

# Aprendizajes de las experiencias de innovación tecnológica de riego por aspersión en zonas montañosas de Bolivia



CENTRO ANDINO PARA LA GESTIÓN Y USO DEL AGUA  
(Centro AGUA - UMSS)

*Ponencia presentada en la II Reunión Internacional sobre para el Manejo y Sustentabilidad del riego en Regiones Aridas y Semiáridas (Cruz das Almas, Bahía, Brasil; 3 -7 de abril, 2011).*



Universidad Mayor de  
San Simón



Facultad de Ciencias  
Agrícolas, Pecuarías,  
Forestales y Veterinaria



Dirección de Investigación  
Científica y Tecnológica



Asdi  
Agencia Sueca de  
Desarrollo Internacional

Oscar Delgadillo Iriarte  
Jesús Jiménez Pardo

© Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA)  
Universidad Mayor de San Simón  
Av. Petrolera Km. 4,5 (Facultad de Agronomía)  
Teléfono: +591 4 4762382  
[www.centro-agua.org](http://www.centro-agua.org)  
Cochabamba, Bolivia

El Centro AGUA es un centro de investigación y enseñanza, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuarias, Forestales y Veterinarias de la Universidad Mayor de San Simón (UMSS, Cochabamba-Bolivia). En base a las experiencias y conocimientos acumulados desde su creación, actualmente trabaja en forma interactiva y multidisciplinaria en la profundización del conocimiento sobre la gestión y los usos del agua mediante sus líneas de acción: formación académica, investigación, coordinación institucional y servicios. Se proyecta como un referente nacional en la investigación y enseñanza para la gestión integral, equitativa y sostenible del agua.

Edición:  
Oscar Delgadillo I.

Impresión:  
Centro AGUA

Cochabamba, Bolivia

Septiembre, 2011

# CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. CONTEXTO LOCAL .....</b>	<b>2</b>
2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	2
2.2. ASPECTOS AGROPECUARIOS .....	3
2.3. SISTEMAS DE RIEGO Y SU GESTIÓN .....	4
2.4. BREVE RESEÑA HISTÓRICA DE LOS PROCESOS DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA.....	5
2.4.1. <i>Mishkamayu, el inicio</i> .....	5
2.4.2. <i>Ch'ullkumayu, una historia reciente</i> .....	6
2.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS EMRAS INTRODUCIDOS Y MODIFICADOS .....	8
<b>4. CRITERIOS DE DISEÑO IMPLÍCITOS Y EXPLÍCITOS HALLADOS.....</b>	<b>9</b>
4.1. PRESURIZACIÓN POR GRAVEDAD .....	10
4.2. COMPATIBILIDAD CON LAS REGLAS DE DISTRIBUCIÓN EXISTENTES.....	11
4.3. EQUIPO ESTÁNDAR PARA DIFERENTES PARCELAS.....	11
4.4. ASPERSORES DE MEDIANA PRESIÓN .....	11
4.5. TASAS DE APLICACIÓN DE AGUA .....	12
4.6. ESPACIAMIENTO ENTRE ASPERSORES .....	12
4.7. TIEMPO POR CADA POSICIÓN DE RIEGO .....	13
4.8. MOVILIDAD DEL EQUIPO .....	13
4.9. MATERIAL PARA LA CONDUCCIÓN DE AGUA.....	14
4.10. ACCESORIOS DE ACOPLE Y DESACOPLE.....	14
<b>5. ALGUNAS IMPLICANCIAS DE LAS MODIFICACIONES AL ASPERSOR.....</b>	<b>14</b>
5.1. ¿POR QUÉ LOS AGRICULTORES INCORPORARON EL ALAMBRE AL ASPERSOR? .....	14
5.2. ¿POR QUÉ LOS AGRICULTORES REMUEVEN O ENSANCHAN LA BOQUILLA .....	16
5.2.1. <i>Relación de la remoción y ensanchamiento de boquillas con la distribución de agua</i> .....	18
5.3. UNIFORMIDAD Y EFICIENCIA LOGRADOS CON LOS ASPERSORES MODIFICADOS .....	19
<b>6. LECCIONES APRENDIDAS .....</b>	<b>20</b>
6.1. EL GRAN APORTE DEL RIEGO POR ASPERSIÓN EN CONDICIONES DE LADERA.....	20
6.2. IMPLICANCIAS DEL CAMBIO TECNOLÓGICO EN SISTEMAS COLECTIVOS DE RIEGO .....	21
6.3. LA POTENCIALIDAD DE DESNIVELES NATURALES PARA PRESURIZAR SISTEMAS DE RIEGO .....	21
6.4. CAPACITACIÓN A AGRICULTORES EN RIEGO POR ASPERSIÓN .....	22
6.5. FALLAS EN EL CICLO DEL PROYECTO.....	23
6.6. APRENDIENDO EN LA PRÁCTICA .....	23
6.7. PERSEVERANCIA .....	24
6.8. APRENDER A TRABAJAR JUNTOS.....	24
6.9. CRÉDITO, FACTOR IMPORTANTE EN PROCESOS DE CAMBIO .....	25
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>25</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>26</b>

# **Aprendizajes de las experiencias de innovación tecnológica de riego por aspersión en zonas montañosas de Bolivia**

Oscar Delgadillo<sup>1</sup> & Jesús Jiménez<sup>1</sup>

## **RESUMEN**

El presente trabajo es resultado de la sistematización de dos experiencias de innovación tecnológica de riego por aspersión (Mishkamayu y Chullkumayu) en zonas montañosas de Bolivia, en las cuales se cambió del método de riego por superficie hacia el método de riego por aspersión, con la introducción de Equipos Móviles de Riego por Aspersión, accionados gracias a la presión generada por el desnivel de altura en estas zonas. El documento rescata los aprendizajes de estas experiencias orientadas a futuras intervenciones, analizando los aspectos de diseño implícito y explícito de los equipos de riego por aspersión introducidos, así como los cambios hechos por los agricultores en los aspersores y sus implicancias en el funcionamiento y resultado final del riego. La conclusión principal fue que la importancia del riego por aspersión en estas zonas de pendiente, radica sobretodo en la ayuda que éstos les brindan a los agricultores en su difícil tarea de regar en estas condiciones, antes que centrarse solamente en resultados altos de uniformidad y eficiencia de riego. Asimismo, mostró que los procesos de innovación tecnológica de riego por aspersión en estas condiciones presentan varios desafíos, tanto para diseñadores como para los futuros usuarios de estas tecnologías.

**Palabras clave:** riego por aspersión, innovación tecnológica en riego, tecnología de riego, equipo móvil

## **Learning from the experiences of technological innovation of sprinkler irrigation in mountainous areas of Bolivia**

### **ABSTRACT**

This paper is based on the systematization of two experiences of technological innovation of sprinkler irrigation (Mishkamayu and Chullkumayu) in mountainous areas of Bolivia, which changed the surface irrigation method to the sprinkler method with introduction of hand-move equipment of sprinkler irrigation, driven by the pressure generated due to the height differences in these areas. The document captures the learning from these experiences for future interventions, analyzing the aspects of implicit and explicit design of sprinkler irrigation equipment introduced and changes made by farmers in the sprinklers and its implications on the functioning and irrigation results. The main conclusion was that the importance of sprinkler irrigation in these mountainous areas lies mainly in the assistance that they will provide farmers in their difficult task of irrigation in these conditions, rather than focus solely on high uniformity and efficiency irrigation results. They also demonstrate that the processes of technological innovation in sprinkler irrigation in these conditions present many challenges, both designers and future users of these technologies.

**Key words:** sprinkler irrigation, technological innovation, irrigation technology, hand move equipment

<sup>1</sup>Centro AGUA/UMSS. Av. Petrolera km. 5. Fono: (591) 4-4762382, 4-4762380. E-mail: odi3111@yahoo.es; jjp\_jesus@yahoo.es

## 1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a ICID (2008) a pesar de que los sistemas de riego presurizado (aspersión y microriego) son consideradas las principales tecnologías de ahorro de agua en la agricultura regada, su adopción es todavía baja, pues en la actualidad, de la superficie total regada en el mundo, sólo el 14% (39 millones de hectáreas, 85% por aspersión) es regada por sistemas presurizados, concentrándose mayormente en Europa y América.

El cambio de métodos de riego por superficie hacia métodos de riego tecnificados como la aspersión o microriego está basada fundamentalmente en la premisa de disminuirlas pérdidas de agua, por tanto lograr mayores eficiencias de riego. No obstante, la reducción de pérdidas de agua no es la única ventaja potencial de la tecnología de riego presurizado sino también otras (Keller y Bliesner, 1990): Ahorro de mano de obra, adaptación a diferentes topografías o suelos no óptimos, incremento de los rendimientos, utilización de tierras marginales, entre otros, que ha posibilitado la adopción paulatina en varias lugares del mundo.

Sin embargo, hay dudas con relación al cambio tecnológico en la práctica, debido a varios factores como ser: altos costos relativos de implementación (costos iniciales), calidad de agua requerida, restricciones en la entrega de agua, restricciones en el diseño, entre otros, que están limitando o podrían limitar los cambios tecnológicos efectivamente.

Estas dudas son más evidentes en los países en desarrollo donde pequeños agricultores con bajos ingresos han empezado a utilizar nuevas tecnologías y surge la pregunta de, si ellos realmente aprovechan las mismas ventajas de la nueva tecnología de riego como los agricultores comerciales o quizás expone a éstos a nuevos problemas y a riesgos más altos que bajo métodos de riego por superficie (Kay, 2001); ya que a menudo se cometen errores al introducir tecnología moderna arbitrariamente en estos países, donde la agricultura se practica en pequeña escala y los costos relativos de trabajo y el capital son muy diferentes (A. Hamdy et al, 2003).

En ese sentido, Namara (2007) sostiene que para hacer realidad los beneficios potenciales de las innovaciones es necesario considerar factores clave, las subvenciones, oportunidades de formación específica, fomento a la participación privada en el suministro de insumos, periodos de pruebas tecnológicas cortos y el fortalecimiento de la investigación pública en los sistemas.

En Bolivia, como en varias zonas de los países andinos, sobre todo en las áreas montañosas, el riego por aspersión ha crecido en términos de su uso así como en interés de los agricultores por utilizar esta nueva tecnología de riego, interés acrecentado por la menor disponibilidad de agua para riego para los diferentes usos. Esto está empujando decididamente a los agricultores a mejorar no sólo a nivel de parcela sino de todo el sistema de riego (captación, conducción, distribución y aplicación).

Empero, en la práctica los resultados logrados no han sido siempre los esperados debido a factores, tales como: fallas en el diseño y la implementación, falta de asistencia técnica, falta de capacitación y desarrollo de la misma, falta de

experiencia en riego por aspersión, falta de créditos específicos, baja oferta de equipos y/o accesorios para reemplazar o reparar, entre los principales.

No obstante, por las ventajas que brinda este método de riego, sobre todo en condiciones de ladera, y a pesar de que no existe el apoyo adecuado y efectivo a este tipo de iniciativas, ha empujado a los agricultores a seguir luchando por su cuenta y salir adelante, aunque no con los resultados óptimos de eficiencia y uniformidad de riego esperados, ante la única certeza que tienen, la ayuda incondicional recibida de “un trabajador silencioso” (el aspersor) en el riego de sus parcelas en pendiente, donde el manejo del agua en forma superficial resulta muy arduo, hasta para los más experimentados regantes.

