

**CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ZONA ALTO-ANDINA: IMPLICACIONES Y
ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN PARA PEQUEÑOS AGRICULTORES**

Carlos Pérez, Columbia University, NY, EUA¹

Claire Nicklin, Fundación Mcknight, Pichincha, Ecuador

Olivier Dangles, Institute For Research Development (IRD), Quito, Ecuador

Steven Vanek, Cornell University, NY, EUA

Steven Sherwood, Ekorural, Ecuador

Stephan Halloy, The Nature Conservancy, Santiago, Chile, y Universidad Nacional de Chilecito, La Rioja, Argentina

Karen A. Garrett, Kansas State University, Kansas, EUA

Gregory Forbes, Centro Internacional de La Papa, Lima, Perú

Traducción de la publicación siguiente:

Perez, C., Nicklin, C., Dangles, O., Vanek, S., Sherwood, S., Halloy, S., Garrett, K., Forbes, G., 2010. Climate Change in the High Andes: Implications and Adaptation Strategies for Small-scale Farmers. The International Journal of Environmental, Cultural, Economic, And Social Sustainability, Volumen 6, Número 5, 2010, www.Sustainability-Journal.com

¹ Correspondencia: cperez@andescdp.org

Resumen

El cambio climático representa una importante amenaza a la agricultura sostenible en los Andes. Los agricultores han usado sus conocimientos ecológicos locales e intrincados sistemas de producción para enfrentar, adaptarse y reorganizarse de acuerdo con la incertidumbre y riesgos climáticos, que siempre han sido un hecho de vida. Estos sistemas tradicionales generalmente son altamente resilientes, pero los efectos, tasas y variabilidad pronosticados del cambio climático podrían presionarlos más allá de su rango de adaptabilidad. Este artículo revisa el grado de los impactos reales y potenciales de la variabilidad y cambio climático en pequeños agricultores en los altos andinos de Bolivia, Ecuador y Perú. Describe cómo el cambio climático impacta a la agricultura a través de la desglaciación, cambios en la hidrología, suelo y poblaciones de plagas enfermedades. El artículo destaca algunas estrategias adaptativas prometedoras o potenciales que están en uso por parte de productores, comunidades rurales e instituciones locales para mitigar los efectos del cambio climático a la vez que conservan el sustento y sostenibilidad ambiental y social de la región.

Palabras clave: Andes, agricultura sostenible, cambio climático, suelo, IPM, glaciares.

La agricultura en los Andes siempre ha dependido de la capacidad de individuos, familias, comunidades y regiones para responder a la variabilidad y construir sistemas resilientes en este ecosistema altamente variable. El cambio climático representa una más de las amenazas actuales a la agricultura sostenible en los Andes. Las tendencias y pronósticos (IPCC, 2007; Urrutia y Vuille, 2009) sugieren que las presiones relacionadas con el clima aumentarán en los Andes debido al cambio climático, y exigirán modificaciones en el uso del suelo, sistemas de producción, sistemas de conocimientos locales, mecanismos para enfrentarlos y estrategias para ganarse la vida. La incertidumbre y el riesgo climático siempre han estado presentes en la vida en los altos Andes (definidos aquí como zonas por encima de 2.500 m.s.n.m.) y los agricultores han utilizado sus conocimientos ecológicos e intrincados sistemas de producción para

enfrentar, adaptarse y reorganizarse ante esta realidad a través del tiempo (Dillehay y Kolata, 2004; Halloy et al. 2005a). No obstante, el cambio climático representará una mayor variación e imprevisibilidad en el clima de un año a otro. Probablemente aumentará la frecuencia de eventos extremos (Hulme y Shead, 1999), será más fuerte en las zonas altas que en las más bajas (Foster 2001) y conllevará a pérdidas que no podrán ser distribuidas equitativamente entre las familias y, por lo tanto, no podrán asegurarse a través de la cooperación (Crespeigne et al. 2010).

Este artículo resalta el alcance de los actuales y potenciales impactos físicos y biológicos de la variabilidad climática en la agricultura de la zona alto-andina de Bolivia, Ecuador y Perú, y destaca algunas promisorias estrategias de adaptación que los productores, comunidades rurales e instituciones locales usan o podrían usar. El artículo identifica también las brechas de conocimiento que requieren mayor análisis e investigación, y las respuestas tecnológicas que deben ser generada para responder efectiva y proactivamente al cambio climático. Finalmente, enfatiza la preeminencia de prácticas y condiciones sociales e institucionales en los Andes que favorecen o impiden la adaptabilidad de las comunidades campesinas a los procesos biofísicos desencadenados por el cambio climático.²

Recesión de glaciares

El retroceso de los glaciares es uno de los indicadores de cambio climático más visibles e irrefutables. La mayoría de los glaciares tropicales del mundo se encuentran en las montañas del Perú (70% de los glaciares tropicales), Bolivia (20%) y Ecuador (4%) (Vuille et al. 2008). El posicionamiento geográfico de los glaciares en la región los hace particularmente vulnerables a los aumentos de temperatura y a una reducida masa de nubes. El cambio climático está elevando el punto de congelación isotérmico y coincide

²Este documento se basa en un taller de consulta sobre “Impactos del Cambio Climático en los Andes”, organizado por el Programa Colaborativo de Investigación en Cultivos (CCRP) de la Fundación McKnight, realizado en el Centro Internacional de la Papa, en Lima, Perú (Abril 29-30, 2008). Los autores agradecen el aporte intelectual de los participantes del taller. Agradecemos especialmente a Rebecca Nelson, Pedro Oyarzun, Corinne Valdivia, Anji Seth, Vladimir Gil, Daniel Ruiz, Graham Thiele y Jere Gilles.

con el calentamiento general de la troposfera andina (Francou et al. 2003), con mayor calentamiento en las alturas que en las zonas bajas debido a la pérdida de la capa de nieve, lo que conduce a la reducción del albedo y a una mayor absorción de radiación solar en la superficie (Giorgi et al. 1997). Además, a diferencia de las cordilleras de latitud mediana, como los Alpes, en los Andes las temporadas de merma y acumulación coinciden, impidiendo la formación de una capa de nieve estacional duradera (Vuille et al. 2008).

Observaciones de largo plazo realizadas en los Andes demuestran inequívocamente un retroceso rápido y acelerado de los glaciares, con un 30% del total de la masa de hielo que ha venido retrayéndose durante los últimos 30 años (Urrutia y Vuille, 2009; Vuille et al. 2003, 2008). El deshielo ha afectado más a los glaciares pequeños ($<0.5 \text{ km}^2$), muchos de los cuales podrían desaparecer en las siguientes décadas si las tendencias persisten (Bradley et al. 2006; Coudrain et al. 2005; Francou et al. 2000; Halloy et al., 2005b; Kaser et al. 1990; Kaser y Georges 1997; Thompson, 2003; Vuille et al., 2003). Estos pequeños glaciares son los más comunes en los Andes y contribuyen de manera importante a los recursos acuíferos de las cuencas en zonas altas (Ramírez et al. 2001). La montaña más conocida de Perú, el monte Huascarán, ha perdido 1.280 hectáreas de hielo, o 40% del área que cubría hace 30 años (Simms and Reid, 2006). El glaciar Chacaltaya en Bolivia, una de las fuentes de agua fresca para aproximadamente 2 millones de personas en las ciudades de La Paz y El Alto, ha perdido 82% de su superficie desde 1982 y se prevé que se derretirá completamente en 15 años si las tendencias actuales continúan (Francou et al. 2003; Ramírez et al., 2001; Simms y Reid, 2006).

Es muy probable que el retroceso glaciar desestabilice las pendientes de hielo, lo que causaría deslizamientos de tierra y lodo. El agua de deshielo tiende a estancarse en lagos recién formados que a menudo no son muy estables. En la Cordillera Blanca de Perú, por ejemplo, el derretimiento glaciar trajo como resultado un aumento impresionante en la formación de lagos glaciares, de 223 en 1953, a 374 en 1997. Algunos de estos lagos podrían asociarse a inundaciones repentinas con resultados

catastróficos, tales como las de Huaraz (1941), Los Cedros (1951) y el valle del Río Santa (1970) que, en conjunto, cobraron la vida de 75.000 personas (Carey 2005).

El cambio climático afectará la extensión de los glaciares y el comportamiento del escurrimiento según la zona de captación (Vuille et al. 2008). Sin embargo, con el tiempo, el derretimiento glaciar contribuirá al incremento temporal, la reducción eventual y finalmente la probable desaparición de las formaciones acuáticas de altura. Tendrá influencia en el tiempo de descarga del agua de río en las montañas, reducirá el volumen de agua disponible, especialmente durante tiempos de sequía (los glaciares en las montañas actúan como amortiguadores esenciales en casos de altos niveles de lluvia estacional) y dejará a decenas de millones de personas en las áreas de altura sin una fuente continua de agua dulce. Por el momento, el retiro de los glaciares y la pérdida de masa han incrementado la disponibilidad de agua (Pouyaud et al. 2005) y algunos usuarios aguas abajo se han adaptado a este aumento de corto plazo mediante la planeación apropiada de cultivos (Mark 2008; Mark et al., 2005; Vuille et al. 2008). A mediano plazo, sin embargo, el derretimiento glaciar reducirá el suministro de agua, con lo que se agravarán los actuales desafíos a la agricultura, a la preparación de alimentos y la generación de energía en comunidades de montaña (Buytaert et al., 2006; Ruiz et al., 2008; Young y Lipton 2006). Igualmente, se reducirá el suministro de agua a las principales ciudades, muchas de las cuales están ubicadas sobre los 2.500 m.s.n.m. y dependen totalmente de las fuentes de agua de altura para la generación de energía. Es probable que el cambio climático ocasione tensión social en forma de “guerras por el agua” y ponga en riesgo a las poblaciones urbanas y a los proveedores de alimentos.

