

# EVALUACIÓN DEL RIEGO POR ASPERSIÓN EN PARCELA

Apuntes metodológicos a partir de la práctica

## EVALUACIÓN DEL RIEGO POR ASPERSIÓN EN PARCELA

Apuntes metodológicos a partir de la práctica

Este texto metodológico elaborado en el marco del Proyecto UMSS-ASDI-FC12 *Desarrollo de capacidades para la innovación tecnológica en riego y reuso de aguas con fines agrícolas de organizaciones campesinas en la cuenca Pucara (Tiraque, Cochabamba)* quiere contribuir a los técnicos en la evaluación de eventos de riego por aspersión, con la perspectiva de ir ajustando y corrigiendo el riego a este nivel, en base a datos de campo e indicadores concretos que guíen este accionar.

En ese entendido, el primer acápite aclara los conceptos y definiciones más importantes sobre el riego parcelario, la evaluación, así como los principales conceptos inmersos en la evaluación de riego parcelario (conceptos de eficiencia y uniformidad). Los siguientes acápites se concentran en la explicación detallada de los pasos metodológicos a seguir así como el desarrollo de un ejemplo concreto de evaluación del riego por aspersión en varios casos a nivel de parcela: equipos de riego por aspersión de cobertura total, equipos de riego por aspersión con aña móvil, equipos móviles de riego por aspersión y la evaluación de las características de distribución del agua de un aspersor aislado al aire libre, insumo muy importante para evaluar y recomendar marcos de riego.

Esperamos que este texto sea de utilidad práctica para aquellos técnicos que decidan apoyar los nuevos procesos de innovación tecnológica de riego por aspersión, que se están dando sobre todo en zonas de montaña, y donde se requiere mucho apoyo en el ajuste del funcionamiento de esta nueva tecnología.

### Serie Técnica



Oscar Delgadillo • Jesús Jiménez • Carlos Rojas



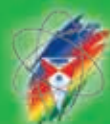
Universidad Mayor  
de San Simón



Facultad de Ciencias  
Agrícolas, Pecuarias,  
Forestales y Veterinarias



Centro Andino para la  
Gestión y Uso del Agua



Dirección de Investigación  
Científica y Tecnológica



Agencia Pucara de  
Desarrollo Internacional





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

Serie Técnica

**EVALUACIÓN DEL RIEGO POR ASPERSIÓN EN PARCELA**  
*APUNTES METODOLÓGICOS A PARTIR DE LA PRÁCTICA*

Oscar Delgadillo

Jesús Jiménez

Carlos Rojas



Universidad Mayor de  
San Simón



Facultad de Ciencias  
Agrícolas, Pecuarias,  
Forestales y Veterinarias



Dirección de Investigación  
Científica y Tecnológica



Asdi  
Agencia Sueca de  
Desarrollo Internacional

© 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  
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.

#### Agradecimientos:

Al Ing. Daniel Vega e Ing. Hugo Díaz por la revisión del documento, así como por sus valiosos aportes y comentarios.

Diseño y Edición:  
Oscar Delgadillo

Impresión:  
Imprenta Barcelona

Cochabamba, Bolivia

**Julio, 2011**

## Presentación

*A nivel mundial, la escasez de agua provocada por diversas causas es creciente. En nuestro país, es ocasionada principalmente por la mala distribución del agua tanto espacial como temporal, así como por procesos de contaminación paulatina de las fuentes de agua y cambios en el uso de la tierra (rural a urbano). En lo que a riego se refiere, al ser el sector que mayor demanda de agua tiene, los efectos de la escasez de agua han sido sentidos con mayor fuerza, obligando a buscar nuevas alternativas para optimizar su uso.*

*Una de las formas de optimización que ha cobrado mayor fuerza es el cambio de riego por superficie a riego por aspersión, con mayor énfasis en zonas de montaña. Sin embargo, al ser iniciativas aisladas, su implementación ha presentado muchas deficiencias. Entre éstas, las bajas eficiencias y uniformidades de riego observadas en la práctica.*

*Para contribuir estos procesos de innovación tecnológica en riego, en el marco del Proyecto UMSS-ASDI-FC12, el riego por aspersión ha sido uno de los ejes temáticos centrales en torno al cual se ha trabajado en términos de capacitación e investigación.*

*El presente documento metodológico aborda la evaluación del riego por aspersión a nivel parcelario, es decir en los propios predios campesinos, por lo cual constituye una contribución valiosa para la gente que trabaja en el campo del riego parcelario y requiere constantemente de herramientas prácticas para apoyar más efectivamente a procesos de innovación tecnológica.*

*Es por ello una gran satisfacción para el Centro AGUA, la Facultad de Agronomía y la UMSS, publicar este tipo de aportes metodológicos a partir de la práctica, considerando que sobre todo en zonas de montaña, están llevándose a cabo diversas experiencias e iniciativas de innovación tecnológica de riego por aspersión, y por tanto requieren mayor apoyo, tanto conceptual como metodológico, que faciliten el desarrollo de nuevas capacidades y conocimientos en los técnicos para apoyar más efectivamente tales procesos.*

Alfredo Durán  
**Coordinador Proyecto UMSS-ASDI-FC12**

## CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ACLARACIONES CONCEPTUALES NECESARIAS .....	2
2.1. CONCEPTOS UTILIZADOS EN ESTE TEXTO .....	3
2.1.1. EFICIENCIA DE APLICACIÓN REAL DEL CUARTO INFERIOR (EA) .....	4
2.1.2. EFICIENCIA DE APLICACIÓN POTENCIAL DEL CUARTO INFERIOR (EPA) .....	5
2.1.3. EFICIENCIA DE ALMACENAMIENTO (ES).....	5
2.1.4. UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN (UD).....	6
2.1.5. COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN (CU) .....	7
2.2. ALGUNAS CRÍTICAS A CONSIDERAR EN LA INTERPRETACIÓN .....	9
3. CONSIDERACIONES INICIALES PARA EVALUAR EL RIEGO POR ASPERSIÓN EN LA PARCELA .....	11
3.1. TAREAS PRELIMINARES COMUNES.....	12
3.2. EQUIPOS Y MATERIALES REQUERIDOS PARA EVALUAR.....	14
4. EQUIPOS DE COBERTURA TOTAL .....	15
4.1. PROCEDIMIENTO. ....	16
4.1.1. FASE PRELIMINAR .....	16
4.1.2. FASE DE EVALUACIÓN .....	17
4.2. EJEMPLO DE UNA EVALUACIÓN .....	21
4.2.1. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN .....	23
5. EQUIPOS CON ALA MÓVIL .....	28
5.1. EJEMPLO DE UNA EVALUACIÓN .....	28
5.1.1. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN .....	30

6. EQUIPOS MÓVILES DE RIEGO POR ASPERSIÓN .....	36
6.1. PROCEDIMIENTO.....	36
6.2. EJEMPLO DE UNA EVALUACIÓN .....	40
6.2.1. RESULTADO DE LA EVALUACIÓN .....	44
7. EMISOR AL AIRE LIBRE .....	49
7.1. PROCEDIMIENTO.....	50
7.1.1. FASE PRELIMINAR .....	50
7.1.2. FASE DE EVALUACIÓN .....	52
7.1.3. FASE COMPLEMENTARIA .....	52
7.2. EJEMPLO DE UNA EVALUACIÓN .....	53
7.2.1. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN .....	55
BIBLIOGRAFÍA.....	59
ANEXOS .....	61

## 1. INTRODUCCIÓN

Los conceptos de eficiencia de riego y la utilidad que tengan en permitir mostrar ciertas situaciones del riego en nuestro medio han sido poco analizados y discutidos. El nivel de la parcela es donde la evaluación requiere mayor atención, pues es el nivel donde se puede vislumbrar la mayor actividad de manejo del agua.

El riego parcelario se refiere a todas las actividades realizadas y recursos utilizados en función a las condiciones existentes (disponibilidad de agua, suelo, topografía, experiencia, equipamiento, etc.) con el objetivo de posibilitar la preparación del terreno, así como dotar de agua a los cultivos implantados, tratando de garantizar la cosecha.

Por ello, en la aplicación de los conceptos de eficiencias de riego a nivel parcelario, es donde ha habido mayores inconvenientes, por tanto mayor desarrollo conceptual y metodológico. Las dificultades giran no sólo en torno del concepto mismo, sino sobre la interpretación de los resultados y también sobre su determinación en campo. Además, se incluye otro elemento nuevo muy importante para evaluar el riego en la parcela, la uniformidad de riego, que permite visualizar la eficiencia del riego en el espacio (la parcela).

Por la importancia de la evaluación del riego a nivel de la parcela, se han realizado varias investigaciones locales (Ruiz, 1994; Gutiérrez, 1990 y 1992; Romero, 1997; Jiménez, 2003; Llanos, 2007, Peñarrieta, 2009; Santa Cruz, 2009; Hidalgo, s.f.), en base a los cuales se han diseñado algunas guías iniciales para evaluar métodos de riego por superficie, por aspersión en ladera, así como riego por goteo.

En el marco del Proyecto UMSS-ASDI-FC12, al considerarse el riego por aspersión como uno de los ejes temáticos centrales en torno al cual se ha trabajado en términos de capacitación e investigación, se ha considerado la necesidad de aportar con este texto metodológico, que contribuirá a nivel de técnicos en la evaluación de eventos de riego por aspersión, con la perspectiva de ir ajustando y

corrigiendo el riego a este nivel, en base a datos de campo e indicadores concretos que guíen este accionar, dada la importancia que está cobrando en zonas de montaña, donde están dándose lugar iniciativas de innovación tecnológica de riego por aspersión, por tanto requieren mayor apoyo y está exigiendo nuevas capacidades y conocimientos en los técnicos para apoyar más efectivamente estos procesos.

En ese entendido, este texto considera varios acápites principales. El primer acápite aclara los conceptos y definiciones más importantes sobre el riego parcelario, la evaluación, así también los principales conceptos inmersos en la evaluación de riego parcelario (conceptos de eficiencia y uniformidad). Los siguientes acápites se concentran en la explicación detallada de los pasos metodológicos a seguir, así como el desarrollo de un ejemplo concreto de evaluación del riego por aspersión de varios casos a nivel de parcela: equipos de riego por aspersión de cobertura total, equipos de riego por aspersión con ala móvil, equipos móviles de riego por aspersión y la evaluación de las características de distribución del agua de un aspersor aislado al aire libre, insumo muy importante para evaluar y recomendar marcos de riego (ajustes).

Esperamos que este texto sea de utilidad práctica para aquellos técnicos que decidan apoyar los nuevos procesos de innovación tecnológica de riego por aspersión, que se están dando sobre todo en zonas de montaña, y donde se requiere mucho apoyo en el ajuste del funcionamiento de esta nueva tecnología.

## **2. ACLARACIONES CONCEPTUALES NECESARIAS**

Según la Real Academia Española (2001), la evaluación es la acción de estimar, apreciar, calcular o señalar el valor de algo. De ahí que evaluar el riego parcelario se refiere principalmente a la valoración del desempeño del riego, enfatizándose en la eficiencia y uniformidad de riego. Obviamente, no es limitativo considerar solamente esto dos elementos, pudiendo evaluarse otros aspectos, en función al requerimiento. Por ejemplo, aspectos económicos como el empleo de mano de obra, o aspectos tecnológicos como ser las herramientas o equipos utilizados en los eventos de riego, entre otros.

Ahora bien, ¿Por qué es importante evaluar el riego en la parcela en términos de eficiencia y uniformidad? Existen varias razones que responden a esta interrogante (Merriam, 1983):

- Inicialmente, para saber, la eficiencia y la uniformidad del método de riego actual.
- Para identificar los cambios factibles y efectivos de mejoras a las prácticas actuales de riego parcelario.
- Para obtener información que puede ayudar a los ingenieros en el diseño de otros métodos.
- Y, para obtener información que permita comparar varios métodos como base para tomar decisiones económicas.

En este texto guía, vamos a centrarnos en la evaluación del riego parcelario en términos de eficiencia y uniformidad, específicamente, por las razones antes mencionadas.

### **2.1. CONCEPTOS UTILIZADOS EN ESTE TEXTO**

El riego en la parcela y su manejo requieren ser medidos para determinar la eficiencia potencial de cómo ha sido diseñada y la eficiencia real que es obtenida con el manejo actual. Realizar e interpretar las mediciones requiere una terminología precisa. Para que todas las comparaciones tengan una base común, los parámetros de desempeño (eficiencia de aplicación potencial, la eficiencia de aplicación real, la eficiencia de almacenamiento y la uniformidad de distribución) están basados en la lámina promedio de agua infiltrada o almacenada en la cuarta parte del área que recibe la menor cantidad de agua. El concepto del cuarto inferior (CI) fue desarrollado por el USDA, Servicio de Conservación del Suelo, y es recomendado como el estándar para comparar condiciones alternativas. Para algunos estudios de uniformidad, sobre todo en riego por aspersión y goteo, el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen puede ser usado (Merriam, 1983).

### 2.1.1. EFICIENCIA DE APLICACIÓN REAL DEL CUARTO INFERIOR (EA)

De acuerdo a Merriam (1983) es la proporción entre la lámina promedio de agua de riego en el cuarto inferior (CI) infiltrada y almacenada en la zona radicular y la lámina promedio del agua de riego aplicada (para sistemas de riego por aspersión, calculado de la descarga de las boquillas), expresada como un porcentaje. La lámina infiltrada promedio del CI es el promedio de los valores más bajos medidos en el cuarto inferior, donde cada valor representa una unidad de área igual y no puede exceder la Deficiencia de Humedad del Suelo (DHS). **La Deficiencia de Humedad del Suelo (DHS)** es la lámina de agua requerida para llevar una lámina específica de agua medida en el suelo a capacidad de campo en un tiempo particular. Los valores de la EA indican tanto la uniformidad de distribución de agua como la suficiencia del riego. Cuando el valor del CI es menor que la DHS o la Deficiencia Permitida de Manejo (DPM), sucede el sub-riego.

**La Deficiencia Permitida de Manejo (DPM)** es el porcentaje de la humedad del suelo disponible extraída de la zona radicular y que corresponde a un manejo permitido de estrés del cultivo y es también el resultado de calcular la DHS en el momento de aplicar un riego. En otras palabras, es la lámina de agua que puede ser extraída de la zona radicular entre riegos consecutivos, produciendo el mejor balance económico. Representa el valor deseado de la DHS en el momento del riego (Merriam, 1983).

El valor numérico de la lámina promedio del CI, indica la suficiencia del riego.

$$EA = \frac{\text{Lámina promedio de agua infiltrada y almacenada en el CI}}{\text{Lámina promedio de agua aplicada}} * 100$$

Donde el valor del CI es  $\leq$  a DHS

La determinación de la EA requiere que la DHS sea conocida ya que ésta es la lámina máxima que puede ser almacenada. La lámina aplicada real, descartando las pérdidas antes de la boquilla, es calculada usando la tasa de aplicación para la duración de una posición de riego ( $T_a$ ).