En base a la sistematización de trabajos de investigación realizados por el Centro AGUA sobre procesos de innovación tecnológica de riego (cambio de método de riego por superficie a riego por aspersión) de dos casos concretos en Cochabamba (Mishkamayu y Ch'ullkumayu). Ambas experiencias localizadas en zonas de montaña, con parcelas cultivadas y regadas en ladera, procesos de innovación tecnológica con historias diferentes aunque también con puntos comunes, nos permitirán exponer y analizar varios aspectos críticos de ambos procesos con el afán de aportar con algunas lecciones aprendidas.

El objetivo principal de la ponencia es rescatar los aprendizajes de las experiencias de innovación tecnológica de riego por aspersión en zonas de ladera, orientadas a futuras intervenciones, en base al(1) análisis de los aspectos de diseño implícito y explícito de los Equipos Móviles de Riego por Aspersión (EMRAs) introducidos, así como (2) en los cambios hechos por los agricultores a los aspersores y sus implicancias en el funcionamiento y resultado final del riego.

## 2. CONTEXTO LOCAL

### 2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Mishkamayu es la parte baja de la cuenca del mismo nombre, y es un espacio compartido por cinco Sindicatos<sup>1</sup>. En cambio, Ch'ullkumayu es una comunidad ubicada en las nacientes de la cuenca de Ch'ullkumayu. Ambas son zonas de altura (Mishkamayu: 3082 a 4000 msnm., Ch'ullkumayu: 3490 a 3680msnm.). Para llegar a Ch'ullkumayu desde la ciudad de Cochabamba se recorren 86 km sobre la carretera antigua a Santa Cruz (asfaltada) y para llegar a Mishkamayu por la misma carretera se llega a El Puente (km 105) donde se realiza la feria agrícola semanal más importante para la región, de ahí se desvía hacia la derecha por camino de tierra 10 km.

Geográficamente, Mishkamayu se encuentra entre 17° 30' a 17° 34' de Latitud Sud y entre 65° 24' a 65° 35' de Longitud Oeste, mientras que Ch'ullkumayu se halla entre Latitud Sur: 17° 30'55" a 17° 27'30" de Latitud Sud y entre 65° 32'30" a 65° 33'30" de Longitud Oeste. Políticamente, Ch'ullkumayu corresponde al municipio de Tiraque mientras que Mishkamayu pertenece a dos municipios (Vacas y

---

<sup>1</sup> Sindicatos agrarios son organizacionales comunitarias estructuradas de acuerdo a sus usos, costumbre o legislaciones internas, más conocidos como comunidades (en esta parte de Bolivia), cuyos límites geográficos son identificables en el campo y con autoridades jurisdiccionales reconocidos por sus habitantes y sus vecinos. (INE, 2001).

Pocona), a pesar de formar parte de una sola cuenca hidrográfica, mostrando las incongruencias existentes entre límites naturales y límites políticos.

Con relación a sus características climáticas, corresponden a zonas semiáridas (Mishkamayu: 680 mm, Ch'ullkumayu: 792 mm), ambas muestran temperaturas promedio bajas, así como amplitudes térmicas grandes que obviamente limitan la agricultura (Mishkamayu: 12,4°C (3.4 °C a 21.3 °C y Ch'ullkumayu: 11,4°C (-2.9°C y 19.9°C).

Por localizarse en zonas montañosas el viento está presente durante buena parte del año, aunque para la práctica de riego por aspersión resultan más perjudiciales durante el mes de agosto en Mishkamayu y los meses de septiembre y octubre en Ch'ullkumayu.

Entre las características más sobresalientes que muestran las condiciones biofísicas en las cuales se ha comenzado a practicar el riego por aspersión es el suelo y sobre todo la pendiente. Al ser de origen coluvial, son zonas que se encuentran al pie de montaña con pendientes en la zona de riego que van desde 10 a 75% en Mishkamayu y desde 15 a 45% en Ch'ullkumayu. En Mishkamayu, este rango de pendientes de las parcelas tiene mucha importancia, tanto para generar la presión en los Equipos Móviles de Riego por Aspersión (EMRAs) como en el resultado final de la aplicación de agua. En cambio, en Ch'ullkumayu, este rango es importante solamente en la aplicación del agua en las parcelas, ya que el sistema es presurizado desde la fuente de agua hasta los hidrantes, distribuidos en la zona de riego. La clase textural predominante en Mishkamayu es franco arcilloso y franco arcillo limoso, en cambio en Ch'ullkumayu es franco arcilloso.

## 2.2. ASPECTOS AGROPECUARIOS

La agricultura es la principal actividad para los habitantes de Mishkamayu y Ch'ullkumayu, siendo el cultivo de papa la fuente más importante de ingresos, debido a su orientación al mercado, aunque en Ch'ullkumayu el cultivo de zanahoria ha crecido en importancia desde la introducción del riego por aspersión. La papa es cultivada en tres periodos de siembra, de manera que tengan cosechas escalonadas para responder al mercado (siembras tempranas, intermedias y de año).

Otros cultivos complementarios tales como haba, arveja, maíz, avena, trigo y tarwi son también cultivados en el área con riego. La papa, arveja, haba, maíz y avena reciben riego, aunque la mayor preferencia es hacia la papa y zanahoria.

En Mishkamayu, la agricultura bajo riego está concentrada en la ladera sur y en menor grado en la ladera norte, mientras que en Ch'ullkumayu, la agricultura bajo riego se concentra en la ladera norte.

La crianza de ganado es complementaria a la producción agrícola, así los agricultores principalmente crían bueyes para labrar, burros para transportar sus productos o implementos agrícolas (incluyendo sus EMRAs en el caso de Mishkamayu), o para la venta; ovejas para carne y lana (uso doméstico); y también pequeños animales como gallinas, patos y conejos para consumo doméstico.

## 2.3. SISTEMAS DE RIEGO Y SU GESTIÓN

En el Tabla 1 se resumen las principales características de los sistemas existentes en ambos casos, así como los principales elementos de gestión de los mismos.

**TABLA 1. CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE RIEGO Y DE SU GESTIÓN EN MISHKAMAYU Y CH'ULLKUMAYU**

Sistema	MISHKAMAYU			CH'ULLKUMAYU		
	MayunPunku	Sapanani	Chuntali	Antiguos	Aspersión	Yanakhocha
Fuente de agua	Vertiente Sapanani (6 - 12 l/s), Río Mishkamayu (10 - 13 l/s)	Vertiente Sapanani (6 - 9 l/s), Río Mishkamayu (10 - 13 l/s)	Vertiente Iskayhuasi (15 - 30 l/s), Río Mishkamayu (10 - 13 l/s)	Vertiente K'uchu Monte (5 l/s)	Varias vertientes y rebalses de Represa Yanakhocha. (25 a 50 l/s)	Represa Yanakhocha (20 l/s) en válvula del canal de aducción
Nº Comunidades	1	1	3	1	1	5
Nº de usuarios	55	42	141	49	44	49 (Ch'ullkumayu)
Area servida por canales (ha)	135	110	304	15 (75)	60	60
Caudal (l/s)	6 - 12	6 - 9	15 - 30	5	20	20
Flujo de entrega	Biflujo	Biflujo - Multiflujo	Multiflujo	Multiflujo		Multiflujo
Adquisición del derecho al agua	Afilación al sindicato				Afilación al sindicato e inversión de mano de obra y cuotas en dinero	
Modalidad de distribución	12 horas con Q/2/regante	12 horas con caudal necesario para 3 aspersores	12 horas con caudal necesario para 3 aspersores	A demanda libre	Hasta terminar con 3 aspersores (6-8 usuarios)	Turno
Nº de usuarios regando simultáneamente	2	2 - 4	7 - 9	1 - 4	6 - 8 (diseño: 12)	Aproximadamente 4

Fuente: Elaborado en base a Rodríguez, 2003; Delgado, 2003, Jiménez, 2003; Hidalgo, n.d.; Jiménez, n.d.

Algunos aspectos que resaltan del cuadro anterior son:

- En Mishkamayu, los sistemas de riego existentes no han sido presurizados en la conducción y distribución. En cambio, en Ch'ullkumayu el sistema principal ha sido presurizado (conducción y distribución, hasta el nivel de hidrantes).
- La adquisición del derecho al agua en ambos casos se basa en la pertenencia a la comunidad, aunque en el caso de Ch'ullkumayu el aporte monetario y de mano de obra ha sido importante para consolidar el derecho, ya que la intervención ha sido a nivel de todo un sistema de riego, en cambio en Mishkamayu, ha sido básicamente a nivel de parcela. (*Mishkamayu*).
- En general, en ambos casos los aspersores han sido criterio importante para definir la distribución del agua a nivel de usuario (tres aspersores por persona), con algunas excepciones a la regla.



## 2.4. BREVE RESEÑA HISTÓRICA DE LOS PROCESOS DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

### 2.4.1. MISHKAMAYU, EL INICIO

En 1988, por la preocupación de los agricultores y de un técnico del Programa de Desarrollo Agropecuario Integrado (PDAI<sup>2</sup>), sobre las prácticas de riego tradicional por superficie, que estaban provocando el deterioro paulatino de la capa arable de los suelos (erosión por riego, deslizamiento por las pendientes fuertes de las parcelas), surge la idea de emplear el riego por aspersión como una alternativa principalmente para resolver el problema de la erosión y aliviar el trabajo sacrificado del agricultor en el riego, sobre todo de noche.

En 1989, aparecieron los primeros interesados al riego por aspersión. En 1990, incrementó el número de interesados, a quienes el PDAI otorgó en calidad de crédito los equipos de riego por aspersión.

El periodo que comprende desde 1990 hasta 1993, fue un periodo de apropiación de la tecnología, testeo local y desarrollo de capacidades y conocimientos sobre el EMRA, pues los agricultores que adquirieron los equipos, conjuntamente al técnico, vivieron todas las dificultades que significaba manejar un equipo con las características del EMRA inicial.

Un problema común e inmediato que enfrentaron los agricultores fue la falta de presión. Los aspersores no distribuían el agua uniformemente, resultado principalmente de la sobreestimación de la presión generada por el desnivel. Pero también fue un periodo de modificaciones al equipo y principalmente a los aspersores (incorporación del alambre como dispersor/deflector del chorro de agua).

Asimismo, comenzaron a remover la boquilla secundaria y ensanchar la boquilla principal, con el objetivo de disminuir el tiempo de riego por posición. Fue un periodo muy duro, pues a pesar de que los agricultores solucionaron los problemas de falta de presión en la medida de sus posibilidades, persistían aún problemas fundamentales tales como: politubos quebradizos, traslado dificultoso del EMRA de una parcela a otra, la unión patente<sup>3</sup> que tenían los primeros equipos comercializados no eran muy prácticos, pues por la oxidación de la rosca dificultaba el cambio de posición, además se producían fugas en las uniones (Delgadillo, 2003).

Para cuando un Cooperante Norteamericano, fue a la zona de Mishkamayu en 1993, ya los agricultores que utilizaban el EMRA, habían realizado las modificaciones a los aspersores y tenían acumulado experiencia de uso de 4 años aproximadamente, entonces los problemas y requerimientos de los agricultores eran puntuales y urgentes: Rotura de politubos, aspersores que requieran menos presión para operar. El cooperante estaba interesado en la idea de reemplazar el

---

<sup>2</sup> Es una ONG que inicio actividades básicas en Mishkamayu desde 1986 (Extensión agrícola y apoyo técnico al proceso productivo y también apoyando con crédito para la compra de insumos o implementos (semillas, fertilizantes, arados, bueyes, etc.). En 1989 inició la introducción del EMRA en respuesta a la creciente preocupación sobre la erosión de los suelos en las áreas irrigadas en ladera por el método de riego por superficie. Tuvieron presencia activa en la zona hasta 1996 aproximadamente.

