

## I. INTRODUCCION.

El riego, se considera como una ciencia milenaria, en algunos países el riego se estableció como una actividad de vital importancia, entre los casos de pueblos con vocación en la irrigación se tienen a los antiguos egipcios, chinos, babilonios e hindúes. El agua que requieren los cultivos es aportada en forma natural por las precipitaciones, pero cuando ésta es escasa o su distribución no coincide con los períodos de máxima demanda de las plantas, es necesario aportarla artificialmente, es decir a través del riego. Cisneros A.R. (2003).

Por otra parte, es sabido que las actividades agropecuarias son la base de la alimentación y de sobrevivencia para el hombre, por esta razón cada una de sus áreas o disciplinas de estudio e investigación, deben fortalecerse para producir más con menos recursos y a un menor costo. El riego agrícola, por su estrecha relación con el uso, el manejo y la conservación del agua, es una de estas áreas dentro de la agricultura que requiere de mayores estudios, avances tecnológicos y de la aplicación de los mismos sin deteriorar el medio ambiente.

Menciona Palerm V. J. (1997); la historia del origen de la civilización se encuentra estrechamente vinculada a la agricultura de riego y a la construcción y administración de sistemas hidráulicos. Las consecuencias sociales de las necesidades de la administración de obra hidráulica son motivo de interés para los estudiosos del origen de la civilización y también son motivo de interés en la sociedad contemporánea. Tiene particular importancia los tipos de administración de sistemas de riego.

Contribuye también Martínez S. T (2000), que la agricultura de riego es posiblemente el complejo tecnológico que más influencia ha tenido en la historia de la humanidad; es el complejo tecnológico que permitió dar el paso de una cultura de agricultores primitivos a la civilización, es decir a culturas urbanas y a la posibilidad de sostener y conformar grupos de especialistas dedicados a otras innovaciones tecnológicas y a otras temáticas culturales: arquitectura, escultura, pintura, filosofía, literatura y otras muchas cosas incluyendo actos de barbarie humana: tecnológicos y sociales. La agricultura de riego es el primer tipo de agricultura que, en el mundo primitivo, con muy poco instrumental tecnológico, permite la producción de excedentes.

La agricultura de riego tiene además otro importante significado, la construcción, aún a pequeña escala, de obra hidráulica, el mantenimiento de la infraestructura hidráulica, la distribución del agua obligan a un esfuerzo colectivo que implica gran cohesión social, donde el individuo necesariamente debe someterse a las decisiones de la colectividad.

Bolivia es un país con tradición milenaria en producción agrícola bajo riego, que data desde antes de la Colonia, enraizada en las culturas Quechua y Aymara. La producción agrícola bajo riego ha tenido avances desde la creación de la República, sin embargo no han permitido cubrir el incremento de la demanda debido al crecimiento de la población; actualmente un valioso porcentaje de la demanda nacional de productos agrícolas bajo riego es importada de países vecinos como Perú, Argentina y Chile, entre estos productos podemos citar: Uva, durazno, papa, cebolla, manzana, etc., menciona J. C. Soza (2011).

La Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia, establece que el agua es un derecho humano, el mismo que debe ser garantizado para su consumo como agua potable y riego para la producción de alimentos orientados a la soberanía alimentaria en el país. Sobre esta línea el Plan Nacional de Riego recupera este criterio como “Agua para la producción agropecuaria” con base en la “soberanía alimentaria”, por tanto la temática del Riego se constituye en una prioridad nacional donde actualmente se vienen realizando grandes inversiones en la gestión integral del riego, en concurrencia económica, financiera y técnica de la cooperación internacional. Bajo este marco se promulgaron diferentes disposiciones gubernamentales de orden estructural como ser la Ley N° 144 de Revolución Productiva Comunitaria Agropecuaria que se considera dentro de la integralidad de la misma, al agua y al riego como componentes que fortalecen las bases productivas. INIAF (2011).

### **1.1 Presentación y justificación del trabajo dirigido.**

El agua es un líquido elemento necesario para el desarrollo de la vida, dicho líquido debe ser garantizado en todas sus etapas de desarrollo de los vegetales para la producción alimenticia, para este fin se realiza el riego en suelos con cultivos para la producción agrícola, por ello justifica el trabajo denominado “Determinación del requerimiento hídrico de los cultivos bajo riego en las comunidades de San Luis y El Temporal”.

## **1.2 Características y objetivos de la Unidad Técnica Ejecutora de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y Gestión Integral de Recursos Hídricos (UTEPTAR – GIRH).**

En la década de los 80's se creó el Proyecto Múltiple San Jacinto para encarar un proyecto complejo técnica y socialmente como era la Represa Multipropósito. Con ese mismo criterio se ha creado la Unida Desconcentrada UTEPTAR-GIRH para cumplir con el objetivo de Sanear el Río Guadalquivir, con la implementación integral de sus componentes como ser:

1. Gestión Integral de Recursos Hídricos.
2. Educación Ambiental.
3. Tratamiento de Aguas Residuales (Domésticas e Industriales).
4. Reúso de Aguas Tratadas con fines productivos.

No se puede considerar aisladamente el tema de saneamiento de aguas; es decir, solo como infraestructura física. Aclarando que Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales no se hacen cada año, sino cada 20 o 30 años, por ello se hace necesario mantener la UTEPTAR-GIRH como la entidad que debe llevar adelante la construcción de la Planta de Tratamiento y sus otros componentes.

### **MISIÓN:**

Desarrollar, implementar y poner en funcionamiento los diferentes componentes del proyecto planta de tratamiento de aguas residuales y gestión integral de recursos hídricos en el valle central de Tarija en sus diferentes fases o etapas hasta la conclusión del mismo dentro los parámetros de calidad, presupuesto y tiempo establecido por la Gobernación Departamental, el cofinanciador y los beneficiarios del proyecto.

### **OBJETIVO:**

Mejoramiento del tratamiento y el reciclaje de las aguas residuales domésticas e industriales de la ciudad de Tarija a través de la implementación de sus diferentes componentes de la moderna planta de tratamiento de aguas residuales - PTAR.

## **1.3 Objetivos del trabajo dirigido.**

### **1.3.1 Objetivo general.**

Determinar el requerimiento de agua de los diferentes cultivos representativos en las comunidades de San Luis y El Temporal, a través de la determinación del balance hídrico, que permita cuantificar el volumen de agua necesaria para el desarrollo de la producción agrícola.

### **1.3.2 Objetivos específicos.**

- Identificar los cultivos representativos y realizar un calendario de cultivos, en el área de estudio, a través de la aplicación de encuestas a los agricultores con sistema de riego.
- Cuantificar la superficie cultivada, de los distintos cultivos representativos bajo riego en las comunidades de San Luis y El Temporal, por medio de la visita de campo in-situ y medición de las superficies mediante G.P.S. (Sistema de Posicionamiento Global) del programa Google Earth.
- Determinar el volumen de agua de riego, requerido por los diferentes cultivos representativos regados, mediante un balance hídrico elaborado por el software ABRO 02. Ver. 3.1 (Área Bajo Riego Optimo) en las comunidades de San Luis y El Temporal.

## **II. MARCO TEORICO.**

### **2.1 Dinámica de los derechos de agua e intervenciones de riego**

Los derechos de agua no son derechos estáticos sino más bien dinámicos que pueden ser modificados de acuerdo a cambios sociales, económicos, ecológicos, climáticos (Boelens, 2008) y políticos. Por lo tanto, los cambios que se presenten implican que estos derechos deben ser ajustados a través de procesos de negociación donde las relaciones de poder y percepciones de equidad, configuran una nueva normativa (Boelens, 2008).

Uno de los factores también que influyen en la dinámica de los derechos de agua es las intervenciones de proyectos de riego. En este sentido, las intervenciones (sean de agencias gubernamentales, privadas) producen cambios en los derechos. Por un lado éstas influyen en la disponibilidad de agua para la distribución entre los usuarios, y por otro lado, en la creación de nuevos derechos (o cambiando unos que ya existían) a través de trabajos relacionados con la infraestructura que los proyectos requieren de los usuarios (Beccar, Boelens, Hoogendam, 2002).

Según Gerbrandy y Hoogendam (2001), mencionan que cuando existe un falta de claridad desde un inicio antes de la intervención de proyectos es cuando los usuarios se interponen a una iniciativa ya que no existe una definición de los futuros derechos de agua (Gerbrandy y Hoogendam, 2001). Al respecto Beccar, Boelens y Hoogendam (2002) señalan que necesariamente debe existir el esclarecimiento de los derechos y obligaciones tanto para los beneficiarios como para aquellos que contribuyen, de tal manera establecer un co-operación subsecuente (Beccar, Boelens, Hoogendam, 2002).

### **2.2 Ley No. 2878 (Promoción y Apoyo al Sector del Riego) y la transferencia de la gestión de riego.**

El objetivo de la Ley 2878 de Promoción y Apoyo al Sector Riego para la Producción Agropecuaria y Forestal es normar y regular el aprovechamiento de recursos hídricos y fuentes de agua destinados para el riego tanto para la producción agropecuaria como forestal, además de establecer un marco institucional para este propósito y para la resolución de conflictos relacionados con el agua para riego (Orellana y Alurralde, 2007).

Establecida la Ley y sus reglamentos, aparece el término de ‘transferencia’, que vinculado al riego está señalado en los siguientes artículos: En el Art. 19 “La administración y el manejo de la infraestructura de los sistemas de riego, mejorados o nuevos, construidos o por construirse con recursos públicos, serán transferidos a las diferentes organizaciones de usuarios a través del Servicio Nacional de Riego (SENARI)” (Ley de Riego, No. 2878).

Art. 12 (Reglamento “Gestión de Sistemas de Riego, Proyectos y Servidumbres”), numeral II sobre la responsabilidad de la administración de la infraestructura: “Cuando finalice la construcción de los proyectos de sistemas de riego mejorados o nuevos y entre en funcionamiento un sistema de riego, la administración, el manejo y la operación de la infraestructura, deberá ser transferida a responsabilidad de las comunidades u organizaciones beneficiarias, por tiempo indefinido...” (Decreto Supremo No. 28819 Gestión de Sistemas de Riego, Proyectos y Servidumbre).

### **2.3 Precio del agua.**

Menciona Erazo (2010), que ante todo debemos decir que, en la mayoría de los casos, el precio que se paga por el agua es mucho menor que el coste marginal necesario para su obtención, sea cuál sea el método utilizado. El metro cúbico de agua de riego puede valer desde unos céntimos, cuando se paga mínimo hasta 100 o más pesos cuando se usa agua desalinizada. Como se ve la variación es enorme y, casi siempre, varía en función no solo de su escasez, sino también del rendimiento económico del cultivo. Parece lógico suponer que el usuario es el beneficiario del agua y que, en consecuencia, debe pagar los costes necesarios para que pueda utilizarla, como son los de captación y transporte. Ciertos estudiosos del tema propugnan sumar los posibles costes marginales, así como los posibles beneficios que se puedan producir; También parece claro que el precio del agua debe servir para racionalizar su consumo, permitiendo el nuevo diseño y modernización de las estructuras del riego, así como el mantenimiento adecuado de las mismas, sin las cuales es difícil dicha racionalización. Sin embargo, dicho precio no debe alcanzar valores que impidan la competitividad. Además parece justo que pague más quien más gaste, es decir el que riegue con peores eficiencias o rendimientos, malgastando parte del agua.

## **2.5 Propiedades físicas del suelo.**

En el suelo, podemos distinguir diferentes propiedades interactuando entre sí originando a su vez una diversidad de tipos de suelos, en función de la incidencia de cada una de ellas. Las principales propiedades del suelo son: físicas, químicas y biológicas. En el presente capítulo abordaremos la primera.

Mencionaremos las propiedades físicas más importantes del suelo: textura, estructura, densidad aparente, densidad real, porosidad, distribución de poros por el tamaño, consistencia, infiltración, permeabilidad, conductividad hidráulica, percolación y color. A continuación se explicará cada una de ellas, (Cisneros A. R. 2003).

### **2.5.1 Textura del suelo.**

Según Erazo C. M. (2010), la textura en todos los sentidos, es una de las propiedades más importantes del suelo y que incide en muchas otras características o propiedades de los suelos. En el riego y el drenaje, la textura juega un papel fundamental, en el cálculo de láminas de riego, de lavado, en el proyecto y diseño de sistemas de riego y de drenaje. Por esta razón haremos una descripción amplia de la misma.

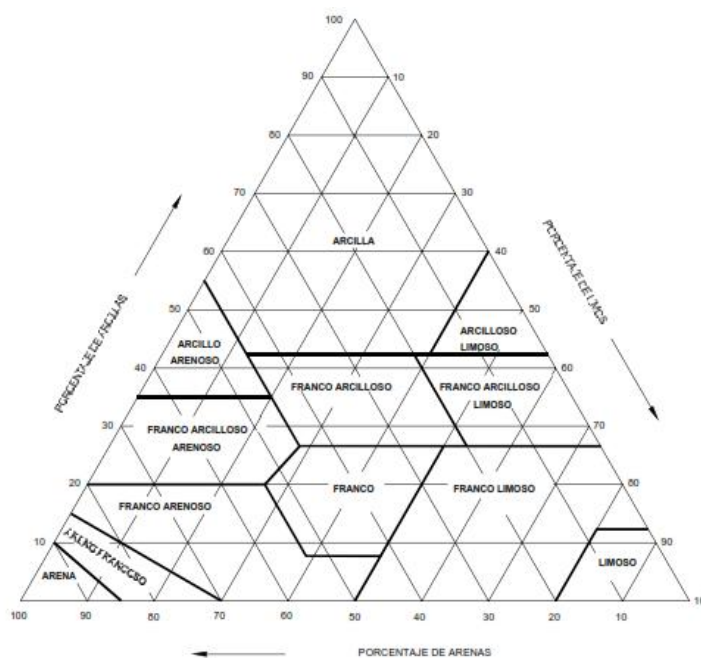
La textura se refiere a las proporciones porcentuales de las agrupaciones por tamaños de los granos individuales en una masa de suelo. Se refiere específicamente a los porcentajes de arcilla, del limo y de las arenas de menos de 2 mm de diámetro. Si las partículas mayores de 2 mm están presentes en cantidades significativas, al nombre de la textura se le agregará el adjetivo de gravoso o pedregoso según sea el caso.

Se han propuesto muchas escalas granulométricas, pero dos de ellas son las más usadas en la edafología: El Sistema Internacional, propuesto por Atterberg, y el sistema usado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (U.S.D.A.), que en parte es coincidente con el primero, aunque establece más separaciones. Los análisis mecánicos de suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos se reportan generalmente en ambos sistemas. En nuestro país, se ha extendido el sistema del U.S.D.A. Enseguida se presentan ambos:

**Cuadro 1. La textura y su variación en diámetro.**

FRACCIONES	LIMITES DE LOS DIAMETORS (mm)	
	SISTEMA USDA	SISTEMA INTERNACIONAL (Atterberg)
ARENA MUY GRUESA	2.0 – 1.0	
ARENA GRUESA	1.0 – 0.5	2.0 – 0.20
ARENA MEDIA	0.5 – 0.25	
ARENA FINA	0.25 – 0.10	0.20 – 0.02
ARENA MUY FINA	0.10 – 0.05	
LIMO	0.05 – 0.002	0.02 – 0.002
ARCILLA	< 0.002	< 0.002

Rara vez una muestra de suelo estará constituida totalmente por una sola fracción. Por ello, se observa en el cuadro 1, las clases de textura están basadas sobre distintas combinaciones de arena, limo y arcilla. La textura del suelo las posibles combinaciones de ellas se presentan gráficamente en el triángulo de las texturas como el que se muestra enseguida:

**Figura 1. Triángulo de las texturas.**



Como se observa en la figura 1, el triángulo de texturas, los nombres de las clases de suelos básicamente se apoyan en los términos: Arena, limo, arcilla y migajón o franco, usados ya sea como nombres o adjetivos o ambos. Las clases texturales que se muestran son doce, éstos son:

**Cuadro 2. Rangos de partículas correspondientes a las distintas clases texturales.**

CLASIFICACION TEXTURAL	% ARENAS	% LIMO	% ARCILLA	TIPO
ARENAS	85-100	0-18	0-10	LIGERO
ARENA MIGAJON	70-90	0-30	0-15	LIGERO
MIGAJON ARENOSO	52-82	0-48	0-20	LIGERO
MIGAJON ARCILLO ARENOSO	45-80	0-28	20-35	MEDIO
MIGAJON ARCILLO LIMOSO	0-20	20-72	28-40	MEDIO
FRANCO	24-52	28-50	8-28	MEDIO
MIGAJON LIMOSO	0-50	50-80	0-28	MEDIO
MIGAJON ARCILLOSO	20-45	15-52	28-40	MEDIO
LIMO	0-20	80-100	0-12	MEDIO
ARCILLA ARENOSA	45-65	0-20	35-55	PESADO
ARCILLA	0-45	0-40	40-100	PESADO
ARCILLA LIMOSA	0-20	40-60	40-60	PESADO

1. ARENA
2. ARENA MIGAJONOSA
3. MIGAJON ARENOSO
4. MIGAJON (FRANCO)
5. MIGAJON LIMOSO
6. LIMO
7. MIGAJON ARENO ARCILLOSO
8. MIGAJON ARCILLOSO
9. MIGAJON ARCILLO LIMOSO
10. ARCILLA ARENOSA
11. ARCILLA LIMOSA
12. ARCILLA

Las clases que llevan el término "areno" o "arenoso" se suelen modificar además con los términos "muy fino", "fino", "grueso" y "muy grueso".

En relación con la fertilidad y absorción de agua, podemos mencionar que en los suelos de textura fina donde predomina la arcilla se tiene una mayor capacidad de absorción de nutrientes, usualmente son más fértiles. En los suelos arenosos se tienen poros grandes y permiten una más rápida infiltración del agua. Sin embargo, los suelos arcillosos tienen una mayor capacidad de retención de agua debido a su mayor área superficial; tienen un volumen de vacío total, mayor que los suelos arenosos.

Resumiendo el triángulo de las texturas y lo que hemos mencionado en relación con el porcentaje de partículas y el tipo de suelos, presentamos el siguiente cuadro:

### 2.5.2 Estructura del suelo.


Desde el punto de vista morfológico, es el grado, forma o modo en que las partículas integrantes de un suelo, se asocian entre sí, componiendo en forma natural grupos unidos sin la intervención del hombre.

Los agregados son unidades secundarias o gránulos de muchas partículas de suelo enlazadas o cementadas por sustancias orgánicas, óxidos de hierro, carbonatos, arcillas o sílice. Los agregados naturales se denominan *peds* (granos) y varían su estabilidad en el agua; los *terrones* son masas coherentes de suelo, de cualquier forma, que se han quebrado por un medio artificial como la labranza.

La estructura afecta la penetración del agua, el drenaje, la aireación y el desarrollo de las raíces, incidiendo así en la productividad del suelo y las facilidades de la labranza.

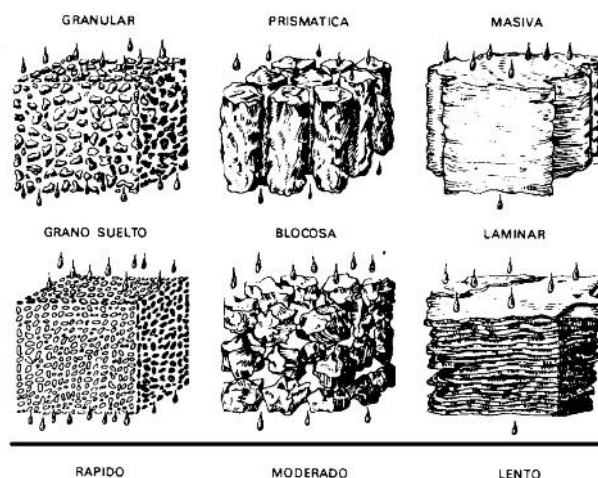
Los diferentes tipos de estructura más comunes se presentan enseguida:

**Cuadro 3. Tipo de estructuras y sus características.**

ESTRUCTURA	CARACTERÍSTICA
<b>a. Granular.</b> Relativamente no porosos; agregados pequeños (tamaño menor de 2 cm de diámetro), esferoidales, no ajustados a los agregados adyacentes. Se localizan comúnmente en el horizonte "A".	
<b>b. Migajosa.</b> Relativamente porosos; agregados pequeños y esferoidales no ajustados a los agregados adyacentes. Se localizan comúnmente en el horizonte "A".	
<b>c. Laminar.</b> Agregados similares a placas; las dimensiones verticales de los agregados en posición natural son menores que sus dimensiones horizontales. Las placas a menudo se superponen e impiden la permeabilidad. Se encuentran generalmente en el horizonte "A2", en suelos de bosques y estratos arcillosos.	
<b>d. Bloques angulares.</b> Bloques limitados por otros agregados cuyas caras angulares bien definidas, forman el molde de estos. Los agregados a menudo se rompen en bloques más pequeños. Se localizan generalmente en el horizonte "B".	
<b>e. Bloques subangulares.</b> Gránulos similares a bloques limitados por otros agregados, cuyas caras angulares redondeadas forman el molde del gránulo. Se localiza generalmente en el horizonte "B".	
<b>f. Prismática.</b> Agregados similares a columnas con las partes superiores no redondeadas. Otros agregados forman el molde del ped. Algunos agregados prismáticos se rompen en peds de bloques más pequeños. Se localiza generalmente en el horizonte "B".	
<b>g. Columnar.</b> Se caracteriza porque las dimensiones verticales de los agregados en posición natural son mayores que sus dimensiones horizontales. Las columnas están separadas por grietas verticales y generalmente quebradas por grietas horizontales. Las cabezas de las columnas son redondeadas y se encuentran muy a menudo en el horizonte "B" en suelos alcalinos (sódicos).	

De acuerdo con la estructura presente en un suelo se presentan características específicas en relación con otras propiedades físicas del suelo, entre las más importantes se encuentra la infiltración (propiedad muy importante en aspectos de riego). La siguiente figura 2, describe la relación que tiene la estructura con la infiltración.

**Figura 2. Tipos de estructuras de suelo.**



Los suelos granulares (esferoidal) y los de grano simple (sin estructura) tienen una rápida infiltración, los bloques y los prismáticos tienen velocidades moderadas y suelos laminares y masivos tienen baja velocidad de infiltración.