Cuando la media del 25 % de las observaciones de menor valor del agua de riego infiltrado sobrepasa el valor de la DHS, entonces el numerador anterior se toma igual a la DHS.

### 2.1.2. EFICIENCIA DE APLICACIÓN POTENCIAL DEL CUARTO INFERIOR (EPA)

Es la eficiencia que es obtenible, expresado como un porcentaje, cuando la lámina promedio de agua infiltrada y almacenada en el cuarto inferior del agua es igual a la DPM

$$EPA = \frac{\text{Lámina promedio de agua infiltrada en el cuarto inferior} = \text{DPM}}{\text{Lámina promedio de agua aplicada}} * 100$$

La EPA es una medida de cuán bien el sistema puede aplicar agua si el manejo es óptimo. La diferencia entre EPA y EA es una medida de las operaciones de manejo. Valores bajos de EPA indica problemas de diseño. De acuerdo a Merriam (1983) este es el término de eficiencia que únicamente debería ser usado para comparar sistemas o métodos.

### 2.1.3. EFICIENCIA DE ALMACENAMIENTO (ES)

Conocida también como eficiencia de requerimiento o Relación de almacenamiento. Fue desarrollado inicialmente por Hansen (1960). Este parámetro

es complementario al concepto de eficiencia de aplicación, para cubrir en parte la incapacidad del concepto de Israelsen (1932) de mostrar situaciones de sub-riego. Esencialmente, ayuda a medir en qué medida se está reponiendo la capacidad de almacenamiento de agua del suelo.

Chambouleyron (1993), retoma el concepto inicial de ES en concordancia con los nuevos conceptos desarrollados por la ASCE (1978) y adoptados por Merriam (1983). Así define la eficiencia de almacenamiento como la relación entre la Deficiencia de Humedad en el Suelo (DHS) y la lámina promedio almacenada en el cuarto inferior.

$$ES = \frac{\text{Lámina promedio en el cuarto inferior}}{\text{DHS}} * 100$$

Donde:

ES = Eficiencia de almacenamiento en %

DHS = Deficiencia de Humedad del Suelo

La eficiencia de almacenamiento, mide el grado en el que es repuesta la humedad en la zona radicular hasta alcanzar la capacidad de campo.

#### 2.1.4. UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN (UD)

Un término útil para poner un valor numérico de la uniformidad de aplicación para sistemas de riego agrícolas es la Uniformidad de Distribución, UD (Merriam y Keller, 1978). Es la proporción entre la lámina promedio de agua de riego infiltrada (o recogida) en el cuarto inferior y la lámina promedio de agua de riego infiltrada (o recogida), expresado como un porcentaje:

$$UD = \frac{\text{Lámina de agua promedio infiltrada (ó recibida) en el cuarto inferior}}{\text{Lámina de agua promedio infiltrada (ó recibida)}} * 100$$

La UD indica la uniformidad de aplicación a lo largo del campo e indica la magnitud de los problemas en el proceso de aplicación de agua.

Este es el parámetro que refleja en gran parte “el manejo” del agua durante la aplicación de agua a la parcela, además de que quedan explícitas las labores que tienden a hacer un “riego más eficiente”, pues permite identificar espacialmente las zonas con más o menos lámina de agua aplicada, que podría deberse a presiones inadecuadas, o espaciamientos entre aspersores o laterales inadecuados, entre otras causas.

Si tenemos una uniformidad de distribución: UD = 60%, esto implica que por cada mm de agua que recibe el cultivo o el suelo, el 75% del área regada recibirá el 60% de la altura media aplicada o más, y el 25% del área regada recibiría menos del 60% de la altura media aplicada.

#### 2.1.5. COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN (CU)

Otro parámetro que es ampliamente usado para evaluar la uniformidad de riego por aspersión es el coeficiente de uniformidad desarrollado por Christiansen (1942):

$$CU = 100 * \left(1.0 - \frac{\sum X}{nm}\right) \quad \text{ó} \quad CU = 100 * \left(1.0 - \frac{\sum |z - m|}{\sum z}\right)$$

Donde:

CU	Coeficiente de Uniformidad desarrollado por Christiansen, %
z	Lámina individual recogidas en las observaciones de la prueba de uniformidad, mm
X =   z - m   a la	Desviación absoluta de las observaciones individuales con relación a la media, mm
m = ( $\sum z$ )/n	Lámina media de las observaciones, mm
n	Número de observaciones

Por ejemplo si tuviéramos un coeficiente de uniformidad: CU = 76%, implica que el 76% de la superficie regada recibió una aplicación de agua uniforme y una desuniformidad en la aplicación del agua de un 24%, con relación a la media aplicada.

Según Keller y Bliesner (2000) los datos de prueba para un CU > 70% usualmente forma una distribución normal en forma de campana y es razonablemente simétrico en torno a la media. Por tanto, el CU puede ser aproximado por:

$$CU = \frac{\text{Lámina de agua promedio recibida en el cuarto inferior}}{m} * 100$$

Y la relación entre UD y CU puede ser aproximado por

$$CU = 100 - 0.63 * (100 - UD) \text{ ó } UD = 100 - 1.59 * (100 - CU)$$

Y la relación entre CU y la desviación estándar, ds, de la lámina individual de las observaciones cogidas pueden ser aproximadas por:

$$CU = 100 * (1.0 - \frac{ds}{m} (2/\pi)^{0.5})$$

El cual puede ser reestructurado para dar:

$$sd = \frac{m}{(2/\pi)^{0.5}} (1.0 - \frac{CU}{100})$$

## 2.2. ALGUNAS CRÍTICAS A CONSIDERAR EN LA INTERPRETACIÓN

En general, los indicadores que quieren mostrar una situación de uniformidad del riego en la parcela, tienen algunas debilidades, pues es difícil mostrar con un valor claramente una situación de uniformidad o des-uniformidad. Una crítica realizada al concepto de Uniformidad de Distribución por Zoldoske y Solomon (1988) es que esta forma de ver la uniformidad de riego no toma en cuenta la ubicación de los valores de láminas de agua determinados ni cualquier otro beneficio que pudiera derivarse de los valores de agua inmediatamente adyacentes a los valores más bajos. Claro está que en contrapartida, al considerar los valores más bajos, considera las zonas con sub-riego.

Asimismo, los mismos autores, al referirse al Coeficiente de Uniformidad de Christiansen sostienen que hay tres aspectos importantes de esta fórmula que deberían ser reconocidos y considerados cuando se interpretan los valores de CU:

- 1) Debido al valor absoluto usado para determinar "X", el CU trata el sobre y el sub-riego (relativo al valor medio, M) igualmente. Por ejemplo si la media fuera 10, la diferencia entre 8 y 12 con relación a la media, por el carácter absoluto es la misma, 2.
- 2) El cómputo de "X" asigna valores en lo que es matemáticamente llamado una "moda lineal". Esto significa que el valor asignado a cada pluviómetro es en directa proporción a la cantidad por el cual desvía desde la media. De nuevo, para una aplicación media de 10, pluviómetros individuales de 8 y 14 son "penalizados" en 2 y 4 unidades, respectivamente. Nótese que el 14 es penalizado dos veces más que 8, ya que su desviación desde la media es dos veces más grande.
- 3) El CU es una medida promedio. Por comparación la desviación absoluta promedio "X" a la aplicación media (m), CU indica en promedio cuan uniforme el patrón del aspersor es. No puede dar una indicación de cuan mal un área particular localizada podría estar, o cuán grande el área crítica podría ser. No hay duda que el CU ha sido una herramienta valiosa en el diseño y evaluación de sistemas de riego por aspersión, pero los tres aspectos de CU anotados arriba han causado algo para disminuir la significancia del CU.

A pesar de las críticas, del desarrollo de las computadoras, análisis estadísticos elegantes, y de otras numerosas fórmulas para medir la uniformidad, el CU es aún la medida más usada para la uniformidad de riego (Zoldoske y Solomon, 1988).

Es claro que cualquier fórmula tendrá sus debilidades, ya que la espacialidad es una dimensión que también hay que verlo en su misma dimensión. Esto quiere decir que, la interpretación de los valores encontrados, sea por la UD o el CU, debe estar acompañado por otras medidas específicas en cada situación, esto es representar espacialmente, con la ayuda de un programa computacional, los valores determinados en la red de pluviómetros (láminas de agua). De esta manera, se podrá mejorar la interpretación completa de una situación concreta de riego evaluado.

### 3. CONSIDERACIONES INICIALES PARA LA EVALUACION

En este texto, la evaluación de riego por aspersión a nivel parcelario (campo), utilizando los conceptos de eficiencia y uniformidad de riego explicados en el anterior acápite, se abocará a (1) equipos de riego por aspersión de cobertura total, (2) equipos de riego por aspersión con ala móvil, (3) equipos móviles de riego por aspersión y (4) aspersor individual al aire libre, en el entendido de que son éstos los equipos que más se utilizan en nuestro medio, sobre todo en las zonas montañosas, por tanto las situaciones que más interesan.

Los equipos de pivote central, o están más concentradas en algunas zonas del oriente boliviano y no serán abordados en este texto. En el Cuadro 1 se presentan algunas diferencias, similitudes y condiciones de evaluación de los distintos equipos de riego por aspersión que permitirán al lector orientarse mejor, en la elección de la mejor opción para evaluar de acuerdo a su situación particular.

CUADRO 1. DIFERENCIAS, SIMILITUDES, OBJETIVOS Y CONDICIONES DE EVALUACIÓN

Características	Tipo de equipo de riego por aspersión evaluado			
	Cobertura total	Ala móvil	Equipo móvil de riego por aspersión	Aspersor individual
Movilidad	Fijo durante la temporada de riego	Móvil	Móvil	Móvil
Cobertura de riego	Total	Parcial	Parcial	Parcial
Area evaluada de la parcela	Parcial	Parcial	Total	Parcial
Objetivo de la evaluación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar la eficiencia de aplicación de la práctica de riego</li> <li>• Determinar la uniformidad de la práctica de riego</li> <li>• Determinar los caudales y presiones de operaciones</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar la curva de variación de presión y caudal de funcionamiento de un aspersor individual en condiciones de campo</li> <li>• Insumo para simular situaciones de traslape de aspersor bajo distintos marcos</li> </ul>

Inicialmente, al tener aspectos comunes en las actividades preliminares a realizar, así como en los materiales y equipos utilizados en las diferentes evaluaciones, los siguientes acápite abordarán estos aspectos.

### 3.1. TAREAS PRELIMINARES COMUNES

Existen varias tareas preliminares comunes a considerar antes de las evaluaciones en parcela. Mucho depende de éstas el éxito de la evaluación en la parcela:

**1. Ubicación de las parcelas a evaluar.** Debido a que los agricultores generalmente son muy susceptibles a que se realicen algunas actividades de distinta índole en sus predios (investigación, proyectos de riego, capacitación, etc.), entonces es de suma importancia tomar en cuenta varios criterios para poder, en este caso, plantear la realización de una evaluación de riego por aspersión en sus parcelas:

- *Accesibilidad a la parcela*, este criterio está referido a que el evaluador o evaluadores tengan facilidad para acceder a la parcela en términos de transporte, pues se requerirá llevar consigo tanto equipos como materiales necesarios para realizar la tarea.
- *El tamaño*, que es un criterio más de tipo técnico, es decir, buscar parcelas que representen y permitan realizar la evaluación.
- *Pendiente*, dependiendo de la necesidad, también la pendiente es un criterio importante, sobre todo cuando se trata de evaluar el riego por aspersión en condiciones de ladera, muy común en nuestras zonas montañosas.
- *Fase de desarrollo del cultivo*. Este es un criterio central, pues evaluar riego por aspersión mediante el empleo de pluviómetros puede ser limitado seriamente por la fase de desarrollo en la que se encuentra el cultivo considerado. Lo importante es que el follaje del cultivo en cuestión no interfiera la entrada libre de las gotas de agua a los pluviómetros.
- *El equipo de riego por aspersión*. Este definirá la modalidad de evaluación (cobertura total, ala móvil, etc.), de acuerdo a como está planteado en el caso en particular. Asimismo, dependiendo de otros elementos, se podría incluso evaluar solamente el emisor (aspersor individual al aire libre) en condiciones de trabajo reales.

- *Aceptación del agricultor para realizar la evaluación*. Este criterio permite al final de cuentas la realización no de la evaluación e influirá mucho más en evaluaciones realizadas bajo manejo local, del agricultor.

**2. Programación de la fecha de riego ó evaluación de acuerdo a su gestión (turno de riego).** Por el funcionamiento de los sistemas de riego bajo gestión campesina, en los cuales el agua es recibida por los agricultores bajo distintas modalidades de reparto de agua, realizar evaluaciones de riego en la parcela estarán sujetos a este funcionamiento, por tanto se deberá programar la misma en función a ello. Además, no olvidarse de programar con suficiente anticipación que permita realizar las actividades previas (armado de la red de pluviómetros y medición de la humedad antes del riego, principalmente).

**3. Armado de la red de pluviómetros.** Una vez definido el día de la evaluación, un día antes de la evaluación, se debe cuadricular el sector de evaluación, sea ala móvil o cobertura total, o toda la parcela si es el caso de equipos móviles de riego por aspersión. Con ayuda de estacas cada 1, 2 ó 3 metros, dependiendo del área a evaluar, o el tamaño de la parcela total. Luego se realiza el cuadrículado con hilo plástico amarrado a las estacas. Por último, se colocan los pluviómetros en la intersección de los hilos, teniendo en cuenta de no colocar pluviómetros en el borde. El cuadrículado resulta de mucha ayuda posteriormente, pues permite determinar los perímetros de mojado real de los aspersores, la ubicación de los aspersores, así como de las posiciones, facilitando la realización del croquis de la parcela con bastante precisión.

**4. Medición de la humedad del suelo antes del riego.** Esta humedad puede determinarse por cualquier método (directo o indirecto). Cuidar de que esta humedad sea representativa de todo el área a evaluar o de toda la parcela. Es recomendable tomar varios puntos dentro el área considerada y posteriormente promediar. Asimismo, de acuerdo a la profundidad definida, determinar las profundidades de muestreo, para tener no sólo representatividad horizontal sino también vertical.