El rápido retroceso de los glaciares requiere la adopción de medidas adaptativas que permitan prepararse para futuros cambios en los patrones de escurrimiento. Estas medidas deberán incluir la creación y fortalecimiento de un sistema estable, seguro y bien monitoreado de represas de diferentes tamaños. En lugar de depender exclusivamente de infraestructura centralizada para la captura, el tratamiento y el suministro de agua, el sistema deberá incluir una administración descentralizada que responda a las necesidades y preocupaciones de los grupos de agricultores y de otros usuarios locales y comunitarios.

Se debe realizar un cambio radical hacia una agricultura con menos uso de agua, incluyendo el apoyo sistemático a innovaciones locales en riego por goteo, captura de agua de lluvia, cultivos de cobertura y labranza mínima, mejora en el contenido de materia orgánica del suelo y restauración y manejo de cuencas. También se requieren medidas sustanciales de conservación de agua para fines domésticos e industriales en ciudades de rápida expansión, en donde se verá gran parte del crecimiento poblacional de los Andes en las próximas décadas.

La presión del agua será particularmente dura en el altiplano (las planicies altas, frías y secas) y los Andes bajos, la región de la puna que abarca desde Cajamarca, en Perú, hasta Bolivia, Argentina y Chile, y que está caracterizada por una cubierta vegetal de *Stipa ichu*. Desde el norte de Cajamarca hasta Venezuela, el páramo andino ocupa el mismo nicho de altura que la puna (entre 3.000 y 5.000 m.s.n.m.) . El páramo es la principal fuente de agua para el altiplano de Venezuela, Colombia, Ecuador, incluyendo una vasta área de tierras bajas áridas y semiáridas del norte de Perú. El páramo, sin embargo, es frío, húmedo y verde, ya que está permanentemente cubierto de niebla y llovizna.

En este contexto es esencial comprender (y proteger) los servicios de regulación hidrológica que brinda el páramo a través de un almacenamiento considerable de agua en lagos, bofedales o ciénegas y humedales mezclados con matorrales y parches de bosque de baja estatura. Los suelos del páramo absorben agua con facilidad y luego la liberan lentamente. Muchos de los mayores tributarios de la cuenca del Amazonas nacen en el páramo. Varios centros urbanos al norte de los Andes, incluyendo las ciudades de Bogotá y Quito, dependen casi completamente de los ecosistemas de páramo para su suministro de agua. El páramo provee servicios ambientales a más de 100 millones de personas (IUCN, 2002).

El páramo tiene una topografía desigual que incluye valles escabrosos y escarpados, y mesetas casi planas con muchas cavidades donde el agua se acumula en ciénegas y lagos. Alberga a 5.000 especies diferentes de plantas, cuya vasta mayoría son endémicas y altamente adaptadas a condiciones físico-químicas y climáticas específicas

tales como la baja presión atmosférica, la intensa radiación ultravioleta y los efectos secantes del viento (Buytaert et al. 2006). Aunque los procesos de regulación hidrológica del páramo no se entienden a la perfección, la especial composición y estructura de los suelos Andisol del páramo hacen que su degradación estructural y disminución de retención de agua a través de la agricultura y otros usos sean irreversibles en escalas de tiempo humanas (Buytaert et al. 2006; De Bièvre, 2008).

Con el fin de proteger los servicios ecológicos que el páramo provee, grandes áreas de páramo que rodean las principales ciudades han sido declaradas parques nacionales (Chingaza cerca de Bogotá, Cayambe-Coca cerca de Quito y Cajas cerca de Cuenca). Una posible adaptación estratégica podría ser crear un sistema de créditos para compensar a los usuarios de las tierras locales por los servicios que el páramo provee, como se ha hecho en los bosques húmedos tropicales. En Costa Rica, por ejemplo, los fondos derivados de un impuesto especial al consumo de cualquier derivado del petróleo se usan para compensar a pequeños agricultores dueños de bosques naturales por el valor de los servicios ambientales, incluyendo la mitigación de gases invernadero a través del secuestro de carbono, protección de recursos acuíferos, protección de la biodiversidad y preservación de la belleza escénica natural para el turismo (Rodríguez 2003). También se podría apoyar las actividades de mitigación del páramo con fondos como los del *Global Environmental Facility* que promueve el manejo sostenible de la tierra (GEF 2003). Como se ha probado en otras partes de América Latina, además de un pago directo a los productores o asociaciones de productores, las formas de compensación podrían incluir asistencia técnica, capacitación y apoyo en comercialización; la provisión de servicios sociales e infraestructura; financiamiento de inversiones para mejorar el manejo de propiedades o fincas; sobretasas a productos (certificados y sellos de productos especiales); apoyo al turismo rural y estrategias de ecoturismo comunitario; y expansión del acceso o uso de derechos de recursos naturales (FAO 2004).

Temperaturas y precipitación

Los cambios de temperatura a gran altura constituyen un indicador excelente para la detección temprana del calentamiento global (Giorgi et al. 1997), y las temperaturas promedio en los Andes tropicales han ido en aumento (Vuille et al. 2003). De acuerdo con modelos de circulación global, los aumentos esperados de temperatura excederán en mucho a los de las tierras bajas colindantes. La tasa de aumento promedio de temperatura está proyectada al doble o más de lo esperado (Bradley et al. 2006). En los Andes, al igual que en otras tierras altas tropicales, las variaciones de temperatura diurnas exceden en mucho los cambios estacionales, y las temperaturas bajo cero son frecuentes (Troll 1968). Con el cambio climático se prevé una mayor variación de temperatura durante el día, aumentos importantes en las temperaturas máximas y variaciones significativas en la humedad relativa, cobertura de nubes, neblina, y luz solar (Buytaert et al., 2006; Ruiz et al., 2008). Es probable que un aumento en la temperatura aumente el ciclo hidrológico, con tasas de evaporación más altas, una mayor proporción de precipitación en forma líquida más que sólida, potenciales cambios en la cantidad de precipitación y estacionalidad, una posible reducción de humedad del suelo y reservas de aguas subterráneas, así como una mayor frecuencia de sequías e inundaciones (Beniston 2005).

El actual aumento de temperatura ha tenido como resultado el alza de los límites de las nieves perpetuas. En los últimos 50 años también se ha elevado el límite superior de altura de la agricultura de alta montaña. Se prevé que esta tendencia continuará a lo largo del siglo, con un aumento general de al menos 500 metros. En el sur del Perú, tanto el pastoreo como la agricultura han subido aproximadamente 300 metros en los últimos 50 años: el cultivo de la papa ha alcanzado un récord mundial de altitud a más de 4,500 m.s.n.m. (Halloy et al., 2005b; Halloy et al., 2008; Seimon et al., 2007). Según De Hann, en 1975 el límite superior para cultivar papas amargas (*Solanum curtilobum*, *Solanum juzepczukii*) en la región de Huancavelica, en Perú, era de 4.150 m.s.n.m.; actualmente se cultivan entre 4.150 y 4.300 m.s.n.m. Estas papas ocupan cada vez más áreas de pastoreo y compiten con los sistemas de ganadería a grandes alturas (De Hann et al, 2009). Con la

elevación de las temperaturas se está reduciendo el área para los cultivos y las especies animales adaptadas a las zonas climáticas más frías a grandes alturas.

La helada (escarcha) se encuentra entre los factores limitantes más importantes para la producción agrícola en los Andes, especialmente en Bolivia y la parte sur de Perú. En general, hay dos tipos diferentes de helada: la helada por advección (también conocida como helada “blanca”), que es causada por masas de aire frío a gran escala que se dirigen a un área bajo condiciones de cielos nublados, viento, alta humedad relativa y un punto alto de la temperatura del rocío (que se cierne sobre los 0° C) dejando el suelo cubierto de una capa blanca de cristales de hielo (escarcha), y que generalmente no daña los cultivos e incluso puede ayudar a eliminar enfermedades y plagas. Por otro lado, está la helada de radiación que se genera en noches despejadas y tranquilas, especialmente inmediatamente antes del amanecer, cuando la temperatura nocturna es mínima y la superficie enfría el aire seco que está inmediatamente sobre ella. El aire frío más denso sopla de las montañas hacia las planicies, los estanques y las áreas más bajas del paisaje. Por eso la helada de radiación tiende a ser más frecuente y severa en áreas convexas, pisos de valles o en las planicies, en donde causa necrosis en el follaje (de ahí el nombre de helada “negra”). Los montes y laderas son más cálidos y tienen menor riesgo de escarcha. En las alturas andinas, la helada más común es la “negra” seca, que también es más dañina a los cultivos que la helada “blanca” húmeda.