<sup>3</sup> Unión de fierro galvanizado con dos roscas hembras a ambos lados (de 2" y 1.5") que sirve para unir la tubería de distribución y la matriz a través de un niple y una "T" de 1.5", fue desechada su uso en Mishkamayu a raíz de que se oxidaba rápidamente la rosca y al gastarse existía mucha filtración.

politubo por manguera flexible y los acoples rápidos como medidas inmediatas para solucionar las demandas de los agricultores.

Trajo aspersores Rain Bird que convenció más a los agricultores, en detrimento del aspersor Naan inicialmente introducido. Para 1994, el cooperante, no se conformó con buscar soluciones rápidas fuera del país (importación), sino se animó a plantear un proyecto local para desarrollar y producir componentes para los equipos de riego por aspersión en Bolivia, de calidad y a menor costo que los materiales importados.

Durante 1995 y 1996, se desarrolló este proyecto. En este periodo contó además con el apoyo de una Cooperante neocelandesa, quien se hizo cargo en Bolivia del proyecto denominado SMIA (Sistemas Móviles de Irrigación por Aspersión), coordinando además la producción de manguera no reforzada producida por una empresa local (Plastiforte) y la producción de aspersores y acoples de palanca con otra empresa local (FEMCO), durante todo el año de 1996. Simultáneamente, PDAI, en otra fundición, produjo acoples rápidos de enganche, los cuales resultaron ser de mayor aceptación en Mishkamayu.

Hasta 1996, año en el cual ambas instituciones se retiran de la zona, fueron realizados los cambios grandes a los equipos a todo nivel, a partir de ello, básicamente los agricultores son quienes compran las partes para armar un EMRA o reparar una existente. Para ello tienen las posibilidades de ir hasta la ciudad de Cochabamba o aproximarse a la Feria agrícola cercana (Puente) a 10 km aproximadamente de Mishkamayu, los días lunes a proveerse de componentes o EMRAs completos, de las tiendas que tienen aún PDAI y últimamente otras empresas ofertantes.

Desde la introducción del EMRA en la parte baja de la microcuenca de Mishkamayu Bajo en 1989 hasta el día de hoy, han transcurrido 22 años. Hoy en día, todos los agricultores en esta zona poseen y usan al menos un EMRA y ya es uno más de sus implementos agrícolas. Aproximadamente, 220 familias están utilizando EMRAs para regar más de 400 ha de cultivo de papa y otros cultivos complementarios.

#### *2.4.2. CH'ULLKUMAYU, UNA HISTORIA RECIENTE*

En el caso de Ch'ullkumayu la historia propiamente del riego por aspersión es reciente, pero el problema que originó la necesidad de entubar la conducción del sistema de riego y presurizarlo con fines de riego por aspersión se remonta a la construcción de un canal de aducción (1991-1992). La construcción de este canal cortó la posibilidad de conducir el agua de las vertientes ubicadas en el río Condoraño. Entonces, mediante un acuerdo se estableció utilizar más bien el canal de aducción para conducir estas aguas. Sin embargo, por las grandes dimensiones de este canal así como por la distancia conducida, el agua se perdía durante la conducción, principalmente por filtración. "Por estas razones, las familias campesinas solicitaron la instalación de tuberías, a fin de garantizar una conducción eficiente del agua proveniente de las vertientes Condorniyoj Pampa, hasta Ch'ullkumayu e incrementar de esta forma la disponibilidad de agua en la zona de riego" (Montaño, 2007).

El año 2005 ingresa un especialista en riego, anoticiado de la necesidad de la comunidad de entubar, así como de presurizar el sistema para regar por aspersión, pues aproximadamente el año 2001 - 2002 los dirigentes de la comunidad

asistieron a un taller donde conocieron una experiencia de riego por aspersión en condiciones de ladera y tenían en mente esta idea. Entonces, el año 2005 realiza un estudio que abarcó el diseño hidráulico, agronómico y de gestión, con apoyo de un ingeniero especialista en diseño hidráulico.

Además de realizar el diseño final facilitó también la búsqueda y concretización del financiamiento y la implementación del proyecto de riego por aspersión de Ch'ullkumayu. El sistema es construido durante el año 2006 y entregado a mediados del año 2007, entrando ya en operación durante esta gestión. Cabe mencionar que la ejecución del proyecto también incluía el acompañamiento. Sin embargo, éste se concentró sobretodo en la realización de los estatutos y reglamentos del sistema, consolidación de los derechos de agua, en la operación y mantenimiento del sistema y descuidando la parte de riego por aspersión en parcela propiamente (solo a nivel de demostración del funcionamiento de los equipos móviles de riego por aspersión).

A partir de la entrega e inicio de operaciones, los agricultores de Ch'ullkumayu han caminado solos ya que no hubo asistencia técnica o capacitación a los agricultores de ninguna índole. El año 2010, en el marco de un proyecto de investigación, se plantea trabajar con la comunidad iniciándose con un diagnóstico del funcionamiento del sistema de riego por aspersión. Se identificó los principales problemas de funcionamiento, así como los requerimientos de capacitación.

Un problema importante identificado fue la formación de bolsones de aire en la primera parte del tramo de conducción, razón a ello no les llegaba suficiente cantidad de agua. Esto fue solucionado mediante la colocación de purgas de aires y válvulas en puntos estratégicos de este tramo.

Otro problema concreto identificado fue de acceso físico al agua de un grupo de beneficiarios del proyecto, que por recortes en el presupuesto no accedían al agua, ya que se requería unos 300 m de manguera rígida y atravesar una quebrada. Esta situación igualmente fue resuelto mediante la implementación de un puente canal y tendido de manguera rígida de polietileno.

A nivel de parcela y uso del equipo de riego entregado, los problemas se centraron en el manejo de la presión que sale del hidrante y en el material utilizado para conducir el agua desde el hidrante hasta los aspersores. Debido a que son materiales poco flexibles y quebradizos, los agricultores se enfrentan cotidianamente con el problema de rotura de mangueras, o filtraciones en los acoples o en la unión en el mismo hidrante.

Cabe recordar que para la entrega del sistema decidieron comprar otros aspersores más módicos (marca Truper) en detrimento de marcas más reconocidas (Riego Costa) con el fin de que alcance para todos (44 usuarios) y no como estaba previsto armar doce equipos de riego que iría rotando entro los usuarios. Este cambio sin duda está influyendo en los resultados del riego en la parcela

En suma, este sistema tiene cuatro años de funcionamiento. En la práctica, los usuarios se enfrentan a lo cotidiano y se enfrentan a los primeros problemas a nivel de todo el sistema así como a nivel de hidrante y de equipo. No obstante, reconocen los beneficios e impactos del riego por aspersión en la producción y en la práctica general del riego.

## 2.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS EMRAS INTRODUCIDOS Y MODIFICADOS

El primer EMRA introducido comercialmente<sup>4</sup> a Mishka Mayu por el PDAI, tenía los siguientes componentes (Mejía, 1996):

- Vertedero<sup>5</sup> rectangular con filtro de malla milimétrica para evitar la entrada de impurezas.
- Matriz principal (Tubería de presión<sup>6</sup>) constituido por tubería de polietileno de 2" de diámetro, 50 m de largo.
- Unión patente de fierro galvanizado de 1.5"
- "T" de 1.5" de diámetro con salida de 3/4" de diámetro.
- Porta aspersor de 3/4" de 45 cm
- Aspersor NAAN 233AF de dos boquillas
- Tubería de distribución de polietileno de 1.5" de diámetro (longitud variable en función al número de aspersión)

Hubo un modelo de equipo alternativo que difería del descrito anteriormente porque poseía una matriz de politubo de 3" de diámetro, también de polietileno, con la finalidad de disminuir la fricción por tanto recuperar la altura de carga que se pierde con una tubería de menor diámetro en parcelas con pendientes menores, sin embargo fue desechado por varios inconvenientes en su manejo práctico (Delgadillo, 2003).

Luego de las modificaciones realizadas por los agricultores, ONGs, cooperantes externos, el EMRA actual ha resultado diferente (Figura 1) con varias implicancias.

---

<sup>4</sup> Las primeras pruebas realizadas por Andrés Mejía en 1989 fueron realizadas con un equipo similar armado con partes prestadas enteramente y con aspersores de procedencia argentina AGR3 que dieron buen resultado, pero para el modelo utilizado en la prueba de producción de papa comparativa así como para el primer modelo comercial, no existía disponibilidad de estos aspersores, optándose por el aspersor NAAN 233 de procedencia israelí.

<sup>5</sup> Este modelo de vertedero no ha cambiado, es el que se presenta en la Fotografía 2

<sup>6</sup> Es la tubería principal o matriz que es dispuesta en sentido longitudinal a la pendiente de tal manera que permita generar presión debida a la diferencia de altura entre el punto de entrada y los aspersores.

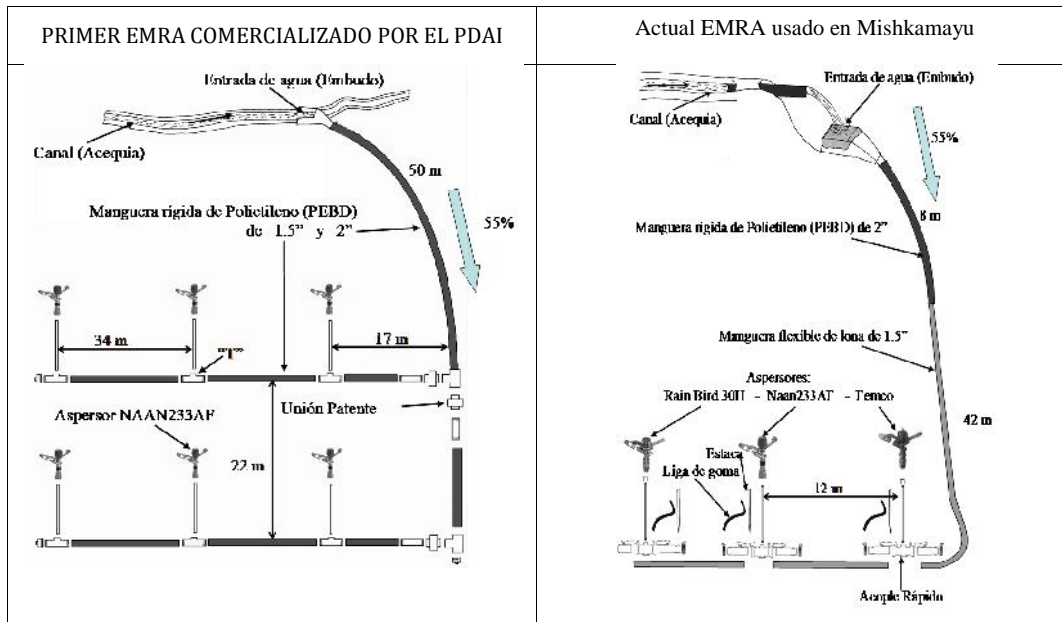


FIGURA 1. MODELO INICIAL Y FINAL DEL EMRA EN MISHKAMAYU (DELGADILLO, 2003)

En el caso de Ch'ullkumayu, el EMRA propuesto inicialmente consistía de los siguientes elementos (Montaño, 2007):

- Manguera de lona de 1.5" de diámetro (100 m)
- Juntas rápida de aluminio, con T reductor
- Portaspersores de PVC de 3/4" de diámetro
- Aspersor de impacto Riego Costas de 3/4" RC130HH

Sin embargo, el modelo propuesto no ha sido implementado, porque a través de un acuerdo entre la empresa constructora, la alcaldía y los agricultores, decidieron comprar un equipo móvil de riego por aspersión más modesto, pero para cada uno de los agricultores beneficiarios. Este consistía de lo siguiente:

- Manguera rígida de Polietileno de Baja Densidad de 1 1/2" y 1 1/4" (50 m)
- 3 Ts de PVC con salida de 3/4"
- 3 Portaspersores de PVC (1 m)
- 3 aspersores de impacto Marca Truper, con tornillo deflector.