### 3.2. EQUIPOS Y MATERIALES REQUERIDOS PARA EVALUAR

Son varios los equipos y materiales requeridos para evaluar el riego por aspersión en la parcela, que son comunes para las distintas modalidades o situaciones de evaluaciones planteadas en este texto. A continuación se enlistan y explican sucintamente su pertinencia:

- Manómetro de aguja en baño de glicerina, graduado de 0 a 6 bares, con acoplamiento para boquilla de aspersor.
- Cronómetro, con una precisión de 1/100 segundos, para medir el caudal de los aspersores por el método volumétrico y para medir el tiempo del riego o eventos de riego durante la evaluación.
- Recipientes (baldes), de volúmenes conocidos (10 ó 20 litros de capacidad), para medir el caudal de los aspersores por el método volumétrico.
- Dos mangueras flexibles de 20 mm de diámetro y 1 a 2 m de longitud cada uno, para poder encauzar el caudal de los aspersores a los recipientes y medir el caudal.
- Pluviómetros, de forma y tamaño uniforme, sin ninguna deformación, (envases). Entre 50 a 100 pluviómetros en función al área evaluada y a la distancia definida entre pluviómetros. Cilíndricos de forma y tamaño uniforme, al menos en el tercio superior de su altura, con los bordes de su abertura agudos y sin ninguna deformación, de modo que el agua recogida no pueda salpicar. Su colocación en campo debe ser completamente vertical, enterrándolo ligeramente si es necesario para que no se volteen. Se recomienda que la altura sea, al menos el doble de la altura media de agua recogida, con un diámetro en la abertura de 8 a 20 cm, teniendo en cuenta que la precisión de la medida aumenta con el diámetro, a la vez que puede reducirse la duración del ensayo. Fischer y Wallender (1988) indican que se obtiene igual precisión en un ensayo que dure 45 min utilizando pluviómetros de diámetro 12,7 cm que en otro que dure 15 min si se utilizan pluviómetros de 23,5 cm de diámetro de capacidad.
- Probetas graduadas, en unidades de 1 cm<sup>3</sup>, de 500 y 1000 cm<sup>3</sup>, para medir el volumen captado en los pluviómetros.

- Cinta métrica, de 25 ó 50 m, para permitir el cuadrículado o medir el área total de la parcela.
- Flexómetro, de 3 m.
- Calibre de precisión, para medir el diámetro de las boquillas del aspersor.
- Veleta y anemómetro, con un trípode para localizarlos a 2 m sobre el nivel del suelo.
- Equipo para medir la humedad del suelo (métodos directos como el gravimétrico o métodos indirectos como el empleo de la Sonda de Neutrones, Bloques de yeso, etc.), que ayuda a determinar el nivel de humedad del suelo antes del riego.
- Eclímetro, para medir la inclinación del porta-aspersor, sobre todo en terrenos en pendiente.
- Manómetros de aguja de 0 a 6 bares, con acoplamiento para medir la presión, previo ingreso del agua al aspersor (otra opción).
- Barrenos, para muestrear suelo o para determinar la profundidad radicular.
- Estacas de madera para cuadricular el área de evaluación o toda la parcela.
- Hilo plástico, para cuadricular el área de evaluación o toda la parcela.
- Combo.
- Planillas de campo.

### 4. EQUIPOS DE COBERTURA TOTAL

Los equipos de cobertura total, a diferencia de otros equipos de riego por aspersión (semifijos ó móviles y los equipos portátiles), se caracteriza porque todos sus elementos (sistema de bombeo, tuberías y aspersores) son fijos durante toda la temporada de riego. Para su evaluación entonces se debe definir un área representativa del mismo.

## 4.1. PROCEDIMIENTO.

### 4.1.1. FASE PRELIMINAR.

Son propios de este tipo de ensayos, consistiendo fundamentalmente en:

- Obtener datos de las características técnicas y comerciales del aspersor utilizado como ser: marca, modelo, años de utilización, diámetro de las boquillas, rango de presión de operación (Foto 1).



FOTO 1. MEDICIÓN DEL DIÁMETRO DE LA BOQUILLA DEL ASPERSOR

- Determinar el marco de riego, es decir el espaciamiento entre aspersores y laterales.
- Disponer la red de pluviómetros con espaciamientos no mayores a 3x3 m de acuerdo con el marco de riego (Foto 2), tratando de que éste sea múltiplo de estos espaciamientos, por ejemplo si el espaciamiento es 18 m, entonces podría ser 2x2 m, 3x3 m, esto con la finalidad de que posteriormente sea más fácil realizar la simulación de traslapes con ayuda de programas computacionales como el CATCH 3D. Los pluviómetros deben colocarse en forma vertical y ligeramente enterrados para que no se volteen durante la prueba.



FOTO 2. ARMADO DE LA RED DE PLUVIÓMETROS

- Medir la altura del porta aspersor y comprobar su verticalidad con ayuda de un eclímetro.

En referencia a los datos proporcionados por los pluviómetros, es preciso indicar que éstos no proporcionan una reproducción exacta de la realidad, debido fundamentalmente a que:

- \* El área de los pluviómetros es pequeño en comparación con la superficie de suelo que representan.
- \* Existen pérdidas por evaporación en los pluviómetros.
- \* El viento puede arrastrar gotas de agua fuera de la zona muestreada por los pluviómetros y puede alterar incluso la recogida de agua en los pluviómetros.

### 4.1.2. FASE DE EVALUACIÓN

- Antes del funcionamiento de los aspersores, debe dirigirse el chorro fuera de la zona ocupada por los pluviómetros, hasta que se normalice el caudal de salida y la presión de operación.

- Soltar los aspersores y anotar la hora de inicio. Ésta corresponderá al comienzo del ensayo. Previo a esta operación deben vaciarse todos los pluviómetros si es que alguno ha recibido agua del aspersor sin giro.
- Medir la presión, al menos en los aspersores del origen y del extremo de las líneas implicadas en el ensayo (Foto 3).



FOTO 3. MEDICIÓN DE LA PRESIÓN DE FUNCIONAMIENTO DEL ASPERSOR.

- Medir la velocidad y dirección del viento cada 10 ó 15 min. Este dato luego es muy útil para relacionar las distorsiones en el patrón de mojado debido a este factor, así como para posteriormente corregir esta situación modificando los espaciamientos, sea entre aspersores o entre laterales.
- Colocar un pluviómetro fuera de la zona de ensayo con la cantidad de agua que aproximadamente recogerá la red de pluviómetros para estimar el volumen de agua perdido por evaporación. Esto, no obstante, aporta una información marginal de poca importancia, dada la gran diferencia de condiciones ambientales entre pluviómetros dentro y fuera del área regada.

- Una vez culminado el evento de evaluación, medir el volumen recogido por los pluviómetros, con la ayuda de una probeta graduada (Foto 4).

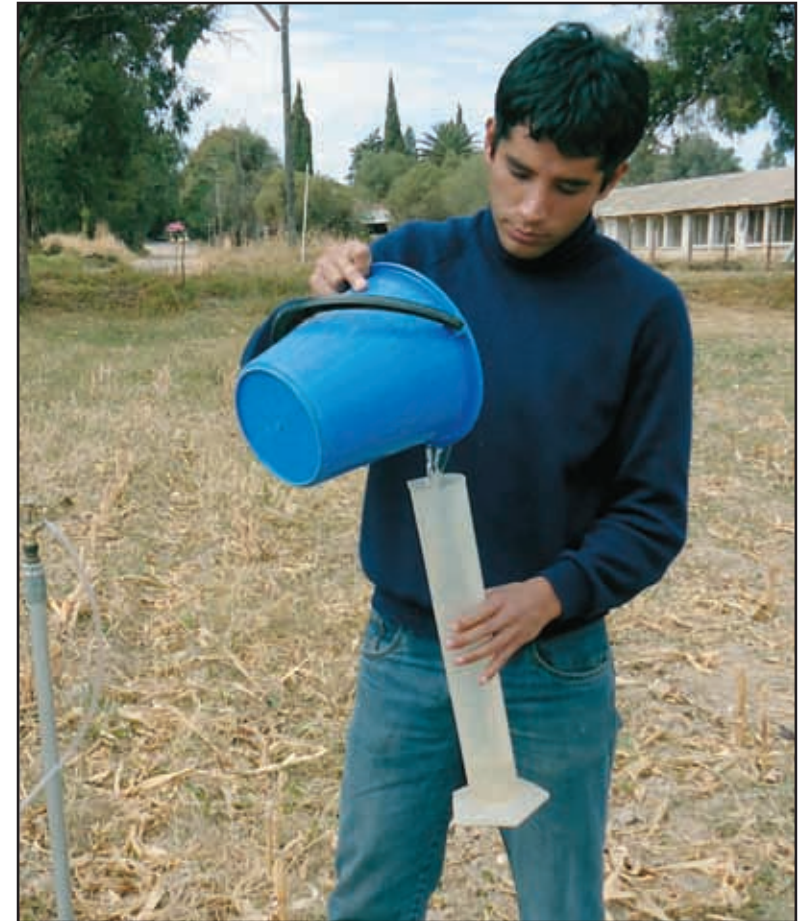


FOTO 4. MEDICIÓN DEL VOLUMEN DE AGUA RECOGIDA POR LOS PLUVIÓMETROS

- Recolectar los pluviómetros. Si se vuelven a utilizar es mejor lavar en caso de tener sedimentos.
- Medir el caudal descargado por los aspersores que mojan la zona ocupada por los pluviómetros, utilizando una manguera flexible, un recipiente de volumen conocido y un cronómetro para medir el tiempo (metodo volumétrico, Foto 5).



FOTO 5. AFORO DEL CAUDAL DE SALIDA DEL ASPERSOR

- Calcular e interpretar los parámetros de evaluación (EA, EPA, ES, UD, CU), con las fórmulas antes descritas.

#### 4.2. EJEMPLO DE UNA EVALUACIÓN

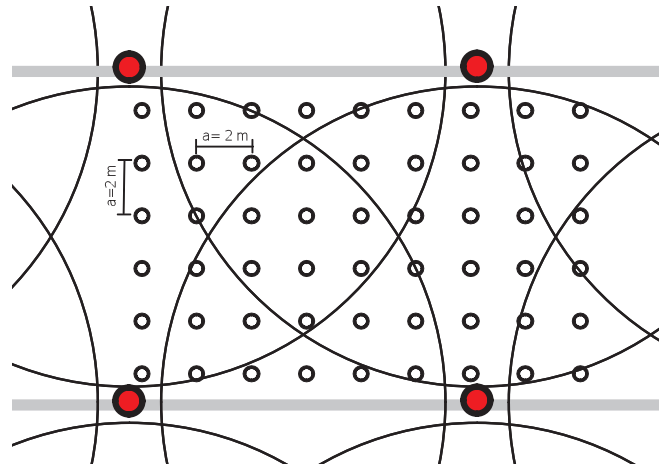
Para realizar una evaluación de cobertura total o cualquier tipo de equipo de riego por aspersión utilizado es el llenado de la planilla de campo, que considerar todos los elementos necesarios para que posteriormente pueda ser procesado. La siguiente planilla consigna los datos de un caso de evaluación en Vinto.

**Lugar:** ...Vinto..... Observador...Jesús J. P. y Juan Gómez.....Fecha ...5/05/'09....  
**Cultivo:** ...Cebolla.....Profundidad radicular...30...cm.....  
**Humedad (gravimétrica) antes del riego** ...15.2 %...(método gravimétrico)  
**SUELO:** textura ...Franco  
**CC:**...22%.....PMP:.....10%.....Da: 1,41 g/cc  
**Pendiente del terreno:**...1... % ...  
**ASPERSOR:** marca:...Rain Bird..... Modelo:...30H.....  
**Nº Boquillas:**.....2.....Ø Boquillas:...3.97 x 2.38 mm.....  
**Espaciamiento entre aspersores:**...12 m....Espaciamiento entre ramales:...15 m...  
**Descarga del aspersor:**...1360.....l/h. Presión:...3.5.....bares.  
**Ramal: diámetro:**...3"....Pendiente:...0... %  
 Presiones y descargas actuales de los aspersores.

Mediciones	1º	2º	3º	Promedio	Variación (%)
Presión de funcionamiento (bar)	3.6	3.5	3.4	3.5	6 (<20%)
Descarga (l/h)	1380	1345	1355	1360	3 (<10%)

Altura porta-aspersor ...1 m...Diámetro ...3/4".....  
**VIENTO:** Dirección relativa: inicio SE a NO durante SE a NO final SE a NO  
**Velocidad (km/h):** inicio:...8..... Durante:...10..... final: ...9.....  
**Red de pluviómetros:** Espaciamiento:...2 x 2 m.....  
**Capacidad:**...890.....ml.... Área:...77,1 cm2.... Altura:...11,54 cm...  
**Hora de inicio:** ...10:05..... Final:...13:15.....Duración:...3:10 horas.....

Croquis de ubicación de los pluviómetros



○ Pluviómetros      ● Aspersor

Lectura de volúmenes en campo (cm<sup>3</sup>)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	143	150	144	165	140	132	108	130	135
2	138	139	154	185	177	193	162	170	154
3	154	193	200	177	162	139	146	170	177
4	162	185	166	208	200	162	170	150	139
5	131	154	177	193	162	185	143	164	170
6	139	162	166	193	154	162	170	185	162

4.2.1. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN

Un primer paso es convertir las lecturas de campo en volumen a láminas de agua. En el Cuadro 2 se consignan los valores calculados en mm.

CUADRO 2. LÁMINAS DE AGUA RECOGIDAS EN LOS PLUVIÓMETROS (MM)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	18,5	19,5	18,7	21,4	18,2	17,1	14,0	16,9	17,5
2	17,9	18,0	20,0	24,0	23,0	25,0	21,0	22,0	20,0
3	20,0	25,0	25,9	23,0	21,0	18,0	18,9	22,0	23,0
4	21,0	24,0	21,5	27,0	25,9	21,0	22,0	19,5	18,0
5	17,0	20,0	23,0	25,0	21,0	24,0	18,5	21,3	22,0
6	18,0	21,0	21,5	25,0	20,0	21,0	22,0	24,0	21,0

Los valores rodeados con un óvalo rojo son los valores correspondientes al Cuarto inferior. En este caso, los catorce valores más bajos.

En el Cuadro 3 se consignan todos los valores ordenados de mayor a menor para determinar los valores del cuarto inferior y el cálculo de las diferencias de todos los valores en torno a la media, que posteriormente serán utilizados para calcular el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen, específicamente.