**Cuadro 4. Relación de la estructura con la velocidad de infiltración.**

Tipos de Estructura	Velocidad de Infiltración
Granular	Rápida
Migajosa	Rápida
Laminar	Lenta
Bloques angulares	Lenta
Bloques Subangulares	Moderada
Prismática	Moderada
Columnar	Moderada

## 2.6 La infiltración del agua en el suelo.

La infiltración es una propiedad física muy importante en relación con el manejo del agua de riego en los suelos. Se refiere a la velocidad de entrada del agua en el suelo. La velocidad de infiltración es la relación entre la lámina de agua que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo, se expresa generalmente en cm/hr o cm/min.

La cantidad de agua que se infiltra en un suelo en una unidad de tiempo, bajo condiciones de campo, es máxima al comenzar la aplicación del agua en el suelo y disminuye conforme aumenta la cantidad de agua que ya ha entrado en él.

Ortiz y Ortiz (1980), mencionan que los factores principales que determinan la magnitud del movimiento del agua por infiltración son:

- ✓ Textura. Los porcentajes de arena, limo y arcilla presentes en el suelo. En un suelo arenoso se favorece la infiltración.
- ✓ Estructura. Suelos con grandes agregados estables en agua tienen proporciones de infiltraciones más altas.
- ✓ Cantidad de materia orgánica. Altas proporciones de materia orgánica sin descomponer propician que una mayor cantidad de agua entre al suelo.
- ✓ Profundidad del suelo a una capa endurecida “hardpan”, lecho rocoso u otras capas impermeables influyen en la infiltración. Los suelos delgados almacenan menos agua que los suelos profundos.
- ✓ Cantidad de agua en el suelo. En general un suelo mojado tendrá una menor infiltración que un suelo seco.
- ✓ Temperatura del suelo. Los suelos calientes permiten mayor infiltración del agua que los suelos fríos.
- ✓ Cantidad de organismos vivos. A mayor actividad microbiológica en los suelos habrá una mayor infiltración. Un caso típico es la elaboración de pequeños túneles por las lombrices, los cuales favorecen la infiltración y la penetración de las raíces así como la aireación.

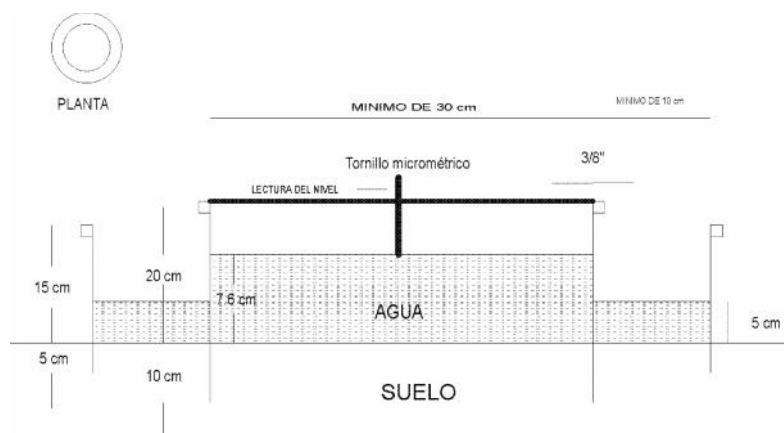
**Cuadro 5. Clasificación de la magnitud de infiltración.**

CLASIFICACION	MAGNITUD	CARACTERISTICAS
MUY LENTA	< 0.25	Suelos con un alto contenido de arcilla.
LENTA	0.25 – 1.75	Suelos con un alto contenido de arcilla, bajo contenido de materia orgánica o suelos delgados.
MEDIA	1.75 – 2.50	Suelos migajones de suelos arenosos, migajones limosos.
RAPIDA	> 2.50	Suelos migajones arenosos o migajones limosos profundos y de buena agregación.

La determinación de la infiltración puede efectuarse en el campo, o siguiendo algunos de los métodos de laboratorio sobre muestras alteradas y/o inalteradas. Dentro de los métodos de campo existentes, uno de los más comunes por su facilidad es el método infiltrómetro de doble cilindro.

### 2.6.1 Método infiltrómetro de doble cilindro.

El método consiste en instalar en el terreno que se requiere determinar su infiltración, en un sitio característico y previamente limpiado de hierbas, desechos, piedras, etc., dos cilindros concéntricos de acero, huecos en el centro, con medidas aproximadas de 40 cm de alto, de 30 y 45 cm de diámetro respectivamente, según se muestra en la figura siguiente:

**Figura 3. Infiltrómetro de doble cilindro.**

Se coloca una placa de acero sobre ellos y se golpea hasta que penetren a una profundidad de 10 a 15 cm. Los cilindros deben estar a nivel. Una vez instalados, se llena de agua el anillo exterior, se cubre el anillo interior con un plástico lo más adherido a las paredes posible, se vierte agua y se mide el tirante con ayuda de un tornillo micrométrico o de una regla. Entonces empieza la prueba quitando el plástico rápidamente midiendo el tirante nuevamente y tomando el tiempo. Las lecturas se hacen a diferentes intervalos, dejando que baje el nivel de agua y volviendo agregar agua cuando se requiera (al hacer esto, al tiempo se lo denomina, tiempo muerto). Después de unas tres horas cuando el nivel de agua varié muy poco a nada, la prueba habrá terminado.

La explicación de usar dos anillos, es la de que el anillo exterior cuando se le vierte agua va a impedir que el agua del anillo interior fluya en sentido horizontal, esto causaría errores en la determinación de la infiltración en la cual se supone el flujo del agua es en sentido vertical.

## **2.7 Permeabilidad.**

Cualitativamente la permeabilidad del suelo se refiere a la facilidad con que éste conduce o transmite los fluidos (aire o agua). En su forma cuantitativa, se define la permeabilidad como la propiedad del medio poroso que es independiente del fluido usado para medirlas y por consiguiente de la viscosidad del mismo.

La permeabilidad se ve afectada por presencia de capas endurecidas, cambios texturales, presencia de materia orgánica, actividad microbiológica, paso de arado, etc. La labranza continua y con un uso excesivo de maquinaria se reduce la permeabilidad, mientras que el uso de la labranza de conservación, con la utilización de técnicas de aprovechamiento de agua, incorporación de residuos vegetales, estiércoles y otras técnicas, la permeabilidad se ve incrementada y la retención de agua se ve mejorada, por consiguiente habrá un mayor uso racional del agua y de los recursos relacionados con la agricultura.

**Cuadro 6. Clasificación propuesta para indicar la permeabilidad.**

CLASIFICACION	PERMEABILIDAD (cm/hr)
Muy lenta	menos de 0.15
Lenta	0.15 a 0.50
Relativamente lenta	0.5 - 2.0
Moderada	2.0 - 6.5
Relativamente rápida	6.5 - 15.0
Rápida	15 a 25
Muy rápida	más de 25

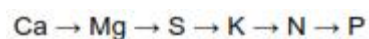
Por otra parte, es muy usual que la permeabilidad y la conductividad hidráulica se usen indistintamente. Esto se debe a que se supone la densidad del agua igual a la unidad y que la viscosidad permanece constante, aunque existe entre ellas diferencias de concepto.

En el sureste de los E.U.A., la permeabilidad es utilizada como valor requerido para fines de diseño de sistemas de drenaje parcelario. (Cisneros A.R., 2001).

## 2.8 Percolación.

Según Erazo C. M. (2010), al movimiento del agua a través de una columna de suelo se llama percolación. Ellos mencionan que los estudios de percolación son importantes por dos razones. Las aguas que percolan son la única fuente del agua de manantiales y pozos. Las aguas percolantes arrastran nutrientes de las plantas que se sitúan fuera del alcance de las raíces.

Las pérdidas por lavado son proporcionales a las cantidades de agua que pasan a través del suelo. Los nutrientes de las plantas se pierden en cantidades mayores cuando ningún cultivo en desarrollo absorbe los nutrientes. Se ha estimado que la proporción relativa de la pérdida de nutrientes del suelo por efecto del lavado se da en el siguiente orden:



Esta pérdida se efectúa sin considerar el uso y manejo que se le proporcione al suelo. Es obvio que utilizando prácticas agrícolas de conservación, habrá una mayor retención de agua y nutrientes.

## **2.9 El agua y la atmosfera del suelo.**

El contenido de agua en el suelo tiene un efecto principal sobre la disponibilidad de agua para el crecimiento vegetal. El agua tiene cuatro funciones fundamentales en las plantas: es el mayor constituyente del protoplasma (85 a 95%), es esencial para la fotosíntesis y la conversión de almidones en azúcar, es el solvente en el cual los nutrientes se mueven en y a través de las partes de la planta y provee de turgidez a la planta para mantenerla en la forma y posición apropiada.

La mayor parte del agua absorbida por las plantas se da a nivel de raíces aunque puede también hacerlo a través de las estomas en mínima proporción.

Para un uso óptimo del agua es necesario conocer cómo se encuentra en y a través del suelo, cómo el suelo almacena agua, cómo la planta lo absorbe, cómo se pierden los nutrientes del suelo por percolación y cómo medir el contenido de humedad y pérdidas de agua.

También se menciona, que el agua y la atmósfera forman respectivamente a la fase líquida y la fase gaseosa. La fase líquida está constituida por agua y la solución del suelo, (Castañón G., 2000).

## **2.10 Fuerzas de retención del agua.**

El estudio del agua del suelo, bajo el punto de vista agrícola, es muy importante ya que está estrechamente relacionada con la nutrición vegetal. Es por tanto necesario conocer cómo se encuentra retenida en el suelo y como se mueve a través del mismo.

Existen fuerzas de atracción entre los átomos de hidrógeno del agua y los átomos de oxígeno de las superficies minerales del suelo o de otras moléculas de agua, mantienen agua en el suelo en contra de la fuerza de gravedad. Esta atracción de los átomos de hidrógeno del agua por los átomos de oxígeno de minerales se conoce como *adhesión*; la fuerza de atracción de los átomos de hidrógeno del agua por los átomos de oxígeno de otras moléculas de agua se le llama *cohesión*. Estas fuerzas combinadas se presentan en gran cantidad, provocando que películas de agua de considerable espesor sean mantenidas en la superficie de las partículas del suelo.



Como las fuerzas que retienen el agua en el suelo son fuerzas de atracción superficial, entre más superficie (más arcilla y materia orgánica) tenga un suelo, mayor es la cantidad retenida de agua.

La fuerza con la que el agua es retenida en el suelo se mide como la fuerza requerida para empujar el agua fuera del suelo. Esta fuerza se le llama tensión o succión del suelo o potencial húmedo. Las fuerzas de retención son comúnmente medidas en bares o en atmósferas.

Podemos resumir lo anterior a través del concepto de *agua potencial* o *potencial de agua en el suelo*, el cual es un término usado en trabajos de investigación y se refiere a las fuerzas que retienen el agua en los suelos, es dado como un valor negativo.

La separación de la fuerza total de retención de agua ( $\Psi_T$ ) en sus fuerzas componentes se ilustra con la ecuación:

$$\Psi_T = \Psi_M + \Psi_g + \Psi_p + \Psi_\pi + \Psi_\Omega$$

donde:

$\Psi_T$  = potencial total del agua en el suelo (atm)

$\Psi_M$  = potencial mátrico, el mayor contribuyente a la fuerza total (atm)

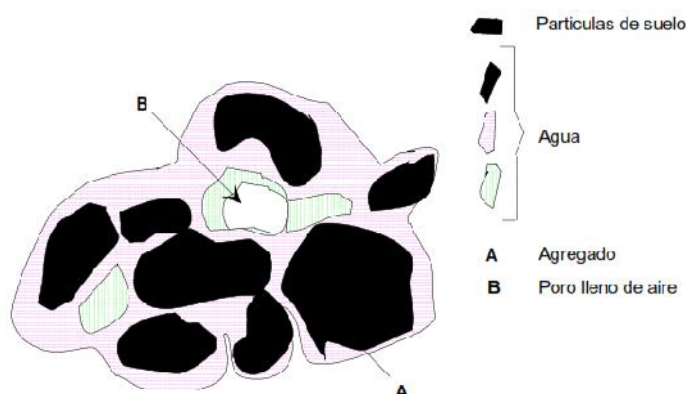
$\Psi_g$  = potencial de gravedad (atm)

$\Psi_p$  = potencial debida al peso del agua o presión de aire y es pequeña (atm)

### 2.11 Clasificación de humedad en el suelo.

Según Erazo C. M. (2010), los espacios entre las partículas del suelo forman una red de cavidades conectadas entre sí, de una variedad infinita de formas y dimensiones. Al suministrar agua en un suelo seco, ya sea por lluvia o por riego, ésta se distribuye alrededor de las partículas y es retenida por las fuerzas de adhesión y de cohesión; desplaza el aire de las cavidades y finalmente, llena los poros (ver figura siguiente).

**Figura 3. Formas presentes del agua y del aire en el suelo.**



Cuando los poros quedan llenos de agua se dice que el terreno está saturado y a su máxima capacidad de retención, debido a esto la película de agua alrededor de las partículas aumenta de espesor hasta que, las fuerzas de cohesión, que sostienen las películas de agua son menores que la fuerza de gravedad, provocando así su filtración. Esta agua que se filtra por acción de la gravedad y que drena libremente se conoce como *agua gravitacional o libre*.

Si se suspende el suministro de agua en la superficie, ésta continúa colocándose entre dichos poros durante varios días hasta que el agua libre logra filtrarse. Los poros se vuelven a llenar de aire y el agua contenida en los pequeños poros sigue moviéndose por capilaridad, a este tipo de agua se le conoce como *agua capilar*.

La evaporación en la superficie y la absorción de humedad por las plantas en crecimiento, reducen la cantidad de agua en el suelo hasta el punto que no se observa movimiento de capilaridad. El agua queda aprisionada herméticamente en forma de capas muy delgadas alrededor de las partículas del suelo; no puede ser aprovechada por la planta y empieza a marchitarse. Finalmente, el suelo queda tan seco que causa la muerte de la planta si se demora el suministro de agua al terreno. La parte restante del agua queda retenida entre las partículas superficiales, especialmente en los coloides del suelo, en forma tal que pierde su estado líquido y se desplaza en forma de vapor. A esta agua se le denomina *agua higróscopica*.

En realidad no existe una línea divisoria bien definida entre estos tipos de agua en el suelo. La forma y proporción en que se encuentran los tipos de agua depende de la textura, estructura, porosidad, materia orgánica, temperatura, profundidad del suelo, etc.

En general podemos resumir y englobar en términos de disponibilidad los tipos de agua presentes en el suelo en:

*Agua gravitacional.* Agua que drena por acción de la gravedad; este drenaje es más rápido en suelos arenosos que en los arcillosos. Esta agua sólo está disponible en mínima proporción en la zona de raíces cuando se mantiene una aireación adecuada y/o cuando deja de ser gravitacional para pasar a ser aprovechable.

*Punto de marchitez permanente (P.M.P.).* Es el porcentaje de humedad retenida a una tensión aproximada de 15 atm en la cual las plantas no pueden reponer el agua suficiente para recobrar su turgencia y la planta se marchita permanentemente. También el P.M.P. depende de la especie vegetal, de la cantidad de agua utilizada por los cultivos, profundidad de raíces, de la capacidad de retención del suelo, etc. En términos de tipo de agua el P.M.P. representa al agua no disponible, es decir, agua que se encuentra fuertemente retenida por diferentes fuerzas y que a las plantas se les dificulta su aprovechamiento.

*Capacidad de campo (C.C.).* Es el porcentaje de humedad que es retenida a una tensión de 1/3 de atm aproximadamente y es la medida de mayor cantidad de agua que un suelo retendrá o almacenará bajo condiciones de completa humedad, después de haber drenado libremente. Aunque depende del tipo de suelo, después de la saturación, el drenado libre dura aproximadamente entre uno a tres días.

*Agua disponible o humedad aprovechable (H.A.).* Es el agua que puede ser aprovechada por la planta y se define como la diferencia entre la humedad a capacidad de campo (retenida a una fuerza de 1/3 de atm) y el punto de marchitamiento permanente (humedad retenida a una fuerza de 15 atm aproximadamente).

## **2.12 Determinación de los parámetros de humedad.**

Menciona Cisneros A. R. (2003), los *parámetros de humedad* del suelo como también se les conoce a la capacidad de campo y al punto de marchitez permanente, pueden medirse en forma

directa en el campo y/o en el laboratorio, mencionaremos los métodos más comunes para cada uno de ellos:

### **2.12.1 Determinación de la Capacidad de Campo.**

- a. Método de campo o gravimétrico.
- b. Método de la olla de presión.
- c. Método de la humedad equivalente.
- d. Método de las columnas de suelo (de Colman).
- e. Método de la textura. Si nosotros conocemos la textura en su proporción de arena, limo y arcilla, podemos determinar la Capacidad de Campo en forma empírica utilizando una fórmula. Esta fórmula se estima con coeficientes para cada región, esto es:

$$C.C. = (\% \text{ arcilla}) a + (\% \text{ de limo}) b + (\% \text{ de arena}) c$$

Donde:

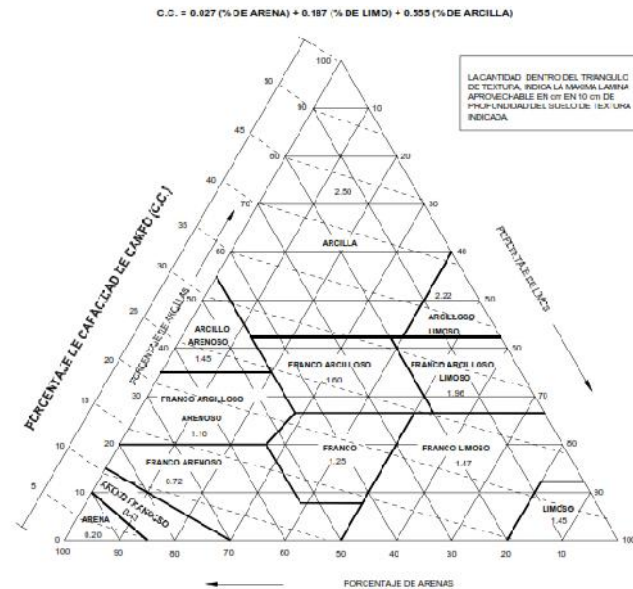
a, b, c: son coeficientes que se determinan para cada región y tipo de suelo.

En realidad se ha extendido tanto el uso de la fórmula, que en la práctica los coeficientes ahora parecen ser constantes para todo tipo de región, aún cuando esto no sea lo correcto. La fórmula que se utiliza en México es la siguiente:

$$C.C. = (\% \text{ arcilla}) (0.555) + (\% \text{ de limo}) (0.187) + (\% \text{ de arena}) (0.027)$$

Con esta ecuación se pueden marcar límites de valores dentro de un gráfico del triángulo de las texturas y encontrar gráficamente los valores aproximados de capacidad de campo partiendo de los datos de textura. La siguiente figura muestra lo anterior:

**Figura 4. Determinación de la capacidad de campo por medio de la textura.**



### 2.12.2 Determinación del Punto de Marchitez Permanente.

- a. Método de la membrana de presión.
- b. Determinación por fórmula. El PMP se puede determinar mediante el uso de una fórmula empírica muy sencilla, la cual se deriva de conocer el valor de la capacidad de campo (C.C):

$$PMP = \frac{CC}{1.84} \quad \text{o bien} \quad PMP = \frac{CC}{2.00}$$

### 2.12.3 Humedad Aprovechable o Disponible.

Cabe señalar que la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente es lo que se define como humedad aprovechable por las plantas. Si se considera que a capacidad de campo la humedad aprovechable es de 100% a punto de marchitez permanente será de 0%, entonces la lámina máxima que se puede aplicar a un suelo a una profundidad  $P_r$ , sin desperdiciar agua será:

$$Lr = \frac{(P_{scc} - P_{spmp}) \times Da \times Pr}{100}$$

donde:

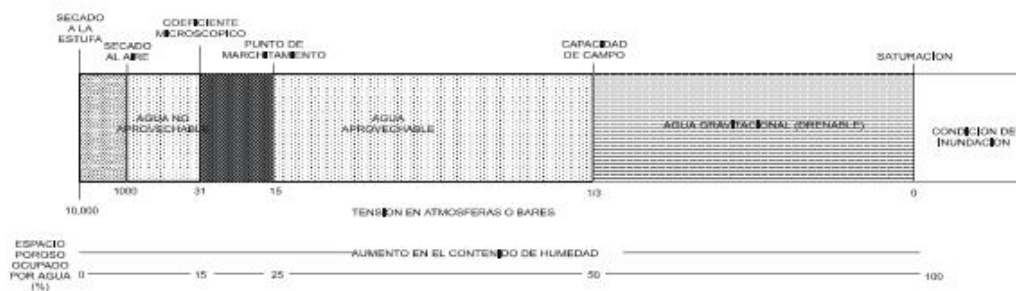
- Lr = lámina de retención máxima (cm)
- P<sub>scc</sub> = porcentaje de humedad a capacidad de campo (%)
- P<sub>spmp</sub> = porcentaje de humedad a punto de marchitez permanente (%)
- Da = densidad aparente (adimensional)
- Pr = profundidad de enraizamiento (cm)

### 2.13 Contenido de humedad del suelo.

Como ya se ha mencionado, los diferentes suelos tienen distintas capacidades para la retención del agua. Cuando en un suelo existe abundante agua y no se drena, las raíces de las plantas pueden morir por la carencia del oxígeno. Por otra parte, si poca agua está presente, el crecimiento de las plantas se detiene y finalmente sobreviene el marchitamiento.

Entre un suelo seco y uno saturado, existe una variación considerable de humedad; este contenido se puede expresar en porcentaje respecto del suelo seco. En la siguiente figura se pueden observar los diferentes tipos de humedad disponible o no disponible para las plantas, así como el espacio poroso ocupado por agua según el contenido de humedad:

**Figura 4. Contenido de humedad presente en el suelo.**



Cabe resaltar, que el contenido de humedad está muy ligado al tipo de textura del suelo y al contenido de materia orgánica: en suelos con alto contenido de arcilla y de materia orgánica aumenta la retención total de agua, aunque también origina grandes cantidades de agua

estrechamente retenidas por adhesión, en suelos de textura media tales como los francos pueden retener grandes cantidades de agua disponible, en estos el agua es retenida más suavemente, en suelos arenosos se retiene muy poca agua total y menos la cantidad de agua disponible.