Obviamente, los cambios realizados a varios de los componentes de ambos modelos introducidos (Mishkamayu) o definidos en el diseño (Ch'ullkumayu), han tenido varias repercusiones, en término de diseño, de desempeño del equipo, pero también en términos de la adopción del riego por aspersión en zonas de ladera, aspectos que serán analizados y discutidos en los siguiente acápite.

#### 4. CRITERIOS DE DISEÑO IMPLÍCITOS Y EXPLÍCITOS HALLADOS

En Mishkamayu, el diseño se centró en el EMRA. Al no haber experiencia sobre riego por aspersión en Bolivia a este nivel fue más bien un ensayo continuo de prueba y error, bajo supuestos técnicos inicialmente erróneos. En cambio, en Ch'ullkumayu el diseño ha sido bastante trabajado, tanto a nivel de presurización

del sistema como del EMRA, gente experimentada en riego se hizo cargo del diseño.

A continuación se explicarán los principales criterios de diseño identificados en ambos casos que han influido o definido su adopción en las condiciones propuestas.

#### 4.1. PRESURIZACIÓN POR GRAVEDAD

En ambos casos los equipos móviles de riego por aspersión fueron pensados para su funcionamiento con presión generada por gravedad. En Mishkamayu el equipo fue considerado para aprovechar la diferencia de altura entre la toma del equipo (localizado en el mismo canal o debajo de él) y las parcelas en sí donde los aspersores son localizados; en cambio, en Ch'ullkumayu por la presurización total del sistema, el EMRA estaba pensado para funcionar con la presión (definida) existente en los hidrantes.

En el caso de Mishkamayu, en el diseño esta diferencia fue considerada entre 25 a 50 m (2.5 a 5 bares de presión), el cual debería ser suficiente para lograr un adecuado funcionamiento del modelo de aspersor seleccionado (NAAN233AF). En la práctica no era posible obtener estas presiones en forma efectiva, pues considerando la pendiente del terreno asumida (55%), la altura vertical calculada para la manguera rígida de 50 m es de 20,4 m, sin considerar pérdidas por fricción.

A pesar de que 25 ó 50 m no fueron logrados efectivamente para lograr un adecuado funcionamiento, la utilización de la diferencia de altura es la característica más importante que permitió a los agricultores aceptar rápidamente el EMRA, debido a que se podría prescindir del empleo de una bomba y por tanto el ahorro en costos de equipo (hasta un 50% menos del costo total). Asimismo, la dificultad de transporte de una bomba<sup>7</sup> de un lugar a otro tomando en cuenta las pendientes de los terrenos, limitó el interés masivo hacia las bombas.

En Ch'ullkumayu, al presurizarse todo el sistema, el manejo de la presión generada por la gravedad ha sido muy adecuado, ya que en base a las mediciones en todos los hidrantes, la presión oscila entre 2 a 5 bares, que cumple con el requerimiento de presión de operación de aspersores de mediana presión. Sin embargo, a nivel del EMRA es donde empiezan los problemas, pues a pesar de haberse considerado en la etapa de diseño este tipo de aspersores, durante la ejecución del proyecto se modificó el modelo de EMRA finalmente introducido.

Por tratar de favorecer a todos los beneficiarios del proyecto, decidieron comprar aspersores de menor costo pero también de menor calidad (Truper), 3 aspersores por equipo, así como 50 m de manguera rígida de polietileno de baja densidad (PEBD) en vez de mangueras flexibles de lona. No se conocen cabalmente las características técnicas de estos aspersores (perímetro mojado, distancia aconsejada, entre otros), por tanto el riego en la parcela se está realizando a ciegas, con resultados poco alentadores. En la práctica, tal vez sin proponérselo se ha vuelto a un modelo de EMRA muy parecido al utilizado inicialmente en Mishkamayu, el cual trajo tantos problemas en su uso cotidiano a los agricultores, con un aditamento negativo extra: aspersores genéricos de dudosa calidad.

---

<sup>7</sup> Nos referimos a las motobombas (a diesel o gasolina)

#### 4.2. COMPATIBILIDAD CON LAS REGLAS DE DISTRIBUCIÓN EXISTENTES

En Mishkamayu, el equipo debía ser usado en el marco de sistemas de riego por superficie existentes con un suministro de agua de riego rotacional al predio, es decir los EMRAs fueron diseñados para hacer uso del turno de agua (12 horas) disponible para los agricultores cada 1 a 2 semanas, dependiendo del sistema de riego. Esto implicó una cierta disponibilidad de flujo de agua para cada agricultor, el cual resultaba en un EMRA con 3 a 6 aspersores. A pesar de que los supuestos sobre la forma en que iba a engranar el uso de estos equipos no se cumplieron a cabalidad, en la práctica funcionaron en la medida en que los agricultores de la zona compatibilizaron con sus reglas de distribución.

En el caso de Ch'ullkumayu, la compatibilidad requerida era mayor ya que se presurizó todo el sistema. El diseño y posteriormente la práctica llegó a definir el uso de tres aspersores por socio (la única condición) y el tiempo por turno considerado fue de 24 horas por usuario. Del diseño se desprende que el sistema podría permitir regar simultáneamente a 12 usuarios cada 4 días, en la práctica pueden regar 6 a 7 usuarios a la vez, por tanto con una frecuencia de riego de 8 días, porque a mayor cantidad la presión disminuye así como el caudal.

#### 4.3. EQUIPO ESTÁNDAR PARA DIFERENTES PARCELAS

En Mishkamayu, los primeros EMRAs utilizados venían en dos modelos básicos: EMRAs con 25 m de manguera rígida de presión y 3 aspersores; y EMRAs con 50 m manguera rígida de presión y 6 aspersores. Las características de las parcelas en la práctica fueron menos uniformes que lo asumido, y hoy en día, como producto de las adecuaciones hechas en los EMRAs por los agricultores, se encuentran diferentes modelos con mangueras rígidas de presión que van desde 6 a 65 m (promedio: 33 m) y equipos que poseen desde 1 a 8 aspersores (Promedio: 3-4).

En Ch'ullkumayu, los EMRAs que actualmente están siendo utilizados (regalo) en un 99% son de manguera rígida de 50 a 200 m de longitud (presión) y diámetro más común de 1,5" (60%). El de distribución también de manguera rígida, se encuentran desde 20 hasta 54 m, siendo el diámetro más común de 1,5" (42%) y 1" (55%), el mismo que con algunas dificultades es utilizada en cualquiera de sus parcelas.

#### 4.4. ASPERSORES DE MEDIANA PRESIÓN

En Mishkamayu, asumiendo 25 a 50 m de diferencia de altura, el aspersor NAAN233AF fue elegido como el óptimo porque además fue concebido para servir en condiciones de helada ya que incluye un capuchón plástico para proteger el resorte del brazo contra el congelamiento (P.O.: 2,5 - 5,0 bar; Q: 2,1 - 2,93 m<sup>3</sup>/h; D: 32 - 36 m). Debido a una asunción inicial errónea sobre la carga de presión generada por la diferencia de alturas, el aspersor seleccionado usualmente trabaja con una presión más baja que la mínima requerida para funcionar óptimamente. Aunque después fue introducido otro aspersor con requerimiento de presión menor (Rain Bird 30H. P.O.: 1,7 - 5,5 bar; Q: 1,45 - 2,61 m<sup>3</sup>/h; D: 26 - 32 m), también para éste es difícil lograr adecuadas presiones para un buen funcionamiento.

Pero esta situación no ha sido una limitación para que los agricultores rieguen con bajas presiones, siendo una respuesta la realización de modificaciones a los aspersores que permiten que éstos “trabajen” y cumplan su labor.

En el caso de Ch’ullkumayu, el diseño consideró el uso también de aspersores de mediana presión, aspersor Riego Costa (RC130HH. P.O.: 1,7 – 4,1 bar; Q: 1,68 – 2,63 m<sup>3</sup>/h; D: 35,4 – 30,6 m). Sin embargo, por consideraciones de equidad para con los beneficiarios del proyecto les proveyeron aspersores de baja calidad (genéricos) aunque de mediana presión (dudoso). La única información es la que aparece en el paquete de venta: 40 a 50 PSI (2,8 a 3,4 bares).

#### 4.5. TASAS DE APLICACIÓN DE AGUA

En Mishkamayu, el diseño original fue hecho con la descarga máxima del catálogo (3.71 m<sup>3</sup>/h, 5 bares y diámetro de boquilla de 6.2x2.5 mm). En la práctica, éste no fue alcanzado debido a que con 50 m de manguera rígida de presión, planteado inicialmente, no es posible lograr 5 bares de carga de presión. En el presente, tasas de aplicación de agua entre 1.44 a 3.79 m<sup>3</sup>/h son alcanzados a 1 bar como promedio pero explicable debido a las modificaciones hechas por los agricultores en los aspersores (extracción de boquilla secundaria o ensanchamiento de la boquilla principal). Este aspecto será discutido y analizado posteriormente.

En Ch’ullkumayu, el diseño original consideró la descarga del aspersor Riego Costa (2,63 m<sup>3</sup>/h). Empero, por el cambio en la compra de un aspersor más genérico (Marca Truper), las descargas logradas en base a mediciones de campo es de 0,76m<sup>3</sup>/h a 2 bares y 1,51 m<sup>3</sup>/h a 4,5 bares, presión superior al requerido por datos del aspersor, muy inferiores al recomendado en el diseño, razón por la cual los agricultores comenzaron a ensanchar la boquilla principal, para lograr mayor descarga.

#### 4.6. ESPACIAMIENTO ENTRE ASPERSORES

Como se percibió en el diseño original en Mishkamayu, el dimensionamiento del EMRA surgido del cálculo hidráulico realizado inicialmente, presentaba serias falencias que fueron modificadas en gran medida, pero más como producto de la práctica. Prueba de ello, por ejemplo actualmente existen diferentes espaciamientos entre aspersores utilizados por los agricultores, se encuentran espaciamientos que van desde 6 m hasta 15 m (mayor proporción 10 y 12 m, 27 y 25% respectivamente), totalmente diferentes al inicialmente planteado de 34 m (sin traslape), que estaba completamente fuera de alcance posible del aspersor elegido ese entonces aún utilizando una presión de 5 bares, tal como sugiere el catálogo de NAAN.

