

Gestión Integral del Agua: Una estrategia para la conservación de microcuencas y el fortalecimiento de su resiliencia al cambio climático

Fernando Patiño¹, Rhimer Gonzales¹, Nicolás Rueda², Juan Almanza¹,
Javier Iriarte¹, Roger Montaña³, Franz Terrazas¹, Ximena Cadima¹

¹ Fundación PROINPA, ² Unidad de Gestión de Riesgos - GAM Morochata,
³ Unidad de Planificación - GAM Colomi

E mail: f.patino@proinpa.org

Resumen. La Fundación PROINPA, en el marco del *Proyecto Biocultura y Cambio Climático* e iniciativas complementarias, implementó conjuntamente con agricultores y autoridades locales de los municipios de Morochata y Colomi, una estrategia de *Gestión Integral del Agua* que implica el manejo y conservación de agroecosistemas verticales en las microcuencas Rodeo Alto-Primera Candelaria (Colomi) y San Isidro (Morochata), a través de acciones como la conservación de áreas de recarga hídrica, la recuperación de la fertilidad de los suelos agrícolas, la conservación de bosques nativos y la optimización del uso de agua para riego. Con esta estrategia, se han desarrollado normativas locales para la conservación de 3186 ha en Morochata y de 1660 ha en Colomi, que representan las áreas de recarga hídrica de cada microcuenca. La incorporación de leguminosas y pastos nativos en los ciclos de rotación, ha permitido la conservación directa de 26 ha de suelo agrícola en Morochata y de 70 ha en Colomi. Se han forestado 15 ha de pino y eucalipto, acción que contribuye a la conservación indirecta de 314 ha de bosque nativo en Morochata. Mejoras en la infraestructura de riego han permitido el incremento en un 100% de los volúmenes de almacenamiento de agua en Morochata, permitiendo el riego de 11.8 ha en beneficio de 68 familias de agricultores. En Colomi se logró implementar un área de riego tecnificado de 67 ha en beneficio de 134 familias. Esta estrategia es replicable en agroecosistemas con diferentes pisos altitudinales, para fortalecer su conservación y garantizar la disponibilidad de agua para riego y consumo humano, en un contexto de cambio climático.

Palabras clave: Agroecosistema; Resiliencia; Ciclo hidrológico; Suelos; Riego.

Summary: *Integrated Water Management: A strategy for the conservation of micro-basins and the strengthening of their resilience to climate change.* The PROINPA Foundation, within the framework of the Bioculture and Climate Change Project and complementary initiatives, implemented, with farmers and local authorities in the municipalities of Morochata and Colomi, an Integrated Water Management strategy that involves the management and conservation of vertical agroecosystems in the micro-basins of Rodeo Alto-Primera Candelaria (Colomi) and San Isidro (Morochata), through actions such as the conservation of water recharge areas, the recovery of fertility of agricultural soils, the conservation of native forests and the optimization of water use for irrigation. With this strategy, local rules have been developed for the conservation of 3,186 ha in Morochata and 1,660 ha in Colomi, which represent the water recharge areas of each micro-basin. The incorporation of legumes and native grasses in the rotation cycles has allowed the direct conservation of 26 ha of agricultural land in Morochata and 70 ha in Colomi. 15 ha of pine and eucalyptus have been afforested, an action that contributes to the

indirect conservation of 314 ha of native forest in Morochata. Improvements in the irrigation infrastructure have allowed a 100% increase in the volumes of water storage in Morochata, allowing the irrigation of 11.8 ha for the benefit of 68 farmer families. In Colomi, a technified irrigation area of 67 ha was implemented to benefit 134 families. This strategy is replicable in agroecosystems with different altitude levels to strengthen the conservation of the agroecosystem and guarantee the availability of water for irrigation and human consumption in a context of climate change.

Keywords: Agroecosystem; Water cycle; Soils, Irrigation.

1. Introducción

La compleja fisiografía que presenta Bolivia, especialmente en los valles interandinos, favorece la presencia de microclimas y ecosistemas con umbrales de temperatura y humedad particulares que permiten el desarrollo de una gran diversidad de cultivos. Estos ecosistemas, entre ellos los agrícolas, cumplen una serie de servicios¹ que benefician a las poblaciones humanas que habitan en ellos, los cuales se pueden agrupar en cuatro categorías: aprovisionamiento, regulación, apoyo y cultural, y que en conjunto reciben el nombre de servicios ecosistémicos (Hassan *et al.*, 2005). En las dos primeras categorías se encuentran implícitos aquellos mecanismos naturales, como el ciclo hidrológico, que garantizan el aprovisionamiento de agua a través de precipitaciones pluviales, neblinas o la formación de nevados.

El ciclo hidrológico es quizás, la función ambiental más importante que pueden brindar los ecosistemas, especialmente

cuando en ellos se encuentran asentamientos humanos (comunidades) cuya actividad principal es la agricultura. El normal desarrollo de este ciclo, requiere de una complementariedad inter-ecológica, es decir, de la interacción de diferentes componentes naturales distribuidos (de manera vertical, en el caso de la zona andina) en pisos altitudinales o ecosistemas, dentro un área geográfica determinada como, por ejemplo, una microcuenca.

Un área de este tipo, con sus componentes naturales en equilibrio, producto de su adecuado manejo y conservación, permite un ciclo hidrológico completo en donde los procesos de precipitación, evaporación, transpiración y escurrimiento, ocurren de manera normal. De esta forma, la microcuenca cumple a cabalidad su función de acumulación de agua y recarga hídrica en las zonas altas (AGRECOL, 2018) así como la descarga hídrica en las zonas más bajas.