**Cuadro 7. Parámetros de humedad según tipo de suelo.**

Textura del suelo	Punto de marchitez permanente (%)	Capacidad de campo (%)	Humedad aprovechable (%)
Arena media	1.7	6.8	5.1
Arena fina	2.3	8.5	6.2
Migajón arenoso	3.4	11.3	7.9
Migajón arenoso fino	4.5	14.7	10.2
Franco	6.8	18.1	11.3
Migajón limoso	7.9	19.8	11.9
Migajón arcilloso	10.2	21.5	11.3
Arcilla	14.7	22.6	7.9

## 2.12 Medida del contenido de humedad.

La principal razón por la que interesa medir el contenido de humedad en un suelo es por la de saber cuándo se requiere regar. El contenido de humedad de un suelo puede ser medido por varios métodos entre los que destacan los:

### Métodos directos:

Son métodos de campo y/o laboratorio con muestreo y/o secado. Su exactitud depende de la experiencia y habilidad por parte de quien los realiza. Ellos son:

1. Método al tacto
2. Método gravimétrico

### Métodos indirectos:

Son métodos basados en dispositivos utilizados en campo que se han ido perfeccionando e innovando tratando con ello de ser más precisos y de fácil operación. Estos son:

1. Tensiómetro

2. Bloques de yeso
3. Aspersor de neutrones
4. Medidor rápido de humedad “Speedy”
5. Medidor Watermark™
6. Medidor Aquater™
7. Termómetro infrarrojo

### **2.12.1 Métodos directos.**

1. Método al tacto.

Según Castañon G. (2000), este método es uno de los más antiguos y el más sencillo. La precisión depende en gran medida de la destreza y experiencia de quien lo realiza. Consiste en inspeccionar muestras de suelo en forma ocular y al tacto, utilizando una barrena para determinar la humedad a diferentes profundidades. Este método es similar al de la determinación de la textura al tacto, sin embargo, en este nos interesa conocer el contenido de humedad en el instante de muestreo, se toma la muestra a la profundidad deseada se amasa entre los dedos, se comprime y se intenta hacer bolas o cordones, según el estado que guarde será el contenido de humedad aprovechable que le falte al suelo. Una guía de lo anterior es la de que se presenta a continuación:



**Cuadro 8. Guía para determinar cuánta humedad en mm/m puede agregarse para que el suelo quede a capacidad de campo.**

Humedad Disponible Remanente	Tacto y aspecto del suelo y deficiencia de humedad en mm de agua por metro de suelo			
	Areno Francoso (textura gruesa)	Franco Arenoso (textura moderada gruesa)	Franco y Franco Limoso (textura media)	Franco Arcilloso o Franco Arcillo Limoso (textura fina a muy fina)
0 (punto de marchitez permanente) a 25 %	Seco, suelto, granulado, fluye a través de los dedos  67 - 83	Seco, suelto, fluye a través de los dedos  100 - 125	Polvoriento seco; a veces se encuentra en pequeñas costras que pueden desintegrarse fácilmente  125 - 167	Duro, muy seco, agrietado; a veces partes sueltas en la superficie  158 - 208
25 a 50 %	Seco en apariencia; no forma una bolita al presionarlo  42 - 67	Seco en apariencia; no forma una bolita  67 - 100	Algo suelto, pero se mantiene junto al amasarlo  83 - 125	Algo moldeable; forma una bolita al amasarlo  100 - 158
50 - 75 %	Seco en apariencia; no forma bolita al amasarlo  17 - 42	Tiende a formar una bola al presionarlo pero raras veces se mantiene junto  33 - 67	Se forma una bola relativamente plástica que resulta pegajosa cuando se presiona con los dedos  42 - 83	Se forma una bola o pequeños cilindros cuando se amasa entre el pulgar y el índice  50 - 100
75 - 100 %	Tiende a aglomerarse ligeramente; a veces bajo presión forma una bolita que disgrega fácilmente  0 - 17	Forma bolitas que se disgregan con facilidad; no es pegajoso.  0 - 33	Forma una bolita, es moldeable y pegajoso; tiene un alto contenido de arcilla  0 - 42	Se forman cilindros fácilmente al amasarlo con los dedos; tiene un tacto pegajoso  0 - 50
100 % (capacidad de campo)	Cuando se comprime, no sale agua del suelo, pero deja huella húmeda en la mano  0	Cuando se comprime, no sale agua del suelo, pero deja huella húmeda en la mano  0	Cuando se comprime, no sale agua del suelo, pero deja huella húmeda en la mano  0	Cuando se comprime, no sale agua del suelo, pero deja huella húmeda en la mano  0

\* La bolita se forma al amasar firmemente una cantidad de suelo

## 2.13 ¿CUÁNDO Y CUÁNTO REGAR?

Menciona Erazo C. M. (2010), son dos de las tres preguntas básicas que se hacen en el área de riego. Para contestarlas es preciso conocer el requerimiento de agua por las plantas y las características de los suelos, para ello se deben de estudiar los procesos de evaporación, transpiración y evapotranspiración; así mismo se requiere caracterizar los tipos de suelos a regar. Enseguida se mencionan los aspectos más importantes y se propondrán ejemplos para una mayor comprensión:

### 2.13.1 Evaporación.

La evaporación es el agua perdida en forma de vapor por el terreno adyacente a la planta, por la superficie del agua o por la superficie de las hojas de las plantas.

Los factores que afectan principalmente la evaporación, son:

1.- Climáticos (principalmente la radiación solar).

2.- Superficie evaporante.

La evaporación está en función de la radiación solar, latitud, estación del año, hora del día y nubosidad. También está en función de la temperatura del aire, presión de vapor, viento y presión atmosférica (Cisneros A. R. 2003).

### 2.13.2 Transpiración.

La pérdida de agua de las plantas en forma de vapor se le conoce como transpiración.

Tipos de transpiración:

Raíces -- xilema -- mesófilo de las hojas ----- estomas (transpiración estomática)

Raíces -- xilema -- corteza del tallo ----- epidermis (transpiración cuticular)

La transpiración está en función de factores climáticos: viento, humedad atmosférica, temperatura y radiación solar.

### 2.13.2 Consumo de agua por las plantas.

#### *Evapotranspiración      Uso consuntivo*

Evapotranspiración, es la cantidad de agua utilizada por las plantas para realizar funciones de transpiración más el agua que se evapora de la superficie del suelo en el cuál se desarrollan (Cisneros A.R. 2003).

#### 2.13.2.1 Diferencia entre evapotranspiración y uso consuntivo.

$E_t \cong U_C$  = uso consuntivo = agua que se evapora del suelo + agua transpirada por las plantas + agua utilizada para la construcción de los tejidos.

#### 2.13.2.2 Factores que afectan la evapotranspiración.

**Hídricos.-** Disponibilidad y calidad del agua de riego, método de riego, eficiencia de riego, drenaje.

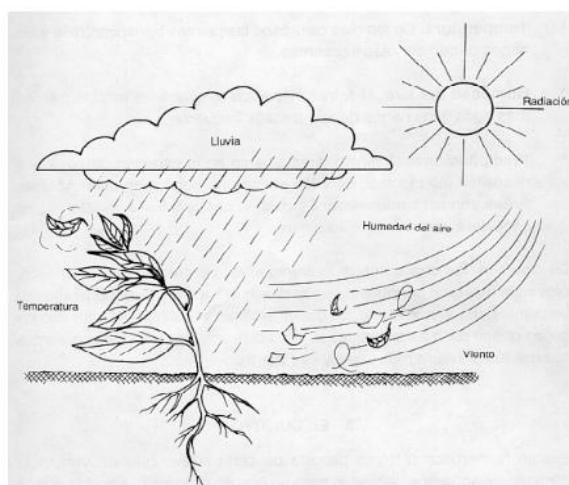
**Edáficos.-** Propiedades físicas y químicas del suelo como: textura, estructura, materia orgánica, salinidad, profundidad, fertilidad, estratificación.

**Vegetales.-** Variedad, especie, ciclo de cultivo, edad, características morfológicas de los estomas.

**Climáticos.-** Temperatura, humedad relativa, precipitación, viento, radiación solar.

Las características del clima que afectan la cantidad de agua que necesitan las plantas son en forma más esquemática la radiación, la temperatura, el viento y las precipitaciones. Ver siguiente figura.

**Figura 5. La radiación, el viento, la temperatura y las lluvias afectan la cantidad de agua que necesitan las plantas.**



- **Radiación.** A mayor radiación o luminosidad mayor evaporación, por lo tanto los riegos deben ser más frecuentes.
- **Viento.** A mayor velocidad del viento, el suelo se seca más rápido y las plantas transpiran más, requiriendo riegos más frecuentes.
- **Temperatura.** En los días calurosos, las plantas transpiran más y los riegos deben ser más frecuentes.
- **Humedad del aire.** Mientras más seco es el aire, las plantas pierden más agua y los riegos deben ser más frecuentes.

• **Precipitaciones.** Influyen directamente en la cantidad de agua que necesitan las plantas. Para los efectos de riego, un criterio práctico menciona que son útiles sólo las lluvias sobre 15 mm. Es decir, si cae una lluvia de 20 mm, se considera como riego sólo 5 mm.

### 2.13.3 Métodos para estimar la evapotranspiración.

- \* Métodos directos (utilizando instrumentos).
- \* Métodos indirectos (utilizando fórmulas empíricas).

#### 2.13.3.1 Métodos directos.

- A.- Gravimétrico
- B.- Lisimétrico
- C.- Evapotranspirómetro de Thornthwaite

#### A.- Método gravimétrico.

Se calcula con la siguiente fórmula:

$$L_i = Ps_i * Da_i * Pr$$

donde:

- L = lámina consumida durante el lapso considerado (m)
- Pr = espesor de la copa de muestreo (cm)
- Ps = variación del porcentaje de humedad respecto al peso del suelo seco, antes y después del riego (%)
- Da = densidad aparente del suelo (adimensional)
- i = 1, 2, 3, .....Nº de orden del estrato de muestreo

La Et total se calcula con la ecuación:

$$Et = \sum_{i=1}^n L_i$$

Donde:

$$n = \text{Nº de capas en las que se dividió la Pr.}$$

#### 2.13.4 Métodos indirectos.

Algunos investigadores han tratado de relacionar los datos climatológicos con el valor de la evapotranspiración logrando fórmulas que han permitido estimarla con diferentes aproximaciones; algunas son válidas para el lugar donde fueron estimadas pero otras son más o menos precisas aunque requieren de ajustes. Algunos de estos métodos son:

1. - Métodos basados en dispositivos evaporimétricos.
2. - Métodos basados en datos climáticos:

- Métodos de radiación.
- Métodos basados en la temperatura.
- Métodos por humedad relativa.

## 2. Métodos basados en datos climáticos.

Existen autores y datos climáticos que utilizaron predominantemente para estimar la evapotranspiración, aunque algunos de ellos utilizan varios datos climáticos. Se ha estimado que uno de los métodos más confiables es el de Penman, sin embargo tiene dificultades por el tipo de datos que requiere, además que tiene un cierto grado de complejidad para su instrumentación. En seguida se presenta una tabla de autores y sus principales datos utilizados.

**Cuadro 9. Métodos basados en datos climáticos por autores.**

Dato climático	Autores
A. Radiación	1.- Penman 2.- Makkink 2.- Jensen Haise
B. Temperatura	1.- Blaney y Criddle 2.- Thornthwaite 3.- Turc 4.- Hargreaves-Samani
C. Humedad relativa	1.- Hargreaves

### 2.13.4.1 Método de Penman Monteith utilizado por el programa ABRO (Área Bajo Riego Óptimo) para calcular la Evapotranspiración de cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>).

En zonas donde se disponen de datos meteorológicos: temperaturas promedio máximas y mínimas mensuales, la humedad relativa atmosférica, la velocidad del viento y la radiación solar o las horas de insolación; es recomendable utilizar la fórmula propuesta por Penman Monteith para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo de referencia, por ser ésta metodología la que mejor estima los efectos del clima sobre el desarrollo de los cultivos. El cálculo se realiza aplicando la siguiente expresión:

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (Rn) + \delta \frac{900}{T + 273} U2(es - ea)}{\Delta + \delta(1 + 0.34 U2)}$$

Donde:

ET<sub>o</sub> = Evapotranspiración de referencia (mm/día)

R<sub>n</sub> = Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/m<sup>2</sup>/día)

R<sub>a</sub> = Radiación extraterrestre (mm/día)

G = Densidad del flujo del calor del suelo (MJ/m<sup>2</sup>/día)

T = Temperatura media del aire a 2 m. de altura (°C)

U<sub>2</sub> = Velocidad del viento a 2 m. de altura (m/s)

e<sub>s</sub> = Presión de vapor de saturación (kPa)

e<sub>a</sub> = Presión real de vapor (kPa)

e<sub>s</sub> – e<sub>a</sub> = Déficit de presión de vapor (kPa)

D = Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa/°C)

g = Constante psicrométrica (kPa/°C)

En zonas en las que no se cuenta con datos agro climáticos completos, es posible aplicar la fórmula de Penman Monteith, a través de estimaciones de las variables faltantes, como velocidad del viento, humedad relativa y la radiación solar. Para la estimación de los datos faltantes en los diferentes casos, se han hecho las siguientes consideraciones:

**a).** Cuando no se cuenta con información sobre velocidad del viento; de acuerdo a los resultados obtenidos en estudios previos, así como las realizadas por el PRONAR, para todas las localidades se ha podido apreciar que realizando variaciones de la velocidad del viento a 2 m de altura desde 0.5 m/s hasta 4 m/s, que son los datos extremos utilizados, los resultados de Evapotranspiración de Referencia presentan una variación de + 1%. Estos resultados permiten afirmar que en caso de no contar con el dato de velocidad del viento es conveniente utilizar el valor ampliamente recomendado por diversos autores de 2m/s.

**b).** Cuando no se cuenta con información sobre Humedad Relativa; la Humedad Relativa o el Punto de Rocío son valores no siempre fáciles de hallar, pues la mayor parte de las estaciones son termo pluviométricas y no poseen instrumentos para determinar estos parámetros. Para ello

se propone la utilización de la fórmula de la presión de vapor para hallar la presión de saturación (es):

$$e_s = e^{\circ}(T) = 0.611 \exp [17.27 * T / (T + 237)]$$

Donde T sería la temperatura media ambiente del mes o periodo considerado, valor que es de fácil acceso por medio de la media de la Temperatura Máxima y la Temperatura Mínima.

Para hallar la presión real de vapor, en cambio, se aconseja utilizar la Ecuación anterior pero aplicando la Temperatura mínima (Tmin) en lugar de la Temperatura Ambiente:

$$e_s = e^{\circ}(T_{\min}) = 0.611 \exp [17.27 * T_{\min} / (T_{\min} + 237)]$$

En las áreas correspondientes al Altiplano Norte, mientras que en las áreas correspondientes al Altiplano Central y Sur (aproximadamente desde la Latitud Sur 17° y hacia el sur) se aconseja aplicar la Temperatura Mínima menos 3 grados centígrados:

$$e_a = e^{\circ}(T_{\min}-3) = 0.611 \exp [17.27 * (T_{\min}-3) / ((T_{\min}-3) + 237)]$$

De esta manera si se cuenta con las temperaturas máximas y mínimas se puede calcular fácilmente el Déficit de Presión de Vapor (es-ea).

c). Cuando no se cuenta con datos de Radiación Solar, la Radiación Neta Solar (Rn) se obtiene de restar Radiación Global (Rg) menos el Balance de Onda Larga (ROL):

$$R_n = R_g - ROL$$

La Radiación Global es un parámetro que depende de la nubosidad o que en algunos casos es medida directamente. Cuando se cuenta con los datos de nubosidad se puede hallar la radiación global con la siguiente fórmula:

$$R_g = (1 - a) (a + b * n/N) * R_a$$

Donde:

= albedo, por definición 0.23

a = constante de correlación igual a 0.28

b = constante de correlación igual a 0.52

$n$  = horas sol reales (se obtiene de los registros meteorológicos)

$N$  = horas sol máximas de acuerdo a la latitud y el mes (se obtiene de Tablas)

$R_a$  = Radiación Extraterrestre de acuerdo a la latitud y el mes (se obtiene de Tablas).

En caso de no existir los datos de nubosidad u horas sol reales, se puede hallar la  $R_g$  por medio de la aplicación del concepto establecido por Hargreaves por el que se establece que la diferencia entre la temperatura máxima y mínima se relaciona directamente con el grado de nubosidad en cualquier zona. Las condiciones en un día soleado resultan en altas temperaturas durante el día y bajas temperaturas durante la noche, mientras que un día nublado la temperatura máxima será más baja y la temperatura mínima será más alta. Entonces la diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas puede ser usada como indicadores de la Radiación Global que llega y es retenida por la superficie. La fórmula de Radiación postulada por Hargreaves ha sido calibrada y validada en varias localidades y es la siguiente:

$$R_g = 0.16 \sqrt{(T_{max} - T_{min})} * R_a$$

Esta aproximación ha sido calibrada en las localidades donde se trabajó con lisimetría y se ha podido apreciar que los resultados difieren en menos del 5 % con aquellos hallados utilizando la Ecuación para calcular el Balance de Onda Larga (ROL). De esta manera si no se cuenta con los datos de Radiación Global medida en forma directa o de horas sol reales ( $n$ ) solo con los datos de temperatura máxima y mínima y radiación extraterrestre, se puede lograr una muy buena aproximación del valor de  $R_g$ .

Por otra parte la ROL se halla de la siguiente ecuación:

$$ROL = s * ((T_{max} K + T_{min} K)/2) * (0.34 - 0.14 \bar{O}_{ea}) * (1.35 R_g/R_{so} - 0.35)$$

Donde:

ROL = Balance de Onda Larga

$T_{max} K$  = Temperatura máxima en grados Kelvin

$T_{min} K$  = Temperatura mínima en grados Kelvin



$e_a$  = Presión real de vapor calculada con ecuación 10

$R$  = Radiación global calculada con Ecuación 12 ó 13

$R_{so}$  = Radiación recibida en un día completamente despejado  $\gg 0.75 R_a$ .

De esta manera, sólo contando con datos de Temperaturas máximas y mínimas de una zona se puede calcular rápidamente la Radiación Neta para utilizarla en la fórmula de Penman-Monteith. También se puede afirmar que todo el cálculo de la fórmula de Evapotranspiración de Referencia puede ser llevado adelante en forma bastante precisa con sólo contar con los valores de termometría de cualquier zona.

Adicionalmente, con el objetivo de facilitar el procedimiento de cálculo de la  $E_{To}$ , se han desarrollado planillas de cálculo que pueden ser utilizadas bajo diferentes condiciones de accesibilidad de datos.

### 2.13 ¿Cuándo regar?

Los factores que influyen en la respuesta a la pregunta de cuándo regar, son principalmente:

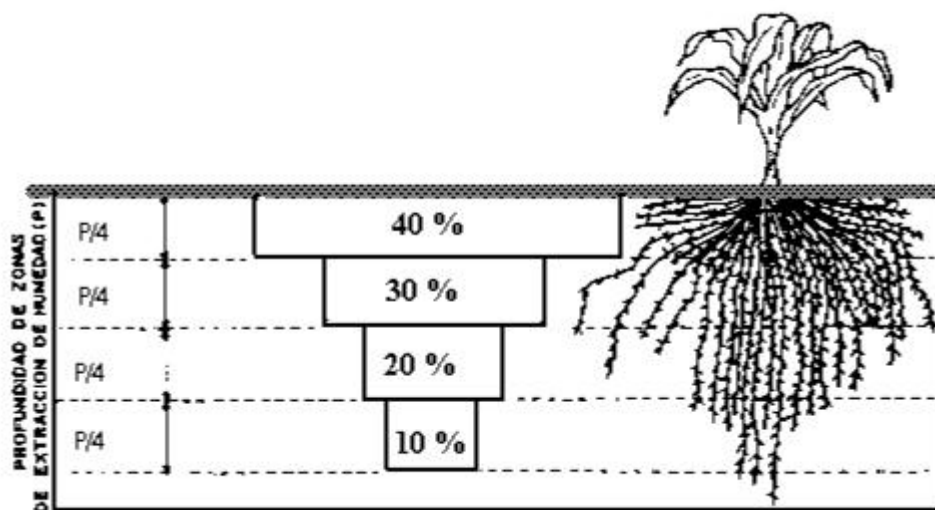
- ❖ La necesidad de agua de los cultivos.
- ❖ La disponibilidad de agua para el riego.
- ❖ La capacidad de la zona radicular para almacenar el agua.

La determinación del cuándo regar está en función principalmente del porcentaje de humedad en el suelo. Con base en este parámetro, existen métodos para determinar el cuándo regar, los principales son:

- Métodos gravimétricos.
- Métodos tensiométricos.
- Bloques de resistencia.
- Métodos combinados.
- Métodos basados en observación de la planta (altura, color, movimiento).

Existe un patrón de absorción de agua por las plantas suponiendo condiciones homogéneas en el suelo, éste se muestra en la figura 6. :

**Figura 6. Patrón de extracción de humedad de suelos homogéneos por las plantas.**



Se observa de acuerdo a esta figura, se divide en cuatro partes cada una con un porcentaje de absorción distinto sumando todas haciendo un total de un 100%, la mayor absorción se da en la primer parte desde arriba con un 40%.

### 2.15 Determinación del requerimiento de riego.

El requerimiento de riego, será el valor que nos indique la cantidad de agua que habrá que aplicarse a un cultivo, tomando en cuenta la evapotranspiración, una cantidad adicional de agua para lavado de sales y la precipitación del lugar.

Una vez calculada la evapotranspiración, se puede calcular el requerimiento de riego. Este se calcula con la siguiente ecuación:

$$Rr = Et + R_l - Pe$$

Donde:

Rr = requerimiento de riego (cm)  
 Et = evapotranspiración (cm)  
 R<sub>l</sub> = requerimiento de lavado (cm)  
 Pe = precipitación efectiva (cm)

Cuando no existen sales, entonces:

$$Rr = Et - Pe$$

Considerando la precipitación efectiva, el requerimiento de riego puede ser calculado con la siguiente ecuación:

$$Rr = Et \left( 1 - \frac{I}{1.53 + \frac{0.8 Et}{P}} \right)$$

donde:

P = precipitación (cm)

### 2.16 Coeficiente del cultivo (Kc).

El coeficiente de cultivo Kc, es un valor dependiente fundamentalmente de las características propias de cada cultivo, por tanto, son específicos para cada uno de ellos y dependen de su estado de desarrollo y de sus etapas fenológicas, por ello son variables a lo largo del tiempo. Dependen también de las características del suelo y su humedad (Ortega et al., 1998).

