



Proyecto GIRH

Proyecto Gestión Integral  
de los Recursos Hídricos

2

Cuadernillo de Capacitación  
**DETERMINACIÓN DE LA DIFERENCIA DE AL-  
TURA CON ESCUADRA DE MADERA**



Cochabamba - Bolivia  
2010

## PRESENTACIÓN

El Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA) es un centro de investigación y desarrollo de capacidades perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuarias, Forestales y Veterinarias "Martín Cárdenas" de la Universidad Mayor de San Simón (UMSS), iniciado el año 1991 con un convenio de cooperación internacional entre la UMSS y la Universidad de Wageningen de Holanda.

Viene trabajando en los municipios de Tiraque y Punata, en el marco de varios proyectos de investigación. El Proyecto GIRH, proyecto sobre la Gestión Integral de Recursos Hídricos, en coordinación con el PIEB y financiado por DANIDA, está orientado a sentar bases operativas y una estrategia para la GIRH en cuencas de Bolivia, en interacción con organizaciones de usuarios y gobiernos municipales. Concentra sus actividades en la cuenca Pucara del Valle Alto de Cochabamba (Tiraque - Punata). Asimismo, el Proyecto UMSS-ASDI-FC12, pretende contribuir al desarrollo de capacidades enfocadas a la innovación tecnológica en sistemas de riego y reúso de agua con fines agrícolas (alternativas de captación, almacenamiento y sistemas tecnificados), así como de tratamiento y descontaminación de aguas residuales, con una visión de gestión multi-sectorial del agua que incluya lineamientos y criterios para la conservación de los recursos hídricos de la cuenca. Se enmarca en un proceso de apoyo y fortalecimiento organizativo más amplio que se desarrolla en la Cuenca Pucara.

Uno de los componentes fundamentales de este trabajo coordinado es la capacitación, identificándose inicialmente una demanda de capacitación específica sobre riego por aspersión, en torno al cual se ha ido desarrollando material y equipos demostrativos de capacitación, entre otros, orientado principalmente a agricultores. Fruto de este esfuerzo es la elaboración de este cuadernillo de capacitación, enfocada en mostrar de forma sencilla y clara las características generales de los sistemas de riego por aspersión que se están adecuando a nuestras condiciones locales de topografía accidentada, sistemas de riego manejados colectivamente con todas sus implicancias, disponibilidad de agua cada vez menor y prácticas de riego en ladera muy difíciles, que obviamente repercuten en la eficiencia y uniformidad de riego logradas.

**Ing. MSc. Alfredo Durán N.**  
Coord. Proyecto UMSS-ASDI-FC12

**Ing. MSc. Oscar Delgadillo I.**  
Coord. Proyecto GIRH

## CONTENIDO

---

1. Introducción .....	1
2. Construcción de la Escuadra de madera .....	2
3. Determinación de la diferencia de altura con la escuadra de madera .....	3
Determinación de la longitud de tubería requerida. ....	3
Manejo de la escuadra de madera en campo para determinar la diferencia de altura.....	4
Determinación en gabinete de la altura de agua disponible. ....	6
4. Elección de los aspersores .....	11
5. Tipos de aspersores .....	11
Aspersores de presión media .....	12
Aspersores de presión alta .....	12

---

## 1. Introducción

En las últimas décadas se ha comenzado a difundir y poner en práctica nuevas tecnologías de riego en nuestro medio, sobre todo el riego por aspersión y en zonas de ladera por una razón muy simple, aprovechar los desniveles que existen entre la fuente de agua y las zonas de riego debido a la pendiente natural del terreno como fuente de energía para hacer funcionar los aspersores.

Sin embargo, muchos emprendimientos han sido realizados empíricamente, sin una determinación precisa de los desniveles existentes así como de la altura de presión real existente, el cual es de vital importancia a la hora de escoger los aspersores y lograr un funcionamiento óptimo.

A raíz de esto, es que nos animamos a abordar en este cuadernillo una forma sencilla y práctica de determinar estos desniveles con bastante precisión, así como la longitud total de la manguera requerida desde la fuente de agua hasta la parcela y dar las pautas necesarias para poder escoger los aspersores de acuerdo a la altura de presión disponible.