Las razones para esta diversidad de distanciamientos son en parte resultado de recomendaciones realizadas por el Técnico del PDAI y de los cooperantes externos, así también como producto de la práctica de los agricultores, quienes individualizaron sus equipos de acuerdo a sus parcelas con características de dimensionamiento sobre todo de la matriz principal.

En Ch’ullkumayu, también en base a un concurso de riego organizado se ha podido definir la distancia entre aspersores que va entre 7 hasta 18 m (más común 10m) y entre laterales de 16 a 20 m. Como no hay referencia en catálogos de la marca de aspersor utilizado actualmente (Truper) no se conoce el distanciamiento teórico



entre aspersores o laterales teórico. En el documento de diseño se consigna un espaciado entre laterales y aspersores de 18 m para el aspersor seleccionado y la presión considerada de 2,2 bares, pero como ya se indicó anteriormente no se utilizó finalmente el aspersor considerado en el diseño.

#### 4.7. TIEMPO POR CADA POSICIÓN DE RIEGO

En Mishkamayu, el tiempo por cada posición de riego, varía considerablemente, como un resultado de su práctica diaria y en función al suelo y estadio del cultivo, principalmente. La decisión es basada en la inspección visual de la profundidad de suelo mojado. Originalmente, 3 horas por posición fue recomendado solamente basado en una prueba de campo, en el cual 30 cm de profundidad de suelo mojado fue medido después de 3 horas de funcionamiento de los aspersores.

Actualmente, el tiempo de riego promedio por posición aplicado por los agricultores de Mishkamayu es 2.1 horas, oscilando de un mínimo de 1 hora a un máximo de 3.5 horas. Cada agricultor conoce las características particulares de sus parcelas suficientemente bien. En la práctica, se podría decir que ellos tienen calibrado sus tiempos de riego basado en estas características.

En Ch'ullkumayu, por la práctica adquirida en estos cuatro años de funcionamiento del sistema, los agricultores aplican en promedio 6 h por posición, aunque esto varía de agricultor a agricultor, desde 2 hasta 12 horas (más común entre 5 y 7 horas). El diseño agronómico consideraba un tiempo de aplicación por posición de riego de 6 horas, definido en base a las características edáficas de la zona. Por lo encontrado, los tiempos reales se aproximan bastante al tiempo teórico calculado en el diseño.

#### 4.8. MOVILIDAD DEL EQUIPO

En Mishkamayu, el equipo de riego fue diseñado para ser transportado de una parcela a otra, para utilizar el mismo equipo en diferentes parcelas. El criterio fue basado en la dispersión y tamaño de parcelas<sup>8</sup>, condición que dificulta implementar sistemas fijos o semifijos en cada parcela y también considerando que los agricultores no estaban interesados en invertir en infraestructura productiva, por ejemplo, en parcelas alquiladas.

Es cierto que a un principio esta situación se tornó muy complicada, debido al traslado de las mangueras rígidas de polietileno utilizadas inicialmente. Para el equipo de 3" de diámetro de tubería de presión esta situación era peor, al menos 5 personas eran requeridas para trasladar de un lado a otro. Esta situación mejoró notablemente con la introducción posterior de la manguera de lona, permitiendo que una sola persona trasladara de una parcela a otra fácilmente.

En Ch'ullkumayu, también el equipo fue pensado originalmente para su traslado de una parcela a otra, ya que se consideró mangueras de lona como en el caso de Mishkamayu. Sin embargo, el cambio en la ejecución del proyecto ha dificultado un poco esta idea, y finalmente se compraron mangueras rígidas de PEBD, que en la práctica diaria dificulta el traslado de una parcela a otra, incrementando el tiempo y la mano de obra utilizada, así como el riesgo de rotura o desgaste de las roscas en las uniones.

---

<sup>8</sup> De 0.05 ha a 1 ha

#### 4.9. MATERIAL PARA LA CONDUCCIÓN DE AGUA

En Mishkamayu, inicialmente mangueras rígidas de polietileno fueron usadas (tanto para la matriz principal como para la tubería de distribución), material utilizado generalmente en sistemas de aspersión fijos o enterrados. Pero ahora mangueras rígidas y flexibles son transportados permanentemente de una parcela a otra.

El cambio fue mayor en lo que a tubería secundaria se refiere, ya que el porcentaje de agricultores que usan politubo de 1.5" es baja (11%), en cambio el porcentaje de agricultores que usan actualmente sólo manguera de lona de 1.5" es muy alta (87 %).

A pesar del mayor costo de las mangueras flexibles de lona (164% más) en relación a la manguera rígida de polietileno, los agricultores rápidamente cambiaron por ésta última, dada su mayor facilidad de traslado y de manejo en parcela.

En Ch'ullkumayu, por cambios en la ejecución del proyecto se ha regresado al modelo inicial de Mishkamayu, aunque con diámetros menores y en la práctica obviamente dificulta su traslado dentro y entre parcelas. Prácticamente el 99 % de los usuarios utilizan mangueras rígidas de PEBD, en la primera parte como en los laterales.

#### 4.10. ACCESORIOS DE ACOPLA Y DESACOPLA

En Mishkamayu, inicialmente un acople metálico con rosca ("unión patente") fue incluido para separar el equipo en partes y así facilitar el traslado del equipo de una parcela a otra. En la práctica sin embargo, los agricultores tuvieron serios problemas con este accesorio, pues la oxidación de la rosca complicaba el acople o desacople y además causaba filtraciones.

Después fueron introducidos por el PDAI y CIPCA nuevos tipos de acoples rápidos, los cuales están en uso hoy en día.

En Ch'ullkumayu, los acoples actualmente usados son muy similares a los usados en el EMRA inicialmente introducidos a Mishkamayu, con el cual los agricultores tuvieron muchos problemas, aunque ya son de plástico. No obstante, los problemas son muy similares (dificultad en el armado y desarmado, filtraciones). En el diseño se consideró acoples rápidos, pero por el cambio de orden se optó por los acoples de plástico (Uniones patentes).

### 5. ALGUNAS IMPLICANCIAS DE LAS MODIFICACIONES AL ASPERSOR

#### 5.1. ¿POR QUÉ LOS AGRICULTORES INCORPORARON EL ALAMBRE AL ASPERSOR?

Un problema inmediato y común enfrentado por los agricultores de Mishkamayu fue la falta de presión, resultando en una pobre uniformidad de riego, debido a que, tanto la longitud de la matriz principal de 25 ó 50 m del EMRA inicialmente comercializados así como la pendiente del terreno, no permitieron generar las presiones esperadas de 2.5 a 5 bares. En la práctica, presiones de alrededor 1 bar usualmente son encontradas/medidas.

Tomando en cuenta que “ la presión tiene un efecto muy significativo en el patrón de distribución, entonces una presión baja puede reducir la pulverización adecuada del chorro, y causar a que la aspersión se concentre en un simple radio del aspersor, resultando en un patrón de aplicación tipo dona” (Heermann, 1983), “especialmente desde la boquilla principal concentrándose en un anillo lejos del aspersor, dando un perfil de precipitación pobre” (Keller y Bliesner, 1990) y así una pobre uniformidad de distribución de agua, tal como reportaron frecuentemente los agricultores de Mishkamayu y tal como se puede apreciar en la Tabla 2.

La primera adaptación hecha por los agricultores como una respuesta a la falta de presión para un “buen o mejor funcionamiento” del aspersor fue la incorporación de un alambre en el aspersor<sup>9</sup>, al nivel de la boquilla principal y también de la boquilla secundaria (Figura 2):



**FIGURA 2.** LA INFLUENCIA DEL ALAMBRE SOBRE EL CHORRO DE AGUA SALIENTE DEL ASPERSOR

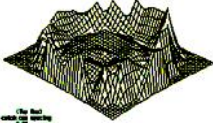
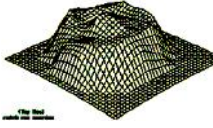

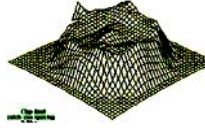
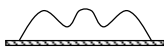
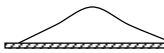

Entonces, ¿qué es lo que hace o produce el alambre sobre el chorro de agua?. Principalmente, dispersar (o romper) las gotas y desviar el chorro de agua. Estas dos funciones son realizadas simultáneamente por el alambre incorporado en los aspersores (Figura 2), para lograr aplicar el agua tan uniforme como sea posible, reduciendo las gotas grandes para hacer una aplicación más uniforme. Este es el principal argumento de los agricultores y el por qué ellos empezaron a incluir el alambre.

Cuando el chorro de agua es roto después de golpear el alambre disminuye la distancia de tiro, para evitar tanto como sea posible, pérdidas en los bordes de las parcelas. El resultado es una profundidad de agua casi uniforme en toda el área del círculo mojado, similar al perfil de precipitación de un aspersor que trabaja con alta presión que la requerida, tal como se aprecia en la Tabla 2.

---

<sup>9</sup> Hoy en día es una práctica generalizada, 99% de los agricultores en Mishkamayu colocan alambre en sus aspersores.

**TABLA 2. EFECTO DEL ALAMBRE EN EL PERFIL PLUVIOMÉTRICO DEL ASPERSOR**

Aspersor	NAAN 233AF		RAIN BIRD 30H	
Condición de adaptación del aspersor	Sin adaptaciones, con ambas boquillas	Con alambres, sin boquilla secundaria	Sin adaptaciones, con ambas boquillas	Con alambres, sin boquilla secundaria
Medida de la presión en el aspersor *(bar)	1		1	
Distribución de la pluviometría (aspersor individual)				
	PRESIÓN MUY BAJA	PRESIÓN SATISFATORIA	PRESIÓN MUY ALTA	
				
Efecto de la presión en los perfiles de precipitación para un aspersor de doble boquilla (Keller y Bliesner, 2000)				

\* medida previo al ingreso del agua en el aspersor

Este efecto es muy importante para pequeñas parcelas en las cuales algunas veces solamente un aspersor podría cubrir de lado a lado, imposibilitando un cambio de posición lateral, el cual podría ser muy necesario para completar el perfil de precipitación de un aspersor trabajando en condiciones normales (Tabla 2).

Aunque “para alcanzar una aplicación de agua uniforme en parcelas más pequeñas es necesario un perfil de precipitación diferente o traslapar con aspersores de media a baja presión” (Keller, 1990), pero en la práctica, los agricultores tienen que lidiar solamente con aspersores de mediana presión pero con cargas de presión bajas debido a la necesidad de cubrir tanto como sea posible un terreno usando su turno de agua. Aunque la situación sugería usar aspersores de baja presión, los agricultores tenían una fuerte preferencia por las boquillas anchas, por ello una práctica común para algunos agricultores fue remover boquillas para incrementar el flujo de agua.

