de secano con cultivos de ciclo largo Agricultura de secano con cultivos de ciclo largo Agricultura de secano con cultivos de ciclo largo Agricultura de secano con cultivos de ciclo largo Agricultura de secano con cultivos de ciclo largo Agricultura de secano con cultivos de ciclo largo Agricultura de secano con cultivos de ciclo largo Agricultura de secano con cultivos de ciclo largo Agricultura de secano con cultivos de ciclo largo Agricultura de secano con cultivos de ciclo largo Agricultura de secano con cultivos de ciclo largo Agricultura de secano con cultivos de ciclo largo Agricultura de secano con cultivos de ciclo largo |



Mapa 5. Áreas agrícolas y ganaderas, según el Mapa de Uso actual de la tierra de la Dirección de Ordenamiento Territorial (2001).

La variación de la precipitación (+/- 20%) no produce cambios significativos en los rendimientos, pues el altiplano se caracteriza por capacidades de almacenamiento de agua en el suelo variables y una precipitación efectiva en un rango de +/- 20% consideradas como normales (Torrico, 1998). Sin embargo, los rendimientos para valores superiores e inferiores de variación de precipitación, disminuirían drásticamente tanto por un fuerte déficit hídrico o por efecto del exceso de agua en las típicas variedades sensibles al anegamiento que crecen en Bolivia. Es importante pero considerar que los estudios mencionados no incluyeron un análisis de la distribución de la precipitación sino que se limitaron a la cantidad total de lluvia caída; este factor podría no reflejar el verdadero efecto del cambio climático percibido como la concentración de eventos de precipitación con mayor presencia de largos periodos secos durante la época de lluvias.

El aumento de la concentración de CO₂ atmosférico también puede traer consigo aumentos en el rendimiento de los cultivos en mayor magnitud en el altiplano que en los valles. El cambio climático podría beneficiar mayormente a la agricultura altiplánica pues una de sus más importantes limitaciones la constituyen las bajas temperaturas y aunque cualquier aumento en la temperatura provoca una aceleración en la intensidad fotosintética, favoreciendo la eficiencia de aprovechamiento del CO₂, temperaturas demasiado altas llevarían a la saturación y baja eficiencia de utilización del CO₂. Se ha observado también que el incremento de la concentración de CO₂ sería favorable si va acompañado de mejora en las condiciones de disponibilidad de otros factores productivos como la disponibilidad de nutrientes.

Los estudios realizados, en el caso específico de la papa demostraron que la

medida de adaptación más importante y que aumentó los rendimientos simulados de 30 a 60% es la del aporte de agua como riego, que aplicado oportunamente sería incluso mucho más eficiente y de mayor ganancia productiva (aportes de agua de entre 50 a 180 mm durante la fase de inicio de la tuberización aparecen como los más recomendables) que la fertilización con dióxido de carbono (Torrico, 1998).

De acuerdo a los resultados de la modelación, el adelanto o retraso de las fechas de siembra en periodos de 20 a 30 días no muestra modificaciones significativas en los rendimientos del cultivo en el altiplano. A pesar de estos resultados, la respuesta obtenida de experimentos de campo en los que se probaron variaciones en las épocas de siembra sugieren que estos cambios podrían resultar en fuertes incrementos en los rendimientos pues aprovecharían mucho más el agua caída como lluvia en los meses más húmedos (Torrez, 2005). Esta medida de adaptación sin embargo, depende de la disponibilidad de agua para la siembra.

Otro efecto simulado es que en caso que el incremento de la temperatura sería mayor a los 2°C, también sería posible cultivar variedades dulces (*Solanum tuberosum*) con cierta resistencia a heladas en lugar de las variedades amargas (*Solanum juzepsukii*) en zonas que al presente solo permiten cultivar variedades amargas. En estudios con comunidades realizados en 2005 (IIA, reporte preliminar, 2005), se ha podido evidenciar este efecto pues comunarios de Municipios ubicados en las riberas del Lago Titicaca reportan que zonas antes restringidas a variedades amargas, al presente están produciendo variedades dulces aunque con limitaciones de fertilidad de suelos, efecto que deberá ser seriamente estudiado para evitar erosión y desertización acelerada.

En cuanto al cultivo de soya los resultados del modelos DSAAT (PNCC, 1999) muestran que los aumentos de la temperatura provocan que las plantas y el suelo pierdan mayor cantidad de agua determinando que la planta sufra un estrés hídrico reflejado en la baja producción especialmente en los cultivos de invierno a secano. Los resultados de la simulación muestran que las fases fenológicas de la soya se acortan con escenarios de cambio climático lo cual se explica porque el incremento de la temperatura acelera los procesos fisiológicos. Al mismo tiempo el rendimiento podría reducirse si la elevación de la temperatura ocurre en la floración, pues este incremento tendría efectos negativos en la fase, reduciendo la cantidad de frutos cuajados (legumbre). El aumento de la precipitación o la adición de riego podría contrarrestar esta tendencia al nivelar el balance absorción transpiración, pero aumentos de hasta 20% en las precipitaciones no logran nivelar el déficit por lo que los incrementos de agua deberán ser mayores.

El análisis de vulnerabilidad simulada permite evidenciar que en el caso de la soya, el principal factor para incrementos del rendimiento, tanto en cultivos de verano como de invierno sería el CO₂ porque se sabe que esta especie posee un elevado punto de compensación del CO₂ concerniente a su fisiología. Entonces el factor fertilizante del CO₂ podría ser importante para incrementar los rendimientos del cultivo, acompañando el manejo con adición de agua como riego especialmente durante el invierno.

La producción ganadera y las pasturas también serían afectadas. En la publicación mencionada previamente se reporta que los modelos de simulación predicen que el aumento de la temperatura traería consigo la disminución del peso del ganado si no es

acompañada por incremento de la precipitación debido principalmente a la menor disponibilidad de alimento y a la falta de agua. Si el aumento de la temperatura va acompañado por mayor precipitación e incremento de las concentraciones de CO₂, se obtendrían mayores ganancias de materia verde y seca en las pasturas. Esta afirmación presenta limitaciones para la época de estiaje por la reducida cantidad de agua como precipitación con la que se cuenta en las áreas ganaderas. Dado que se prevé mayor concentración de la precipitación de la actual, se puede esperar una fuerte reducción del número de cabezas de ganado en producción durante el invierno por falta de agua y de alimento en caso de no contarse con medidas de adaptación adecuadas.

También se prevé que algunas pasturas nativas de altura podrían sufrir reducciones en sus rendimientos debido a la menor disponibilidad de agua de deshielo especialmente a nivel de los bofedales y humedales. En este punto es importante hacer un énfasis especial, pues la retracción de los glaciares podría afectar fuertemente a la alimentación hídrica de estos humedales. Al presente estas áreas están reduciendo sus superficies, en parte porque a través del drenaje se habilita los terrenos para actividades agrícolas. Como razonamiento lógico, se podría prever en los próximos años una tendencia de incrementos en el agua de recarga por el acelerado deshielo de los glaciares. Sin embargo el aumento en los caudales no será indefinido sino hasta que reduzca el almacenamiento de los glaciares hasta un umbral determinado en el que la reducción de las áreas de los bofedales será determinada además por la falta de agua. Los resultados de Flores (2002), evidencian cambios en las áreas de bofedales alto andinos del país desde 1990 a 1998 reportando para 1990 una superficie

716 Ha de bofedales primarios, con una reducción en 1998 a 539 Ha. Esto implica que la ganadería de zonas de altura basada en la alimentación del crecimiento de la vegetación de bofedales es altamente vulnerable al cambio climático.

VULNERABILIDAD DE LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA POR LA ARIDEZ PROVOCADA POR EL CAMBIO CLIMÁTICO

Los resultados de estudios de vulnerabilidad en los cultivos son todavía puntuales la influencia del cambio climático para cultivos puntuales. Con el fin de extender el análisis a todo el territorio nacional, mucha más investigación es necesaria para definir en forma más precisa el impacto de los efectos del cambio climático sobre la agricultura. Con el propósito de ilustrar el impacto directo de las variaciones en los parámetros del clima, en el presente trabajo se realizó un ejercicio de evaluación de la vulnerabilidad de la agricultura al incremento de la temperatura y la variación (positiva o negativa) de la precipitación. En este marco y contando con información meteorológica actualizada de 120 estaciones repartidas en el país (Anexo 1), se realizó un análisis del Índice de Aridez (IA) de acuerdo a la metodología propuesta por el PNUMA (1992). Dado que la actividad agrícola del país se desarrolla en zonas con cierto grado de aridez, se consideró que esta metodología es adecuada.

El criterio utilizado para caracterizar las zonas es el índice climático de la aridez, expresado en la ecuación:

$$IA = PP / ETo \text{ (UNEP, 1992).}$$

Donde:

IA: Índice de aridez de cualquier zona

PP: Precipitación anual recibida (mm)

ETo: Evapotranspiración de referencia anual de la zona (mm)

Este índice mide la relación que existe entre el promedio anual de precipitación y el potencial de evapotranspiración o la demanda de evaporación de la atmósfera en un área determinada en respuesta a sus condiciones climáticas, de tal manera que cuanto mas bajo es el valor encontrado, mayor es la aridez del área de estudio. Este índice es ampliamente usado y adecuado para países como Bolivia debido a su tendencia a la aridez en forma permanente o en la época de estiaje. Para llevar adelante el estudio se procedió de la siguiente forma:

1. Se evaluó el Índice de Aridez para las 120 estaciones meteorológicas consignadas con los valores de promedios históricos de PP y ETo (calculada por el método de Hargreaves), valores que se constituyeron en el escenario base.
2. Los valores de promedios históricos de temperatura y precipitación fueron modificados en función de escenarios incrementales previstos para Bolivia de acuerdo a los escenarios IS92a e IS92c. Los valores previstos fueron diferenciados en función a la fisiografía del país y a la influencia de la circulación general de la atmósfera. En este sentido se considera que las zonas bajas del país podrían sufrir un incremento en su precipitación debido al debilitamiento de los vientos alisios (similar al ocurrido durante los años de eventos Niño) que tendrían mayor dificultad en atravesar la cordillera hacia el occidente. En contraste las zonas occidentales del país sufrirían un descenso de la precipitación por las razones previamente mencionadas. En

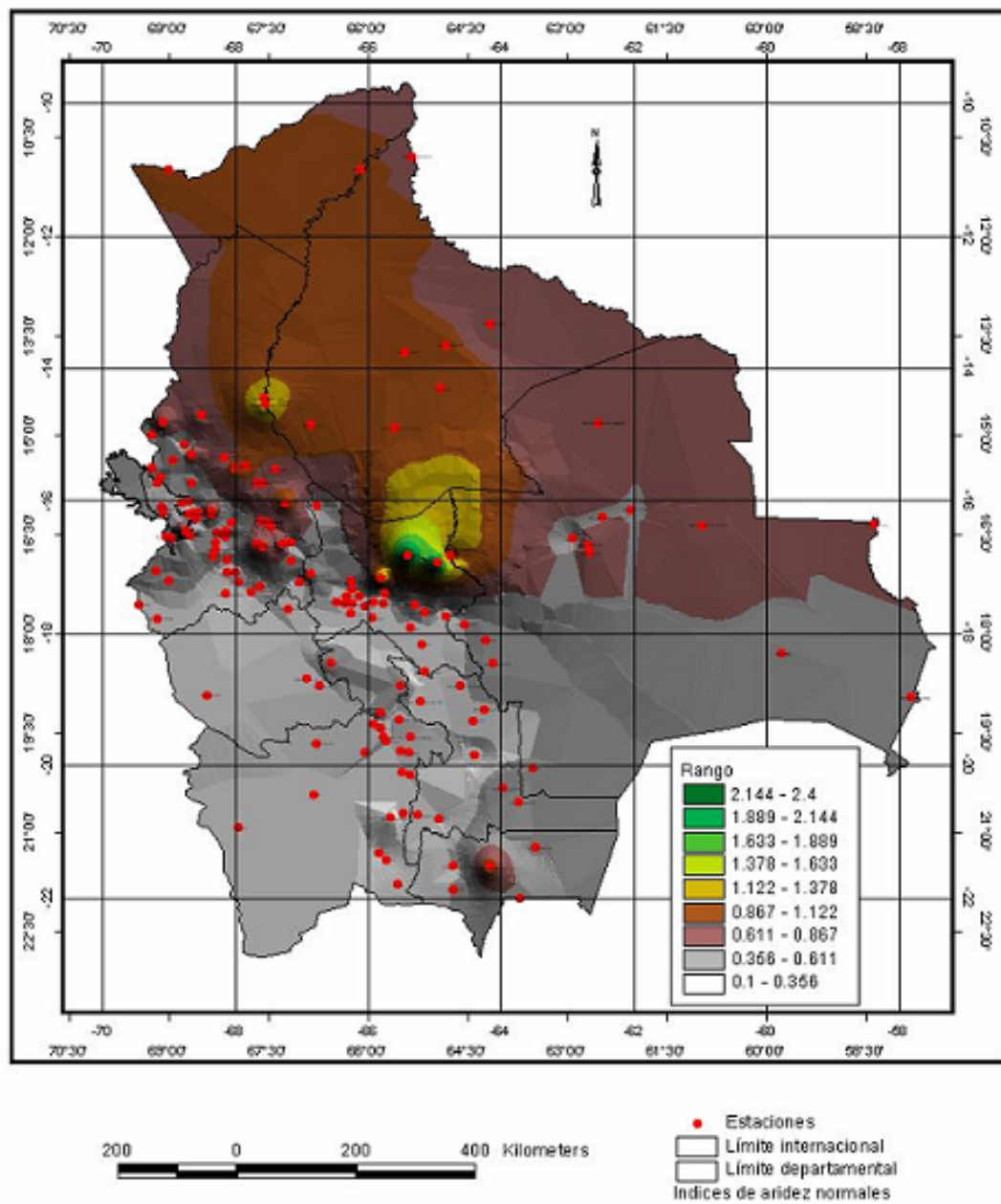
forma resumida, el Cuadro 12. presenta los escenarios asumidos para el estudio:

Cuadro 13. Variación de temperatura y precipitación asumidas para evaluar el cambio de las condiciones de aridez en las distintas áreas del país

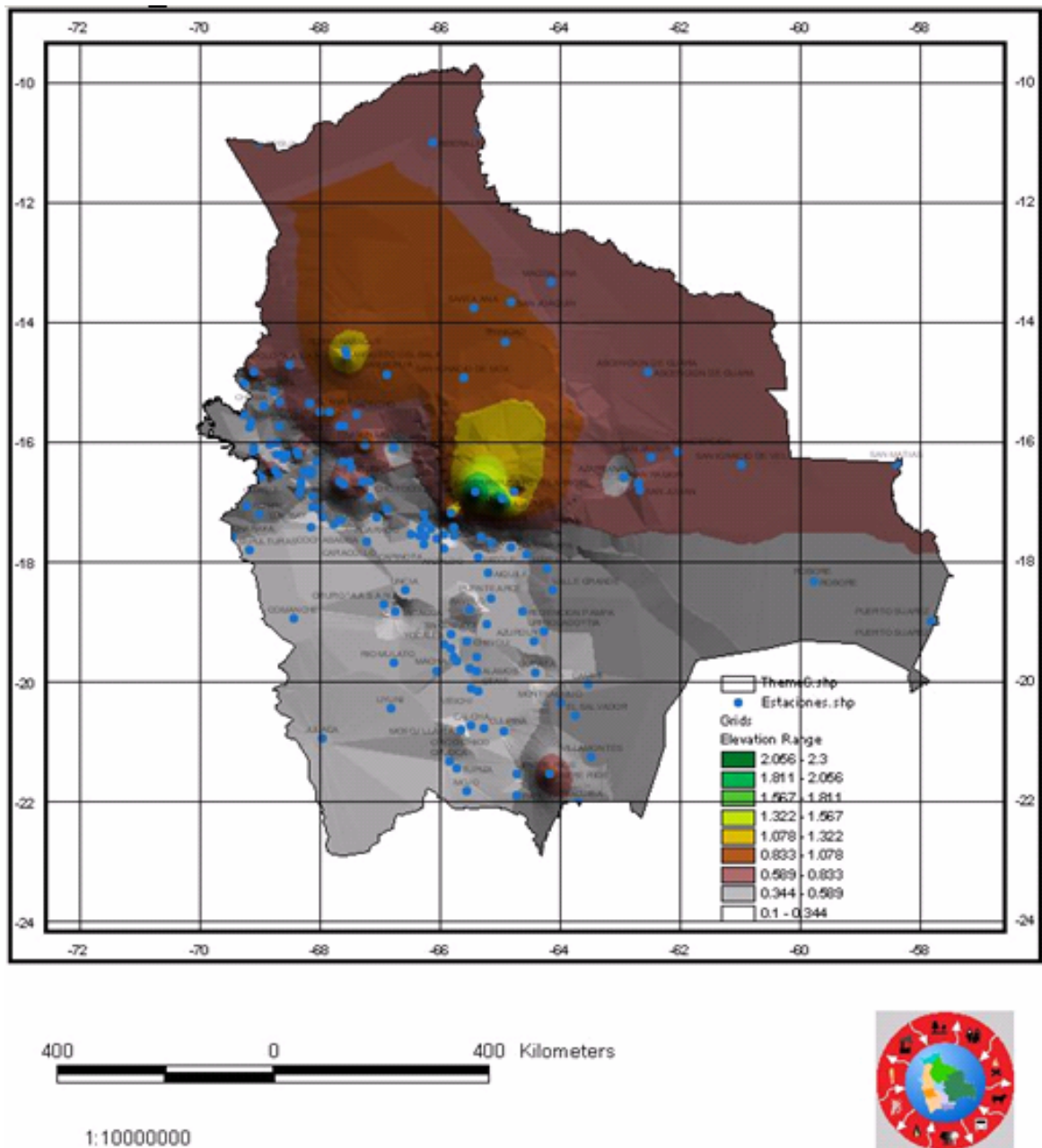
| Zona | Incremento de Temperatura | Variación de la precipitación |
|----------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| Occidental y Chaco | 1.5 ° C | -15 % |
| Tierras bajas y amazónicas | 1.5 ° C | +15% |

3. Los valores encontrados fueron graficados en un entorno Arc View con lo que se obtuvo 3 mapas descriptivos. En la Mapa 6 se presentan los Índices de Aridez bajo condiciones actuales codificadas como el promedio histórico de las estaciones seleccionadas. En la Figura 7 se presentan los Índices de

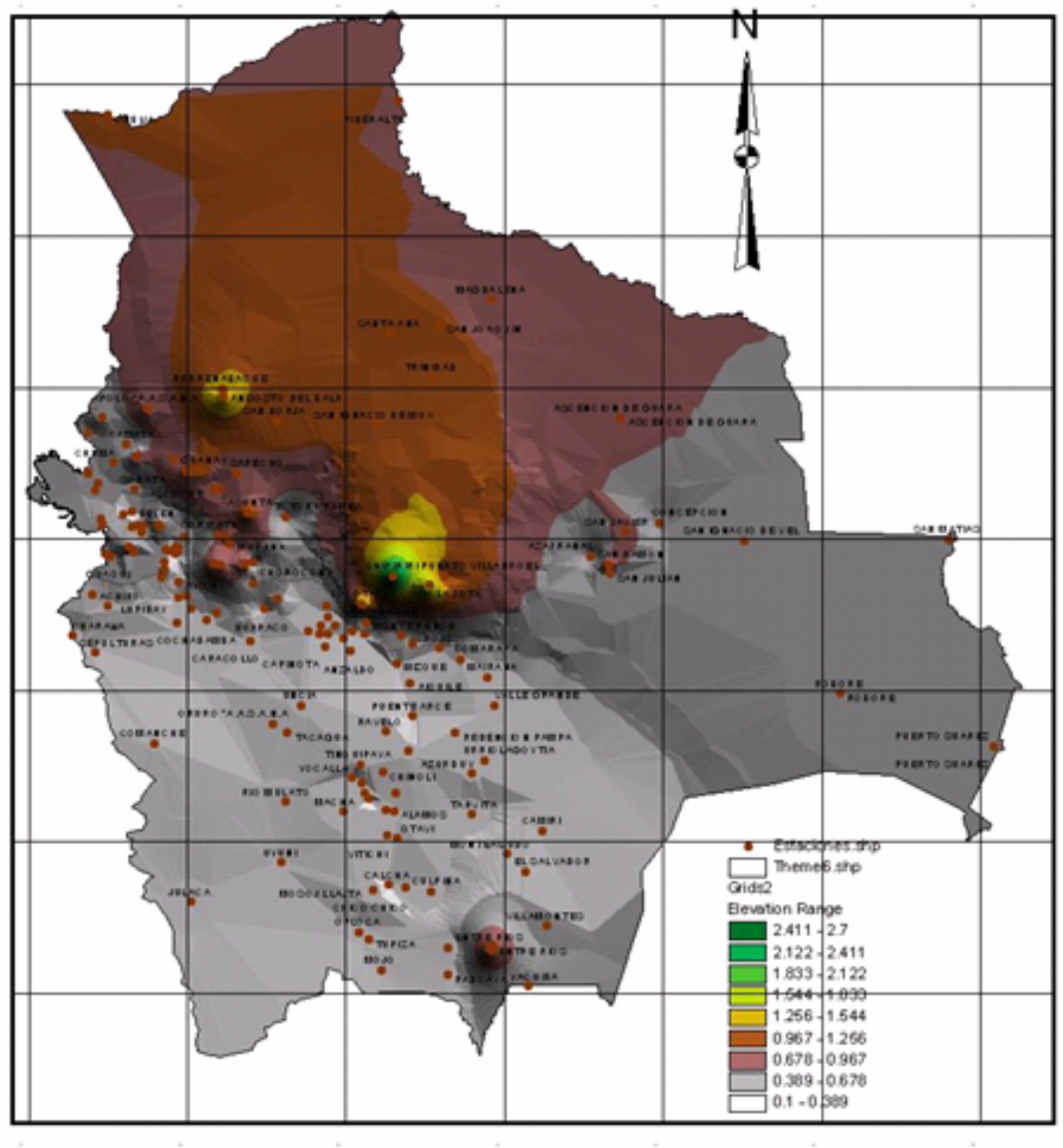
Aridez bajo condiciones de incremento de temperatura, asumiendo la precipitación sin cambio. Finalmente la Figura 8 presenta el cómputo de los Índices de Aridez asumiendo los escenarios de cambio tanto de precipitación como de temperatura como indica el Cuadro 12.



Mapa 6. Índices de aridez para Bolivia bajo condiciones climáticas actuales. (Cuanto más bajo el valor mayor es la aridez presentada por la zona evaluada)



Mapa 7. Índices de aridez para Bolivia bajo condiciones de escenario de elevación de 1.5 ° C de temperatura para todo el territorio. (Cuanto mas bajo el valor mayor es la aridez presentada por la zona evaluada)



Mapa 8. Índices de aridez para Bolivia bajo condiciones de escenario de elevación de 1.5 °C de temperatura e incremento de 15 % de precipitación para los llanos y reducción del 15 % de precipitación para valles y altiplano. (Cuanto más bajo el valor, mayor es la aridez presentada por la zona evaluada)

Los Mapas 6 a 8 muestran que una elevación de temperatura de 1.5 °C bajo las mismas condiciones de precipitación, no producirá fuertes variaciones en la aridez del país aunque algunas zonas del norte del país especialmente la cercana a la amazonía podría incrementar su aridez, posiblemente durante el invierno. Esto significa que el incremento de la temperatura por si solo no producirá un fuerte efecto sobre las condiciones actuales. Sin embargo la combinación del descenso de la precipitación con el incremento de la temperatura produce una notoria expansión de las zonas áridas del país especialmente concerniente a las zonas montañosas y chaqueñas. En las zonas en que se asume la elevación de la precipitación, esta compensa la elevación de la temperatura notándose que las áreas de bosque y sabana amazónica no cambian perceptiblemente su aridez. Es remarcable la aridez prevista para el chaco la cual al presente ya está mostrando signos de severidad en invierno y podría profundizarse fuertemente.

Comparando los Mapas 6 y 8, se observa que condiciones climáticas bajo el escenario IS92 a en gran parte de las áreas agrícolas incrementa su aridez, este hecho acelera procesos de desertificación de suelos; sumados a las malas prácticas de manejo la degradación se hace más intensa. La elevación de las temperaturas en las zonas agrícolas incrementa la demanda de agua, incrementando la competencia por el recurso, que en escenarios de observación sistemática actual presentan déficit. La producción ganadera situada en el sector del Altiplano que depende fuertemente de los bofedales resultantes del deshielo de los glaciares, se reducirá la disponibilidad alimentación por la reducción de aporte de agua durante la época seca.