Cabe aclarar que esta manera de determinar el desnivel existente entre dos puntos no pretende sustituir otras formas de medición con equipos más sofisticados y precisos (taquímetro, nivel de ingeniero, estación total, eclímetro, altímetro), sino permitir que los mismos agricultores puedan determinar también este desnivel a través del uso de un instrumento sencillo construidos por ellos mismos y con materiales disponibles y accesibles fácilmente

Enfatizar que este cuadernillo estará orientado básicamente a la determinación de desniveles para equipos móviles de riego por aspersión (EMRAs), aunque la metodología podría ser útil también para determinar los desniveles existentes para sistemas de mayor envergadura.

Asimismo, aclaramos que los cálculos o referencias a los conductos presurizados (Mangueras) estarán referidos solamente a Mangueras de polietileno de alta o baja densidad ("politubos") y a las Mangueras flexibles de lona, materiales de gran aceptación en nuestro medio.

El objetivo de este cuadernillo es dotar de material de consulta dirigida principalmente a agricultores, que les permita determinar el desnivel disponible desde su parcela hasta su fuente de agua y poder elegir el tipo de aspersor para un funcionamiento óptimo principalmente cuando se va implementar equipos móviles de riego por aspersión (EMRAs). Este cuadernillo también puede servir como material de apoyo a técnicos que trabajan en el campo y puedan usarlo para determinar la diferencia de altura así como para capacitar a agricultores.

## 2. Construcción de una escuadra de madera

La construcción de la Escuadra de madera, instrumento de medición del desnivel, es muy sencilla y los materiales son accesibles.

### Materiales requeridos:

- 3 metros de listón de madera  
1 x 2 pulgadas.
- 1 Serrucho
- 10 clavos de 2 pulgadas
- 1 Flexómetro
- 1 marcador permanente
- 1 plomada de albañil
- 1 hilo de nylon o de algodón  
de 100 m.
- 1 escuadra de albañil
- 1 martillo



### Procedimiento de construcción:

1. Primeramente se debe cortar el listón de madera vertical de un metro y medio de largo (aconsejable), aunque este largo puede variar de acuerdo a la estatura de la persona que va a operar. Luego cortar otro listón vertical de 1m de largo, para la horizontal.

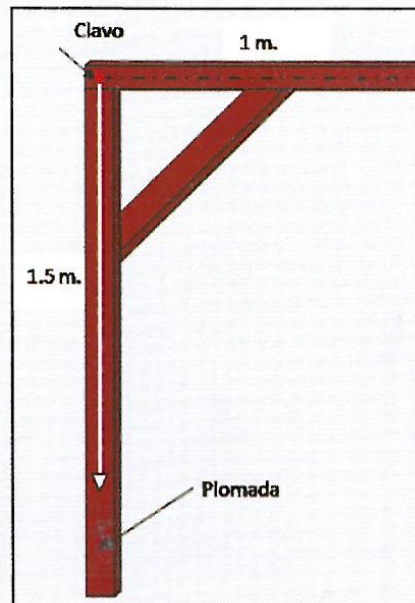
## DETERMINACIÓN DE LA DIFERENCIA DE ALTURA CON ESCUADRA DE MADERA

2. Posteriormente, estos dos listones deben unirse en forma de L, con clavos. Con la ayuda de una escuadra de albañil, se debe formar un ángulo recto. Después se debe fijar la escuadra con otro listón auxiliar en forma diagonal. Este ayudará a sostener y mantener firmemente la escuadra de madera.

3. Una vez terminada la escuadra se debe colocar un clavo al medio de la unión de ambos listones vertical y horizontal y también se debe trazar con el marcador una línea gruesa al medio de estos dos listones, los cuales servirán como guía para la plomada y para el hilo que se jalará en forma horizontal.

4. Y por último se amarra el hilo de la plomada y el hilo que se jalara en forma horizontal.

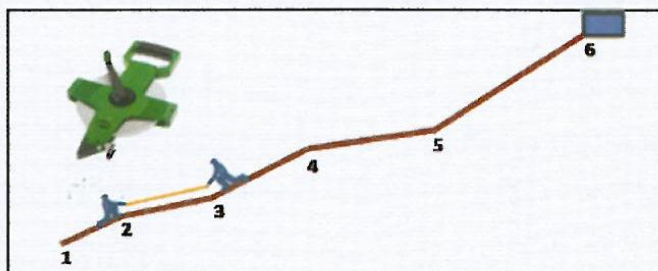
El instrumento debe ser lo más liviano posible, para que sea fácil y rápido de manejar en campo.