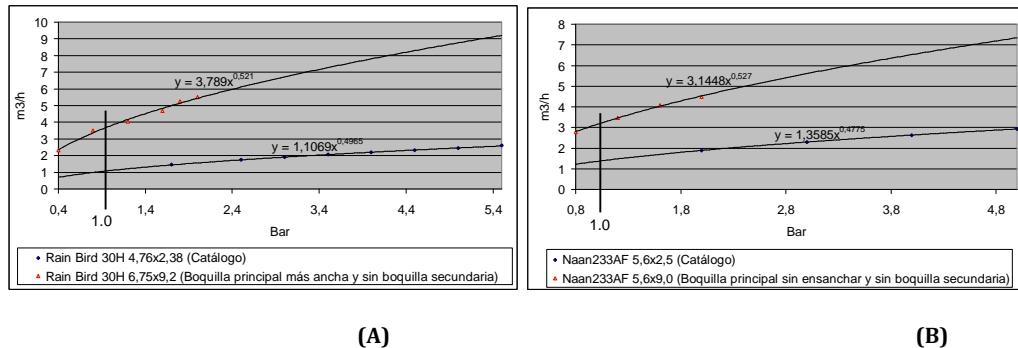
En la práctica, las presiones de operación están normalmente alrededor de 1 bar. Incluso es posible constatar EMRAs que están funcionando con presiones más bajas (0.3 a 0.6 bar), situaciones en las cuales los agricultores toman medidas para lograr que los aspersores “trabajen” cuando los aspersores no giran debido a estas presiones tan bajas. Algunos ejemplos son amarrar el resorte del brazo o poner una pequeña rama o tapando la salida de la boquilla secundaria con una pequeña estaca.

## 5.2. ¿POR QUÉ LOS AGRICULTORES REMUEVEN O ENSANCHAN LA BOQUILLA

Considerando además que los aspersores tenían y aún tienen falta de carga de presión? De acuerdo a los agricultores de Mishkamayu esta medida fue tomada debido a la necesidad de disminuir el tiempo de riego por posición y regar más

área de cultivo. En la práctica, ensanchar la boquilla principal y remover la boquilla secundaria, afectó seriamente la descarga del aspersor como podemos apreciar en la Figura 3 a y b.

Para el aspersor Rain Bird 30H la diferencia en la descarga entre aquel con ambas boquillas y la otra sin una boquilla y con la boquilla principal más ancha es bastante diferente al aspersor NAAN 233AF.



**FIGURA 3.** DESCARGA DE LOS ASPERSORES UTILIZADOS EN MISHKAMAYU MODIFICADOS Y NO MODIFICADOS

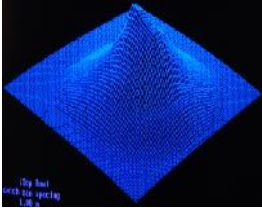
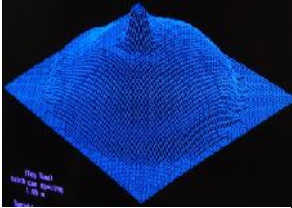
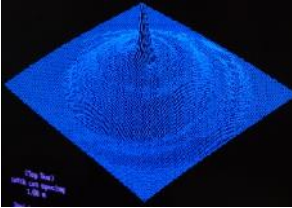
Para un mejor entendimiento de estas diferencias si comparamos la descarga a 1 bar de los cuatros aspersores, podemos apreciar que a la misma presión (1 bar) los agricultores pueden lograr 131 % más de descarga (aspersor NAAN 233AF) y 241 % con aspersores Rain Bird 30H después de remover la boquilla secundaria y/o ensanchado la boquilla principal. Esto significa automáticamente que ellos necesitan menos tiempo por cada posición de riego, así pueden regar más área que antes de que las modificaciones fueran hechas en los aspersores.

Si consideramos la remoción de la boquilla secundaria, el uso de boquillas principales de mayor diámetro o ensanchadas, la situación se tornó más difícil porque no fue solamente una falta de carga de presión sino, por el mayor diámetro de las boquillas, gotas de agua más grandes que pudo incidir en el incremento del riesgo de erosión, ya que de acuerdo a Heermann (1983) “gotas más grandes poseen energía cinética más grande, el cual es transferido a la superficie del suelo, causando traslación y apelmazamiento que puede resultar en un encostramiento superficial o escorrentía”. Esto es debido a que los aspersores están diseñados y construidos para funcionar en un cierto rango de carga de presión y con ambas boquillas sin modificar.

En Ch’ullkumayu, para ver el efecto que tiene la remoción de boquillas en los aspersores Truper se han realizado también evaluaciones individuales de los mismos determinando el perfil de humedecimiento de cada aspersor (Tabla 3).

Las evaluaciones se han hecho con los dos aspersores más utilizados en la comunidad, y bajo las pequeñas modificaciones que se han hecho a los aspersores: el aspersor Truper que representa un 83%, el aspersor Naan 233, que representa un 14% y otros aspersores que representan tan sólo el 3%. Cabe resaltar que el aspersor Truper por ser la que más se utiliza, se ha evaluado bajo dos condiciones: Un aspersor con boquillas ensanchadas y otra con boquillas normales.

**TABLA 3. CURVAS DE HUMEDECIMIENTO DE LAS TRES OPCIONES DE ASPERSORES INDIVIDUALES EVALUADOS**

Aspersor	TRUPER		NAAN 233AF
Condición de adaptación del aspersor	Sin modificaciones, con ambas boquillas	Con boquillas ensanchadas	Sin modificaciones, con ambas boquillas
Medida de la presión en el aspersor *(bar)	2,5	4,5	2,5
Distribución de la pluviometría (aspersor individual)**			

\* medido previo el ingreso del agua al aspersor

La primera observación en el aspersor Truper sin y con extracción de boquillas es que el primero descarga menos bajo un perfil parecido a un aspersor con presión normal aunque con algunas perturbaciones por el viento. En cambio el segundo, por el ensanchamiento de boquillas, y mayor presión de operación descarga mayor cantidad abarcando mayor diámetro de mojado, aunque la pluviometría es concentrada. Finalmente, en el caso del aspersor NAAN se nota que la presión de 2,5 bares no es suficiente, lo que provoca un anillo externo y al no tener tornillo deflector no se puede corregir inmediatamente esta situación, además se observa también el efecto del viento.

Es de hacer notar que el viento es un factor importante a tomar en cuenta en estas condiciones, ya que como afirman Lorenzini y De Wrenchien (2005), la evaluación de las pérdidas del chorro debido a las condiciones ambientales, pueden ser considerados como un indicador importante del desempeño del sistema.

### *5.2.1. RELACIÓN DE LA REMOCIÓN Y ENSANCHAMIENTO DE BOQUILLAS CON LA DISTRIBUCIÓN DE AGUA*

Muestra la importancia de las reglas de distribución de agua en cada sistema y el uso de tecnología de riego por aspersión. En los sistemas de Sapanani y Chuntali, el número de aspersores por turno es limitado a 3, entonces es común remover la boquilla secundaria de los aspersores para lograr descargas más grandes (92%). Pero en MayunPunku esta limitación no existe considerando que la descarga total del canal es dividida en dos partes dando libertad al regante para usar el número de aspersores que él o ella considere conveniente. Sin embargo, aún en MayunPunku, a pesar de que los agricultores cuentan con una mayor disponibilidad de agua en comparación con los agricultores de los sistemas de Sapanani y Chuntali, 45% de los agricultores remueven sus boquillas secundarias, buscando también incrementar el área regada con el turno de agua con que ellos cuentan.

En Mishkamayu, en la práctica los aspersores “trabajan” con menores presiones que las requeridas mínimamente pero con descargas mayores debido a la

extracción de la boquilla principal y/o ensanchamiento de la boquilla principal<sup>10</sup>. Esto sugiere que los agricultores están más interesados en maximizar su área regada con sus 12 horas de turno de riego aunque esto signifique alcanzar uniformidades y eficiencias de riego menores que aquellos que podrían obtenerse sin la extracción de la boquilla secundaria y presiones considerables.

En Ch'ullkumayu también una práctica que se ha empezado a generalizar es ensanchar ambas boquillas, al menos el 50% de los usuarios ya lo han hecho. En este caso además es necesario considerar que existe buena presión como para utilizar aspersores de mayor pluviometría que eventualmente irán adquiriendo en la medida que los actuales aspersores entren en desuso.

### 5.3. UNIFORMIDAD Y EFICIENCIA LOGRADOS CON LOS ASPERSORES MODIFICADOS

Considerando las condiciones de agricultura bajo riego por aspersión, practicado en Mishkamayu, es oportuno también conocer qué resultados se logran en cuanto a Uniformidad y eficiencia en parcelas de ladera, tomando en cuenta además que los resultados obtenidos fueron obtenidos utilizando aspersores modificados. El estudio realizado por Jiménez (2003), arrojó Uniformidades de Distribución entre 41.7 a 71.2 % (promedio 60.1 %), Coeficientes de Uniformidad de Christiansen de 56.2 a 79.6 % (promedio 70.9 %) y Eficiencias de aplicación (en el cuarto inferior) de 36.9 a 71.2 (promedio 51.2 %).

A pesar de que estos valores están por debajo de los estándares recomendados por Keller y Bliesner (2000), para cultivos de alto valor económico recomendado (CU mayor a 84% y UD mayor a 75%) no disminuye la valía del riego por aspersión, pues considerando las condiciones extremas de riego (excesivo empleo de mano de obra, exposición al frío, contacto permanente con el agua, carga de trabajo que significa el riego por superficie en estas condiciones para los agricultores de Mishkamayu), estos indicadores pasan a un segundo plano.

En Ch'ullkumayu, Hidalgo (n.d.) reporta valores de UD entre 47 y 62%, CUC entre 60 a 77% y Eficiencias de aplicación (en el cuarto inferior) entre 17 a 47%. Si consideramos que en Ch'ullkumayu el tiempo de experiencia en riego por aspersión es apenas de cuatro años, sumado a esto, la menor calidad de los aspersores, la falta de acompañamiento en la etapa de operación del sistema, es lógico que aún reporten valores bajos, ya que la uniformidad es un indicador importante de la experiencia de riego en parcela muy importante y el indicador de eficiencia de aplicación nos muestra que aún no manejan adecuadamente los tiempos de aplicación de riego, notándose sobre-riego.

Cisneros et al (2003) haciendo una evaluación de 12 parcelas regadas con equipos móviles de riego por aspersión utilizados por los campesinos indígenas en la Sierra Sur del Ecuador, para regar parcelas con una pendiente superior al 12%, condiciones bastante similares a Mishkamayu y Ch'ullkumayu, encontraron valores de CU entre 17,4 a 77,2% y Eficiencias de aplicación que varía entre 58,7 a 88,7%. Es de hacer notar que los autores se remiten solamente a los valores encontrados, sin considerar ningún aspecto del proceso mismo de la innovación tecnológica del riego, por ello afirman que ninguno de los sistemas estudiados son de carácter

---

<sup>10</sup> Debido a que tienen EMRAs con número reducido de aspersores (3 como promedio) la cantidad de agua por turno es usualmente más que el requerido para el funcionamiento del EMRA, entonces ellos tendrían que regar más tiempo en una posición de riego y el agua remanente son pérdidas.

económico viable y que los mismos “son ineficientemente utilizados y apenas contribuyen al incremento en la productividad”.

Montazar (2008), reporta valores de Coeficiente de uniformidad varía en Coeficientes de uniformidad entre 45 a 85 %, variando la pendiente de 1,3 a 13,4%. Determinaron que el manejo apropiado durante el riego puede muy bien cancelar los efectos negativos de velocidades de viento altas y también sus variaciones de uniformidad de aplicación de agua. Además concluyeron que en zonas áridas y semiáridas donde los recursos hídricos son escasos, no hay la necesidad de consumo de agua más alto para incrementar la uniformidad de agua más allá de 75%. Para Lankford (2006), el debate sobre la eficiencia del riego en ocasiones ha sido reducida a una posición resumida: ‘El riego superficial es muy ineficiente’ o ‘ineficiencias locales no importan’. Por ello, afirma que “la eficiencia es local, con escala y propósito específico y recuperar o no las pérdidas es un tema local”. Esta afirmación es muy importante ya que significa un cambio importante en la manera de ver o medir las eficiencias.