CUADRO 3. VALORES ORDENADOS Y DESVIACIONES EN RELACIÓN A LA MEDIA

n	Sin ordenar (x)	Ordenados (xi)	m	xi-m					
1	18,5	27,0	21,0	6,0	29	21,0	21,0	21,0	0,0
2	17,9	25,9	21,0	4,9	30	20,0	21,0	21,0	0,0
3	20,0	25,9	21,0	4,9	31	17,1	21,0	21,0	0,0
4	21,0	25,0	21,0	4,0	32	25,0	21,0	21,0	0,0
5	17,0	25,0	21,0	4,0	33	18,0	20,0	21,0	1,0
6	18,0	25,0	21,0	4,0	34	21,0	20,0	21,0	1,0
7	19,5	25,0	21,0	4,0	35	24,0	20,0	21,0	1,0
8	18,0	24,0	21,0	3,0	36	21,0	20,0	21,0	1,0
9	25,0	24,0	21,0	3,0	37	14,0	20,0	21,0	1,0
10	24,0	24,0	21,0	3,0	38	21,0	19,5	21,0	1,5
11	20,0	24,0	21,0	3,0	39	18,9	19,5	21,0	1,5
12	21,0	23,0	21,0	2,0	40	22,0	18,9	21,0	2,1
13	18,7	23,0	21,0	2,0	41	18,5	18,7	21,0	2,3
14	20,0	23,0	21,0	2,0	42	22,0	18,5	21,0	2,5
15	25,9	23,0	21,0	2,0	43	16,9	18,5	21,0	2,5
16	21,5	22,0	21,0	1,0	44	22,0	18,2	21,0	2,8
17	23,0	22,0	21,0	1,0	45	22,0	18,0	21,0	3,0
18	21,5	22,0	21,0	1,0	46	19,5	18,0	21,0	3,0
19	21,4	22,0	21,0	1,0	47	21,3	18,0	21,0	3,0
20	24,0	22,0	21,0	1,0	48	24,0	18,0	21,0	3,0
21	23,0	21,5	21,0	0,5	49	17,5	17,9	21,0	3,1
22	27,0	21,5	21,0	0,5	50	20,0	17,5	21,0	3,5
23	25,0	21,4	21,0	0,4	51	23,0	17,1	21,0	3,9
24	25,0	21,3	21,0	0,3	52	18,0	17,0	21,0	4,0
25	18,2	21,0	21,0	0,0	53	22,0	16,9	21,0	4,1
26	23,0	21,0	21,0	0,0	54	21,0	14,0	21,0	7,0
27	21,0	21,0	21,0	0,0					
28	25,9	21,0	21,0	0,0					
<b>Promedio (m)</b>					<b>21,0</b>	<b>Σ</b>		<b>116,7</b>	
<b>Promedio Cl</b>					<b>17,6</b>				
<b>n</b>					<b>54</b>				

Algunos datos son requeridos previamente para poder calcular la Deficiencia de Humedad del Suelo (DHS) y la Deficiencia Permitida de Manejo (DPM), determinados en campo y otros extractados de tablas (Recuadro 1).

CC =	22 %
PMP =	10 %
Da =	1,41 g/cm <sup>3</sup>
p =	30 cm
Humedad antes del riego =	15,2 %
Fracción de agotamiento (cebolla) =	30 %

RECUADRO 1. DATOS PREVIOS PARA CALCULAR DHS Y DPM

Ahora bien, en base al caudal promedio determinado de los aspersores medidos, se calcula la lámina promedio aplicada a la parcela (Recuadro 2). Cabe aclarar que no es la lámina promedio medida en los pluviómetros, confusión frecuente.

Caudal aspersor=	1360 l/s	V	4,216 m <sup>3</sup>
Tiempo de aplicación =	3,1 h	Lámina promedio aplicada <b>23,4</b> mm	
Espaciamento entre laterales =	12 m		
Espaciamento entre aspersores =	15 m		

RECUADRO 2. CÁLCULO DE LA LÁMINA PROMEDIO APLICADA

Para que el lector se ubique mejor, en la Figura 1 se aclara la correspondencia de los diferentes parámetros hidro-físicos del suelo más importantes.

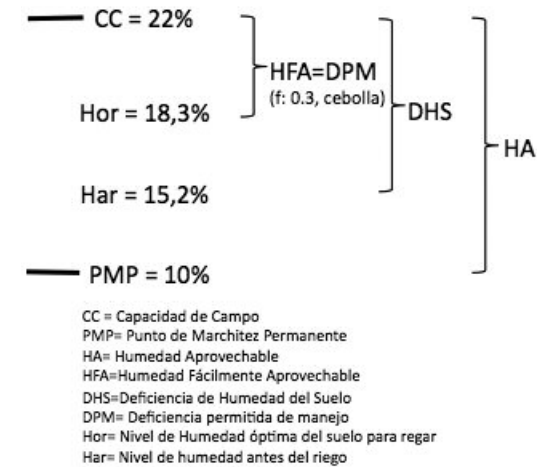


FIGURA 1. REPRESENTACIÓN DE LAS PRINCIPALES PROPIEDADES HIDRO FÍSICAS DEL SUELO

En el Cuadro 4 se presentan los diferentes cálculos realizados para determinar los valores de las diferentes eficiencias y también de la uniformidad de riego, sobre los cuales se realizan explicaciones y sugerencias específicas.

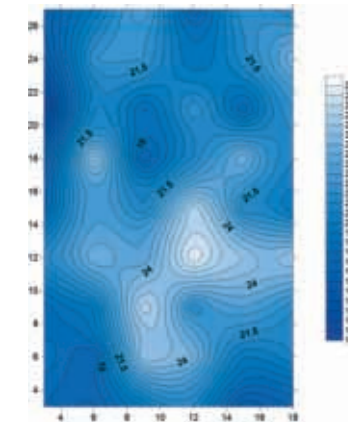
**CUADRO 4. CALCULOS Y EXPLICACIONES DEL EJEMPLO CON EQUIPO DE COBERTURA TOTAL**

Cálculos realizados	Explicaciones / Sugerencias
<p><b>Cálculo de la DHS y la DPM</b></p> $DHS = \frac{(22-15,2)}{100} * 1,41 * 30\text{cm} * 10\text{mm} = 28,8\text{ mm}$ $DPM = \frac{36}{100} * 0,3 * 1,41 * 30\text{cm} * 10\text{mm} = 15,2\text{ mm}$	<p>La DHS es muy alta en relación a la DPM (casi el doble), lo cual indica que el agricultor no controla adecuadamente las frecuencias de riego o tiene limitaciones para aplicar con anterioridad el riego al cultivo (p.e. acceso limitado al agua de riego). Aumentar la frecuencia de riego en lo posible, considerando las condiciones de acceso al agua, mejoraría esta situación.</p>
<p><b>Cálculo de la EA</b></p> $EA = \frac{\text{Lámina promedio de agua infiltrada y almacenada en el CI}}{\text{Lámina promedio de agua aplicada}} * 100$ $EA = \frac{17,6}{23,4} * 100 = 75\%$ <p>Donde el valor del CI es ≤ a DHS</p>	<p>El valor de 75% de EA, indica una eficiencia alta. Este valor indica que al menos ¾ partes del cultivo ha recibido más del 75% de agua aplicada. Aunque está claro que tomando en cuenta el valor de DHS, que sería el valor de humedad a reponer con el riego, es menor.</p>
<p><b>Cálculo de la ES</b></p> $ES = \frac{\text{Lámina promedio en el CI}}{DHS} * 100 = \frac{17,6}{28,8} * 100 = 61\%$	<p>El valor de la ES calculada reporta 61%, que indica que solamente el 61% del DHS ha sido repuesta con este riego, restando un 39% a reponer. En suma, si hablamos en términos de desperdicio del agua aplicada al suelo, la eficiencia es alta, pero en términos de reposición de la humedad requerida por el suelo para llegar a CC, es baja.</p>
<p><b>Cálculo de la EPA</b></p> $EPA = \frac{\text{Lámina promedio de agua infiltrada en el CI} = DPM}{\text{Lámina promedio de agua aplicada}} * 100$ $EPA = \frac{15,2}{23,4} * 100 = 65\%$	<p>El valor de EPA reporta 65%, que indica que la lámina aplicada al cultivo, en caso de que la humedad del suelo estuviese en el nivel de DPM, se estaría desperdiciando agua (35%). Considerando ambos indicadores de eficiencia (EA y EPA), nos muestra que el agricultor no considera criterios económicos para el riego, o tal vez no tiene el acceso seguro al agua para regar, esto significa que el agricultor riega cuando puede y con cuanto puede.</p>
<p><b>Cálculo de la UD</b></p> $UD = \frac{\text{Lámina de agua promedio infiltrada ó recibida en el CI}}{\text{Lámina de agua promedio infiltrada (ó recibida)}}$ $UD = \frac{17,6}{21,0} * 100 = 84\%$	<p>La Uniformidad de riego reporta un valor alto de uniformidad (84%). Este valor nos indica que el agricultor aplica el agua de riego muy uniformemente, aunque claro está que en términos de eficiencia de almacenamiento (reposición) no sea la más alta.</p>

<p><b>Cálculo de la CU</b></p> $CU = 100 * \left[ 1 - \frac{ \sum z - m }{\sum z} \right]$ $CU = 100 * \left[ 1 - \frac{116,7}{1135,019} \right] = 90\%$	<p>El valor del CU, igualmente reporta un valor mucho más alto, al estar directamente relacionada a la variación de los valores en relación a la media geométrica. Este indicador confirma que los equipos de riego evaluados están siendo utilizados en forma muy adecuada, es decir los espaciamientos entre laterales y entre aspersores es la adecuada, así como la presión de funcionamiento.</p>
<p><b>Cálculo de las pérdidas por evaporación, viento</b></p> <p>Pérdidas por evaporación, viento, etc. = <math>\frac{23,4-21,0}{23,4} * 100 = 10,3\%</math></p>	<p>En base a un cálculo puntual se puede estimar la pérdida debida a la evaporación y al efecto del viento en el chorro de 10,3%.</p>

Para complementar la evaluación del riego en la parcela, incluimos la parte espacial, que es uno de los principales observaciones a los indicadores de uniformidad, ya que un sólo valor podría enmascarar otras situaciones.

Utilizando un programa que permite interpolar los datos y presentarlos como curvas de nivel, lo cual hace posible visualizar la espacialidad de los datos, pudiendo observarse claramente los sitios con mayor y menor lámina de agua aplicada durante este evento de riego (Figura 2).



**FIGURA 2. VISUALIZACIÓN DE LOS DATOS DE LA EVALUACIÓN DE UN EQUIPO DE RIEGO POR ASPERSIÓN CON COBERTURA TOTAL**

De la figura se desprende por ejemplo que la mayoría de los puntos con menor lámina se ubican en las periferias. Al ser este evento de riego con alta uniformidad, también muestra espacialmente esta situación.

## 5. EQUIPOS CON ALA MÓVIL

Para evaluar el riego por aspersión de equipos con ala móvil (disposición de ramales discontinuados dentro la parcela o un solo ramal), se sigue el mismo procedimiento que el anterior, con la única diferencia de que la disposición de los pluviómetros se coloca a ambos lados del lateral (ramal) de acuerdo al marco de riego que tendrá y luego se realiza la simulación de traslape, sumando los volúmenes recogidas por los pluviómetros, es decir se debe sumar los volúmenes de agua de los pluviómetros extremos y los primeros del otro lado.

El acápite 4.1, se aplica también a la evaluación de este tipo de equipos de riego por aspersión.

### 5.1. EJEMPLO DE UNA EVALUACIÓN

El siguiente ejemplo es de una evaluación realizada en predios de la Tamborada (Facultad de Agronomía). La prueba fue realizada con un equipo de riego por aspersión presurizado por una bomba.

**Lugar:** ...Tamborada..... **Observador:**...Jesús Jiménez y Oscar Delgadillo  
**Fecha:**...12/10/'07....

**Cultivo:** ...Haba...Prof. radicular:...30...cm...(a los 50 días después de la siembra).....

**Humedad antes del riego** ...18.8 %...(Determinado por el Método gravimétrico).....

**SUELO: textura:** ...Franco arcilloso... **Pendiente:**...2..... % .....

**CC:**...26%.....**PMP:**...11%.....**Da:** 1,39 g/cc

**ASPERSOR:** marca:...Rain Bird..... Modelo:...30BH.....

**Nº Boquillas:**.....2.....**Ø boquillas:**...4.76 x 2.38 mm.....

**Espaciamiento entre aspersores:**...15 m.....**Espaciamiento entre laterales:**...15 m...

**Promedio de descarga del aspersor:**...2073...l/h...a:...3.52...bares.

**Lateral:** diámetro:...3".... **Pendiente:**...+1... %

### Presiones y descargas actuales de los aspersores.

Mediciones	1º	2º	3º	Promedio	Variación (%)
Presión de funcionamiento (bar)	3,7	3,5	3,3	3.50	11 (<20%)
Descarga (l/h)	2090	2079	2050	2073	6 (<10%)

**Altura porta-aspersor** ...1.2 m.....**Diámetro** ...3/4".....

**VIENTO: Dirección relativa:** inicio E a O **durante** E a O **final** E a O

**Velocidad (km/h):** inicio ...10..... **durante** ...5..... **final** ...8.....

**Red de pluviómetros:** Espaciamiento:...3 x 3..... m.

**Capacidad pluviómetro:** ...890.....ml. **Área** ...77.1....cm<sup>2</sup>. **Altura** ...11.54...cm.

**Hora de inicio:** ...7:16..... **Final:**...12:05..... **Duración:**...4:49.....

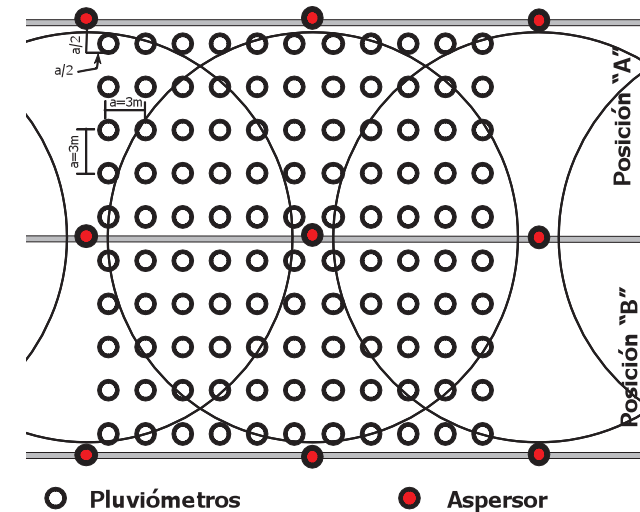


FIG. 1 MARCO DE RIEGO CUADRADO

**Presión en aspersores:** máx. ...3.55...(bar). Min. ...3.5.....(bar) media ...3.52...(bar)

### 5.1.1. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN

En el Cuadro 5 se consignan los valores en cm<sup>3</sup> del agua recogida en los pluviómetros. A partir de estos datos se calculan los mismos en mm, en base al área del pluviómetro utilizado en la evaluación (77,1 cm<sup>2</sup>).

CUADRO 5. VOLÚMENES RECOGIDOS EN CM3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	36	32	14	30	38	10	76	40	30	42	76
2	82	86	90	70	60	56	122	60	70	90	106
3	200	192	146	152	160	156	220	200	220	252	236
4	300	288	242	190	272	248	278	238	192	280	286
5	340	318	306	268	288	284	300	316	260	300	310
6	280	258	284	300	252	244	276	252	244	252	284
7	226	202	168	222	206	176	152	162	160	180	192
8	158	150	146	146	148	134	132	98	132	120	140
9	70	46	60	84	76	44	78	80	34	44	58
10	40	28	14	28	38	30	28	8	44	54	38

En el Cuadro 6 se consignan los valores calculados de las láminas de agua en mm.