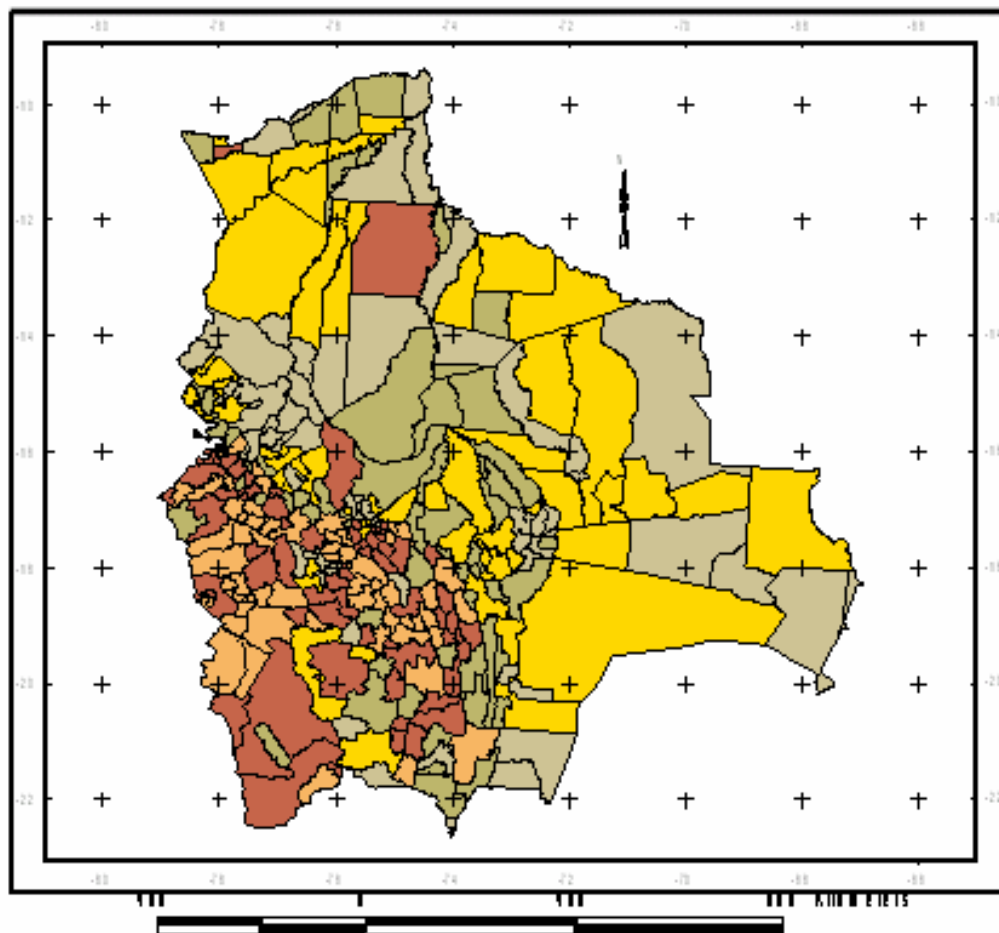
Contrariamente las tierras bajas no presentan riesgos de aridez a pesar de las elevaciones de la temperatura, esta es mayormente influenciada por fenómenos asociados a la variabilidad climática y cambios en la circulación general por eventos extremos de carácter global. Sin embargo, las áreas situadas en el sureste, muestran que podrían estar en riesgo si no se consideran algunas medidas de adaptación pues la precipitación incrementada no es suficiente para compensar la elevación de la temperatura y su aridez incrementa. También es necesario considerar que este análisis no incluye la fuerte estacionalidad de la precipitación, típica del país. Por esta estacionalidad, durante el invierno se puede esperar que la elevación de temperatura influya negativamente en la disponibilidad de alimento para el ganado en estas zonas como muestra la Mapa 5. Otro de los problemas en los cambios en el ciclo hidrológico (comunicaciones verbales de los agricultores y técnicos) y concentración de la precipitación en eventos extremos, la vulnerabilidad de la producción agropecuaria para las zonas bajas del país estaría descrita principalmente por la falta de alimento para el ganado y falta de agua para riego durante la época seca y posible incremento de enfermedades infecciosas transmitidas por vectores y anegamientos durante la época húmeda.

La Vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria, determinada por el Programa Mundial de Alimentos PMA (2002), ha zonificado el país en función a esta vulnerabilidad y por Municipios. Estos trabajos han integrado variables de riesgo climático (heladas, sequías, granizadas, inundaciones) con variables socioeconómicas y productivas (índice de hacinamiento, acceso caminero, etc). El

resultado de la cartografía de la inseguridad alimentaria se presenta en el Mapa 9.

Los Mapas 7 y 8, muestran que los Municipios con mayor vulnerabilidad se concentran en el sector sudoeste del país, el cual precisamente es también el sector que presenta mayor cambio y Aridez por efecto del cambio climático. Esta integración de información muestra que la vulnerabilidad actual de estos Municipios se volverá extrema, requiriendo de acciones urgentes

de adaptación y respuesta al cambio climático aunque no deben descuidarse las medidas de adaptación para las zonas restantes.



Mapa 9. Zonificación de la vulnerabilidad integrada a la inseguridad alimentaria de los Municipios de Bolivia (PMA, 2002). La zonificación integra los factores de producción, riesgos climáticos y variables socioeconómicas de los Municipios que afectan a la seguridad alimentaria.

IMPACTOS PRODUCTIVOS ADICIONALES

El cambio climático podría provocar efectos adicionales no relacionados con la Aridez de las zonas. Un impacto directo que se prevé que el cambio climático podría tener sobre la agricultura se refiere a la producción frutícola de zonas interandinas basada en la producción de cultivos de tipo criófilos. En este caso la vulnerabilidad se refiere a la deficiencia en la acumulación de horas frío para la producción, la cual será reducida por el incremento de la temperatura. En mayor o menor grado las especies perennes caducifolias (la mayor proporción de los frutales) tienen un requerimiento de enfriamiento por debajo de su cero vital mínimo de crecimiento, exigencia que si no se satisface, determina comportamientos anómalos tanto fenológicos como fenométricos (rendimiento) al reiniciarse el crecimiento primaveral o para la conclusión del ciclo vegetativo anual.

Con el fin de evaluar lo anterior se llevó adelante un ejercicio piloto para algunas regiones frutícolas del país. La cuantificación del enfriamiento que reciben las plantas se conoce como el número de horas de frío, entendiéndose esto como la sumatoria de horas en que el vegetal está sometido, durante el descanso vegetativo (abril a agosto en el hemisferio Sur), a temperaturas iguales o inferiores a 7° C y superiores a 2° C. Estas son las horas de frío efectivas. Las horas de frío anuales son las horas de frío efectivas que se contabilizan a lo largo del año.

El conocimiento de las horas de frío normalmente acumulables en una localidad o región (de abril a agosto), permite evaluar la viabilidad para el cultivo de las variedades de especies frutales de hoja caduca. Las horas de frío que se suceden en

forma continua, sin alternancia de altas y bajas temperaturas, son mucho más efectivas que cuando ocurren períodos alternados. El mayor peligro desde el punto de vista del cambio climático se refiere a que las altas temperaturas tienden a anular el efecto de las horas de frío. A continuación se describen algunos efectos negativos de la falta de horas frío en estos cultivos:

* *Sobre la floración:* los inviernos con baja acumulación de horas de frío determinan una variación en el comienzo de la floración de los frutales y cuanto mas elevada sea la temperatura durante el período de reposo, mayor es el número de días de la floración afectando a la sincronía de la fructificación.

* *Sobre el fruto:* la caída de yemas florales determina la existencia de menor cantidad de frutos sobre el árbol y como el cuaje o llenado del fruto se produce a través de un período de floración dilatado, es común la existencia de frutos de tamaño y maduración despareja.

* *Sobre la longevidad:* la existencia de menor cantidad de hojas y la falta de descanso determinan la pérdida de vitalidad de las plantas. De este modo, las fases fenológicas se superponen, siendo común observar frutales que durante el invierno presentan ramas en descanso, ramas floreciendo y también ramas con frutos de diferentes tamaños. Todo esto lleva a que el período de vida útil de los árboles sea inferior al que normalmente tienen en lugares con inviernos lo suficientemente fríos.

* *Sobre el rendimiento:* todas las deficiencias señaladas sobre los órganos de la planta y sobre el proceso biológico, confluyen en una disminución del rendimiento final.

Las zonas posiblemente afectadas se encuentran en los valles interandinos de los Departamentos de La Paz, Cochabamba, Potosí, Chuquisaca y Tarija en las áreas que se dedican a la producción de manzana, pera, durazno, ciruelo y damasco entre las más importantes.

Con el fin de evaluar el efecto de la elevación de la temperatura en algunas zonas frutícolas del país, se llevó adelante un cálculo aproximado de horas frío para estas zonas. El cálculo de las horas frío, supone conocer las temperaturas horarias, que es un dato disponible en muy pocas localidades del país. Por esta razón para evaluar la acumulación de horas frío bajo escenario de cambio climático se ha utilizado el método propuesto por Crossa-Raynaud (1981) (Corregido por Sánchez Capuchino) que menciona que las horas - frío se pueden obtener en función de las temperaturas máximas y mínimas diarias:

$$Y = \left[\frac{(7 - t)}{T - t} \right] \times 24 \times 1.5$$

Donde:

- Y = número de horas frío
- T = temperatura máxima diaria
- t = temperatura mínima diaria

En el análisis se realizó una comparación entre la acumulación de horas frío bajo las

condiciones presentes y bajo condiciones de cambio climático. Para ello se calculó la acumulación de horas frío con las temperaturas mínimas y máximas medias históricas de localidades representativas de las zonas productoras de fruta (Chinoli, Culpina, Luribay, Chorocona, Arani, Cochabamba, San Benito y Sucre) y luego evaluando la misma acumulación bajo el escenario de Cambio Climático con el incremento térmico de 1.5°C. Los resultados son presentados en el Cuadro No. 2.3, considerando la acumulación de horas frío bajo las condiciones actuales y bajo un escenario asumido de Cambio Climático con incremento de temperatura. El Cuadro 13 muestra la reducción de acumulación de horas frío. Considerando que los cultivos más sensibles a la falta de horas frío son la manzana, la pera y el durazno, se podría esperar una reducción de sus rendimientos bastante notoria. De acuerdo a estudios similares realizados en Chile (González y Colville, 2004), se establece que el cambio climático de corto plazo que genera el incremento de las temperaturas, alteran no sólo dañando la producción y calidad de la fruta, sino que, propagando enfermedades fungosas, parámetros de mucha relevancia en la producción final de la fruta de exportación.

Cuadro 14. Acumulación de horas frío en estaciones seleccionadas de los valles interandinos entre mayo y agosto

| Estación | Condiciones actuales | Escenario de incremento de 1.5 ° C de temperatura |
|------------|----------------------|---|
| Chinoli | 1495 | 1192 |
| Culpina | 1530 | 1250 |
| Luribay | 520 | 250 |
| Chorocona | 680 | 320 |
| Arani | 695 | 390 |
| Cochabamba | 825 | 480 |
| San Benito | 1260 | 930 |
| Sucre | 750 | 470 |

Las zonas mas vulnerables a la baja acumulación de horas frío son las que al presente se consideran valles templados, los que al producirse un incremento de temperaturas no lograrán acumular suficiente cantidad de horas frío para garantizar la producción. Por el contrario, el incremento de temperatura afectaría en forma levemente favorable a los valles altos que al presente producen frutas con limitaciones de temperatura y en realidad podrían convertirlos en zonas de mejor capacidad para la producción de los cultivos nombrados. Las zonas altas podrían variar su vocación productiva hacia la producción de fruta pues las actuales limitaciones térmicas de temperaturas demasiado bajas que dañan las yemas frutales, se reducirían y se lograría una mejor producción.

EFFECTOS FAVORABLES DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Aunque gran parte de los impactos del cambio climático en Bolivia podrían ser perniciosos para la agricultura, en zonas cuya limitación principal son las bajas temperaturas, el cambio podría traer ciertos efectos favorables. En este caso, la referencia principal se enmarca en la zona

del altiplano y los valles altos del país. Es conocido que estas zonas presentan un elevado riesgo de heladas durante el invierno que limita la producción agrícola. Adicionalmente, durante la época de cultivo, que coincide con el verano y la época de lluvias, las bajas temperaturas determinadas por su altitud provocan que los cultivos presenten periodos productivos bastante largos, que en su fase final coinciden con las primeras heladas. Este efecto se produce debido a que los cultivos requieren acumular cierta cantidad de energía en forma de calor, la que se representa por su “constante térmica” que es la suma de las temperaturas medias ocurridas durante el ciclo productivo. Cuando las temperaturas son bajas, el cultivo demora mas en cumplir con este requerimiento térmico y el ciclo productivo se alarga. En el Altiplano esto se constituye en una fuerte limitante pues los cultivos deben producir antes del inicio de la próxima época de heladas que llega junto con el otoño. Cuando la siembra es tardía los cultivos no logran producir antes de la ocurrencia del siguiente periodo de heladas y la producción disminuye. El Cuadro No. 14 muestra para cuatro localidades del Altiplano, el periodo libre de heladas con un 50 % de probabilidad.

Cuadro 15. Inicio y final de la época de heladas y periodo libre de heladas en 4 estaciones agroclimáticas del altiplano boliviano con un 50 % de probabilidad

| BELÉN | | | VIACHA | | | PATACAMAYA | | | ORURO | | |
|--------------|---------|--------------------------|---------------|---------|--------------------------|-------------------|--------|--------------------------|--------------|-------|--------------------------|
| Inicio | Final | Periodo libre de heladas | Inicio | Final | Periodo libre de heladas | Inicio | Final | Periodo libre de heladas | Inicio | Final | Periodo libre de heladas |
| 10 Abril | 20 Oct. | 160 días | 10 Abril | 10 Oct. | 170 días | 20 Mar. | 20 Oct | 140 días | 20 Mar. | 1 Nov | 130 días |

Fuente: García, 2003

El Cuadro permite apreciar que en el Altiplano el periodo libre de heladas no excede los 170 días observándose incluso periodos más cortos. Con el incremento previsto de temperaturas los cultivos

podrían acumular más rápidamente una suficiente cantidad de unidades calor lo que les permitiría escapar de las primeras heladas otoñales. Con el fin de analizar este efecto, se han calculado la acumulación de

unidades calor (suma de temperaturas medias) desde octubre a marzo para varias estaciones del altiplano boliviano

asumiendo un escenario de cambio climático con incremento de temperatura de 1.5 °C (Cuadro 15).

Cuadro 16. Acumulación de Unidades Calor (UC) para estaciones del altiplano boliviano bajo condiciones actuales y de cambio climático desde octubre hasta marzo.

| ESTACIÓN | UC ACTUALES | UC CON CAMBIO CLIMÁTICO |
|---------------------|-------------|-------------------------|
| Calacoto | 932 | 1202 |
| Collana | 990 | 1260 |
| Copacabana | 940 | 1210 |
| El Alto | 720 | 990 |
| El Belen | 735 | 1005 |
| Huarina | 777 | 1047 |
| Patacamaya | 850 | 1120 |
| Santiago de Machaca | 843 | 1113 |
| Viacha | 895 | 1165 |
| Charaña | 600 | 870 |
| Oruro | 830 | 1100 |
| Tacagua | 850 | 1120 |

Como se podría esperar el incremento en la acumulación de unidades calor es notorio y significativo. Considerando por ejemplo el cultivo de la papa que requiere entre 900 y 1000 unidades calor, la elevación de las temperaturas facilitaría su producción y reduciría el daño por heladas tempranas otoñales. Si por ejemplo, bajo condiciones actuales se siembra a inicios de octubre, el cultivo de la papa en todas las zonas del Altiplano, está concluyendo su ciclo de producción hasta finales de marzo o más. Sin embargo a partir de esta fecha la probabilidad de presencia de heladas tempranas asciende a valores superiores al 50 % haciendo que los cultivos tengan una elevada probabilidad de enfrentar heladas antes de haber concluido exitosamente su ciclo productivo.

Con escenarios de cambio climático este riesgo podría reducir y zonas limitadas al presente se habilitarían para producción de cultivos sensibles a las heladas como la papa dulce. Sin embargo recordando que la siembra depende de la primera lluvia, el

lograr que los agricultores no dependan de la lluvia sino que cuenten con riego para sus actividades iniciales sería de mucho apoyo para aprovechar estos efectos benéficos del cambio climático. Tampoco se debe dejar de lado que un incremento en la temperatura también produce un incremento en las necesidades de agua las cuales deben ser cubiertas por medio de la habilitación de sistemas de distribución de riego de apoyo en la zona. Tampoco se debe olvidar que en la zona, el agua es muy escasa por esta razón se debe analizar cuidadosamente los efectos positivos y negativos del cambio climático y buscar opciones tecnológicas que permitan aprovechar los beneficios y minimizar el efecto de los perjuicios.

CONCLUSIONES

El cambio climático no necesariamente impactaría impactos negativos sobre la agricultura, especialmente en regiones altas de Bolivia. Sin embargo, los resultados también muestran que para aprovechar los

efectos benéficos, se deben apoyar a las actividades de adaptación del sector con tecnología de soporte como ser riego, seguros y cadenas de comercialización adecuadas.

Los efectos benéficos del cambio climático, deben analizarse en el marco de los Planes generales de acción en la lucha contra la erosión y desertificación, manejo de cuencas, etc. La medida de adaptación más importante que se sugiere aquí, es la de apoyo tecnológico y económico a los sistemas productivos de los pequeños agricultores a través de sistemas de uso eficiente de agua, implementación del seguro agrícola, etc.

Se ha identificado que el cambio climático podría forzar a los agricultores a buscar nuevas opciones productivas agrícolas y/o ganaderas las que requerirán de respaldo tecnológico e investigativo.

El calentamiento global futuro esperado, muestra la urgencia de diseñar estrategias mucho más sostenibles y a mayores plazos que las existentes en la política agrícola actual, planificando la protección de los pequeños agricultores, el apoyo a los agricultores orientados a la exportación incluyendo la agricultura ecológica que tiene un valor ambiental y social incremental y el desarrollo de sistemas de seguros a la producción de cultivos básicos para la alimentación de la población boliviana.

Existe una fuerte necesidad de incrementar el conocimiento de los procesos que serán provocados o desencadenados como efecto del cambio climático y se requerirá llevar adelante estudios profundos sobre las posibles medidas de adaptación al cambio climático entre las que se incluyen variaciones en las épocas de cultivo y nuevas opciones productivas. Por otra parte,

en las zonas en las que los escenarios de cambio climático prevén incrementos en la precipitación, se pueden obtener bajas sensibles en los rendimientos, debido al efecto negativo de las inundaciones que inhabilitan grandes áreas de cultivo y a la pérdida de la fertilidad del suelo en zonas de ladera o montaña, lo que amerita considerar sistemas de drenaje y trabajo con agricultores.

Por último, y para profundizar en los resultados aquí presentados, sería necesario llevar adelante estudios mas precisos incluyendo factores importantes en el análisis como ser las tendencias históricas de la producción real relacionadas con la dinámica meteorológica de cada año, las proyecciones de la política agrícola presente (por ejemplo, en las formas de tenencia de la tierra) y la adaptación a los cambios extremos que históricamente han aplicado los productores afectados.

BIBLIOGRAFÍA

- Craut, P, Crossa-Raynaud, 1981. Caracteristiques de la culture et orientations des recherches sur l'abricotier en Tunisie. V international Symposium on apricot culture and decline. Acta Horticultura. 85.
- ENDAR, MACA. 2005. Estrategia Nacional de Desarrollo Agropecuario y Rural. Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios. La Paz, Bolivia.
- Flores D., 2002. Identificación y análisis de cambio y composición de bofedales en la Cordillera Oriental y Altiplano de Bolivia. Tesis de Maestría en Ciencias. Consejo para la Gestión Integral del Agua en Bolivia. Cochabamba, Bolivia.
- FAO. 2003. El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo. Seguimiento de los avances en la consecución de los objetivos de la cumbre mundial sobre

- alimentación y los objetivos de desarrollo del Milenio.
- García, M. 2003. Agroclimatic study and drought resistance analysis for an deficit irrigation strategy of quinoa in the Bolivian Altiplano. Doctoral Thesis. Katholieke Universiteit Leuven.
- González, P. "Comportamiento de las horas-frío, grados-día, heladas y precipitaciones en los agroecosistemas de la Región del Maule durante los eventos El Niño 1997 y la Niña 1998-1999". El Niño- La Niña 1997-2000. Sus efectos en Chile. Editado por Comité Oceanográfico Nacional- Chile. Valparaíso. Impreso por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada. Primera Edición, 2004.
- Intergubernamental Panel on Climate Change, 2001a. Climate Change Scientific bases. IGES, UNEP, Cambridge University.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001b. Climate Change Impact, vulnerability and adaptation. IGES, UNEP, Cambridge University
- MACA, 2004. Estadísticas agropecuarias.
- PMA. 2002. Cartografía de la Inseguridad alimentaria en Bolivia.
- PNCC, 1999. Vulnerabilidad y Adaptación de los Ecosistemas en Bolivia. Ministerio de Desarrollo Sostenible. La Paz, Bolivia.
- SINSAAT, MACA, INE. 2005. Hojas de Balance de alimentos 2002-2003.
- Torrez, R. 2005. Épocas de siembra como estrategia de adaptación al cambio climático del cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*) en el Altiplano Norte. Tesis de grado. Facultad de Agronomía. UMSA. La Paz, Bolivia.
- Torrico. A. 1998. Vulnerabilidad y opciones de adaptación del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) al cambio climático para condiciones de altiplano y valles. Tesis de grado. Facultad de Agronomía. UMSA. La Paz, Bolivia.
- Van Damme, P., 2003. Disponibilidad, Uso y Calidad de los Recursos Hídricos en Bolivia. Consejo para la Gestión Integral del Agua en Bolivia. Cochabamba, Bolivia.

IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMATICO SOBRE LOS RECURSOS HÍDRICOS

INTRODUCCIÓN

Bolivia dispone anualmente de un elevado suministro de agua dulce alcanzando a 50.000 m³/habitante/año (Mattos, 1997). El volumen total de aguas de escorrentía de las tres cuencas del país es abundante e incluso en un futuro cercano podría incrementarse en algunas cuencas, probablemente debido a lo procesos acelerados de derretimiento de los deshielos de los glaciares de la cordillera. Sin embargo esta disponibilidad aparente es distorsionada por la desigualdad distribución espacial del recurso, la falta de tratamiento de aguas para consumo humano, la ineficiencia y mala distribución en los usos tales como el consumo humano y el riego y fundamentalmente por la fuerte concentración de la estación de lluvias en relación al estiaje.

La compleja fisiografía de Bolivia y su posición con relación a la circulación regional atmosférica somete al país periódicamente a sequías o inundaciones de magnitud determinando la mala distribución temporal y espacial del recurso. Por ello, se presentan zonas con muy diferentes regimenes de precipitación a pesar de pertenecer al mismo sistema atmosférico, coexistiendo a corta distancia áreas con precipitación por encima de los 3000 mm por año al mismo tiempo que otras con precipitación por debajo de los 300 mm en latitudes muy similares. La Cordillera de Los Andes constituye una barrera que dificulta el paso de las masas de aire caliente húmedas provenientes de la cuenca amazónica y del atlántico. Este factor determina una zona de ascendencia con elevada precipitación especialmente de tipo orográfico con lluvias casi permanentes, pero de intensidad variable según el tipo de año hidrológico. También determina la

presencia de otra zona de tierras bajas con precipitación concentrada en los periodos en que el país recibe la influencia de la Zona de Convergencia InterTropical (ZCIT) y una zona árida o sub-árida al otro lado de la cordillera que recibe una baja cantidad de agua, que es la que logra sobrepasar la cordillera, sumada a la poca generación de humedad local.

Eventos hidrometeorológicos extremos son frecuentes y tienden a incrementarse en magnitud e intensidad por el impacto del cambio climático. El IPCC (2001a) prevé mayor frecuencia e intensidad de los eventos extremos debido al calentamiento global. A nivel del país se ha acentuado la ocurrencia de tormentas tropicales en los últimos años, con vientos superiores a los 28 m/s según la escala Beaufort, con importantes daños, no observados en registros históricos de periodos largos en las regiones de Santa Cruz, Yungas de La Paz y Tarija. También se ha observado la presencia de movimientos convectivos violentos con granizo de magnitud como las registradas en la ciudad de La Paz en febrero de 2002 y 2003.

Los cambios del clima no se expresarán solamente en la intensidad de los eventos meteorológicos extremos, sino que también podrían exacerbar la escasez periódica y crónica de agua durante los periodos de estiaje en la zona baja y en los valles áridos y semiáridos del país y reducir la disponibilidad de agua en las zonas de ascendencia orográfica. El limitado desarrollo productivo y ambiental del país incrementa la vulnerabilidad al cambio climático, ya que muchas áreas productivas y urbanas están situadas en zonas áridas o semiáridas y la población, la misma que en su mayoría, obtiene el agua de puntos de

abastecimiento únicos como pozos o ríos. Estos sistemas de suministro son, por naturaleza, vulnerables, ya que carecen de reservas alternativas en caso de necesidad. Además, dada la escasez de recursos técnicos, financieros y de gestión, acomodarse a las situaciones de escasez y/o implementar medidas de emergencia sin planificación constituye una pesada carga para la economía nacional y es casi imposible para las economías locales.

Por otra parte, hay indicadores de mayor frecuencia de inundaciones en las zonas bajas, incrementando las necesidades de adaptación no sólo a las sequías y a la escasez crónica de agua, sino también a intensas precipitaciones que ocasionan inundaciones con daños significativos a la infraestructura. Estas emergencias ocurrirían con presencia de mazamoras, relaves, riadas, a lo que se suma la creciente vulnerabilidad por la falta de recursos y problemas relacionados con los asentamientos mal planificados.