## 6. LECCIONES APRENDIDAS

En este acápite se concentra los elementos o aspectos importantes encontrados en los dos casos planteados, con la esperanza de que sirvan como ideas de partida cuando nuevos emprendimientos en innovación tecnológica en riego inicien.

### 6.1. EL GRAN APORTE DEL RIEGO POR ASPERSIÓN EN CONDICIONES DE LADERA

De ambas experiencias se desprende que al margen de las ventajas de ahorro de agua y disminuir las pérdidas que se traduce en mayor área regada y mejora en la producción, los agricultores han podido apreciar el gran aporte que les supone en su cotidiano vivir el riego por aspersión, ya que les brinda varias ventajas concretas:

- Disminuye el riesgo de erosión por efecto del riego, sobre todo en parcelas de laderas o pendiente considerables (10 a 70% de pendiente).
- Con el riego por aspersión los agricultores no se mojan ni sufren las inclemencias del clima (frío) especialmente durante la noche. Es un aspecto muy reconocido por ellos pues antes de emplear riego por aspersión sufrían las inclemencias del tiempo en carne propia.
- Reduce el uso de mano de obra dedicada al riego, siendo más notorio en zonas en ladera donde el riego superficial requiere más mano de obra. Así por ejemplo, en Mishkamayu las personas dedicadas durante un evento de riego (sobretudo, trasladar el equipo y mover de posición) son 1 a 2 personas, contrastantes con el número de participantes que antes requerían para regar una parcela por superficie (4 a 5 personas por evento de riego) además con presencia continua en la misma parcela (Delgadillo, 2003).
- Permite aplicar el agua más uniformemente y penetra mayor profundidad, principalmente en parcelas de pendiente, por su forma de aplicar (simula la lluvia), en la cual los cultivos aprovechan mejor el agua.
- En general, permite ahorrar el agua de riego, que en la práctica se traduce en mayor superficie regada (25 a 50% más de área regada), comparado con el método de riego por superficie.



- Finalmente, le permite al agricultor aplicar la cantidad necesaria de agua, debido a que se puede controlar el tiempo de riego por posición.
- En general, el riego por aspersión en zonas de ladera significa mayor eficiencia energética por las condiciones: no motobomba - cero combustible - cero transporte bomba, menos mano de obra durante el evento de riego, se dedican a otras actividades durante el riego.

## 6.2. IMPLICANCIAS DEL CAMBIO TECNOLÓGICO EN SISTEMAS COLECTIVOS DE RIEGO

Cambiar de un método de riego por superficie a riego por aspersión, al margen de lograr varias ventajas tiene también varias implicancias para el sistema y las prácticas diarias del agricultor, que deben ser considerados:

- El caudal de riego por agricultor disminuye, por lo general incrementa el tiempo de riego. Eso significa cambios en la gestión como por ejemplo: regar más usuarios al mismo tiempo por más tiempo.
- Otra implicancia a considerar es el mejoramiento o cambio de la infraestructura en general del sistema de riego, en muchos casos. Esto trae consigo automáticamente cambios en la operación, mantenimiento, distribución del agua, entre otros.
- El riego por aspersión también implica aumento y habilitación de nuevas áreas de riego, mayor rendimiento de la producción, por lo tanto más cosecha, pero esto generalmente está acompañado de otras medidas (insumos, control fitosanitario, etc.).
- Al tratarse de una nueva tecnología aunque en esencia fácil de operar, requiere de una capacitación específica y acompañamiento a los agricultores hasta lograr que éstos logren resultados óptimos y no subutilicen el potencial del riego por aspersión, por el continuo abandono al que son sujetos.
- Los agricultores deben estar conscientes de que la implementación del riego por aspersión es un proceso que a larga trae varios beneficios asociados, pero por lo mismo requiere de paciencia y perseverancia.

## 6.3. LA POTENCIALIDAD DE DESNIVELES NATURALES PARA PRESURIZAR SISTEMAS DE RIEGO

Uno de los factores sin duda para la masiva adopción en zonas de ladera del riego por aspersión ha sido la presurización por gravedad, que en forma aislada y a veces planificada está posibilitando que agricultores de bajos recursos estén incursionando en el riego de sus parcelas por aspersión, o en algunos casos por goteo. Si consideramos las condiciones de topografía difícil y accesibilidad muy limitada a las parcelas en condiciones de montaña, así como la falta común de energía eléctrica en estas zonas (imposibilidad de uso de bombas eléctricas), el traslado de motobombas resulta impráctico, al margen de requerir la provisión de combustible.

A la vez que los desniveles son en términos de energía, positivos pues permiten generar la presión para regar por aspersión, presentan también nuevos desafíos a la hora de diseñar hidráulicamente (manejar o controlar la energía natural existente). Por ello, requiere de creatividad y concentración realizar estos diseños,

ya que un mal cálculo ocasionaría excesiva o limitada presión disponible para los aspersores, desembocando incluso en rotura de tuberías.

Cabe aclarar, que no es definitivo o determinante crucial ahorrar en la compra de motobombas en estas zonas, pues en algunas comunidades aledañas utilizan también motobombas para vencer más bien desniveles y regar por aspersión, viendo las bondades que ofrece esta nueva forma de regar en condiciones de ladera.

#### 6.4. CAPACITACIÓN A AGRICULTORES EN RIEGO POR ASPERSIÓN

Sobre el tema de capacitación, en Bolivia sobretodo en el marco del Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria (IBTA) ésta consideraba la asistencia técnica y capacitación, aunque más enmarcado en el enfoque de transferencia de tecnología, pero tenía el paraguas institucional del Estado, entonces era de alcance nacional. Luego del cierre del IBTA se crea el SIBTA (Sistema Boliviano de Tecnología Agropecuaria) el año 2000 como un programa permanente del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (MAGDER), a través del Viceministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. El SIBTA para tratar de articular el sector público y el privado orientado a la modernización tecnológica del sector agropecuario, entre otros a través de la implementación de proyectos de innovación tecnológica aplicada. En el marco del SIBTA, la capacitación sobre temas agropecuarios se concentra en el marco de proyectos específicos, por tanto su alcance ha resultado más limitado. Las ONGs y algunas entidades de desarrollo rural emprenden por su parte la capacitación dirigida a agricultores como iniciativas muy puntuales y aisladas.

Sobre todo en la última demanda, ha vuelto a crecer la demanda por parte de los agricultores en capacitación sobre temas concretos pero también diversos. Asimismo, debido a la corriente en boga de la Gestión Integral de Recursos Hídricos, el “desarrollo de capacidades” es un componente importante de este enfoque, que cambia la forma de encarar la capacitación, pues ya reconoce que existe un potencial en la gente, en las organizaciones y que para lograr sus objetivos requieren desarrollar las mismas. Esto sin embargo, implica un gran reto ya que involucra el desarrollo de programas de capacitación específicos para diferentes focos, en este caso para agricultores regantes.

La Universidad Mayor de San Simón a través del Centro AGUA ha incursionado en la capacitación a agricultores, dada la gran demanda surgida sobre un tema muy concreto y de interés (riego por aspersión, sobre todo en zonas de ladera), a través de dos proyectos de investigación-acción, ajustando continuamente los planes, contenidos, estrategias, materiales de capacitación, etc. Pérez y Cáceres (2011) al respecto identificaron tres factores que han sido fundamentales en las decisiones tomadas durante el desarrollo de la metodología para la capacitación: Un buen diagnóstico, el ambiente de confianza entre técnicos y agricultores y la evaluación inmediata. Asimismo, consideran que la clave del éxito durante el desarrollo de la metodología de capacitación a agricultores no es tanto la innovación metodológica o el uso de técnicas revolucionarias, sino más bien la correcta ejecución de las actividades, la flexibilidad de los técnicos y el sentido común.

Mati (2008), en base a una experiencia en Kenia, identifica el tema de desarrollo de capacidades de pequeños regantes como un insumo muy importante, pues los

agricultores requieren capacitación, asimismo el intercambio de experiencias aporta más cuestiones prácticas y empuja rápidamente a la replicación de innovaciones.

#### 6.5. FALLAS EN EL CICLO DEL PROYECTO

Definitivamente en Bolivia hay mucha desconexión entre las distintas fases del proyecto, ya que usualmente ocurre que unos hacen la ficha de identificación y validación de proyectos, otros realizan el diseño final y, por supuesto, otros son los que construyen y supervisan la ejecución del proyecto de riego. Esta desconexión en el proceso deriva en resultados diversos.

A pesar de existir experiencias previas, en las cuales se han incurrido en errores y de los cuales se ha intentado aprender, vuelve a ocurrir una y otra vez, incurriéndose en los mismos errores. Ch'ullkumayu nos ayuda a vislumbrar esta situación ya que a pesar de que se ha trabajado muchísimo en el diseño hidráulico, constructivo y de gestión del sistema, así como a nivel parcelario, con profesionales de mucha experiencia, en el cual además se ha podido reflejar la experiencia de construcción de un EMRA para las condiciones de ladera muy práctico y versátil, resultado del continuo probar y errar y consolidado luego de varios años en Mishkamayu. Pero, por decisiones en el camino, en busca de mayor "equidad" reflejada en la entrega de equipos de riego a todos los usuarios y no como estaba previsto anteriormente, se ha cambiado totalmente el EMRA entregado finalmente a los usuarios, volviéndose al modelo inicial que se introdujo a Mishkamayu (con pocas modificaciones), y el cual trajo muchos dolores de cabeza a los agricultores en su momento.

A esto se suma que la práctica de riego a nivel parcelario, que debía ser apoyado por el componente de acompañamiento, no ha resultado adecuado, por tanto en la actualidad los agricultores están aprendiendo en la práctica a utilizar sus aspersores, a conocer el comportamiento del equipo, prueba de ellos los bajos resultados en términos de uniformidad y eficiencias de riego reportados anteriormente.

#### 6.6. APRENDIENDO EN LA PRÁCTICA

En Bolivia, la experiencia de riego por aspersión es aún reciente, esto muestra un panorama de que tanto técnicos y agricultores que emprenden una empresa de esta naturaleza, van aprendiendo con la práctica cotidiana. Inicialmente, Mishkamayu ha sido un centro de aprendizaje, posteriormente Ch'ullkumayu por el desafío que significó presurizar todo el sistema de riego gestionado por los mismos usuarios.

Hay poca gente "experta" en riego por aspersión en Bolivia, precisamente por lo incipiente del asunto. Este panorama es aún más limitado en relación a gente que conozca o trabaje procesos de innovación tecnológica en torno al riego presurizado a nivel de pequeños agricultores inmersos en sistemas de riego auto-gestionados con reglas de distribución de agua particulares, y con topografía muy difícil.

Por ello, pensar en nuevas iniciativas en Bolivia, es pensar en que un nuevo proceso de innovación tecnológica es también un proceso de aprendizaje en la práctica, lo cual supone también que el proceso de diseño debe ser esencialmente interactivo entre los que desarrollan la tecnología y los que usarán la misma, pues

en esencia no existen las recetas únicas para diseñar, sobre todo considerando las condiciones locales particulares (físicas, sociales, económicas, etc.) de nuestro medio, de ahí que “aprender haciendo” es un lema que se aplica tanto a agricultores como técnicos.