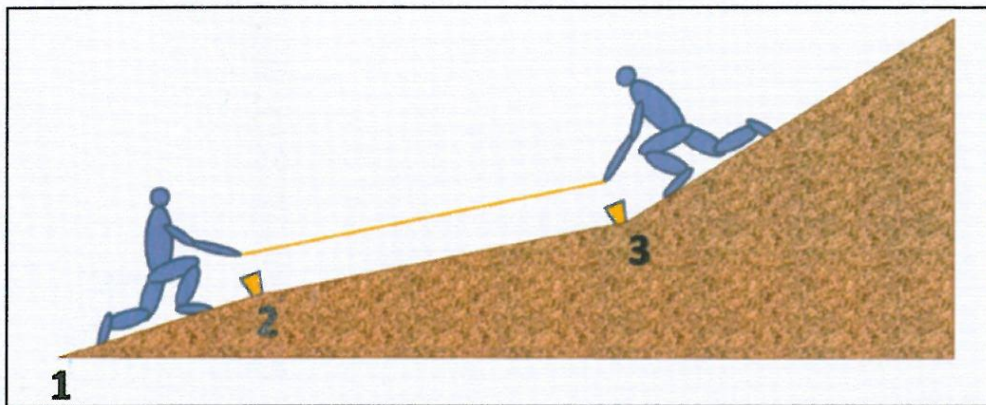
## 3. Determinación de la diferencia de altura con la escuadra de madera.

### *Determinación de la longitud de tubería requerida*

La longitud total de la manguera se determina con la ayuda de una huincha. La longitud total se debe medir desde el punto donde se tomará el agua hasta la última



parte donde se va a regar. Esta longitud será la manguera o tubería total que necesitaremos para poder llevar el agua de la fuente de agua, así como para presurizar el agua debida a la pendiente, que servirá para hacer funcionar los aspersores y así poder regar.



### ***Manejo de la escuadra de madera en campo para determinar la diferencia de altura.***

Determinar la diferencia de altura entre la fuente de agua y la parcela a regar es un dato importante que se debe considerar al momento de implementar equipos móviles de riego por aspersión.

En campo para determinar la diferencia de altura con la escuadra de madera, se debe empezar de abajo hacia arriba:

- 1.- Ubicar la escuadra en la parte inferior de la parcela en donde se ubicarían la última línea de aspersores. Una vez ubicada se debe colocar en forma vertical la escuadra con la ayuda de la plomada.
- 2.- Con la ayuda de otra persona se debe jalar el hilo en forma horizontal orientado por la persona que tiene la escuadra en forma vertical.
- 3.- Una vez ubicado el hilo en forma horizontal se debe fijar el punto con la ayuda de una estaca o piedra.

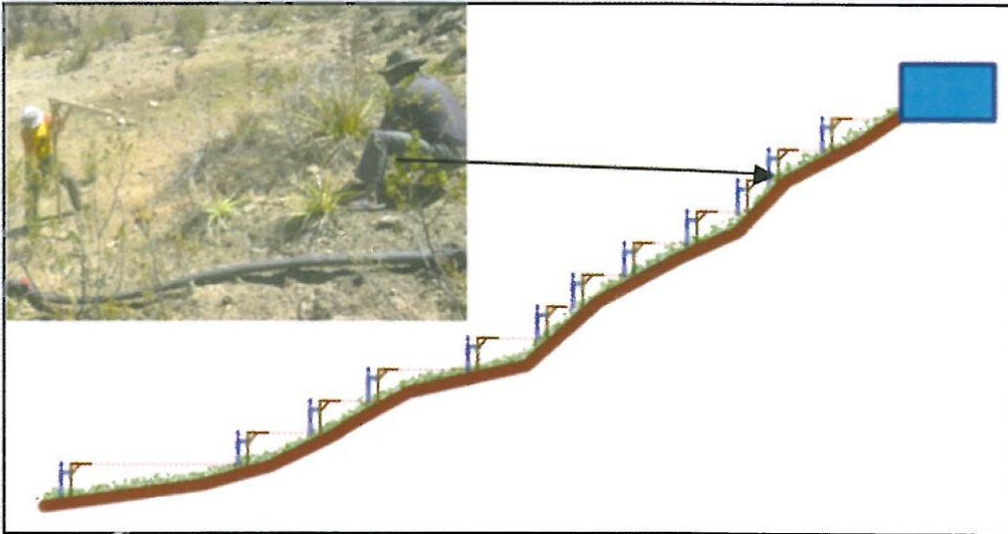
## DETERMINACIÓN DE LA DIFERENCIA DE ALTURA CON ESCUADRA DE MADERA



Foto 1. Agricultor determinando el desnivel con ayuda de la escuadra de madera.