El valor del Kc, depende de las características de la planta, y expresa la variación de su capacidad para extraer el agua del suelo durante su período vegetativo. Es más evidente en los cultivos anuales, que cubren todo su ciclo en un período reducido de tiempo. En estos cultivos hay que distinguir cuatro etapas en su período vegetativo (fuentes 1998).

Los factores que repercuten en el valor del Kc, son principalmente las características del cultivo, las fechas de plantación o siembra, el ritmo de desarrollo del cultivo y la duración del período vegetativo, las condiciones climáticas y, especialmente durante la primera fase de crecimiento, la frecuencia de lluvias o del riego (Doorenbos 1976).

Los valores de Kc suelen calcularse por meses o por períodos del ciclo en que su valor cambia, los valores mensuales tienen el inconveniente de la variación de la época de siembra que, evidentemente, modifica las necesidades de agua del cultivo.

Los períodos sucesivos más representativos del ciclo del cultivo, según todos los autores son: (Castañón, 2000).

- 1) **1ra. Fase inicial:** comprende el período de germinación y crecimiento inicial, cuando la superficie del suelo está cubierta apenas o nada por el cultivo. Desde la siembra hasta el 10 % de cobertura vegetal.
- 2) **2da. Fase de desarrollo del cultivo:** Abarca desde el final de la etapa anterior hasta que el cultivo cubre la máxima superficie del suelo, aunque las plantas no hayan alcanzado todavía la altura máxima, un sombreado del 70 al 80 %.
- 3) **3ra. Fase de mediados del período o de máxima evapotranspiración:** Desde la fase anterior hasta la maduración, comprende la floración y la formación del fruto.
- 4) **4ta. Fase final del período vegetativo (cosecha):** Abarca desde el final de la etapa anterior (que se manifiesta por la marcada disminución en el consumo de agua) hasta la maduración del cultivo o su cosecha.

**Cuadro 10. Duración aproximada de las etapas del ciclo vegetativo de cultivos anuales**

<b>Cultivo</b>	<b>Total</b>	<b>Primera Etapa</b>	<b>Segunda etapa</b>	<b>Tercera etapa</b>	<b>Cuarta etapa</b>
Algodón	180 - 195	30 - 30	50 - 50	55 - 65	45 - 50
Avena	120 - 150	15 - 15	25 - 30	50 - 65	30 - 40
Berenjena	130 - 140	30 - 30	40 - 40	40 - 45	20 - 25
Cacahuete	130 - 140	25 - 30	35 - 40	45 - 45	25 - 25
Calabaza	95 - 120	20 - 25	30 - 35	30 - 35	15 - 25
Cebolla verde	70 - 95	25 - 25	30 - 40	10 - 20	5 - 10
Cebada	120 - 150	15 - 15	25 - 30	50 - 65	30 - 40
Cebolla seca	150 - 210	15 - 20	25 - 35	70 - 110	40 - 45
Col	120 - 140	20 - 25	25 - 30	60 - 65	15 - 20
Espinaca	60 - 100	20 - 20	20 - 30	15 - 40	5 - 10
Girasol	125 - 130	20 - 25	35 - 35	45 - 45	25 - 25
Guisante	90 - 100	15 - 20	25 - 30	35 - 35	15 - 15
Judía verde	75 - 90	15 - 20	25 - 30	25 - 30	10 - 10
Judía seca	95 - 110	15 - 20	25 - 30	35 - 40	20 - 20
Lechuga	75 - 140	20 - 35	30 - 50	15 - 45	10 - 10
Lenteja	150 - 170	20 - 25	30 - 35	60 - 70	40 - 40
Lino	180 - 195	30 - 30	50 - 50	55 - 65	45 - 50
Maíz dulce	80 - 110	20 - 20	25 - 30	25 - 50	10 - 10

Maíz grano	125 - 180	20 – 30	35 - 50	40 - 60	30 – 40
Melón	120 - 160	25 – 30	35 - 45	40 - 65	20 – 20
Mijo	105 - 140	15 – 20	25 - 30	40 - 55	25 – 35
Patata	105 - 145	25 – 30	30 - 35	30 - 50	20 – 30
Pepino	105 - 130	20 – 25	30 - 35	40 - 50	15 – 20
Pimiento	120 - 210	25 – 30	35 - 40	40 - 110	20 – 30
Rábano	35 – 40	5 – 10	10 - 10	15 - 15	5 – 5
Remo. Azúcar.	160 - 230	25 – 45	35 - 65	60 - 80	40 – 40
Soja	135 - 150	20 – 20	30 - 30	60 - 70	25 – 30
Sorgo	120 - 130	20 – 20	30 - 35	40 - 45	30 – 30
Tomate	135 - 180	30 – 35	40 - 45	40 - 70	25 – 30
Trigo	120 - 150	15 – 15	25 - 30	50 - 65	30 – 40
Zanahoria	100 - 150	20 – 25	30 - 35	30 - 70	20 – 20

Fuente: Técnicas de riego (Fuentes J. L. ,1998)

### 2.16.1 Coeficientes de cultivo (Kc) para diferentes cultivos.

**Cuadro 11. Coeficientes de cultivo de cultivos anuales**

Cultivo	Primera fase	Segunda fase	Tercera fase	Cuarta fase
Algodón	0,45	0,75	1,15	0,75
Avena	0,35	0,75	1,15	0,45
Berenjena	0,45	0,75	1,15	0,80
Cacahuete	0,45	0,75	1,05	0,70
Calabaza	0,45	0,70	0,90	0,75
Cebolla verde	0,50	0,70	1,00	1,00
Cebolla seca	0,50	0,75	1,05	0,85
Col	0,45	0,75	1,05	0,90
Espinaca	0,45	0,60	1,00	0,90
Girasol	0,35	0,75	1,15	0,55
Guisante fresco	0,45	0,80	1,15	1,05
Judía verde	0,35	0,70	1,10	0,90
Judía seca	0,35	0,70	1,10	0,30
Lechuga	0,45	0,60	1,00	0,90
Lenteja	0,45	0,75	1,10	0,50
Lino	0,45	0,75	1,15	0,75
Maíz dulce	0,40	0,80	1,15	1,00
Maíz grano	0,40	0,80	1,15	0,70
Melón	0,45	0,75	1,00	0,75

Mijo	0,35	0,70	1,10	0,65
Patata	0,45	0,75	1,15	0,85
Pepino	0,45	0,70	0,90	0,75
Pimiento fresco	0,35	0,70	1,05	0,90
Rábano	0,45	0,60	0,90	0,90
Remolacha azu.	0,45	0,80	1,15	0,80
Soja	0,35	0,75	1,10	0,60
Sorgo	0,35	0,75	1,10	0,65
Tabaco	0,35	0,75	1,10	0,90
Tomate	0,45	0,75	1,15	0,80
Trigo	0,35	0,75	1,15	0,45
Zanahoria	0,45	0,75	1,05	0,90

El coeficiente  $K_c$  depende también del clima, especialmente de la humedad relativa y de la velocidad del viento. Los valores indicados en la tabla se reducen en 0,05 cuando la humedad relativa es alta (superior al 80 %) y la velocidad del viento inferior a 2 m/seg. Asimismo, los valores de la tabla se aumentan en 0,05 cuando la humedad relativa es baja (inferior al 50 %) y la velocidad del viento supera los 5 m/seg.

Tomado de: (Fuentes J. L. 1998).

### 2.16.2.- Coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) de otros cultivos.

En algunos cultivos no se aprecia una diferencia clara en las fases de su período de crecimiento, de ahí que, se indica los relacionados a este grupo.

#### Cuadro 12. Coeficientes de cultivo ( $k_c$ ) de otros cultivos

Cultivo	$K_c$
Alfalfa	Durante todo el período de crecimiento: 0,9
Trébol	Durante todo el período de crecimiento: 1
Pastos	Durante todo el período de crecimiento: 1
Cítricos	Cultivo sin hierva: 0,70
Cítricos	Cultivo con hierva: 0,90
Arroz	Durante todo el cultivo: 1,1
Plátano	En el primer siguiente a la plantación: 0,7. en los meses siguientes 1,1 hasta llegar al séptimo mes, ha partir del octavo se mantiene en 1,1.
Caña de azúcar	Al principio del cultivo 0,5. se aumenta progresivamente hasta llegar al valor 1 en la mitad del período del cultivo, después se va

	disminuyendo progresivamente hasta llegar al valor de 0,6 al final del cultivo.
Vid	Al aparecer las hojas: 0,5. Se aumenta progresivamente hasta llegar a 1 en la mitad del período del cultivo. Después va disminuyendo progresivamente hasta llegar al valor de 0,3 al final del cultivo.
Olivo	Durante todo el período: 0,55.

Fuente: Técnicas de riego (Fuentes J. L. ,1998)

Los valores de  $K_c$  aumentan a medida que lo hace el índice de área foliar, alcanzando sus valores máximos cuando la cobertura del suelo es del 60 – 80%. A medida que avanza la senescencia del cultivo, los valores de  $K_c$  irán descendiendo progresivamente (Martín de Santa Olalla et al., 1993)

### **2.12 Precipitación efectiva (PE).**

Durante el proceso de almacenamiento hídrico del reservorio suelo, la precipitación pluvial constituye un alto porcentaje (en algunos casos el total) del contenido de agua en el suelo, pero parte de la lluvia de que dispone la planta para su desarrollo es únicamente una fracción de esta, la otra parte se pierde por escorrentía, percolación profunda o evaporación.

En este sentido, al volumen de lluvia parcial utilizado por las plantas para satisfacer sus correspondientes necesidades hídricas para su normal desarrollo, se le ha definido como precipitación efectiva (PE)

Existen diversos métodos para estimar la PE, en este caso adoptaremos lo que cita VASQUEZ A. tomado del criterio empírico del Water Power Resources Service (WPRS – USA), que considera la distribución de la precipitación efectiva de la siguiente forma:

### Cuadro 13. Precipitación efectiva

Incremento de la precipitación (mm)	% de la precipitación efectiva
5	0
30	95
55	90
80	82
105	65
130	45
155	25
Más de 155	5

Fuente: Principios básicos del riego (Vásquez A. 1988)

#### 2.13 Necesidades de riego de los cultivos.

Hay que diferenciar entre necesidades netas y necesidades totales, porque no toda la cantidad de agua que se aplica en la parcela de riego es aprovechada por la planta, una parte de esa agua aplicada se pierde por varias causas:

1. Por escorrentía en la superficie y porque penetra en la profundidad fuera del alcance de las raíces.
2. Por evaporación directa desde el chorro de agua en los sistemas de riego que pulverizan el agua.
3. Por añadir agua en exceso para el lavado de sales
4. Por deficiente distribución de agua.

Las necesidades netas hacen referencia a la cantidad de agua que puede disponer planta, las necesidades totales hacen referencia a la cantidad de agua que se necesitan aplicar por el sistema de riego.

##### 2.13.1 Necesidades Netas de riego (Nn)

Se basan en el balance hídrico, el cual con respecto a un periodo y a un cultivo dado, puede expresarse como:

$$Nn \text{ (mm)} = (Pe + dac) - (ETR + dp) + DW$$



Donde:

$N_n$  = Necesidades netas de riego (mm)

ETR = Evapotranspiración del cultivo (mm)

$d_p$  = Pérdidas por percolación profunda de la zona radicular (mm)

$P_e$  = Aportes de la precipitación efectiva (mm)

$d_{ac}$  = Aportes por ascensión capilar (nivel freático) (mm)

DW = Variación de la humedad del suelo (CC y PMP) (mm)

Si transcurrido un corto periodo de tiempo después de una lluvia o riego, unos pocos días como máximo, se realiza una aportación neta de agua ( $N_n$ ) igual a la diferencia que existe entre las ganancias y las pérdidas, la variación de la reserva en el suelo referido a ese mismo periodo es nulo. Es decir  $DW = 0$  en el balance hídrico de este periodo.

El límite de días que podemos dejar transcurrir sin regar vendrá fijado por el nivel de agotamiento permisible (NAP) que hayamos estimado, es decir antes de regar sucederá que:

$$DW = NAP$$

Teóricamente para programar un riego, en principio el suelo debe estar en capacidad decampo, bien sea por efecto de las lluvias o de un riego inicial. A partir de ese momento en la programación día a día, si el consumo del cultivo (ETR) supera, como normalmente debe suceder, a la precipitación efectiva ( $P_e$ ), la reserva de agua va variando cada día, hasta alcanzar el nivel de agua útil (AU), en este momento si no se riega, el agotamiento de la reserva en el suelo supera los límites fijados. Por tanto, en este caso se requerirá un riego con un volumen neto igual al agua útil (AU), lo que llevará otra vez el suelo a la situación inicial.

### **2.13.2 Necesidades de Riego Brutas ( $N_b$ ).**

A las necesidades de riego netas o la demanda neta obtenida luego de las consideraciones anteriores, debe aumentarse la cantidad necesaria para cubrir las pérdidas que ocurren en el sistema en general. Estas pérdidas dependen fundamentalmente de la acción y/o participación del hombre. En efecto, dependen de la selección que se haga de los sistemas de captación,

conducción, distribución y aplicación; además del tipo de suelos, del modo de operación del sistema y de varios factores más; tenemos la siguiente fórmula:

$$Nb(mm) = (Nn/Et) * 100$$

Al dividir la necesidad neta de riego (Nn) entre la eficiencia total (Et) del sistema se obtiene las necesidades de riego brutas o demanda bruta (Nb).

### **2.13.3 Eficiencia Total del Sistema de Riego.**

Según Erazo C. M. (2010), que la eficiencia total del sistema de riego es la relación entre el volumen de agua utilizado por los cultivos (evapotranspiración) y el volumen de agua suministrado desde la fuente. Tiene tres componentes principales, como se expresa en la siguiente relación:

$$E_{total} = E_{conducción} * E_{distribución} * E_{aplicación}.$$

En sistemas de riego con captaciones de agua de río y/o derivaciones de embalses o presas, se deberá también considerar un cuarto componente, la "eficiencia de captación" para el caso de ríos y/o la "eficiencia de almacenamiento" para el caso de presas o embalses.

La eficiencia de conducción corresponde a la relación que existe entre el caudal que llega al sistema de distribución y el caudal captado en la fuente de agua del sistema (río, embalse o reservorio). Usualmente se considera hasta el punto de entrega al sistema de distribución (canales secundarios e inclusive terciarios).

Esta eficiencia depende de varios factores: longitud de los canales, amplitud del área regable, características del canal, tipo del revestimiento, grado de mantenimiento y de la modalidad de operación del sistema. Pero también depende del tipo de operación del sistema de riego: continuo o intermitente. A pesar de que la eficiencia de conducción es el componente más susceptible a ser mejorado por ejemplo mediante revestimientos con hormigones, pero no siempre se logra superar el 90% en situación con proyecto; generalmente varía entre 75 a 90%. En condiciones sin mejoramiento (sistema rústico) las eficiencias suelen reportar valores entre 45 a 60%; obviamente es muy variable de un sistema de riego a otro y de un área geográfica a otra.

La eficiencia de distribución se refiere a la relación que existe entre el caudal que llega a las parcelas y el que fue entregado al sistema de distribución en sus respectivas tomas (de

distribución o repartición) según sus tradiciones en cada zona de riego. Esta eficiencia depende del tipo de canales, dimensiones, longitud, tamaño de las unidades de riego y del manejo de agua a nivel predial del sistema.

De acuerdo a experiencias en proyectos de riego mejorados (canales abiertos), con parcelas mayores a 10 hectáreas y riego intermitente, la eficiencia puede alcanzar valores de 75 a 80%; y para riego continuo valores del 85%, dependiendo del tipo de operación y mantenimiento y del caudal o flujo con que se maneja el sistema.

La eficiencia de aplicación, es la relación existente entre la cantidad real de agua almacenada en la zona radicular directamente disponible para el cultivo y la cantidad total de agua aplicada al terreno. Por término medio, en la mayoría de los planes de riego, la eficiencia de aplicación no rebasa el 60%.

En las parcelas, se refiere a la eficiencia con la que se riega propiamente en el interior de la parcela, finca o unidad de riego. Toda el agua aplicada en exceso con respecto a las necesidades reales de los cultivos se considera una pérdida para los fines de cálculo de este tipo de eficiencia. Esta eficiencia depende de varios factores, como el tipo de suelo (textura, estructura, profundidad), tipo de cultivo (ciclo fenológico, profundidad radicular, especie), método de riego empleado (inundación, surcos, melgas, aspersión), etc.

A modo de información, en el cuadro 2 se presenta las eficiencias de aplicación promedio en función del tipo de suelo y método de riego, recopiladas de trabajos de investigación realizados por la Facultad de Agronomía - UMSS en varias zonas de riego, concordantes con experiencias obtenidas en varios sistemas de riego peruanos (Rocha, 1993).

**Cuadro 14. Eficiencias de aplicación de agua de riego en porcentajes.**

Tipo de Suelo	Método de Riego		
	Melgas	Surcos	Inundación
Arenoso	50-60	40-50	40-50
Franco o medio	65-70	55-65	50-60
Arcilloso o fino	55-65	55-65	45-55

Nota: Se supone suelos bien nivelados, pendientes menores a 2%, sistemas de riego bien diseñados y de buena operación.

## 2.14 Necesidades de agua de riego.

Hay que diferenciar entre necesidades netas y necesidades totales, porque no toda la cantidad de agua que se aplica en la parcela de riego es aprovechada por la planta. Una parte de esa agua se pierde por varias causas.

- Por escorrentía en la superficie y porque penetra en profundidad fuera del alcance de las raíces.
- Por evaporación directa desde el chorro de agua en los sistemas de riego que pulverizan el agua.
- Por añadir agua en exceso para el lavado de sales.
- Por deficiente distribución del agua.

Las necesidades netas hacen referencia a la cantidad de agua que puede disponer la planta. Las necesidades totales hacen referencia a la cantidad de agua que se necesitan aplicar por el sistema de riego.

### **2.23 Software ABRO (Área Bajo Riego Optimo) y conceptos dentro del programa.**

Este software permite realizar evapotranspiración del cultivo de transferencia (por el método Penman Monteith), donde en primer lugar se ingresa datos de ubicación del proyecto, nombre del proyectista, latitud y longitud de la zona de estudio, zona agro climática, datos climáticos de forma manual, también se ingresa los caudales mensuales de todo el año ya determinados, los cultivos a determinar, la superficie de los cultivos, eficiencia del sistema de riego (mediante criterio técnico), se introduce también el área regable total y la capacidad máxima del canal, posteriormente se arroja resultados como evapotranspiración real total, área total, requerimiento neto, caudal neto, etc.; también tenemos demanda, oferta y el bance hídrico.

Este software es un instrumento técnico para el Cálculo de Áreas Bajo Riego Optimo en la formulación del proyectos de riego; esto por Norma Sectorial de aplicación obligatoria por R.M. MAGDER N095/16.06.02 (Recursos hídricos y Riego de Bolivia, MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA, 2014).

ABRO en las condiciones actuales de gestión de riego del sistema, de tal manera que permita hacer una proyección para las condiciones de mejoramiento una vez ejecutada el proyecto de riego.

El valor del área incremental, expresa el efecto directo de las acciones del proyecto sobre la situación productiva del sistema de riego.

Por consiguiente, el ABRO es un indicador que depende de varios factores relacionados con las condiciones climáticas, las características de los diferentes cultivos y de disponibilidad de agua para el sistema de riego y proyecto.

En este documento se presentan los conceptos y definiciones para el cálculo del área bajo riego óptimo en sistemas de riego, como fundamento teórico para la determinación de la demanda y oferta de agua en proyectos de riego. Así mismo, se hace una descripción de la hoja de cálculo del ABRO como herramientas para facilitar el trabajo de los profesionales involucrados en la formulación de proyectos de riego.

### **2.23.1 Área Bajo Riego Optimo (ABRO).**

Número de hectáreas que pueden ser regadas óptimamente con la disponibilidad y demanda de agua calculada en el sistema de riego. Es una medida teórica basada en las cédulas y calendarios de cultivo que se utilizan para el cálculo de las hectáreas incrementales dentro de los proyectos de riego.

### **2.23.2 Riego.**

El riego, se define como la aplicación artificial del agua al suelo, con el fin de suministrar a las especies vegetales la humedad necesaria para su desarrollo.

En el sentido más amplio, el riego puede definirse como la aplicación de agua al terreno con los siguientes objetivos:

- Proporcionar la humedad necesaria para que los cultivos puedan desarrollarse
- Refrigerar el suelo y la atmósfera para de esta forma mejorar las condiciones ambientales para el desarrollo vegetal.
- Disolver sales contenidas en el suelo.
- Reducir la probabilidad de formación de drenajes naturales.
- Dar tempero a la tierra. (Israelsen y H.)

### **2.23.3 Sistema de riego.**

Se define como un conjunto complejo de elementos físicos, biológicos, socioeconómicos y culturales inter-relacionados, ubicados en un espacio territorial determinado y dispuestos en torno al aprovechamiento de una fuente de agua mediante diversas obras administradas, bajo la gestión de una organización de usuarios, con la finalidad de usar, manejar y conservar el agua aplicada en un proceso productivo de agricultura bajo riego y drenaje.

### **2.23.4 Área regable.**

Número de hectáreas con vocación agrícola, destinadas a la agricultura dentro del área de influencia del sistema de riego y que eventualmente pueden recibir agua. Esta es una medida física de carácter permanente.

### **2.23.5 Área regada.**

Número de hectáreas que reciben riego por lo menos una vez en un ciclo agrícola, dentro del área de influencia del sistema de riego, es una medida variable año tras año en función de la disponibilidad de agua en el sistema de riego y de la estrategia productiva y de riego de los usuarios.

### **2.23.6 Área incremental.**

Es la diferencia entre el área bajo riego óptimo en la situación con proyecto, menos el área bajo riego óptimo en la situación sin proyecto. Esta área, es el resultado del incremento de agua de riego, debido al mejoramiento de las eficiencias del sistema. Se dice cultivo óptimamente regado cuando la planta no sufre estrés hídrico y recibe riegos oportunos.

Para identificar y analizar la viabilidad de los proyectos de riego, es importante conocer las necesidades de agua de riego con respecto a la producción agrícola. En este sentido, para proyectos de riego, el área incremental forma parte de las condiciones de elegibilidad para su financiamiento y tipificación.

Por tanto, el valor del área incremental expresa el efecto directo del incremento de agua sobre la situación productiva de sistemas de riego nuevo, mejorado y/o ampliado.