La helada ocurre durante todo el año y puede aparecer hasta 200 días en un año (Jacobsen et al. 2007). El periodo crítico de riesgo de helada es entre diciembre y febrero, o enero y marzo, dependiendo del caso (verano), antes y durante la floración. Esto quiere decir que el período crítico no es cuando la helada está en su máximo nivel sino cuando puede causar daños catastróficos al rendimiento de los cultivos. La evidencia anecdótica parece mostrar que los episodios de escarcha son más frecuentes y severos en los Andes altos, sin embargo, el calentamiento global podría traer como resultado eventos de heladas cada vez más erráticos, incluso a pesar de la extensión de los períodos sin helada (0.49 días al año) debido al importante incremento observado en las temperaturas mínimas más que en las temperaturas máximas.

Para reducir el impacto de la helada en sus cultivos más sensibles, los agricultores buscan controlar la humedad del suelo. En general, combinan la irrigación, cercas, terrazas y árboles para proteger los campos de depósitos de aire frío. En tierras planas usan lagunas (*qochas*), surcos, pequeños lechos rectangulares ligeramente elevados rodeados de canales de irrigación (*sukaqullus*), y la dispersión de campos de cultivo para minimizar el riesgo (Morlon 1992). Usar variedades resistentes al frío es el enfoque más efectivo. La mayoría de papas comunes (*Solanum tuberosum subsp. tuberosum*) no resisten temperaturas menores a -3°C, mientras que otras variedades andinas (notablemente *S. tuberosum sub. andigena*, *S. Stenotomum*, *S. Chaucha*, *S. goniocalyx*), al igual que papas amargas (*Solanum juzepzuckii*, *Solanum curtilobum*, *Solanum ajanhuiri*), la quinua (*Chenopodium quinoa*) y la qañawa (*Chenopodium pallidicaule*) pueden tolerar temperaturas hasta -5°C (François et al. 1999). Algunas especies de papa silvestre tienen niveles de tolerancia a la helada aún mayores. La agro-biodiversidad, por lo tanto, es esencial para el manejo de riesgo de helada, y por esto los agricultores seleccionan cuidadosamente los cultivares y su uso. En un estudio realizado en Palccoyo, Perú, de las 126 variedades criollas evaluadas, 26% mostraron signos de resistencia a la helada (Gutiérrez y Schafleitner, 2007).

Los campos de los agricultores andinos siguen teniendo altos niveles de agro-biodiversidad en varias partes de los Andes. En Huancavelica, Perú, un estudio de caracterización morfológica regional encontró 557 cultivares únicos de papa y estableció que algunos hogares mantenían hasta 160 cultivares únicos (De Haan 2009). En otro estudio realizado en Quispillacta, Perú, se evidenció que los agricultores plantan en promedio 11 cultivos y 74 ecotipos en pequeñas parcelas de tierra (Machaca, 1993; Tapia, 1993). En Kuyupampa, Bolivia, los agricultores cultivan en los mismos campos 21 variedades nativas y 7 variedades mejoradas de papa, 7 variedades de oca (*Oxalis tuberosa*), 4 variedades de trigo y 7 variedades de maíz (Regalsky y Hosse 2009). Algunas de estas variedades están adaptadas a microambientes, niveles de altura y condiciones climáticas específicos. Incluso cuando no están completamente adaptadas a los microambientes, su amplia variedad mejora la resiliencia de la mezcla (Morlon 1992).

En un proceso de “andinización” de cultivos exóticos, los agricultores han incorporado ampliamente en sus esquemas de rotación cultivos del Viejo Mundo como habas, cebada e incluso trigo –los cuales fueron introducidos en el siglo XVI y ahora se cultivan a 3.900 m.s.n.m.–con el fin de aumentar la resiliencia del sistema agrícola y la seguridad alimentaria (Capparelli 2005; Mayer 2002).

La conservación de variedades nativas en finca es un importante mecanismo de adaptación al cambio climático. Según De Haan, en algunas zonas del Perú como Huancavelica—un centro de diversidad genética de la papa—no hay evidencia de pérdida de especies, incluso en comunidades altamente integradas al mercado. De hecho, los agricultores han incorporado como si fueran “nativos” cultivares viejos de origen híbrido que han desaparecido de mercados locales. Producen unos pocos cultivares para el mercado, pero prefieren una mezcla grande de cultivares para consumo propio (De Haan 2009:57). En otras zonas, sin embargo, estamos en medio de un proceso de erosión genética grave. Un proyecto de conservación de papa *in situ* en Sicuani, Cusco, recolectó 256 variedades nativas en el período entre 1998-2000, pero en la misma área se encontraron únicamente 164 variedades nativas en 2006 (Gutiérrez y Schafleitner, 2007). Las variedades nativas, muchas de las cuales son resistentes a la helada, están siendo desplazadas rápidamente por las variedades comerciales. Esta tendencia se exacerbará en zonas agrícolas, incidiendo en posibles pérdidas de esas variedades nativas y su hábitat.

El cambio climático probablemente ocasionará cambios en la cantidad e intensidad de la precipitación y un mayor riesgo de sequía en los Andes (Haylock et al., 2006; Liebmann et al., 2007). Una serie de estudios predice variaciones estacionales más calamitosas en la precipitación del altiplano, con posible disminución de lluvias entre septiembre y noviembre, y un aumento en las precipitaciones entre diciembre y febrero (Killeen et al., 2007; Liebman et al., 2007; Seth et al. 2006, Vergara et al., 2007). Los mejoradores genéticos están generando variedades que maduren antes como una importante estrategia de manejo del cambio climático.

Se debe tener en cuenta, sin embargo, que los eventos extremos de sequías o inundaciones no necesariamente están influenciados por el cambio climático, es decir por

el confirmado aumento del promedio de temperatura a nivel mundial. Los principales factores que influyen en la cantidad de lluvia y su distribución, y resultan en sequías o inundaciones, se deben a ciclos naturales del clima, especialmente los fenómenos de El Niño y La Niña. Ambos son ocasionados por desplazamientos de una masa gigantesca de agua caliente ubicada en medio del océano Pacífico, al nivel del Ecuador. El Niño, ocurre cuando el agua caliente del mar se desplaza al este, hacia Sudamérica (Ecuador y Perú), mientras que La Niña ocurre cuando el agua se desliza hacia el extremo occidental del Pacífico (Australia e Indonesia). Este desplazamiento en vaivén de las corrientes marinas se llama Oscilación del Sur El Niño (ENSO en inglés). El calor y el vapor de agua que salen de la masa de agua caliente generan tormentas tan grandes que afectan corrientes de aire que soplan a través de latitudes medias.

El fenómeno de El Niño tiende a reducir el nivel de lluvias en las tierras altas de Bolivia y Perú (alrededor de 3.500 m.s.n.m.), pero aumenta la precipitación en áreas más bajas de esos mismos países. También aumenta la precipitación en el noroeste del Ecuador y el Perú. Los eventos causados por La Niña muestran resultados opuestos (Ropelewski y Halpert 1987). Los efectos de El Niño o La Niña no son ni mecánicos ni invariables ya que hay otras oscilaciones que influyen el clima en un determinado lugar y tiempo.

Hay documentación de que el fenómeno de El Niño fue experimentado en los últimos 4 siglos, es decir mucho antes del actual calentamiento global (Quinn, W. H., Neal, V.T. and Antunez, S.E., 1987). Aún se está investigando si los eventos de El Niño varían con el cambio climático, pero es probable que así sea ya que hoy en día los océanos se calientan más y emiten cada vez más vapor de agua, con un mayor potencial de precipitaciones intensas. Tal vez esto explique por qué en las décadas recientes los eventos de El Niño han sido más frecuentes e intensos que los de La Niña.

El riesgo para las comunidades andinas en el corto plazo no es tanto la reducción de la disponibilidad de agua en general, sino más bien un cambio en la distribución estacional y en la regularidad del suministro de agua, junto con un incremento de lluvias torrenciales durante la época de lluvia y una disminución de los flujos mínimos durante la

temporada de sequía. Esto tiene importantes consecuencias en la erosión de los suelos y en la calidad y disponibilidad de agua para el consumo doméstico y la agricultura.

Plagas y enfermedades

La adaptación a variaciones geográficas y estacionales de plagas y enfermedades siempre ha sido un reto para los agricultores andinos. El cambio climático –junto con el rápido desarrollo de mercado, la presión de población y la globalización– ha generado la expansión del alcance de importantes plagas como la polilla de la papa y la quinua, y el gorgojo de la papa. Por consiguiente, la veloz expansión de la frontera agrícola andina hacia el páramo (Gondard y Mazurek 2001), así como el comercio de semilla contaminada con las plagas de insectos y las enfermedades virales de las tierras bajas, han contribuido a la dispersión de plagas hacia zonas más elevadas que los agricultores generalmente usaban como fuente de semillas y tubérculos libres de plagas.