4.- Se debe repetir el procedimiento nuevamente, ubicando la escuadra en forma vertical en el punto marcado anteriormente y guiar a que el hilo quede horizontalmente y marcar nuevamente (Figura 1).

5.- Este procedimiento se debe repetir hasta llegar a la fuente de agua.



6.- Una vez llegado a la fuente agua se debe contar el número de repeticiones que se han realizado (en el caso de nuestro ejemplo de la figura se han realizado 12 repeticiones).



### ***Determinación en gabinete de la altura de agua disponible.***

Obtenida los datos de campo, se procede a determinar la diferencia de altura disponible desde la fuente de agua hasta la parcela a ser regada.

Datos:

- Altura de la escuadra (h): 1.5 m
- Número de repeticiones (n): 12

Para determinar la altura total (H) se multiplica la altura de la escuadra por el número de repeticiones.

$$H=h \times n$$

$$H=1.5 \text{ m} \times 12=18 \text{ m}$$

Esto significa que tenemos 18 metros de desnivel total, pero esta altura no es la altura disponible. A ésta se debe restar o quitar las pérdidas por fricción en la manguera y las pérdidas locales. Debido a que se utiliza muy frecuentemente cierto tipo de materiales para las mangueras así como ciertos diámetros de estas mangueras y cierto número de aspersores, tratando de facilitar a la gente que quiere determinar la altura total disponible para el funcionamiento de los aspersores, se han elaborado tres gráficos que les permitirá determinar, en función a la longitud de manguera, el diámetro de la manguera así como el número de aspersores a utilizar, las pérdidas por fricción y pérdidas locales debidas a los accesorios.

Datos:

- Altura total de desnivel H= 18 m.
- Longitud total de la manguera L=75 m. (50 m de matriz de 2 pulgadas y 25 m de manguera de lona de 1.5 pulgada)
- Pérdida total de altura en el equipo Hf=2.5 m. (este dato podemos sacar de las gráficas de acuerdo al diámetro que se utilizará en el equipo como matriz y como ramal, el cual ya es la pérdida total de altura en el equipo)
- Altura disponible?. (Hd)= ?