Según Vásquez *et al.* (2016) los componentes biofísicos principales de una microcuenca en la zona andina son:

- **La vegetación:** conformada por 1) pajonales de altura y especies arbustivas nativas, las cuales son el principal medio para la captura de agua en las zonas de altura, principalmente la proveniente de las neblinas y del descongelamiento de nevadas; 2) bosques nativos, que son

¹ El año 2012, en Bolivia se promulga la Ley N° 300 Marco de la *Madre Tierra y Desarrollo Integral para Vivir Bien*, la cual reconoce (en sus artículos 4 y 5) al ciclo hidrológico como una función ambiental y no como un servicio susceptible de ser aprovechado y comercializado (Estado Plurinacional de Bolivia, 2012). Bajo este contexto, en el presente artículo, PROINPA hace referencia al ciclo hidrológico como una función ambiental de los ecosistemas.

responsables de la captura de CO₂ y la regulación de la humedad del ambiente. Constituyen además el hábitat de muchas especies de animales entre aves, roedores, insectos, etc., y la principal fuente de madera para elaborar implementos agrícolas y leña para combustible, por lo que sufren de cierta presión extractiva.

- **El suelo:** como medio natural de almacenamiento de agua en venas y bolsones subterráneos y como recurso fundamental para la producción agrícola.

- **Cuerpos (lagunas), cursos (arroyos) y vertientes naturales, alimentados por precipitaciones, escurrimientos y flujos subterráneos de agua.** Constituyen las principales fuentes de agua de las comunidades rurales para el riego de sus cultivos y el consumo humano y animal.

La interacción de estos componentes, determina la disponibilidad de agua en el tiempo y espacio, la cual es conducida por pequeños arroyos hacia depresiones naturales del terreno dando lugar a la formación de lagunas naturales. Otra parte de esta agua se infiltra al subsuelo, en donde recorre diferentes distancias, para luego resurgir a la superficie a través de vertientes (*juturis*).

La gestión sostenible de los recursos naturales presentes en cada microcuenca, requiere de estrategias que no sólo garanticen la disponibilidad a largo plazo de los mismos, sino que también brinde oportunidades de mejorar el nivel de vida de los agricultores. En ese marco, la *Gestión Integral del Agua* (GIA), constituye una alternativa viable que puede ser replicada en *Sistemas de Vida* (SDV)² andinos

² Sistemas de Vida (SDV) se definen como "comunidades organizadas y dinámicas de plantas, animales, microorganismos y otros

sensibles a los efectos del cambio climático, que comprenden diferentes pisos ecológicos y que cuentan con la participación comprometida de agricultores, autoridades locales y municipales.

2. El contexto climático

En general, las funciones ambientales de los ecosistemas andinos están siendo afectadas gradualmente por el cambio climático. El incremento de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera en las últimas décadas, causado principalmente por actividades antropogénicas, ha provocado el calentamiento paulatino de la misma y la alteración de los patrones de temperatura y precipitación en varias regiones del mundo (IPCC, 2014), entre ellas los valles interandinos de Bolivia, en donde se encuentran los municipios de Morochata y Colomi (Figura 1).

Una estimación de la variación de las precipitaciones en el tiempo para ambos municipios, obtenida a través de modelos climáticos e historiales de datos recopilados de estaciones climáticas de todo el mundo, bajo un escenario hipotético de incremento en la concentración de GEI en la atmósfera, muestra que para el 2050 ocurrirá un cambio moderado a drástico en la cantidad de lluvia, principalmente en el municipio de Morochata.

Actualmente, estos cambios ya se hacen evidentes en la percepción que tienen los agricultores sobre el comportamiento del

seres y su entorno, donde interactúan las comunidades humanas y el resto de la naturaleza como una unidad funcional, bajo la influencia de factores climáticos, fisiográficos y geológicos, así como de las prácticas productivas (...)" (Estado Plurinacional de Bolivia, 2012).

clima, tomando en cuenta el número de meses “calientes” (con temperaturas elevadas) y “secos” (con mínima o nula precipitación) que se presentan cada año y que afectan al calendario agrícola de sus principales cultivos (PROINPA 2018 a, 2018 b). La representación gráfica (Figura 2) de la misma, muestra que en los últimos 20 años se ha reducido el número de meses del periodo de lluvias, incrementándose a su vez el número de meses con temperaturas elevadas.

Sin embargo, la evidencia más palpable del cambio climático para el agricultor es la irregular distribución de las lluvias

intercaladas con días soleados y con temperaturas altas próximas a los 30°C. Ambos factores, que a criterio de los agricultores no solían ser tan recurrentes como en los últimos 20 años, limitan la disponibilidad de agua para la siembra y desarrollo de sus cultivos. Si bien esta situación trata de ser sobrellevada por ellos, con el uso de agua de ríos y lagunas de altura para el riego de sus cultivos, los caudales son irregulares e insuficientes para compensar la pérdida de agua del suelo y la planta por efecto de la evaporación y transpiración, los cuales están muy ligados a la temperatura y humedad del ambiente.

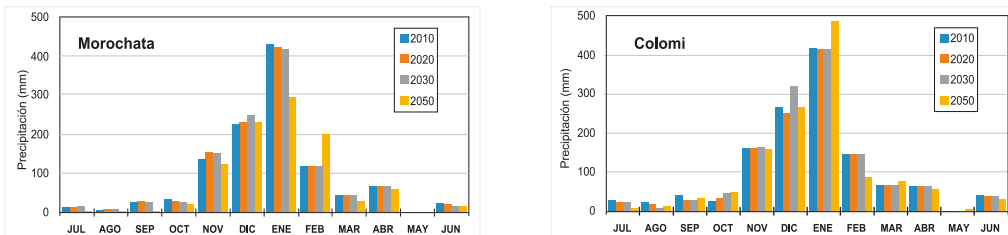


Figura 1. Variación de precipitación mensual para cuatro décadas en base a datos estimados por MarkSimTM DSSAT para los municipios de Morochata y Colomi
Fuente: <http://gisweb.ciat.cgiar.org/MarkSimGCM/>