El amplio rango de ambientes térmicos ubicados a lo largo de gradientes altitudinales en los Andes podría aumentar los riesgos de especies de plagas invasivas en un futuro cercano. Se puede “empacar” más especies en un eje térmico largo que en uno corto. Pequeñas diferencias en elevación o cobertura vegetal también pueden crear fuertes diferencias microclimáticas a lo largo de pequeñas distancias y permitir refugios microclimáticos persistentes en donde se desarrollan las plagas (Dangles et al. 2008; Hagen et al. 2007). Generalmente, dos especies no pueden compartir el mismo nicho, pues una puede sobreponerse a la otra, pero los nichos pueden sobreponerse parcialmente (McArthur 1970). Los aumentos en la temperatura pueden conducir a que las plagas de insectos ectotérmicos toleren mayores niveles de competencia y, por lo tanto, influyan en la distancia en la que las especies pueden ser “empacadas” en un eje de recursos.

A pesar de que el número de especies de insectos por unidad de área tiende a decrecer a mayor altura, el aumento en temperatura permitirá que las especies de insectos alcancen esas alturas y se incremente la diversidad de insectos herbívoros y la intensidad de su alimentación. Se prevé que los efectos del aumento de temperatura en las plagas de insectos serán mayores en las regiones montañosas que en las tierras bajas, debido a un

porcentaje de aumentos de temperatura mucho más alto en estas áreas (Hodkinson, 2005). No obstante, es probable que las respuestas de los insectos al cambio climático varían de acuerdo al sitio (incluyendo la altura), especies y planta anfitriona, y que los cambios de temperatura tengan efectos conflictivos (Bale et al. 2002).

El clima podría influir directamente en plagas de insectos ya sea matándolos a través de cambios de temperatura y humedad, o determinando su tasa de crecimiento y desarrollo. Por ejemplo, conforme aumenta la temperatura, las especies de ciclo de vida corto, como áfidos o polillas, podrían completar más generaciones en un año (Bale et al., 2002, Dangles et al. 2008; Sporleder et al., 2004). El cambio climático también afectará indirectamente a las plagas de insectos al modificar el límite de distribución de sus plantas anfitrionas, como se ha visto con la expansión de áreas cultivables (Ziska y Runion 2007). Por último, pero no menos importante, el cambio climático podría afectar la capacidad de los agricultores para controlar las plagas porque la efectividad de algunos pesticidas tiende a reducirse en altos niveles de temperatura y humedad (tiempo y cantidad de lluvia después de su aplicación). Si las plagas logran completar más generaciones en una temporada esto podría conllevar a un mayor uso del pesticida lo cual, a su vez, podría generar una mayor resistencia a los pesticidas.

Los brotes de insectos, tanto en zonas templadas como tropicales, aparecen después de períodos de sequía, fuerte actividad de manchas solares o combinaciones de sequía y humedad excesiva, entre otros eventos (Wallner 1987). Es muy probable que con la subida de temperatura como resultado del cambio climático se presenten los siguientes problemas fitosanitarios, similares a los manifestados en Cuba: aparición de nuevas plagas en una zona; transformación de plagas ocasionales en habituales; incremento de algunas plagas habituales, al mismo tiempo que reducción de otras plagas habituales; cambios en el periodo de manifestación de plagas habituales; reducción de reguladores naturales; incremento de malas yerbas, algunas de ellas hospederas de plagas; y reducción en la efectividad de métodos de control de plagas (Vázquez et. Al. 2009; Vázquez 2011).

La variabilidad y el cambio climático podrían aumentar sustancialmente el riesgo de enfermedades vegetales (Coakley et al. 1999, Garrett et al. 2006). La precipitación crea condiciones ambientales favorables para muchos patógenos fúngicos y bacterianos, mientras que el estrés creado por la menor precipitación podría reducir la capacidad de defensa de las plantas ante ataques de patógenos. La tendencia general hacia temperaturas más calurosas expande el potencial rango geográfico, de altura y estación de muchos patógenos. Las interacciones, umbrales y círculos de retroalimentación podrían incrementar en forma dramática la presión de enfermedades en respuesta al cambio climático global (Garrett 2008, Scherm y VanBruggen 1994). La acumulación de ‘interés compuesto’ por la presión de patógenos durante periodos con alto nivel de contagio de enfermedades podría conducir a grandes incrementos de las poblaciones de patógenos. Si se alarga la temporada, habrá más condiciones que conduzcan a mayores incrementos de población que los previstos. Las prácticas de manejo que dependen de la reducción en la reproducción local de patógenos (sanidad, cultivos intercalados o mezclas, algunos tipos de resistencia a enfermedades) serán menos efectivas si aumentan las cargas regionales de inoculación.

El cambio climático y la globalización han contribuido a la expansión del rango de la plaga del tizón tardío en la papa. El tizón tardío (causado por la *Phytophthora infestans*) es una enfermedad particularmente grave que ataca a las papas en general, pero en especial a las papas nativas, y causa daños que ascienden aproximadamente a \$5 mil millones de dólares al año, a nivel global (Judelson y Blanco, 2005). El tizón tardío es especialmente difícil de controlar para los agricultores de tierras altas tropicales debido a que en estas áreas la papa se produce todo el año y la enfermedad generalmente está siempre presente (Forbes y Landeo, 2006). Por estas razones, los agricultores deben proteger las plantas de la aparición de esta enfermedad hasta el periodo de cosecha. Tradicionalmente, los agricultores han usado una cantidad de métodos para combatir el tizón tardío, incluyendo el manejo de nutrientes, selección de semilla, semilleros alzados, plantación de mezclas de cultivos y plantación de las variedades más susceptibles a mayores alturas (Thurston, 1994). Esta última estrategia funciona porque

tradicionalmente las alturas mayores han marcado una zona de frontera, en donde la severidad de las enfermedades ha sido limitada por las bajas temperaturas (Kromann et al, 2009). Este fenómeno tal vez está mejor representado por las áreas altas productoras del Perú que, hasta hace poco, estuvieron virtualmente libres de la plaga.

Desafortunadamente, debido a los aumentos en la temperatura, algunas comunidades de altura han comenzado a ver esta plaga por primera vez, con resultados devastadores. Las principales estrategias de adaptación al riesgo del tizón tardío podrían ser un mayor uso de variedades resistentes y una mayor capacidad de manejo de enfermedades por parte de los agricultores, incluyendo una selección participativa de resistencia a esta plaga. Se han identificado varios genotipos de papa con niveles útiles de resistencia al tizón tardío, incluyendo algunas variedades mejoradas de las plantas locales (Cañizares y Forbes, 1995).

Los estudios sobre la diversidad de plantas hospederas—tanto mezclas de variedades como cultivos intercalados—a nivel de parcela para controlar el tizón tardío han tenido resultados mixtos (Garrett et al, 2001), pero tal diversidad puede ayudar a controlar enfermedades si se usa junto con otras medidas de control (Pilet et al, 2006). Uno de los desafíos relacionados con el uso de diversidad en plantas hospederas o variedades resistentes específicas es la dificultad de difundir nuevo material debido a la baja tasa de multiplicación de la papa y la calidad perecedera de la semilla. Algunas prácticas culturales como la combinación de labranza mínima y semilleros alzados (llamados *wachu rosado*, *chacmeo*, *chacmaosucacan*) reducen la gravedad del tizón tardío (Jacobson y Sherwood, 2001).

La mayoría de los estudios sobre el manejo de nutrientes y la severidad del tizón tardío también han dado resultado mixtos (Forbes y Landeo, 2006), pero esta línea de investigación ha sido dominada por un enfoque reduccionista clásico en el cual se estudiaron los cambios en la fertilización para ver sus efectos en la enfermedad de la planta. Probablemente la resistencia a enfermedades se ve más afectada por los sistemas de cultivo que promueven la salud general de la planta en relación con interacciones bióticas importantes con micorrizas y rizobacterias que promueven el crecimiento

(Artursson et al, 2006). Con el fin de tomar decisiones óptimas frente a nuevos retos del tizón tardío que resultan del cambio climático, los agricultores deben entender conceptos básicos de biología de patógenos y epidemiología de enfermedades. La generación de capacidades, por ende, es esencial (Nelson et al. 2001, Ortiz et al., 2004).

Entre los desafíos restantes está la identificación de genotipos particulares que sean apropiados a las condiciones y necesidades locales (necesidades de un mercado especial o de subsistencia) y luego la multiplicación y difusión de estos materiales selectos. En los países andinos, la multiplicación y difusión se ven entorpecidas por el hecho de que la papa tiene una baja tasa de multiplicación y por sistemas de semilla altamente informales y “descentralizados” (Thiele, 1999). A la larga, es probable que las medidas de adaptación más efectivas contra estas amenazas serán las variedades vegetales resistentes, una mayor diversidad de cultivos de la misma o diferente especie en el paisaje, prácticas culturales mejoradas y mejores capacidades de los agricultores para un manejo integral de plagas. También es importante prever las áreas de futuro impacto para enfocar efectivamente las actividades de capacitación e intervención.