$$H_d=H_l-H_{f_l}$$

$$H_d=18\text{m.}-2.5\text{m.}=15.5 \text{ m.}$$

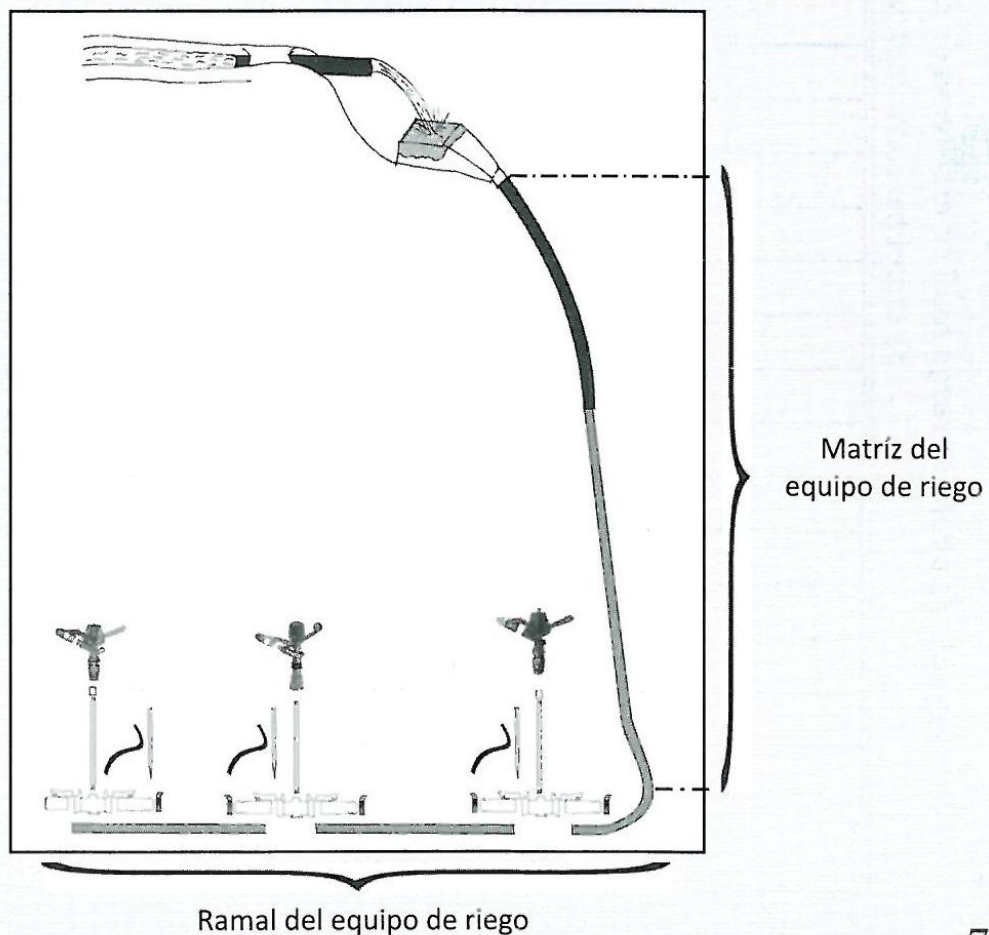
## DETERMINACIÓN DE LA DIFERENCIA DE ALTURA CON ESCUADRA DE MADERA

Esto significa que la altura disponible es de 15.5 metros (15.5 mca), en términos de presión es aproximadamente 1.5 bares.

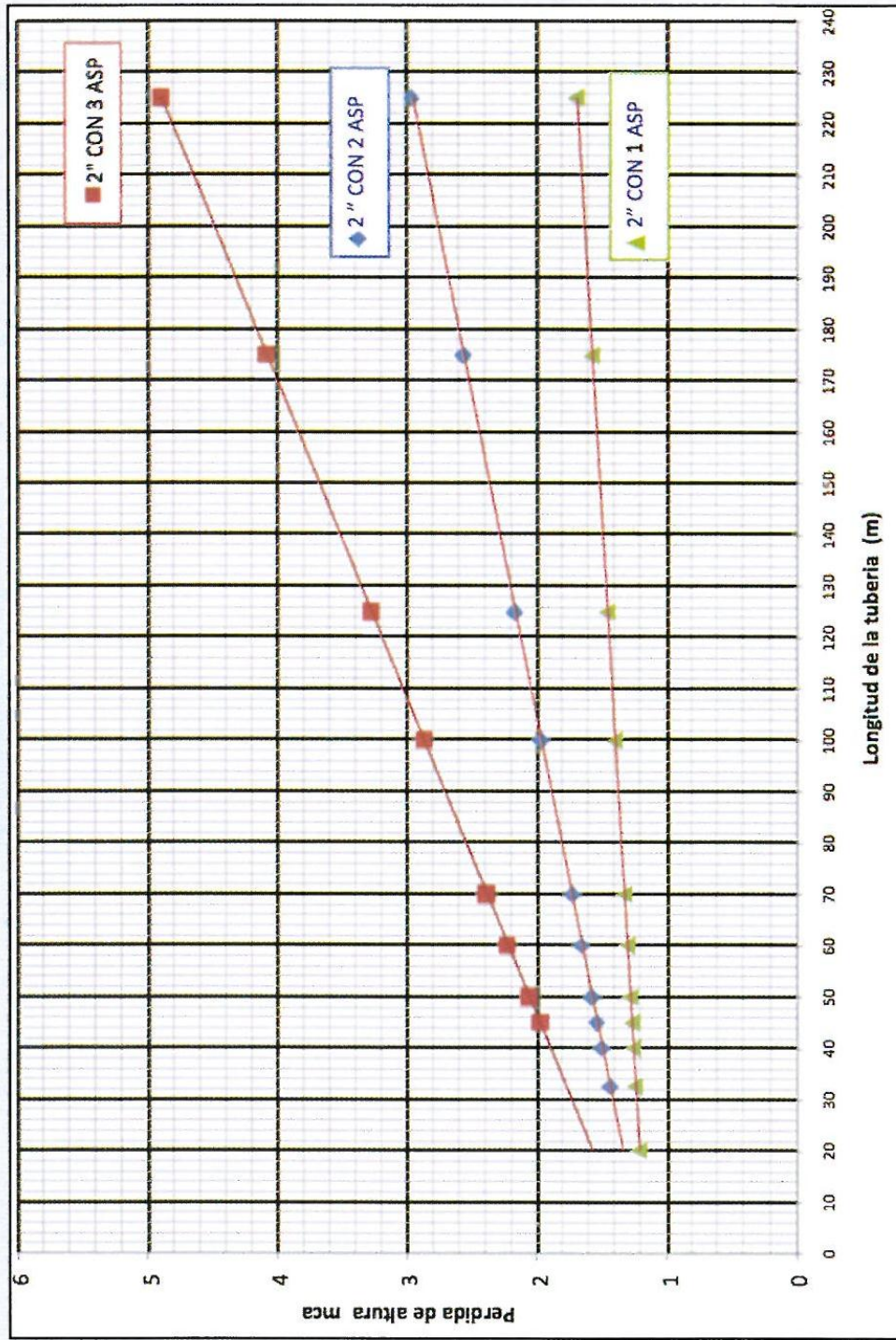
Con este dato podemos elegir el tipo de aspersor a utilizar para poder regar, en este caso podemos utilizar aspersores de presión baja, con el cual tendremos la certeza de que el equipo que vamos a comprar va funcionar sin problemas.