Todos estos impactos coinciden con la evaluación científica a nivel mundial, que muestra escenarios regionales con reducción de los periodos de lluvias pero

con incremento sustancial de la probabilidad de presencia de precipitaciones intensas en corto tiempo. En este sentido el país todavía no cuenta con sistemas que permitan estudiar estos aspectos a través de sistemas de alerta temprana y desafortunadamente también se percibe un incremento en la vulnerabilidad de las poblaciones por los asentamientos no planificados. Gran parte de de las cuencas en el país no cuentan con un manejo integral, que incorpore actividades orientadas a la protección de la cuenca, y que articule los diversos tipos de aprovechamiento de los recursos naturales. Esto se traduce en la degradación biofísica de los suelos, disminución de la recarga de los acuíferos, reducida disponibilidad de agua, elevando los índices de pobreza, generando conflictos sociales y reducción la productividad e ingresos económicos de los habitantes de estas cuencas.

El impacto de la disponibilidad variable de los recursos hídricos en Bolivia es transversal afectando a diversos sectores productivos del país. Por ejemplo el retroceso de los glaciares documentado por Ramírez *et al* (2005), podría provocar los múltiples efectos mostrados en la Figura 16.



Figura 16. Impacto del retroceso de los glaciares y sus connotaciones en los sectores sociales y económicos.

La directa evaluación del impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos es compleja dada su directa dependencia de la precipitación que a su vez es extremadamente variable en tiempo y espacio. Aunque los niveles de confianza en las estimaciones del incremento de la temperatura futura debido al cambio climático son elevados, dada la complejidad de la dinámica de la circulación general atmosférica global, los niveles de incertidumbres todavía son altos en la predicción de la magnitud del cambio en la precipitación de la que no se conoce con

certeza si se incrementará o por el contrario se reducirá.

A pesar de lo anterior, es razonable predecir que las zonas áridas al presente, conservarán e incluso intensificarán esta característica, mientras que muchas de las zonas húmedas elevarán sus tasas de precipitación en función de su ubicación geográfica y su compleja fisiográfica. El Cuadro 16, refleja algunos ejemplos de impactos que podrían ocurrir en el país, si se utiliza la experiencia de años de eventos extremos en Bolivia.

Cuadro 17. Impactos esperados por regiones debido al cambio climático

| REGION | ESCENARIOS DE CAMBIOS | IMPACTOS ESPERADOS |
|---------------------|--|--|
| Altiplano | Mayor concentración de la precipitación Mayor frecuencia de tormentas con menor número de días con lluvia Mayor frecuencia de granizo Reducciones en los caudales de los ríos | Mayor presencia de heladas Incremento de las necesidades de agua para riego por los largos periodos sin lluvia Problemas con la generación de energía Retroceso de los glaciares Destrucción de cultivos Inundaciones en época de lluvias Poca disponibilidad de agua para consumo humano y animal Poca recarga en los acuíferos, bofedales y otros similares Competencia por el uso de agua |
| Valles interandinos | Mayor concentración de la precipitación Mayor frecuencia de tormentas con menor número de días con lluvia Mayor frecuencia de granizo | Competencia por el uso de agua Pérdida de la biodiversidad Incremento de las necesidades de agua para riego por los largos periodos sin lluvia Riesgos incrementados de deslaves, mazamoras y otros relacionados Problemas con la generación de energía Erosión y desertificación de suelos |
| Chaco | Reducción del número de días con lluvia Incremento de periodos sin lluvia durante la época de cultivo Sequías recurrentes e intensas Bajos caudales en los ríos | Competencia por el uso de agua Pérdida de la biodiversidad Eventos de olas de calor durante el verano Erosión y desertificación de suelos Mayor contaminación de las fuentes de agua |
| Llanos y amazonía | Incremento en la cantidad de lluvia recibida por evento Mayor tasa de nubosidad Elevada humedad atmosférica en verano y fuertes sequías en invierno | Inundaciones frecuentes Pérdida de infraestructura vial Pérdida de cultivos de invierno y muerte de ganado por falta de agua Mayor presencia de plagas y enfermedades debido a la elevada humedad. Reducción de la biodiversidad Brotos de enfermedades infecciosas relacionadas con el agua. |

Fuente: Elaboración propia en base a eventos pasados

Los resultados del Tercer Reporte de Evaluación Científica del IPCC, (2001b) la elevación de temperatura media de la superficie terrestre durante el siglo XX ha sido de $0.6^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ este comportamiento tuvo lugar en dos periodos de 1910 a 1945 y de 1976 a 2000. Mundialmente, es muy probable que la década de los noventa, haya sido el decenio más cálido y 1998 el año más cálido registrado instrumentalmente desde 1861. Estos incrementos tienen fuertes influencias en el ciclo hidrológico global y mucho más sobre la frágil situación hidrológica de Bolivia. Un evento que podría mostrar la influencia de un cambio climático en Bolivia es el impacto del fenómeno del Niño en el país. Muestra las diferencias de precipitación en algunas estaciones meteorológicas del altiplano bajo condiciones normales y durante el evento Niño de 1982-1983. Por otra parte, las anomalías de precipitación durante años hidrológicos extremos son muy heterogéneas como lo demuestra la Figura No. 3.3 que presenta la variación en la precipitación recibida respecto a la media, durante el fenómeno del Niño en 1982-1983. La Figura permite apreciar que incluso algunas zonas situadas en tierras bajas fuertemente influenciadas por los vientos del este atravesaron por periodos de menor precipitación a la normal. Como era de esperarse, las zonas cercanas a la zona de ascendencia, recibieron mayor precipitación debido precisamente a esta característica.

Los resultados de estudios, reuniones y talleres a nivel global y nacional, existe consenso en identificar al sector de los recursos hídricos como uno de los más vulnerables al cambio climático. Como efecto de los eventos extremos tanto cuando ocurre un déficit o se presenta en exceso; el agua determina la posibilidad productiva y de supervivencia de la población. El agua

por naturaleza tiene una elevada sensibilidad a las variaciones climáticas pues casi todos los componentes del ciclo hidrológico están en función de las variables climáticas y las acciones de adaptación que podrían plantearse para mejorar la gestión de este recurso influirían directamente sobre sectores relacionados y dependientes como la agricultura, salud, ecosistemas, turismo, etc.

RESULTADOS DE OTROS ESTUDIOS

Estudios llevados adelante por el Programa Nacional de Cambio Climáticos (PNCC) y el Instituto de Hidráulica e Hidrología de la UMSA, demuestran la vulnerabilidad del recurso. En dos cuencas sobrecargadas por la presión urbana de grandes ciudades como son la cuenca del río Choqueyapu y la del río Piraí, en las ciudades de La Paz y Santa Cruz respectivamente, se encontró que el aumento de la precipitación traería consigo lógicamente también un aumento del escurrimiento. Sin embargo también se determinó que los niveles de escurrimiento en ambas cuencas son más sensibles a las variaciones de precipitación que a las de temperatura lo que muestra que la evapotranspiración no sería severamente incrementada. Un hecho preocupante descrito en estos estudios es que en los periodos de bajos caudales, ya sea por ser época de estiaje o por periodos de baja precipitación anómala, un evento de elevada precipitación, provoca una sensibilidad mucho más alta que cuando los caudales son normales o elevados. Esto último significa que en estos periodos relativamente secos, una tormenta de elevada magnitud no contaría con el poder de amortiguación de los caudales base normal de los ríos. La elevada precipitación ocasionaría entonces fuertes picos de caudal y turbiones cuyos efectos podrían ser muy destructivos.

Asumiendo escenarios de incremento de precipitación y temperatura, el escurrimiento en la cuenca del río Pirai (húmedo) muestra cambios significativos con un incremento en la precipitación, con respecto a la cuenca del río La Paz (árido), básicamente porque la situación actual muestra niveles de lluvia reducidos en La Paz con relación a la cuenca del Pirai. Los resultados del estudio también sugieren probables incrementos en la disponibilidad de agua en ámbitos urbanos, tanto en regiones áridas como en los llanos durante los periodos de lluvias. Sin embargo esta disponibilidad sería muy limitada en la época de estiaje.

Los resultados mostraron que la cuenca del río La Paz y otras del altiplano son susceptibles a conflictos entre oferta y demanda de agua, así como a agudizar los impactos de lluvias cortas y de gran magnitud especialmente en lo relacionado a la erosión. En la cuenca del río Pirai y gran parte de los Llanos, existe tendencia de que se incremente la probabilidad de inundaciones.

Otro estudio que deberá ser considerado para el análisis hidrológico es el cambio de uso de suelo (chaqueos) e incendios forestales no solo son perjudiciales por la emisión de Gases de Efecto Invernadero a la atmósfera, sino que también le aportan una elevada cantidad de aerosoles que inciden sobre la formación de precipitación (Araujo y Sherwood, 2004). Los aerosoles afectan a la formación de nubes cúmulo nimbus, responsables de grandes tormentas.

El incremento de los aerosoles por acción de los incendios forestales reduce el tamaño de los cristales de hielo en las nubes de tormenta. Unas dimensiones demasiado pequeñas de los cristales de hielo, provocan que en vez de caer en forma de lluvia, el

agua en estado sólido pase al estado gaseoso antes de caer en la superficie.

Esto tiene varios efectos: por un lado, las nubes son más brillantes, lo que incide en la radiación, y por otro, no se produce la precipitación. Es decir, está nublado todo el tiempo, pero no llueve. Y si no llueve, los aerosoles no se limpian, se mantienen en la atmósfera y se trasladan. Aunque es más difícil que se produzca la precipitación, si finalmente se produce es más violenta. Su efecto es sensible no solamente en las zonas donde se produce las quemadas sino aquellas a donde son trasladados los aerosoles. En el caso de Bolivia las quemadas producidas en los llanos y tierras bajas podrían estar afectando fuertemente al régimen pluviométrico tanto de las propias áreas de quemada como del Altiplano y Valles pues la Circulación General de la Atmósfera trasladaría los aerosoles hasta estas zonas. La precipitación, por tanto, podría verse reducida en todo el territorio boliviano y afectar directamente al ciclo hidrológico.

Araujo y Sherwood (2004) reportan que en zonas donde se producen quemadas intencionadas, como en Bolivia, los aerosoles producidos reducirían el diámetro de los cristales de hielo en las nubes hasta en un 20 por ciento lo cual podría reducir la lluvia hasta en un 10 % en las áreas afectadas.

VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO

La naturaleza de cambios en los patrones regionales de precipitación, así como la complejidad de los ecosistemas naturales, limita la capacidad de proyectar cambios hidrológicos en la escala de la línea divisoria de las aguas. Sin embargo, es razonable generalizar que, para casi todo el país, el cambio climático dará lugar probablemente a caudales base reducidos en

invierno y a flujos más altos en verano generalmente relacionados con picos debidos a las tormentas. Esto será particularmente válido para los sistemas hidrológicos que dependen del deshielo de los glaciares en los que se puede asumir que su retroceso provocará una disminución en los flujos bases de los ríos.

Bajo las condiciones actuales Matos y Crespo (2000), menciona que con base en la evaluación de los rendimientos hídricos de las 3 unidades hidrográficas más importantes del territorio nacional, se ha definido que la oferta hídrica total supera los dos mil kilómetros cúbicos al año correspondientes a aproximadamente 50.000 metros cúbicos anuales por habitante. Los antecedentes para dicho estudio fueron las condiciones generales del balance hídrico nacional, evaluando la vulnerabilidad por disponibilidad de agua que considera la capacidad de regulación hídrica del conjunto suelo-cobertura vegetal, las presiones por la calidad del agua y la relación demanda-oferta para condiciones de distribución mensual de la oferta para año medio y año seco.

En general, sobre el conjunto de las cuencas de Bolivia, la precipitación media ha sido estimada en 1,419 mm/año (Matos, 1997; Van Damme, 2004). Sin embargo, las tres grandes cuencas del país muestran importantes diferencias en cuanto a su pluviosidad media. La cuenca amazónica recibe 1,814 mm/año, mientras que la del Río de La Plata no se beneficia más que de 854 mm/año. El Altiplano, en la totalidad de su superficie endorreica, con 421 mm/año, es aún menos favorecido que las anteriores dos. Estos datos muestran que la cuenca amazónica tiene el doble de precipitación que la del Río de La Plata y cuatro veces más que la del Altiplano (Balance Hídrico de Bolivia, 1990).

En base a la anterior información, se concluye que la disponibilidad de agua se encuentra restringida principalmente en las cuencas del Plata y Endorreica y en menor magnitud en la cuenca amazónica, por la concentración de la precipitación en solo una época del año. Esto significa que en los meses de escasez se hace necesario el almacenamiento del recurso para su utilización, especialmente para uso doméstico e industrial. En el caso de la agricultura, la mayoría de los cultivos son de secano precisamente por la baja disponibilidad de agua. Por lo tanto, no es raro observar que las principales demandas por infraestructura productiva estén orientadas a sistemas de riego y que el factor riesgo sea fundamental a la hora de escoger el tipo de cultivo.

En el presente documento se describe la situación de la demanda de agua en Bolivia, analizada bajo escenarios de cambio climático basado en los estudios de análisis de la situación del agua en Bolivia, (Matos, 1997 y Van Damme, 2003) y los resultados presentados en el Balance Hídrico General de Bolivia (Roche et al., 1992).

Balance Hidrológico por cuenca

Para el estudio, se realizó, una comparación del balance de agua al presente y el mismo bajo un escenario de cambio climático. En el primer caso, la oferta de agua se calculó en base a las precipitaciones promedio totales por cuenca multiplicada por el área promedio de las tres cuencas más importantes del país determinada en base al trabajo de Matos (1997). La evapotranspiración real fue calculada por medio de la ecuación de Turc:

$$ETr = \frac{P}{\left(0,9 + \frac{P^2}{(L(t))^2}\right)^{0,5}}$$

Donde:

- P = Precipitación (mm)
L(t) = 300 + 25 t + 0,025 t³
T = Temperatura media en C

La demanda, se calculó a través de la estimación del consumo de agua por habitante, utilizando la información existente del último Censo Nacional de Población disponible en el INE. El Cuadro 18, muestra la población por departamentos en las zonas urbanas y rurales, así como el consumo estimado de agua al presente. Se

asume que en las zonas urbanas el consumo de agua es de 120 l/hab./día, mientras que en las zonas rurales el consumo de agua es levemente inferior definiendo su valor en 100 l/hab./día. Para el cálculo de la demanda se asume que del total de agua consumida, un 10 %, es usada para consumo humano y el restante 90 % principalmente para riego y consumo industrial (Van Damme, 2003). De esta manera la demanda total de agua se calcula por:

$$\text{Demanda Total de Agua} = \text{Consumo doméstico de agua} / 0.1$$

Cuadro 18. Población de Bolivia diferenciada por departamentos y por áreas urbanas y rurales y consumo de agua correspondiente bajo condiciones actuales.

| DEPARTAMENTO | POBLACIÓN TOTAL (habitantes) | | | Consumo de agua (miles de m ³) | | |
|--------------|---------------------------------|------------------|------------------|--|-------------------|-------------------|
| | Total | Área Urbana | Área Rural | Total | Área Urbana | Área Rural |
| TOTAL | 8.274.325 | 5.165.230 | 3.109.095 | 339.719,04 | 226.237,07 | 113.481,97 |
| Chuquisaca | 531.522 | 218.126 | 313.396 | 20.992,87 | 9.553,92 | 11.438,95 |
| La Paz | 2.350.466 | 1.552.146 | 798.320 | 97.122,67 | 67.983,99 | 29.138,68 |
| Cochabamba | 1.455.711 | 856.409 | 599.302 | 59.385,24 | 37.510,71 | 21.874,52 |
| Oruro | 391.870 | 236.110 | 155.760 | 16.026,86 | 10.341,62 | 5.685,24 |
| Potosí | 709.013 | 239.083 | 469.930 | 27.624,28 | 10.471,84 | 17.152,45 |
| Tarija | 391.226 | 247.736 | 143.490 | 16.088,22 | 10.850,84 | 5.237,39 |
| Santa Cruz | 2.029.471 | 1.545.648 | 483.823 | 85.358,92 | 67.699,38 | 17.659,54 |
| Beni | 362.521 | 249.152 | 113.369 | 15.050,83 | 10.912,86 | 4.137,97 |
| Pando | 52.525 | 20.820 | 31.705 | 2.069,15 | 911,92 | 1.157,23 |

Fuente: Elaboración propia basado en datos INE (2004).

Los departamentos de La Paz, Santa Cruz, Beni, Pando y Cochabamba, utilizan las aguas provenientes de la cuenca amazónica UDAPE (2005). En el caso de la Cuenca del Plata, son los departamentos de Chuquisaca, Tarija y Potosí los que aprovechan sus recursos hídricos por lo

tanto su demanda fue calculada para esta población y finalmente el agua de la cuenca endorreica es utilizada por las poblaciones de los departamentos de Oruro y Potosí. En este contexto en el Cuadro 19 se presenta el consumo humano anual estimado así como el consumo total de agua por macro-cuenca.

Cuadro 19. Consumo humano y total estimado por cuencas bajo condiciones actuales

| Detalle | Cuencas | | |
|---|-----------|------------|-----------|
| | Amazónica | Endorreica | Del Plata |
| Consumo humano anual estimado de agua (millones de m ³) | 161,8 | 113,1 | 64,7 |
| Consumo total anual (millones de m ³) | 1618,6 | 1131,4 | 647,0 |

Fuente: Van Damme, 2003

El Cuadro 20 muestra la comparación entre la precipitación recibida por cuencas y la demanda estimada por las mismas, para mostrar el déficit en caso de existir.

Cuadro 20. Balance de agua en las principales cuencas de Bolivia bajo condiciones actuales

| Cuenca | Área (Km ²) | Precipitación (10 ⁶ m ³) | ETr (10 ⁶ m ³) | Uso de agua (10 ⁶ m ³) | Déficit (10 ⁶ m ³) |
|-----------------|-------------------------|---|---------------------------------------|---|---|
| Amazonas | 818.810 | 1.477.106 | 942.668 | 1.619 | -532.819 |
| Río de la Plata | 234.648 | 200.387 | 152.914 | 1.131 | -46.342 |
| Endorreica | 191.293 | 80.494 | 71.289 | 647 | -8.558 |

Fuente: Elaboración propia en base al Balance Hídrico Superficial y a Matos (2002)

Similar análisis fue realizado para la proyección de la demanda incluyendo escenarios de cambio climático insertados por medio del cambio en la precipitación y la temperatura. Basado en la variabilidad interanual de las anomalías climáticas registradas en el últimos tiempo las elevaciones de las precipitaciones en las regiones sur del país integrando las regiones del chaco, altiplano sur. Contrariamente los comportamientos en las regiones de la Amazonía con excesos de precipitación, los valores inferiores a 15% son considerados normales en una variación

interanual del clima es en este sentido, se asumió que en la cuenca amazónica se producirá un incremento del 15 % de precipitación y en las otras dos cuencas se produciría un descenso del 15 % de la precipitación, dada su ubicación fisiográfica. La temperatura fue considerada con un incremento de 1.5 °C en todo el país resultado de los modelos de circulación general.

La demanda, se estimó considerando la proyección de la población para el año 2050 como la presenta el INE (2005).

Cuadro 21. Proyección de la población en Bolivia para el año 2050 y consumo humano de agua correspondiente.

| DEPARTAMENTO | POBLACIÓN TOTAL (habitantes) | | | Consumo de agua (miles de m ³) | | |
|--------------|------------------------------|-------------------|------------------|--|-----------------------|-----------------------|
| | Total | Área Urbana | Área Rural | Total | Área Urbana | Área Rural |
| TOTAL | 16.734.335,00 | 12.550.751 | 4.183.584 | 702.423.711,63 | 549.722.904,75 | 152.700.806,88 |
| Chuquisaca | 1.074.972 | 806.229 | 268.743 | 45.121,95 | 35.312,83 | 9.809,12 |
| La Paz | 4.753.679 | 3.565.259 | 1.188.420 | 199.535,68 | 156.158,36 | 43.377,32 |
| Cochabamba | 2.944.089 | 2.208.067 | 736.022 | 123.578,17 | 96.713,35 | 26.864,82 |
| Oruro | 792.534,00 | 594.400 | 198.134 | 33.266,61 | 26.034,74 | 7.231,87 |
| Potosí | 1.433.937 | 1.075.453 | 358.484 | 60.189,51 | 47.104,83 | 13.084,68 |
| Tarija | 791.232 | 593.424 | 197.808 | 33.211,94 | 25.991,96 | 7.219,99 |
| Santa Cruz | 4.104.486 | 3.078.364 | 1.026.122 | 172.285,78 | 134.832,35 | 37.453,43 |
| Beni | 733.177 | 549.883 | 183.294 | 30.775,12 | 24.084,88 | 6.690,24 |
| Pando | 106.229 | 79.672 | 26.557 | 4.458,95 | 3.489,61 | 969,34 |

Cuadro 22. Consumo humano y total estimado por cuencas bajo condiciones de cambio climático

| Detalle | Amazónica | Endorreica | Del Plata |
|---|-----------|------------|-----------|
| Consumo humano anual estimado de agua (millones de m ³) | 331,0 | 232,8 | 138,5 |
| Consumo total anual (millones de m ³) | 3310,9 | 2328,0 | 1385,2 |

Bajo tendencias de una tasa migratoria constante hasta el año 2050, se estima que aproximadamente el 75 % de la población boliviana se encontrará en las zonas urbanas y solo el 25 % en las áreas rurales. Para la proyección se consideró que el consumo de agua por habitante es similar al actual y la proporción de uso de agua también será la misma, es decir 10 % de uso de agua para consumo humano y el restante 90 % para riego e industrias, pues un incremento de población provocará un correspondiente incremento en los requerimientos de producción agrícola que

requerirá agua para riego. El Cuadro 21 presenta los valores estimados de población y de consumo humano de agua para el año 2050.

Correspondientemente, el Cuadro 22 presenta el consumo humano estimado de agua y el consumo total estimado para el año 2050 y el Cuadro 23 muestra la comparación entre la precipitación recibida por cuencas y la demanda estimada por las mismas incluyendo escenarios de cambio climático.

Cuadro 23. Balance anual de agua en las principales cuencas de Bolivia bajo escenario de cambio climático.

| Cuenca | Área (Km ²) | Precipitación (10 ⁶ m ³) | ETR (10 ⁶ m ³) | Uso de agua (10 ⁶ m ³) | Déficit (10 ⁶ m ³) |
|-----------------|-------------------------|---|---------------------------------------|---|---|
| Amazonas | 818.810 | 1.708.119 | 1.031.236 | 3.311 | -676.221 |
| Río de la Plata | 234.648 | 170.330 | 146.460 | 2.328 | -21.542 |
| Endorreica | 191.293 | 68.454 | 64.643 | 1.385 | -2.426 |

Fuente: Reich., et al, 1998

La información de los Cuadros 19 y 20 muestra que bajo un análisis anual no se presenta déficit de agua en ninguna de las grandes cuencas del país (déficit negativo), incluso considerando un escenario de cambio climático. Sin embargo, estos resultados enmascaran restricciones que deben ser analizadas apropiadamente, pues la información refleja el análisis en forma global para los promedios históricos de información de precipitación anual.

Con el fin de discretizar la información obtenida, se realizó nuevamente el análisis para escenarios de cambio climático, añadiendo la consideración de que

aproximadamente el 90 % de la precipitación en casi todo el territorio boliviano se concentra entre los meses de Octubre a Marzo, mientras que la demanda de agua de evaporación a la atmósfera y el consumo humano de agua y el requerimiento de riego, ocurren en forma permanente y más aún durante el invierno cuando la precipitación es cercana a cero, pues la elevada radiación solar y baja humedad atmosférica incrementan los requerimientos hídricos. El Cuadro 24, presenta los resultados del cálculo del balance hídrico por cuencas bajo un escenario de cambio climático, durante la época de estiaje.

Cuadro 24. Balance hídrico por cuencas bajo un escenario de cambio climático durante la época de estiaje.

| Cuenca | Área (Km ²) | Precipitación (10 ⁶ m ³) | ETR (10 ⁶ m ³) | Uso de agua (10 ⁶ m ³) | Déficit (10 ⁶ m ³) |
|-----------------|-------------------------|---|---------------------------------------|---|---|
| Amazonas | 818.810 | 170.811 | 169.810 | 1.655 | 654 |
| Río de la Plata | 234.648 | 17.033 | 16.550 | 1.164 | 681 |
| Endorreica | 191.293 | 6.845 | 6.845 | 692,5 | 692,5 |

Fuente: Reich., et al, 1998

De acuerdo a estos resultados (Cuadro 24), la baja precipitación y los regímenes de temperatura, incrementan las pérdidas por evapotranspiración, produciendo baja disponibilidad del recurso. Por tanto en meses secos se presentarían elevados déficit de agua, los que deberán ser compensados con otras fuentes. Al presente este déficit es cubierto con tomas de agua de ríos de cauce permanente provenientes de los deshielos, los que bajo un eventual cambio climático sostenido podría disminuir sustancialmente sus caudales o hasta desaparecer, por la elevación de la temperatura que está provocando un acelerado proceso de retracción de los glaciares.

Por otra parte, aunque los regímenes de precipitación en periodos lluviosos no muestren déficit significativos de precipitación, la concentración de los eventos de lluvia, podría hacer que las poblaciones enfrenten falta periódica de agua debido a la mala distribución de la precipitación. Por ejemplo se puede mencionar que en febrero de 2005, los bajos niveles de agua registrados en la represa de Corani hacían temer un corte de suministro de energía en ciudades del occidente (entrevista en La Prensa a José Salazar, Director del Mercado Mayorista de la Superintendencia de Electricidad, publicada en la sección de negocios del 16 de Febrero de 2005).