CUADRO 6. LÁMINAS DE AGUA RECOGIDAS EN LOS PLUVIÓMETROS (MM)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	4,7	4,2	1,8	3,9	4,9	1,3	9,9	5,2	3,9	5,4	9,9
2	10,6	11,2	11,7	9,1	7,8	7,3	15,8	7,8	9,1	11,7	13,7
3	25,9	24,9	18,9	19,7	20,8	20,2	28,5	25,9	28,5	32,7	30,6
4	38,9	37,4	31,4	24,6	35,3	32,2	36,1	30,9	24,9	36,3	37,1
5	44,1	41,2	39,7	34,8	37,4	36,8	38,9	41,0	33,7	38,9	40,2
6	36,3	33,5	36,8	38,9	32,7	31,6	35,8	32,7	31,6	32,7	36,8
7	29,3	26,2	21,8	28,8	26,7	22,8	19,7	21,0	20,8	23,3	24,9
8	20,5	19,5	18,9	18,9	19,2	17,4	17,1	12,7	17,1	15,6	18,2
9	9,1	6,0	7,8	10,9	9,9	5,7	10,1	10,4	4,4	5,7	7,5
10	5,2	3,6	1,8	3,6	4,9	3,9	3,6	1,0	5,7	7,0	4,9

En este caso, se debe tener el cuidado de sumar los datos del extremo superior con los primeros datos del segundo bloque para simular el traslape.

Por ejemplo:  $4,7 + 36,3 = 41,0$ ;  $10,6 + 29,3 = 39,9$  y así sucesivamente se debe sumar todos los datos para poder simular el traslape que va a tener cuando se mueva el ramal (Cuadro 7).

CUADRO 7 LAMINAS EN MM RESULTANTES DEL TRASLAPE REALIZADO

1 + 6	41,0	37,6	38,7	42,8	37,6	32,9	45,7	37,9	35,5	38,1	46,7
2 + 7	39,9	37,4	33,5	37,9	34,5	30,1	35,5	28,8	29,8	35,0	38,7
3 + 8	46,4	44,4	37,9	38,7	39,9	37,6	45,7	38,7	45,7	48,2	48,8
4 + 9	48,0	43,3	39,2	35,5	45,1	37,9	46,2	41,2	29,3	42,0	44,6
5 + 10	49,3	44,9	41,5	38,4	42,3	40,7	42,5	42,0	39,4	45,9	45,1

Los valores rodeados con un óvalo rojo son los que corresponden a los valores más bajos (del Cuarto inferior). En el Cuadro 8 se consignan todos los valores ordenados de mayor a menor para determinar los valores del cuarto inferior y el cálculo de las diferencias de todos los valores en torno a la media, que posteriormente será utilizado para calcular el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen.

**CUADRO 8. VALORES ORDENADOS Y DESVIACIONES EN RELACIÓN A LA MEDIA**

n	Sin ordenar (x)	Ordenados (xi)	m	xi-m
1	41,0	49,3	40,2	9,1
2	39,9	48,8	40,2	8,6
3	46,4	48,2	40,2	8,0
4	48,0	48,0	40,2	7,8
5	49,3	46,7	40,2	6,5
6	37,6	46,4	40,2	6,2
7	37,4	46,2	40,2	6,0
8	44,4	45,9	40,2	5,7
9	43,3	45,7	40,2	5,4
10	44,9	45,7	40,2	5,4
11	38,7	45,7	40,2	5,4
12	33,5	45,1	40,2	4,9
13	37,9	45,1	40,2	4,9
14	39,2	44,9	40,2	4,7
15	41,5	44,6	40,2	4,4
16	42,8	44,4	40,2	4,1
17	37,9	43,3	40,2	3,1
18	38,7	42,8	40,2	2,6
19	35,5	42,5	40,2	2,3
20	38,4	42,3	40,2	2,1
21	37,6	42,0	40,2	1,8
22	34,5	42,0	40,2	1,8
23	39,9	41,5	40,2	1,3
24	45,1	41,2	40,2	1,0
25	42,3	41,0	40,2	0,8
26	32,9	40,7	40,2	0,5
27	30,1	39,9	40,2	0,3
28	37,6	39,9	40,2	0,3
29	37,9	39,4	40,2	0,8
30	40,7	39,2	40,2	1,0

31	45,7	38,7	40,2	1,6
32	35,5	38,7	40,2	1,6
33	45,7	38,7	40,2	1,6
34	46,2	38,7	40,2	1,6
35	42,5	38,4	40,2	1,8
36	37,9	38,1	40,2	2,1
37	28,8	37,9	40,2	2,3
38	38,7	37,9	40,2	2,3
39	41,2	37,9	40,2	2,3
40	42,0	37,9	40,2	2,3
41	35,5	37,6	40,2	2,6
42	29,8	37,6	40,2	2,6
43	45,7	37,6	40,2	2,6
44	29,3	37,4	40,2	2,9
45	39,4	35,5	40,2	4,7
46	38,1	35,5	40,2	4,7
47	35,0	35,5	40,2	4,7
48	48,2	35,0	40,2	5,2
49	42,0	34,5	40,2	5,7
50	45,9	33,5	40,2	6,8
51	46,7	32,9	40,2	7,3
52	38,7	30,1	40,2	10,1
53	48,8	29,8	40,2	10,4
54	44,6	29,3	40,2	10,9
55	45,1	28,8	40,2	11,4
<b>Promedio (m)</b>			<b>40,2</b>	<b>Σ 228,8</b>
<b>Promedio CI</b>			<b>33,8</b>	
<b>n</b>	<b>55</b>			
<b>CI</b>	<b>14</b>			

Para calcular la DHS y la DPM, son necesarios varios datos que son determinados en campo y algunos son conseguidos de tablas (Recuadro 3).

CC =	26 %
PMP =	11 %
Da =	1,39 g/cm <sup>3</sup>
p =	30 cm
Humedad antes del riego =	18,8 %
Fracción de agotamiento (haba) =	50 %

**RECUADRO 3. DATOS BÁSICOS PARA CALCULAR DHS Y DPM**

En el Cuadro 9 se presenta los diferentes cálculos realizados para determinar los valores de las diferentes eficiencias y también de la uniformidad de riego, sobre los cuales se realizan explicaciones y sugerencias específicas.

**CUADRO 9. CALCULOS Y EXPLICACIONES DEL EJEMPLO CON EQUIPO DE ALA MOVIL**

Cálculos realizados	Explicaciones / Sugerencias
<p><b>Cálculo de la DHS y la DPM</b></p> $DHS = \frac{(26 - 18,8)}{100} * 1,39 * 30 \text{ cm} * 10 \text{ mm} = 30,0 \text{ mm}$ $DPM = \frac{15}{100} * 0,5 * 1,39 * 30 \text{ cm} * 10 \text{ mm} = 31,3 \text{ mm}$	<p>Los valores de la DHS y de la DPM, tienen buena coincidencia (muy próximos). Esto quiere decir que el riego recomendado según la DPM coincide prácticamente con la Deficiencia de Humedad del Suelo antes del riego. Esto también es posible debido a que el factor de agotamiento es el 50%, menos exigente en relación a un cultivo hortícola, p.e. la lechuga o la cebolla.</p>
<p><b>Cálculo de la EA</b></p> $EA = \frac{\text{Lámina promedio de agua infiltrada y almacenada en el CI}}{\text{Lámina promedio de agua aplicada}} * 100$ $EA = \frac{30,0}{44,3} * 100 = 68\%$ <p>Donde el valor del CI es <math>\leq</math> a DHS</p>	<p>Al ser la lámina promedio del cuarto inferior mayor a la DHS, se considera para el cálculo de la EA el valor de la DHS. El valor de 68% de EA, nos indica una eficiencia moderada. Este valor quiere decir que al menos 3/4 partes del cultivo ha recibido más del 68% de agua aplicada. Sin embargo, muestra una cuantiosa pérdida por percolación profunda de 32% (asumiendo que no existe escorrentía). Al ser mayor los valores del CI a la DHS, el nivel de reposición ha sido total y al mismo tiempo prácticamente se ha cubierto el criterio de la DPM. Indagar más las razones del agricultor a realizar el riego en este momento y por la cantidad aplicada que ha implicado pérdidas grandes en la aplicación, pero lográndose cubrir plenamente los requerimientos del cultivo en detrimento de la eficiencia de uso de agua.</p>
<p><b>Cálculo de la ES</b></p> $ES = \frac{\text{Lámina promedio en el CI}}{DHS} * 100 = \frac{33,8}{30,0} * 100 = 113\%$	<p>La reposición de agua se verifica claramente con el indicador de ES, que reporta un valor ligeramente superior al 100%, lo que indica claramente que se ha repuesto totalmente la humedad necesaria para llegar a CC, aunque haya significado pérdidas de agua. En resumen, podemos afirmar que en términos de eficiencia de uso del agua es baja, pues se puede verificar una pérdida de agua en la aplicación, pero en términos de reposición de agua en la zona radicular es alta, porque se ha logrado cubrir totalmente.</p>

<p style="text-align: center;"><b>Cálculo de la EPA</b></p> $EPA = \frac{\text{Lámina promedio de agua infiltrada en el CI=DPM}}{\text{Lámina promedio de agua aplicada}} * 100$ $EPA = \frac{31,3}{44,3} * 100 = 71\%$	<p>Haciendo el cálculo de la EPA, el valor reporta 71%, que indica que la lámina aplicada al cultivo, en caso de que la humedad del suelo estuviese en el nivel de la DPM, se estaría desperdiciando agua (29%). Este valor así como de la EA indica una sobre-riego.</p> <p>Considerando ambos indicadores de eficiencia (EA y EPA), básicamente nos muestra que el tiempo de riego ha sido excesivo, ya que tanto la DHS como la DPM son prácticamente coincidentes, lo que quiere decir que el agricultor ha aplicado el riego en el momento oportuno, pero en forma excesiva.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Cálculo de la UD</b></p> $UD = \frac{\text{Lámina de agua promedio infiltrada ó recibida en el CI}}{\text{Lámina de agua promedio infiltrada (ó recibida)}}$ $UD = \frac{33,8}{40,2} * 100 = 84\%$	<p>La Uniformidad de riego reporta un valor alto de uniformidad (84%). Este valor nos indica que el agricultor aplica el agua de riego muy uniformemente, aunque ha significado también pérdidas de agua considerable durante el riego, por sobre-riego principalmente.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Cálculo de la CU</b></p> $CU = 100 * \left[ 1 - \frac{ \sum z - m }{\sum z} \right]$ $CU = 100 * \left[ 1 - \frac{228,8}{2211,933} \right] = 90\%$	<p>El Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CU) reporta un valor más alto (90%) que la UD, por las razones antes ya indicadas.</p> <p>Tanto la UD como la CU indican que los equipos de riego evaluados están siendo utilizados en forma óptima.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Cálculo de las pérdidas por evaporación, viento</b></p> $\text{Pérdidas por evaporación, viento, etc.} = \frac{44,3 - 40,2}{44,3} * 100 = 9,2\%$	<p>El valor encontrado reporta una pérdida del 9,2% debido a los factores antes mencionados.</p>

La evaluación ha sido complementada, visualizando los datos espacialmente con la ayuda de un software, para tener otros elementos de juicio sobre el riego en la parcela, ya que un solo valor de uniformidad podría enmascarar algunas situaciones importantes (Figura 3).

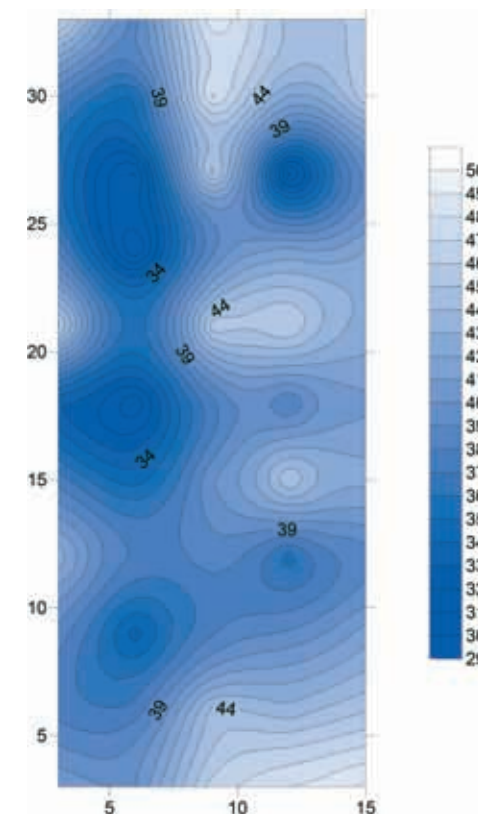


FIGURA 3. VISUALIZACIÓN DATOS DE EVALUACIÓN DE UN EQUIPO DE RIEGO POR ASPERSIÓN DE COBERTURA TOTAL

Dada la alta uniformidad reportada en los indicadores de Uniformidad de distribución y el coeficiente de uniformidad de Christiansen, en la figura no se perciben claramente zonas con muy alta o muy baja lámina de riego. Sin embargo, es posible observar que la distancia entre aspersores y laterales podrían ser movidos levemente para lograr mayor uniformidad, si fuese posible, así como verificar la presión de funcionamiento.

## 6. EQUIPOS MÓVILES DE RIEGO POR ASPERSIÓN

En las últimas décadas, especialmente en los países andinos (Perú, Ecuador y Bolivia), se han dado iniciativas de innovación tecnológica con equipos móviles de riego por aspersión, sobre todo en condiciones de pendiente del terreno considerables (10 a 60%) y en el marco de sistemas colectivos de riego manejados por agricultores, con sus propias reglas de distribución de agua. Precisamente, porque es una tecnología nueva en condiciones extremas, surgió la necesidad de evaluar el desempeño de este riego en estas condiciones.

A raíz de estas investigaciones se plantea en este texto esta metodología utilizada en condiciones de ladera, pero que muy bien podría ser utilizada en cualquier otra condición donde utilicen equipos móviles de riego por aspersión.

Los equipos móviles de riego por aspersión (EMRAs) son equipos de riego con todas sus partes portátiles, desde la toma de agua hasta el aspersor. Son movidos dentro la parcela en distintas posiciones y también pueden ser transportados entre parcelas, pudiendo ser alimentada directamente de un canal, un estanque o un atajado o conectados a un hidrante, esto en sistemas de riego donde la matriz principal y lo secundarios están presurizados. En zonas planas también podrían ser utilizados con ayuda de bombas de agua.

### 6.1. PROCEDIMIENTO

- Una primera acción es la colocación de los manómetros entre el porta aspersor y el aspersor (Foto 6), antes de que inicie el evento de riego. En caso de no contar con manómetros de este tipo, se podría utilizar manómetros de aguja en baño de glicerina para medir directamente en la boquilla de los aspersores.