### 6.7. PERSEVERANCIA

Procesos de innovación tecnológica al constituirse en procesos largos para lograr resultados requieren, entre otros elementos, perseverancia en personas o actores clave dentro este proceso. Perseverancia significa creer que lo que uno hace va a funcionar, aunque las primeras señales no sean las más favorables. Esta característica es, de acuerdo a Rogers (1997) es típico de un innovador, quien deberá ser capaz para encarar un alto grado de incertidumbre sobre una innovación en el tiempo de adopción.

Esto es apoyado por lo indicado por Tornatzky y Fleischer, 1990, de que en una situación dada, en el cual las actividades relacionadas a la innovación ocurren, los atributos personales pueden ser iguales o más importantes que el grupo o factores organizacionales. Este es un elemento, por desgracia, que depende de las personas en sí inmersas en el proceso, y no es algo que uno puede incorporarlo en sí de la noche a la mañana.

Esta situación sugiere entonces, en lo que a capacitación a técnicos se refiere, la necesidad de formar técnicos con ciertas aptitudes para afrontar este tipo de procesos. Asimismo, sugiere la necesidad de trabajar muy cercanamente de manera que se pueda identificar a innovadores locales, quienes ayudarán al éxito del proceso de innovación tecnológica.

### 6.8. APRENDER A TRABAJAR JUNTOS

Sobre todo entre instituciones de desarrollo, la experiencia ha demostrado que una falta de coordinación interinstitucional entre instituciones provoca que se redoblen esfuerzos sobre una misma preocupación. En el caso de Mishkamayu, trabajaron simultáneamente dos ONGs en temas similares. Un ejemplo de esto fue el acople rápido ya que por un lado CIPCA trabajo en acoples de palanca, PDAI buscó el acople de enganche sin que ninguno se enteró del hecho hasta después.

La coordinación interinstitucional, sobre todo entre instituciones de desarrollo, en nuestro medio siempre resultó poco efectiva, pues en cierta medida, trabajar en la misma zona con un mismo tema de desarrollo se convierte en “motivo de competencia” ocasionando esfuerzos de recursos humanos, financieros y de tiempo muchas veces menos productivos que los que podría lograrse en forma conjunta, tal como refiere Roling (1990): “trabajando sinérgicamente para apoyar la toma de decisiones, solución de problemas y la innovación”.

El caso de Mishkamayu mostró que una innovación tecnológica no siempre es de interés colectivo al comienzo, lo que limita por tanto mayor participación de la organización matriz, pudiendo catalizar mejor un proceso, al convertirse en un interlocutor de mayor “peso” ante las instituciones que trabajan en desarrollo rural.

Este es un aspecto a considerar para pensar en futuras iniciativas de innovación tecnológica, encontrar un equilibrio, el cual se logra solamente poniendo en claro

los objetivos institucionales y encontrar objetivos comunes, claro está es una tarea cuyo éxito depende de cada caso, de cada situación.

#### 6.9. CRÉDITO, FACTOR IMPORTANTE EN PROCESOS DE CAMBIO

Sobre todo en el caso de Mishkamayu, el crédito<sup>11</sup> fue fundamental para que los agricultores hayan adoptado esta nueva tecnología de riego. Tanto PDAI como CIPCA fueron entidades que brindaron crédito para que los agricultores adquirieran y accedan a un equipo de riego.

Una lección en este sentido fue que en el área rural, dar crédito en la adquisición ya sea de semillas, fertilizantes, equipos de riego que no sean de buena calidad o que no sean adecuadas a las condiciones y objetivos de los agricultores, presenta generalmente moras altas. Sin embargo, en el caso de Mishkamayu, en lo que a equipos de riego se refiere la mora fue prácticamente cero.

Este ejemplo concreto sugiere que el crédito debería formar parte de las iniciativas de innovación tecnológica, pues a pesar de que es generalizada la idea entre las instituciones de desarrollo, que el agricultor busca productos baratos (coincide generalmente con baja calidad también) y no así productos de mayor precio pero de buena calidad. La experiencia ha demostrado que los agricultores pueden invertir por ejemplo en aspersores costosos (como el NAAN o el Rain Bird), pues a la larga su duración y mejor desempeño, compensan con creces su inversión. Así por ejemplo la mayoría de los agricultores que adquirieron aspersores NAAN al inicio, luego de 10 años aún lo seguían utilizando. Esto mismo se refleja en las tasas bajísimas de mora cuando lograron acceder a los créditos otorgados para adquirir equipos de riego.

Entonces, buscar productos de muy buena calidad, que sean adecuados para las condiciones de clima y de manejo tan adversos de nuestro medio rural, debe ser una consigna que no debemos olvidar a la hora de iniciar un proceso de innovación tecnológica, pues como alguien dijo “lo barato cuesta caro”, en estos casos, a los directos usuarios de una tecnología, los agricultores, pues las instituciones sólo están por un tiempo y luego se van, error que se volvió a repetir en el caso de Ch’ullkumayu.

### 7. CONCLUSIONES

La importancia del riego por aspersión en estas zonas de ladera radica sobretodo en la ayuda que esta nueva tecnología brinda a los agricultores en su difícil tarea de regar en estas condiciones, antes que centrarse solamente en resultados altos de uniformidad y eficiencia de riego. Aspectos tales como la reducción de la mano de obra empleada en el riego, reducción de la labor sacrificada del riego en ladera, riego nocturno, reducción del riesgo de erosión de sus suelos, ahorro de energía, son algunos de los factores que han incidido en la adopción de esta nueva tecnología.

Algunos aprendizajes de estas experiencias muestran la potencialidad de los desniveles naturales para presurizar sistemas de riego en estas condiciones, la

---

<sup>11</sup> El crédito concedido a los agricultores de Mishkamayu, tanto por PDAI como por CIPCA fueron créditos blandos (intereses bajos), mediante el cual los agricultores daban una cuota inicial y en el lapso de dos campañas agrícolas, debían pagar totalmente el crédito.

necesidad urgente de desarrollar la capacitación a agricultores en riego por aspersión en el marco de un seguimiento a todo el proceso de innovación tecnológica. Asimismo, surgen elementos como el aprender en la práctica, perseverancia, trabajo coordinado, créditos blandos, entre otros, que han incidido fuertemente en el curso final de estos procesos de innovación tecnológica, por tanto son elementos a considerar para futuras intervenciones.

Finalmente, se puede concluir que los procesos de innovación tecnológica de riego por aspersión en estas condiciones presentan varios y nuevos desafíos, tanto para diseñadores como para los(futuros) usuarios de estas tecnologías, pues tienen otras condiciones topográficas, sociales, culturales, económicas y políticas locales, distintas para los cuales han sido desarrollados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Delgadillo, O. 2003. Criterios de adopción y adaptación de tecnologías de riego por aspersión en sistemas de riego por gravedad manejado por agricultores. Tesis MSc. Universidad de Wageningen, Holanda. 96 p.
- Doornbos, B. 2003. The introduction of sprinkler irrigation in the southern Peruvian Andes; conditions for technological innovation and implications for irrigated crop production systems (PhD Research Proposal). Final version. Wageningen. p. 1-4.
- Heermann, D.F. 1983. Fluid dynamics of sprinkler systems. In: JENSEN, M.E. 1983. Design and operation of farm irrigation systems. The American Society of Agricultural Engineers. p. 583-618.
- Kay, M. 2001. Smallholder irrigation technology: prospects for Sub-Saharan Africa. Rome, IPTRID Secretariat Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Keller, J. 1990. Modern irrigation in developing countries. Proceedings of the Fourteenth International Congress on Irrigation and Drainage. Rio de Janeiro, Brazil.
- Keller, J.; Bliesner, R. 1990. Sprinkle and Trickle irrigation. Avi Book. New York. 652 p.
- Keller, J.; Bliesner, R. 2000. Sprinkle and Trickle irrigation. Blackburn Press. New York. 652 p.
- Rogers, E.M. 1997. The diffusion of innovations model. (Draft paper). University of New Mexico. p. irregular.
- Rogers, E.M. 1983. Diffusion of innovations. Third Ed. Collier Macmillan Publishers. London, GB. 453 p.
- Roling, N. 1990. The agricultural research-technology transfer interface: A Knowledge systems perspective. p.: 1-42. In: KAIMOWITZ, D. (Ed). 1990. Making a Link: Agricultural Research and Technology Transfer in Developing Countries. Wetview Press.
- Tornatzky, L.; Fleischer, M. 1990. The processes of technological innovation. Ed. Lexington Books. Massachusetts, USA. 290 p.
- Mejía, A. 1996. Riego por aspersión en laderas en la comunidad de Mishka Mayu (Cochabamba). 16 p.
- Kay, M. 2001. Smallholder irrigation technology : prospects for Sub-Saharan Africa. Rome, IPTRID Secretariat Food and Agriculture Organization of the United Nations.

- Rodríguez, R. 2003. Estudio de los principales factores que influyeron en la innovación tecnológica del riego parcelario en la microcuenca de Mishkamayu (Provincias Carrasco y Tiraque – Cochabamba). Tesis de grado. Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias, UMSS. Cochabamba, Bolivia. 76 p.
- Jiménez, J. 2003. Eficiencia de riego por aspersión en condiciones de ladera en la parte baja de la microcuenca de “Mishkamayu” (Cochabamba). Tesis de grado. Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias, UMSS. Cochabamba, Bolivia. 92 p.
- Hidalgo, L. n.d. Evaluación del Riego parcelario (Aspersión) en parcelas de ladera en la comunidad de Ch’ullkumayu, Municipio de Tiraque. Tesis de grado aún no defendida. Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias, UMSS. Cochabamba, Bolivia.
- Jiménez, J. n.d. Evaluación del proceso de innovación tecnológica con riego por aspersión en la comunidad de Ch'ullku mayu (provincia Tiraque). Tesis de posgrado aún no defendida. UMSS, Escuela de Posgrado. Cochabamba, Bolivia.
- Montaño, H. 2007. Diseño de un sistema de riego por aspersión presurizado por gravedad en la comunidad de Chullcu Mayu, Provincia Tiraque. Tesis de posgrado. UMSS, Escuela de Posgrado. Cochabamba, Bolivia. 121 p.
- Lorenzini, G.; De Wranchien. 2005. Performance assessment of sprinkler irrigation systems: a new indicator for spray evaporation losses. *Irrigation. and Drainage*, v.54, p. 295–305.
- Montazar, A.; Moridnejad, M. 2008. Influence of wind and bed slope on water and soil moisture distribution in solid-set sprinkler systems. *Irrigation and Drainage*, v. 57, 175–185.
- Lankford, B. Localising irrigation efficiency. 2006. *Irrigation and Drainage*, v. 55: 345–362.
- Pérez, L.; Cáceres, W. s.f. Capacitación como una acción estratégica para el desarrollo sostenible de la GIRH. Versión preliminar de cap. Libro.
- Cisneros, F.; Torres, P.; Feyen, J. 2003. Quantitative analysis of the performance of sprinkler irrigation in the Southern Sierra of Ecuador, on slopes steeper than 12 %.
- Mati, B. 2008. Capacity development for smallholder irrigation in Kenya. *Irrigation and Drainage*, v. 57: 332–340.
- INE. 2001. Censo Nacional de Población y Vivienda. Datos extraídos de la página web: [www.ine.gob.bo](http://www.ine.gob.bo).