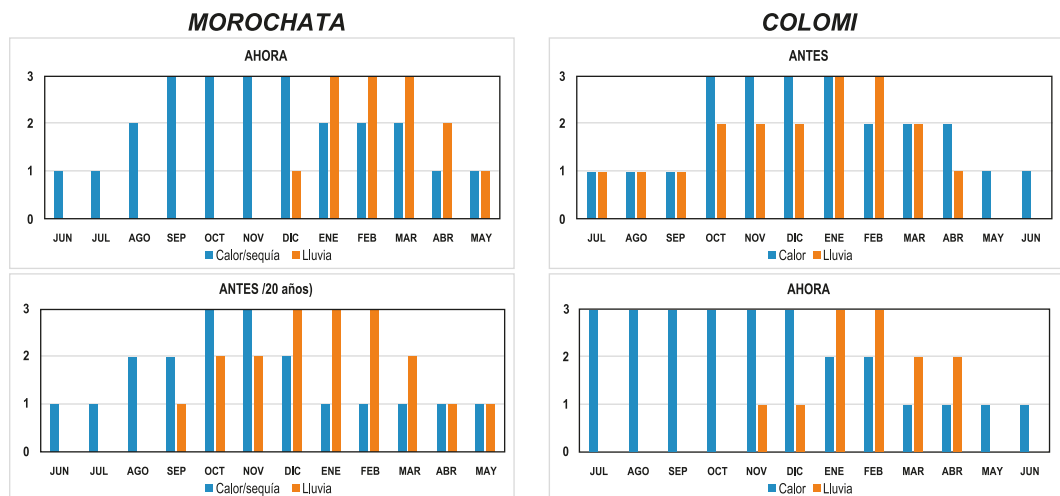


Figura 2. Percepción local del cambio del clima (Antes/Ahora) en Morochata y Colomi, considerando la ocurrencia de temperaturas elevadas (azul) y lluvias (naranja) por mes, calificados según una escala cualitativa (1 = Poco, 2 = Regular, 3 = Mucho, 0 = Nada)
Fuente: PROINPA 2018 a, 2018 b.

El agua de estos acuíferos de altura, proviene de zonas de recarga, que son áreas en donde predominan suelos con una alta capacidad de infiltración o rocas superficialmente permeables, a través de las cuales el agua de lluvia se incorpora o recarga a un acuífero (Losilla, 1986). La capacidad de recarga hídrica, según el INAB (2003) y Matus *et al.* (2009), es afectada por el clima (cantidad de lluvias, evapotranspiración), suelo (textura, densidad aparente, grado de saturación, capacidad de infiltración), topografía (pendiente), estratos geológicos y cobertura vegetal (profundidad y densidad de raíces, capacidad de retención del follaje).

Estas zonas de recarga están siendo afectadas por el cambio climático en la actualidad. El aumento de la temperatura, ocasiona una mayor evapotranspiración y una rápida descomposición de la materia orgánica de los suelos, afectando negativamente a la capacidad de retención y regulación de agua (Ministerio del Ambiente, 2015). Estos efectos sobre las zonas de recarga pueden verse acentuados aún más a nivel local, por la degradación de otros componentes de los ecosistemas como los pajonales y bosques nativos, debido a incendios y sobrepastoreo de ganado ovino y camélido, así como los suelos agrícolas cuya fertilidad se ve disminuida por el cultivo intensivo de papa y/o el acortamiento de los periodos de descanso, lo cual los hace vulnerables a la erosión hídrica o eólica.

Los bajos caudales de agua disponibles actualmente, se deben también a la precaria infraestructura de almacenamiento, conducción y distribución de agua que existe en las comunidades, conformada por atajados y canales de tierra en los cuales ocurren pérdidas de hasta más de un 60% del caudal por infiltración. Este panorama es preocupante si se tiene en

cuenta que, con el cambio climático, el requerimiento de agua para el riego de cultivos en los sistemas agrícolas será mayor, ocasionando una mayor presión sobre las zonas de recarga hídrica (Ministerio del Ambiente, 2015).

3. Descripción del área de intervención

3.1. Microcuenca San Isidro (Subcentral Piusilla-Morochata)

Localizada en el distrito Morochata, del municipio del mismo nombre, esta microcuenca comprende a toda la Subcentral Piusilla (conformada por las comunidades de San Isidro, Piusilla, Estrellani, Jinchupaya y Toldomoqo), y posee una variación altitudinal desde los 3000 a los 4700 m, dentro del cual están presentes dos ecosistemas característicos del SDV Puna: la Puna Alta y la Puna Baja o Cabecera de Valle (Figura 3).

Puna Alta (3700-4700 m de altitud): constituida por grandes extensiones de pajonales, praderas, vertientes naturales, bofedales y lagunas de altura, intercalados con afloramientos rocosos característicos de la cordillera del Tunari. En el pasado, en este piso se manejaban parcelas de cultivo de papa nativa bajo el sistema de *aynokas*, sin embargo, esta práctica ha sido abandonada debido principalmente a la creciente demanda de variedades de papa comerciales en el mercado y la migración de los agricultores a la capital del municipio, ciudades del interior del país (principalmente Santa Cruz y Cochabamba) y otros países como Argentina y Brasil. Actualmente, en esta zona se desarrolla la crianza de ganado ovino y camélido en pequeña escala. En ella se encuentra la laguna Qotapata (4000 m), principal

fuentes naturales de agua, la cual es conducida a través de canales de tierra hasta los reservorios artesanales de las comunidades de San Isidro, Estrellani y Jinchupaya.

Puna Baja o Cabecera de Valle (3000-3700 m): caracterizada principalmente por la presencia de parcelas de cultivo intercaladas con viviendas dispersas o agrupadas combinadas con cercos vivos de pino y/o eucalipto. En ella se practica una agricultura semi-intensiva, en la cual se destacan los cultivos de papa, haba, oca, tarwi y maíz. En esta zona se cultiva papa en siembras tempranas (*mishkas*), principalmente de la variedad Huaych'a cuyo cultivo requiere de riego complementario a partir de atajados construidos de forma artesanal que captan agua de arroyos, vertientes y lagunas ubicados en la Puna Alta. En este ecosistema, están presentes además relictos de bosque nativo con ejemplares de Kewiña (*Polylepis* sp.), Aliso (*Alnus acuminata*), Laurel (*Ocotea* sp.), Khiswara (*Buddleja tucumanensis*), T'uku (*Hesperomeles ferruginea*), Chachacoma (*Escallonia resinosa*), Pilichaki (*Oreopanax* sp.), Era (*Myrcianthes* cf. *callicoma*) y K'uri (*Chusquea lorentziana*) (Lisperguer *et al.*, 2013).