FOTO 6. UBICACIÓN DEL MANÓMETRO PARA MEDIR LA PRESIÓN DE FUNCIONAMIENTO

- Medir el ángulo de inclinación del porta aspersor es muy importante, sobre todo en parcelas en ladera, ya que esta inclinación si no está acorde a la pendiente de la parcela tiene mucha influencia en la uniformidad y por ende en la eficiencia de riego por aspersión. Dicho ángulo se mide con eclímetro.
- Posteriormente, debe anotarse la hora de inicio de la prueba y la hora de finalización de cada ubicación o posición de riego.
- También al iniciar el riego debe medirse la velocidad y dirección del viento, sucesivamente cada 10 ó 15 min., ya que el viento es un parámetro muy importante a tomar en cuenta en el riego por aspersión, por su influencia directa en la uniformidad del riego.
- Después de 10 ó 15 minutos de iniciado el riego se debe tomar la lectura de la presión de funcionamiento de cada aspersor, porque en ese tiempo es donde la presión llega a la normalidad, esto para cada posición de riego.
- Luego debe realizarse un croquis de la ubicación de los aspersores a escala, porque éstos varían de una posición a otra, al responder a la forma del terreno.

Posteriormente, realizar la marca de cada aspersor ubicado en la parcela y del radio de mojado de los aspersores para cada posición de riego.

- Una vez terminado el riego en una ubicación determinada, se debe tener bastante cuidado al trasladar el equipo de riego, a la siguiente ubicación de riego, para no voltear los pluviómetros (Foto 7).



**FOTO 7. TRASLADO DEL EQUIPO DE RIEGO DE UNA UBICACIÓN A OTRA DENTRO LA PARCELA**

- Terminado el riego en toda la parcela, se procede a medir el volumen de agua de cada pluviómetro (Foto 8), teniendo el cuidado de que el agua se infiltre y el terreno esté lo suficientemente estable para poder entrar a la parcela.



**FOTO 8. MEDICIÓN DEL AGUA RECOGIDA EN LOS PLUVIÓMETROS CON UNA PROBETA.**

- La boquilla de los aspersores debe medirse con un calibrador (calibrador de 0.002 mm. de precisión). En esta experiencia, al ser ensanchadas las boquillas por los agricultores, se vuelve indispensable medir el diámetro de los mismos.
- Posteriormente, se realiza aforos en el aspersor al menos tres repeticiones. En condiciones de ladera, al variar la presión en todas las posiciones es indispensable hacer las mediciones en todos los aspersores pues como varía la presión también varía la descarga de los aspersores. En zonas planas, se podría escoger solamente tres aspersores (inicio, medio y final de una línea) para tener un caudal promedio de aplicación. Para facilitar la medición, se colocan dos mangueras de plástico a las boquillas los cuales se recogen en un recipiente en un tiempo determinado (Foto 9).



FOTO 9. MATERIALES UTILIZADOS EN EL AFORO DEL ASPERSOR.

- Una vez realizado todas las tareas de evaluación se desarma toda la red de pluviómetros que podría ser utilizado en otras pruebas más adelante.

## 6.2. EJEMPLO DE UNA EVALUACIÓN

El siguiente ejemplo de evaluación de una parcela en condiciones de ladera corresponde a una investigación realizada en la parte baja de la microcuenca de Mishkamayu, ubicada en la provincia de Tiraque. Es parte de una serie de evaluaciones de varias parcelas de cultivo de papa.

- 1. Responsable:** Jesús Jiménez P. **Fecha:** 26/08/02 COD.: 1TK.
- 2. Nombre del agricultor:** Pedro Delgadillo **Sindicato:** .Totora Khocha .
- 3. Sistema de riego:** Llust'a Chimpa **Acequia:** Ura lark'a
- 4. N° de riego:** 3 .DHS 21 mm **Humedad antes del riego:** 8.7%
- 5. Frecuencia de riego:** riego después de 16 días.
- 6. Cultivo:** papa **Profundidad radicular:** 19 cm. Fase de desarrollo 1
- 7. Suelo:** textura FY

- 8. Pendiente de la parcela** ↑ 55%, → 2%; **Altura porta-aspersor** 50 cm.
- 9. Espaciamiento ramales: del (1º y 2º) evento** 12.5 m. (2º y 3º) 12.5 m.. (3º y 4º) 12.8 m.. (4º y 5º) 9.5 m.

## 10. Características del equipo

PARTES	Material	Longitud (m)	Diámetro
Vertedor	Plancha	0.35	2"
Matriz	Politubo, lona	15;22 = 37	1"½
Lateral	Lona	12.5*2=25	1"½
Porta aspersor	F. galvanizado	0.5	¾"
Acoples	Aluminio	0.15	1"½
Nº de aspersores	3		

## 12. Adaptaciones tecnológicas:

**Boquilla Principal:** con boquilla y alambre

**Boquilla Secundaria:** sin boquilla y alambre

## 13. Red de pluviómetros: Espaciamiento: 3X 3 m.

**Capacidad:** 890 ml.

**Área** 77.1 cm<sup>2</sup>

**14. Ensayo: hora de comienzo** 09:38 **final** 19:35 **duración** 9:57 hrs.

## 16. Presión y descarga actual de los aspersores

## 17. Datos de los Aspersores durante la prueba de evaluación

EVENTO	MEDICIONES	1º	2º	3º
1º Evento	Presión de funcionamiento (bar)	0.80	0.80	0.75
	Descarga (l/s)	0,937	0,937	0,906
	Distancia entre aspersores (m.)		12	12
	Ángulo de incl. del porta-aspersor (%)	48,8	57,7	46,6
	Marca de los aspersores	Rain Bird	Rain Bird	Rain Bird
	Ø de las boquillas	6.75x9.2	6.75x9.2	6.75x9.2
	Tiempo del evento	Inicio 09:38	final 11:48	Durac. 2:10

<b>2° Evento</b>	Presión de funcionamiento (bar)	0.90	0.90	0.88
	Descarga (l/s)	0.996	0.996	0,985
	Distancia entre aspersores (m.)		12	12
	Ángulo de incl. del porta-aspersor (%)	40,4	38,4	36,4
	Marca de los aspersores	Rain Bird	Rain Bird	Rain Bird
	Ø de las boquillas	6.75x9.2	6.75x9.2	6.75x9.2
	Tiempo del evento	Inicio 12:02	Final 14:03	Durac. 2:01
	<b>3° Evento</b>	Presión de funcionamiento (bar)	0.85	0.90
Descarga (l/s)		0,967	0.996	0,967
Distancia entre aspersores (m.)			12	12
Ángulo de incl. del porta-aspersor (%)		48,8	57,7	46,6
Marca de los aspersores		Rain Bird	Rain Bird	Rain Bird
Ø de las boquillas		6.75x9.2	6.75x9.2	6.75x9.2
Tiempo del evento		Inicio 14:17	Final 16:23	Durac. 2:06
<b>4° Evento</b>		Presión de funcionamiento (bar)	0.85	0.85
	Descarga (l/s)	0,967	0,967	0,985
	Distancia entre aspersores (m.)		12	12
	Ángulo de incl. del porta-aspersor (%)	36,4	21,3	17,6
	Marca de los aspersores	Rain Bird	Rain Bird	Rain Bird
	Ø de las boquillas	6.75x9.2	6.75x9.2	6.75x9.2
	Tiempo del evento	Inicio 16:38	Final 18:27	Durac. 1:49
	<b>5° Evento</b>	Presión de funcionamiento (bar)	0.84	0.83
Descarga (l/s)		0,961	0,955	0,967
Distancia entre aspersores (m.)			12	12
Ángulo de incl. del porta-aspersor (%)		3,5	7,0	5,2
Marca de los aspersores		Rain Bird	Rain Bird	Rain Bird
Ø de las boquillas		6.75x9.2	6.75x9.2	6.75x9.2
Tiempo del evento		Inicio 18:55	Final 20:35	Durac. 1:40

### 18. Viento:

Dirección relativa inicio NE-SO duración SE-NO final NO-SE

Velocidad (m/s) inicio 0 durante 0 final



**OBSERVACIONES.-** Durante el 4º evento de riego el ángulo del porta-aspersor del primer aspersor fue variando en sentido de la pendiente de 50º de inclinación al principio del evento y al final tenía una inclinación de 55º. También se pudo observar que durante el riego la dirección del viento cambio en sentido contrario, es decir de (NE-SO) a (NO-SE).



Algunos datos son requeridos previamente para poder calcular la DHS y la DPM, determinados en campo y otros extractados de tablas (Recuadro 4).

CC =	19,75 %
PMP =	8 %
Da =	1,41 g/cm <sup>3</sup>
p =	19 cm
Humedad antes del riego =	8,7 %
Fracción de agotamiento (papa)	50 %

RECUADRO 4. DATOS PREVIOS PARA CALCULAR DHS Y DPM

Por la metodología aplicada a toda la parcela, el cálculo de la lámina promedio de agua aplicada a la parcela ha considerado varias posiciones realizadas por el agricultor dentro la parcela del equipo móvil de riego por aspersión. En el Recuadro 5 se resume esta determinación.

Para que el lector se ubique mejor, en la Figura 1 se aclara la correspondencia de los diferentes parámetros hidro-físicos del suelo más importantes.

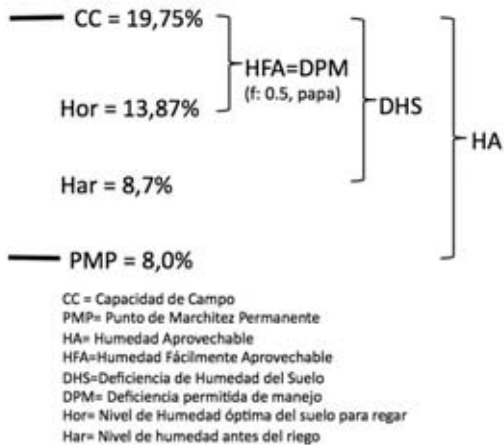


FIGURA 4: REPRESENTACIÓN DE LAS PRINCIPALES PROPIEDADES HIDRO FÍSICAS DEL SUELO

Evento	Descarga (l/s)	Tiempo			Lámina media aplicada (mm)
		h	m	h	
1er Evento	0,937				
	0,937				
	0,906	0,926667	2	10	2,167
2do Evento	0,996				
	0,996				
	0,985	0,985	2	1	2,017
3er Evento	0,967				
	0,996				
	0,967	0,967	2	6	2,100
4to Evento	0,967				
	0,967				
	0,985	0,973	1	49	1,817
5to Evento	0,961				
	0,955				
	0,967	0,961	1	40	1,667
<b>PROMEDIO</b>	<b>0,963</b>				<b>48,5</b>

RECUADRO 5. DETERMINACION DE LA LÁMINA APLICADA

En el Cuadro 11 se presentan todos los cálculos pertinentes realizados en la evaluación de un equipo móvil de riego por aspersión.

CUADRO 11. CALCULOS Y EXPLICACIONES DEL EJEMPLO CON EQUIPO MOVIL

Cálculos realizados	Explicaciones / Sugerencias
<p><b>Cálculo de la DHS y la DPM</b></p> $DHS = \frac{(19,75 - 8,7)}{100} * 1,38 * 19 \text{ cm} * 10 \text{ mm} = 29,0 \text{ mm}$ $DPM = \frac{11,75}{100} * 0,5 * 1,38 * 19 \text{ cm} * 10 \text{ mm} = 15,7 \text{ mm}$	<p>La DHS es muy alta en relación a la DPM (prácticamente el doble). Esto indica que el agricultor ha tenido limitaciones para aplicar con anterioridad el riego al cultivo debido a su intervalo de riego en función a su turno que debe cumplir el agricultor para regar, es decir depende de la oferta de agua y no así de la demanda del cultivo por agua.</p>
<p><b>Cálculo de la EA</b></p> $EA = \frac{\text{Lámina promedio de agua infiltrada y almacenada en el CI}}{\text{Lámina promedio de agua aplicada}} * 100$ $EA = \frac{29,0}{48,5} * 100 = 60 \%$ <p>Donde el valor del CI es ≤ a DHS</p>	<p>Al ser la lámina promedio del cuarto inferior mayor al DHS, se consideró la lámina determinada de la DHS.</p> <p>El valor de 60% indica una eficiencia baja para un método de riego con eficiencia potencial más alta (75 a 85 %). El valor indica que al menos ¾ partes del cultivo ha recibido más del 60% de agua aplicada, pero la pérdida de agua por percolación profunda es muy alta (40%), asumiendo que no existe escorrentía. Al ser mayor los valores del CI a la DHS, el nivel de reposición ha sido completa. Las razones del agricultor para realizar un riego con estas características fueron varias: turnaje, experiencia, equipo de riego con modificaciones, presiones bajas y caudales grandes, utilización de alambres.</p>
<p><b>Cálculo de la ES</b></p> $ES = \frac{\text{Lámina promedio en el CI}}{DHS} * 100 = \frac{30,3}{29,0} * 100 = 104 \%$	<p>La reposición de agua se verifica claramente con el indicador de ES (104%), que reporta un valor ligeramente superior al 100%, lo que indica visiblemente que se ha repuesto la humedad necesaria para llegar a CC, aunque haya significado pérdidas de agua.</p> <p>En suma, si hablamos en términos de desperdicio del agua aplicada al suelo, la eficiencia es baja, pero en términos de reposición de la humedad requerida por el suelo para llegar a CC, es alta</p>
<p><b>Cálculo de la EPA</b></p> $EPA = \frac{\text{Lámina promedio de agua infiltrada en el CI} = DPM}{\text{Lámina promedio de agua aplicada}} * 100$ $EPA = \frac{15,7}{48,5} * 100 = 32 \%$	<p>Del cálculo de la EPA, el valor encontrado de 32% refleja una brecha enorme entre lo que se debería aplicar en un evento de riego y lo que se ha aplicado en la práctica, una lámina demasiada alta. Este valor muestra entonces serios problemas en el diseño, mostrando claramente que la aplicación del agua es una cuestión más empírica y no como una respuesta a los requerimientos del cultivo en cuestión.</p> <p>Considerando ambos indicadores de eficiencia (EA y EPA), nos muestra que el agricultor no considera criterios económicos para el riego, o tal vez no tiene el acceso seguro al agua para regar, esto significa que el agricultor riega cuando puede y con cuanto puede y como puede, siendo el objetivo principal dar humedad a los cultivos sin importar mucho los valores de eficiencia de riego.</p>

Cálculos realizados	Explicaciones / Sugerencias
<p><b>Cálculo de la UD</b></p> $UD = \frac{\text{Lámina de agua promedio infiltrada ó recibida en el CI}}{\text{Lámina de agua promedio infiltrada (ó recibida)}}$ $UD = \frac{30,3}{41,4} * 100 = 73 \%$	<p>La Uniformidad de distribución reporta un valor moderado de uniformidad (73%), que es un valor inferior al recomendado por Keller y Bliesner (2000) como umbral mínimo (80%). Aunque considerando las condiciones de riego (equipos modificados, presión baja de operación y topografía difícil del terreno) el valor reportado es razonable.</p>
<p><b>Cálculo de la CU</b></p> $CU = 100 * \left[ 1 - \frac{ \sum z - m }{\sum z} \right]$ $CU = 100 * \left[ 1 - \frac{1352,6}{6667,600} \right] = 80 \%$	<p>Por su parte, el valor del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CU) consigna un valor relativamente más alto (80%), ya que esta fórmula está directamente relacionada a la variación de los valores en relación a la media geométrica y no como el anterior en relación a los valores más bajos del CI de los datos de campo.</p> <p>Por las condiciones de riego de esta evaluación, ambos indicadores podrían ser considerados razonables, mostrando además la experiencia de riego de los agricultores, aunque muestren estar por debajo del umbral recomendado por algunos autores. No olvidarse que las condiciones de riego son parcelas de ladera.</p> <p>En suma, considerando los valores de eficiencia de riego y los de uniformidad, podríamos deducir que el agricultor está más interesado en aplicar lo más uniformemente posible antes que centrarse en la eficiencia de aplicación propiamente.</p>
<p><b>Cálculo de las pérdidas por evaporación, viento</b></p> <p>Pérdidas por evaporación, viento, etc. = <math>\frac{48,5 - 41,4}{48,5} * 100 = 14,6 \%</math></p>	<p>La pérdida debida a la evaporación y al efecto del viento en el chorro de 14,6%.</p>

## 7. EMISOR AL AIRE LIBRE

Este acápite ha sido incluido con la finalidad de complementar las evaluaciones anteriores, siempre con el propósito de mejorar o corregir las falencias de los sistemas de riego por aspersión.