*Es importante conocer que 10,33 m de altura de agua es igual a 1 bar de presión de agua*

## Descripción del equipo portátil de riego por aspersión

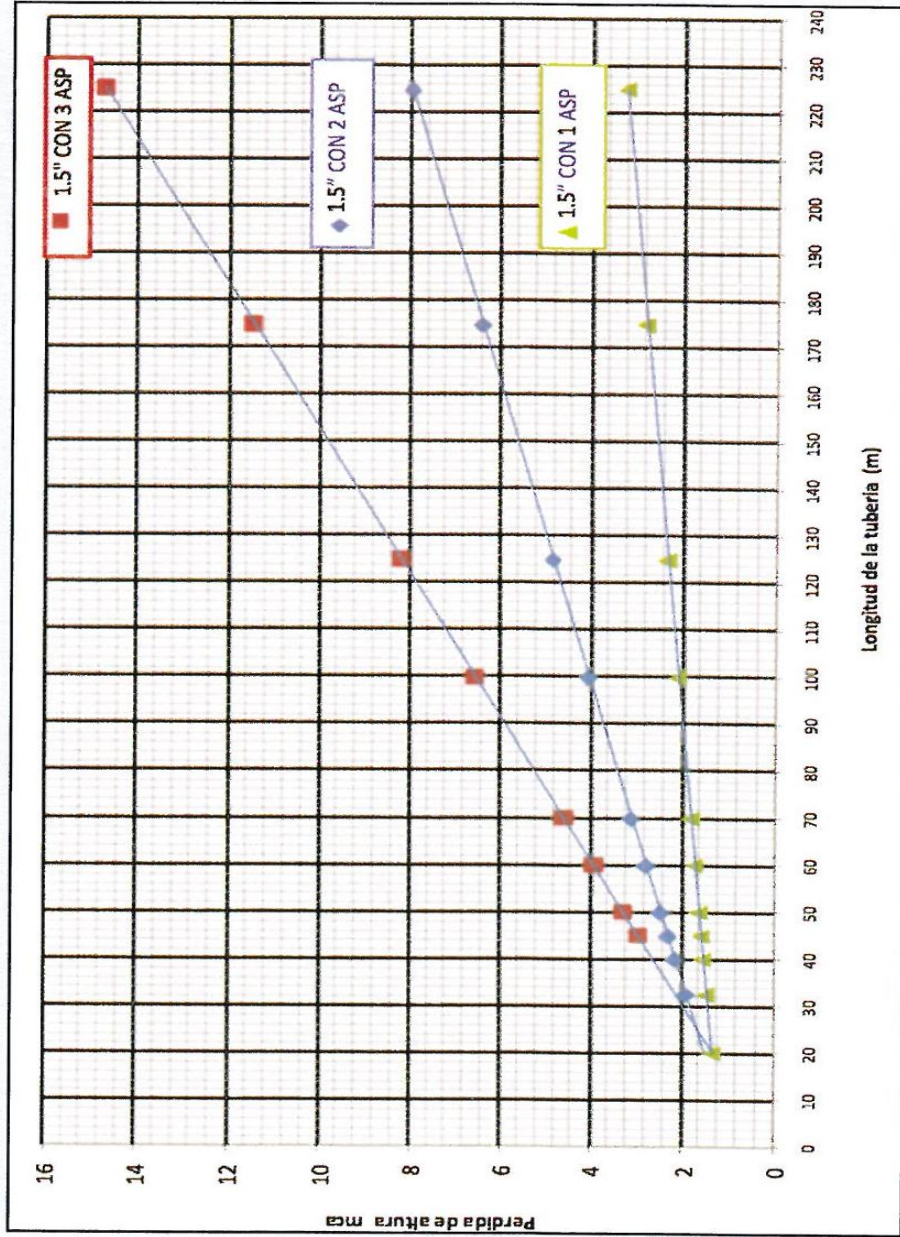


**Perdida de altura de carga total en el sistema de riego con una tubería de 2" de diámetro como matriz.**



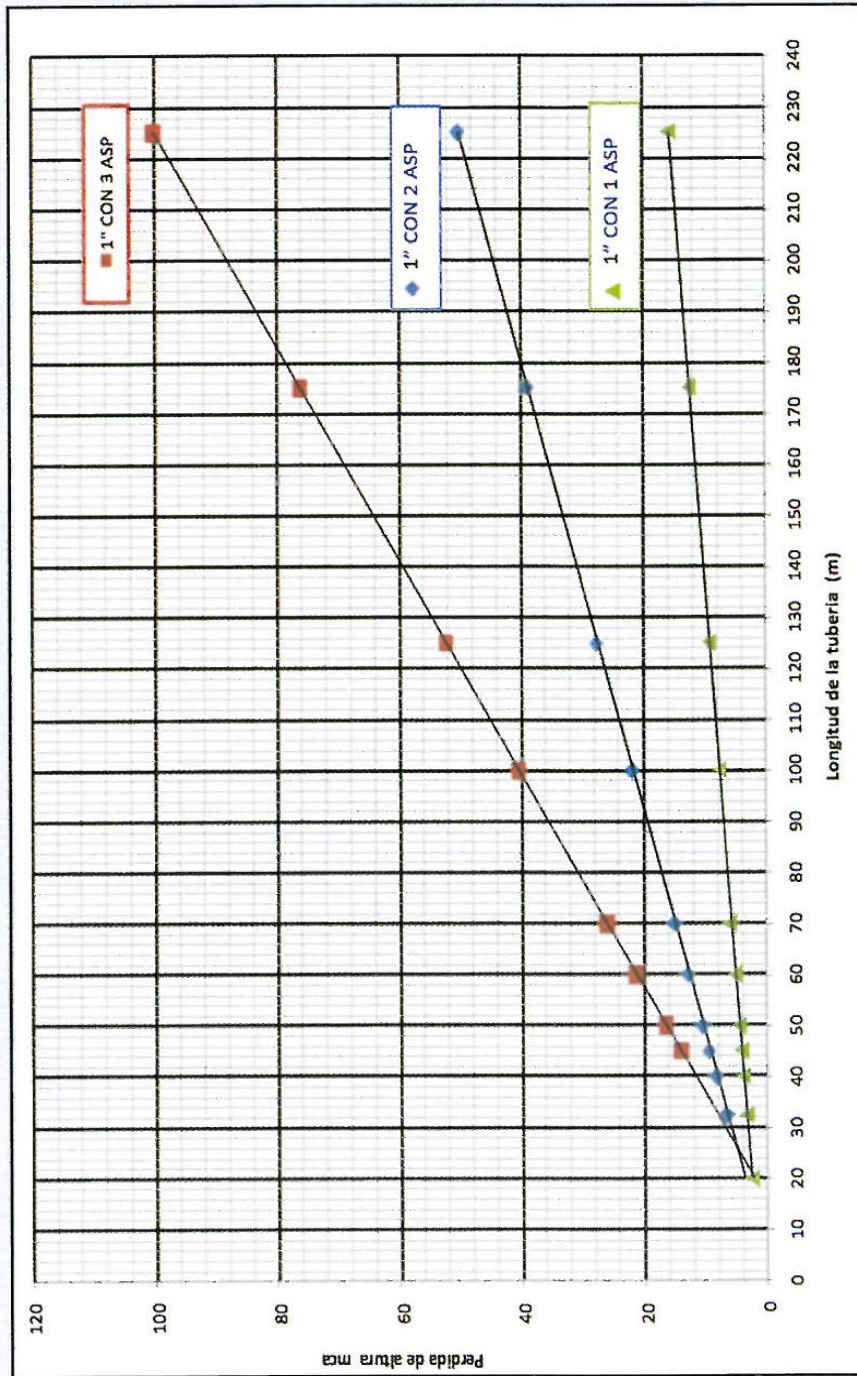
*Nota: En el gráfico se tiene la pérdida de altura total debida a la fricción en la conducción y por pérdidas locales debido a los accesorios. Aclarar que 25m de la tubería es de 1.5" de diámetro, los cuales están incluidos dentro la longitud total del equipo que deben ser considerados*

**Perdida de altura de carga total en el sistema de riego con una tubería de 1.5" de diámetro como matriz**



*Nota: En el grafico se tiene la perdida de altura total, es decir la perdida por conducción y las perdidas locales. Aclarar que tanto la matriz como el ramal es de 1.5" de diámetro*