En el caso de la quinua, la combinación de temperaturas más altas y de mayor humedad relativa, asociada con el cambio climático, está haciendo más común la frecuencia del mildiu (*Peronospora farinosa*), que es la enfermedad más importante de la quinua en Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador y Perú (Alandia et al. 1979; Aragón y Gutiérrez 1992). La enfermedad es causada por un hongo y reduce el área fotosintética de la planta debido a la generación de manchas plomizas en el envés y borde de las hojas, lo que frecuentemente causa atrofia en las yemas de crecimiento, clorosis en la planta, deformidad de ramas basales y, finalmente, necrosis en el tallo. Todo esto resulta en defoliación completa, maduración prematura, reducida viabilidad de la semilla, y pérdida de rendimiento de hasta el 58% en variedades resistentes y del 99% en variedades susceptibles. Aunque el mildiu afecta a la planta en cualquier período de su desarrollo, provoca daños mayores cuando ataca a plantas jóvenes creando enanismo y afectando la fructificación. Las variedades tardías (esto es, procedentes de costa o valles) tienden a ser

más resistentes que las variedades precoces del altiplano (Bonifacio y Saravia 1999; Danielsen et al. 2000).

Tradicionalmente los agricultores aplican ceniza de plantas quenopodiáceas para el control del mildiu, pero la eficiencia de esta técnica es muy baja. Se puede controlar el mildiu mediante la aplicación de fungicidas pero esta solución no es accesible para los agricultores debido a los costos que implican el producto químico y los equipos de aplicación, la capacitación técnica en dosificación, épocas de aplicación, etc., así como la contaminación del medio ambiente y los peligros a la salud de los habitantes. Por otra parte, el mercado más importante de la quinua es de exportación de granos producidos orgánicamente, así que el uso de fungicidas químicos se ve severamente limitado como opción. Por ello, la estrategia más prometedora para el control del mildiu de la quinua es a través del uso de variedades resistentes a la enfermedad, pero supone muchos años de ardua investigación.

Suelos

La altura afecta profundamente la fertilidad inherente del suelo y el comportamiento de escurrimiento y erosión. Muchas de las características de fertilidad del suelo (incluyendo el contenido de materia orgánica, pH, capacidad de intercambio de cationes, absorción de fosfato y disponibilidad de fósforo) muestran variaciones altitudinales significativas en los Andes, y la resistencia de los suelos a la erosión aumenta drásticamente con la altura. En el Ecuador, Zehetner, Miller y West (2003) encontraron que a mayor altitud las condiciones frías y húmedas han favorecido la acumulación de materia orgánica y la precipitación de materiales amorfos activos, lo que ha llevado a la formación de Andisoles. A menor altitud, los contenidos de materia orgánica fueron bajos, la fracción coloidal estuvo dominada por halosita y los suelos fueron clasificados como Entisoles e Inceptisoles.

Las diferencias de altura observadas en el desarrollo del suelo se deben principalmente al clima. Las diferencias en la precipitación y la evapotranspiración tuvieron como resultado diversos regímenes de lixiviación y probablemente causan la

formación diferencial de alofanita y haloisita. A mayores elevaciones, las bajas temperaturas y mayor humedad pueden resultar en mayor precipitación, menor evapotranspiración, mayor lixiviación y menor sequía estacional. La temperatura también afecta la descomposición de la materia orgánica, lo que causa una mayor acumulación con la altitud que resulta en la formación de diferentes epipedones, dependiendo de la altura. Las diferencias en el uso de la tierra y la vegetación influyen en la formación de suelos. La acumulación de C orgánico y la formación de epipedones melánicos a elevaciones sobre los 3.200 m.s.n.m. podrían ser consecuencia de las adiciones substanciales de materia orgánica de la vegetación del páramo, una descomposición más lenta debido a bajas temperaturas, bajos valores de pH y la presencia de complejos estabilizadores Al-humus. Las fronteras entre las zonas de altura pertenecientes a la formación de suelos podrían cambiar con el tiempo debido a cambios climáticos.

Los impactos del cambio climático en forma de precipitaciones más severas, desglaciación, aumento de la frontera agrícola e intensificación de la agricultura, generarán sistemas agrícolas más vulnerables a la erosión de suelo, lo cual ya es una amenaza dominante para los sustentos agrícolas de las comunidades andinas. La erosión medida y modelada es tan variada como los ecosistemas de la región, con tasas por debajo de $5 \text{ Mg} \cdot \text{hectárea}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ en páramos perennes y pastizales escarpados a las más altas elevaciones, hasta pérdidas en la agricultura de las laderas entre 10 y $100 \text{ Mg ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, y desastrosos extremos a más de $150 \text{ Mg ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ para laderas escarpadas, en donde se han hecho pocos esfuerzos para manejar los residuos o modificar las pendientes (de Noni y Trujillo 1986; Romero 2005; Sims et al. 1999; S. Vanek, comunicación personal 2008; Vis 1991).

Un estudio de simulación muestra que los páramos de tierras altas y los pastizales de las cuencas andinas son estables frente a la erosión natural (Romero 2005). Bajo las actuales prácticas agrícolas, sin embargo, los avances y la intensificación de la agricultura en las áreas altas muy probablemente conducirán a una aceleración de la erosión de suelo (Veen, 1999, Valverde et al. 2001). En las áreas más secas de los Andes, los pastizales vulnerables y sobreexplotados, muchos de los cuales están ubicados en zonas ecológicas

propensas a la erosión, proveen de forraje para ganado y abono para áreas cultivadas. Todos los modelos de erosión de suelo predicen que podría incrementarse la erosión en áreas cultivadas al igual que en estos pastizales si la intensidad de la precipitación aumentara debido al cambio climático.

Estudios realizados fuera de la zona andina indican que el cambio climático y sus interacciones podrían causar variaciones en la abundancia total de bacterias y hongos en el suelo, siendo los cambios en la precipitación los que tienden a tener un efecto mucho mayor en la composición de esa comunidad (Castro et al. 2010). La extracción de reservas de nutrientes del suelo también incrementará la vulnerabilidad de los sistemas de cultivo al cambio climático. La exportación excesiva de nutrientes de los campos de cultivo ha resultado de barbechos más cortos, de la descomposición de los sistemas tradicionales de rotación de cultivos/barbecho, así como del uso de los residuos de cultivos como forraje en sistemas donde el forraje de los pastizales es insuficiente (Sherwood, 2009; Wall 1999; Zimmerer 1996). Es probable que el calentamiento del clima agrave esta situación al reducir aún más los bajos contenidos de materia orgánica en los suelos andinos. En los campos degradados en donde la exportación neta y erosión han sido severas, la escasez de nutrientes no es fácil de remediar a largo plazo. Esto limitará las opciones de regeneración del suelo y adaptación al riesgo climático a través de la retención de residuos de cultivos o la adopción de cultivos vegetales en los sistemas.

Las medidas de adaptación al riesgo climático deberán enfocarse en reducir las pérdidas de suelo por erosión, aumentar el acceso a la irrigación para amortiguar las sequías de corto plazo y mejorar las funciones del suelo para conservar el agua y los nutrientes disponibles para los cultivos. Entre las tecnologías disponibles se encuentran las medidas de conservación física del suelo (siembra en contornos, barreras y terrazas), labranza de conservación y un manejo mejorado de residuos de cultivos, agricultura de cultivos de cobertura y mejoras a las enmiendas orgánicas a través de la incorporación de abonos animales y compostaje, recolección de agua y microirrigación, así como plantas alternativas multiusos para los periodos de barbecho. Una serie de especies leguminosas adaptadas y altamente productivas de las tierras altas, como el lupino nativo (*tarwi* o

chocho) (*Lupinus mutabilis*) y vezas introducidas (*Vicia dasycarpa* and *V. sativa*) ya se usan como grano, abono verde y cultivos de forraje, con resultados prometedores para que los agricultores aumenten la cobertura de suelo y la fijación biológica de nitrógeno en los sistemas de cultivo (Wheeler et al. 1999).

Discusión y conclusión

El cambio climático está amenazando el delicado balance de los sistemas de producción ecológicos, económicos y sociales de los Andes que han co-evolucionado a lo largo de muchos siglos a través de diseños, pruebas y errores (Dillehay y Kolata 2004; Seltzer y Hastorf 1990). En este documento se ha resaltado la necesidad de trabajar en adaptación al cambio climático construyendo sobre las estrategias tradicionales, tanto técnicas como socio-institucionales, que las comunidades campesinas tienen para organizar la producción. Estas estrategias fueron generadas a través del tiempo precisamente para reducir tal vulnerabilidad y muchas de ellas son todavía viables, mientras que otras requieren cambios sustanciales.

En general, los agricultores usan estrategias de reducción del riesgo climático a nivel familiar y comunal. Estas estrategias incluyen producir con una alta diversidad de variedades de una especie y en asociados de diferentes especies y variedades dentro de una misma parcela; producir en diferentes períodos o “siembras”; mantener la mayor cantidad posible de parcelas (esparcimiento de campos) en diferentes zonas para maximizar los diferenciales de altura, exposición al sol y fertilidad de suelos; ajustar las fechas de siembra y variedad de cultivo para emparejar los cambiantes patrones de lluvia; combinar la producción de cultivos y ganado, y aprovechar la antigua tecnología de procesamiento de alimentos (papa y oca deshidratada y congelada) (De Haan 2009; Regalsky y Hosse 2009).

Estas estrategias de reducción de riesgo climático no son simplemente “agronómicas” sino también profundamente sociales. En Huancavelica, Perú, por ejemplo, los agricultores utilizan el *allapakuy* como un sistema informal de distribución del riesgo climático. *Allapakuy* (“ayuda en la cosecha”) es una tradición precolombina

por la que los agricultores con una mala cosecha pueden ofrecer su mano de obra a aquellos que tuvieron una buena cosecha, a cambio de alimentos. Lo extraordinario es que en ocasiones el pago *allapakuy* es considerablemente mayor a los salarios vigentes por tareas similares debido a la obligación moral en la cual se basa (Crespeigne et al. 2010).