El Mapa 10, muestra la ubicación de las ciudades y poblaciones en todo el territorio nacional, las mismas que presentan una demanda de agua creciente para consumo humano emergente del crecimiento poblacional que debido a los incrementos de la temperatura y cambio en la circulación global que tienen un impacto fuerte sobre la disponibilidad y distribución espacial de los recursos hídricos comparado con los resultados reflejados en los Mapas 6, 7, 8 en la que gran parte de las poblaciones están ubicados en regiones de creciente índice de aridez que bajo escenarios de incremento de temperatura de 1.5 que bajo escenario de A1-AIM alcanzaría el 2050 la precipitación bajo escenario IS92a ocurriría el año 2030. La elaboración de los Mapas 7 y 8, se basó en información meteorológica de 120 estaciones en el país, se realizó un análisis del Índice de Aridez (IA) de acuerdo a la metodología propuesta por el PNUMA (1992).

$$IA = \frac{PP}{ET_0} \text{ (UNEP, 1992).}$$

Donde:

IA = Índice de aridez de cualquier zona
PP = Precipitación anual recibida (mm)
ET₀ = Evapotranspiración de referencia anual de la zona (mm)

El índice de aridez mide la relación que existe entre el promedio anual de precipitación y el potencial de evapotranspiración o la demanda de aguas de la atmósfera por gradientes de potencial en una superficie determinada. De esta manera cuanto más bajo es el valor de *IA*, mayor es la aridez de una zona. Este índice constituye en un indicador de déficit hídrico anual en países con baja disponibilidad de información y baja cobertura de estaciones con un buen record histórico y con fuertes tendencias a la aridez. La evaluación de la

aridez, bajo escenarios de cambio climático, se realizó siguiendo los siguientes pasos:

1. Se calculó la *ET₀* por el método de Hargreaves.
2. Se determinó el índice de Aridez, para las 120 estaciones meteorológicas consignadas con los valores de promedios históricos de *PP* y *ET₀*.
3. Se halló los valores de temperatura y precipitación bajo escenarios climáticos desarrollados para Bolivia de acuerdo a los Modelos de Circulación general con escenarios de emisiones IS92a en las cuatro regiones determinadas por los modelos de circulación general valores que bajo el escenario A1-AIM se registraría el año 2050.
4. Las regiones por los comportamientos habituales y frecuencia de sequías se asumió decrementos en las precipitaciones considerando anómalas por debajo del 15%. En contraste las zonas occidentales del país debido a frecuentes inundaciones como comportamientos anómalos se asumió incrementos en las precipitaciones como se sintetiza en el Cuadro 25.

La condición actual de valores de precipitación y temperatura utilizados en el escenario base se presentan en el Mapa 6, en el que se muestra categorías de índices de Aridez. Los Mapas 6, 7 y 8, presentan que la mayor parte de los centros poblados del país se encuentra en zonas de mayor tendencia a la Aridez bajo escenarios de cambio climático (suroeste). Es conocido que esta área al presente, ya muestra tendencias de aridez y el incremento de la temperatura bajo escenarios de cambio climático, se agudizará la condición de aridez. En estas zonas el crecimiento poblacional proyectado por el INE en el país y asumiendo la tasa migratoria campo-ciudad constante, la demanda de agua

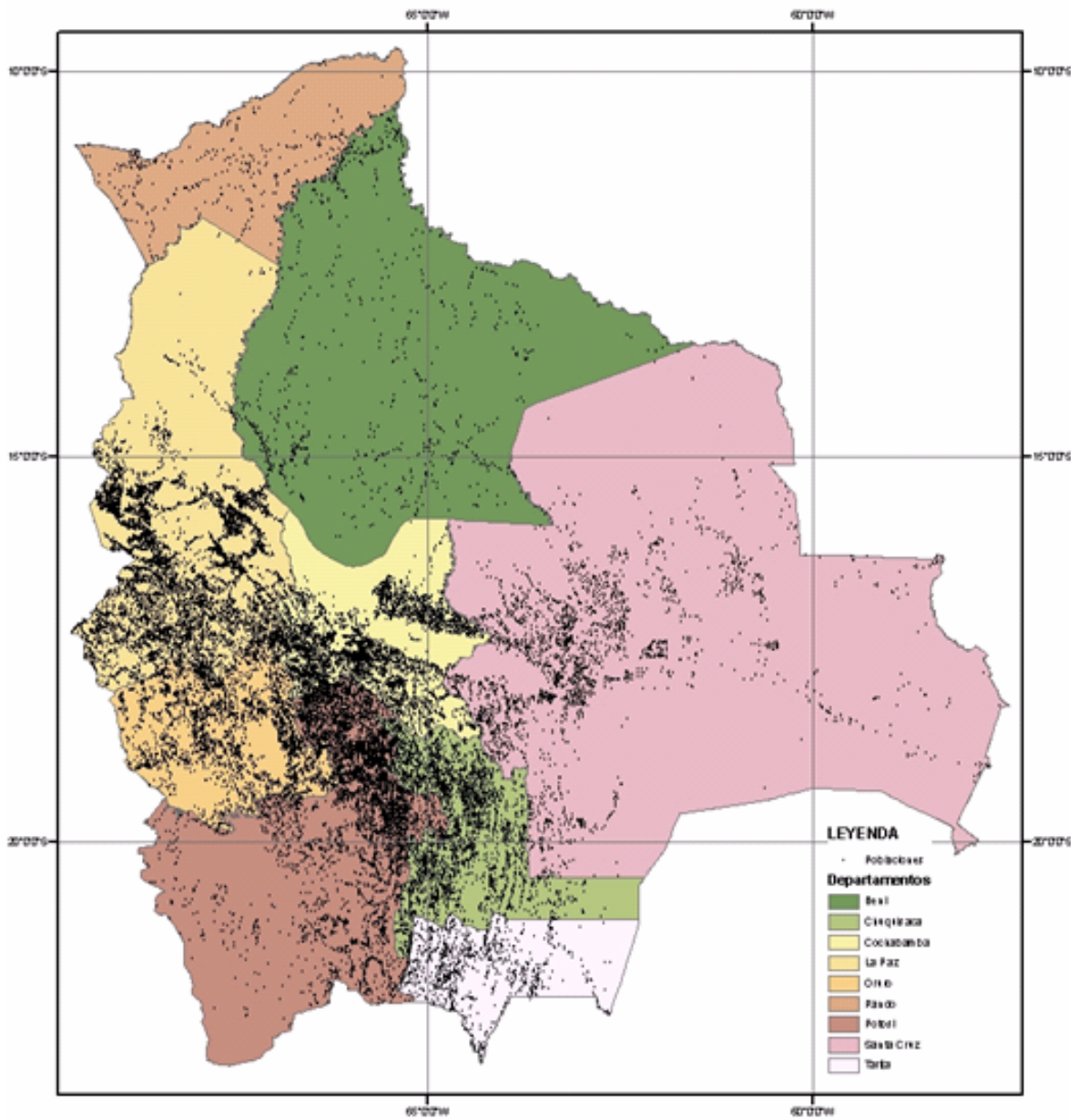
potable se incrementará en más del 100 % anual.

Al presente y dado que la precipitación se concentra en 5 meses aproximadamente, estas ciudades cubren sus requerimientos recolectando agua de los glaciares o por captaciones de ríos que se originan o cuyos tributarios dependen de los glaciares, con presencia adicional de captaciones subterráneas (Cuadro 26). De acuerdo a lo establecido por Ramírez et al., (2005), el retroceso de los glaciares debido a la elevación de la temperatura es probable una

desaparición de los glaciares en un tiempo menor a lo estimado por los especialistas y que los grandes reduzcan su tamaño en un 50 %. Ciudades como La Paz, El Alto, Oruro, Potosí, Sucre, Tarija y Cochabamba, presentan entonces una fuerte vulnerabilidad pues sus fuentes de acceso se reducirán y su demanda se incrementará provocando mayor presión sobre los recursos subterráneos los que adicionalmente están sub aprovechados.

Cuadro 25. Variaciones termo pluviométricas asumidas en el estudio

| Zona | Incremento de Temperatura | Variación de la precipitación |
|----------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| Occidental y Chaco | 1.5 ° C | -15 % |
| Tierras bajas y amazónicas | 1.5 ° C | +15% |



Mapa 10. Ubicación de los centros poblados de Bolivia Fuente: Elaborado en base a la información del Instituto Nacional de Estadística, (2002)

Cuadro 26. Tipo de fuente y caudal ofertado de las empresas de agua potable de las capitales de departamento

| Ciudad | Empresa | Fuente | Q (l/s) |
|------------------|--|--|---------------------|
| La Paz / El Alto | Aguas del Illimani (Concesionario privado) | 8 fuentes superficiales (Tuni, Condoriri, Huayna Potosí, Milluni, Choqueyapu, Incachaca, Ajan Khota, Hampaturi Bajo) | Entre 2 011 y 4 525 |
| Santa Cruz | SAGUAPAC (cooperativa) | Acuíferos subterráneos (Tilala) (30 pozos) | 347 – 2 067 |
| | 9 cooperativas pequeñas | | 722 |
| Cochabamba | SEMAPA (Empresa municipal) | Fuentes superficiales (Escalerani, Wara Wara, Chungara, Hierbabuenani) | Entre 191 y 404 |
| | | Acuíferos subterráneos | 462 |
| Sucre | ELAPAS (Empresa municipal) | Fuentes superficiales (sistema Cajamarca que comprende los ríos Cajamarca, Safiri y Punilla) | 82 |
| | | Fuentes superficiales (sistema Ravelo que comprende los ríos Ravelo, Peras Mayum Jalaqueri, Murillo y Fisculco) | 389 |
| Oruro | Servicio Local de Acueductos y Alcantarillado SELA (Empresa municipal) | Fuentes superficiales (ríos Sepulturas y Huayña Porto) | 34 |
| | | Fuentes subterráneas (Challa Pampa, Challa Pampita y Aeropuerto) | 528 |
| Potosí | AAPOS (Empresa municipal) | Fuentes superficiales (lagunas Khari Khari) | 195 |
| Trinidad | COATRI (Cooperativa) | Fuentes subterráneas | 118 |
| Tarija | Cooperativa | Fuentes superficiales (ríos Rincón La Victoria, Guadalquivir, San Jacinto) | 574 |
| | | Fuentes subterráneas | 279 |
| Cobija | Empresa municipal | Fuente superficial (arroyo Bahía) | 24 |

Fuente: (Mattos y Crespo 2000)

Calidad del agua

La calidad del agua disminuye en la medida de que diversos usos no hagan depuración o tratamiento, lo cual es frecuente en el país, por los altos costos de mantenimiento de una planta de tratamiento de agua residual, con la consiguiente reducción en la disponibilidad cuantitativa de recursos hídricos pues existe mayor competencia por el recurso más escaso y se inicia el

consumo de fuentes de agua poco convenientes.

Habilitar nuevas fuentes de agua incrementa los costos de potabilización para consumo humano, o para hacerla apropiada para el riego. De esta manera, los cambios en cantidad y calidad del agua se ligan intrínsecamente. Es lógico que caudales más reducidos en los cursos de agua tiendan a conducir concentraciones más altas de agentes contaminantes, además los eventos

relacionados con inundaciones incrementan la turbiedad del agua y su arrastre de contaminantes hacia otros cursos de agua. Por otra parte, las inundaciones en muchos casos reducen las fuentes de agua limpia pues se produce la intrusión en acuíferos de consumo y otros relacionados. Adicionalmente los cursos de agua se

consideran por excelencia como los receptores de desechos y subproductos de procesos industriales especialmente en el caso de la minería en Bolivia y reduciendo la disponibilidad del recurso, limitando la capacidad de este de ser usado para riego o consumo animal y mucho menos aun para consumo humano.



Figura 17. El acceso al agua potable es muy deficiente para las poblaciones rurales de Bolivia, las que incrementarían su déficit bajo condiciones de cambio climático. Foto: NCAP,2006

Desde otro punto de vista, es importante mencionar que las elevadas temperaturas del aire en algunos casos, darán lugar a más bajos niveles de agua. Estos cambios pueden contribuir a bajas concentraciones de oxígeno disuelto, a concentraciones más altas de polutantes, y a problemas del sabor y olor durante los periodos de estiaje. En Bolivia, debido al deshielo de los glaciares se puede esperar que en el largo plazo, los flujos base de los ríos originados en estos sean más reducidos y que los picos y crecidas sean mas agresivas. Ambos extremos hidrológicos afectarán negativamente la calidad del agua. Durante los periodos de flujo reducido, las concentraciones crecientes de toxinas, los contaminantes bacterianos y la presencia de algas son comunes, mientras que las precipitaciones intensas aumentan el riesgo de que los contaminantes urbanos y rurales como basuras, alimentos y excretas del

ganado se difundan a otras cuencas o cauces.

El cambio climático también puede afectar la calidad del agua subterránea. Los índices reducidos de recarga, del flujo y de la descarga del agua subterránea pueden aumentar las concentraciones de contaminantes en ella. La persistencia de muchos humedales especialmente en la zona de deshielo de los glaciares, que dependen de estos se encuentran en función de una interacción compleja entre el clima, la geología y los patrones de la utilización del suelo, y su grado es controlado por el equilibrio entre las entradas y salidas de agua.

Por otra parte, los bosques que cubren más de la mitad del territorio boliviano son reguladores importantes del ciclo hidrológico. Los cambios en el grado y la

distribución del bosque, debido al cambio del clima o a otros factores, afectan el almacenaje y el flujo del agua. La prevista migración de los ecosistemas y los bosques y alteraciones fuertes debido al cambio climático (por ejemplo incendios forestales o presencia de plagas) también afectaría la capacidad del bosque de almacenar y de filtrar el agua.

Dependiendo de la zona, la sobreexplotación de los acuíferos subterráneos podría tener consecuencias negativas sobre los ecosistemas. Por ejemplo, en el altiplano se encuentran numerosas zonas húmedas o depresiones de diversos tamaños, denominados bofedales o humedales de altura y que son áreas de regulación natural de escorrentía, las cuales son ocupadas frecuentemente por turberas de gran importancia en flora, fauna e hidrología.

Desde el punto de vista económico estas zonas húmedas constituyen zonas de pastos muy ricos explotados por el ganado vacuno, ovino y camélido. Una sobreexcitación de las aguas subterráneas en sectores cercanos podría llevar a un drenaje incontrolado de los bofedales, con los consiguientes impactos negativos sobre los ecosistemas y la economía local pues si el agua subterránea se extrae a una velocidad mayor que su velocidad de recarga natural, aumentará la profundidad del nivel freático y cada vez será mayor el esfuerzo y la energía necesaria para obtener agua y será menor la recarga para los humedales.

Por lo general los suelos de textura arcillosa, impiden la recarga cuando la precipitación anual es inferior a un rango de 125 a 250 mm al año; dependiendo de la permeabilidad del suelo, de su capacidad de retención, la distribución y la temperatura; gran parte de esta es evaporada muy rápidamente y el aporte de agua de

percolación es mínima o casi nula. Por esta razón muchas zonas del país cuyos suelos presentan baja permeabilidad con bajas precipitaciones o precipitaciones distribuidas en forma de chubascos aislados, no permiten un efectivo almacenamiento, por lo que la capacidad de recarga de los acuíferos es reducida incrementando su vulnerabilidad.

Otro factor que incrementa la vulnerabilidad de los recursos hídricos, es el mayor requerimiento de alimentos en el país por la mayor proporción de población urbana y menor población productora de alimentos. La producción agropecuaria requiere agua y esto será más notorio bajo escenarios de cambio climático debido a la elevación de la temperatura lo cual agudizará fuertemente la demanda. La creciente demanda de agua y alimentos requerirán planificar medidas de adaptación orientadas tanto al mejor manejo del agua, como a buscar alternativas productivas con limitaciones de agua y mayor eficiencia del uso de agua de los cultivos.

Efectos del cambio climático sobre la generación de energía

Aunque al momento es difícil cuantificar el efecto de la reducción o incremento súbito de los caudales de los ríos, otro sector fuertemente afectado por la variación hidrológica es el sector energético. La Figura 18 muestra la estructura de generación de electricidad en Bolivia. Las cuatro empresas de generación más antiguas: Guaracachi, Corani, Valle Hermoso y COBEE cuentan con centrales de generación hidroeléctrica y/o termoeléctrica. COBEE es básicamente hidroeléctrica, ya que cuenta con quince centrales hidroeléctricas y una sola central termoeléctrica (Central Kenko). Las centrales Corani y Santa Isabel de la empresa Corani, son ambas únicamente

hidroeléctricas. Guaracachi cuenta con cuatro centrales termoeléctricas: Guaracachi, Aranjuez, Sucre y Karachipampa. Al igual que Guaracachi, las centrales de Valle Hermoso son termoeléctricas: Valle Hermoso y Carrasco.

Entre las empresas más recientes, la empresa Río Eléctrico cuenta con tres plantas hidroeléctricas: Kilpani, Landara y Punutuma. La Empresa Hidroeléctrica Boliviana cuenta con una planta hidroeléctrica: Chojlla, Synergia cuenta con una planta hidroeléctrica, la central Kanata, y la empresa CECBB con una planta termoeléctrica, la central Bulu Bulu. De esta manera se puede apreciar que gran

parte del consumo energético del país depende de fuentes hidrológicas, la mayor parte dependientes del caudal de los ríos generados en las montañas. En este sentido la reducción de los glaciares reducirá los niveles de agua en las represas la misma que conducirá a una mayor demanda de otras fuentes de energía que si no se planifica podría generar una crisis energética de consideración especialmente en áreas de ciudades grandes durante el periodo de estiaje. Por lo mencionado, será necesario considerar medidas de adaptación basadas inicialmente en una adecuada valoración de la vulnerabilidad de este sector y en el estudio de opciones orientadas a reducir esta.

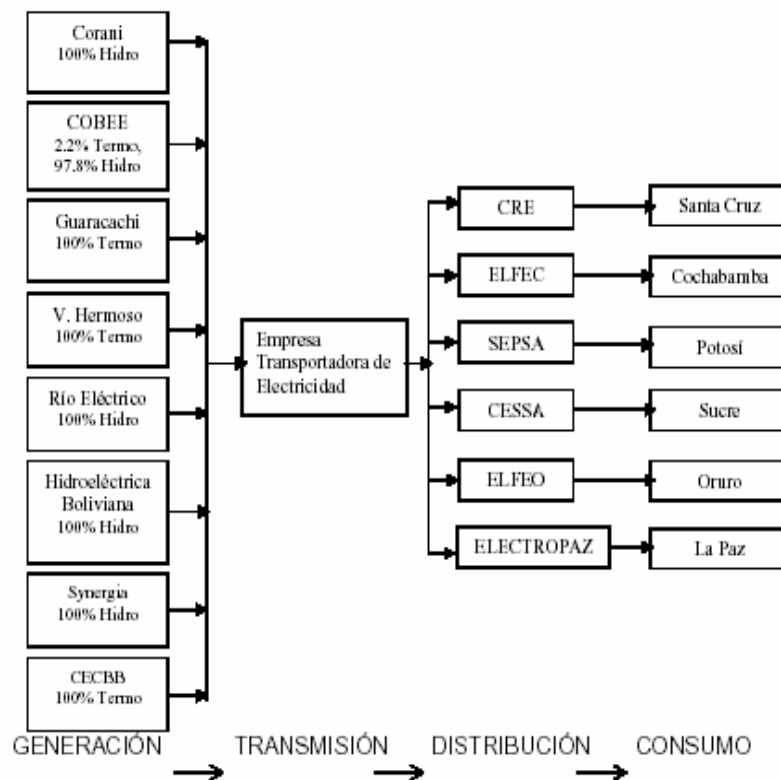


Figura 18. Estructura actual de la industria eléctrica en Bolivia (de Diagnósticos sectoriales Cristian Cárdenas, Luís Castro, UDAPE, <http://www.udape.gov.bo/diagnosticos/documentos/documento%20sector%20electrico.pdf>)

LA ADAPTACIÓN EN EL SECTOR DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

El agua es un recurso crítico para el análisis de adaptación en Bolivia. Dada su condición de recurso que genera amplia competencia de uso y también su elevada vulnerabilidad por las condiciones intrínsecas del país, las acciones relacionadas al manejo de este recurso son extremadamente importantes. Sin embargo, el sector se encuentra en permanente fragilidad por diferentes aspectos que limitan su resiliencia. Empezando por los aspectos regulatorios, el país no cuenta con una Ley de Aguas en aplicación práctica, precisamente por la gran competencia por el recurso que no permite consensuar un sistema de regulación de uso entre los sectores. Estos vacíos legales, están incrementando la vulnerabilidad del recurso y del país.

En este marco, el análisis de la estructura institucional del país determinó que los entes estatales encargados de trabajar con el recurso desde diversos ángulos complementarios no llevan adelante una adecuada coordinación para el manejo de este. Adicionalmente, se percibe cierta ineficiencia en el uso del recurso tanto cuantitativa como cualitativamente. Los sistemas de riego presentan eficiencias de aplicación de entre 30 y 40 %, provocando grandes pérdidas en el uso. Las industrias contaminan los cursos de agua y poca es la regulación que obligue a realizar tratamientos para resolver este problema, llegando a casos extremos como el de la minería que provoca contaminación extrema tanto para consumo humano como para riego y mantenimiento de los ecosistemas. Esta situación se complica mucho más debido a la acelerada reducción de los glaciares que provocará una fuente de estrés adicional sobre el recurso y al reducido conocimiento real sobre la

influencia del cambio climático sobre los ciclos hidrológicos de las cuencas de diferentes dimensiones en el país. Es claro que los resultados de vulnerabilidad variarán de cuenca a cuenca en el país mas aún por su elevada variabilidad fisiográfica y por tanto muchas decisiones no podrán generalizarse y se requerirán estudios locales a detalle para llevar adelante acciones eficientes de adaptación. En este sentido se hacen necesarias muchas acciones orientadas al mejor manejo del recurso. Las opciones de adaptación comúnmente recomendadas para el sector de recursos hídricos desde el enfoque de cambio climático incluyen:

- Medidas para el manejo y conservación integral del agua
- Necesidad de un marco regulatorio basado en la equidad y la sensatez del uso.
- Mejora del estado de preparación para reaccionar ante eventos meteorológicos extremos como sequías e inundaciones severas tanto en áreas urbanas como rurales
- Generación de información básica para el apoyo a la toma de decisiones sobre el manejo y la gestión del agua a nivel nacional (consumo, generación energética, etc.)
- Adaptación de códigos de construcción de infraestructura de manejo de agua a nuevas condiciones climáticas posibles y/o a nuevos extremos hidrológicos
- Mejora de la protección de la calidad del agua contra contaminación industriales, agrícola y humana;
- Concientización de la población sobre la vulnerabilidad del recurso y la necesidad de un adecuado manejo de este.

- Mayores y mejores políticas de uso del agua en los diversos sectores de uso más importantes como el consumo humano y el riego.
- Llevar adelante esfuerzos y analizar la mejora de procedimientos para la asignación equitativa del agua.

A pesar de que estas acciones se recomiendan en respuesta al cambio climático, en realidad son medidas necesarias independientemente del cambio climático, dado que el incremento de la población y de sus necesidades está poniendo en estrés permanente el recurso. Al considerar las medidas de adaptación, se debe considerar también si el sistema será capaz de enfrentar los cambios hidrológicos proyectados, así como los costos económicos, sociales y ecológicos de la adaptación. La infraestructura física, tal como presas, los vertederos y los canales del drenaje, sirven tradicionalmente como una de las medidas de adaptación más importantes ante el cambio climático. Sin embargo estas deben adecuarse a las realidades locales. En muchas zonas del país, infraestructura de riego extensivo no es necesaria ni eficiente pues el recurso es muy limitado. Sin embargo en estas zonas se podrían plantear acciones de uso

limitado y eficiente de agua que tal vez adicionalmente requiera de opciones de adaptación paralelas en el sector de agricultura.

Otro sector que deberá adaptarse rápidamente a las nuevas condiciones climáticas o de eventos extremos es el sector de infraestructura de manejo de agua. La infraestructura de manejo de recursos hídricos deberá ser analizada con nuevos códigos de manejo dado que el sector enfrentaría extremos hidrológicos de mayor magnitud y frecuencia. Esto implicará generación de investigación asociada que deberá responder ante los criterios económicos y ambientales al mismo tiempo. La infraestructura mejorada y rediseñada para el manejo del agua mejora la flexibilidad de las operaciones de gestión de recursos hídricos, y aumenta la capacidad de un sistema de protegerse contra los efectos de la variabilidad climática. Estos nuevos códigos de construcción de infraestructura de manejo de Recursos Hídricos deberán basarse en la nueva información hidrometeorológica que se va generando así como en la experiencia que han dejado los extremos meteorológicos.