### **2.23.7 Balance hídrico.**

Es la relación entre la oferta y la demanda de agua que permite conocer la cantidad de agua que cubre las necesidades de los cultivos, según las diferentes fases de crecimiento de las plantas y calendarios agrícolas establecidos para cada proyecto de riego. El agua requerida por los cultivos es variable en los diferentes meses, como también las precipitaciones a lo largo de todo el año; de allí que el balance hídrico resulte también variable, originando déficit que determinan la necesidad de recurrir al riego.

### **2.23.8 Determinación de la demanda de agua.**

En la formulación de proyectos de riego la determinación de la demanda de agua, es uno de los factores de mayor importancia que está relacionado con las necesidades de riego de los cultivos bajo ciertas condiciones de precipitación y tipo de suelo.

Para calcular las necesidades de riego de los cultivos, es necesario determinar la evapotranspiración de referencia para cada mes (ET<sub>o</sub>), utilizando los valores de los coeficientes de los cultivos (k<sub>c</sub>) para las diferentes etapas de desarrollo vegetativo, se calcula la evapotranspiración real o actual del cultivo (ET<sub>c</sub>) y se relacionan éstos valores con la lluvia para obtener los requerimientos netos de riego del cultivo.

En Bolivia la mayor parte de la agricultura se realiza en condiciones de déficit hídrico, por lo que el uso del recurso agua para riego de los cultivos, se constituye en un aspecto fundamental para garantizar la producción. A pesar de la baja disponibilidad de recursos hídricos, se han efectuado pocos estudios orientados a mejorar el aprovechamiento del agua para riego.

### **2.23.9 Cedula de cultivo.**

Las zonas agrícolas sean estas en los valles, altiplano o llanos, tienen una composición heterogénea en cuanto al área que ocupa cada cultivo en el área de riego, durante los diferentes periodos del año agrícola, tanto desde el punto de vista del medio natural (relieve, altitud, clima), como de las estructuras y sistemas de producción (dimensiones de explotación, tecnología que emplean, proximidad de los centros de consumo, condiciones socio-económicas y culturales según las zonas agro ecológicas).

Un conocimiento real y preciso de la cédula de cultivos constituirá un elemento central para la determinación del requerimiento de agua de los cultivos propuestos en un determinado proyecto. En efecto, una identificación precisa de las distintas variedades, épocas de siembra y cosecha, superficies de cultivo y etapas de crecimiento de los cultivos, facilitará por una parte la determinación de las necesidades de agua y por otra la estimación de parámetros climáticos y edafológicos requeridos para los cálculos de demanda. Las etapas de crecimiento de los cultivos comprenden: fase inicial, etapa de desarrollo, periodo medio (floración) y periodo final o cosecha. La duración de las etapas del cultivo dependerá fundamentalmente de la variedad del cultivo y de las condiciones en que se desarrolla el crecimiento, especialmente la temperatura.

La descripción de la cédula de cultivos deberá incluir necesariamente tanto las características de los cultivos a secano como de los cultivos bajo riego. Por otro lado, la definición de las épocas de siembra y la cuantificación de las superficies de cultivo bajo riego (en ha o %), permitirá cuantificar la demanda de agua tanto para la época de siembras de invierno (estiaje) como para la época de siembras de verano. De modo que, la demanda total real de agua (mensual o anual), dependerá de la exactitud y confiabilidad de la información obtenida referente a las fechas de siembra y cosecha de cada uno de los cultivos y de sus áreas respectivas bajo riego.



### III. METODOLOGIA DEL TRABAJO DIRIGIDO.

#### 3.1 Descripción sistematizada del desarrollo del trabajo.

De acuerdo al convenio interinstitucional firmado entre la Universidad Juan Misael Saracho, la facultad de ciencias agrícolas y forestales de la carrera de agronomía con la Gobernación – UTEPTAR- GIRH, (Ver anexo 4); se realizó el presente Trabajo Dirigido, bajo el siguiente cronograma:

**Cuadro 15. Desarrollo de actividades realizadas durante el Trabajo Dirigido.**

FECHA	ACTIVIDAD
05/Julio/2013	Asistencia a las oficinas, para coordinar con el Ing. Alejandro Condori, Jefe de la Unidad de riego de UTEPTAR-GIRH.
08/Julio/2013	Asistencia a las oficinas de la unidad, para explicación de los Términos De Referencia, para la elaboración del perfil del trabajo dirigido; por parte del Jefe de la Unidad de riego de UTEPTAR-GIRH.
15/Julio/2013	Asistencia a las oficinas de la unidad, para presentación de bibliografía para elaboración del perfil del trabajo dirigido por parte de tesistas, al jefe de la unidad de riego.
16/Julio/2013	Asistencia a las oficinas de la unidad, para presentación del primer borrador, del perfil de trabajo dirigido, al director de la unidad Ing. Jaime Rodríguez.
19/Julio/2013	Asistencia a las oficinas de la unidad, para la presentación del segundo borrador, del perfil de trabajo dirigido, al jefe de unidad de riego.
24/Julio/2013	Asistencias a las oficinas de la unidad, para presentación del perfil de trabajo dirigido, corregido y aprobado por parte de tribunales de la U.A.J.M.S.; al director de la unidad.
26/Julio/2013	Salida al campo, a las comunidades de San Luis y El Temporal, para medición de caudal en canal de riego, toma de muestra de agua de riego, levantamiento de croquis de ambas comunidades.
29/Julio/2013	Asistencia a las oficinas de la unidad, para elaboración y coordinación del desarrollo de trabajo de gabinete y solicitud al laboratorio 4 del Ing. Iván Medina para análisis de calidad de agua.
08/Agosto/2013	Asistencia a las oficinas de la unidad, para elaboración de trabajo de gabinete.
13/Agosto/2013	Salida a campo, a las comunidades de San Luis y El Temporal, para la realización de mediciones de caudal en canales de riego en ambas comunidades;

	en la comunidad de San Luis se realizaron encuestas y entrevistas a comunarios, también se conversó con jueces de agua de las comunidades, se hizo recorrido y determinación de cultivos en parcelas y puntos de geoposicionamiento.
16/Agosto/2013	Asistencia a oficinas, para trabajo de gabinete.
20/Agosto/2013	Salida a campo, a la comunidad de San Luis, se realizaron tareas como: Técnica de infiltración y densidad aparente y determinación de textura mediante método empírico, en la parcela representativa, identificación y medición de parcelas con cultivos.
22/Agosto/2013	Asistencia a oficinas de la unidad, para coordinación y trabajo de gabinete.
24/Agosto/2013	Salida a campo por cuenta de los tesistas, a la comunidad de San Luis; para encuestar a comunarios, recorrido de canal de riego, identificación y mediciones de parcelas con cultivos.
26/Agosto/2013	Asistencia a las oficinas de la unidad, para realizar trabajo de gabinete.
28/Agosto/2013	Asistencia a las oficinas de la unidad, para reunión con el jefe de la unidad de riego, informándole del avance y coordinación de trabajo de campo.
02/Septiembre/2013	Asistencia a las oficinas de la unidad, para presentar informe de avance de trabajo de campo, por parte de tesistas al director.
04/Septiembre/2013	Asistencia a las oficinas de la unidad, para realizar trabajo de gabinete.
06/Septiembre/2013	Salida a campo, a la comunidad de San Luis, para realizar entrevista al juez de agua, señor Eduardo Ayarde, también encuesta a comunarios, determinación y medición de parcelas, determinación y geoposicionamiento del canal de riego.
19/Septiembre/2013	Asistencia a las oficinas de la unidad, para realizar y coordinar el trabajo de gabinete.
26/Septiembre/2013	Salida a campo, a las comunidades de San Luis y El Temporal, para medir caudal de canales de riego en ambas comunidades, se realizaron técnicas de infiltración y densidad aparente en la parcela representativa en la comunidad de El Temporal, encuestas y recorrido de parcelas con cultivos en la comunidad de San Luis.
30/Septiembre/2013	Asistencia a las oficinas de la unidad, para realizar trabajo de gabinete.

04/Octubre/2013	Salida a campo, a la comunidad de San Luis, para entrevista y encuestas a comunarios, medición y geoposicionamiento de parcelas.
08/Octubre/2013	Asistencia a las oficinas de la unidad, para realizar trabajo de gabinete.
10/Octubre/2013	Salida a campo, a la comunidad de El Temporal, para entrevista al juez de agua, señor Santiago Gonzales, realizar el croquis de la comunidad, medición del caudal en canal de riego
15/Octubre/2013	Asistencia a las oficinas de la unidad, para elaboración y coordinación del trabajo.
17/Octubre/2013	Salida al campo, a la comunidad de El Temporal, para entrevista y encuesta a comunarios, también para medición y geoposicionamiento de las parcelas.
23/Octubre/2013	Asistencia a las oficinas de la unidad, para presentar e informar del trabajo al jefe de la unidad de riego.
25/Octubre/2013	Salida al campo, a la comunidad de San Luis, para medición de caudal del canal de riego.
29/Octubre/2013	Asistencia a las oficinas de la unidad, para presentación de informe del trabajo al director de la unidad.
05/Noviembre/2013	Asistencia a las oficinas de la unidad, para elaboración del trabajo de gabinete.
07/Noviembre/2013	Salida al campo, a la comunidad El Temporal, para realizar encuesta y entrevista a comunarios, medición de parcelas y medición de caudal en el canal de riego.
12/Noviembre/2013	Asistencia a las oficinas de la unidad, para desarrollo del trabajo en gabinete.
14/Noviembre/2013	Salida al campo, a la comunidad de El Temporal, para realizar encuesta y entrevista a comunarios, medición de parcelas con cultivos, lectura de geoposicionamiento de canal de riego.
19/Noviembre/2013	Asistencia a las oficinas de la unidad, para elaboración y coordinación del trabajo de gabinete.
29/Noviembre/2013	Salida al campo, a la comunidad de San Luis, para medición del caudal de canal de riego.
04/Diciembre/2013	Asistencia a las oficinas de la unidad, para presentar informe al jefe de la unidad de riego.
10/Diciembre/2013	Asistencia a las oficinas de la unidad, para presentar informe y defensa del trabajo, al director de la unidad.
17/Diciembre/2013	Asistencia a las oficinas de la unidad, para elaboración y tabulación de datos, mediante apoyo del jefe de la unidad de riego.

19/Diciembre/2013	Asistencia a las oficinas de la unidad, para recopilación de información.
28/Enero /2014	Por la disipación de la UTEPTAR-GIRH, el ex jefe de la unidad de riego Ing. Alejandro Condori P. pasa a formar parte de la Dirección de agua y saneamiento básico de la secretaria de medio ambiente y agua.
6/Febrero/2014	Tabulación de encuestas realizadas a los regantes en las oficinas de la Dirección de agua y saneamiento básico de la secretaria de medio ambiente y agua.
18/Febrero/2014	Elaboración de datos mediante el software ABRO, en las oficinas de la Dirección de agua y saneamiento básico de la secretaria de medio ambiente y agua.
24/Febrero/2014	Revisión del marco teórico por parte del guía de la institución donde se realizó el Trabajo Dirigido.
11/Marzo/2014	Realización de la metodología, en las oficinas de la Dirección de agua y saneamiento básico de la secretaria de medio ambiente y agua.
19/Marzo/2014	Realización de mapas en Google Earth, con toda la información recaba, en las oficinas de la Dirección de agua y saneamiento básico de la secretaria de medio ambiente y agua.
24/Marzo/2014	Revisión minuciosa de toda la información adquirida del Trabajo Dirigido por parte del guía de la institución Ing. Alejandro Condori P.
31/Marzo/2014	Elaboración de conclusión y recomendaciones del Trabajo Dirigido.

### **3.2 Descripción del área de estudio.**

#### **3.2.1 Localización.**

El presente Trabajo Dirigido fue desarrollado en el Barrio de San Luis del distrito 11 del municipio de Tarija provincia Cercado que geográficamente se encuentra 21°34'90" de Latitud sud y 64°42'59" de Longitud Oeste y con 1850 msnm; también abarco la comunidad de El Temporal que se halla en la provincia de Cercado con una ubicación geográfica a 21°34'32" de Latitud sud y 64°71'52" de Longitud Oeste y con 1854 msnm, ambas zonas en el departamento de Tarija (PDM de Tarija, 2014).

### **3.2.2 Ubicación.**

El municipio se encuentra situado en la provincia Cercado del departamento de Tarija, comprende la ciudad de Tarija – capital con aproximadamente 75 comunidades rurales; el municipio se localiza en el valle central de Tarija entre altitudes sobre el mar que oscilan entre los 1250 y 2100 m.

El municipio ocupa toda la provincia Cercado del departamento, tiene una superficie de 2638 km<sup>2</sup>, limita al norte y al Oeste con la provincia Méndez, al sur con la provincia Avilés y al este con la provincia Arce.

La provincia Cercado que a su vez constituye el municipio Cercado – Tarija sección única, está conformado por el área urbana de la ciudad de Tarija que es la capital del departamento, está concordada por 13 distritos del 1 al 13 urbanos y 8 rurales del 15 al 22, y el área rural por 8 distritos Lazareto, Santa Ana, Yesera, Tolomosa, San Agustín, Junacas, Alto España y Tarija.

## **3.3 Características Climáticas.**

### **3.3.1 Clima.**

De acuerdo a la clasificación climática realizada para el PMOT, las zonas de San Luis y El Temporal, tienen un clima templado árido, se colocan en sitios aledaños al río Guadalquivir, mas propiamente hacia el norte, sobre la llanura fluvio-lacustre de la parte central de la provincia Cercado entre los 1001 a 2000 msnm.

### **3.3.2 Temperatura.**

De acuerdo a los datos obtenidos de las 9 estaciones climatológicas que se hallan en la provincia la temperatura media anual de 1.4° C, la máxima media de 25.5° C, mínima de 9.4° C, se tiene en verano extrema máxima de 39.4° C, y extrema mínima de invierno de -8.6° C.

### **3.3.3 Precipitación.**

Dentro de las precipitaciones en la provincia Cercado, oscilan entre los 800 a 1100 mm.

### **3.3.4 Humedad.**

La humedad relativa califica de moderada, con un promedio de 62 por ciento, sobrepasando el 60 por ciento durante los meses de diciembre a abril. Una de las características interesantes con respecto a la humedad es la presencia de masas de aire húmedo y frío (surazos) en algunos días de la estación de invierno que acompañados de vientos, dan origen a una sensación térmica diferente a la observada en los termómetros.

La humedad en los piedemonte y llanura de la parte sur en la cuenca Tolomosa son apropiados para ciertos cultivos agrícolas, regulando la evaporación del suelo y no sufran de déficit hídrico la producción. En contraste con la humedad relativa baja por la subcuenca Santa Ana y el Monte, donde los cultivos agrícolas requieren de un riego complementario o suplementario para llegar a rendimientos adecuados.

### **3.3.5 Suelo.**

Las tierras de uso agrícola bajo riego corresponden a tierras aprovechadas para agricultura intensiva. Las principales características de esta unidad son la sobre utilización y parcelación. Son suelos de mediana a baja fertilidad.

El sobre pastoreo, debido a la actividad pecuaria sin manejo adecuado, en conjunto con la extracción selectiva de las especies leñosas y arbóreas, es posiblemente el factor causante de la erosión antrópica más importante en la zona

La capa superficial de 0 – 20 cms pardo arenoso presenta una textura moderadamente gruesa, estructura blocosa débil, media fina, no adherente y no plástico en mojado, friable en húmedo, ligeramente en seco, pocos poros finos, El PH es neutro a suavemente alcalino de 6.4.

La sección de 20 – 90 cm.es franco arcilloso Presenta una textura moderadamente fina, media a gruesa, adherente y plástico en mojado, firme en húmedo, muy duro en seco, pocos poros fino y muy finos con in PH de 7.2.

## **3.4 Características Agro edafológicas.**

### **3.4.1 Vegetación natural.**

La vegetación original ha sido reemplazada por vegetación cultivada (cultivos agrícolas) los pocos ejemplares que quedan son los siguientes: churqui (*Acacia caven*), tusca (*Acacia aramo*);

algunas especies arbóreas residuales el bosque original distribuidas de manera dispersa, como el algarrobo blanco (*Prosopis alba*), algarrobo negro (*Prosopis nigra*), chañar (*Geoffroea decorticans*), sauce criollo (*Salix humboldtiana*) y molle (*Schinus molle*).

En aéreas afectadas por erosión severa, se presentan matorrales dispersos formados por taquillo (*Prosopis alpataco*) y algunos cardones o cactáceas.

Entre las especies introducidas (llámese exóticas) en la región se tiene: Eucalipto (*Eucalyptus* sp.), Álamo (*Pópulos alba* y *P. nigra*), sauce lloron (*Salix babilónica*), ciprés (*Cupressus macrocarpa*), cina cina (*Parkinsonia aculeata*).

### **3.4.2 Agricultura.**

En los años 1936 hasta el 1980 en las zonas de San Luis y El Temporal, la explotación agrícola era netamente hortícola, efectuando la misma bajo riego, la boca toma es la que actualmente se sigue utilizando para regar en el barrio San Luis; posteriormente en los años de 1980 a 1990, por la construcción de la PTAR (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales), se decía que se regaban con estas aguas residuales las hortalizas de ambas zonas por ello se vio afectada su explotación; después de los años 1990 hasta la actualidad se efectúa la explotación agrícola de forrajes, por haberse convertido ambas zonas en productoras de ganado lecheros, (Jueces de agua de la zona, 2013).

### **3.4.3 Cultivos representativos.**

Dentro de los cultivos representativos tenemos:

- Alfalfa (*Medicago sativa*).
- Avena forrajera (*Avena sativa*).
- Maíz forrajero (*Setaria mays*).

## **3.6 Método, técnicas y materiales empleados en el trabajo dirigido.**

### **3.6.1 Métodos.**

#### **3.6.1.1 Método Analítico.**

Procedimiento por el cual se divide un todo en partes, las cuáles son estudiadas con atención para llegar a un juicio, que sirve para el todo una vez reconstruido. (Jany, Nicolas, 2000:66)

El Método analítico será aprovechado porque posibilitará la desmembración del tema de investigación de un todo en sus partes o elementos para observar sus causas, su naturaleza y sus efectos, para de esta manera comprender su esencia. Este método dejará conocer más del tema de observación, con lo cual se puede: explicar, hacer analogías, comprender mejor su comportamiento y establecer nuevas teorías.

#### **3.6.1.2 Método Sistémico.**

Está dirigido a modelar el fin mediante la determinación de sus componentes, así como las relaciones entre ellos. Esas relaciones delimitan por un lado la estructura del propósito y por otro su dinámica.

Admitirá llevar adelante de manera estructurada el desenvolvimiento de la averiguación proporcionando componentes que definan la estructura del intento de indagación y sus interrelaciones.

#### **3.6.1.3 Método Inductivo.**

El método inductivo es un proceso en el que a partir del estudio de casos particulares se obtiene conclusiones o leyes universales que aclararan o relacionan los fenómenos estudiados, utiliza la observación directa de los fenómenos, la experimentación y el análisis de las relaciones que existe entre ellos.

Inicialmente separan los actos más elementales para examinar en forma individual, se observa en relación con fenómenos similares, se formulan hipótesis y a través de la experimentación se contrastan. (Munch 2000:15)

Este método se utilizará para sacar conclusiones del estudio y de todos los elementos que forman el objeto de averiguación, es decir, que solo será posible conociendo con exactitud el número de elementos que forman el objeto de estudio y además, confirmando que el conocimiento generalizado pertenece a cada uno de los elementos del objeto de investigación.

#### **3.6.1.4 Método Deductivo.**

El método deductivo es aquel que parte de datos generales aceptados como válidos y que por medio del razonamiento lógico, pueden deducirse en varias suposiciones. La deducción parte de la razón inherente a cada fenómeno o hecho. (Munch 2000:15)



Mediante el método deductivo se pretende aplicar los principios descubiertos a lo largo del proceso investigativo a casos particulares y a partir de un enlace de juicios emitir conclusiones.

### **3.6.2 Técnicas.**

#### **3.6.2.1 Revisión bibliográfica.**

La revisión de la literatura consiste en detectar, obtener y consultar la bibliografía y otros materiales que pueden ser útiles para los propósitos del estudio, así como en extraer y recopilar la información relevante que atañe al problema del Trabajo Dirigido. (Hernández, Fernández, Baptista., 1995:23)

- Fuentes Primarias (Directas), proporcionan datos de primera mano, para la presente indagación estas se traducen en artículos de publicaciones periódicas, libros, tesis, documentos oficiales de la Gobernación y testimonios de técnicos.
- Fuentes Secundarias, consisten en el reprocesamiento de la información de primera mano, es decir, diseño y aplicación de la encuesta.

#### **3.6.2.2 Entrevistas.**

La entrevista constituye el instrumento por excelencia de la búsqueda sociológica, tiene de común el que una persona (el encuestador), solicite información a otra (informante o sujeto investigado), para obtener datos acerca de un problema determinado, a través de una interacción verbal. (Ander-Egg, Ezequiel, 1977:109)

Esta técnica de recopilación se utilizará con el objetivo de la consecución de material de primera mano para la búsqueda, a través de un dialogo y sometida a una dirección sistemática con los regantes de ambas comunidades en estudio, iniciando con una interrogación estandarizada hasta una conversación libre recurriendo en ambos casos a un formulario establecido para orientar la conversación.

#### **3.6.2.2 Encuestas.**

La técnica de las encuestas, es un procedimiento que se utiliza en la investigación de los fenómenos sociales. La encuesta es la captación conscientemente planeada y registrada en boletas de cuestionario, de los hechos, opiniones, juicios y motivaciones sociales, etc., a través de las respuestas obtenidas al materializarse la encuesta. (Armas, José, 1982:103)

Esta técnica se aprovechará para recoger, procesar y analizar las opiniones de dos comunidades en estudio, sobre número de regantes, tamaño de parcelas, cultivos representativos, preparación de suelos, de donde obtienen sus semillas, meses en que cumplen la siembra, tiempo que le suministran riego a sus cultivos y con que efectúan el abonado o fertilización; también se elaborará con esta técnica el cronograma de sembradío.

### **3.6.2.3 Determinación de la Muestra.**

El presente Trabajo Dirigido, tomó como elementos de estudio para aplicar la averiguación de regantes de ambas comunidades en estudio. En este sentido, para delimitar la población de ambas se manejó información facilitada por el Proyecto Múltiple San Jacinto (P.M.S.J), para el número de regantes de la comunidad El Temporal y para San Luis, los libros de riego proporcionado por el juez de agua (ver anexo), de esta manera se dio a este proceso de precisión de la muestra un carácter científico.

#### **3.6.2.3.1 Definición de la población objetivo.**

- Unidad de Muestreo: Comunarios regantes activos.
- Extensión: Comunidades de San Luis y El Temporal.
- Tiempo: 13 de agosto al 14 de noviembre del 2013.
- Marco Muestral: Datos proporcionados por el Proyecto Múltiple San Jacinto, Gobernación del departamento de Tarija, alcaldía de la ciudad de Tarija y los jueces de agua de ambas comunidades.

#### **3.6.2.3.2 Tipo de diseño de muestra.**

#### **3.6.2.3.3 Selección de las técnicas de muestreo.**

### **5.3.1.4 Requerimiento hídrico con el software ABRO.**

El cálculo del Área Bajo Riego Optimo (ABRO) es un criterio técnico de elegibilidad para proyectos de riego, definido por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, para fines de planificación de riego y uso eficiente de los recursos en el sector público. Fue aprobado mediante Resolución Ministerial No. 095/02.

#### **5.3.2.1 Cuantificación de superficie cultivada representativa, de cultivos bajo riego.**

En primer lugar se identificó ambas zonas de estudio, apoyados en recorrido de todas las zonas, es decir in situ, se realizó un croquis de ambas áreas de estudio (Ver Anexos 5 y 6), posteriormente se adquirió de instituciones de la gobernación planos; también se pudo apoyar al programa de internet denominado Google Earth.

### **5.3.2.2. Identificación de los distintos cultivos representativos y elaboración de un cronograma de producción de los mismos.**

Se elaboró un cronograma de producción, para los cultivos representativos de ambas áreas de estudio, con los resultados conseguidos y tabulados de las encuestas ejecutadas a los regantes.

### **5.3.2.3 Ensayos de campo para medir la Infiltración.**

Se utilizó para medir la infiltración el método de doble cilindro; porque este método es recomendado para riego por fajas o inundación, en los cuales la infiltración es vertical (García, 1997).

El método del doble cilindro consistió en instalar en el terreno un juego de dos cilindros de acero concéntricos. Las dimensiones de los cilindros fueron: Altura de 50 cm., diámetro del cilindro interior de 30 cm. y diámetro del cilindro exterior de 60 cm.

Una vez situados los cilindros en el terreno, se colocó una placa de acero sobre los mismos, manteniéndolos a nivel. Luego se golpeó la placa hasta los cilindros penetren en el suelo de 10 a 15 cm.; procurando que entren perpendicularmente al terreno. El cilindro interior se le dotó de una regla cuidadosamente fijada, para efectuar las mediciones del nivel con una adecuada precisión.

Antes de comenzar las mediciones se colocó una lámina de plástico delgada, dentro de ambos cilindros, procurando en todo momento que la superficie del suelo y las paredes del cilindro queden completamente cubiertas.

Se añadió agua a ambos cilindros hasta que alcance una profundidad de 12 cm. aproximadamente, el volumen de agua añadido fue medido cuidadosamente, la función del cilindro exterior es de facilitar el humedecimiento del borde del suelo de estudio, el llenado del cilindro se hizo lo más rápido posible, esto se ejecutó en un intervalo de tiempo denominado tiempo muerto, en cual no se calcula la velocidad de infiltración.

Se anotó la lectura inicial en la regla, cuando la punta tocó el nivel de agua; esta lectura fue la base para las lecturas futuras a practicarse.

Se retiró el plástico en forma simultánea de ambos cilindros (exterior e interior) y se puso en funcionamiento cronómetro; se cuidó de que no se bote el agua en esta operación.

Una vez que se produce el descenso de nivel, se realizó las lecturas en intervalos de tiempo pequeños al principio, para que luego, se fue espaciando a intervalos mayores a medida que la infiltración se va haciendo más lenta.

Las últimas mediciones se materializaron en intervalos de tiempo de 30 y 60 minutos, hasta que se logró alcanzar lo que se denomina la infiltración básica.

#### **5.3.2.4 Determinación de caudales.**

Para la medición de caudales se efectuó el método empírico denominado: MÉTODO DE UN OBJETO FLOTANTE (ver anexo).

Para elaborar este procedimiento por medio de este método se utilizó instrumentos como ser: Una wincha, un reloj con cronómetro, flotadores de distinto tamaño y peso.

Procedimiento:

1. Se ubicó en el canal un tramo aproximado (L) y de sección uniforme. Se determinó el punto Po al inicio del tramo y el punto Pf al final del tramo del canal seleccionado.
2. A la altura del punto Po se soltó un pequeño flotador y anotó el tiempo (t) (seg) que demora en desplazarse hasta la altura del punto Pf. Se realizó 5 mediciones del tiempo (t) y determinó un promedio para realizar el cálculo de la velocidad: T1; T2; T3; T4 y T5 de los cuales se suman  $T = (t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5)$ , con el resultado de las sumatorias; el resultado se divide entre el número de Tiempos, el cual el resultado, es el promedio resultante (T).
3. Se Calculó la velocidad (V) del agua utilizando la siguiente fórmula:

$$V = L / T$$

4. Posteriormente se midió el ancho del canal (B) en metros y la profundidad del agua (H) en metros, para calcular el área de la sección. Mediante la siguiente fórmula:

$$A = B \times H$$

5. Se observó el tipo de terreno del canal para seleccionar el factor de corrección (C) del caudal, para lo cual tenemos: C = 0.8 para canal de concreto, C = 0.7 para canal de tierra y C = 0.5 para arroyo quebrado.

6. Por último se calcula el Caudal (Q) en metros por segundo mediante la siguiente fórmula:

$$Q = C \times V \times A$$

Para calcular en litros por segundo se multiplica el resultado por 1000, (Maldonado I., 2001).

### **5.3.3 Materiales empleados.**

#### **5.3.3.1 Materiales empleados en campo.**

Fueron utilizados los subsiguientes:

- Instrumento dotado con G.P.S (Sistema Global de Geoposicionamiento, por las siglas en ingles).
- Wincha.
- Tablero.
- Cronometro.
- Cilindros doble para determinar infiltración.
- Objetos flotantes para determinar caudal.

#### **5.3.3.2 Materiales de gabinete.**

Fueron utilizados en gabinete los siguientes:

- ✓ Equipo de computación.
- ✓ Software ABRO (Area Bajo Riego Optimo).
- ✓ Programa Google Earth Pro.
- ✓ Planos y mapas
- ✓ Programas de navegación.

## IV. RESULTADOS.

### 4.1 Presentación, análisis e interpretación de la información recabada.

#### 4.1.1 Tabulación de encuestas a regantes.

##### 4.1.1.1 Tabulación de encuestas a regantes del barrio San Luis.

#### 1. ¿Cuántas hectáreas cultivadas tiene usted?

El aprovechamiento de las ventajas de cualquier sistema de riego depende de gran medida del conocimiento de cantidad de agua que consumen los cultivos y del momento oportuno para aplicarla, con el objetivo de no perjudicar su rendimiento, por eso se necesita saber exactamente el número de hectáreas que existen con cultivos bajo riego.

**Cuadro 16.**  
**Número de hectáreas con cultivos representativos.**

N° regantes	N° has. cultivadas	Total has. Cultivadas
5	0,5	2,5
2	1	2
2	1,5	3
4	2	8
3	3	9
3	4	12
1	5	5
1	6	6
2	12	24
<b>23</b>		<b>71,5</b>

De acuerdo a los datos obtenidos, como se observa en el cuadro 16 por medio de las encuestas a los regantes del barrio San Luis, el número de hectáreas con cultivos representativos es de 71,50 y de la misma también podemos extraer que el número de regantes es de 23 titulares, que son los dueños de las parcelas, lo cual es corroborado por la lista proporcionada por el juez de agua de la zona.

## 2. ¿Cuántas hectáreas tiene con cultivos representativos de la zona?

Se necesita definir el número de hectáreas con los cultivos representativos de la zona de estudio, es decir, discriminando los otros sembradíos de menor explotación.

**Cuadro 17.**  
**Número de hectáreas con cultivos representativos (forrajeras).**

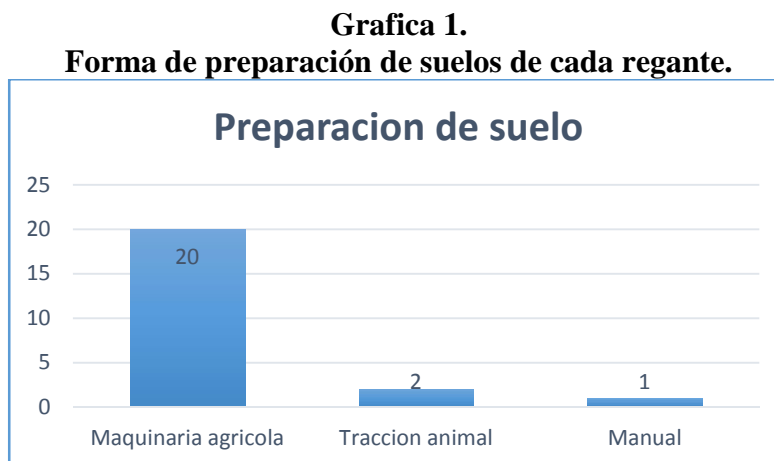
N°	Alfalfa	Avena	Maíz
1	1,5		0,5
2	0,8		0,7
3	4		1
4	2	2	2
5	3		1
6	1,5	1	0,5
7	1		0,5
8	10	2	
9	1,5	2	0,5
10	8,5	1,5	2
11	2,5		0,5
12	1,5		0,5
13	1		
14	4		
15	2,5		0,5
16	0,5		
17	0,5		
18	0,5		
19	0,5		
20	0,5		
21	2		
22	2		
23			1
<b>Total</b>	<b>51,8</b>	<b>8,5</b>	<b>11,2</b>

Se observa en el cuadro 17, de acuerdo a las encuestas realizadas a todos los regantes del barrio San Luis que los cultivos representativos son tres: Alfalfa con 51.80 has., Avena (forraje) con 8.50

has. y Maíz (forraje) con 11.20 has., se pudo advertir en todas las parcelas el tipo de cultivo de mayor explotación es forrajero y destinado a la alimentación de ganado vacuno lechero.

### 3. ¿Cuál es la forma de preparación de su suelo?

La forma de preparación del suelo, ayuda a formular criterios empíricos, para determinar el tipo de explotación, el grado de compactación y en parte la pérdida de macronutrientes.



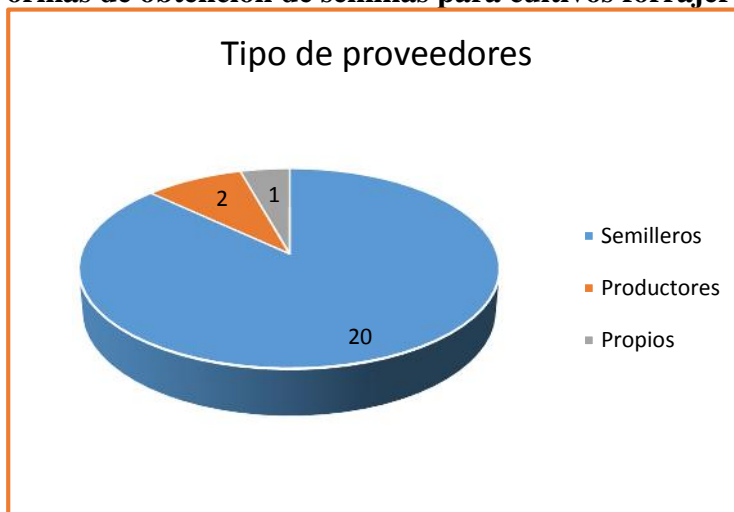
Según los datos obtenidos y plasmados en la gráfica 1, se puede observar que 20 regantes realizan su preparación de suelo con maquinaria agrícola, 2 regantes con tracción animal y tan solo uno de forma manual; esto se debe a la cercanía de la zona, lo cual se tiene acceso al alquiler de maquinaria agrícola; y los que no lo necesitan se debe a que sus parcelas son pequeñas y el agricultor puede hacerlo con tracción animal o de forma manual

### 4. ¿De dónde obtiene sus semillas?

Semillas de gran vigor, llevan a una producción garantizada, por ello las plantas adquiridas de una simiente certificada, el requerimiento es mayor, el descuido de alguna necesidad de la misma lleva a resultados deficientes.



**Gráfica 2.**  
**Formas de obtención de semillas para cultivos forrajeros.**



Con los datos obtenidos mediante las encuestas y los cuáles se interpretó y tabuló, los mismos observamos en la gráfica 2, donde 20 regantes obtienen sus semillas de Semilleros (lugares destinados a la venta de semillas certificadas y calificadas), 2 regantes consiguen sus semillas de productores y 1 consigue de fuente propia. La mayor parte de regantes adquieren semillas híbridas de semilleros por tener alto poder germinativo y al tener acceso a riego tienen casi segura su producción; afirmaron también pese a que existen esporádicamente colaboración por parte de entidades gubernamentales para fomento a la producción agrícola, beneficiándoles con semillas, las mismas no rindieron como las que ellos recibieron.

### 5. ¿En qué mes realiza la siembra?

La época de sementera es de gran importancia, porque define el desarrollo de los vegetales en condiciones edafoclimáticas ideales en una zona geográfica determinada.

**Cuadro 18.**  
**Meses en que se realizan la siembra de cultivos.**

Cultivos	Meses de siembra según número de regantes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
<b>Alfalfa</b>						7	11	5				
<b>Avena</b>			11	7	5							
<b>Maíz</b>								5	7	11		

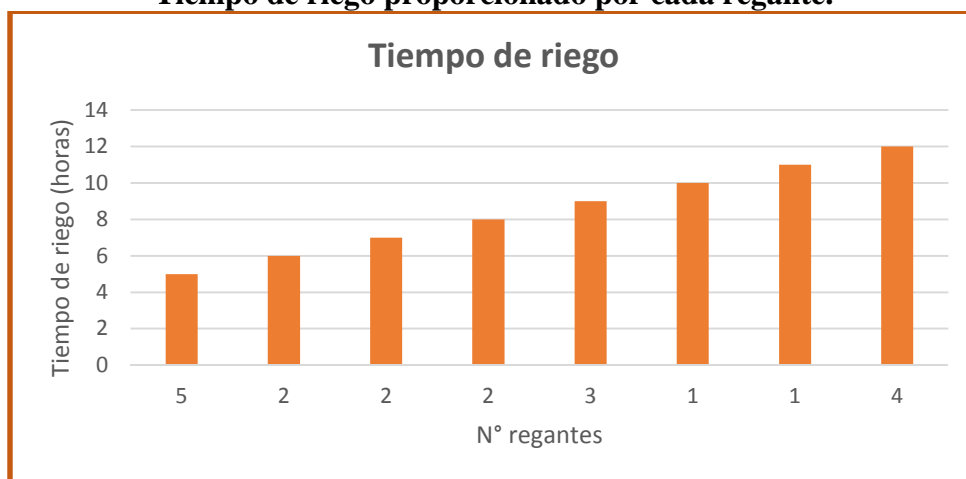
De acuerdo al cuadro, se puede observar que 7 regantes siembran alfalfa en el mes de junio, 11 en el mes de julio y 5 en agosto. Para el caso de la Avena (forraje), 11 regantes siembran en marzo, 7 en abril y 5 en mayo; la siembra del Maíz (forraje), afirmaron 5 regantes lo realizan en el mes de agosto, 7 en el mes de septiembre y 11 en octubre.

Estas diferencias en meses de siembra de acuerdo al cultivo, depende del tiempo de los productores, disponibilidad de maquinaria agrícola en alquiler, condiciones climáticas y disposición de dinero para la misma.

### 6. ¿Cuánto tiempo le suministra riego a su cultivo?

El tiempo de suministro de agua para riego es vital, porque debe estar cubierta la demanda por etapas del cultivo a regar, porque de lo contrario, el sembradío tendrá bajos rendimientos; el exceso de riego también tiene resultados negativos, como ser enfermedades, pérdidas de nutrientes en el suelo y mal uso de agua de riego.

**Gráfica 4.**  
**Tiempo de riego proporcionado por cada regante.**

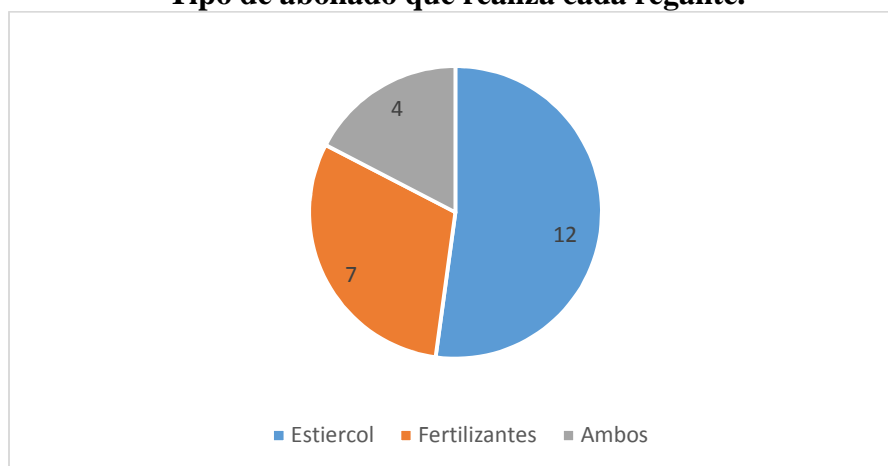


Como podemos ver en la gráfica 4, tenemos que el mayor tiempo de riego suministrado, lo hacen 4 regantes con 12 horas, que son las máximas dadas de acuerdo a lo convenido por los regantes en asamblea y con el menor tiempo de riego tenemos 5 regantes con 5 horas de suministro de agua a sus cultivos. Esta diferencia está sujeta al tamaño de sus parcelas y al tipo de cultivos representativos que tengan.

## 7. ¿Con qué realiza usted el abonado o la fertilización de su cultivo?

La fertilización para el desarrollo de un cultivo es importante, porque dependiendo de su disponibilidad de nutrientes del suelo, el desarrollo del mismo será garantizado.

**Grafica 5.**  
**Tipo de abonado que realiza cada regante.**



La gráfica 5, nos muestra los resultados adquiridos con el empleo de la encuesta, nos da a conocer que 12 de los productores fertiliza su terreno con abono animal (estiércol), 7 de los regantes sólo emplea abono químico, y 4 regantes practican la fertilización de sus terrenos con los dos abonos (químico y animal), por que ellos consideran que aprovechando estos productos se logran mejores resultados que usándolos por separado y así cumplir con las necesidades de los cultivos, al contrario de otros productores del barrio que utilizan sólo uno para adaptar a sus terrenos por los diferentes motivos, unos por no querer manejar abonos químicos debido a sus costos elevados y porque también cuentan con el abono animal en su propiedad.

### 6.1.2 Tabulación de encuestas a regantes del Temporal.

#### 1. ¿Cuántas hectáreas cultivadas tiene usted?

Se delimita el número de hectáreas cultivadas, para conocer los cultivos más representativos de la zona de estudio.

**Cuadro 18.**  
**Número de hectáreas con cultivos representativos.**

<b>N° regantes</b>	<b>N° has cultivadas</b>	<b>Total has. Cultivadas</b>
1	0,25	0,25
2	0,30	0,60
17	0,50	8,50
1	1	1
1	1,50	1,50
5	2	10
3	2,50	7,50
3	3	9
2	4	8
1	15	30
<b>36</b>		<b>76,35</b>

Como se observa en el cuadro 18, son los resultados de la interpretación y tabulación de las encuestas realizadas en la comunidad de El Temporal, la cantidad de hectáreas son 76.35, de igual manera podemos verificar que el número de regantes, es de 36, lo cual coincide con la lista actual y avalada por la comunidad, que tiene el juez de agua.

## **2. ¿Cuántas hectáreas tiene con cultivos representativos de la zona?**

Determinadas las hectáreas con cultivos, pasamos a identificar los sembradíos representativos, como también el número de hectáreas con los mismos, por beneficiarios.

**Cuadro 19.**  
**Número de hectáreas con cultivos representativos (forrajeras).**

N°	Alfalfa	Avena	Maíz
1	2	1	1
2	0,50		
3	1	0,50	0,50
4	2	0,50	
5	1	0,50	1
6	0,50		
7	0,50		
8	0,50		
9	1	1	
10	2		
11	1		
12	1	1	0,50
13	1		
14	1	1	
15	1	0,50	
16	0,50		
17	0,50		
18	0,50		
19	0,30		0,20
20	10	2	3
21	2	1	1
22	0,50		
23	0,50		
24	0,30		
25	2	1	
26	0,30		
27	3	2	
28	0,50		
29	0,50		
30	0,50		
31	0,50		
32	11	2	2
33	0,50		
34	0,50		
35	0,50		
36			0,25
<b>Total</b>	<b>50,90</b>	<b>14</b>	<b>9,45</b>

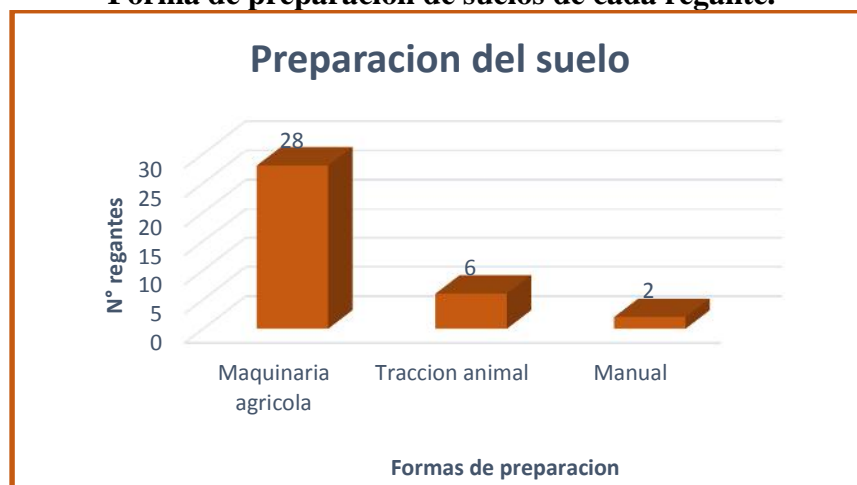
De acuerdo a lo observado, en el cuadro 19, la encuesta fue realizada a los 36 regantes, los resultados plasmados en el cuadro arroja que los cultivos representativos, en la comunidad El

Temporal son Alfalfa con 50.90 hectáreas, Avena (forraje) con 14 hectáreas y 9.45 hectáreas para el Maíz (forraje).

### 3. ¿Cuál es la forma de preparación de su suelo?

El tipo de laboreo de suelo determinada a formar un criterio técnico, para conocer aproximadamente el tipo de compactación que tiene las parcelas cultivadas.

**Grafica 6.**  
**Forma de preparación de suelos de cada regante.**



De acuerdo a la gráfica 6, podemos observar que 28 regantes preparan el suelo para sus cultivos con maquinaria agrícola, 6 regantes con la ayuda de tracción animal y tan solo 2 regantes de la forma tradicional o manual. Esto se debe a que algunos productores regantes de la zona tienen tractores, el mismo también prestan el servicio del alquiler de sus maquinarias agrícolas a los que no tienen.

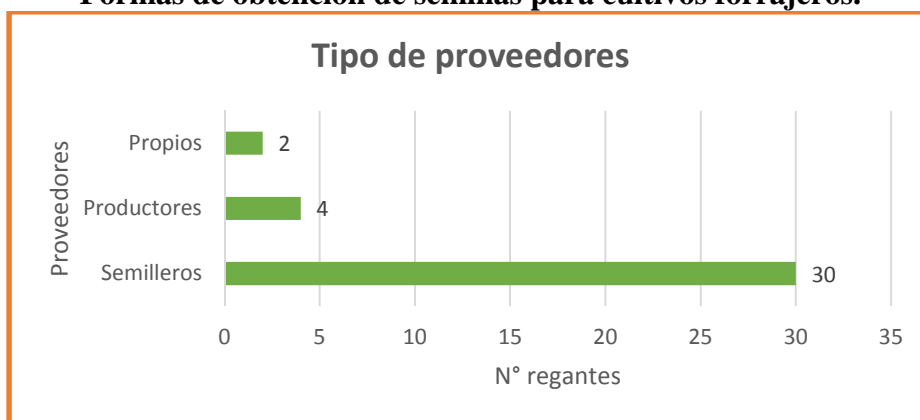
Esto está sujeto al tamaños de la superficie que tienen los regantes, si tienen grandes extensiones entonces es necesario el uso de maquinaria, lo cual pasa al contrario que tiene superficies muy pequeñas ellos prefieren con tracción animal o como también si pueden lo realizan de forma manual.

### 4. ¿De dónde obtiene sus semillas?

La forma de obtención de las semillas lleva a establecer, el rendimiento de nuestros cultivos a producir.

De la interpretación y tabulación de las encuestas, observamos los resultados en la gráfica 8, donde observamos que 30 regantes obtienen sus semillas de cultivos representativos de Semilleros (lugares destinados a la venta de semillas certificadas y calificadas), 4 de productores y 2 la obtienen de forma propia.

**Grafica 8.**  
**Formas de obtención de semillas para cultivos forrajeros.**



La mayoría obtiene semilla de Semilleros por su alto poder germinativo, y así tener una producción garantizada, aunque también reciben esporádicamente ayuda de provisión de semilla, por parte de algunas ayudas gubernamentales, que según entrevista informal con los regantes afirman que no son esas semillas tan garantizadas para su producción.

### 5. ¿En qué mes realiza la siembra?

De acuerdo a lo advertido en el cuadro 20, se puede contemplar que 9 regantes siembran alfalfa en el mes de junio, 21 en el mes de julio y 6 en agosto. Para el caso de la Avena (forraje), 21 regantes siembran en marzo, 9 en abril y 6 en mayo; la siembra del Maíz (forraje), afirmaron 6 regantes lo realizan en el mes de agosto, 9 en el mes de septiembre y 21 en octubre.

**Cuadro 20.**  
**Meses en que se realizan la siembra de cultivos.**

Cultivos	Meses de siembra según número de regantes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Alfalfa						9	21	6				
Avena			21	9	6							
Maíz								6	9	21		

Estas diferencias en meses de sementera de acuerdo al cultivo, depende del tiempo de los productores, disponibilidad de maquinaria agrícola en alquiler, condiciones climáticas y disposición de dinero para la misma.

### 6. ¿Cuánto tiempo le suministra riego a su cultivo?

Como podemos la gráfica 9, tenemos que el mayor tiempo de riego suministrado, lo hacen 5 regantes con 12 horas, que son las máximas dadas de acuerdo a lo convenido por el Proyecto Múltiple San Jacinto, para una mayor eficiencia y distribución, según lo que ellos afirman como institución y con el menor tiempo de riego tenemos 2 regantes con 4 horas de suministro de agua a sus sembradíos. Esta diferencia está sujeta al tamaño de sus parcelas y al tipo de cultivos representativos que tengan.

**Grafica 9.**  
**Tiempo de riego proporcionado por cada regante.**



### 7. ¿Con qué realiza usted el abonado o la fertilización de su cultivo?

El presente gráfico 10, que nos muestra los resultados obtenidos con aplicación de la encuesta, nos da a conocer que 10 de los productores fertiliza su terreno con abono animal (estiércol), 14 de los regantes sólo utiliza abono químico, y 14 regantes realizan la fertilización de sus terrenos con los dos abonos (químico y animal), por que ellos consideran que aprovechando estos productos se logra mejores resultados que usándolos por separado y así cumplir con las necesidades de los cultivos.



**Gráfica 10.**  
**Tipo de abonado que realiza cada regante.**



Los beneficiarios consideran que manejando estos productos, se adquiere mejores resultantes que usándolos por separado y así cumplir con las necesidades de los cultivos, al contrario de otros productores de la comunidad que emplean, solo uno para aplicar a sus terrenos por los diferentes motivos, unos por no querer usar abonos químicos debido a sus costos elevados y porque también cuentan con el abono animal en su propiedad.

## **6.2 Elaboración del calendario de cultivos representativos del barrio San Luis.**

De acuerdo a lo que observamos en el cuadro 21, están los tres cultivos representativos de la zona, las cuales son forrajeras, por ser esta zona productora de ganado lechero; vemos que la alfalfa los meses de siembra son de junio a septiembre, pero su ciclo vegetativo es de 365 días, su duración del cultivo en la zona son de 4 a 5 años; para el Maíz los meses de siembra son de agosto a noviembre y su ciclo vegetativo es de 150 días; en el cultivo de la Avena las época de siembra son de marzo a mayo, teniendo en cuenta que el ciclo vegetativo de este cultivo es de 120 días. Asimismo observamos en el cuadro las hectáreas totales cultivadas en cada mes, terreno en descanso y el total del área cultivable; esto fue elaborado con el apoyo de los datos obtenidos de las encuestas a los regantes como también al apoyo de sistemas de geoposicionamiento.

**Cuadro 21.**  
**Calendario de cultivos (Sistemas de Riego: San Luis).**

Nº	CULTIVO (Has)	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY
1	Alfalfa	52,3	53,3	53,3	53,3	53,3	53,3	53,3	53,3	53,3	53,3	53,3	53,3
2	Maiz forrajero			11,2	11,2	11,2	11,2						
3	Avena										7	7	7
<b>TOTAL has. CULTIVADAS</b>		<b>59,3</b>	<b>53,3</b>	<b>64,5</b>	<b>64,5</b>	<b>64,5</b>	<b>64,5</b>	<b>53,3</b>	<b>53,3</b>	<b>53,3</b>	<b>60,3</b>	<b>60,3</b>	<b>60,30</b>
<b>Terreno en Descanso (has.)</b>		<b>74,17</b>	<b>80,17</b>	<b>68,97</b>	<b>68,97</b>	<b>68,97</b>	<b>68,97</b>	<b>80,17</b>	<b>80,17</b>	<b>80,17</b>	<b>73,17</b>	<b>73,17</b>	<b>125,5</b>
<b>Total área cultivable (has)</b>		<b>133,5</b>	<b>133,5</b>	<b>133,5</b>	<b>133,5</b>	<b>133,5</b>	<b>133,5</b>	<b>133,5</b>	<b>133,5</b>	<b>133,5</b>	<b>133,5</b>	<b>133,5</b>	<b>133,5</b>

### 6.2.1 Elaboración del calendario de cultivos representativos de la comunidad El Temporal.

De acuerdo a lo que observamos en el cuadro 22, están los tres cultivos representativos de la zona, las cuales son forrajeras, por ser esta zona productora de ganado lechero; vemos que la alfalfa los meses de siembra son de junio a septiembre, pero su ciclo vegetativo es de 365 días, su duración del cultivo en la zona son de 4 a 5 años; para el Maíz los meses de siembra son de agosto a noviembre y su ciclo vegetativo es de 150 días; en el cultivo de la Avena las época de siembra son de marzo a mayo, teniendo en cuenta el ciclo vegetativo de este cultivo es de 120 días.

**Cuadro 22.**  
**Calendario de cultivos (Sistemas de Riego: El Temporal).**

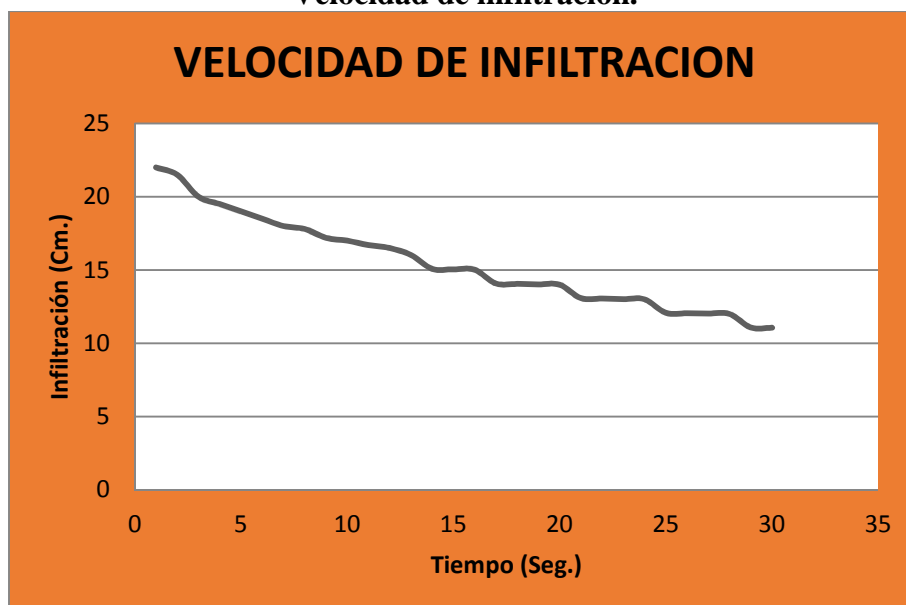
Nº	CULTIVO (Has)	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY
1	Alfalfa	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
2	Maiz forrajero			15	15	15	15						
3	Avena	12,8									12,8	12,8	12,8
<b>TOTAL has. CULTIVADAS</b>		<b>63,8</b>	<b>51</b>	<b>66</b>	<b>66</b>	<b>66</b>	<b>66</b>	<b>51</b>	<b>51</b>	<b>51</b>	<b>63,8</b>	<b>63,8</b>	<b>63,8</b>
<b>Terreno en Descanso (has.)</b>		<b>15,2</b>	<b>28</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>15,2</b>	<b>15,2</b>	<b>71</b>
<b>Total área cultivable (has)</b>		<b>79</b>	<b>79</b>	<b>79</b>	<b>79</b>	<b>79</b>	<b>79</b>	<b>79</b>	<b>79</b>	<b>79</b>	<b>79</b>	<b>79</b>	<b>79</b>

También observamos en el cuadro las hectáreas totales cultivadas en cada mes, terreno en descanso y el total del área cultivable; esto fue elaborado con el apoyo de los datos obtenidos de las encuestas a los regantes como también al apoyo de sistemas de geoposicionamiento.

### 6.3 Infiltración determinada.

Se define a la infiltración como al proceso hidrológico por el cual el agua ingresa al suelo a través de su superficie.

**Gráfico 11.**  
**Velocidad de infiltración.**



En la gráfica 11, se observa, que existe una infiltración de 10 centímetros en 25 segundo, se puede interpretar que el tipo de suelo es FAL (franco areno limoso), se conoce que la práctica de infiltración es el movimiento de agua de la superficie hacia el interior del suelo, su velocidad de penetración depende de tres factores: Presencia de una capa compacta, densidad específica o niveles generales de compactación y porosidad superficial, la cual es afectada por la preparación del suelo, presencia de residuos de cultivos, lombrices, raíces, y otras actividades biológicas, y aún de mayor interés, los agregados estables al agua, formados en suelos saludables por la acción de hongos benéficos.

### 6.3 Aforo de Caudales.

#### 6.3.1 Caudales determinados en el barrio de San Luis.

En el Cuadro 23, tenemos los caudales delimitados; el mismo elaborado por el método empírico del objeto flotante, los cuáles fueron tomados del canal de riego de la zona, se puede observar que los caudales más altos durante el año son desde los meses de Septiembre a Marzo; registrándose los meses de mayor caudal en los meses de Diciembre a Enero.

**Cuadro 23.**  
**Caudales mensuales de sistema de riego San Luis.**

MESES	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Caudales (m <sup>3</sup> )	133,920,00	120,960,00	107,136,00	77,760,00	80,352,00	77,760,00	80,352,00	80,352,00	103,680,00	120,528,00	129,600,00	133,920,00

El canal de riego, es una acequia, es decir no es con concreto, el mismo que se alimenta del río Guadalquivir, el cual tiene la boca toma en el barrio El Tejar, esta acequia data de más de 110 años, teniendo muchas irregularidades por no tener un manejo adecuado del canal de riego.

### **6.3.2 Caudales determinados en la comunidad de El Temporal.**

En el Cuadro 24, observamos los caudales delimitados, mediante el método empírico del objeto flotante, los cuáles fueron tomados del canal de riego, en el mismo se puede observar que los caudales con mayor afluencia de agua son los meses de Diciembre a Enero y el más bajo en el mes de Junio.

**Cuadro 24.**  
**Caudales mensuales de sistema de riego El Temporal.**

MESES	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Caudales (m <sup>3</sup> )	80,352,00	72,576,00	80,352,00	64,800,00	53,562,00	51,840,00	53,568,00	53,568,00	64,800,00	66,960,00	77,760,00	80,352,00

El canal de riego, es de concreto en todo su recorrido, es decir que es parte del Sistema Múltiple San Jacinto (S.M.S.J), estas aguas vienen de la represa San Jacinto.

## **6.4 Presentación, análisis, interpretación de los resultados obtenidos del software ABRO.**

### **6.4.1 Resultados obtenidos del software ABRO, para el barrio San Luis.**

## **CÁLCULO DE ÁREA BAJO RIEGO ÓPTIMO**

### **IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

Para proceder a insertar la información, se debe llenar recuadros que están el software del programa de ABRO, previamente teniendo la localización se especifica seleccionando Departamento, Provincia, Municipio y Zona agro ecológica de listas que se despliegan en los combo box respectivos. El combo box Provincia listará únicamente las provincias del departamento escogido en el combo box Departamento; de la misma forma el combo box Municipio listará sólo municipios de la provincia y departamento preferidos previamente. Ninguno de los campos es requerido, salvo en el caso de la zona agro ecológica que es imprescindible en el cálculo de ABRO.

**Cuadro 25.**  
**Identificación del proyecto.**

NOMBRE DEL PROYECTO:	Sistema de Riego San Luis
NOMBRE DEL PROYECTISTA:	Giner Gonzáles De Los Rios
LOCALIZACIÓN:	
DEPARTAMENTO:	Tarija
PROVINCIA:	Cercado
MUNICIPIO:	Tarija
COMUNIDAD:	San Luis
LATITUD:	21°32'48"
LONGITUD:	64°42'39"
ZONA AGRO CLIMATICA:	Valles

Como se indica en el cuadro 25, en esta parte de llenado del programa, se introduce el nombre del sistema de riego denominado San Luis, siendo este sistema de riego una acequia; se inserta el nombre de la persona o institución que realizará el proyecto, se introdujo la ubicación exacta y la zona agroclimática, que la zona es valle.

**CÁLCULO DE ÁREA BAJO RIEGO ÓPTIMO**  
**EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE REFERENCIA (ET<sub>o</sub>)**  
**Método Penman Monteith**

En la ventana ET<sub>o</sub> , se introducen los datos para el cálculo de la Evapotranspiración según el método Penman Monteith. En el group box “Cálculo Evapotranspiración (ET<sub>o</sub>)” se debe indicar cuáles son las variables que se utilizarán en el cálculo, de modo que el programa permita la introducción de datos para esas variables únicamente. Los datos de latitud y altitud se encajan a

través de combo boxes que despliegan listas con las latitudes y altitudes posibilitadas para el cálculo ETo.

**Cuadro 26.**  
**Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo).**

Latitud 21°													Altitud: 1800 msnm
Temperatura Mínima (°C)													
Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May		
2,70	2,40	4,70	7,70	11,50	13,00	14,20	14,40	14,00	13,50	10,90	6,10		
Temperatura Máxima (°C)													
Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May		
24,00	23,90	25,40	26,10	27,60	27,50	27,50	27,00	26,70	26,30	25,60	24,70		
Humedad Relativa (HR)													
Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May		
0,55	0,53	0,50	0,50	0,55	0,59	0,64	0,67	0,69	0,68	0,66	0,59		
Eto CALCULADO (mm/día):													
Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May		
3,20	3,29	3,96	4,64	5,16	5,29	5,19	4,98	4,68	4,32	3,84	3,48		

Los datos que se observa en el cuadro 26, es arrojada por el software ABRO, se ingresan datos de latitud y altitud, también datos climatológicos, como ser temperatura mínima, máxima y húmeda relativa, dichos datos son medias anuales, que datan de los años 1962 a 2012 tomados de la estación climatológica del aeropuerto.

### CÁLCULO DE ÁREA BAJO RIEGO ÓPTIMO DATOS CON PROYECTO

En la ventana Situación con Proyecto, se mete la información necesaria para el cálculo del Área Bajo Riego Óptimo (ABRO) en situación con proyecto.

Los campos Área regable y Capacidad máxima del canal deben ser llenados con valores numéricos mayores a cero. Los campos Eficiencia de Captación, Eficiencia de Conducción, Eficiencia de Distribución y Eficiencia de Aplicación deben llenarse con datos numéricos comprendidos entre 0 y 1. Los campos Precipitaciones y Derechos a Terceros tienen por defecto valores en cero y no es obligatorio insertar datos en ellos. En el caso de Precipitaciones, los valores son los mismos en Situación con Proyecto, por lo tanto, se pueden editar en Situación sin Proyecto únicamente.

El programa permite seleccionar sólo cultivos de la zona agro ecológica que corresponde con el proyecto, por lo tanto, sólo es posible registrar cultivos si se ha seleccionado una zona agro ecológica en Identificación. La suma de áreas asignadas a los cultivos no debe ser mayor que el Área Regable. Para eliminar un cultivo debe seleccionarse la fila correspondiente y hacer clic en la tecla Suprimir.

La ventana para el ingreso de Fuentes de Agua. Debemos seleccionar la unidad en la que se desean ingresar valores mensuales de la fuente de agua. Si se elige Volumen se ingresan datos en valores de metros cúbicos (m3), en caso de elegir Caudal se ingresan datos en (l/s). Si se quiere conocer la equivalencia de un valor ingresado en la otra unidad sólo es necesario cambiar la unidad y los datos se actualizarán automáticamente.

**Cuadro 27.**  
**Datos con Proyecto.**

AREA REGABLE (ha):	71,00	Eficiencia del Sistema:	Total: 0,3752
CAPACIDAD MAXIMA DEL CANAL (l/s):	120,00	De captación:	0,94
		De conducción:	0,81
			De distribución: 0,77
			De aplicación: 0,64

PRECIPITACIONES (mm):											
Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
0,70	0,60	2,00	6,70	36,10	68,30	129,60	135,80	115,00	84,50	21,30	2,30

DERECHO DE TERCEROS (l/s):											
Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Cultivo	Mes de siembra	Area (ha)
Alfalfa	Junio	52,30
Avena (forraje)	Marzo	7,00
Maíz (forraje)	Agosto	11,20
<b>TOTAL</b>		<b>70,50</b>

Fuente de Agua: Canal Guadalquivir						Volumen total (m3): 2,722,135,68					
Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
146707,2	156418,56	174096	202694,4	234627,84	236649,6	257662,08	321408	290304	294624	246240	160704

Para este cuadro 27, se sigue ingresando al software de forma manual los datos como ser: El área regable, capacidad máxima del canal, eficiencia del sistema de captación, Precipitaciones mensuales, al no tener otra captación de riego a 100 metros río arriba no se tiene DERECHO DE TERCEROS, se inserta los cultivos representativos, como ser forrajeras para nuestro trabajo, los meses de siembra de los mismos y el área, para este trabajo calculado con sistemas de geoposicionamiento y no confiados solo en las encuestas realizadas y por último se ingresa el nombre de la fuente de agua, el volumen de la misma y los caudales mensuales del canal de riego; todos los datos introducidos es para el Cálculo de Área Bajo Riego Óptimo, para datos con proyecto.

### CÁLCULO DE ÁREA BAJO RIEGO ÓPTIMO ÁREA BAJO RIEGO ÓPTIMO SITUACIÓN CON PROYECTO (PARTE 1)

El reporte de ABRO en Situación con Proyecto, ofrece el detalle completo del cálculo de Área Bajo Riego Óptimo bajo las condiciones especificadas en Situación con Proyecto.

**Cuadro 28.**  
**Datos con proyecto (Parte 1).**

PROYECTO: Sistema de Riego San Luis				ÁREA BAJO RIEGO OPTIMO: 60,65 (ha)			
<b>CULTIVO</b>		Alfalfa		Avena (forraje)		Maíz (forraje)	TOTAL
AREA REAL (ha)		52,30		7,00		11,20	70,50
<b>AREA BAJO RIEGO OPTIMO</b>		<b>44,99</b>		<b>6,02</b>		<b>9,63</b>	<b>60,65</b>
		AREA NETA (ha)		71,00			
		FACTOR DE AREA		0,86			
		CAPACIDAD MAXIMA (l/s)		120,00			



	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	ANUAL
	30	31	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31	365
ET (mm/día)	3,20	3,29	3,96	4,64	5,16	5,29	5,19	4,98	4,68	4,32	3,84	3,48	
ET (mm/mes)	95,90	101,95	122,90	139,10	160,05	158,79	160,75	154,23	131,17	133,91	115,10	107,78	1581,64
Prec. (mm)	0,70	0,60	2,00	6,70	36,10	68,30	129,60	135,80	115,00	84,50	21,30	2,30	602,90
Prec. Efec. (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	15,83	39,98	85,95	90,60	75,00	52,13	4,73	0,00	364,20
Kc (Alfalfa)	0,71	1,09	1,13	0,70	1,14	1,15	0,66	0,83	1,07	0,66	0,82	0,67	
ETR (mm)	68,09	111,13	138,88	97,37	182,46	182,61	106,10	128,01	140,35	88,38	94,38	72,21	1409,97
Req. Riego (mm)	68,09	111,13	138,88	97,37	166,64	142,63	20,15	37,41	65,35	36,26	89,66	72,21	1045,77
Req. Neto (m <sup>3</sup> )	30632,53	49997,38	62482,07	43808,62	74970,30	64170,11	9063,88	16830,13	29403,21	16311,78	40338,20	32488,73	470496,94
Kc (Avena) forraje	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	0,76	1,15	
ETR (mm)	57,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	50,89	87,48	123,95	319,85
Req. Riego (mm)	57,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	82,75	123,95	264,24
Req. Neto (m <sup>3</sup> )	3464,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4938,13	7463,66	15911,54
Kc (Maíz) forraje	0,00	0,00	0,24	0,41	0,80	1,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
ETR (mm)	0,00	0,00	29,50	57,03	128,04	171,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	386,06
Req. Riego (mm)	0,00	0,00	29,50	57,03	112,22	131,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	330,06
Req. Neto (m <sup>3</sup> )	0,00	0,00	2841,87	5494,92	10811,82	12671,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31819,68

Se observa en el cuadro 28, arrojado como resultado del software ABRO, con los datos ingresados manualmente como lo vimos en el cuadro 26 y 27; los resultados que se advierte son: Área bajo riego óptimo, situación con proyecto (parte 1), con la sumatoria del área de cada cultivo representativos, haciendo una área real de 70.50 hectáreas y con un área bajo riego óptimo de **60.65 hectáreas**; también se contempla el factor área, el cual indica en un valor menor a 0.60 que los datos fueron llenados adecuadamente; asimismo observamos el factor área, el cual indica la confiabilidad de los datos introducidos, siendo un valor de 0.86.

Igualmente tenemos los resultados de la Evapotranspiración Real del cultivo representativo de la zona de estudio como ser la alfalfa con 1,409.97 mm., para la avena (forraje) con 319.95 mm. Y el maíz (forraje) con 386.06 mm. De igual manera tenemos para cada uno de los cultivos mencionados el requerimiento de riego y el requerimiento neto, siendo el Requerimiento Neto más alto para el cultivo de la alfalfa y el más bajo para la avena (forraje).



En el cuadro 29, se puede apreciar los resultados del software ABRO, que es la situación con proyecto (parte 2), donde el requerimiento de Riego anual es de 1,007.57 mm., el requerimiento Neto de 518,228.16 m<sup>3</sup> por año, también se puede observar la sumatoria de la Evapotranspiración Real de los tres cultivos representativos de la zona, mensualmente, así como es área total.

De igual manera observamos que la demanda de agua de los cultivos representativos (forrajeras), está cubierta por oferta; es decir la demanda total anual es de 1, 381,139.15 m<sup>3</sup> y siendo cubierta por la oferta con 2, 722,135.68 m<sup>3</sup> por año, no existiendo un área deficitaria de riego, en la zona de estudio.

### CÁLCULO DE ÁREA BAJO RIEGO ÓPTIMO CÁLCULO DEL ÁREA INCREMENTAL

**Cuadro 30.**  
**Cálculo del área incremental.**

CON PROYECTO												
CULTIVO	Alfalfa	Avena (for)	Maíz (for)									TOTAL
AREA REAL (ha)	52,30	7,00	11,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	70,50
AREA BAJO RIEGO OPTIMO	44,99	6,02	9,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	60,65
AREA INCREMENTADA (ha)	39,99	1,02	4,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	45,65

MES	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
CON PROYECTO	51,01	44,99	54,62	54,62	54,62	54,62	44,99	44,99	44,99	51,01	51,01	51,01
AREA INCREMENTADA MES (ha)	41,01	39,99	44,62	44,62	44,62	44,62	39,99	39,99	39,99	41,01	41,01	41,01
INDICE DE INCREMENTO MES	4,10	8,00	4,46	4,46	4,46	4,46	8,00	8,00	8,00	4,10	4,10	4,10
AREA INCREMENTADA (ha):			45,65									

Observamos en el cuadro el área incremental es de 45.65 hectáreas, para el software ABRO, esta área se calcula de la diferencia entre el área bajo riego óptimo en la situación con proyecto, menos el área bajo riego óptimo en la situación sin proyecto. Esta área, es el resultado del incremento de agua de riego, debido al mejoramiento de las eficiencias del sistema. Se dice cultivo óptimamente regado cuando la planta no sufre estrés hídrico y recibe riegos oportunos, por tanto, el valor del área incremental expresa el efecto directo del incremento de agua sobre la situación productiva de sistemas de riegos nuevos, mejorados y/o ampliados.

#### 6.4.2 Resultados obtenidos del software ABRO, para la comunidad El Temporal.

Para proceder a introducir la información, se debe llenar recuadros que están el software del programa de ABRO, previamente teniendo la localización se especifica seleccionando Departamento, Provincia, Municipio y Zona agro ecológica de listas que se despliegan en los combo box respectivos. El combo box Provincia listará únicamente las provincias del departamento seleccionado en el combo box Departamento; de la misma forma el combo box Municipio listará sólo municipios de la provincia y departamento seleccionados previamente. Ninguno de los campos es requerido, salvo en el caso de la zona agro ecológica que es imprescindible en el cálculo de ABRO.

### **CALCULO DE AREA BAJO RIEGO ÓPTIMO**

#### **IDENTIFICACION DEL PROYECTO**

Para proceder a introducir la información, se debe llenar recuadros que están el software del programa de ABRO, previamente teniendo la localización se especifica seleccionando Departamento, Provincia, Municipio y Zona agro ecológica de listas que se despliegan en los combo box respectivos. El combo box Provincia listará únicamente las provincias del departamento seleccionado en el combo box Departamento; de la misma forma el combo box Municipio listará sólo municipios de la provincia y departamento seleccionados previamente. Ninguno de los campos es requerido, salvo en el caso de la zona agro ecológica que es imprescindible en el cálculo de ABRO.

**Cuadro 31.**  
**Identificación del proyecto.**

NOMBRE DEL PROYECTO:	Sistema de Riego San Jacinto
NOMBRE DEL PROYECTISTA:	Giner Gonzáles De Los Rios
LOCALIZACIÓN:	
DEPARTAMENTO:	Tarija
PROVINCIA:	Cercado
MUNICIPIO:	Tarija
COMUNIDAD:	San Luis
LATITUD:	21°32'48"
LONGITUD:	64°42'39"
ZONA AGRO CLIMATICA:	Valles

Como se indica en el cuadro 31, en esta parte de llenado del programa, se introduce el nombre del sistema de riego denominado Sistema de Riego San Jacinto, siendo este sistema de riego con canales de distribución cementados, un sistema de riego monitoreado desde la represa del mismo nombre; se introduce el nombre de la persona o institución que realizará el proyecto, se encajó la ubicación exacta y la zona agroclimática, que la zona es valle.

**CÁLCULO DE ÁREA BAJO RIEGO ÓPTIMO**  
**EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE REFERENCIA (ET<sub>o</sub>)**  
**Método Penman Monteith**

En la ventana ET<sub>o</sub> , se insertan los datos para el cálculo de la Evapotranspiración según el método Penman Monteith. En el group box “Cálculo Evapotranspiración (ET<sub>o</sub>)” se debe indicar cuáles son las variables que se utilizarán en el cálculo, de modo que el programa permita la admisión de datos para esas variables únicamente. Los datos de latitud y altitud se meten a través de combo boxes que despliegan listas con las latitudes y altitudes permitidas para el cálculo ET<sub>o</sub>.

**Cuadro 32.**  
**Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>).**

Latitud 21°						Altitud: 1800 msnm						
<b>Temperatura Mínima (°C)</b>												
Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	
2,70	2,40	4,70	7,70	11,50	13,00	14,20	14,40	14,00	13,50	10,90	6,10	
<b>Temperatura Máxima (°C)</b>												
Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	
24,00	23,90	25,40	26,10	27,60	27,50	27,50	27,00	26,70	26,30	25,60	24,70	
<b>Humedad Relativa (HR)</b>												
Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	
0,55	0,53	0,50	0,50	0,55	0,59	0,64	0,67	0,69	0,68	0,66	0,59	

Eto CALCULADO (mm/día):											
Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
3,20	3,29	3,96	4,64	5,16	5,29	5,19	4,98	4,68	4,32	3,84	3,48

Los datos que se observa en el cuadro 32, es arrojada por el software ABRO, se ingresan datos como se advierte en el sub cuadro donde esta llenado nombre del proyecto, posteriormente se proporcional la Eto CALCULADO (mm/ día) de la toda la zona del proyecto una vez ingresando de forma manual en el sistema la temperatura Mínima, Temperatura Máxima y Humedad Relativa (Ver anexo 4).

### **CÁLCULO DE ÁREA BAJO RIEGO ÓPTIMO DATOS CON PROYECTO**

En la ventana Situación con Proyecto, se introduce la información necesaria para el cálculo del Área Bajo Riego Óptimo (ABRO) en situación con proyecto.

Los campos Área regable y Capacidad máxima del canal deben ser llenados con valores numéricos mayores a cero. Los campos Eficiencia de Captación, Eficiencia de Conducción, Eficiencia de Distribución y Eficiencia de Aplicación deben llenarse con datos numéricos comprendidos entre 0 y 1. Los campos Precipitaciones y Derechos a Terceros tienen por defecto valores en cero y no es obligatorio introducir datos en ellos. En el caso de Precipitaciones, los valores son los mismos en Situación con Proyecto, por lo tanto, se pueden editar en Situación sin Proyecto únicamente.

El programa permite seleccionar sólo cultivos de la zona agro ecológica que corresponde con el proyecto, por lo tanto, sólo es posible registrar cultivos si se ha seleccionado una zona agro ecológica en Identificación. La suma de áreas asignadas a los cultivos no debe ser mayor que el Área Regable. Para eliminar un cultivo debe escogerse la fila correspondiente y hacer clic en la tecla Suprimir.

La ventana para el ingreso de Fuentes de Agua. Debemos preferir la unidad en la que se desean ingresar valores mensuales de la fuente de agua. Si se elige Volumen se ingresan datos en valores de metros cúbicos (m<sup>3</sup>), en caso de elegir Caudal se ingresan datos en (l/s). Si se quiere conocer la equivalencia de un valor ingresado en la otra unidad sólo es necesario cambiar la unidad y los datos se actualizarán automáticamente.

**Cuadro 33.**  
**Datos con Proyecto.**

AREA REGABLE (ha):		78,80		Eficiencia del Sistema:			Total: 0,4391
CAPACIDAD MAXIMA DEL CANAL (l/s)		70,00		De captación:	0,99		De distribución: 0,77
				De conducción:	0,90		De aplicación: 0,64

PRECIPITACIONES (mm):											
Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
0,70	0,60	2,00	6,70	36,10	68,30	129,60	135,80	115,00	84,50	21,30	2,30

DERECHO DE TERCEROS (l/s):											
Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Cultivo	Mes de siembra		Area (ha)	
Alfalfa	Junio		51,00	
Avena (forraje)	Marzo		12,80	
Maíz (forraje)	Agosto		15,00	
	<b>TOTAL</b>		<b>78,80</b>	

Fuente de Agua: Canal Guadalquivir						Volumen total (m3): 2,722,135,68					
Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
172523,52	178274,3	178274,3	172523,52	178274,3	172523,52	178274,3	178274,3	161021,95	178274,3	172523,52	178274,3

Para este cuadro 33, se sigue ingresando al software de forma manual los datos como ser: el área regable, capacidad máxima del canal, eficiencia del sistema de captación, Precipitaciones mensuales, al no tener otra captación de riego a 100 metros río arriba no se tiene DERECHO DE TERCEROS, se introduce los cultivos representativos, como ser forrajeras para nuestro trabajo, los meses de siembra de los mismos y el área, para este trabajo calculado con sistemas de geoposicionamiento y no confiados sólo en las encuestas realizadas y por último se ingresa el nombre de la fuente de agua, el volumen de la misma y los caudales mensuales del canal de riego; todos los datos introducidos es para el Cálculo de Área Bajo Riego Óptimo, para datos con proyecto.

### CÁLCULO DE ÁREA BAJO RIEGO ÓPTIMO

#### ÁREA BAJO RIEGO ÓPTIMO SITUACIÓN CON PROYECTO (PARTE 1)

Se observa en el cuadro 34, arrojado como resultado del software ABRO, con los datos ingresados manualmente como lo vimos en el cuadro 42 y 43; los resultados que se advierte son: Área bajo

riego óptimo, situación con proyecto (parte 1), con la sumatoria del área de cada cultivo representativos, haciendo una área real de 79.00 hectáreas y con un área bajo óptimo de **60.58 hectáreas**; asimismo se contempla el factor área, el cual indica en un valor menor a 0.60 que los datos no son fueron llenados adecuadamente o como además que los datos no soy confiables, para nuestro caso si lo es, siendo un valor de 0.77.

**Cuadro 34.**  
**Datos con proyecto (Parte 1).**

PROYECTO: Sistema de Riego San Jacinto								ÁREA BAJO RIEGO OPTIMO: 60,58 (ha)						
CULTIVO	Alfalfa				Avena (forraje)				Maíz (forraje)				TOTAL	
AREA REAL (ha)	51,00				12,80				15,00				78,80	
AREA BAJO RIEGO OPTIMO	39,21				9,84				11,53				60,58	
	AREA NETA (ha)				79,00									
	FACTOR DE AREA				0,76									
	CAPACIDAD MAXIMA (l/s)				70,00									

	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	ANUAL
	30	31	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31	365
ET (mm/día)	3,20	3,29	3,96	4,64	5,16	5,29	5,19	4,98	4,68	4,32	3,84	3,48	
ET (mm/mes)	95,90	101,95	122,90	139,10	160,05	158,79	160,75	154,23	131,17	133,91	115,10	107,78	1581,64
Prec. (mm)	0,70	0,60	2,00	6,70	36,10	68,30	129,60	135,80	115,00	84,50	21,30	2,30	602,90
Prec. Efec. (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	15,83	39,98	85,95	90,60	75,00	52,13	4,73	0,00	364,20
Kc (Alfalfa)	0,71	1,09	1,13	0,70	1,14	1,15	0,66	0,83	1,07	0,66	0,82	0,67	
ETR (mm)	68,09	111,13	138,88	97,37	182,46	182,61	106,10	128,01	140,35	88,38	94,38	72,21	1409,97
Req. Riego (mm)	68,09	111,13	138,88	97,37	166,64	142,63	20,15	37,41	65,35	36,26	89,66	72,21	1045,77
Req. Neto (m <sup>3</sup> )	26696,17	43572,59	54452,97	38179,10	65336,43	55924,09	7899,15	14667,42	25624,82	14215,67	35154,64	28313,85	410036,90
Kc (Avena) forraje	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	0,76	1,15	
ETR (mm)	57,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	50,89	87,48	123,95	319,85
Req. Riego (mm)	57,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	82,75	123,95	264,24
Req. Neto (m <sup>3</sup> )	5662,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8143,51	12197,24	26002,91
Kc (Maíz) forraje	0,00	0,00	0,24	0,41	0,80	1,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
ETR (mm)	0,00	0,00	29,50	57,03	128,04	171,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	386,06
Req. Riego (mm)	0,00	0,00	29,50	57,03	112,22	131,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	330,06
Req. Neto (m <sup>3</sup> )	0,00	0,00	3401,54	6577,07	12941,05	15166,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	38086,12

También tenemos los resultados de la Evapotranspiración Real del cultivo representativo de la zona de estudio como ser la alfalfa con 1,409.97 mm., para la avena (forraje) con 319.95 mm. Y el maíz (forraje) con 386.06 mm. De igual manera tenemos para cada uno de los cultivos mencionados el requerimiento de riego; y el requerimiento neto, siendo el Requerimiento Neto más alto para el cultivo de la alfalfa y el más bajo para la avena (forraje).

### CÁLCULO DE ÁREA BAJO RIEGO ÓPTIMO ÁREA BAJO RIEGO ÓPTIMO SITUACIÓN CON PROYECTO (PARTE 2)





	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	ANUAL
	30	31	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31	365
BALANCE													
BALANCE (l/s)	38,13	29,51	17,37	27,23	0,00	4,10	59,84	54,09	42,44	54,47	28,52	32,11	
Superficie de Riego Máx. (ha)	114,83	70,44	68,65	85,88	50,74	54,07	388,55	209,25	108,18	270,09	85,81	94,78	
Superficie Adicional (ha)	65,78	31,23	17,91	35,14	0,00	3,33	349,34	170,04	68,97	221,04	36,77	45,73	
AREA DEFICITARIA (ha)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

## CÁLCULO DE ÁREA BAJO RIEGO ÓPTIMO CÁLCULO DEL ÁREA INCREMENTAL

Observamos en el cuadro 36 el área incremental es de 45.65 hectáreas, para el software ABRO, esta área se calcula de la diferencia entre el área bajo riego óptimo en la situación con proyecto, menos el área bajo riego óptimo en la situación sin proyecto. Esta área, es el resultado del incremento de agua de riego, debido al mejoramiento de las eficiencias del sistema. Se dice cultivo óptimamente regado cuando la planta no sufre estrés hídrico y recibe riegos oportunos, por tanto, el valor del área incremental expresa el efecto directo del incremento de agua sobre la situación productiva de sistemas de riegos nuevos, mejorados y/o ampliados.

**Cuadro 36.**  
**Cálculo del área incremental.**

SIN PROYECTO													
CULTIVO	Alfalfa	Avena (for)	Maíz (for)										TOTAL
AREA REAL (ha)	4.00	4.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.00
AREA BAJO RIEGO OPTIMO	3.36	3.36	3.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.07
CON PROYECTO													
CULTIVO	Alfalfa	Avena (for)	Maíz (for)										TOTAL
AREA REAL (ha)	51.00	12.80	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	78.80
AREA BAJO RIEGO OPTIMO	39.21	9.84	11.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	60.58
AREA INCREMENTADA (ha)	35.85	6.48	8.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.51

MES	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
SIN PROYECTO	6.71	3.36	6.71	6.71	6.71	6.71	3.36	3.36	3.36	6.71	6.71	6.71
CON PROYECTO	49.05	39.21	50.74	50.74	50.74	50.74	39.21	39.21	39.21	49.05	49.05	49.05
AREA INCREMENTADA MES (ha)	42.34	35.85	44.03	44.03	44.03	44.03	35.85	35.85	35.85	42.34	42.34	42.34
INDICE DE INCREMENTO MES	6.31	10.68	6.56	6.56	6.56	6.56	10.68	10.68	10.68	6.31	6.31	6.31
AREA INCREMENTADA (ha):			50.51									

## **4.2 Informe de la institución sobre la eficacia de la intervención profesional.**



## V. CONCLUSIONES.

- Se identificaron tres cultivos representativos en las zonas de estudio (Barrio San Luis y comunidad El Temporal) que Alfalfa (*medicago sativa L.*), que inician la siembra en el mes de junio, Avena forrajera (*avena sativa*) en el mes de marzo y Maíz forrajero (*zea mays*) en el mes de agosto; se elaboró un calendario de cultivo para estas tres forrajeras, de acuerdo a las encuestas realizadas en ambas zonas donde se realizó el trabajo dirigido.
- Se cuantificó las superficies cultivadas en ambas zonas de estudio tenemos en el barrio San Luis Alfalfa con 52.30 hectáreas, Avena (forrajera) con 7 hectáreas y Maíz (forrajero) 11.20 hectáreas; en la comunidad El Temporal existe 51 hectáreas de Alfalfa, 12.80 hectáreas de Avena (forrajera) y 15 hectáreas de Maíz (forrajero). Esto se determinó utilizando el GPS, del programa Google Earth, que también como apoyo se realizaron encuestas a regantes preguntado por la extensión de sus parcelas con cultivos representativos, con los resultados obtenidos de las mismas se pudo verificar que no existe error significativo.
- Se determinó el volumen de agua de riego para los cultivos representativos de las zonas de estudio del trabajo dirigido, lo cual tenemos para el barrio San Luis en el caso de la Alfalfa demanda 1,045.77 mm., la Avena (forrajera) 264.24mm. y el Maíz 330.26mm. En la comunidad de El Temporal tenemos la demanda de 1,045.77mm. para la Alfalfa, 264.24 mm. para Avena (forrajera) y 330.26 mm. para el Maíz (forrajero). No existe déficit hídrico para estos cultivos en ambos lugares de estudio, porque la demanda está siendo cubierta por la oferta hídrica.

## VI. RECOMENDACIONES.

- ✓ Se recomienda a la comunidad El Temporal explotar otros cultivos a mayor intensidad, ya que si existen otros aparte de los estudiados pero son muy insignificantes en motivo de superficie; se debe tener en cuenta que para el caso del barrio San Luis es cuestión de tiempo para que esta zona sea totalmente urbana y así desaparezca la explotación del ganado lechero.
- ✓ Se sugiere realizar las mediciones de superficies cultivadas en épocas distintas a la que se realizó el presente trabajo, para así contrastar otra realidad en cuestión de producción, en especial para la comunidad de El Temporal.
- ✓ Se recomienda realizar el requerimiento de agua de riego para otros cultivos menores que se cultivan en ambas zonas más los estudiados, en épocas distintas a las estudiadas para así, observar si la oferta hídrica sigue satisfaciendo a la demanda.
- ✓ Se encomienda elaborar un trabajo similar, en las zonas de estudio, pero que se incluyan todos cultivos que existen tanto mayores como menores y se haga el seguimiento a todos en cuestión de ciclo vegetativo, para así determinar si la oferta hídrica de riego cubre la demanda, tal vez este trabajo no tiene déficit por que se tomó cultivos representativos y estos cultivos son forrajeras, y esta no demanda mucha agua en especial la Alfalfa (*medicago sativa*) y Avena forrajera (*avena sativa*).