Evaluar el funcionamiento de un solo aspersor tiene entre sus ventajas la posibilidad de simular traslapes con varias distancias entre aspersores y laterales, tratando de buscar la mejor opción técnica de uniformidad. Asimismo, nos permite

evaluar el funcionamiento del mismo, tratando de detectar si las presiones de funcionamiento son las adecuadas o no. También nos permite construir curvas Caudal vs. Presión, reales.

Naturalmente, tiene también algunas limitaciones como el hecho de que los resultados logrados son válidos solamente para la situación o situaciones que se quiere trabajar. Además, jamás podrá reemplazar la evaluación de un área representativa mayor de un evento de riego que solamente la evaluación de un solo aspersor y su posterior simulación.

En este acápite solamente nos abocaremos a mostrar la parte metodológica y las bondades que podría lograrse con la simulación de los datos recabados, pero no abordaremos la simulación en sí, que podría ser realizado por varios programas desarrollados para tal efecto (CATCH-3D, SORA, SIRIAS, SURFER, etc.) que facilitan trasladar los valores con modelos matemáticos adecuados y mostrarlos tridimensionalmente para facilitar la interpretación de los valores de campo y las simulaciones.

## 7.1. PROCEDIMIENTO

### 7.1.1. FASE PRELIMINAR

- Se realiza el estacado cada 2 m alrededor de todo el diámetro mojado, posteriormente se realiza el cuadrículado con los hilos de plástico y luego se colocan los pluviómetros con el cuidado de que estén, vertical y parcialmente enterrado para que no se caigan. Pueden considerarse dos opciones de armado de los pluviómetros: (1) total ó (2) en cruz. El primero consiste en disponer una red total de pluviómetros que cubra totalmente todo el perímetro de mojado del aspersor a ser evaluado, para ello hay que tener algunas consideraciones (Figura 5).

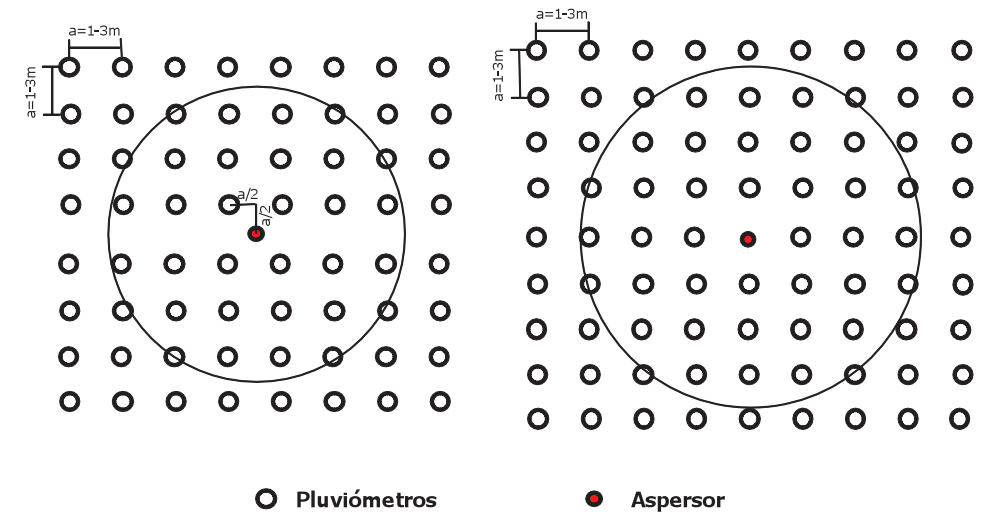


FIGURA 5. DISPOSICIÓN DE PLUVIÓMETROS TOTAL

La segunda opción (en cruz), consiste en armar solamente un cruz con los pluviómetros (Figura 6). Esto implica ahorro en tiempo, personal y costo. Obviamente, la representación será menos precisa, ya que cualquier modelo tridimensional genera la representación a partir de los datos existentes.

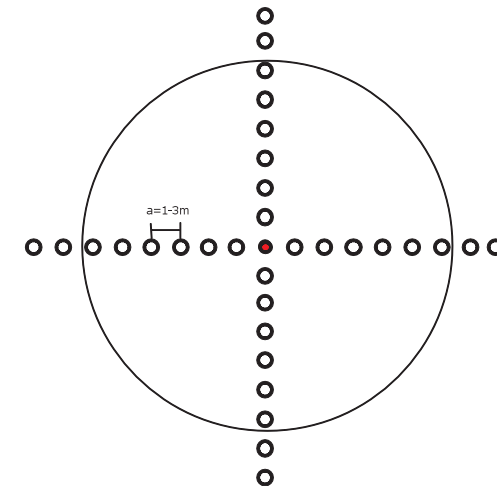


FIGURA 6. DISPOSICIÓN DE PLUVIÓMETROS EN CRUZ

- Posteriormente, se arma el equipo de riego con las mismas condiciones en las que trabaja el agricultor.
- Terminado el armado de la red, se toma nota de todas las características del aspersor (marca, modelo, diámetro de las boquillas, altura del porta aspersor). Si el aspersor corresponde a los equipos portátiles manejados por nuestros agricultores deben tomarse en cuenta las adaptaciones o modificaciones realizadas al aspersor y la presión promedio a las que son utilizados para realizar las recomendaciones aplicables a sus condiciones o características de riego.
- Cuando se realiza en terrenos de pendiente, el manómetro se coloca entre el porta aspersor y el aspersor, como en el anterior caso.
- También es importante medir al ángulo del porta aspersor, debiendo colocarse perpendicular a la pendiente del terreno o parcela.

### 7.1.2. FASE DE EVALUACIÓN

- Al iniciar la evaluación debe anotarse la hora de comienzo así como la hora de finalización de la prueba.
- También al iniciar debe medirse la velocidad del viento. La idea de esta medida es tener todas las referencias de las condiciones lo más aproximadamente posibles de la práctica de riego para poder simular lo más cercanamente a la realidad. En todo caso, cualquier decisión dependerá de lo que se desea realizar posteriormente con los datos.
- A los 15 minutos aproximadamente después de comenzada la prueba, debe medirse la presión.

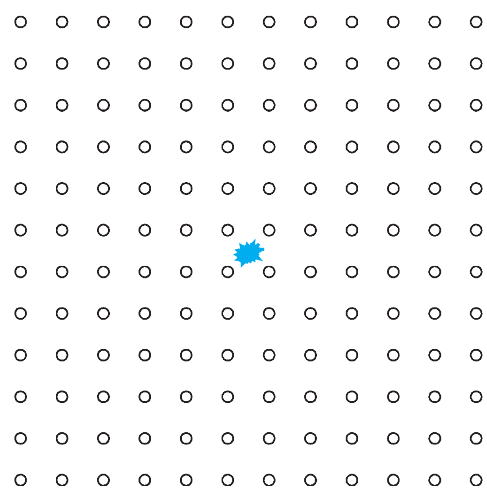
### 7.1.3. FASE COMPLEMENTARIA

- Una vez terminada el tiempo de prueba, se prosigue con la medición de los volúmenes recogidos por los pluviómetros con la ayuda de una probeta, teniendo el cuidado de que el terreno este lo suficiente estable para entrar.
- Posteriormente, debe desarmarse la red de pluviómetros.
- Luego se procede a realizar el aforo. Se conecta las dos mangueras a las

- boquillas, sostenidas por dos abrazaderas pequeñas y se recoge agua en un recipiente de volumen conocido y se determina el caudal por el método volumétrico, al menos tres repeticiones.
- Como ya se indicó anteriormente, los datos pueden procesarse en varios programas computacionales (CATCH-3D, SORA, SIRIAS, SURFER, etc.).

### 7.2. EJEMPLO DE UNA EVALUACIÓN

<b>Responsable:</b> Jesús Jiménez P.	
<b>1. Aspersor - marca:</b> Rain Bird	<b>modelo:</b> 30 H <b>nº boquilla:</b> 2
<b>Ø boquillas</b> 6.75 x 8.8 mm.	
<b>2. Adaptaciones tecnológicas:</b>	<b>(1) salida principal:</b> con boquilla y sin alambre; <b>salida secundaria:</b> con boquilla y sin alambre
	<b>(2) salida principal:</b> con boquilla y con alambre; <b>salida secundaria:</b> con boquilla y con alambre
<b>3. Red de pluviómetros: Espaciamento:</b> 2 x 2 m. <b>Capacidad:</b> 890 ml.	
<b>Diámetro:</b> 9.91 cm. <b>Alto:</b> 11.55 cm.	
<b>4. Pendiente del terreno: transversal:</b> 35 % <b>horizontal:</b> 1 %	
<b>5. Porta aspersor altura:</b> 0.5 m. <b>Diámetro:</b> ¾ pulg.	
<b>Angulo de inclinación:</b> perpendicular a la pendiente	
<b>6. Velocidad del viento:</b> 0 a 0.5 m/s. <b>Dirección relativa:</b> SE a NO .	
<b>7. Presión de funcionamiento:</b> 1 bar. <b>Caudal:</b> 0.886 l/s.	
<b>8. Tiempo: duración:</b> 1.5 hrs (cada una de las pruebas).	
<b>9. Croquis de la prueba (disposición de pluviómetros 2x2 m. y ubicación del aspersor)</b>	



**10. Volumen de agua recogida en cada pluviómetro, convertida a mm**

Primera situación: Con uso de alambre

	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	3,9	11,3	13,6	10,4	4,5	0,4	0	0	0
4	0	0	6,5	20,8	20,1	16,2	15,8	17,5	10,4	1,3	0	0
6	0	4,8	18,2	16,5	19,5	17,5	14,9	15,6	15,3	11,7	0,6	0
8	0	11,0	18,8	18,2	16,2	20,2	16,3	14,9	16,9	17,1	5,2	0
10	0	11,0	20,8	17,2	14,9	20,8	18,8	14,9	17,5	17,5	10,0	0
12	0	8,4	17,5	15,6	14,3	17,2	19,1	15,6	18,2	20,1	25,7	0,4
14	0	6,5	16,9	16,2	16,2	16,2	18,2	18,8	18,2	20,1	13,0	0,32
16	0	0,6	9,1	19,5	18,8	18,8	22,1	22,1	21,4	18,2	7,1	0
18	0	0	1,9	11,0	20,1	19,5	20,6	25,9	22,7	11,0	1,3	0
20	0	0	0,1	0,9	8,4	14,3	13,9	14,3	8,4	2,6	0	0
22	0	0	0	0	0,3	0,6	2,6	1,9	0,5	0	0	0

Segunda situación: Sin uso de alambre

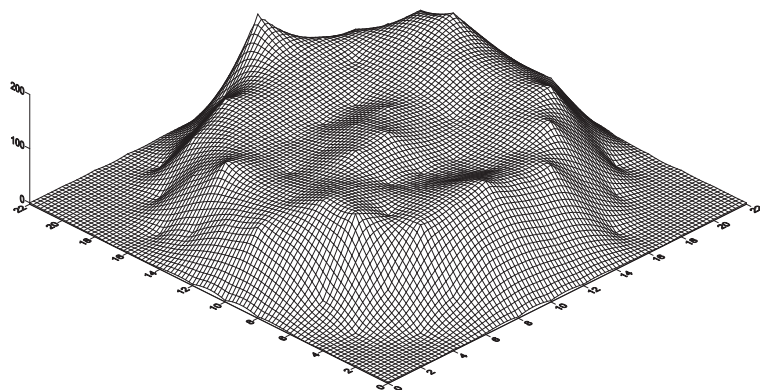
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,0	0,0	0,0	7,8	15,8	18,2	11,7	13,9	14,3	11,7	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	4,5	11,0	5,8	4,5	3,9	5,2	7,1	9,1	14,5	1,3	0,0	0,0	0,0
6	0,0	4,5	11,0	5,2	2,6	3,2	3,4	3,2	3,2	4,9	9,1	11,7	0,0	0,0	0,0
8	0,0	10,4	7,4	4,5	2,6	4,5	3,9	4,5	3,2	3,8	4,8	9,1	12,3	0,0	0,0
10	0,0	13,0	6,2	2,7	3,9	4,2	5,6	5,2	4,5	3,9	3,8	6,4	10,1	11,7	0,0
12	0,0	15,6	6,2	3,2	4,5	5,4	11,0	12,3	4,8	4,5	3,8	4,7	9,7	11,7	0,0
14	0,0	14,3	8,0	3,9	4,5	5,1	6,2	6,5	4,9	4,5	3,6	5,2	9,1	12,6	0,0
16	0,0	13,6	11,2	5,1	4,2	3,9	3,9	4,5	4,5	4,5	3,9	4,5	9,9	11,7	0,0
18	0,0	5,2	14,7	7,9	4,5	4,5	4,3	4,3	3,9	3,2	6,5	10,4	10,4	10,4	0,0
20	0,0	0,1	14,5	14,9	9,0	4,5	4,3	3,9	3,9	3,2	4,9	8,6	11,2	2,6	0,0
22	0,0	0,0	0,9	13,5	13,0	11,3	9,0	7,1	6,4	7,8	9,1	7,8	5,8	0,0	0,0
24	0,0	0,0	0,0	0,4	10,6	14,3	15,6	13,9	11,7	10,1	9,0	3,9	0,0	0,0	0,0
26	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

**7.2.1. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN**

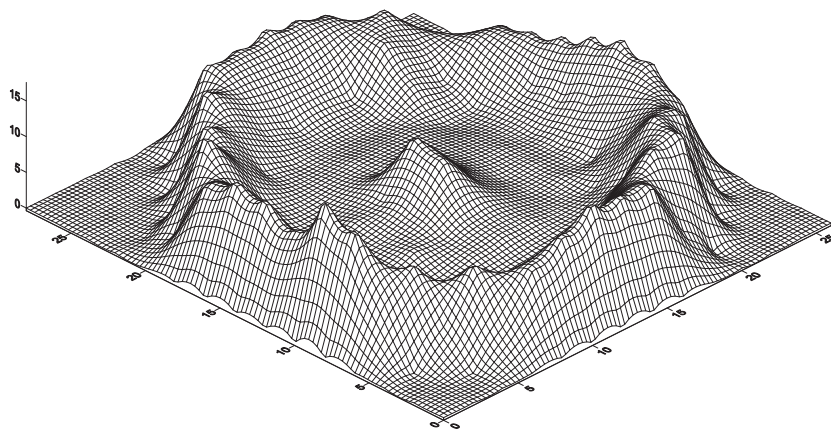
**Pluviometría del aspersor evaluado**

Este ejemplo, fue rescatado de un ensayo realizado en la zona de Mishkamayu (Tiraque), donde los agricultores realizaron algunas adaptaciones al aspersor introducido, para compensar la falta de presión suficiente y así éstos funcionen adecuadamente. Esta adaptación consiste en colocar un alambre en la salida del aspersor como deflector para romper el chorro de agua. Con esta prueba se quería mostrar gráficamente el efecto del alambre en la pluviometría del aspersor, por eso se tienen dos situaciones, sin y con empleo de alambre. Los datos recabados en campo, una vez transformados en términos de lámina, fueron

representados gráficamente, utilizando un programa computacional, en este caso utilizamos el SURFER. En la Figura 7 se consignan ambas situaciones.