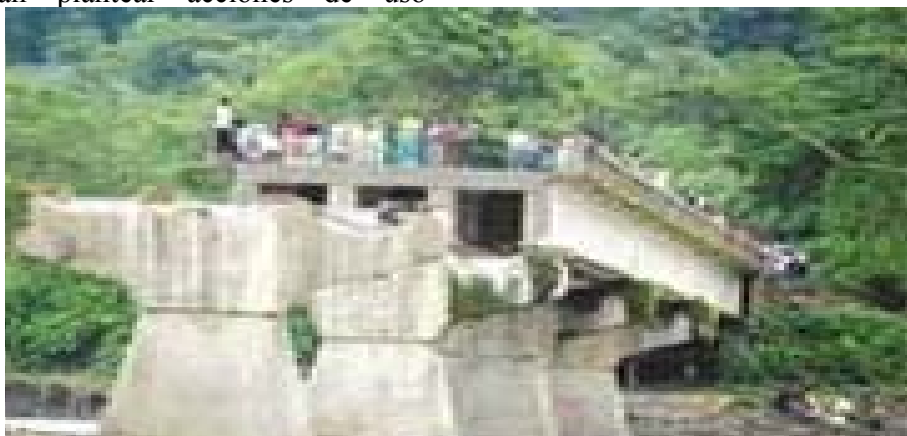


Figura 19. Caída del puente Chapare muestra que eventos extremos climáticos pueden superar cualquier tipo de construcción. Foto: Sergio Mora, 2001.

La mayor parte de la infraestructura de riego, alcantarillado, drenaje, vial, etc. utiliza como base para su diseño la información hidrometeorológica pasada y asume que las condiciones se mantendrán a futuro, lo que podrían poner bajo estrés muchas de las construcciones actuales. Por ejemplo, las zonas urbanas presentan elevada vulnerabilidad debido a este factor, pues los sistemas de drenaje pluvial se diseñan respondiendo a los registros históricos pasados. Sin embargo la variabilidad climática podría dar lugar a eventos superiores a los extremos registrados históricamente lo cual sobrepasaría la capacidad de esta infraestructura. Si bien el cambio de estos sistemas hacia otros con mayor capacidad, sería caro, la respuesta ante los desastres lo sería más y la sostenibilidad sería menor como consecuencia de la mala-adaptación.

Desde otro punto de vista, al presente en muchas ciudades de Bolivia, no se ha siquiera considerado la necesidad de embalses, represas, etc. orientadas al

almacenamiento de agua en época seca. Siendo que mucha de esta infraestructura es de elevado costo, pocas perspectivas se encuentran que estas construcciones ocurran a corto o mediano plazo. De esta manera las zonas urbanas demuestran su clara vulnerabilidad y la dificultad que tendrán para adaptarse a condiciones de periodos largos sin presencia de lluvias. Sin embargo, la construcción de nueva infraestructura también podría ser remplazada por medidas de adaptación basadas en la educación de la población. Por ejemplo el manejo de la basura en muchas ciudades reduciría fuertemente el riesgo de taponamiento de los sistemas de drenaje, los cuales podrían responder mejor a eventos extremos que cuando tienen que recibir permanentemente el estrés asociado de la basura y el agua a ser drenada. También se deberá educar a la población sobre el mejor manejo de agua de consumo, mejora y optimización de los sistemas de plomería domésticos, habilitación de tanques de almacenamiento de agua domésticos, etc.

Dado que la mayoría de las dimensiones de diseños de alcantarillado urbano y de sistemas de drenaje urbano, se realizaron en base a record de registros climáticos, se podría esperar que un cambio climático provoque la disminución de la eficiencia de estos servicios si aumentan los eventos extremos de precipitación. Esto último es muy posible por la fisiografía montañosa de Bolivia que fomenta la ocurrencia de fuertes procesos convectivos. Mientras que realizar las acciones de adaptación necesaria (e.g., incrementos de diámetro de los tubos de drenaje) sería costoso, se podría prever que los costos totales sean más bajos que aquellos asociados a las pérdidas que resultarían de no adaptarse.

Consideraciones institucionales para favorecer la adaptación del sector recursos hídricos

La capacidad de adaptarse a la variabilidad y al cambio climático es influenciada por una gama de características institucionales, tecnológicas y culturales a nivel

internacional, nacional, departamental, y local, además del cambio en si mismo. La gestión de la demanda de agua podría tener como resultado el reducir el consumo de agua a través de iniciativas de conservación del agua y mejora de la eficiencia del uso del agua convirtiéndose en una eficiente medida de adaptación. Consecuentemente,

los programas basados en la conservación del agua deberían ser una norma a nivel Municipal. Desafortunadamente, muchos municipios no adoptan programas de buen manejo de agua ya sea por desconocimiento de las bases técnicas para estas acciones, por un escaso apoyo legal o institucional o por la poca conciencia pública de la necesidad de la conservación del agua. Las iniciativas de conservación del agua en las comunidades y Municipios pueden ser extremadamente útiles para la reducción de la demanda de agua y por tanto reducir al mínimo los impactos del cambio del clima sobre las características regionales. Es importante también tener en cuenta que cuanto mas participativa sea la planificación de estas medidas, mayor será la probabilidad de que estas medidas sean exitosas.

La creación del Ministerio del Agua y el funcionamiento articulado de forma integral a otros sectores, constituye en una de las fortalezas que permitirán superar la deficiente coordinación de anteriores gobiernos. Los estudios articulados a los procesos productivos, permitirán mejorar la gestión y legislación de los recursos hídricos. Sin embargo, esto implica un proceso de coordinación activa entre diferentes sectores, la generación de tecnología y la identificación precisa de la vulnerabilidad por regiones y sectores a través de indicadores claros, bajos los diferentes escenarios climáticos. En este proceso, es importante, la participación del Comisión para el Manejo Integral del Agua.

Otro factor importante para promover la adaptación institucionalmente, es el favorecer desde el Estado las acciones de las Municipalidades u otros órganos de gobierno local, orientadas a la mejor gestión del agua, ya sea esto a través de reducciones impositivas, regulaciones de apoyo y fomento o líneas de crédito

permanente. Adicionalmente y siendo que aun no existe una Ley de Aguas consensuada, sería muy importante adicionar a esta Ley, la regulación de las acciones de adaptación al cambio climático. Otras regulaciones que deberán reconsiderar sus bases añadiendo la dinámica del cambio climático son por ejemplo, los acuerdos transfronterizos que podrían requerir la reconsideración cuidadosa a los cambios potenciales en regímenes del flujo.

Finalmente y como base para las decisiones a ser tomadas, se requiere fomentar las líneas de investigación para la generación de información básica. Por ejemplo, se requiere mejorar permanentemente los análisis para el pronóstico y la modelación de procesos hidrológicos tanto a nivel local como a escalas globales.

Acciones de adaptación

En base a los estudios y resultados presentados arriba y el trabajo de los actores que participaron de los talleres departamentales para la priorización de acciones de adaptación se han definido las siguientes necesidades prioritarias para mejorar la capacidad de adaptación:

- Investigación a detalle sobre los efectos interactivos entre los impactos del cambio del clima sobre el sistema hidrológico de las cuencas ubicadas en cada Municipio y otros, tales como la mayor presión sobre los suelos y el crecimiento de la población.
- Comprensión mejorada de los impactos económicos y sociales del cambio del clima con respecto a los recursos hídricos
- Amplio flujo de información socioeconómica e hidrológica

- Estudios más integrantes, que incluyan los controles ecológicos y la influencia humana en la vulnerabilidad del agua al cambio del clima.
- Estudios que se centren en comprender y definir umbrales críticos para el uso del recurso.
- Investigación sobre la vulnerabilidad del agua subterránea al cambio climático ya sea por el mayor nivel de extracción por déficit de aguas superficial o por la menor tasa de recarga debido a caudales menores de los cauces superficiales.
- Investigación sobre los impactos del cambio climático sobre los diversos usos del agua como ser la navegación, fuentes de agua potable, la generación de energía hidroeléctrica y la industria, así como en la integridad ecológica y el turismo.
- Evaluaciones de los impactos del cambio climático sobre la calidad del agua.
- Estudios integrales orientados hacia la planificación del manejo de recursos hídricos tanto desde el punto de vista técnico como institucional y socioeconómico.
- Evaluación de la capacidad actual de la infraestructura hidrológica tanto urbana como rural y evaluación del costo y las ventajas sociales, económicas y ambientales de las acciones de adaptación

Un énfasis particular se debe considerar en los impactos de los eventos extremos (sequías e inundaciones), que se proyecta que podrían ser más frecuentes y de mayor magnitud que los presentes en muchas partes del país. Estos eventos extremos provocarían mucho estrés a la infraestructura existente, con consecuencias

económicas, sociales y ambientales potencialmente importantes.

Dado que existirá un grado relativamente alto de incertidumbre con respecto a las proyecciones del cambio climático y su impacto en el ciclo hidrológico en la escala local, se debería poner énfasis en el manejo del riesgo desde la planificación más que reactiva. Estas acciones por si mismas ya reducirían fuertemente la vulnerabilidad del país y darían paso a acciones más sostenibles.

Las principales medidas de adaptación sugeridas por el presente estudio al respecto del manejo del riesgo son:

- Incorporar consideraciones sobre amenazas naturales en las primeras etapas del proceso de planificación del desarrollo integrado y de la formulación de proyectos de inversión;
- Conceder una mayor importancia a la reducción del riesgo al evaluar los proyectos de inversión;
- Aumentar la proporción de los fondos destinados a las actividades de prevención en relación con aquellos trabajos destinados a la rehabilitación y reconstrucción después de la ocurrencia de un desastre.
- La planificación del aprovechamiento de los recursos hídricos requiere precisar, el equilibrio cuantitativo y cualitativo de los balances disponibilidad – demanda, por ello la participación multisectorial y multidisciplinaria incluye el establecimiento de normas y estrategias de desarrollo, y debe entenderse como un medio necesario de interacción para formular, ejecutar y controlar la

política de desarrollo en todos los sectores que estén directa o indirectamente influidos por el recurso agua.

- Fomentar estudios y premiar iniciativas relacionadas con el uso eficiente de agua

Como conclusión un plan de adaptación debe explicitar el balance de recursos y necesidades de agua para cuantificar el déficit o superávit de agua en una cuenca, zona o región, para un determinado tiempo y en cierto estado de su desarrollo; por ello, se hace urgente delinear planes hidráulicos, por lo menos para las cuencas cuya oferta de agua esta en perspectiva de ser insuficiente para satisfacer la demanda.

BIBLIOGRAFÍA

- Araujo A y Sherwood S, 2004. Changes in the microphysical structure of convective clouds over the Amazon. Symposium, Large Scale Biosphere-atmosphere experiment in Amazonia. LBA Scientific Conference.
- INE 2005: Compendio de estadísticos Web site:
[http:// www.ine.gov.bo](http://www.ine.gov.bo)
- IPCC (2001a) Climate Change 2001. Scientific bases (Third Assessment Report. IPCC. UNEP, OWW, Universidad de Cambridge.
- IPCC (2001) Climate Change 2001. Impact, adaptation, and vulnerability (Third Assessment Report. IPCC. UNEP, OWW, Universidad de Cambridge.
- Mattos, J., 1997. Análisis económico de la propuesta de modificación a la Ley de Aguas de 1906. República de Bolivia. UNESCO-PHI.
- Mattos y Crespo, 2000. Informe nacional sobre la gestión del agua en Bolivia. Comité para la Gestión Integral del Agua en Bolivia.
- PAN, 2005, PRONALDES. Propuesta de Plan de Acción Nacional para el Manejo de Cuencas. En consulta.
- Roche M.A., Fernández C., Aliaga A., Rivera J., Peña J., Salas E., Montano J.L., 1992. Balance hídrico superficial de Bolivia. CONAPHI-Bolivia-ORSTOM-UNESCO-IHH-SENAMHI.
- Van Damme, P., 2002. Disponibilidad, Uso y Calidad de los Recursos Hídricos en Bolivia.

Consejo para la Gestión Integral del Agua en Bolivia. Cochabamba, Bolivia.

VULNERABILIDAD DE LA SALUD HUMANA A LA VARIABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO EN BOLIVIA

Marilyn Aparicio Effen

INTRODUCCIÓN

La aceptación de que el cambio climático puede afectar la salud humana ya goza de cierto consenso, reconociéndose los efectos de temperaturas demasiado altas o bajas, la pérdida de vidas y lesiones de distinta severidad y naturaleza a consecuencia de inundaciones, tormentas, tornados, inundaciones, y otros desastres naturales, así como las alteraciones indirectas sobre la salud humana que van desde la modificación de los hábitat vectoriales, alteraciones en la calidad del agua, la calidad del aire, y la calidad y disponibilidad de los alimentos.

Sin embargo, los impactos sanitarios dependerán del grado de desarrollo socioeconómico y organizacional con la que cuente una comunidad, asociada a las condiciones ambientales locales, por lo tanto, el grado de vulnerabilidad de una comunidad dependerá de su grado de adaptación social, institucional, tecnológica y al grado de concientización sobre los efectos del cambio climático.

Los cambios en las condiciones climáticas pueden tener tres tipos de repercusiones generales sobre la salud (IPCC, 2003):

- Repercusiones más o menos directas, causadas en general por fenómenos meteorológicos extremos.
- Consecuencias para la salud de diversos procesos de cambio ambiental y perturbación ecológica resultantes del cambio climático.

- Diversas consecuencias para la salud (traumáticas, infecciosas, nutricionales, psicológicas y de otro tipo) que se producen en poblaciones desmoralizadas y desplazadas a raíz de perturbaciones económicas, degradaciones ambientales y situaciones conflictivas originadas por el cambio climático.

El IPCC (2003) llegó a la conclusión, con un alto grado de confianza, de que “El cambio climático incrementaría la mortalidad y la morbilidad asociadas al calor y reduciría la mortalidad asociada al frío en los países templados, aumentaría la frecuencia de epidemias después de inundaciones y tormentas, y tendría efectos considerables sobre la salud tras los desplazamientos de poblaciones por la subida del nivel del mar y la mayor actividad de las tormentas”.

Considerando lo anterior, el nivel de vulnerabilidad será y ya esta siendo diferente para cada comunidad, puesto que cualquier repercusión potencial del cambio climático afectara más a algunos grupos de población que a otros, en virtud de su nivel de pobreza, grado de educación, densidad demográfica, grado de desarrollo económico, disponibilidad alimentaria, el nivel y la distribución de los ingresos, las condiciones ambientales locales, su estado de salud y la calidad y disponibilidad de servicios sanitarios y de alerta temprana.

Los efectos sanitarios del cambio climático por lo mencionado, tendrán y ya tienen una variante geográfica y contextual importante, por ello se verifica que en los países de mayor desarrollo con un perfil

epidemiológico caracterizado por enfermedades crónicas y degenerativas, los efectos del calentamiento global se harán evidentes con mayor prontitud en personas con patologías cardíacas y respiratorias, cuyos cuadros se verían complicados por las variables climáticas. Por su parte, los efectos agudos, como las ondas de calor tendrían en los ciudadanos ancianos y pobres a los que tienen un mayor riesgo de sufrir daños por ejemplo, por temperaturas extremas.

Los veranos cálidos y húmedos de países como estados Unidos y Francia, azotados ya esporádicamente por ondas de calor han estado reportando muertes ocasionadas por esta causa. En julio de 1995, una ola de calor cobró en Chicago (EEUU) 514 vidas (12 por 100.000 habitantes) y motivó 3.300 más que la media, ingresos hospitalarios urgentes.

Para países subdesarrollados y en desarrollo como Bolivia, tomando en consideración el perfil epidemiológico imperante, serían las enfermedades transmitidas por vectores o aquellas de carácter infectocontagioso las que favorecidas por el calentamiento global y por la alta variabilidad climática afectarían a las distintas poblaciones del país. Por lo tanto, las comunidades asentadas en las fronteras de las actuales zonas endémicas de malaria, dengue, fiebre amarilla, etc., si no reciben una atención primaria eficaz, se constituyen en las más susceptibles de presentar casos e incluso muertes por esta causa.

Adicionalmente, y dadas las características particulares de Bolivia, y los fuertes procesos migratorios occidente/oriente las zonas altas del país ya están presentando casos de enfermedades transmitidas por vectores, incluso de carácter epidémico local.

Los distintos sistemas ambientales como; el agua, el clima, el aire, el ruido asociados a la flora y fauna de la región influyen, sobre los ecosistemas humanos, desempeñando un papel fundamental para el mantenimiento de la salud o el desarrollo de las enfermedades. Estos factores, interrelacionan con condiciones socioeconómicas tales como el acceso a la educación y a servicios de salud, analfabetismo, déficit en saneamiento básico, acceso a agua segura, desnutrición, hacinamiento, nivel de ingresos, pobreza, etc. Por ello, la presentación de enfermedades transmitidas por vectores o no, es multifactorial, e involucra a factores sociales, biológicos y ambientales, sobre los cuales las variaciones climáticas ejercen un importante papel modulador.

Lo anterior, es particularmente evidente en Bolivia donde las características fisiográficas, diversidad de ecosistemas y condiciones climáticas determinan la existencia de múltiples hábitat humanos, que se asientan en áreas tropicales y subtropicales, tornando complejos por la presencia de las cordilleras oriental y occidental, es así, que existen superficies de asentamientos desde 4300 m.s.n.m (Río Mulatos – Potosí) a 100 m.s.n.m (Puerto Suárez - Santa Cruz). Esta última demuestra la complejidad de estudiar la relación entre el clima y la salud humana en el país, a lo que se suma las limitaciones de información meteorológica para el estudio de los impactos de la variabilidad y el cambio climático sobre la salud

Si bien los conocimientos sobre las relaciones entre el clima, el cambio climático y la salud humana han aumentando considerablemente en los últimos años, aún existen, muchas lagunas en el conocimiento de los probables patrones futuros de exposición a los cambios climáticos y ambientales, así como

de la vulnerabilidad y adaptabilidad de los sistemas físicos, ecológicos y sociales al cambio climático. Lo anterior se acentúa en países como Bolivia, dadas sus particulares irregularidades fisiográficas lo que condiciona la existencia de múltiples ecosistemas y microclimas, con consecuencias sanitarias insospechadas y que necesitan ser identificadas.

Complejidad del estudio de los efectos del Cambio Climático sobre la salud

Las repercusiones del cambio y la variabilidad climática sobre la salud humana, se están haciendo cada vez más evidentes, sin embargo existen varias razones que complican el análisis de sus repercusiones como:

- El origen etiológico multifactorial de las enfermedades, dado que las influencias climáticas sobre la salud se ven moduladas por interacciones con otros procesos no siempre epidemiológicos como: el nivel económico con el que cuenta una población, los cambios ecológicos, las condiciones sociales y las políticas de adaptación.
- La existencia de varias fuentes de incertidumbre científica y contextual, por lo que el IPCC (2003) ha intentado formalizar la evaluación del grado de confianza asociado a cada afirmación sobre el impacto en la salud.
- El cambio climático y la variabilidad climática se ven reforzados por los otros cambios que se están presentando a nivel global como, la reducción de la biodiversidad, la deforestación, el incremento comercial, las facilidades y velocidad del transporte de personas de un lado al otro del mundo, los cambios del uso de la tierra, la disminución de la disponibilidad de agua entre otro.

Un fenómeno que también complejiza el estudio del clima es el incremento de la densidad de población humana, que aumenta a su vez la presión sobre los recursos naturales del planeta, acentuando los efectos sanitarios del mismo.

Por lo tanto, existen limitantes para correlacionar las enfermedades y el clima dado el origen multicausal de las primeras y la participación multisistémica como determinante del segundo, es así, que “la conexión entre el clima y la salud se puede considerar, en el mejor de los casos, como muy compleja” Michael et al., (1996). A lo anterior, se agrega la existencia aún de vacíos de conocimiento en relación a los parámetros climáticos necesarios para desencadenar respuestas funcionales y los niveles necesarios para generar efectos fisiopatológicos y patológicos, dada la gran capacidad de adaptación de la especie humana, determinada por factores estrictamente orgánicos (genéticos, inmunes, neuroendocrinos) y voluntarios a los eventos climáticos.

Efectos directos e indirectos del Cambio Climático

La salud humana puede sufrir los efectos del Cambio Climático Global en forma directa, cuando son el resultado inmediato de los fenómenos climáticos extremos como los daños a la integridad física de las personas o las epidémicas generadas por derrumbes, ciclones, sequías, inundaciones, etc. o en forma indirecta, cuando son el resultado mediato o son producidos a través de intermediarios como los incrementos en la incidencia y prevalencia de las enfermedades transmitidas por vectores, las reemergencias de enfermedades ya desaparecidas o controladas, el desarrollo de nuevas enfermedades, etc. Es así, que las variaciones en los patrones climatológicos, están favoreciendo la emergencia de

enfermedades que estaban bajo control o habían desaparecido como el cólera o se observa la extensión geográfica y altitudinal de áreas endémicas.

Los efectos del cambio climático sobre la salud humana están produciendo en mayor o menor gradación:

- Incremento de los índices de mortalidad o morbilidad.
- Incremento de las enfermedades infecciosas principalmente relacionadas con las dolencias transmitidas por vectores.
- Incremento de los índices de malnutrición y deshidratación por las dificultades en la disponibilidad de agua y alimentos.
- Daños a la infraestructura pública de salud, a causa del cambio climático.

El impacto climático tendrá diferentes consecuencias en las distintas zonas geográficas, donde los parámetros meteorológicos (temperatura, precipitación pluvial, humedad, velocidad del viento, radiación solar, etc.), conformarán un escenario particular, con diferentes consecuencias sobre la salud humana y sus factores asociados.

Las áreas de residencia normal de una determinada población hacen que por ejemplo la sensibilidad a temperaturas extremas sea muy variada y dependa de la latitud y de sus temperaturas típicas. En una región el mayor impacto de morbimortalidad puede registrarse a 25°C mientras que en otra el impacto no se hará presente por debajo de 39°C.

Enfermedades relacionadas con el Cambio Climático

Las enfermedades tienen un diferente grado de sensibilidad a los parámetros climáticos,

por lo que su respuesta a los fenómenos climáticos correspondientes ya sea a la variabilidad o a los cambios climáticos, dependerá de su alta, mediana o ninguna sensibilidad a los mismos.

A continuación se presentan algunos grupos de enfermedades alta y medianamente sensibles a las variables climáticas:

Enfermedades Transmitidas por Vectores

Estas patologías, se están viendo favorecidas por los cambios en los patrones climatológicos, dado que la variación de estas condiciones, asociadas a cambios ecosistémicos, están generando hábitat aptos para el desarrollo vectorial, incrementando sus posibilidades y necesidades de reproducción, disminuyendo sus periodos de incubación, e incrementando su capacidad infectiva.

La relación, entre las variables climáticas y las enfermedades transmitidas por vectores, se explica porque, tanto los vectores como los microorganismos patógenos y los reservorios sobreviven y se reproducen en un intervalo de condiciones climáticas óptimas, entre las que se tiene la temperatura, la precipitación, la humedad, el viento, etc.

Enfermedades Relacionadas con Temperaturas Extremas

El cambio climático global, ya ha producido y esta produciendo olas de calor cada vez más frecuentes e intensas. Estas corresponden a extremos simples de intervalos climáticos estadísticos, con temperaturas muy bajas o muy altas, lo que esta produciendo fuertes oscilaciones térmicas con repercusiones sanitarias importantes, a la vez que veranos más cálidos e inviernos más suaves como lo encontrado para la ciudad de Santa Cruz en

un estudio de Dengue (Aparicio y Gonzales, 2005).

Las ondas de calor afectan con mayor intensidad a personas que ya tienen una enfermedad cardiovascular o respiratoria de base; pueden afectar también a personas ancianas, débiles o aquellas que no tienen las condiciones de aire acondicionado adecuado y son frecuentes en países con temperaturas intensas en verano. Para Bolivia, donde el factor altitudinal juega un importante rol, son las oscilaciones térmicas muy marcadas las que producen mayores efectos sobre la salud, produciendo condiciones favorables para el desarrollo de infecciones respiratorias agudas, al sobrepasar los mecanismos fisiológicos de adaptación. (Aparicio y Gonzales, 2005)

Cambio Climático y enfermedades infecciosas

Los microorganismos, varían bastante en tamaño, tipo y modo de transmisión. Existen virus, bacterias, protozoos y parásitos pluricelulares. Estos microorganismos que causan “antroponosis” han experimentado una adaptación evolutiva a la especie humana como hospedador primario y generalmente exclusivo. En cambio, las especies no humanas son el reservorio natural de los agentes infecciosos que causan “zoonosis”, las que en los últimos años se están viendo fuertemente impactadas.

Hay antroponosis (como tuberculosis, el VIH/SIDA y el sarampión) y zoonosis (como la rabia) de contagio directo, y antroponosis (como la malaria, el dengue y la fiebre amarilla) y zoonosis (como la peste bubónica y la enfermedad de Lyme) transmitidas indirectamente por vectores. Muchos de los organismos y procesos biológicos vinculados con la diseminación

de enfermedades infecciosas se encuentran fuertemente influenciados por el comportamiento de las variables climáticas, sobre todo por la temperatura, la humedad y las precipitaciones (Michael et. al., 1996).

Las enfermedades producidas por agentes infecciosos, predominan en zonas calidas, por lo que el cambio y la variabilidad climática, podrían generar un incremento de enfermedades infecciosas, que se verían favorecidas por las mayores temperaturas y una disminución de temperaturas frías que han sido identificadas como barreras naturales al incremento de los casos por enfermedades infecciosas. La estacionalidad, de varias enfermedades de carácter infeccioso como las Infecciones Respiratorias Agudas de etiología bacteriana, demuestra que su presentación y las mayores incidencias coinciden con los periodos de incremento de las temperaturas y su remisión sigue al descenso de las mismas.