El manejo de riesgos anualmente comprende la administración de terrenos individuales y colectivos bajo producción. Se manifiesta en una organización coordinada de *sayañas* o terrenos individuales y *aynoqas* o terrenos bajo control comunal, lo que también incluye los antiguos acuerdos macro-organizacionales para el acceso vertical a múltiples zonas ecológicas a diferentes alturas (Murra 1975), la domesticación de cultivos resistentes (papa, quinua, chocho-tarwi), la cría de animales (camélidos) y la tecnología de producción (esto es, cultivos intercalados, sistemas de rotación, leguminosas para intensificar los barbechos, sistemas de baja labranza, y el uso de camellones y terrazas). Estos arreglos toman en cuenta las diferencias en condiciones y aptitudes de los suelos de la zona, los diferentes niveles de fertilidad del suelo en las parcelas dependiendo de cuánto tiempo han estado bajo producción y la capacidad adaptativa específica de cultivos y variedades. Cada una de las estrategias fue desarrollada para hacer frente a la inherente variabilidad climática y utilizar de forma óptima los nichos ecológicos. En los Andes es evidente que los campesinos reducían el riesgo mediante el manejo de parcelas y territorio, y a través de la toma de decisiones a nivel familiar y comunal.

El gran problema, sin embargo, es que no solamente el clima está cambiando sino también las condiciones que hacían viables las estrategias tradicionales de manejo de riesgos. La creciente variabilidad climática y el cambio están teniendo lugar al mismo tiempo que factores socioeconómicos -tales como el impacto de los mercados, políticas gubernamentales a favor de tecnología externa y la presión del crecimiento poblacional- están debilitando la capacidad del conocimiento local y la organización agrícola para contribuir a un sistema sostenible (Halloy et al. 2005a).

Los sistemas tradicionales de rotación del barbecho en sectores y paisajes comunes en los Andes centrales (Orlove y Godoy 1986) tienen muchas ventajas. Como indica De Haan (2009), estas incluyen tanto ventajas biológicas (recuperación de la fertilidad del suelo, control de plagas y enfermedades, reducción de riesgos, y disponibilidad de pastos durante el barbecho) (Hervé et al., 1994; Pestalozzi, 2000), como ventajas sociales (reducción de demandas de mano de obra para el manejo de la tierra, acceso intergeneracional a la tierra (Godoy, 1991; Zimmerer, 2002). En muchas comunidades, sin embargo, los esquemas tradicionales de rotación de barbecho han sido o están siendo desmantelados y reemplazados por el acceso y uso privado a la tierra debido a la alta presión poblacional. Es probable que estas condiciones exacerben la degradación del suelo, enfermedades del mismo e infestaciones del gorgojo andino (Parsa 2009), aumentando la vulnerabilidad de los agricultores ante el cambio climático. Cada vez más, los agricultores, a nivel individual, están vinculados a actividades no agrícolas, a la emigración temporal y a la venta de animales, como estrategias de adaptación al fracaso en la cosecha (Chaplin 2009; Crespeigne et al. 2010). Aún se usa muchas de las prácticas de manejo de territorios y parcelas pero cada vez más a escalas de coordinación menores y locales (Mayer 2002; Zimmerer 1996).

Los sistemas tradicionales generalmente son altamente resilientes, pero los efectos pronosticados, tasas y variabilidad de cambio climático y social podrían presionar a los sistemas locales más allá de su capacidad adaptativa. En este contexto, los agricultores más pobres son más vulnerables a todas las formas de riesgo climático que aquellos en una mejor situación.

Aún existe mucha incertidumbre sobre las magnitudes e impactos del cambio climático en cualquier área de los Andes y, por lo tanto, no está claro cuál es la mejor manera de prepararse para los impactos del clima. Los efectos del cambio climático en la producción de cultivos y, por implicación, en el sustento de los hogares, no está claramente delimitado. El cambio climático trae consigo mayores incidencias de plagas y enfermedades o la introducción de nuevas, provocando cambios en la ecología de los cultivos. Al mismo tiempo es necesario recalcar que no todos los efectos del cambio

climático son negativos ya que en algunos casos crea condiciones propicias para producir mejor, aun si las ventajas sean solamente a corto plazo (Chaplin 2009, M. García, comunicación personal; Mark 2008; Mark et al., 2005; Vuille et al. 2008). La esperada reducción en la productividad de los cultivos podría variar de una región a otra, dependiendo de los regímenes de temperatura, la distancia a los cuerpos de agua, la altura y también los cultivos y genotipos usados.

Debido a los cambios esperados en la disponibilidad de agua, la diferente adaptabilidad de cultivos y animales a nuevos ambientes, y la exposición a los desastres naturales, las familias rurales y sus comunidades están reevaluando qué, cuándo y dónde producir cultivos y pastar animales. Se requiere una estrategia de investigación participativa y manejo adaptativo, técnica y social, institucionalmente fuerte, para enfrentar la naturaleza impredecible de los cambios y reforzar las interacciones coevolutivas entre los ecosistemas y los humanos.

Referencias

1. Alandía, S., Otazú, V. y Salas, B. 1979. Enfermedades. En: Tapia, M., H. Gandarillas, S. Alandía, A. Cardozo, A. Mujica, R. Ortiz, V. Otazú, J. Rea, B. Salas, and E. Sanabria, (eds.). Quinoa y Kañiwa. Editorial IICA, Bogotá, Colombia, p. 137–148.
2. Aragón, L. and W. Gutiérrez. 1992. El mildiu en cuatro especies de *Chenopodium*. *Fitopatología* 27:104–109.
3. Artursson, V., R.D. Finlay, and J.K. Jansson, 2006. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and bacteria and their potential for stimulating plant growth. *Environmental Microbiology* 8, 1-10.
4. Bale, J.S., Masters, G.J. Hodkinson, I.D. Awmack, C., Bezemer, T.M., V.K. Brown, et al. 2002. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology* 8, 1–16.
5. Beniston, M. 2005. The risks associated with climatic change in mountain regions. In U.M. Huber, H.K. M. Bugmann, M.A. Reasoner (eds.), *Global change and mountain regions*, Springer, the Netherlands, 511-519.
6. Bonifacio, A. y Saravia. 1999. Evaluación de la resistencia al mildiu en quinua. En: *Memorias del Tercer Taller de Preduza en Resistencia Duradera en Cultivos Altos en la Zona Andina, 27–29 de Septiembre de 1999, Cochabamba, Bolivia*, p. 49–59. http://www.preduza.org/ce3_2.htm
7. Bonifacio, A., Alcón, M., Méndez, V., Apaza, R. (n.d.). Evaluación de la resistencia de quinua frente a la enfermedad del mildiu.
8. Bonifacio, A. y Vargas, A. (n.d.). Liberación de la variedad Jach'a Grano de quinua con resistencia al mildiu en Bolivia. <http://www.preduza.org/alejandro.htm>
9. Bradley, R.S., M. Vuille, H.F. Diaz, and W. Vergara, 2006. Climate change: Threats to Water Supplies in the Tropical Andes. *Science* 312, 1755-1756.
10. Buytaert, W., Célleri, R., De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure G., Deckers, J., Hofstede, R. 2006. Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews* 79, 53-72.
11. Capparelli, A., Lema, V., Giovannetti, M., Raffino, R. 2005. The introduction of Old World crops (wheat, barley and peach) in Andean Argentina during the 16th century

- A.D.: Archaeobotanical and ethnohistorical evidence. *Vegetation History and Archaeobotany*, 14, 472–484.
12. Carey, M., 2005. Living and dying with glaciers: people's historical vulnerability to avalanches and outburst floods in Peru. *Global and planetary change*, 47, 122-134.
 13. Castro, H.F., Classen, A.T, Austin, E.E., Norby, R.J., Schadr, C.W., 2010. Soil microbial community responses to multiple experimental climate change drivers. *Applied Environmental Microbiology*. February, 76(4): 999-1007.
 14. Chaplin, Ann, 2009. Percepciones de comunarios y comunarias del altiplano boliviano sobre los cambios en el clima y sus efectos. *Plataforma Boliviana frente al Cambio Climático*, CIPE, CIPCA, Christian Aid.
 15. Coakley, S. M., Scherm, H., and Chakraborty, S. 1999. Climate change and plant disease management. *Annual Review of Phytopathology* 37, 399-426.
 16. Coudrain, A.; B. Francou, Z.W. Kundzewicz, 2005. Glacier shrinkage in the Andes and consequences for water resources *Hydrol. Sci. J.* 50, 925-932.
 17. Crespeigne, E., Olivera, E., Ccanto, R. and Scurrah, M., 2010. Exploración de las estrategias y prácticas de una comunidad campesina de los Andes Centrales frente a los riesgos extremos asociados al cambio climático. Paper presented at the "Seminario SEPIA XIII – Cusco, Peru, 10 - 13 de August, 2009, Centro Bartolomé de las Casas (CBC) and Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC).
 18. Danielsen, S., Jacobsen, S.E., Echegaray, J. y Ames, T. 2000. Impact of downy mildew on the yield of quinoa. *CIP Program Report 1999 – 2000*, 397-401.
 19. Dangles, O., Carpio, C., Barragan, A., Zeddani, J.L. and Silvain, J.F. (2008b) Temperature as a key driver of ecological sorting among invasive pest species in the tropical Andes. *Ecological Applications*, 18, 1795-1809.
 20. De Bièvre, B. (2008). Páramo: las funciones hidrológicas de un ecosistema frágil. In F. Torres and J. Recharte, eds. *Economías sanas en ambientes sanos: Los páramos, el agua y la biodiversidad para el desarrollo y competitividad agraria del norte peruano*. INCAGRO and Instituto de Montaña.