**Perdida de altura de carga total en el sistema de riego con una tubería de 1" de diámetro como matriz**



*Nota: En el gráfico se tiene la pérdida de altura total, es decir la pérdida por conducción y las pérdidas locales. Aclarar que tanto la matriz como el ramal es de 1" de diámetro*

#### 4. Elección de los aspersores

Para elegir el tipo de aspersor a utilizar es importante conocer la altura disponible, en nuestro ejemplo tenemos una altura de agua disponible de 15.5 m. con esta altura de agua es que podemos elegir el aspersor que podrá funcionar óptimamente con la presión disponible.

Si observamos las características de los aspersores descritos, podemos elegir de acuerdo a la altura de agua disponible, los aspersores de presión baja, en el mercado de la ciudad de Cochabamba podemos encontrar por ejemplo los aspersores Xcel-Wobbler, lo cual es funcionar a partir de los 7m., hasta los 20 m de altura de agua.

#### 5. Tipos de aspersores

Los aspersores agrícolas pueden ser de giro regulable y completo y se clasifican de acuerdo a la presión de trabajo en aspersores de presión baja, media y alta.

##### *Aspersores de presión baja*

Estos aspersores trabajan con presiones de 0.7 a 2 bares, lo que significa que requieren de 7 a 20 m de altura de agua o columna de agua disponible.

Un ejemplo es el aspersor Xcel-Wobbler que tiene un diámetro de mojado de 14 m.



*Xcel-Wobbler*

### ***Aspersores de presión media***

Estos aspersores trabajan con presiones de 2 a 5 bares, lo que significa que requieren de 20 a 50 m de altura o columna de agua disponible.

Ejemplos de estas tenemos los aspersores NAAN 233, 322, RAIN BIRD 30H, Riegos Costa y otros, que mojan un diámetros de 25 a 30 m y actualmente existen cañones que trabajan con presiones de 2 a 5 bares.

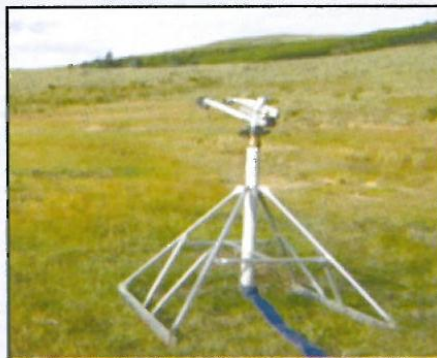


NAAN 233 B-AF

### ***Aspersores de presión alta***

Estos aspersores trabajan con presiones mayores a 5 bares, lo que significa que requieren más de 50 m de altura de agua disponible.

Un ejemplo de estos tenemos los aspersores tipo cañón de presión alta que mojan diámetros hasta de 80 - 90 m.



**CARACTERÍSTICAS GENERALES DE  
SISTEMAS DE RIEGO POR ASPERSIÓN**

**Comité Editor:**

---

**Coordinación:** Oscar Delgadillo Iriarte

**Texto:** Jesús Jiménez Pardo  
Walter Cáceres Camacho

**Diseño:** Jesús Jiménez Pardo

**Impresión:** LIB. E IMPRENTA M&R ~~de~~ Barcelona



“Yakuga kawsayninchej  
chayrayqu sumajta  
apayqachana”

“El agua es nuestra vida  
por eso hay que manejar bien”



**CENTRO ANDINO  
PARA LA GESTIÓN  
Y USO DEL AGUA**

**Oficina Cochabamba:**

Facultad de Agronomía  
Av. Petrolera Km 5  
Telf.: 4762382 Fax: 4762380  
Casilla: 4926 Cochabamba Bolivia  
E-mail:

[centroagua@centro-agua.org](mailto:centroagua@centro-agua.org)

Web: [www.centro-agua.org](http://www.centro-agua.org)

Web: [www.girh.centro-agua.org](http://www.girh.centro-agua.org)

**Oficina Tiraque**

Av. Montes s/n entre Av. Cordeco  
(frente sud-oeste feria campesina)  
Telf.: 4570177



Universidad Mayor de  
San Simón



Facultad de Ciencias  
Agrícolas y Pecuarias



Centro Andino para la  
Gestión y Uso del Agua



Agencia Sueca de  
Desarrollo Internacional



Agencia Danesa de  
Cooperación Internacional



Programa de Investigación  
Estratégica en Bolivia