Enfermedades transmitidas por el agua

La exposición humana a las infecciones transmitidas por el agua se produce por el contacto con agua de bebida, agua para aseo personal, agua para usos recreativos o alimentos contaminados. La contaminación, puede deberse a acciones humanas, como la contaminación por alcantarillas, el vertido incorrecto de aguas residuales, o a fenómenos meteorológicos.

Los fenómenos meteorológicos como un incremento de las precipitaciones pueden influir en el transporte y la propagación de agentes infecciosos, los que también se ven influidos por las temperaturas para su desarrollo y supervivencia.

Muchas enfermedades diarreicas adoptan un carácter estacional, lo que demuestra que son sensibles al clima. En las zonas calidas,

alcanzan su máximo durante la estación lluviosa y presentan una tendencia marcadamente incremental coincidente con las inundaciones, donde aumenta el riesgo de enfermedades diarreicas. Las principales causas de diarrea relacionadas con precipitaciones abundantes y contaminación del abastecimiento de agua son el cólera, las criptosporidiosis, las infecciones por E. coli, las giardiasis, las shigelosis, la fiebre tifoidea y las virosis como la hepatitis A.

El manejo de los recursos hídricos, tiene una importante correlación con las enfermedades transmitidas por vectores, dado que la construcción de represas, de obras de irrigación y estructuras para controlar inundaciones, muestra una mayor incidencia de malaria, dengue, esquistosomiasis, filariasis linfática, fiebre amarilla, fasciola hepática y otras enfermedades. A esto se suman efectos del deshielo de los glaciares y la retracción de los nevados de áreas tropicales que puede condicionar la pérdida del abastecimiento de agua, como ya se está evidenciando en Asia y América, lo que obligaría a la población a consumir agua de fuentes inseguras o contaminadas.

Enfermedades nuevas, emergentes y re-emergentes

A pesar del importante éxito logrado frente a la viruela⁶, en los últimos decenios han recrudescido algunas de las epidemias más dañinas que históricamente afectaron a la humanidad como: el cólera, la malaria, la tuberculosis o la fiebre amarilla, al tiempo que han aparecido otras:⁷ como: el SIDA, el Ébola, etc., que han puesto en tela de juicio a la epidemiología moderna y destacan entre otros factores el probable rol del

cambio climático en la generación o en la exacerbación de las mismas⁸.

La gama de las enfermedades transmisibles está variando en forma acelerada, en respuesta al cambio climático, a otras modificaciones ambientales⁹ y a las dinámicas de la población¹¹, donde destacan claramente los procesos de urbanización, el crecimiento de la pobreza, la informalidad, cambios demográficos y estilos de vida no saludables que determinan hacinamiento en barrios con alto grado de exclusión social, vivienda inadecuada, y asentamientos en zonas no adecuadas.

Estas enfermedades no están limitadas a ninguna región en el mundo en especial, ni se circunscriben a los países desarrollados o en vías de desarrollo, por lo que representan una amenaza general, que exige una respuesta coordinada de los sistemas de salud de todos los países, al mismo tiempo que se constituyen en una carga financiera obligatoria para la prevención, el control de brotes epidémicos y la atención sanitaria de los enfermos.

Las Zoonosis Emergentes y Re-emergentes, también están adquiriendo una singular importancia dado que la relación entre la salud humana y animal no es una novedad, sin embargo, el alcance, la magnitud y las repercusiones mundiales de las zoonosis que se enfrenta actualmente no tienen precedentes históricos. La mayoría de las enfermedades emergentes aparecidas en los últimos tiempos es de origen animal y casi todas ellas son potencialmente zoonóticas. La gripe aviar es un ejemplo, de una

⁸ La OMS estima que al menos 333 millones de nuevos casos se registraron en 1995 por enfermedades transmisibles

⁹ Cambios climáticos, reforestación, aumento de la radiación ultravioleta, contaminación del aire, agua y suelos, uso indiscriminado de plaguicidas)

⁶ Declarada erradicada en 1980

⁷ Al menos 30 en los últimos 20 años

enfermedad emergente, que iniciándose en animales se esta extendiendo al hombre con el mismo efecto de mortalidad fulminante. Por lo tanto, es preciso que se coordinen acciones entre la sanidad animal y la salud pública.

Los Desastres y la Salud Humana

“La creciente concentración atmosférica de gases de efecto invernadero muestran mediante simulaciones, que se darán cambios en la frecuencia, intensidad y duración de fenómenos extremos, como un aumento de los días calurosos, las olas de calor y las fuertes precipitaciones y una disminución de los días fríos. Muchos de los cambios proyectados podrían provocar un aumento del riesgo de inundaciones y sequía en muchas regiones, e impactos predominantemente adversos en los sistemas ecológicos, sectores socioeconómicos y salud humana” (IPCC, 2001).

El cambio climático, al incrementar la variabilidad existente, expresada en condiciones de la intensidad de las precipitaciones de los ciclones tropicales y eventos tipo Niño, en la zona tropical del Pacífico, esta produciendo una mayor presentación de fenómenos complejos como: sequías, inundaciones, además de un incremento de vientos fuertes y de la intensidad de las precipitaciones, con impactos predominantemente adversos en los sistemas ecológicos, sectores sociales, económicos y sobre la salud de la población humana. Las emergencias y desastres pueden ocurrir en cualquier zona, afectando la salud y vida de las personas, además de la infraestructura que los protege, ya sean domicilios, centros de trabajo e incluso hospitales y centros de salud.

Los problemas de salud derivados de los desastres, están relacionados con sus

efectos sobre el ambiente físico, biológico y social, lo que representa una amenaza para el bienestar y la supervivencia. En estos eventos se ven involucrados los refugios, el agua, el saneamiento, las enfermedades causadas por vectores, la contaminación, etc.

Es difícil cuantificar los efectos de los desastres meteorológicos (sequías, inundaciones, tormentas e incendios forestales), porque se informa poco de sus consecuencias secundarias y tardías. Frecuentemente, se reporta a los fenómenos de El Niño, como causantes del incremento de la cifra anual de personas afectadas por catástrofes naturales. A escala mundial, las catástrofes desencadenadas por las sequías se presentan principalmente, durante el año siguiente al comienzo de El Niño.

A nivel mundial, las consecuencias de las catástrofes naturales han ido en aumento, lo que se demuestra por reportes de las compañías aseguradoras¹⁰ que señalan “Que en los últimos diez años, el número de catástrofes naturales ha sido tres veces mayor que en la década de 1960”, lo que demuestra la mayor vulnerabilidad de la población y una mayor frecuencia de fenómenos climáticos extremos.

En el caso de Bolivia, la mayor frecuencia de desastres naturales es evidente en los últimos 20 años, los mismos que van desde inundaciones por granizadas de carácter agudo en la ciudad de La Paz, que transformaron las calles de esta urbe, en ríos turbulentos y peligrosos que arrastraban cuanto encontraron a su paso, produciendo decenas de muertos, hasta impactos solapados y crónicos como la sequías, heladas y otros con serios impactos económicos sobre la agricultura.

¹⁰ Compañía de Reaseguros Munich Re

La tendencia a una mayor frecuencia de catástrofes naturales se debe en parte a la mejora de las notificaciones y en parte a la mayor vulnerabilidad de la población, y existe un aceptable nivel de certidumbre que también el cambio climático global lo está produciendo. En los países pobres, las repercusiones de los desastres pueden limitar y hasta generar un retroceso de los pocos progresos de desarrollo económico y social, que se hubieran obtenido y retardar la recuperación tras catástrofes decenas de años.

Las previsiones climáticas a corto plazo pueden ayudar a mitigar las repercusiones en la salud, pero los sistemas de alerta temprana, aunada a la educación, información y concientización de la población deben llevar a preparar y adaptar a las comunidades locales, ante estos eventos, de tal manera que se provean de mejores medios para afrontar las repercusiones a largo plazo del cambio climático global.

Enfermedades Relacionadas con la Variabilidad Climática

La variabilidad climática puede ser medida en diferentes escalas temporales como: la intraestacional, estacional, interanual, interdecadal y secular. Sin embargo, la mayormente conocida y estudiada es el Niño Oscilación del Sud (ENOS), que se puede manifestar como se mencionó por inundaciones, sequías, áreas de avalanchas, y otros, condicionando una serie de enfermedades que se detallan a continuación:

Áreas inundadas: Infecciones respiratorias agudas, enfermedades diarreicas agudas, enfermedades transmitidas por vectores (dengue, malaria, encefalitis equina, leishmaniasis), enfermedades transmitidas por agua y alimentos contaminados (cólera,

salmonelosis, shigelosis, hepatitis viral, parasitismo intestinal, leptospirosis), enfermedades dérmicas (sarna, infecciones bacterianas y micosis). Suelen incrementarse las mordeduras de serpientes o roedores.

Áreas de sequía: Enfermedades transmitidas por vectores, enfermedades de la piel, diarreas, deshidratación, riesgos por temperaturas ambientales elevadas, quemaduras por exposición al sol, incremento de manifestaciones secundarias en personas con enfermedades cardiovasculares y respiratorias.

Áreas de avalanchas y deslizamientos: Ahogamiento y traumatismos múltiples, ahogamientos, inundaciones, deslizamientos, destrucción de viviendas; daños en infraestructura vial, sanitaria, agricultura, que repercuten en la salud.

De todas las enfermedades señaladas y debidas a fenómeno del ENOS en las Américas, se ha visto el recrudecimiento de varias enfermedades como:

Cólera

El cólera se presentó entre 1991 y 1997, y determinó más de un millón trescientos mil casos, y más de doce mil defunciones. En el período de máxima dispersión coincidió con el ciclo de El Niño, con predominio en las zonas costeras del Pacífico, por lo que se considera que la epidemia de Cólera iniciada en Perú, en enero de 1991, estuvo relacionada con este fenómeno⁴⁹.

En los últimos años, la notificación de casos se ha reducido, habiéndose presentado brotes en Brasil, Argentina y Centroamérica. La OPS, estima que el control del cólera en la Región de las Américas requirió más de US\$ 200.000 millones y décadas de mejoría del

abastecimiento de agua, control de alimentos, manejo adecuado de aguas servidas, eliminación sanitaria de excretas, y desarrollo de prácticas higiénicas saludables.

Dengue

El ciclo ENOS, afecta la presentación y frecuencia del Dengue, dado que induce cambios en las prácticas de almacenamiento doméstico de agua y en la acumulación de aguas superficiales. Entre 1970 y 1995, el número anual de epidemias de dengue en el Pacífico Sur se relacionó positivamente con las condiciones del ciclo de La Niña (es decir, mayor calor y humedad).

El Dengue, esta presentando un incremento notable de casos en toda América, produciendo múltiples brotes epidémicos. “El vector *Aedes aegypti*, después de una reducción notable en la década de los cincuenta y sesenta, ha vuelto a distribuirse en la mayoría de los países del Continente, a lo que se agrega que se ha reintroducido en la Región el *Aedes albopictus*, incrementado el riesgo de difusión de la enfermedad” (CEPIS-OPS/OMS, 2001)

Fiebre Amarilla

Esta enfermedad, esta presente en países como Bolivia que cuentan con áreas Amazónicas, donde se presentan brotes epidémicos periódicos en poblaciones relacionadas con áreas boscosas donde la enfermedad en enzootica entre los monos y que puede verse favorecida por eventos Niño.

Malaria

Tradicionalmente, la malaria se presentaba en regiones bajas de las zonas tropicales, sin embargo este panorama esta cambiando dada su sensibilidad al clima, que se refleja en las áreas limítrofes de desiertos y

mesetas, en las que un aumento de las temperaturas o las precipitaciones asociado a El Niño, esta incrementando esporádicamente la transmisión de la enfermedad. Estas zonas de malaria inestable en los países en desarrollo, condiciona que las poblaciones carezcan de inmunidad protectora y son propensas a incrementos en la mortalidad general determinada por la presentación de epidemias cuando las condiciones meteorológicas favorecen su transmisión.

Entre 1955 y 1969, la OMS llevo a cabo una campaña de erradicación global de la malaria, lográndose la desaparición de zonas previamente afectadas y fue erradicada en todos los países desarrollados, sin embargo en 1997, informo que el 90% de los países endémicos se hallaban desarrollando nuevas estrategias contra ella. Durante 1996 se reportaron aproximadamente 10.000 casos importados de malaria dentro de la comunidad europea (OPS/OMS, 2001).

VULNERABILIDAD DE LA SALUD HUMANA EN BOLIVIA

Enfermedades sensibles al clima en Bolivia

Las enfermedades sensibles al clima son principalmente las enfermedades infecciosas y las transmitidas por vectores, por lo que a continuación se describe la situación actual de algunas de estas patologías, que fueron objeto de estudio en el país como: el dengue, la malaria en todas las edades, las Enfermedades Diarreicas Agudas (EDAs) y las Infecciones Respiratorias Agudas (IRAs) en menores de cinco años.

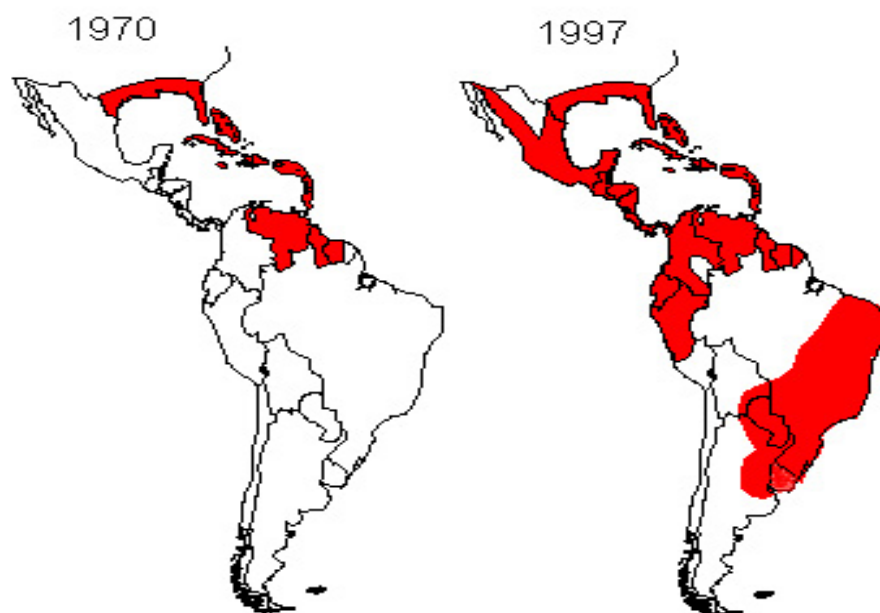
Dengue

El Dengue es una enfermedad de carácter viral, producida por el Virus del mismo nombre (DEN) que pertenece al género *Flavivirus*, de la familia *Flaviviridae*. Existen 4 serotipos: DEN-1, DEN-2, DEN-3 y DEN-4. Siendo más frecuente en Bolivia el DEN-2, (CENETROP, AIS, IMT 1998).

En Bolivia, se documentó la circulación del virus del dengue serotipo 1 y la ocurrencia de casos de dengue clásico desde 1987, registrándose la re-emergencia del Dengue serotipo 1 en los Departamentos de Santa Cruz, Tarija y el Beni. En 1999 y 2000, se reportaron 27 y 80 casos de dengue clásico y en los primeros seis meses del año 2003 se reportaron dos casos de dengue

hemorrágico confirmados en laboratorio y otros 15 casos probables pendientes de clasificación final.

Las causas que señaladas para el incremento de los casos de Dengue en Bolivia, se centran al incremento de los viajes aéreos, las condiciones climáticas, el comercio internacional de neumáticos usados, que al acumular agua de lluvia, constituyen hábitats ideales para la postura de huevos, la urbanización no planificada, las dificultades en el abastecimiento de agua, sumados al deterioro de los programas de control del vector, la carencia de insecticidas con buena relación de costo/efectividad y la falta de educación sanitaria (OPS).



Mapa 11. Distribución de *Aedes aegypti* en América en 1970 y 1997. La Figura muestra el rápido incremento de las áreas de distribución del mosquito y la vulnerabilidad de Bolivia.
www.lawestvector.org/Dengue.htm

El dengue es transmitido por la picadura de hembras de los mosquitos, *Aedes aegypti*, infectados con el virus. Solamente las hembras son hematófagas, requiriendo la

sangre para la producción de huevos. Las epidemias suelen presentarse en la época de lluvias que favorece la proliferación del

vector, predominantemente entre enero – mayo o sea en la estación lluviosa.

Las epidemias deben reunir las siguientes características para hacerse presentes: la presencia de mosquitos vectores eficientes, una adecuada cantidad de personas susceptibles y una cepa virulenta del virus, condiciones que están presentes en las áreas endémicas del país.

Las medidas preventivas que se han realizado en el país son el control del paciente, (empleo de tela metálica o mosquitero), rociamiento de los alojamientos con insecticidas activos contra las formas adultas o de acción residual, control ambiental con eliminación de mosquitos y eliminación de criaderos alrededor de las viviendas y programas de educación sanitaria. Sin embargo el área de distribución del mosquito ha subido fuertemente en las últimas décadas.

Malaria

La malaria muestra una tendencia creciente: en 1987 se registraron 24.891 casos y en 1996, 64.135 casos en ocho de los nueve departamentos, seis de los cuales se encuentran en zonas de alto riesgo con transmisión permanente, evidenciándose una triplicación de casos de 9 años. Esta enfermedad presenta, por lo tanto, desde 1950 un sostenido incremento en el índice parasitario anual (IPA), habiéndose *Enfermedades Diarreicas Agudas (EDAs)*

Las enfermedades diarreicas¹¹ producen la mortalidad de cerca de dos millones de niños cada año en los países en desarrollo, haciendo que sea la segunda causa de

marcado 1998 como el año en que se presentaron la mayor cantidad de casos que alcanzó a 25 casos por 1.000 habitantes. Actualmente, existe transmisión activa de malaria en el 75% del territorio nacional, donde vive la mitad de la población boliviana. El año 2000 se notificaron 31.468 casos de malaria por *P. vivax* con un índice parasitario anual (IPA) de 8,8 por mil y 2.536 por *P. falciparum*, en contraste con los 74.350 (IPA 24,8 por mil) y 11.414 casos, respectivamente, en 1998.

La malaria ha reaparecido en extensas zonas en las que ya no había transmisión y se han presentado brotes, en áreas que tradicionalmente por sus condiciones altitudinales y climáticas no permitían el desarrollo de este tipo de dolencia, tal el caso del brote de malaria no importada, presentado en 1998 en la comunidad de Tuntunani en Carabuco del Departamento de La Paz, (Rutar, 2000) situado por encima de los 2800 m.s.n.m. Por otra parte, se ha reportado resistencia de las infecciones por *Plasmodium falciparum* a los medicamentos habituales, lo que induciría a utilizar medicamentos más complejos que encarecen los costos de atención. La Figura No. 4.1, muestra el IPA de malaria a nivel municipal, demostrando que las zonas más vulnerables se encuentran en las zonas bajas del país, vulnerabilidad que se espera que se incremente bajo condiciones de cambio climático.

mortalidad infantil, sin embargo la diarrea puede en la mayoría de los casos ser prevenida y tratada, puesto que un manejo adecuado puede salvar hasta el 90% de vidas, que se perderían por efecto de esta enfermedad.

Bolivia, comparte con los países en desarrollo de bajos ingresos, una situación sanitaria de alta morbimortalidad particularmente referida a su población

¹¹ Se define como el aumento en el número y/o disminución en la consistencia de las deposiciones o la presencia de moco y/o sangre en ellas con riesgo de provocar deshidratación

menor de cinco años. Pese a los avances obtenidos por el país, aún no se registran las reducciones necesarias en la incidencia y prevalencia de las enfermedades. Las Encuestas Nacionales de Demografía y Salud (ENDS), continúan señalando las elevadas cifras de morbimortalidad y las principales causas de mortalidad en la niñez constituidas por: las EDA's seguidas de las IRA's y las afecciones neonatales.

En promedio, los niños bolivianos sufren 6 episodios diarreicos de 5.5 días de duración cada uno, ocasionándoles cuando no es la muerte, la disminución del apetito y la reducción en la absorción de los alimentos. Por tanto, las diarreas contribuyen a los elevados niveles de desnutrición. Sin duda, los rotavirus son responsables de un gran número de cuadros diarreicos en el país, seguidos de infecciones por *Echerichia coli*, *Entamoeba histolytica* y *Giardia lamblia*.

Entre los factores de riesgo que presentan los niños en Bolivia para esta alta incidencia de EDA's, se encuentran los deficientes hábitos de higiene, consumo de agua y alimentos contaminados, déficit de saneamiento básico y factores climáticos lo que demuestra su alta dependencia con modificaciones inducidas por efecto del cambio climático. De hecho de todos los factores de riesgo, tradicionalmente se ha relacionado para las diarreas de etiología viral a las enfermedades diarreicas agudas con las variaciones de temperatura y en particular con el frío del invierno¹². Por el contrario, las elevadas temperaturas, la precipitación pluvial y la humedad del verano se relacionan con las diarreas de origen bacteriano. Por tanto las variaciones

¹² De esta creencia popular, nace el concepto de que son los enfriamientos los que producen las IRA's, por lo que los padres abrigan demasiado y mantienen encerrados a sus niños durante las épocas de riesgo.

en los patrones meteorológicos, que se presentan durante eventos de variabilidad climática (El Niño, La Niña, etc.) y los debidos al cambio climático global, tienen una importante influencia sobre la incidencia, prevalencia y sobre el curso de estas enfermedades especialmente en los menores de cinco años de edad, como el grupo etáreo más susceptible.

Infecciones Respiratorias Agudas

Las IRAs son la segunda causa de mortalidad de niños menores de 5 años, con una prevalencia de 5 episodios por año y con mayor letalidad en niños menores de 2 años. Dado que estas enfermedades son directamente dependientes de las variaciones térmicas, la influencia del cambio climático es obvia, esperándose que se presenten brotes más intensos durante los épocas de extremos térmicos.

Impactos de la variabilidad climática evidenciados en Bolivia

En Bolivia, las características fisiográficas (Altiplano, Valles y Tierras bajas), su posición latitudinal (Tropical) y la presencia de la cordillera de los Andes, condicionan los efectos de eventos climáticos extremos, por lo que es frecuentemente azotado por fenómenos como sequías, inundaciones, granizadas, temperaturas extremas etc.

Durante la presencia de "El Niño", se evidencia en general un exceso en los patrones de precipitación pluvial y aumento de las temperaturas en la región amazónica del país con la presencia de áreas inundadas y un déficit de lluvias en el altiplano valles y tierras bajas del sur con las consiguientes sequías y aumento de las temperaturas en la región sudoeste del país.

Estudios previos realizados en Cuba (Ortiz et al., 2000) relacionados a la influencia del clima, su variabilidad y el cambio climático sobre varias enfermedades señalan que las Enfermedades Diarreicas Agudas (EDA's) presentan índices estacionales altos en los meses calientes y lluviosos (Mayo y Octubre) y que la variabilidad climática determinó en Cuba la presentación de picos epidémicos de enfermedades durante los inviernos cálidos en el caso de la isla.

Respuesta de las Enfermedad Diarreicas Agudas (EDA's)

Dado que los factores de riesgo para la ocurrencia de EDA's se centren en las variaciones térmicas y en la baja accesibilidad al agua potable o sin contaminación, la importancia de las variaciones en los patrones meteorológicos, que se presentan durante eventos de variabilidad climática (el Niño, la Niña, etc.) y los debidos al cambio climático global, estas evidenciando su influencia sobre la incidencia, prevalencia y sobre el curso de estas enfermedades predominantemente en el grupo etáreo más vulnerable como es el de los menores de cinco años de edad.

Estudios previos realizados por Aparicio y Ortiz (2000) para las capitales de Departamento en Bolivia relacionados a la influencia del clima, y su variabilidad para cuatro enfermedades señalan que las Enfermedades Diarreicas Agudas (EDA's) presentan una marcada fluctuación estacional, que está de acuerdo a las variaciones del clima en el país, con índices estacionales altos en dos periodos (Figura 20):

El primero entre los meses de abril - mayo, coincidiendo con la época de menor precipitación (época seca) e inestabilidad de temperaturas que señalan el inicio del invierno austral.

El segundo periodo se manifiesta entre los meses de octubre – diciembre, pudiendo en algunas zonas hacerse presente tempranamente como en agosto o extenderse hasta enero del siguiente año, coincidiendo con la presencia de precipitaciones abundantes y temperaturas más elevadas, condiciones climáticas que favorecen la contaminación de las aguas potables, y la mayor replicación bacteriana.