21. De Haan, S. 2009. Potato diversity at height: Multiple dimensions of farmer-driven in-situ conservation in the Andes. PhD thesis. Wageningen University, The Netherlands.
22. De Noni, G. and G. Trujillo. 1986. La erosión actual y potencial en el Ecuador: Localización, manifestaciones y causas. In: La Erosión en el Ecuador. Documentos de Investigación, CEDIG, Quito, Ecuador, 6, 1-14.
23. Dillehay, TD, A. Kolata, 2004, Long-term human response to uncertain environmental conditions in the Andes. Proceedings of the National Academy of Sciences, PNAS 101, 12, 4325-4330.
24. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2004. Electronic forum on payment schemes for environmental services in watersheds, FAO, Santiago de Chile.
25. Forbes, G. A., J. A. Landeo, 2006, Late Blight. Handbook of Potato Production, Improvement, and Postharvest Management. J. Gopal and K. S. M. P., eds. Haworth Press Inc., Binghamton, NY, 279-320.
26. Foster, P., 2001. The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. Earth-Science Reviews 55, 73–106.
27. Francou, B., E. Ramirez, et al. 2000. "Glacier Evolution in the Tropical Andes during the Last Decades of the 20th Century: Chacaltaya, Bolivia, and Antizana, Ecuador." *Ambio* 29, no 7, 416-422.
28. Francou, B., M. Vuille, P. Wagnon, J. Mendoza and J.E. Sicart, 2003. Tropical climate change recorded by a glacier in the central Andes during the last decades of the twentieth century: Chacaltaya, Bolivia. *Journal of Geophysical Research* vol. 108, D5, 4154: 1-12.
29. François, C., R. Bosseno, J.J. Vacher and B. Seguin, 1999. Frost risk mapping derived from satellite and surface data over the Bolivian Altiplano. *Agricultural and Forest Meteorology*, 95, 113-137.

30. Garrett, K. A., S. P. Dendy, E. E. Frank, M. N. Rouse, and S. E. Travers. 2006. Climate change effects on plant disease: Genomes to ecosystems. *Annual Review of Phytopathology* 44, 489-509.
31. Garrett, K. A. 2008. Climate change and plant disease risk. In *Global Climate Change and Extreme Weather Events: Understanding the Potential Contributions to the Emergence, Reemergence and Spread of Infectious Disease*. National Academy of Science, Institute of Medicine, 143-155.
32. GEF (Global Environmental Facility), 2003. Operational program on sustainable land management (OP#15). GEF
33. Giorgi, F. J.H. Hurrell, M.R. Marinucci, M. Beniston, 1997. Elevation dependency of the surface climate change signal: A model study. *Journal of Climate*, 10, 288-296.
34. Godoy, R.A. 1991. The evolution of common-field agriculture in the Andes: a hypothesis. *Comparative Studies in Society and History* 33(2):395-414.
35. Gondard, P., and H. Mazurek. 2001. 30 años de reforma agraria y colonización en el Ecuador (1964-1994): dinámicas espaciales. In: *Dinámicas territoriales: Ecuador, Bolivia, Perú, Venezuela*.
36. Gutiérrez, R., Schafleitner, R. 2007. Caracterización Morfofisiológica, molecular y de procesamiento para cultivares de papa nativa en la provincial de Canchis-Cusco. CIP.
37. Hagen, S.B., Jepsen, J.U., Ims, R.A., and N.G. Yoccoz. 2007. Shifting altitudinal distribution of outbreak zones of winter moth *Operophtera brumata* in sub-arctic birch forest: a response to recent climate warming? *Ecography* 30, 299-307.
38. Halloy, S.R.P., Ortega Dueñas, R., Yager, K. and Seimon, A., 2005a. Traditional Andean Cultivation Systems and Implications for Sustainable Land Use. *Acta Horticulturae*, 670, 31-55.
39. Halloy, S.R.P., Seimon, A., Yager, K. and Tupayachi Herrera, A., 2005b. Multidimensional (climate, biodiversity, socio-economics, agriculture) context of changes in land use in the Vilcanota watershed, Peru. In: E.M. Spehn, M. Liberman Cruz and C. Körner (Editors), *Land Use Changes and Mountain Biodiversity*, 2005. CRC Press LLC, Boca Raton FL, USA, 323-337.

40. Halloy, S.R.P., Yager, K., García, C. and Beck, S., 2008. South America: Climate Monitoring and Adaptation Integrated Across Regions and Disciplines. In: J. Settele (Editor), Atlas of Biodiversity Risks - from Europe to the globe, from stories to maps. Pensoft, Sofia & Moscow.
41. Haylock, M.R., T.C. Peterson, L.M. Alves, T. Ambrizzi, Y.M.T. Anunciação, J. Baez, V.R. Barros, M.A. Berlato, M. Bidegain, G. Coronel, V. Corradi, V.J. Garcia, A.M. Grimm, D. Karoly, J.A. Marengo, M.B. Marino, D.F. Moncunill, D. Nechet, J. Quintana, E. Rebello, M. Rusticucci, J.L. Santos, I. Trebejo, and L.A. Vincent, 2006: Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960–2000 and Links with Sea Surface Temperature, *Journal of Climate*, 19, 1490–512.
42. Hervé, D., Genin, D. and Riviere, G. (eds.) 1994. Dinámicas del Descanso de la Tierra en los Andes. Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM), Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria (IBTA), La Paz.
43. Hodkinson, I.D. 2005. Terrestrial insects along elevation gradients: species and community response to altitude. *Biological Revue*, 80, 489-513.
44. Hulme, N. and Shead, N., 1999. Escenarios de cambio climático para los países del los Andes del Norte. Norwich, WWF-CRU, Unidad de investigación climática.
45. IPCC, 2007. Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report. *Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability - Summary for Policymakers*, 23 pp.
46. IUCN, 2002. High Andean wetlands. Technical report. IUCN, Gland, Switzerland.
47. Jacobsen, S.E., C. Monteros, L.J. Corcuera, L.A. Bravo, J.L. Christiansen, A. Mujica. 2007. Frost resistance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *European Journal of Agronomy*, 26, 471–475.
48. Judelson HS, Blanco FA (2005) The spores of *Phytophthora*: weapons of the plant destroyer. *Nature Reviews Microbiology* 3, 47-58
49. Kaser, G., Ames, A., Zamora, M., 1990. Glacial fluctuations and climate in the Cordillera Blanca, Peru. *Annals of Glaciology*, 14, 136-140.

50. Kaser, G. and Georges, C., 1997. Changes of the equilibrium-line altitude in the tropical Cordillera Blanca, Peru, and their spatial variations. *Annals of Glaciology*, 24, 344-349.
51. Killeen, T.J., Douglas, M., Consiglio, T., Jørgensen, P.M. and Mejia, J., 2007. Dry spots and wet spots in the Andean hotspot. *Journal of Biogeography*, Special issue: 1-17.
52. Liebmann, B., S. Camargo, J. Marengo, C. Vera, A. Seth, L. Carvalho, D. Allured, R. Fu, 2007: Onset and End of the Rainy Season in South America in Observations and an Atmospheric General Circulation Model, *Journal of Climate*, 20, 2037–2050.
53. MacArthur, R. 1970. Species packing and competitive equilibrium for many species. *Theor Popul Biol.* 1, 1:1-11.
54. Machaca, M.M. 1993. Actividades de crianza de semillas en la Comunidad Campesina de Quispillacta, Ayacucho, acompañadas por la Asociación Bartolomé Aripaylla. Campaña 1992–93. In *Afirmación Cultural Andina*. Perú: Proyecto Andino de Tecnologías Campesinas, PRATEC.
55. Mark, Bryan G. 2008. “Tracing tropical Andean glaciers over space and time: Some lessons and transdisciplinary implications.” *Global and Planetary Change* 60:101-114.
56. Mark, Bryan G., and Geoffrey O. Seltzer. 2005. “Evaluation of recent glacier recession in the Cordillera Blanca, Peru (AD 1962-1999): spatial distribution of mass loss and climatic forcing.” *Quaternary Science Reviews* 24, 2265-2280.
57. Mayer, Enrique. 2002. *The Articulated Peasant: Household Economies in the Andes*. Boulder, CO: Westview Press.
58. Morlon, P., 1992, Réduction des risques climatiques par les aménagements: l’exemple des gelées sur l’Altiplano, pp. 265-276, in Morlon, P. ed., *Comprendre l’agriculture paysanne dans les Andes Centrales*, INRA editions, Paris.
59. Murra, J.V., 1975. *Formación Económica y Política del Mundo Andino*. Instituto de Estudios Peruanos, Lima.

60. Nelson, R., R. Orrego, O. Ortiz, J. Tenorio, D. Mundt, M. Fredrix, and N.V. Vien, 2001. Working with resource-poor farmers to manage plant disease. *Plant Disease*, 85, 7, 684-695.
61. Orlove, B. and Godoy, R., 1986. Sectoral fallowing systems in the Central Andes. *Ethnobiology* 6, 169-204.
62. Ortiz, O., K. A. Garrett, J. J. Heath, R. Orrego, and R. J. Nelson. 2004. Management of potato late blight in the Andean highlands: Evaluating the benefits of Farmer Participatory Research and Farmer Field Schools. *Plant Disease* 88, 565-571.
63. Parsa, S., 2009. Explaining the dismantlement of indigenous pest management in the Andes. Ph.D. dissertation. Graduate Group in Ecology. University of California, Davis.
64. Pestalozzi, H. 2000. Sectoral fallow systems and the management of soil fertility: the rationality of indigenous knowledge in the high Andes of Bolivia. *Mountain Research and Development* 20(1):64-71.
65. Pouyaud, B., Zapata, M., Yerren, J., Gomez, J., Rosas, G., Suarez, W. & Ribstein, P., 2005. Avenir des ressources en eau glaciaire de la Cordillère Blanche. *Hydrological Sciences Journal*, 50, 6, 999–1021.
66. Quinn, W. H., Neal, V.T. and Antunez, S.E., 1987. El Niño occurrences over the past four-and-a-half centuries. *Journal Of Geophysical Research*, Vol. 92, No. C13, Pages 14,449-14,461, December 15.
67. Ramírez, E., B. Francou, et al., 2001. Small glaciers disappearing in the tropical Andes: A case study in Bolivia. *Glaciar Chacaltaya (16 S)*. *Journal of Glaciology* 47, 157, 187-194.
68. Regalsky, P. and Hosse, T., 2009. Estrategias campesinas andinas de reducción de riesgos climáticos. CENDA-CAFOD, Cochabamba.
69. Rodriguez, J.M. 2003. Paying for forest environmental services: the Costa Rican experience. *Unasylva* 212, 54, 31-33.

70. Romero Leon, C. 2005. A multi-scale approach for erosion assessment in the Andes. Tropical resource management papers, No. 61. Wageningen: Wageningen University and Research Centre.
71. Ropelewski, H.F., M.S. Halpert, 1987. Global and regional scale precipitation patterns associated with El Niño/Southern Oscillation, *Mon. Weather Review*, 115, 1606-1626.
72. Ruiz, D., H.A. Moreno, M.E. Gutiérrez, P.A. Zapata (2008). Changing climate and endangered high mountain ecosystems in Colombia. *Science of the Total Environment*. July, 398 (1-3), 122-32.
73. Scherm, H., and VanBruggen, A. H. C. 1994. Global warming and nonlinear growth – How important are changes in average temperature. *Phytopathology* 84, 1380-1384.
74. Seimon, T.A., Daszak, P., Halloy, S. R. P., Schloegel, L. M., Aguilar, C. A., Sowell, P., Hyatt, A. D., Konecky, B., and Simmons, J. E., et al., 2007. Upward range extension of Andean anurans and chytridiomycosis to extreme elevations in response to tropical deglaciation. *Global Change Biology*, 13, 288-299.
75. Seltzer, G.O. and Hastorf, C.A. 1990. Climatic change and its effect on prehispanic agriculture in the central Peruvian Andes. *Journal of Field Archeology* 17:397-414.
76. Seth, A., S. Rauscher, S. Camargo, J.H. Qian, and J. Pal. 2006. RegCM regional climatologies for South America using reanalysis and ECHAM model global driving fields, *Climate Dynamics*, 28, 461-480.
77. Sherwood, S. 2009. Learning from Carchi: Agricultural Modernisation and the Production of Decline. PhD dissertation. Wageningen University. The Netherlands.
78. Simms A., and H. Reid, 2006: Up in Smoke? Latin America and the Caribbean, The threat from climate change to the environment and human development. The third report from the Working Group on Climate Change and Development. IIED.
79. Sims B., F. Rodriguez, M. Eid, T. Espinoza. 1999. Biophysical aspects of soil and water conservation practices in the inter-Andean valleys of Bolivia. *Mountain Research and Development* 19, 4, 282-291.

80. Sporleder M., Kroschel J., Gutierrez, M. R., and A. Lagnaoui. 2004. A temperature-based simulation model for the potato tuberworm, *Phthorimaea operculella* Zeller (Lepidoptera: Gelechiidae). *Environmental Entomology* 33, 477-486.
81. Tapia, M. 1993. "Semillas Andinas: Banco de Oro", CONCYFEC, Lima.
82. Thiele, G. 1999. Informal Potato Seed Systems in the Andes: Why are they important and what should we do with them? *World Development* 27, 1, 83-99.
83. Thompson, L.G., 2003. Long-term Andean ice core and glacier response records: placing the 20th century glacier retreat in perspective. In: G. Casassa and A. Rivera (Editors), *Symposium on Mass Balance of Andean Glaciers*. Centro de Estudios Científicos (CECS), Valdivia, Chile, 21.
84. Troll, C. 1968. The cordilleras of the tropical Americas. Aspects of climatic, phytogeographical and agrarian ecology. In Troll, C., editor. *Geo-Ecology of the Mountainous Regions of the Tropical Americas Colloquium Geographicum*. Bonn 9, 15-56.
85. Urrutia, R. and Vuille, M., 2009. Climate change projections for the tropical Andes using a regional climate change model: Temperature and precipitation simulations for the 21st century. *Journal of Geophysical Research*, 114, 1-15.
86. Valverde, F., J. Cordoba, and R. Parra. 2001. Erosión de suelo causada por labranza con maquinaria agrícola (arado y rastra) en Carchi, Ecuador. Report for the USAID Soil Management CRSP. INIAP, Quito, Ecuador.
87. Vásquez, L., Veitía, M., Fernández, E., Jiménez, J., Jiménez, S. 2009. Diagnóstico rápido de la ocurrencia de plagas en sistemas agrícolas de Cuba por eventos extremos de cambios en el clima. *Revista Brasileira de Agroecología* 4 (2): 2149-2152. <http://www.aba-agroecologia.org.br/ojs2/index.php/rbagroecologia/article/view/7906>.
88. Vásquez, L. 2011. Manejo de plagas en sistemas agrícolas afectados por eventos extremos del cambio climático. III Congreso Latinoamericano de Agroecología. Oaxtepec, Morelos, México. Agosto.
89. Veen, M. 1999. The Development of Land Use and Land Management and their Effects Upon Soils in Processes of Mechanical Erosion and Compaction: a Case

- Study for a Potato-production Area in the Northern Andes of Ecuador. MSc thesis, Department of Soil Science and Geology, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
90. Vergara, W., Kondo, H., Pérez, E., Méndez, J. M., Magaña, V., Martínez, M. C., Ruíz, J. F., Avalos, G. J., and Palacios, E., 2007. Visualizing Future Climate in Latin America: Results from the application of the Earth Simulator. Latin America and Caribbean Region Sustainable Development Working Paper (SDWP), 30. World Bank, 90 pp.
 91. Vis, Marinus 1991. Processes and patterns of erosion in natural and disturbed Andean forest ecosystems. Amsterdam: Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap.
 92. Vuille, M., Bradley, R.S., Werner, M. and Keimig, F., 2003. 20th century climate change in the tropical Andes: observations and model results. *Climatic Change*, 59.
 93. Vuille, M., B. Francou, P. Wagnon, I. Juen, G. Kaser, B.G. Mark, and R.S. Bradley. 2008. "Climate Change and Tropical Andean Glaciers: Past, Present and Future." *Earth-Science Reviews*, 89, 79-96.
 94. Wall P. 1999. Experiences with crop residue cover and direct seeding in the Bolivian Highlands. *Mountain Research and Development* 19, 4, 313-317.
 95. Wallner, W.E. 1987. Factors affecting insect population dynamics: Differences between outbreak and non-outbreak species. *Annual Review of Entomology*, 32: 317-340.
 96. Wheeler, T, A Qi, J Keatinge, R Ellis, R Sommerfield. 1999. Selecting Legume Cover Crops for Hillside Environments in Bolivia. *Mountain Research and Development* 19, 4, 318-324.
 97. Young, K.R. and Lipton, J.K. 2006. Adaptive governance and climate change in the tropical highlands of western South America. *Climatic Change* 78, 63-102.
 98. Zimmerer, K.S. 1996. Changing fortunes: Biodiversity and Peasant Livelihood in the Peruvian Andes. Berkeley: University of California Press.

99. Zimmerer, K.S. 2002. Common field Agriculture as a cultural landscape of Latin America: development and history in the geographical customs of land use. *Journal of Cultural Geography* 19(2):37-63.
100. Ziska, L.H & Runion, G.B., 2007. Future weed, pest, and disease problem for plants in Agroecosystems in a Changing Climate, edited by Newton, P.C.D., Carran, R.A., Edwards G.R. & Niklaus P.A., Taylor & Francis Boca Raton, 261-287.