3.2. Microcuenca Rodeo Alto – Primera Candelaria (Colomi)

Esta microcuenca está definida por el río “Escalón” y los límites de ambas comunidades, las cuales pertenecen al Distrito III (Candelaria) del municipio de Colomi (Figura 3). Tiene un rango altitudinal de 3200 a 4300 m de altitud, donde se distinguen los siguientes ecosistemas:

Puna Alta (3650-4300 m): conformada por extensas áreas de pajonales, combinadas con cuerpos de agua (lagunas),

vertientes y afloramientos rocosos. En este ecosistema se encuentra la laguna Khumuqaqa (4000 msnm), considerada como la principal fuente de agua para el riego de las parcelas de cultivo que están en la parte baja de la microcuenca. Esta laguna, junto con otras de menor tamaño, está rodeada de extensas áreas de pajonales que funcionan como áreas de retención de humedad o recarga hídrica. El agua de la laguna Khumuqaqa es conducida a través de canales de tierra hasta las parcelas ubicadas en la ladera intermedia y baja, donde es aprovechada para el riego de cultivos de las comunidades de Rodeo Alto y Primera Candelaria.

Ladera intermedia (3300-3650 m): caracterizada porque en ésta se combinan parcelas de cultivo, principalmente de papa, y relictos de vegetación natural dominados por Chillka (*Baccharis* sp.), arbustos y paja brava (*Stipa* sp.). Un detalle particular de este ecosistema, es la presencia de bosques de pino establecidos en los años '90 por el PROFOR³ con fines de aprovechamiento y comercialización en la comunidad de Primera Candelaria y de importantes fragmentos de bosque nativo en Rodeo Alto, conformados principalmente por Kewiña (*Polylepis* sp.) y Khiswara (*Buddleja* sp.).

Ladera Baja o Cabecera de Valle (3200-3300 m): donde predominan parcelas de cultivo, en las que se practica una agricultura semi-intensiva de papa, haba, oca y papalisa principalmente, en parcelas próximas a los centros poblados de ambas comunidades.

³ Programa de Repoblamiento Forestal, implementado por el gobierno boliviano con el apoyo de la Cooperación Técnica Suiza (COTESU) y luego la Cooperación Suiza para el Desarrollo (COSUDE), entre los años 1984 y 1998.

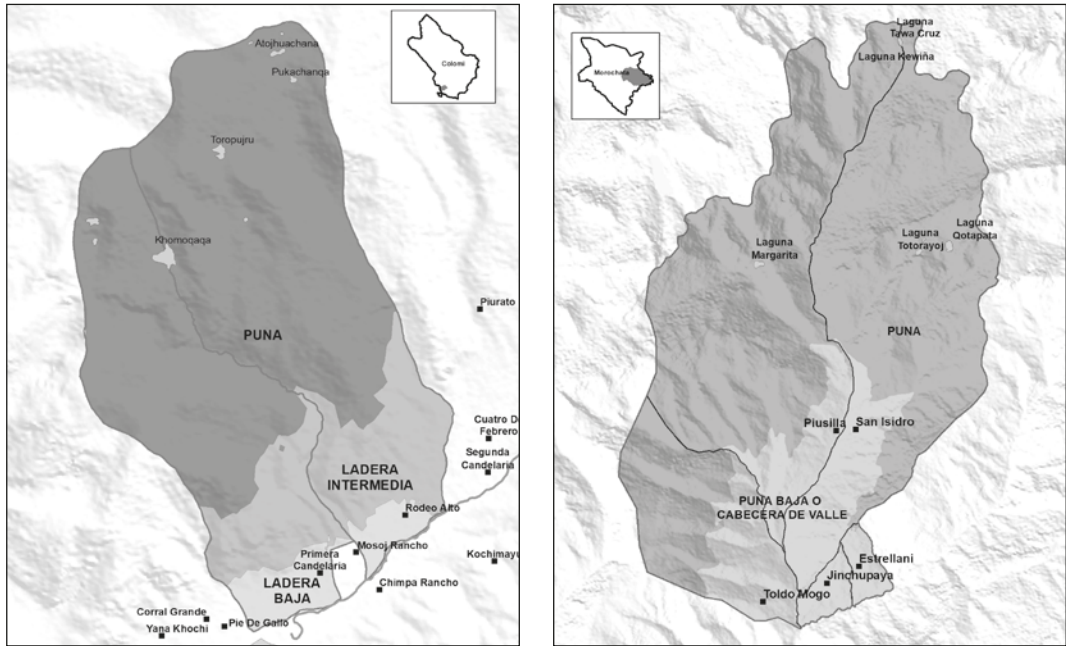


Figura 3. Microcuenca Rodeo Alto - Primera Candelaria (izquierda) en el municipio de Colomi y San Isidro (derecha) en el municipio de Morochata

4. Marco metodológico

Con el objetivo de mejorar las capacidades de resiliencia de los ecosistemas propios de los SDV Puna y los Valles de los municipios de Morochata y Colomi, y conservar las funciones ambientales que estos prestan -entre ellos el ciclo hidrológico- los cuales aseguran la disponibilidad de agua para riego y consumo, la Fundación PROINPA, con el apoyo de iniciativas como el *Proyecto Biocultura y Cambio Climático* (PBCC) y otras complementarias, ha desarrollado en forma conjunta con agricultores y autoridades municipales, una estrategia para la *Gestión Integral del Agua* (GIA) en las áreas de intervención descritas anteriormente.

Dicha estrategia se considera integral, ya que contempla intervenciones dirigidas a restaurar, conservar o mejorar la estructura de aquellos ecosistemas involucrados

(o de un componente específico de éstos), manteniendo el equilibrio y la armonía entre ellos, tomando en cuenta la complementariedad inter-ecológica necesaria para un ciclo hidrológico normal (Figura 4). Estas intervenciones contemplan un conjunto de acciones destinadas a la conservación y mejora de la cosecha de agua, la recuperación de la fertilidad de los suelos agrícolas, la conservación de bosques nativos, la optimización del uso de agua para riego y el fortalecimiento del rol de los agricultores.