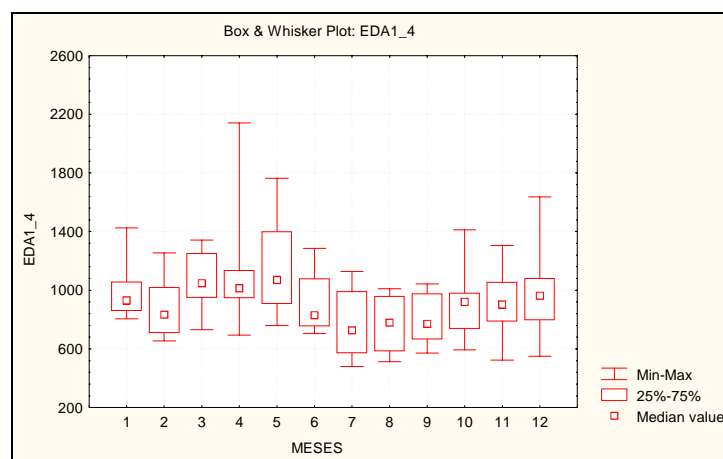


Figura 20. El alto patrón estacional de las EDA's en niños de 1 a 4 años *Fuente:* Elaboración Propia

Es interesante agregar que las EDA's que predominan en las épocas lluviosas, cálidas y de transición corresponden a los municipios que se hallan localizados en las regiones bajas de Bolivia, mientras que las EDA's predominantes en los meses fríos o de transición hacia el invierno predominarían en las ciudades más altas y obviamente con un clima influido por la Cordillera de los Andes.

Respuesta de las IRA's y Neumonías

Las Infecciones Respiratorias Agudas y las neumonías presentan en la mayoría de los municipios estudiados una marcada fluctuación estacional, la cual está en correspondencia con la marcha de las variaciones del clima en Bolivia.

Según el patrón epidemiológico de la enfermedad, la mayor vulnerabilidad en el país, se presenta en las zonas altiplánicas (Figura 21) y se manifiesta en los meses de mayo - agosto, coincidiendo con el periodo de déficit de precipitaciones, inestabilidad climática y bajas temperaturas, que caracterizan al periodo de invierno austral.

Sin embargo existe también la presentación bimodal con un pico absoluto coincidente con el periodo de transición otoño- invierno y un segundo pico en octubre coincidente con valores positivos que señalan el incremento del periodo lluvioso y el incremento de temperaturas.

En las zonas bajas las anomalías no tienen efectos sobre la enfermedad, (porque son leves o porque los mecanismos de adaptación corporal son suficientes para compensar el desequilibrio) o la misma tiene una presentación unimodal coincidente con la época de lluvias, cuando la inestabilidad térmica, y el exceso de humedad condicionarían la presentación de los casos. En general, se puede decir que las IRA's y Neumonías en las regiones estudiadas, aparecen a finales del otoño, predominan en invierno y presentan cierto repunte en los meses de transición en Bolivia (Mejía H y Moscoso A, 2001). Estos datos demuestran que bajo un escenario de cambio climático en el que se intensificarían los extremos térmicos, la incidencia de las IRA's sería mucho mayor.

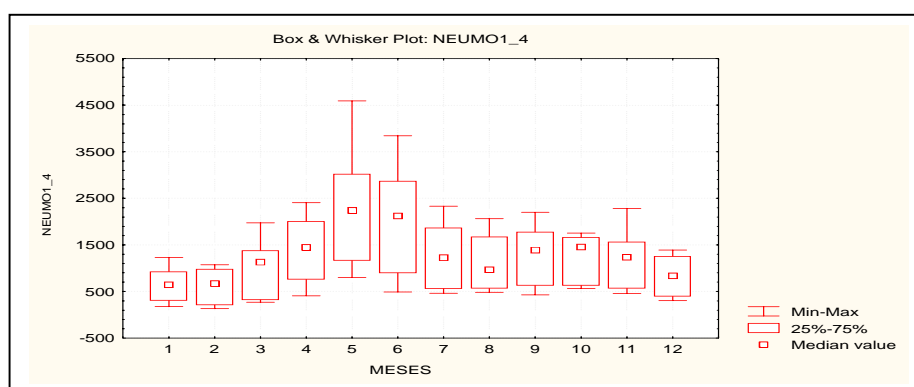


Figura 21. Patrón estacional de las IRA's más neumonías *Fuente:* Elaboración Propia

Respuesta de la Malaria

La malaria presenta una fluctuación estacional, que está en correspondencia con la marcha de las variaciones del clima en

Bolivia. Según el patrón epidemiológico de la enfermedad la mayor vulnerabilidad se halla localizada en zonas bajas y cálidas como la localidad de Guayaramerín 130 m.s.n.m, (aunque ya se están registrando

casos a alturas mayores como en Tarija a 1854 m.s.n.m y a 2903 m.s.n.m como en Sucre e incluso en zonas muy altas y muy cercanas al lago Titicaca, como la epidemia de malaria en Tuntunani que se presentó en 1998), y se manifiesta en los meses de noviembre - marzo, coincidiendo con el periodo de precipitaciones abundantes, temperatura y humedad relativa elevadas.

El Departamento del Beni con las localidades de Guayaramerín, Riberalta, Puerto Silés, Magdalena y Baures, tienen los Índices parasitarios de Malaria más altos del país, por lo que revisten para Bolivia una singular importancia (Figura 21).

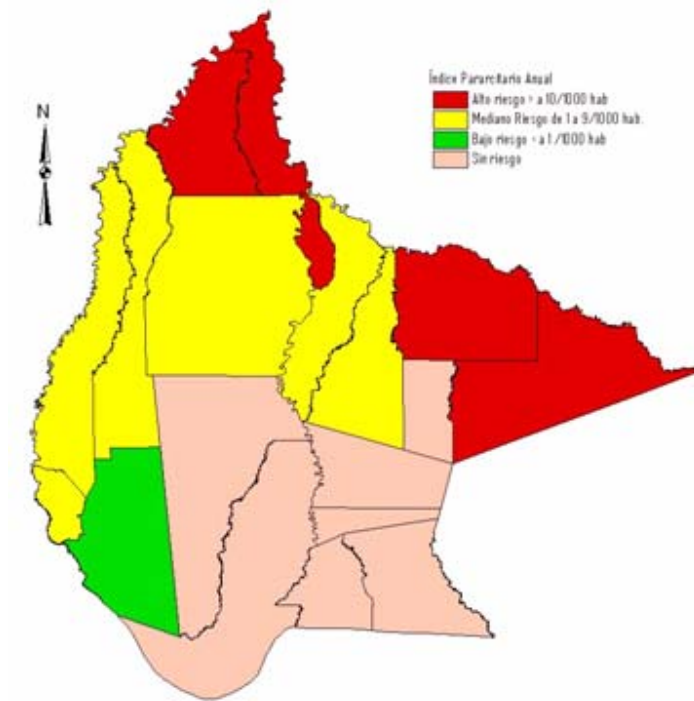
El análisis climático de la zona, permite constatar que existen condiciones climáticas locales que permiten la transmisión malárica durante un elevado número de meses, como es el caso de Guayaramerín (Figura No. 22).

De acuerdo a resultados de Aparicio M y Ortiz P. (2000) la sensibilidad de la malaria al clima en Bolivia es muy elevada y se está produciendo un cambio en la incidencia (incremento) y la presentación de casos de malaria durante un mayor número de meses. La fuerte dependencia de la malaria a la variabilidad climática, se manifiesta en la

mayor respuesta de la enfermedad durante los meses de noviembre – marzo. Esto se puede demostrar por hechos tales como:

- En estudios de campo realizados por las temperaturas de colecta de formas adultas exitosas, oscilaron mínimamente a temperaturas de alrededor de 19 °C y 92% de humedad.
- La variación mensual del índice de picaduras hombre noche (IPHN) de *Anopheles darlingi* comienza incrementarse a partir del mes de diciembre, manteniéndose hasta marzo, con un pico principal en enero, comenzando a declinar en abril (Acosta, 1967).
- El *Anopheles darlingi*, uno de los vectores transmisores de la malaria más importantes en el norte de Bolivia y departamentos limítrofes del Perú, presenta mayor densidad poblacional en meses de la estación lluviosa, con comportamientos de picadura distintos según localidad y estación (León W. et al., 2003).

El comportamiento de picadura del mismo vector es unimodal (entre las 20:00 y 23:00 hrs.). Sin embargo, existen reportes de un comportamiento de picadura bimodal durante la época lluviosa (León W. et al., 2003).



Mapa 12. Áreas endémicas de malaria en el Departamento del Beni. *Fuente.* Programa Nacional de Malaria –MSD 2004

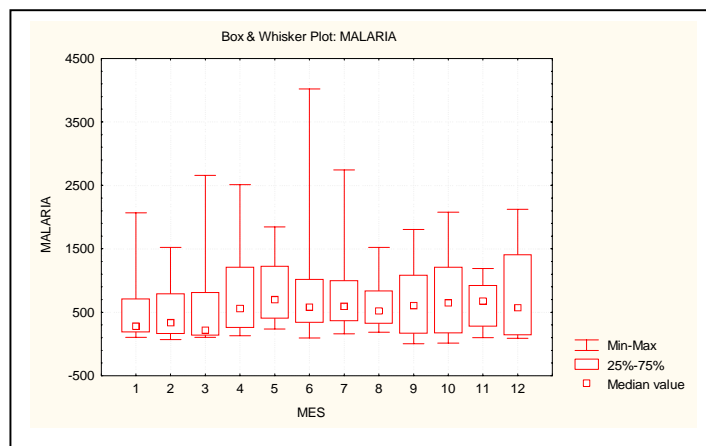


Figura 22. Patrón estacional de la malaria en Guayaramerín. Fuente: Elaboración Propia

Respuesta del Dengue

El Dengue, presenta una marcada fluctuación estacional, en las zonas que están tendiendo a tornarse endémicas luego de la reemergencia de esta enfermedad en Bolivia, mientras que en otras zonas solo se cuenta con claros brotes epidémicos con

una importante correlación con los fenómenos climáticos y particularmente con los eventos intensos del Fenómeno del Niño,

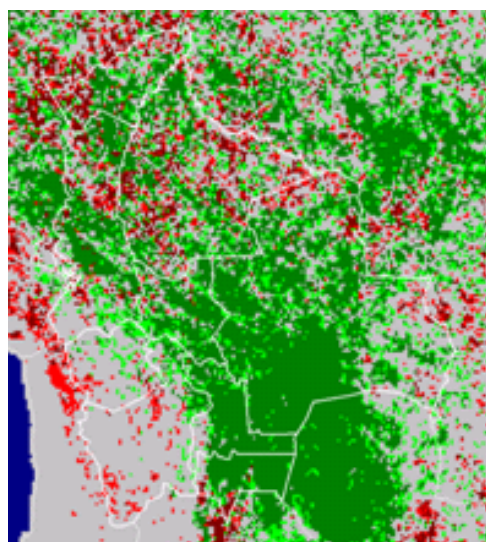
Según los patrones epidemiológicos de la enfermedad la mayor vulnerabilidad en Bolivia, se manifiesta en el periodo

comprendido entre los meses de enero - mayo, coincidiendo con la época de mayor precipitación, temperaturas elevadas, y alta humedad relativa, que favorecen la reproducción y desarrollo del vector.

El brote de dengue que se presentó en los primeros meses de 1998 en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra, coincidió con niveles elevados del Índice de Vegetación (NDVI), lo que muestra indirectamente la relación de esta enfermedad, con la precipitación pluvial y el incremento de las temperaturas en la zona (Figura. 24).

El dengue en Bolivia tiene una presentación en brotes aislados íntimamente relacionados con la estación lluviosa, humedad relativa y

temperaturas elevadas, presente de noviembre – abril, en zonas bajas y cálidas del país, habiéndose encontrado también una correlación con efectos intensos del ENSO 1997-1998 en Santa Cruz de la Sierra. Se puede percibir también una correlación indirecta con el NDVI de la zona 15 días antes del incremento marcado de los casos, lo que sugiere que existieron las condiciones climáticas adecuadas para la aparición e incremento del número de focos, que al combinarse con las características del terreno y la gran cantidad de reservorios posibles (desechos de botellas, llantas, etc.) en dicha ciudad, permitió la presencia de una gran cantidad de criaderos de los vectores y por lo tanto la enfermedad.



Mapa 13. NDVI en Bolivia durante la segunda quincena de Febrero de 1998 *Fuente:* www.fao.org

Respuesta de la Leishmaniasis

La leishmaniasis es una enfermedad de carácter parasitario transmitida por *Phlebotomus* y *Lutzomias*. Presenta varias formas de acuerdo a su presentación clínica (cutánea, mucocutánea, cutánea difusa y visceral); su gravedad, varía en función del área geográfica de ocurrencia, la especie

parasitaria asociada y el vector involucrado en su transmisión.

En 1993 la OMS estimó la prevalencia mundial en 12 millones y una población en riesgo de 350 millones de personas.¹³ Está presente en América desde México hasta

¹³ Boletín Epidemiológico OPS Vol. N. 1995

Argentina y Paraguay, frecuentemente en zonas boscosas, cálidas y húmedas, en una altura menor a 750 m.s.n.m, sin embargo se han encontrado casos en alturas entre 1.000 a 2.700 m.s.n.m¹⁴. Un vector importante *Lutzomias longipalvis* se encuentra con frecuencia a 1.800 m.s.n.m. Es una enfermedad que puede encontrarse todo el año; sin embargo, es más frecuente cuando la temperatura y la humedad le son más favorables. En Bolivia, se ha reportado para los casos de Leishmaniasis un límite altitudinal de 1800 m.s.n.m. (Le Pont y Desjeux, 1986) y su incidencia es cada vez más evidente.

El análisis de los niveles endémicos de la leishmaniasis por Municipios, presenta una marcada afectación de aquellos que se hallan ubicados en las ecoregiones de Yungas, zonas húmedas de la faja subandina, sabanas inundadas en el Beni, bosque húmedo templado en Santa Cruz y el bosque muy húmedo templado en la región sur de Tarija. También, se aprecia una correlación de los casos de leishmaniasis siguiendo los poblados localizados a lo largo de las carreteras que atraviesan el país, siendo este factor mucho más marcado en la región norte y noreste del país.

Con el fin de estudiar la relación entre la Leishmaniasis y el clima se analizó esta enfermedad en el Norte del Departamento de La Paz, Pando y Beni (Figura 24), observándose que esta enfermedad muestra una acentuación estacional e interanual de su comportamiento como consecuencia de las correspondientes variaciones interanuales y estacionales de las variables meteorológicas (Aparicio y Ortiz., 2000).

Los resultados del estudio estacional indican que el periodo de alta incidencia

corresponde a los meses de junio a septiembre dándose los máximos en los meses de julio y agosto fundamentalmente. Según las condiciones climáticas en la zona, estos picos coinciden con el período cuando las temperaturas se incrementan por menor nubosidad, trayendo consigo condiciones favorables para la incubación y proliferación del vector, así como para la incubación en los seres humanos. Al mismo tiempo se observa, que el incremento en el número de casos coincide con las épocas del año¹⁵ en que la región de estudio recibe gran cantidad de inmigrantes ocasionales, en función de las cosechas de arroz (principalmente), maíz, yuca y porotos¹⁶, como se observa en la Figura 25 para el departamento del Beni.



Figura 23. Pozos de agua que se convierten en criaderos de vectores que por la elevación de la temperatura se convierten en agentes de transmisión de las enfermedades vectoriales. (Fotografía Marilyn Aparico, 2006.)

¹⁴ Se han descrito casos a esta altura en el Perú

¹⁵ Marzo – Abril y Agosto - Septiembre

¹⁶ Fuente: Dr. David Cruz, Consultor sector Agricultura, Ganadería y Desarrollo Forestal P.N.C.C

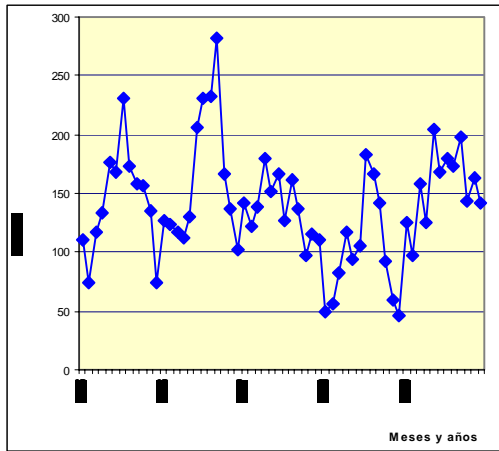


Figura 24. Incidencia de la Leishmaniasis en el norte de La Paz, Pando y Beni durante las gestiones 1995 – 1999. Fuente: Elaboración propia en base a datos del Subsistema Nacional de Información en Salud (SNIS 2000)



Figura 25. Estacionalidad de la leishmaniasis en el Departamento del Beni.

TENDENCIA INTERANUAL DE LAS ENFERMEDADES CONDICIONADAS POR EL CAMBIO CLIMÁTICO

Tomando como ejemplo Santa Cruz de la Sierra, al analizar la dinámica del patrón de variación interanual, de las EDA's, e IRA's, con estadígrafos de tendencia,¹⁷ se percibe que existe una clara tendencia al incremento de las EDA's (Figura 27), y una disminución de las IRA's y

¹⁷ Wald-Wolfowitz Spearman Mann Pettitt

neumonías.

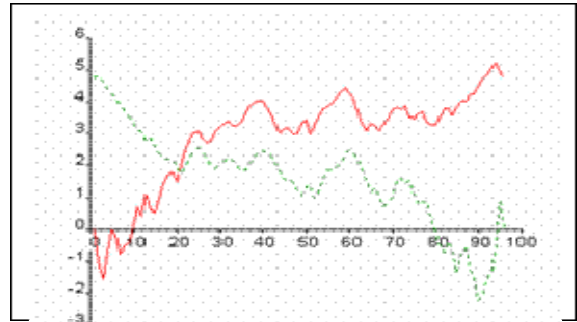


Figura 26. Tendencia del comportamiento de los casos de EDA's en niños de 1-4 años en Santa Cruz de la Sierra. Fuente: Elaboración Propia.

El análisis de los casos de Dengue muestra que la presentación de esta enfermedad es inestable, presentándose en brotes, dado que no se han consolidado aún zonas endémicas para esta patología, sin embargo existe el riesgo potencial de ello. El Cuadro No 4.1 muestra los resultados de la evaluación de las tendencias.

Estudio de Indicadores Tempranos del Cambio Climático

De acuerdo a los resultados de un estudio sobre la vulnerabilidad y adaptación de la Salud Humana ante los efectos del Cambio Climático en Bolivia (Aparicio y Ortiz, 2000), que se refirió a dos enfermedades (Malaria y Leishmaniasis) en el Norte de La Paz, Pando y Beni, en cuanto a su vulnerabilidad actual ante el impacto del cambio climático se puede concluir lo siguiente:

El análisis del comportamiento por meses de la malaria en la Región Norte de Bolivia, tomando en cuenta las dos especies parasitarias que la provocan *Plasmodium falciparum* (FA), y *Plasmodium vivax* (VI), muestra el siguiente patrón estacional (Figura 28):

Cuadro 27. Tendencia del dengue en relación a la variabilidad interanual

| LOCALIDAD | GRUPO DE EDAD | CAMBIO DE LA TENDENCIA | ANÁLISIS DE LA TENDENCIA |
|-------------------------|------------------|------------------------|---|
| Santa Cruz de la Sierra | Todas las edades | Enero de 1997 | Ascendente con estabilización a partir de enero/1997, aunque continua oscilando |
| Cochabamba | Todas las edades | Diciembre 2002 | Presentación en brotes |
| Cobija | Todas las edades | Diciembre 2002 | Presentación en brotes |
| Trinidad | Todas las edades | Octubre 2001 | Decreciente a partir de octubre 2001 |

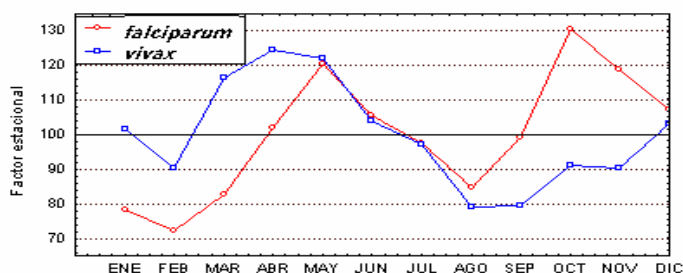


Figura 27. Estacionalidad de la malaria por *P. falciparum* y *vivax* en la región Norte de Bolivia (Aparicio y Ortiz, 2000).

Los casos de malaria producidos por el *Plasmodium falciparum* presentan una estacionalidad bimodal, con períodos de máxima notificación en octubre - noviembre y marzo – mayo. En cuanto a la

cantidad de enfermos reportados a causa del *Plasmodium vivax*, sólo se observa un pico en los meses de marzo a junio siendo por lo tanto de presentación unimodal.

Cuadro 28. Contribución de cada variable al índice IB

| VARIABLES | CONTRIBUCIÓN DE LAS VARIABLES | |
|---------------------------------|-------------------------------|--------------|
| | IB1 | IB 2 |
| Temperatura mínima TN | -.819647 (3) | -.359665 |
| Temperatura máxima TX | .173990 | -.934904 (1) |
| Oscilación OSC | -.476635 | -.343927 |
| Humedad relativa HR | -.874332 (2) | .363433 |
| Precipitación pluvial PP | -.902913 (1) | -.024033 |
| Expl.Var | 2.508982 | 1.254351 |

El análisis de la estacionalidad muestra que el pico de casos de malaria producidos por *Plasmodium vivax* se presenta antes que los casos producidos por *Plasmodium falciparum* (FA), con un período de coincidencia que va de mayo a agosto,

probablemente correspondiente a los casos mixtos. Por lo tanto, la malaria es una enfermedad con una marcha estacional bien definida.

La fluctuación en el número de casos a lo largo del año se explica porque la población total de mosquitos varía según las estaciones del año atendiendo al régimen pluviométrico, que se concentra fundamentalmente en los meses de octubre-abril con los mayores acumulados en el primer trimestre del año y de las otras variables meteorológicas. Estas variaciones contribuyen al Índice de Bultó¹⁸ (IB) utilizado para explicar los impactos climáticos sobre las enfermedades (Cuadro No. 4.2).

Aunque el clima debe ser considerado como un todo, el cuadro anterior presenta los pesos o contribuciones de cada variable al IB, es decir el orden de importancia de cada variable. Del Cuadro se deduce que la precipitación pluvial adquiere la mayor importancia seguida de la humedad relativa y de la temperatura mínima. En el trabajo se concluye que el comportamiento de la enfermedad está muy ligado al comportamiento del clima en los meses anteriores a la presentación de los casos. Esto significa que si las condiciones climáticas fueron favorables para el aumento y proliferación del vector y del parásito, cabe esperar que en los meses subsiguientes la incidencia de los casos aumente.

Por lo tanto, los retardos en las variables climáticas en relación a la presentación de casos pueden ser utilizados para diseñar sistemas de alerta temprana, que pueden proveer señales confiables sobre el patrón de presentación de nuevos casos, brotes e incluso epidemias, lo que podría coadyuvar a que el sistema de salud prevenga los daños y minimice los costos de operación.

En el caso de la leishmaniasis, la Figura 28, muestra que la mayor incidencia se registra en los meses secos (junio, julio y agosto), probablemente debido a que la reproducción vectorial se realiza en épocas cálidas y húmedas y al tiempo de incubación de los parásitos, que recién estarían viables para producir la enfermedad en la siguiente época seca.

¹⁸ El índice de Bultó integra los parámetros fundamentales del clima, considerando la autocorrelación de las observaciones. Este índice engloba el comportamiento simultáneo mensual de las variables climáticas seleccionadas (TX, TN, OTD y PP), así como la influencia del Evento El Niño/Oscilación del Sur (ENOS) mediante las series del Índice de Oscilación del Sur y el índice IE (Cárdenas, 1994). La inclusión de la influencia del ENOS dentro del Índice de Bultó puede considerarse como una expresión del forzamiento de la variabilidad natural. El IB constituye una adecuación a los modelos multivariados (1995), para el estudio del impacto de contaminantes en metales, trasladado a los estudios de impactos sobre la salud.

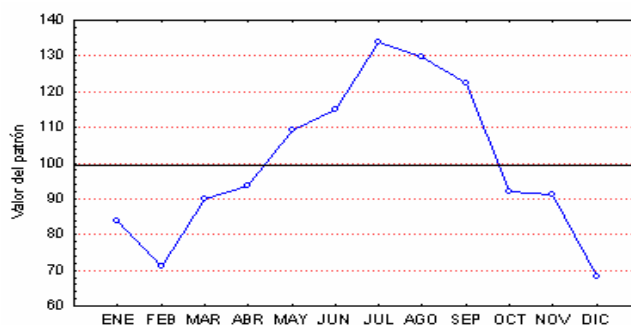


Figura 28. Estacionalidad de la Leishmaniasis en la región de estudio

Al realizar la evaluación de cómo el clima influye en el comportamiento de esta enfermedad, se pudo corroborar que existe una fuerte asociación del orden de 0.78 entre el IB y los casos de Leishmaniasis,

con la particularidad que las variables que caracterizan al IB con mayor peso son la precipitación (PP), humedad (HR) y la temperatura mínima (TN) respectivamente.

Cuadro 29. Valor de los estadígrafos de tendencia para la Leishmaniasis

| ESTADÍGRAFO | VALOR DEL ESTADÍGRAFO |
|----------------|---|
| Kendall Mann | -0.235983 (n.s) |
| Spearman | -0.103724 (n.s) |
| Wald-Wolfowitz | 5.051966** |
| Pettit | + 223.3 y -254.0 (agosto 1996 y enero 1999) |

** p<0.001 (altamente significativo), n.s (no significativo)

El Cuadro 29 Muestra que los datos presentan correlación serial según la prueba de Wald-Wolfowitz, que presenta como el comportamiento de cada mes depende de lo que sucedió en los meses anteriores, siendo la persistencia más importante la del mes actual con los dos meses anteriores. Estos resultados permiten asegurar que las condiciones que se presentan en un mes determinado en la enfermedad dependen de lo sucedido en los dos meses anteriores en el comportamiento de la propia enfermedad y de las condiciones prevalecientes en el clima en esos meses.