Primera situación: Con uso de alambre



Segunda situación: Sin uso de alambre

FIGURA 7. REPRESENTACIÓN TRIDIMENSIONAL DE LA PLUVIOMETRÍA DEL ASPERSOR

Los datos logrados mediante esta prueba, graficados tridimensionalmente mediante un simulador, nos permite apreciar claramente cómo un aspersor particular aplica el agua. En este caso se observa el efecto de un alambre al romper un chorro de agua con baja presión, la distancia del chorro disminuye y hay mayor acumulación del agua en torno al aspersor (Primera Situación). En cambio, sin el alambre la pluviometría es totalmente distinta, se forma una figura tipo dona, es decir existe acumulación de agua en la periferia pero cerca del aspersor la acumulación es mínima. (Segunda Situación) Esta comparación nos ayuda a entender claramente el por qué los agricultores utilizan el alambre como deflectores caseros, pues lo contrario significarían uniformidades de riego demasiado pobres.

### Resultados de simulaciones de traslapes a diferentes marcos de riego

La simulación de los traslapes a diferentes marcos de riego, para el segundo caso, con uso de alambres, fue realizado con el programa computacional CATH-3D (Cuadro 12).

CUADRO 12. SIMULACIONES CON MARCOS DE RIEGO DISTINTOS CON CATH-3D

Nº	Marco de riego	CU (%)	UD (%)	EA (%)	Nº	Marco de riego	CU (%)	UD (%)	EA (%)
1	6 X 6	96.2	94.0	96.2	9	10 X 10	81.6	79.8	85.5
2	6 X 8	94.4	91.9	98.5	10	10 X 12	80.0	74.8	80.1
3	6 X 10	87.8	81.9	87.8	11	10 X 14	83.7	78.6	84.2
4	6 X 12	82.8	75.3	80.7	12	12 X 6	86.5	79.7	85.4
5	6 X 14	85.8	84.4	90.4	13	12 X 8	84.6	76.0	81.4
6	8 X 6	94.5	90.4	96.9	14	12 X 10	81.1	76.7	82.2
7	8 X 8	93.1	89.6	96.0	15	12 X 12	79.4	66.2	70.9
8	8 X 10	87.0	76.0	81.4	16	12 X 14	77.8	63.3	71.1

Como se puede apreciar en el anterior cuadro, gracias a la pluviometría determinada de un aspersor tipo, se pueden realizar varias simulaciones de traslapes que permiten escoger un marco de riego más apropiado a los cánones de eficiencia y uniformidad que queremos lograr. En este ejemplo específico se podría optar por recomendar la opción 5 porque se logran uniformidades aceptables a distancias de aspersores y laterales razonables (6x14). Si revisamos la opción 1, si bien se logran uniformidades más altas, las distancias entre aspersores y laterales es mucho menor (6 X 6), lo que disminuye el área que se podría regar. En cambio la opción 5 permite regar más área y las uniformidades así como la eficiencia aplicada son altas. Obviamente, la decisión final la tomará el agricultor, quien balanceará su situación particular.

## BIBLIOGRAFÍA

- CHAMBOULEYRON, J.** 1993. Diseño y evaluación del riego presurizado. Mendoza. INCYTH. 121 Pág.
- DEL CALLEJO VERACC, I.G.** 1995. Riego parcelario y manejo de agua. Algunos criterios de Evaluación. (Versión preliminar). Cochabamba. PEIRAV. 17 p.
- DELGADILLO, O.; DEL CALLEJO, I.** 2003. Métodos y tipos de riego campesino como parte de la tecnología de riego parcelario. Cochabamba. Texto preparado para la 3ra versión de la Maestría en GIRH. 25 p.
- FISHER, G.R.; WALLENDER, W.W.** 1988. Collector size and test duration effects on sprinkler water distribution measurement. Trans ASAE 32: 538 – 542.
- GUTIERREZ, Z.** 1990. Riego de preparación o preriego en Punata. PRIV-MACA/GTZ. Cochabamba, Bol. 10 p.
- GUTIERREZ, Z.** 1992. Descripción y valoración del riego parcelario en el sistema Punata (Versión preliminar). PRIV-MACA/GTZ. Cochabamba, Bol. 39 p.
- GUTIERREZ, Z.** 1997. Desempeño de los Sistemas de Riego. CESU/UMSS-PRONAR-PEIRAV. Documento para el Curso de postgrado diplomado: “Gestión campesina de sistemas de riego”. Cochabamba, Bol. 19 p.
- 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.
- 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.
- ISRAELSEN, O.; HANSEN, V.** 1965. Principios y aplicaciones del riego. Trad. Por Alberto García Palacios. Ed. Reverté. Barcelona, Esp. 396 p.
- JIMÉNEZ, J.** 2003. Eficiencia de riego por aspersión en condiciones de ladera en la parte baja de la microcuenca de “Mishka Mayu” (Cochabamba). Tesis de Grado. UMSS. Cochabamba. 92 p.
- KELLER, J.** et al. 1982. Evaluación de Riego por Superficie. Centro Internacional de Irrigación.
- KELLER, J.; BLIESNER, R.** 2000. Sprinkle and Trickle irrigation. Blackburn Press. New York. 652 p.

- KELLER, J.; MERRIAM, J.** 1982. Evaluación de riego por superficie. Trad. Por Antonio Forero. IIC. Utah, USA. 50 p.
- LLANOS, J.** 2007. Eficiencia de aplicación y coeficiente de uniformidad de riego por aspersión en condiciones de ladera, en la comunidad de Kholuyo, Sacaba – Cochabamba. Tesis de Grado. UMSS. Cochabamba. 89 p.
- MERRIAM, J.L.** et al. 1983. Evaluating irrigation systems and practices. In: JENSEN, M.E. 1983. Design and operation of farm irrigation systems. The American Society of Agricultural Engineers. p. 721-760.
- MERRIAM, J.L.; KELLER, J.** 1978. Farm irrigation systems evaluation. A guide for management. 3rd edition. Agricultural and Irrigation Engineering Department. Utah State University. Logan, USA. 235 p.
- PEÑARRIETA, R.** 2009. Goteo como alternativa para el riego del cultivo de frutilla en la comunidad de "El Churo" municipio de Pojo provincia Carrasco. Tesis de Grado. UMSS. Cochabamba. 120 p.
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA.** 2001) Diccionario de la lengua española. 22 ed.
- ROMERO, R.D.** 1997. Análisis de prácticas campesinas relacionadas con uniformidad de aplicación de agua a nivel parcelario en la zona de Punata. Tesis Ing. Agr. FCAPyF, UMSS. Cochabamba, Bol. 219p.
- RUIZ HUANCA, P.** 1994. Evaluación de la eficiencia de riego parcelario tradicional en Punata. Tesis de Grado. La Paz. UMSA. 218 p.
- SANTA CRUZ, D.** 2010. Evaluación del riego tradicional por inundación y el riego por goteo en la comunidad de Malcastaca para mejorar los procesos de implementación del riego tecnificado en la Región de Cinti. Trabajo dirigido. UMSS. Cochabamba. 103 p.
- ZOLDOSKE, D.; SOLOMON, H.** 1988. Coefficient of Uniformity – What it tells us. Edition Center for Irrigation Technology. 6 p.

# ANEXOS

## Planilla de campo para evaluar un equipo móvil de riego por aspersión

1. Responsable    Fecha
2. Nombre del agricultor. Sindicato:
3. Sistema de riego:    Acequia:    Caudal canal (l/s)
4. N° de riego:    DHS    Humedad antes del riego
5. Frecuencia de riego:
6. Cultivo    Profundidad radicular    Fase de desarrollo
7. Suelo: textura
8. Pendiente de la parcela    %; Altura porta-aspersor
9. Características del equipo  
Partes    Material    Longitud (m)    Diámetro  
Embudo  
Matriz  
Lateral  
Porta aspersor  
Acoples  
N° de aspersores
10. Adaptaciones tecnológicas: Salida principal  
Salida secundaria
11. Red de pluviómetros: spac.    capacidad    ml. Área    cm<sup>2</sup>.  
➤ Ensayo: hora de inicio    final    duración
12. VIENTO:  
Dirección relativa    inicio    durante    final  
Velocidad (m/s)    inicio    durante    final
13. Presión y descarga actual de los aspersores

DATOS DE LOS ASPERORES DURANTE LA PRUEBA DE EVALUACIÓN					
posición	mediciones	1º	2º	3º	4º
	Presión de funcionamiento. (bar)				
	Descarga (l/s)				
	Marca de los aspersores				
	Ø de las boquillas				
	Distancia entre aspersores				
	Ángulo de inclinación del porta-aspersor (%)				
	Presión de funcionamiento. (bar)	Inicio	Final	Duración	
	Presión de funcionamiento. (bar)				
	Descarga (l/s)				
	Marca de los aspersores				
	Ø de las boquillas				
	Distancia entre aspersores				
	Ángulo de inclinación del porta-aspersor (%)				
	Presión de funcionamiento. (bar)	Inicio	Final	Duración	
	Presión de funcionamiento. (bar)				
	Descarga (l/s)				
	Marca de los aspersores				
	Ø de las boquillas				
	Distancia entre aspersores				
	Ángulo de inclinación del porta-aspersor (%)				
	Presión de funcionamiento. (bar)	Inicio	Final	Duración	

### Croquis de la ubicación de los aspersores y pluviómetros

### LECTURA DEL VOLUMEN COLECTADO EN LOS PLUVIÓMETROS


**OBSERVACIONES:**.....

.....

.....

.....

.....

**Planilla de campo para la evaluación de un equipo de riego por aspersión de cobertura total ó de ala móvil**

Lugar: .....Observador: .....Fecha: .....

Cultivo: .....Profundidad radicular: .....

Humedad antes del riego: .....%

SUELO textura:..... DHS: .....mm. Pendiente: ..... %

ASPERSOR marca: .....Modelo: .....

Nº Boquillas:.....Ø boquillas: .....

Espaciamiento entre aspersores: .....Espaciamiento entre ramales: .....

Descarga del aspersor: .....1/h. a: .....atm/bares.

Ramal: diámetro: .....Pendiente .....%

Altura porta-aspersor: ..... Diametro: .....

Presiones y descargas actuales de los aspersores.

Mediciones	1º	2º	3º	4º	5º	6º
Presión de func. (bar)						
Descarga (l/s)						

VIENTO: Dirección relativa: inicio .....durante .....final.....

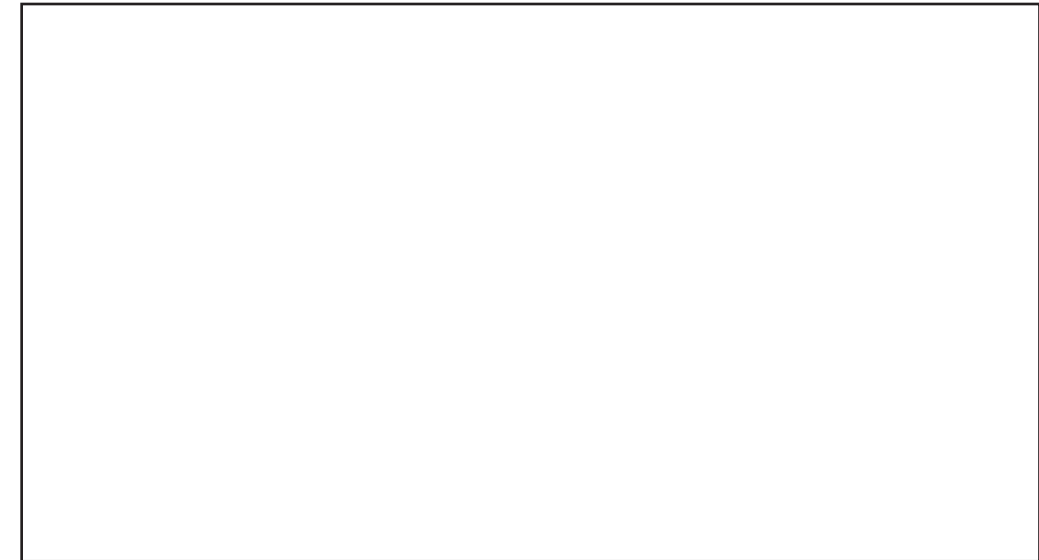
Velocidad (km/h): inicio .....durante .....final .....

Red de pluviómetros: Espaciamiento ..... m.

Capacidad.....ml. Área .....mm. Volumen/altura ..... ml/mm.

Hora de inicio: .....Final..... duración .....

**Croquis de la disposición de los pluviómetros**



**Volúmenes recogidos en ml**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

Evaporación en pluviómetros: inicial ..... final ..... perdida ..... mm.

Presión en aspersores: max. ....(bar). Min. ....(bar) media .....(bar)

Observaciones: .....  
 .....  
 .....