Su implementación se hizo de acuerdo a la siguiente secuencia metodológica.

- Delimitación participativa de la microcuenca e identificación de componentes biofísicos, a través de reuniones con agricultores de las comunidades localizadas dentro la microcuenca y con el apoyo de imágenes satelitales y herramientas SIG.

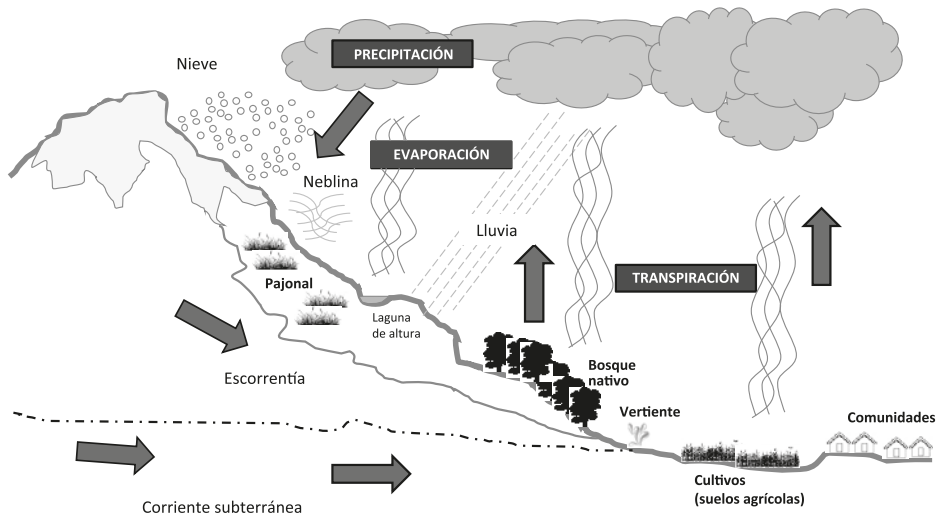


Figura 4. Representación del ciclo hidrológico en el ecosistema de Puna
(Fuente: Elaboración propia)

- Caracterización de pisos ecológicos, tipos de vegetación y uso del suelo, mediante el análisis en gabinete de información espacial de las áreas de intervención y la revisión de información secundaria como el Plan de Desarrollo Municipal (GAMM, 2014) y el Plan Territorial de Desarrollo Integral (GAMM, 2016).
- Identificación participativa de fuentes de agua a través de recorridos en campo (transectos) en áreas que utilizan riego para la agricultura. Paralelamente se identificaron elementos clave que contribuyen al ciclo hidrológico de la microcuenca.
- Elaboración conjunta de fichas técnicas (como el ITCP-FIV⁴) y estudios de diseño técnico de pre-inversión para la gestión de proyectos de riego ante instancias gubernamentales, de manera conjunta con el GAM y agricultores de comunidades que requieren mejoras en sus sistemas de riego.
- Implementación de acciones para el uso eficiente de agua (cosecha de agua, forestación y reforestación, mejoras en la conducción, distribución y riego tecnificado por aspersión) planificadas de forma conjunta con el GAM y agricultores de las comunidades de la microcuenca.

5. Resultados de la implementación de la estrategia GIA en Colomi y Morochata

5.1. Componentes biofísicos de las microcuencas

El análisis espacial de la información recolectada en campo, complementada con imágenes satelitales y a través de herramientas SIG, han permitido identificar elementos comunes que componen los agroecosistemas de las áreas de intervención, pese a la gran diferencia que existe en cuanto a la extensión de cada microcuenca. Dichos elementos, se encuentran distribuidos en 2 a 3 pisos altitudinales (cuadros 1 y 2) diferenciados por su rango

⁴ Informe Técnico de Condiciones Previas – Ficha de Identificación y Validación de Proyectos de Riego

altitudinal y, principalmente, por el tipo de vegetación predominante y la presencia de parcelas de cultivo manejadas bajo diferentes sistemas de producción (intensivo y semi-intensivo). En ambas microcuencas, el área de recarga hídrica se encuentra localizada por encima de los

3650 m de altitud (Puna Alta) y está compuesta por pajonales, pasturas, lagunas naturales y parcelas de cultivo (*aynokas*) que ocupan un área mínima (3%) de la superficie total de la microcuenca, como es el caso de San Isidro en el municipio de Morochata.

Cuadro 1. Superficies estimadas de los principales componentes de los ecosistemas de la microcuenca San Isidro

Ecosistema Componente	Comunidades					Total (ha)
	San Isidro	Piusilla	Estrellani	Toldo- moqo	Jinchu paya	
Puna Alta (3700 - 4500 m)	3186	3253	0	793	0	7232
Pajonales, pasturas	2957	3193	0	793	0	6943
Lagunas	8	4	0	0	0	12
Suelos agrícolas (<i>aynokas</i>)	221	56	0	0	0	277
Puna Baja o Cabecera de Valle (3000-3700 m)	788	576	145	629	159	2297
Suelos agrícolas	788	541	137	373	144	1983
Bosque nativo	0	35	8	256	15	314
Total (ha)	3974	3829	145	1422	159	9529

Fuente: Elaboración propia a partir de información obtenida mediante mapeo participativo, con agricultores de la microcuenca, sobre imágenes satelitales de Google Earth ®. Los datos fueron procesados en el programa ArcGis 10.4 ®.

Cuadro 2. Superficies estimadas de los principales componentes de los ecosistemas de la microcuenca Rodeo Alto - Primera Candelaria

Ecosistema Componente	Comunidades		Total (ha)
	Rodeo Alto	Primera Candelaria	
Puna Alta (3650 - 4300 m)	1036	624	1660
Pajonales, pasturas	1028	620	1648
Lagunas	8	4	12
Suelos agrícolas (<i>aynokas</i>)	0	0	0
Ladera Intermedia (3300 - 3650 m)	284	207	491
Suelos agrícolas + fragmentos pajonal	263	177	440
Bosque nativo	21	0	21
Bosque pino	0	30	30
Ladera Baja o Cabecera de Valle (3200 - 3300)	54	99	153
Suelos agrícolas	54	99	153
Total comunidades (ha)	1374	930	2304

Fuente: La misma que en el caso del Cuadro 1

5.2. Pajonales y lagunas de altura: Conservación y mejora de la cosecha de agua

En la microcuenca San Isidro, la Subcentral Piusilla elaboró, validó y aprobó una normativa comunal en la cual se establecen reglas para el uso de *aynokas* (tierras de cultivo comunales), la gestión del agua y el manejo de bosques. En esta normativa, se declara como “área de conservación y protección comunal” a la laguna Qotapata y los pajonales aledaños, junto con las tierras comunales (*aynokas*), vertientes y lagunas menores (Figura 5), bosques de especies nativas y rodales de pino presentes en la Puna Alta, que alcanzan una superficie de 3186 ha.

En esta normativa también se promueve la protección de la vegetación y fauna silvestre que se encuentra dentro del área de conservación, tomando en cuenta que ambos elementos son también importantes en la dinámica del ecosistema.

De forma complementaria, la subcentral Piusilla gestionó ante el GAM Morochata, apoyo para ampliar el muro de contención de la laguna Qotapata, incrementando el volumen de agua de 81.215 a 93.398 m³. Simultáneamente se implementaron acciones de forestación con pino de 2.5 ha en áreas próximas a la laguna.

En el caso de la microcuenca Rodeo Alto-Primera Candelaria del municipio de Colomi, también se elaboró y aprobó una normativa para la conservación de la zona de recarga hídrica en la Laguna Khumuqaqa. Con esta normativa, se protegen 1660 ha de pajonales, vertientes, afloramientos rocosos además de otras lagunas de altura próximas.

También se hizo mejoras a la laguna Khumuqaqa en coordinación con el GAM Colomi y agricultores de las comunidades asentadas en la microcuenca, lográndose incrementar la capacidad de agua almacenada de 78.000 a 150.000 m³.



Figura 5. Pajonales de altura (izquierda) y Laguna Qotapata (derecha) ubicadas en la microcuenca de San Isidro

5.3. *Suelos: Recuperación de la fertilidad mediante la rotación con leguminosas como descansos mejorados*

El uso continuo de los suelos agrícolas en ambas microcuencas principalmente para el cultivo de papa, junto con la erosión hídrica y eólica, provoca la disminución paulatina de su fertilidad que a su vez se traduce en bajos rendimientos. Esto sumado a una mayor incidencia de plagas y enfermedades, provoca un fenómeno conocido por los agricultores como “cansancio del suelo” que afecta la resiliencia de sus sistemas de producción. Para contrarrestar este fenómeno, la Fundación PROINPA promovió la incorporación de las leguminosas haba, alfalfa, tarwi y trébol rojo en la rotación de cultivos, principalmente en los periodos de descanso de los suelos, tomando en cuenta su alta capacidad de fijación biológica de nitrógeno atmosférico (haba 100-300, alfalfa 120-800, tarwi 40-300, trébol rojo 100-480, en todos los casos en kg/ha/año de nitrógeno) (Urzúa, 2005). Como un mecanismo para garantizar la sostenibilidad de esta práctica, PROINPA dio un apoyo inicial para la compra de semilla, bajo la modalidad de contrapartes (80:20% del valor) en mutuo acuerdo con cada sindicato, adicionalmente apoyó en la identificación de oportunidades de mercado para la comercialización de estas

leguminosas, principalmente haba y tarwi (ver en este mismo número de la Revista de Agricultura, el artículo “*Emprendimientos de base comunitaria (EBC) y resiliencia económica: El caso de la Asociación de Productores Andinos APRA-Morochata y la Asociación Productiva de Mujeres de Colomi*”).

Entre las comunidades de la microcuenca San Isidro, se distribuyeron 488 kg de semilla de tarwi y 108 kg de semilla de alfalfa, a un total de 252 agricultores, que implica la siembra y recuperación de 26 ha de suelo agrícola especialmente en la Puna Baja, donde se practica una agricultura semi-intensiva (Figura 6).

En la Puna Alta, junto a los pajonales del “área de conservación y protección comunal” de la subcentral Piusilla, se encuentran las parcelas comunitarias (*aynokas*) donde años atrás se cultivaban variedades nativas de papa, seguido de cebada y un periodo de descanso de 3 a 5 años. Estas fueron reactivadas a través de un trabajo conjunto entre el GAM Morochata (que apoyó con maquinaria agrícola para la preparación del suelo), la Fundación PROINPA que facilitó semilla de las variedades de papa Huaych’a, Puca huaych’a, Candelero y Pintaboca, y agricultores interesados en el manejo de estas parcelas (25) que en total alcanzan un área de 2 ha (Figura 7).



Figura 6. Parcelas de tarwi y trébol rojo establecidas en campos anteriormente sembrados con papa para la restitución natural de su fertilidad



Figura 7. Roturación de suelos en parcelas comunitarias (*aynokas*) para la siembra de papa nativa

En el municipio de Colomi, en la microcuenca Rodeo Alto-Primera Candelaria, se promovió la rotación de cultivos con leguminosas para la restauración natural de la fertilidad de los suelos de la Ladera Intermedia y Baja. En ese marco, se distribuyeron alrededor de 168 kg de semilla de trébol rojo, 5451 kg de semilla de haba y 2421 kg de semilla de tarwi, contribuyendo así a la recuperación de 70 ha de suelo agrícola (Figura 8).

Complementariamente, se promovió la protección de pajonales y lagunas de altura, estableciendo parcelas de avena (*Avena sativa*) asociada con pastos nativos como la cebadilla (*Bromus* sp.), pasto llorón (*Eragrostis curvula*) y festuca alta (*Festuca arundinacea*) como una práctica de regeneración acelerada de la cobertura de suelos conocidos como *qallpas*⁵.

Esta práctica es relevante en suelos ubicados en sitios con pendientes mayores a los 30°, utilizados para pastoreo de ganado y parcialmente para cultivo; de esa forma, se disminuye el riesgo de erosión y, por ende, la necesidad de habilitar nuevos terrenos para cultivo. Con estas asociacio-

nes, se sembraron aproximadamente 7.54 ha de suelos *qallpas*, contribuyendo de manera indirecta a la protección de 1.648 ha de pajonales.

Se espera que estas medidas permitan la restauración gradual de la estructura física y la fertilidad de los suelos, incrementando los rendimientos de cultivos como la papa y el maíz, que son la base de la economía y seguridad alimentaria de los agricultores de ambas microcuencas.

5.4. Bosques nativos: Forestación y reforestación para reducir la presión extractiva

Los bosques nativos son la fuente principal de madera y leña para las comunidades rurales, lo cual hace que sufran de cierta presión extractiva. Una forma de aliviar esta presión, es el establecimiento de plantaciones de especies como pino (*Pinus* sp.) y eucalipto (*Eucalyptus* sp.).

En ese sentido, la Fundación PROINPA apoyó las campañas forestales organizadas por el GAM Morochata, facilitando el involucramiento de las comunidades y medios logísticos para la participación masiva de agricultores.

⁵ Parcela que ha sido cultivada el año anterior

Con esta iniciativa, se logró la forestación y reforestación de 15 ha distribuidas en las comunidades de Estrellani, Jinchupaya y San Isidro, con 21.000 plantines de pino y 2700 plantines de eucalipto.

Las plantaciones de pino y eucalipto establecidas, serán fuentes de madera y leña para los agricultores, favoreciendo indirectamente la conservación de 314 ha de bosque nativo que existen en la subcentral Piusilla.

Se espera que, a futuro, las superficies forestadas y reforestadas con ambas espe-

cies, permitan también la estabilización de suelos con riesgo de deslizamiento (Figura 9).

En el caso de la microcuenca Rodeo Alto-Primera Candelaria, las actividades de forestación y reforestación, se realizaron principalmente en áreas próximas a la laguna Khumuqaqa, empleando 2000 plantines de Kewiña (*Polylepis* sp.) y un total de 1500 plantines de pino patula (*Pinus patula*), cubriendo un área aproximada de 1.54 ha (Figura 10).



Figura 8. Parcelas sembradas con trébol rojo (izquierda) y haba (derecha) en la Ladera Baja de la microcuenca Rodeo Alto - Primera Candelaria



Figura 9. Actividades de forestación en la comunidad de San Isidro (izquierda) y bosque nativo existente en la subcentral Piusilla (derecha)



Figura 10. Actividades de forestación en los alrededores de la Laguna Khumuqaqa de la microcuenca Rodeo Alto - Primera Candelaria

5.5. Agua: Adopción de innovaciones tecnológicas para lograr un aprovechamiento eficiente del recurso hídrico

La creciente necesidad del agua para la agricultura y la baja eficiencia en los sistemas tradicionales de riego (<40%) en Colomi y Morochata, impulsó a la Fundación PROINPA y los gobiernos municipales, a llevar a cabo la implementación de innovaciones tecnológicas que promuevan el uso óptimo de este recurso reduciendo la vulnerabilidad de las familias campesinas principalmente en épocas de escasez de agua.

En Morochata, en las comunidades de Estrellani y Jinchupaya, se utilizó geomembrana para la impermeabilización de los reservorios artesanales comunales, como una alternativa de bajo costo, rápida implementación y de alta eficiencia para anular las pérdidas de agua por infiltración (Figura 11), logrando incrementar el volumen de agua para riego de 150 a 700 m³ y de 400 a 1000 m³ en sus reservorios respectivos. Estos volúmenes permiten el riego de 4.8 ha en Jinchupaya y de 7.0 ha en Estrellani, beneficiando a 36 y 32 familias de agricultores de cada comunidad, respectivamente. De forma complementaria, se reorganizó el manejo del recurso agua, haciendo énfasis en dos aspectos importantes:

a) el almacenamiento periódico de agua proveniente de las fuentes identificadas (lagunas) y, b) el establecimiento de un sistema de turnos de agua entre los usuarios (multiflujo), para el uso óptimo de los volúmenes almacenados en momentos oportunos.

La Fundación PROINPA también promovió la construcción de un muro de contención en la Laguna Khumuqaqa, logrando incrementar el volumen de agua para riego de 78.000 a 150.000 m³. Adicionalmente, se implementó un sifonado de 400 m de longitud de tubería y la instalación de un conducto cerrado de 1.700 m de longitud minimizando las pérdidas por escurrimiento e infiltración en la conducción de agua.

A nivel parcelario, se establecieron 40 módulos piloto de riego por aspersión que se replicaron beneficiando a 134 familias de ambas comunidades y una superficie de 67 ha, las cuales pueden expandirse hasta 120 ha de suelo cultivable en ambas comunidades. Estos avances logrados, han despertado en autoridades municipales y agricultores involucrados, el interés de captar fuentes alternativas de financiamiento estatal y externos, para ampliación y mejora de sus sistemas de riego.



Figura 11. Reservorios mejorados con geomembrana de las comunidades de Estrellani (izquierda) y Jinchupaya (derecha) en Morochata

En forma conjunta con la Fundación PROINPA se han elaborado tanto los ITCP-FIV como proyectos de pre-inversión a diseño final para ambas microcuencas, en los cuales se contemplan acciones de la estrategia GIA. Estos proyectos han sido aprobados y se espera su pronta licitación y ejecución en campo.

6. Efectos de la Gestión Integral del Agua a corto y largo plazo

La *Gestión Integral del Agua*, implica acciones colectivas de conservación y protección de los ecosistemas claves para la reproducción del ciclo hídrico del cual depende el aprovisionamiento del agua para los cultivos y las comunidades. Es un proceso a largo plazo, cuyo éxito depende principalmente del grado de conciencia ambiental de las instancias públicas como el GAM y las comunidades organizadas.

En Colomi y Morochata, los módulos piloto de gestión integral del agua desarrollados permitieron consolidar la conciencia ambiental colectiva en agricultores y autoridades municipales. Como consecuencia, se visibilizó la activa participación en las labores de forestación, introducción de técnicas y/o tecnologías de

riego, siembra de leguminosas y pastos, reuniones de validación de normativas, etc., y otras actividades destinadas a mejorar su capacidad de resiliencia al cambio climático, considerando al agua como elemento integrador de los ecosistemas.

La actitud proactiva y dinámica de agricultores y autoridades, es el elemento clave que permitirá en el futuro preservar o mejorar las funciones ecológicas de los ecosistemas, garantizando el aprovisionamiento regular de agua para los cultivos y las comunidades asentadas en ellas. La adaptación de la agricultura a los nuevos contextos climáticos en forma sana y competitiva depende de las capacidades locales para gestionar el agua en forma integral

La labor de cooperación y colaboración en torno al agua entre agricultores, autoridades municipales y PROINPA, ha mejorado la capacidad local de gestión de fondos ante instancias estatales y organizaciones internacionales de cooperación, para el financiamiento de proyectos de riego. Esto les ha permitido generar y aprobar proyectos de riego tecnificado, de manera mancomunada, para las comunidades de Rodeo Alto y Primera Candelaria en Colomi, y las comunidades de Jinchupaya y Estrellani en Morochata, con los cuales

se busca ampliar la cobertura de los sistemas de riego comunales y por tanto una mayor capacidad de adaptación al cambio climático.

A largo plazo, se espera que las medidas implementadas para la conservación de los componentes suelo, bosque y agua de cada uno de los ecosistemas que componen la microcuenca, junto con aquellas dirigidas a fortalecer el rol que juegan las comunidades y agricultores que habitan en ellas, y que implican el aprovechamiento sostenible de su agrobiodiversidad, permitan mantener la integralidad de éstos y de los servicios que brindan a los agricultores que habitan en ellas y en áreas próximas.

Agradecimientos

La Fundación PROINPA expresa su agradecimiento al Proyecto Biocultura y Cambio Climático en cuyo marco se ha diseñado e iniciado la implementación de los componentes de la Estrategia de Gestión Integral del Agua, y a los proyectos “Empoderamiento Económico de Pequeños Agricultores Andinos con el Tarwi” (financiado por el Gobierno de Australia) y “Fortalecimiento de la Resiliencia Económica de Familias Productoras de Papa y Tarwi en la Comunidad de Primera Candelaria del municipio de Colomi” (financiado por la Fundación SHARE de Canadá), por su contribución en la implementación de actividades específicas, relacionadas con la recuperación de la fertilidad de suelos y riego dentro el marco de la estrategia GIA.

Referencias citadas

- AGRECOL. 2018. Gestión integral de cuencas y recursos hídricos. Conceptos y acciones para el cuidado de fuentes de agua. Boletín temático N° 1. AGRECOL Andes. 11 p.
- Estado Plurinacional de Bolivia. 2012. Ley Marco de la Madre Tierra y Desarrollo Integral para Vivir Bien. Gaceta Oficial del Estado Plurinacional de Bolivia. La Paz, Bolivia. p. 4-8.
- GAMM. 2014. Plan de Desarrollo Municipal 2014-2018. Gobierno Autónomo Municipal de Morochata (GAMM), Consultora en Servicios Multidisciplinarios SRL. Cochabamba, Bolivia. 138 p.
- GAMM. 2016. Plan Territorial de Desarrollo Integral 2016-2020 para Vivir Bien. Gobierno Autónomo Municipal de Morochata (GAMM), Mancomunidad Ayopaya. Cochabamba, Bolivia. 192 p.
- Hassan R., Scholes R., Ash, N. (eds.). 2005. Ecosystems and human wellbeing: current state and trends. Volume 1. Washington, DC, USA: Island Press. p. 25-36.
- Herzog S., Martínez R., Jørgensen P., Tiessen H. (eds.). 2012. Cambio Climático y Biodiversidad en los Andes Tropicales. Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI). São José dos Campos y Comité Científico sobre Problemas del Medio Ambiente (SCOPE). Paris. p. 1-22.
- INAB (Instituto Nacional de Bosques). 2003. Metodología para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural. Manual técnico. Guatemala. 106 p.
- IPCC. 2014. Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC. Ginebra, Suiza. 157 p.
- Lisperguer, G., Alemán, F., Ayma, A., Sanzetenea, E., García, V. 2013. Composición, estructura y factores asociados a la abundancia de regeneración natural del bosque de neblina al

- Noroeste de Independencia – Ayopaya. Revista Científica de Innovación INFO-INIAF. Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal. La Paz, Bolivia. p. 81-87.
- Losilla, M. 1986. Protección de la zona de recarga de los acuíferos. **En:** Curso de Postgrado “Bases hidrológicas para el manejo de cuencas”. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 8 p.
- Matus O., Faustino J., Jiménez F. 2009. Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica. Aplicación práctica en la subcuenca del río Jucuapa, Nicaragua. CATIE. Turrialba, Costa Rica 40 p.
- Ministerio del Ambiente. 2015. Cambio climático y agua. Una guía para la acción ciudadana. Quito, Ecuador. 18 p.
- PROINPA. 2018 a. Informe técnico semestre II-2018 - SDV Morochata. Fundación Promoción e Investigación de Productos Andinos, Proyecto Biocultura Cambio Climático. Cochabamba, Bolivia. 22 p.
- PROINPA. 2018 b. Informe técnico semestre II-2018 - SDV Colomi. Fundación Promoción e Investigación de Productos Andinos, Proyecto Biocultura Cambio Climático. Cochabamba, Bolivia. 19 p.
- Urzúa H. 2005. Beneficios de la Fijación Simbiótica de Nitrógeno en Chile. Ciencia e Investigación Agraria. Santiago, Chile. 32(2): 133-150.
- Vásquez A., Mejía A., Faustino J., Terán R., Vásquez I., Díaz J., Vásquez C., Castro A., Tapia M., Alcántara J. 2016. Manejo y gestión de cuencas hidrográficas. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. p. 13-26.

Trabajo recibido el 16 de junio de 2019 - Trabajo aceptado el 7 de mayo de 2020