Modelos predictivos para estudiar enfermedades en escenarios de Cambio Climático

El Estudio de la Vulnerabilidad y Adaptación de la Salud Humana ante los efectos del Cambio Climático en Bolivia (Aparicio y Ortiz, 2000), se concentró en dos enfermedades (malaria y leishmaniasis) en el Norte de La Paz, Pando y Beni, en cuanto a su vulnerabilidad actual y proyectada ante el impacto del cambio climático. Para este estudio, se seleccionó el período 1991-1998, como años bases para realizar las estimaciones del comportamiento futuro de la variabilidad. Por esta razón, a continuación se realiza una descripción del comportamiento y las tendencias del índice IB. Así mismo, se discuten las diferencias en los impactos de la variabilidad climática en los períodos 1961-1990 (línea base) y 1991-1998 (clima actual) (Figura 29).

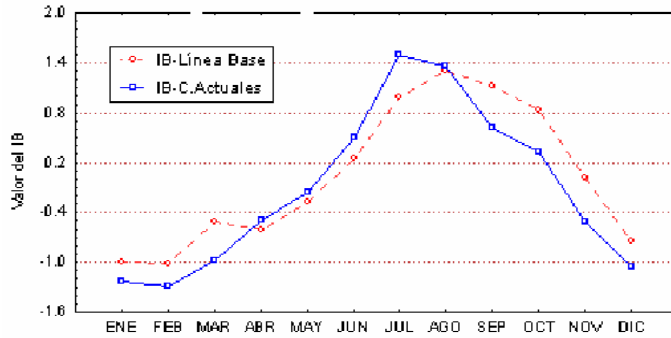


Figura 29. Comportamiento de las condiciones medias actuales y de la línea de base respecto al valor del IB en la región de estudio

Si se comparan las proyecciones del IB para la línea base y el clima actual, se observan variaciones interesantes, que apuntan hacia la ocurrencia de un calentamiento en los meses de Abril - Agosto. Este calentamiento podría modificar el patrón de ocurrencia de precipitaciones de forma sustancial, para lo que los sistemas de salud deberán estar preparados.

Impactos de la variabilidad en el comportamiento de las enfermedades

Ante anomalías climáticas importantes, las enfermedades no siguen patrones estacionales, originando episodios epidémicos o reducciones notables en su incidencia fuera de su temporada normal. En el caso de la malaria, se realizó una proyección (Aparicio y Ortiz, 2000) bajo escenarios de cambio climático (Figura 29). Las proyecciones mostraron que la malaria

por *P.falciparum* se intensificaría hasta 2010, y variaría su patrón estacional, transformándose en trimodal con la emergencia de un primer pico en enero, un mantenimiento del pico - abril mayo y un desplazamiento del tercer pico de octubre - noviembre a agosto - septiembre. Es decir, que la enfermedad no solo se intensificaría sino que variaría su patrón estacional intranual como consecuencia del cambio climático. Este proceso acentuará el riesgo sanitario para los dos tipos de malaria (producida por *P.vivax* y por *P.falciparum*), ya que su incidencia se incrementaría en 12 a 20% en los próximos años. Sin embargo la situación futura sería mucho más grave si los casos de malaria son producidos mayormente por *P. falciparum* que podría originar un incremento de la tasa de mortalidad de la población dado el elevado porcentaje de letalidad de este tipo de malaria.

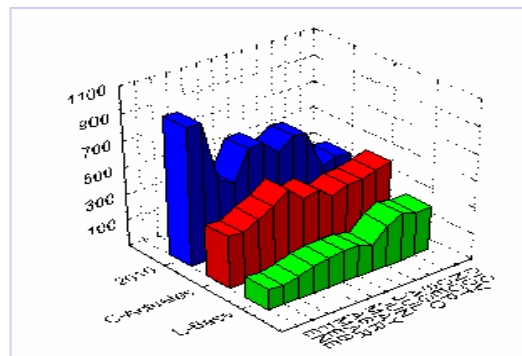


Figura 30. Línea de base, situación actual y proyección al 2010 para la incidencia de malaria producida por *P. falciparum*

Desde el punto de vista de las ecoregiones, se observó que las áreas hiperendémicas de malaria corresponden al bosque húmedo tropical (municipios de Pando), a la transición con el bosque húmedo subtropical, donde se encuentran los municipios de Riberalta y Guayaramerin, y también al bosque húmedo subtropical, que cuenta además con una gran cantidad de sabanas inundadas en la provincia Itenez del Departamento del Beni. Estas áreas podrían incrementarse aún más, bajo escenarios de cambio climático dada la mayor intensidad de los eventos de lluvia.

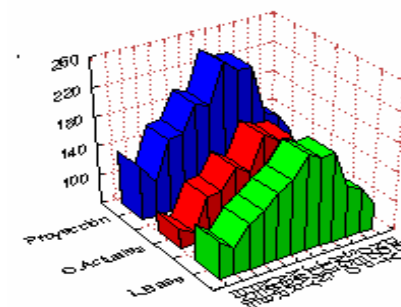


Figura 31. Comportamiento de la leishmaniasis, línea de base, situación actual y proyección al 2010

Las consecuencias vectoriales de la anterior conclusión serían un incremento de sitios de anidación, un aumento de la cantidad de insectos al verse favorecidos por los cambios, principalmente por un aumento de la humedad, la extensión geográfica de su hábitat, tanto a nivel altitudinal como en torno a las habituales áreas endémicas y por último un aumento considerable de los casos de malaria, tanto en las zonas tradicionales, como en las nuevas áreas de ocupación vectorial donde el incremento sería particularmente importante debido a la escasa inmunidad desarrollada por los habitantes de las nuevas regiones afectadas. En el caso de la leishmaniasis (Aparicio M y Ortiz P, 2000) se pudo percibir que incrementos de temperatura la región estudiada, se incrementarían los casos de Leishmaniasis acentuándose la incidencia en los meses de julio a septiembre, siendo agosto el mes que registraría los mayores efectos de acuerdo a las proyecciones realizadas para el 2010. Como se aprecia en la Figura 31, al igual que para la Malaria, se debe esperar para la Leishmaniasis el efecto del cambio climático sobre su variación estacional y tendencia.

CONCLUSIONES

- Los factores sociales, económicos, orgánicos, ambientales y climáticos, son las principales causas que producen o desencadenan las enfermedades en poblaciones humanas destacando la multicausalidad.
- Las enfermedades estudiadas son sensibles al clima en Bolivia y que sus fluctuaciones estacionales son debidas a las variaciones climáticas y otros.
- Dada la multiplicidad de ecoregiones en Bolivia, y la presencia de diversas características climáticas se ha avanzado en estudios a pequeña escala, por lo que es necesario continuar profundizando y ampliando en número de áreas estudiadas en base a un enfoque multidisciplinario.
- Existe una relación de dependencia del clima por parte de los mosquitos transmisores de las enfermedades estudiadas, apreciándose en su ciclo e incluso en su frecuencia de picaduras, variaciones estacionales en correspondencia al clima.
- Los cambios y variaciones en los parámetros climáticos modifican la susceptibilidad de las personas o poblaciones expuestas.
- Las limitaciones en el conocimiento de las interrelaciones climáticas tanto en su variabilidad como en su cambio destacan la necesidad de continuar profundizando el estudio de los efectos climáticos sobre el proceso salud – enfermedad.
- Los estudios realizados y previamente expuestos han mostrado la vulnerabilidad de la salud humana y el impacto de la variabilidad climática y del cambio climático sobre el comportamiento de las enfermedades que han sido estudiadas, evidenciándose que al presentarse importantes anomalías climáticas, dichas entidades no siguen

sus respectivos patrones estacionales, conllevando a la aparición de brotes, epidemias e incrementos o reducciones en su incidencia. Este conocimiento puede ser útil para desarrollar sistemas de alerta temprana para la prevención de las enfermedades sensibles al clima.

- Al hablar del impacto del clima en la salud, no sólo se considera la identificación de la vulnerabilidad y la medida del impacto sobre la salud, sino la necesidad de establecer estrategias de reducción de dicha vulnerabilidad y el diseño de políticas, estrategias y medidas de adaptación con obvios resultados sobre los sectores sociales y económicos (dados los costos que infringen sobre el Sistema Nacional de Salud las enfermedades sensibles al clima).

RECOMENDACIONES

1. Incluir el tema de cambio climático al interior de las políticas sectoriales y al interior de las políticas de estado del país.
2. Desarrollar sistemas de alerta temprana para la prevención de brotes y epidemias
3. Diseñar e implementar, estrategias de seguimiento y monitoreo de las enfermedades infecciosas transmitidas o no por vectores (en alto grado susceptibles al Cambio Climático), mediante “Vigilancia Bioclimática”.
4. Diseñar en forma participativa medidas de adaptación tendientes a reducir el impacto del cambio climático en salud, que incluyan la participación de los gobiernos municipales, prefecturales, ministerios, ONGs, Universidades y de la población en general, con el fin de contar con medidas de adaptación en todos los niveles administrativos.
5. Identificar y formular medidas y estrategias de adaptación para reducir el impacto del cambio climático sobre la

- salud de la población boliviana, diseñadas desde un punto de vista interdisciplinario para lo cual, se debe rescatar la experiencia conseguida por el Ministerio de Salud en la lucha contra las enfermedades transmitidas o no por vectores, e incluir el aporte de estrategias ambientales (como por ejemplo el control biológico) y otras por parte de la estructura ministerial del país.
6. Desarrollar actividades de información, educación y comunicación para hacer conocer los resultados de la evaluación de la vulnerabilidad de la salud humana al cambio y variabilidad climática.
 7. Establecer las bases de acción y los lineamientos de trabajo intersectorial que permitan un enfoque integral de lucha contra las enfermedades transmitidas o no por vectores a partir de los conocimientos del cambio climático en el país.
 8. Implementar, programas de investigación destinados al estudio de la vulnerabilidad, adaptación y mitigación de los efectos del Cambio Climático, para las enfermedades prevalentes consignadas dentro de las prioridades nacionales de salud.
 9. Desarrollar, estrategias de implementación para reducir el impacto del cambio climático sobre la salud de la población boliviana, diseñadas por niveles administrativos (nacional, departamental y municipal) y con una profunda participación institucional, social y comunitaria.
 10. Realizar, estudios de costo eficiencia y costo beneficio sobre las distintas medidas utilizadas y a utilizarse para la mitigación de los efectos del Cambio Climático sobre la salud humana.
 11. Desarrollar programas educativos dirigidos al personal de salud de los niveles central, prefectural y municipal
 12. Establecer, programas de coordinación con las instituciones encargados de monitorear nuevos asentamientos humanos, colonias, empresas petroleras, mineras, etc., en zonas endémicas de malaria y leishmaniasis, con el fin de informar sobre el riesgo y medidas de prevención sanitaria que deben seguir los emigrantes temporales o definitivos para prevenir el desarrollo de estas enfermedades.
 13. Solicitar a los organismos internacionales de financiamiento incluir el tema de Cambio Climático y Salud dentro de sus prioridades de cooperación.
 14. Desarrollar programas de colaboración bilateral, con otros países que estén trabajando esta temática para impulsar acciones nacionales y regionales de adaptación.

BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio M., Ortiz P., 2000. Vulnerabilidad y Adaptación de la Salud Humana Ante los Efectos de Cambio Climático en Bolivia. La Paz - Bolivia Septiembre.
- Aparicio M. y Gonzales A., 2005. La atención Primaria Ambiental, como Estrategia de Adaptación. En prensa.
- CENETROP, AIS, IMT 1998, Brote epidémico de dengue virus 2, genotipo Jamaica en Santa Cruz-Bolivia.
- CEPIS-OPS/OMS, 2001. Guía Básica para la promoción de la atención Primaria Ambiental Pub/01.73
- IPCC. 2001. Cambio Climático. Informe de Síntesis – Wembley. Reino Unido.
- IPCC. 2003. El Clima y la Salud,
- Le Pont F. y P. Desjeux. Orstom, IBBA 1986. Leishmaniasis en Bolivia II,
- Mejía H, y Moscoso A, 2001. Factores de riesgo para IRA's y Neumonías.
- Michael A.J., Haines A., Slooff R., Kovats S., Editors. 1996. Climate Change and Human Health WHO, WMO, UNEP.
- Ortiz. P, Guevara A. Perez A., Diaz M., 2000. Impacts of the Variability and the Climate

¹⁹ Inicialmente entre los Ministerios de Salud y Previsión Social y el Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación.

Change on Some Diseases in Cuba. La Habana –Cuba.

RUTAR T; (2000) Reporte de evaluación en Tuntutnani Consejo de Salud Rural Andino, La Paz, Bolivia.

WHO, WMO, UNEP, 2003. Climate Change and Human Health – Risks and Responses Printed in France.

Glosario

Absorción

La adición de una sustancia de preocupación a un depósito. La absorción de sustancias que contienen carbono, en particular dióxido de carbono, se denomina a menudo secuestro (de carbono).

Acuífero

Estrato de roca permeable que contiene agua. Un acuífero no confinado se recarga directamente por medio del agua de lluvia, ríos y lagos, y la velocidad de la recarga se ve influenciada por la permeabilidad de las rocas y suelos en las capas superiores. Un acuífero confinado se caracteriza por un manto superior que es impermeable y por lo tanto las lluvias locales no afectan el acuífero. (IPCC, 2001c)

Adaptación

Ajuste de los sistemas humanos o naturales frente a entornos nuevos o cambiantes. La adaptación al cambio climático se refiere a los ajustes en sistemas humanos o naturales como respuesta a estímulos climáticos proyectados o reales, o sus efectos, que pueden moderar el daño o aprovechar sus aspectos beneficiosos. Se pueden distinguir varios tipos de adaptación, entre ellas la preventiva y la reactiva, la pública y privada, la autónoma y la planificada.

- ***Adaptación anticipadora*** —Adaptación que se produce antes de que se observen impactos del cambio climático. También se denomina adaptación pro-activa.
- ***Adaptación autónoma*** —Adaptación que no constituye una respuesta consciente a estímulos climáticos, sino que es provocada por cambios ecológicos en los sistemas naturales y cambios en el mercado o el bienestar en los sistemas humanos. También se denomina adaptación espontánea.
- ***Adaptación planificada*** —Adaptación que resulta de una decisión política deliberada, basada en la comprensión de que las condiciones han cambiado o están por cambiar y de que se requieren medidas para volver a un estado deseado, mantenerlo o lograrlo.
- ***Adaptación privada*** — Adaptación iniciada y ejecutada por personas, familias o empresas privadas. La adaptación privada suele responder a un interés fundado de quienes la realizan.
- ***Adaptación pública*** —Adaptación iniciada y ejecutada por cualquier nivel de gobierno. La adaptación pública suele orientarse a necesidades colectivas.
- ***Adaptación reactiva*** —Adaptación que se produce después de haberse observado los impactos del cambio climático.

Agrometeorología

Es la rama de la meteorología que estudia la meteorología y climatología asociada al comportamiento de los cultivos y el ganado en el desarrollo y crecimiento y su influencia en la producción.

Anticiclón

Zona en la atmósfera, con presión alta es decir superior a 1 atmósfera (1013 milibares). El aire de un anticiclón es más estable que el circundante y desciende sobre la superficie del suelo desde las capas altas de la atmósfera produciéndose un fenómeno denominado subsidencia. Los anticiclones, debido a lo anterior, provocan situaciones de tiempo estable y ausencia de precipitaciones. La circulación del aire en el interior de un anticiclón es inversa a la de una borrasca

Antrópico o Antropogénico

Realizado o producido por las actividades humanas.

Atmósfera

Es el estado hipotético de la atmósfera que corresponde aproximadamente a su estado medio, en la cual los parámetros de presión y temperatura están definidos para todas las alturas, sus características principales son: una presión al nivel medio del mar de 1013.25 mbs. y un gradiente de temperatura de - 6.5 C/Km que se mantienen constantes hasta una altura de 11 Km. Fue adoptada por la Organización de Aviación Civil (OACI) para calibrar altímetros

Biosfera (terrestre y marina)

Parte del sistema terrestre que comprende todos los ecosistemas y organismos vivos en la atmósfera, en la tierra (biosfera terrestre), o en los océanos (biosfera marina), incluida materia orgánica muerta derivada (por ejemplo, basura, materia orgánica en suelos y desechos oceánicos).

Cambio climático

Importante variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un período prolongado (normalmente decenios o incluso más). El cambio climático se puede deber a procesos naturales internos o a cambios del forzamiento externo, o bien a cambios persistentes antropogénicos en la composición de la atmósfera o en el uso de las tierras. Se debe tener en cuenta que la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC), en su Artículo 1, define ‘cambio climático’ como: ‘un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables’. La CMCC distingue entre ‘cambio climático’ atribuido a actividades humanas que alteran la composición atmosférica y ‘variabilidad climática’ atribuida a causas naturales. Véase también Variabilidad climática.

Capacidad de adaptación

Capacidad que tiene un sistema de ajustarse a cambio en el comportamiento climático en periodos largos incluyendo a la variabilidad del clima y los fenómenos extremos, a modo de atenuar los impactos y posibles daños, aprovechar las oportunidades o afrontar las consecuencias.

Clima y tiempo

Tiempo y clima, hacen referencia a escalas temporales diferentes. **El tiempo** se define como el estado de la atmósfera en un determinado momento. Se toma en cuenta la humedad (absoluta y relativa), la temperatura y la presión, en un determinado lugar y momento. Como cada uno de los instantes es más o menos prolongado en el tiempo, y en extensión, se le denomina tipo de tiempo. Estos tipos de tiempo atmosférico cambian con el paso de las horas y los días; pero tienden a repetirse tipos de tiempo atmosférico similares en ciclos anuales y en las mismas fechas aproximadamente. A esa repetición anual de tipos de tiempo es a lo que llamamos clima. **El clima** es, la sucesión de tipos de tiempo que tienden a repetirse con regularidad en ciclos anuales. Cuando una cuenca, ciudad, ladera, etc., tiene un clima diferenciado del clima zonal se dice que es un topoclima. Además, llamamos microclima al que no tiene divisiones inferiores, como el que hay en una habitación, debajo de un árbol o en una determinada esquina de una calle. El Clima tiende a ser regular en períodos muy largos, incluso geológicos, lo que permite el desarrollo de una determinada vegetación y un suelo perfectamente equilibrado, suelos climáticos. Pero, en períodos de tiempo geológicos, el clima también cambia de forma natural, los tipos de tiempo se modifican y se pasa de un clima otro en la misma zona.

Escenario climático

Representación plausible y a menudo simplificada del clima futuro, basada en un conjunto internamente coherente de relaciones climatológicas, que se construye para ser utilizada de forma explícita en la investigación de las consecuencias potenciales del cambio climático antropogénico, y que sirve a menudo de insumo para las simulaciones de los impactos. Las proyecciones climáticas sirven a menudo como materia prima para la construcción de escenarios climáticos, pero los escenarios climáticos requieren información adicional, por ejemplo, acerca del clima observado en un momento determinado. Un ‘escenario de cambio climático’ es la diferencia entre un escenario climático y el clima actual.

Escenario de emisiones

Representación plausible de la evolución futura de las emisiones de sustancias que son, en potencia, radiativamente activas (por ejemplo, gases de efecto invernadero o aerosoles), basada en un conjunto de hipótesis coherentes e internamente consistentes sobre las fuerzas impulsoras de este fenómeno (tales como el desarrollo demográfico y socioeconómico, el cambio tecnológico) y sus relaciones clave. Los escenarios de concentraciones, derivados a partir de los escenarios de emisiones, se utilizan como insumos en una simulación climática para calcular proyecciones climáticas. En IPCC (1992), se utilizaron un conjunto de escenarios de emisiones como base para las proyecciones climáticas en IPCC (1996). Estos escenarios de emisiones se refieren a los escenarios IS92. En el Informe Especial del IPCC: Escenarios de Emisiones (Nakicenovic et al., 2000), se publicaron nuevos escenarios de emisiones, los llamados Escenarios del IEEE. Para comprender algunos de los términos relacionados con estos escenarios, véase escenarios del IEEE.

Escenario de forzamiento radiativo

Representación plausible del desarrollo futuro del forzamiento radiativo asociado, por ejemplo, con cambios en la composición atmosférica o en el uso de las tierras, o en factores externos como

las variaciones en la actividad solar. Los escenarios de forzamiento radiativo se pueden utilizar como insumos en simulaciones climáticas simplificadas para el cálculo de proyecciones climáticas.

Criósfera

Componente del sistema climático que consiste en el conjunto de nieve, hielo, permafrost, por encima y por debajo de la superficie terrestre y oceánica. Véase también Glaciar y Placa de hielo.

Geósfera

El quinto, componente final, consiste en suelos, sedimentos y rocas de las masas de tierras, corteza continental y oceánica, y en última instancia, el interior mismo de la Tierra. Tienen un rol de influencia sobre el clima global que varía en las escalas temporales. Variaciones en el clima global que se extienden por decenas y hasta centenas de millones de años, se deben a modulaciones interiores de la Tierra. Los cambios en la forma de las cuencas oceánicas y el tamaño de las cadenas montañosas continentales, influyen en las transferencias energéticas del sistema climático. En escalas mucho menores de tiempo, procesos químicos y físicos afectan ciertas características de los suelos, tales como la disponibilidad de humedad, la escorrentía, y los flujos de gases invernadero y aerosoles hacia la atmósfera y los océanos. El vulcanismo, aunque es impulsado por el lento movimiento de las placas tectónicas, ocurre regularmente en escalas de tiempo mucho menores. Las erupciones volcánicas agregan dióxido de carbono a la atmósfera que ha sido removida por la biosfera y emiten además, grandes cantidades de polvo y aerosoles. Estos procesos explican someramente, como la geósfera puede afectar el sistema climático global (GCCIP, 1997).

Hidrosfera

Componente del sistema climático que consta de superficie líquida y aguas subterráneas, como los océanos, mares, ríos, lagos de agua dulce, aguas subterráneas, etc.

Oscilación Madden Julian.

La lluvia Tropical exhibe la variabilidad fuerte en escalas de tiempo corto que la Oscilación estacional del Sur El Niño (ENSO). Estas fluctuaciones en la lluvia tropical pasan a menudo por un ciclo entero en 30-60 días, y está llamando a la Oscilación Madden-Julian u oscilaciones intraestacionales. Las oscilaciones intraestacionales son un componente de ocurrencia natural del sistema océano-atmósfera acoplado. Ellos afectan la circulación atmosférica significativamente a lo largo de los Trópicos globales y subtropicos, y también fuertemente afecta el arroyo de motor de reacción de invierno y la circulación atmosférica ofrece encima del Pacífico Norte y América del Norte occidental. Como resultado, ellos tienen un impacto importante en los Tormentas y temperaturas superiores de los Estados Unidos. Durante el verano estas oscilaciones tienen un efecto modulador de la actividad del huracán en el Pacífico y las cubetas Atlánticas.

Sensibilidad

Nivel en el que un sistema resulta afectado, ya sea negativa o positivamente, por estímulos relacionados con el clima. El efecto puede ser directo (por ejemplo, un cambio en la producción

de las cosechas en respuesta a la media, gama o variabilidad de las temperaturas) o indirecto (los daños causados por un aumento en la frecuencia de inundaciones costeras debido a una elevación del nivel del mar). Véase también Sensibilidad climática.

Vaguada.

Es una configuración isobárica en la que a partir del centro de una baja presión las isobaras se deforman alejándose más del centro de un lado que en cualquier otra dirección. Este fenómeno produce mal tiempo.

Vapor de Agua.

La cantidad de vapor de agua en la atmósfera es variable, siendo mayor en la regiones marítimas, depende de la evaporación y la evapotranspiración que se produce en la superficie de la tierra, y a pesar de encontrarse en pequeñas proporciones en la atmósfera, hasta un 3%, este gas juega un papel muy importante en la formación de los fenómenos meteorológicos.

Variabilidad del clima

La variabilidad del clima se refiere a las variaciones en el estado medio y otros datos estadísticos (como las desviaciones típicas, la ocurrencia de fenómenos extremos, etc.) del clima en todas las escalas temporales y espaciales, más allá de fenómenos meteorológicos determinados. La variabilidad se puede deber a procesos internos naturales dentro del sistema climático (variabilidad interna), o a variaciones en los forzamientos externos antropogénicos (variabilidad externa). Véase también Cambio climático.

Velocidad del Viento.

Razón del movimiento del viento en unidad de distancia por unidad de tiempo.

Viento.

Aire en movimiento relativo a la superficie de la tierra, casi exclusivamente usado para denotar componente horizontal.

Vientos Alisios.

Sistema de vientos relativamente constantes en dirección y velocidad que soplan en ambos hemisferios, desde los 30° de latitud hacia el ecuador con dirección noreste en el hemisferio norte y sureste en el hemisferio sur.

Vulnerabilidad

Medida en que un sistema es capaz o incapaz de afrontar los efectos negativos del cambio climático, incluso la variabilidad climática y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad está en función del carácter, la magnitud y el índice de variación climática a que está expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación.